

KAĞIT VE KARTON FABRİKASI ATIK SU

ARITMA TESİSİNİN ENERJİ ANALİZİ

Büşra YARAR

Yüksek Lisans Tezi

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT

2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAĞIT VE KARTON FABRİKASI ATIK SU ARITMA TESİSİNİN
ENERJİ ANALİZİ

Büşra YARAR

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT danışmanlığında, Büşra YARAR tarafından hazırlanan “Kağıt ve Karton Fabrikası Atık Su Arıtma Tesisinin Enerji Analizi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Birol KAYIŞOĞLU

İmza :

Üye: Prof. Dr. Ali VARDAR

İmza :

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT (Danışman)

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAĞIT VE KARTON FABRİKASI ATIK SU ARITMA TESİSİNİN ENERJİ ANALİZİ

Büşra YARAR

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT

Su, kağıt ve karton üretiminde kullanılan en önemli hammaddelerden biridir. Bu yüzden kağıt ve karton üretimi her zaman yüksek miktarda su kullanılması gereken bir prosestir. Kullanılan su ise işlemler sırasında kirlenmektedir. Bu nedenle de kağıt ve karton üretimi süresince kullanılan suyun arıtılması gerekmektedir. Bu çalışma; çeşitli gramajlarda kuşeli ve kuşesiz karton üretimi yapan bir tesise ait 4020 m³/gün kurulu kapasite ile 24 saat çalışan bir atık su arıtma tesisi verilerine dayanılarak tesisin enerji tüketimlerinin karşılaştırılması ve yorumlanması amacı ile yapılmıştır. Atık su arıtma tesisi fiziksel ve biyolojik arıtma ünitelerinden oluşmakta olup, aktif çamur sistemi, 4000 kg BOI/gün, 4020 m³/gün hidrolik yükü kaldırabilecek kapasitededir. Bu çalışmada, arıtma işlemi sırasında tüketilen enerji; elektrik, mekanik, iş gücü ve kimyasal enerji olarak kWh/m³ cinsinden hesaplanmıştır. Gerekli olan ilk veriler saha izleme yoluyla toplanmış ve tesis operatörleri ile yapılan görüşmelerle ve araştırma dönemine ait kayıtlı verilerle (giren-çıkan atık su değerleri, laboratuvar analizleri, sarf malzemesi ve kimyasal tüketimleri) desteklenmiştir. Saha izleme, 2017- 2018 döneminde 6 ay boyunca yapılmıştır. Sonuç olarak enerji; elektrik, mekanik, iş gücü ve kimyasal enerji olarak ayrı ayrı saptanmıştır. Toplam harcanan enerji 1,9587 kWh/m³ olarak bulunmuştur. Enerji çeşitleri arasında ise elektrik enerjisinin %80,60' lık, kimyasal enerjinin ise %18,05' lik bir paya sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: atık su arıtma, elektrik enerjisi, iş gücü enerjisi, kimyasal enerji, mekanik enerji, kağıt ve karton

2019, 49 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

ENERGY ANALYSIS OF WASTEWATER TREATMENT PLANT IN PAPER AND PAPERBOARD MILL

Büşra YARAR

Tekirdag Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Ass. Prof. Dr. Mehmet Recai DURGUT

Water is one of the most important raw materials used in the production of paper and cardboard. For this reason, the production of paper and cardboard is always a process in which high amounts of water should be used. Water contaminates during this operations. For this reason, water used in paper and cardboard production should be treated. This study; It was carried out in a treatment plant located in a factory that produces cardboard in various weights. The treatment plant operates 24 hours with an installed capacity of 4020 m³/day. The aim is; to compare and interpret energy consumption by using the data of this facility. The wastewater treatment plant consists of physical and biological treatment units and the active sludge system has the capacity to handle 4000 kg BOD/day, 4020 m³/day hydraulic load. In this study, energy consumed during the treatment process; electrical, manual, mechanical and chemical energy as kWh/m³. The initial data were collected through field monitoring and supported by interviews with facility operators and recorded data (entering-exiting wastewater values, laboratory analyzes, consumables and chemical consumptions) for the research period. The field monitoring was carried out for 6 months in the 2017- 2018 period. As a result energy; Electrical, mechanical, manual and chemical energy are calculated separately. Total energy expenditure was found to be 1,9587 kWh/m³. It has been concluded that electrical energy has a share of 80,60% and chemical energy 18,05%.

Key words: wastewater treatment, electrical energy, manual energy, chemical energy, mechanical energy, paper and cardboard

2019, 49 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Araştırmanın Amacı	2
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. MATERYAL ve YÖNTEM	7
3.1. Materyal.....	7
3.1.1 Atık su arıtma tesisinin özellikleri.....	7
3.1.1.1 Kaba - ince mekanik temizlemeli dikey ızgaralar	10
3.1.1.2 Kum tutucu	11
3.1.1.3 Proses terfi tankı	11
3.1.1.4 Eysel terfi tankı.....	12
3.1.1.5 Sedimentasyon tankları.....	12
3.1.1.6 Nötralizasyon tankı.....	13
3.1.1.7 Ön temas tankı	13
3.1.1.8 Havalandırma tankları	13
3.1.1.9 Son çöktürme tankı.....	15
3.1.1.10 Çamur deposu	16
3.1.1.11 Dengeleme tankı	16
3.1.1.12 Beltpress	17
3.1.1.13 Laboratuvar.....	18
3.2 Yöntem	18
3.2.1 Giren debi değerlerinin belirlenmesi	18
3.2.2 Çıkan debi değerlerinin belirlenmesi.....	18
3.2.3 Laboratuvar analizlerinin gerçekleştirilmesi	18
3.2.3.1 Askıda katı madde analizi.....	19
3.2.3.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı analizi.....	20
3.2.3.3 pH ölçümü	21
3.2.4 Elektrik enerjisinin saptanabilmesi için kullanılan veriler	22
3.2.5 Mekanik enerjinin saptanabilmesi için kullanılan veriler.....	23
3.2.6 İş gücü enerjisinin saptanabilmesi için kullanılan veriler	23
3.2.7 Kimyasal enerjinin saptanabilmesi için kullanılan veriler	24

4. BULGULAR	26
4.1 Debi Değerleri	26
4.1.1 Giren debi değerleri	26
4.1.2 ıkan debi değerleri	27
4.2 Kirlilik Değerleri	28
4.3 Enerjinin Saptanması	28
4.3.1 Elektrik enerjisinin saptanması.....	28
4.3.2 Mekanik enerjinin saptanması	34
4.3.3 İş gücü enerjisinin saptanması	35
4.3.4 Kimyasal enerjinin saptanması	39
4.3.4.1 Biyolojik arıtma reaksiyonları kimyasal enerji saptaması (Ec ₁)	39
4.3.4.2 pH dengeleme sırasında harcanan kimyasal enerjinin saptanması (Ec ₂)	40
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	41
6. KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	49

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Aktif çamur içerisindeki heterotrofik bakterilerin dağılımı	14
Çizelge 4.1 : Giren debi değerleri.....	26
Çizelge 4.2 : Çıkan debi değerleri	27
Çizelge 4.3 : Ünitelere ait kirlilik değerleri	28
Çizelge 4.4 : Ekipman envanteri	28
Çizelge 4.5 : Her bir ekipman için elektrik enerjisi.....	31
Çizelge 4.6 : Mekanik enerji.....	34
Çizelge 4.7 : Faaliyet bilgileri tablosu.....	35
Çizelge 4.8 : kW cinsinden insan gücü eşdeğeri tablosu.....	37
Çizelge 4.9 : İş gücü enerjisi	37
Çizelge 4.10: Kimyasal gübrelerin enerji eşdeğerleri	40

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Tesise giren atık suya ait görüntü.....	7
Şekil 3.2 : Endüstriyel kaynakların karton fabrikası içerisindeki dağılımları	8
Şekil 3.3 : Atık su akım şeması	9
Şekil 3.4 : Kaba- ince mekanik temizlemeli ızgaralar.....	10
Şekil 3.5 : Proses terfi tankı.....	11
Şekil 3.6 : Sedimentasyon tankları	12
Şekil 3.7 : Havalandırma tankları ve fuchs aeratörler	13
Şekil 3.8 : Mikroskopik analize ait görüntü	15
Şekil 3.9 : Son çöktürme tankı.....	16
Şekil 3.10 : Dengeleme tankı.....	17
Şekil 3.11 : Beltpress	17
Şekil 3.12 : Laboratuvar	18
Şekil 3.13 : Filtrasyon düzeneği ile AKM analizi	19
Şekil 3.14 : Spektrofotometre.....	20
Şekil 3.15 : Termoreaktör.....	21
Şekil 3.16 : pHmetre.....	22
Şekil 3.17 : A8 numaralı aeratörün etiket değerleri.....	22
Şekil 3.18 : Numune alma işlemi	24
Şekil 4.1 : Elektrik enerjisi tüketiminin dağılımı	33
Şekil 4.2 : Elektrik enerjisi tüketiminde aeratörlerin yeri	33
Şekil 5.1 : Enerji tüketimlerinin kWh/m ³ cinsinden karşılaştırmalı gösterimi.....	41
Şekil 5.2 : Enerji tüketimlerinin yüzde dağılımları	42
Şekil 5.3 : Süreç bazında enerji tüketiminin bölüm dağılımı	43
Şekil 5.4 : Arıtma yöntemlerinin enerji tüketim karşılaştırması	44

ÖNSÖZ

Bu çalışmada benimle bilgi ve deneyimlerini paylaşan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Recai DURGUT'a ve lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değerli Biyosistem Mühendisliği Bölümü hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen arkadaşım Çevre Mühendisi Gülhayat HERSANLIOĞLU'na ve arıtma tesisi bünyesinde çalışan tüm personele teşekkürü bir borç bilirim.

Manevi desteği ile her zaman yanımda olan kıymetli aileme çok teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Büşra YARAR

Biyosistem Mühendisi

1. GİRİŞ

Kağıt endüstrisi büyük miktarlarda su ve enerjiye ihtiyaç duyan bir endüstri koludur (Ali ve Sreekrishnan 2001). Kağıt endüstrisi, dünyada birim üretim başına kullanılan su miktarı açısından metal ve kimya endüstrilerinden sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Yüksek miktarda su tüketimine bağlı olarak üretim sonrasında açığa çıkan atık su miktarı ve atık suyun içerdiği kirlilik yükü de diğer endüstrilere göre oldukça yüksektir. Kağıt endüstrisinden kaynaklanan kirlenme büyük ölçüde üretimde kullanılan hammaddeler, ilave katkı maddeleri ve üretim prosesine bağlı olarak değişmektedir (Özçelep 2009).

Avrupa Komisyonu (2001)'e göre, Avrupa'da kağıt hamuru üretim tesislerinde 15-100 m³/ton gibi aralıkta önemli miktarlarda su tüketimi vardır. Yaklaşık 50 m³/ton'dan daha yüksek değerler soğutma suyu amacıyla kullanılan kısmı temsil etmektedir. Tesislerde elyafların parçalanması ve diğer proseslere taşınmasında da önemli miktarlarda su kullanılmaktadır. Kağıt fabrikalarında üretilen 1 ton ürün başına 10,5 m³ temiz su kullanılmaktadır. Soğutma suyu olarak kullanılan su, yoğunlaşma sonrasında bir su kulesi vasıtasıyla prosese geri devredilmektedir. Kağıt makinelerinde kurutma bölümünde ise 1 ton kağıtta yaklaşık 1,5 m³ buharlaşma olmaktadır. Kağıt makineleri için yıkama suyu olarak da adlandırılan temizleme suları, sistemlerin performanslarının sürdürülebilmesi için kalıntıların ve yağlı akımların temizlenmesi amacıyla 5-20 m³/ton arasında kullanılmaktadır. Dolgu ve katkı maddeleri için çözücü ve seyrelme amacıyla ise 1,5-3 m³/ton arasında su kullanımı vardır. Proses ekipmanlarının soğutulması için 3-10 m³/ton temiz su kullanılmaktadır. Bu sular çoğunlukla geri devredildiğinden, proses suyu olarak kullanılırken diğer imalat atıklarından ayrılmaktadır. Bu nedenle, geri devrettirilen temassız soğutma suları normal olarak kağıt fabrikalarının su tüketiminde yer almamaktadır (Dumlu 2014).

Eski teknolojiyi kullanan kağıt üretim tesislerinde bir ton kâğıt üretmek için 400 m³ su tüketmek gerekirken, günümüzde modern tesislerde 20-50 m³ su kullanmak yeterli olmaktadır. Yapılan başka bir çalışmada ise kullanılmış kağıttan kağıt üreten tesislerde bir ton kağıt üretimi için sadece 5 m³ su kullanmanın yeterli olduğu ifade edilmiştir (Yakut 2012).

Kağıt hamuru ve kağıt endüstrisinin tarihsel gelişimi incelendiğinde günümüzde suyun geri kullanımının amaçlandığı görülmüştür. Kağıt endüstrisi, suyun yeniden kullanımı açısından faydalı bir prosestir. Wyvill ve ark. (1984)'e göre kağıt makinelerinin ilk geliştirildiği yıllarda 1 kg ürün başına yaklaşık 625 lt su kullanılmaktaydı. 1950 yıllarının başında ise 1 kg ürün başına su kullanımı 145 lt olmuştur. Haynes (1974)'e göre kağıt endüstrinin gelişim

gösterdiği 1966 yılında ise ağartılmış kraft prosesinde 1 kg ürün başına 625 lt su kullanıldığı belirtilmektedir (Dumlu 2014). Yapılan bir diğer çalışmada ise modern teknikler kullanılarak suyun geri kazanımı ile 1 kg ürün başına 67 ile 71 lt arasında tüketim olduğu ifade edilmektedir (Yarar 2009).

Bu çalışma ise 1995 yılında temeli atılarak 1997 yılının sonunda faaliyete giren kağıt karton fabrikasında, kağıt ve karton üretiminde kullanılan tüm suyun arıtılması amacıyla kurulmuş olan atık su arıtma tesisinde yürütülmüştür. Fabrika 225-400 gr/m² arasında değişen gramajlarda kuşeli karton üretimi gerçekleştirilmektedir. Saha izleme, 2017- 2018 döneminde 6 ay boyunca yapılmıştır. Zaman ölçümü bir kronometre kullanarak yapılmıştır.

1.1 Araştırmanın Amacı

Bu araştırma, kağıt ve karton fabrikası atık su arıtma tesisinde arıtma işlemleri sırasında kullanılan enerjinin; elektrik, mekanik, iş gücü ve kimyasal enerji cinsinden analizini amaçlamaktadır. Yapılan daha önceki çalışmaların çoğunda yalnızca elektrik enerjisi üzerine odaklanılmıştır. Ancak elektrik enerjisi toplam enerji tüketiminin en az yarısı kadardır. Literatürde karşılaştırma için yeterli veri bulunmaması ve yapılan çalışmaların azlığı ile ölçek farkı, çalışma kapsamı ve arıtma teknolojilerinin seçimleri, tesislerde ve tesisler için yapılan çalışmalarda önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Benzer çalışmaların çoğaltılması ve bu alandaki verilerin üretimi, arıtma tesisi projelendirme aşamalarında, karar verme anlamında önemli olacaktır.

Çalışmanın hedefi, kağıt karton fabrikası atık su arıtma tesisinde tüketilen enerjinin dağılımı analiz edilerek, bu kavramların tanıtılması ve gelecekteki çalışmalara temel hazırlamak olarak belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Enerji verimliliği, günümüzde hızla tükenen enerji kaynakları sebebiyle birçok alanda gündeme gelmektedir. Atık su arıtma tesislerinde, gerek arıtma proseslerinde gerekse atık suyun toplanması ve taşınmasının sağlandığı ünitelerde önemli oranda enerji kullanımı söz konusudur. Günümüzde artan enerji fiyatları ve yeni yasal düzenlemelerle getirilen daha sıkı deşarj standartları, dünya genelinde atık su arıtma tesislerinin işletme maliyetlerini arttırmaktadır. Enerji maliyetlerinin artışı ve sürdürülebilirlik çalışmalarının sıklıkla gündeme gelmesiyle enerji optimizasyonu, ekonomik ve çevresel açıdan daha da önemli hale gelmektedir. Bu kapsamda atık su arıtma tesislerinde (AAT) işletme maliyetinin optimizasyonu için enerji tüketiminin ve arıtma kapasitelerinin tesis girişinden çıkışına kadar ünite bazında izlenmesi önem taşımaktadır (Aynur 2014).

Suyun giderek azalıyor olması, hem taşıma hem de arıtma için kentsel su sisteminin enerjiye bağımlılığını artırmıştır. Enerjiye erişim, sürdürülebilir kentsel şehirlerin su kaynaklarının azalmasına ve su kirliliğine neden olan bir engel olabilir. Ayrıca, artan iklim endişeleri, enerji tasarrufu, enerji verimliliği ve enerji ikamesi, tüm dünyada yaygın bir kalkınma ilkesi haline gelmiştir (Friedrich ve ark. 2008). Bu bakımdan, kentsel temizlik, önemli bir enerji yüküne sahip olabilen ve gelecek yıllarda güç talebi tahminleri için önemli hale gelebilen bir sektördür. Bu yön, atık su üretimi ile arıtma arasında büyük bir boşluğun olduğu gelişmekte olan ülkelerde daha önemlidir (Belloir ve ark. 2015).

Atık su arıtma tesisleri, gün geçtikçe azalan fosil yakıt kaynaklarını kullanmalarının yanı sıra, karbon ayak izi oluşturmakta ve arıtma işlemleri esnasında atmosfere sera gazı (karbondioksit, metan ve azot oksit) salımı gerçekleştirmektedir. Önemli miktarda enerji tüketen bu tesislerde, dünya genelinde harcanan toplam enerjinin ~ % 0,1-0,4'ünün kullanıldığı bilinmektedir (WEF 1997). Bu oran İsveç'te % 1 iken ABD ve İngiltere'de %3, yetersiz su kaynaklarına sahip bir ülke olan İsrail'de ise, atık suların yararlı kullanım amaçlı ileri arıtım oranının yüksek olması nedeniyle, %10'dur (Olsson 2012).

Artan nüfus, deşarj standartlarındaki yeni düzenlemeler ve kullanılan alt yapının kullanıma bağlı olarak faydalı ömrünün azalması sonucu enerji kullanımının giderek artacağı beklenmektedir. Buna karşın pek çok atık su arıtma tesisinde enerji maliyetleri arıtma proseslerinde uygulanan modifikasyonlar ve enerji tasarruf tedbirleri ile ~%30 oranında düşürülebilmektedir. Örneğin, havalandırma ünitesi optimizasyonu ve pompa iyileştirmesi

uygulanan bir atık su arıtma tesisinde yıllık bazda 547~1.057 milyon kWh enerji tasarruf edildiği belirtilmektedir. (Aynur 2014)

Su ve atık su arıtımında, toplama ve arıtıma üniteleri oldukça yüksek enerji ihtiyacına sahip birimlerdir. Öncelikle çevre ve insan sağlığı dikkate alınarak projelendirilip işletilen atık su toplama sistemleri atık suların kirletici kaynağından arıtma ünitesine iletimini sağlamaktadır. Arıtma tesisine ulaşan atık su, tesis içinde hedeflenen deşarj standartlarına ulaştırılarak alıcı ortama verilmektedir. Arıtma süreci de pompalama (terfi), karıştırma, havalandırma ve çamur bertarafı gibi yüksek enerji gereksinimi olan proseslerden oluşmaktadır. Atık suda bulunan organik yük, aerobik biyokütle için gereken oksijenin sisteme verilmesiyle giderilmektedir. (Aynur 2014)

Atık suların arıtma prosesleri incelendiğinde, atık suyun taşınımı, arıtımı, deşarjı ve oluşan çamurun bertarafı gibi proseslerde yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu prosesler arasında pompalama (terfi) ve havalandırma (biyolojik arıtmada) için gerekli enerji, tesiste kullanılan enerjinin en önemli kısmını oluşturur. Lingsten ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada İsveç'te bulunan arıtma tesislerinde terfi için gerekli enerji miktarı ~20 kWh/kişi.yıl olarak belirlenmiştir (Lingsten ve diğ., 2008). ABD'de yapılan bir diğer çalışmada su ve atık suların arıtımı ve taşınması için gerekli enerji, ülke bazında kullanılan enerjinin yaklaşık %3'ü (~21x106 kWh/yıl) olarak belirlenmiştir (Horne ve ark. 2013).

Kağıt endüstrisi, gerek üretimde kullanılan su, gerekse oluşan atık su miktarı açısından dünya genelinde ciddi boyutlarda çevre sorunu yaratan endüstrilerin başında gelmektedir. Ülkemizde ise ekonomik açıdan önemli bir yer tutan kağıt endüstrisinde, birim üretim başına kullanılan su ve açığa çıkan atık su miktarı ile oluşan kirlilik yükü diğer endüstri dallarına kıyasla oldukça yüksektir (Doğan ve ark. 2017).

Kağıt endüstrisi, en fazla atık su üreten endüstriler arasındadır ve oluşan atık suyun özellikleri üretilen kağıdın tipine ve kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak kağıt sanayi atık suları yüksek organik kirliliğe ve yüksek askıda katı madde konsantrasyonlarına sahip atık sular oldukları için çoğunlukla biyolojik arıtma işlemleri kullanılarak arıtılmaları tercih edilmektedir. Ancak, içerdikleri zor parçalanabilir maddeler nedeniyle biyolojik arıtmada arıtılmaları her zaman iyi sonuç vermemektedir. Bu durumda kimyasal arıtma, kimyasal oksidasyon, anaerobik arıtma vb. alternatifler de değerlendirilmektedir. Uygun arıtma

alternatifi belirlenirken en önemli hususlardan birisi de yatırım ve işletme maliyetidir (Köken ve Büyükkamacı 2010).

Atık su arıtma tesislerinde enerji yönetimi “minimum maliyet ile istenilen atık su arıtma deşarj standartlarını elde etmek ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için enerjinin uygun değerde ve sürekli olacak biçimde kullanımının sağlanması” anlamına gelmektedir. Oldukça kapsamlı olan bu tanım atık su arıtma tesisi projelendirilmesinden başlayarak uygun değerde olarak atık su arıtma tesisinin işletilmesine kadar olan birçok işlemi kapsar. Enerji yönetimi, birçok işlemin incelenmesi ve optimizasyonu ile sağlanabilir. Atık su arıtma tesislerinde yüksek miktarda enerji tüketilmektedir (Türkmenler 2017).

Enerjinin korunmasına yönelik çalışmalarda alternatif ekipman uygulamaları göze çarpmaktadır. Tesis tüketiminde etkili olan bu ekipmanlar; giriş terfi pompası, havalandırma ekipmanları ve çamurun işletilmesi için kullanılan ekipmanlar vb. örnekler verilebilmektedir (Kılınç 2017).

Amol Sanayi Bölgesi'nin atık su arıtma tesisinde yapılan bir çalışmada arıtma tesisi tarafından tüketilen enerji miktarını belirlemek için, 2012 ve 2013 yıllarındaki elektrik faturaları incelenmiş ve günlük ortalama elektrik enerjisi tüketiminin 1 m³ atık su için sırasıyla 6.62 kwh ve 6.24 kWh olduğu görülmüştür. Ayrıca, tesiste bulunan elektromekanik ekipmanlar da her birimde ayrı ayrı incelenmiştir. Tesisin bu ekipmanlar için harcadığı günlük elektrik enerjisi miktarı 4,45 kWh'dır. Ayrıca tesiste, her 1 birim elektrik enerjisi başına 1 kilogram kimyasal oksijen ihtiyacı giderimi sağlanmaktadır. Bu enerji tüketimine sahip arıtma tesisi; ekipmanlar ve elektrik enerjisi fiyatlarındaki hızlı artış sebebi ile enerji yönetimi konusunda daha ciddi ve endişeli olmalıdır (Saghafi ve ark. 2015).

Atık su arıtma tesislerinde elektrik, mekanik, iş gücü ve kimyasal vb. enerji türleri kullanılmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmaların çoğu sadece kıyaslama çalışması için elektrik tüketimine odaklanmışlardır. Elektrik enerjisi toplam enerji tüketiminin ancak yarısı kadardır. İş gücü enerjisinde önemli bir paya sahiptir; bu, küçük çaplı arıtma tesislerinin yeni sanayileşen ülkelerde önemli istihdam olanakları sağladığı ve fosil yakıt temelli enerjinin yenilenebilir enerjiyle yer değiştirdiği anlamına gelmektedir. Benzer çalışmaların çoğaltılması ve bu alandaki verilerin üretimi, enerji ve iklim değişikliği azaltma stratejileri dikkate alınarak atık su arıtma sürecinin ölçeğinin seçimine karar verme yönergeleri sunacaktır (Singh ve ark. 2012, Belloir ve ark. 2015).

Ancak, enerji verimliliği ve enerji ikamesi için fırsatları keşfetmek için, çeşitli enerji tüketime biçimlerinin detaylı bir analizi gerekmektedir. Bu analiz, çeşitli enerji formlarının ve enerji yoğunluğunun arıtma sürecinin çeşitli aşamalarında paylaşılmasını içermelidir. Daha da önemlisi, bu tür çalışmaların, çeşitli arıtma ölçeklerine ve arıtma teknolojisinin seçimine göre veri üretmek için kopyalanabileceği bir metodolojik ereve ortaya koymaktadır. Bu bilgi, su-enerji bağlantısının giderek artan bir şekilde tartışılması, kentsel su sektörü için enerji verimliliği ölçütlerinin geliştirilmesi ve geleneksel enerji formlarının yerine yenilenebilir enerjinin uygulanması için, olanakların bulunması için, araçların ve cevapların planlanması için sağlam bir temel sağlayacaktır (Belloir ve ark. 2015).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için gereken veriler, Eylül 2017 ile Şubat 2018 tarihleri arasında tesisin işletilmesi sırasında kullanılan ve gerçekleşen değerlerdir. Bu değerlerin tespiti sırasında hafta içi saat 08:00 ile 18:00, hafta sonu ise saat 13:00 ile 16:00 arasında tesiste bulunularak gözlemler yapılmış ve değerler izlenmiştir.

3.1. Materyal

3.1.1 Atık su arıtma tesisinin özellikleri

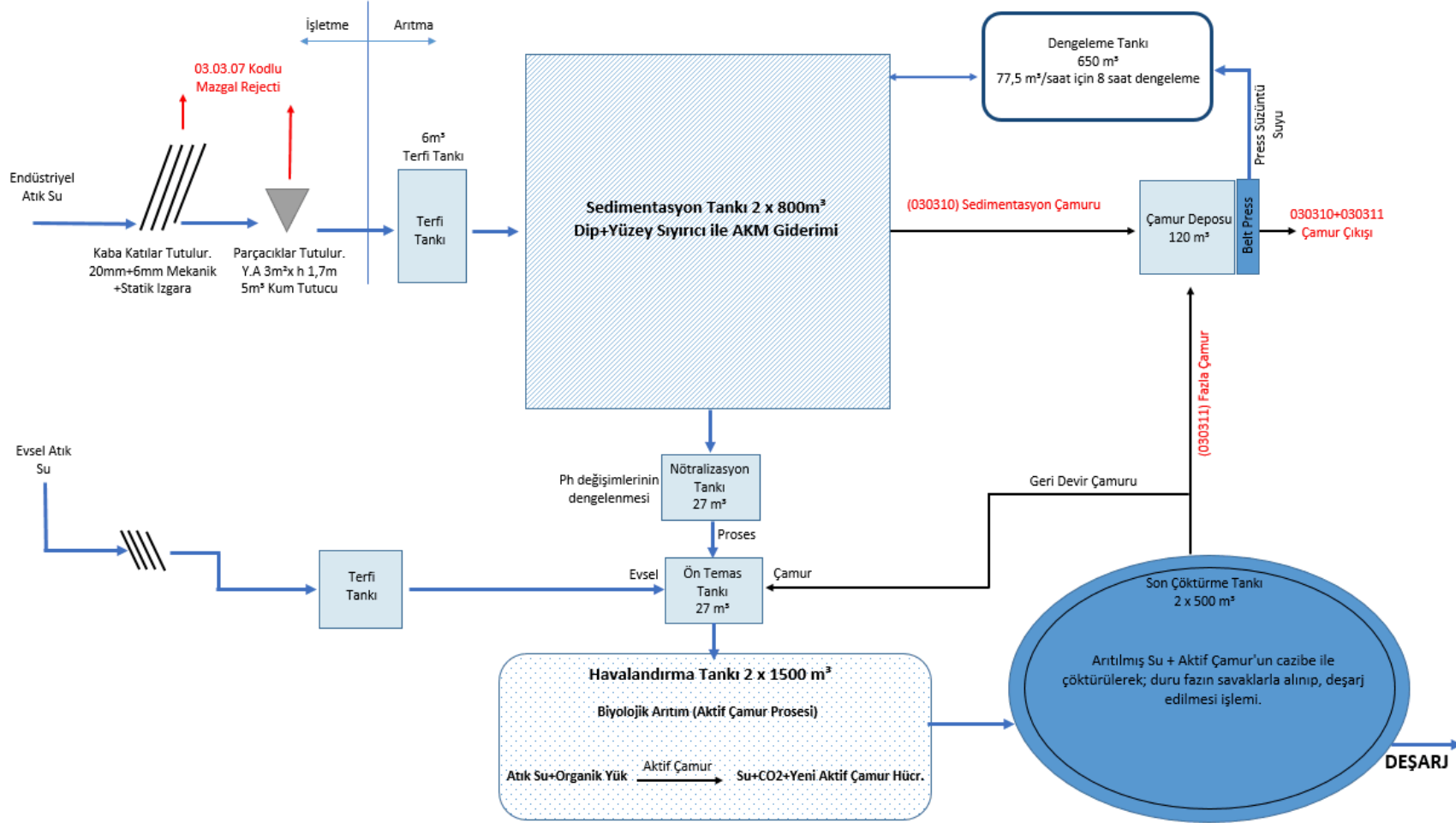
Tesisin kurulu kapasitesi 4020 m³/gün olmasına rağmen gerçekleşen debi 2000 m³/gün civarındadır. Tesise gelen suyun büyük çoğunluğu (%99'u) endüstriyel atık su olmak ile birlikte; %1'i ise fabrika personelinin günlük ihtiyaçlarından kaynaklanan evsel nitelikli atık sudur. Tesise giren atık suya ait görüntü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tesise giren atık suya ait görüntü

Tesise gelen atık suyun %99' unu oluşturan endüstriyel kaynakların karton üretim prosesi içerisindeki dağılımları ise Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Şekil 3.2' de belirtilen atık sular ile evsel atık sular; kanallar vasıtası ile toplanarak; yaklaşık 800 metrelik bir iletim hattının ardından arıtma tesisine ulaşır. Arıtma tesisinin bölümlerini içeren akım şeması Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Atık su akım şeması

3.1.1.1 Kaba - ince mekanik temizlemeli dikey ızgaralar

Arıtma tesisi ekipmanlarına zarar verebilecek iri parçaları tutmak üzere proses atık suları için; önce 20 mm aralıklı ve otomatik temizlemeli bir mekanik kaba ızgara, daha sonra 6 mm aralıklı mekanik ince ızgara kullanılmaktadır (Şekil 3.4). Proses atık suları kaba ızgaradan geçerek içindeki katı maddelerden ayrılmaktadır. Atık sularda bulunan daha ince maddeler ise ince ızgarada tutulmaktadır.

Izgaralardan çıkan atık sular kum tutucuya gitmektedir. Izgaraların bulunduğu kanalın genişliği; 705 mm olup; ekipman genişliği 600 mm'dir. Izgaralar kanala 75 derece eğim ile monte edilmiştir. Üretim prosesi ile atık su arıtma tesisi arasındaki mesafe yaklaşık 800 metre olduğundan; atık su ile gelen kaba partiküllerin kanal içerisinde birikme yapmasını engellemek adına, ızgaralar üretim prosesinin hemen çıkışında yer almaktadır.



Şekil 3.4. Kaba- ince mekanik temizlemeli ızgaralar

3.1.1.2 Kum tutucu

Atık sulara bulunan kum ve benzeri parçaların tesiste birikim yapmasını ve ekipmanları aşındırmasını önlemek üzere kullanılacak dairesel kum tutucu bulunmaktadır. Kum tutucuda çöken kumlar mamut pompa ile kum havuzuna pompalanarak sistemden uzaklaştırılır. Kum tutucudan çıkan atık sular ise 800 metrelik kanal vasıtası ile atık su arıtma tesisinin girişinde yer alan terfi tankına gelir. Kum tutucunun yüzey alanı 3 m², çapı 2 m, su yüksekliği 1,7 m, toplam hacmi ise 5 m³'tür.

3.1.1.3 Proses terfi tankı

Arazi kotları yeterli olmadığı için, atık sular terfi tanklarına alınıp buradan sedimentasyon tanklarına pompalanmaktadır. Terfi tankının taşkanı ise dengeleme tankına gitmektedir. Terfi tankında atık suyun terfi ettirilmesinden başka herhangi bir işlem yapılmamaktadır. Tank boyutları 2x2 m (eliptik) toplam tank yüksekliği 3 m, su yüksekliği 1,5 metre, hacmi ise 6 m³'tür (Şekil 3.5). Terfi tankında 2 adet dalgıç pompa bulunmaktadır. Pompalar yedekli olarak çalışmakta olup; 167 m³/h kapasiteli ve 2,5 m basma yüksekliğine sahiptir. Enerji tüketimleri ise 3,1 kWh'tir.



Şekil 3.5. Proses terfi tankı

3.1.1.4 Eysel terfi tankı

Fabrika genelinde kanallar vasıtası ile toplanan evsel nitelikli atık sular cazibe ile atık su arıtma tesisinin girişine (evsel terfi tankına) kadar iletilmektedir. Eysel terfi tankında toplanan evsel atık sular; 20 m³/h kapasiteli, 8 m basma yükseklikli ve 3,1 kWh enerji tüketimine sahip dalgıç pompa ile ön temas tankına iletilmektedir. Tank hacmi 5 m³'tür.

3.1.1.5 Sedimentasyon tankları

Izgara, kum tutucu ve proses terfi tankı ile iletilen atık sular, içerdikleri yüksek askıda katı maddeyi gidermek üzere sedimentasyon tanklarına alınmaktadır (Şekil 3.6). Bu tanklar iki göz olarak yapılmış olup, bir gezer köprü ile hem dipleri hem de yüzeyleri sıyırılmaktadır. Böylece atık su içerisinde yüksek miktarda bulunan askıda katı maddeler çökerek, % 70 civarı bir arıtma verimi sağlanmaktadır. Sedimentasyon tankı savaklarından çıkan atık sular, nötralizasyon tankına alınmaktadır. Atık su, sedimentasyon tanklarında yaklaşık 10 saat bekletilmektedir. Sedimentasyon tanklarının toplam hacimleri 1600 m³ olup, zeminleri su içerisindeki katı maddelerin çökmesini kolaylaştırmak adına koniktir.



Şekil 3.6. Sedimentasyon tankları

3.1.1.6 Nötralizasyon tankı

Genelde nötr gelen atık sulardaki herhangi bir pH değişiminin biyolojik sistemi etkilememesi için otomatik pH kontrolü yapılmaktadır. Bu tankta nötralizasyon amacıyla asit veya baz kullanılmakta ve işlem için dozaj pompaları kullanılmaktadır. Tank boyutları; 3*3 m olup; toplam yüksekliği 3,5 m'dir. Tankta bulunan karıştırıcı ise; 900 rpm ve 3 kWh gücündedir.

3.1.1.7 Ön temas tankı

pH ayar tankından ön temas tankına geçen atık sular, çöktürme tankından gelen geri devir akımı ile birlikte ön temas tankında karışıp, biyolojik sisteme alınmaktadır. Aktif çamur sisteminde daha iyi çökebilen bir çamur elde edebilmek için, havalandırma tankına ön temas tankı ilave edilmiştir. Burada kirliliği yüksek olan atık su, geri devir çamuru ile temas ederek, toksik etkiler en aza indirilmektedir. Toplam tank hacmi 30 m³ olup, yüzey alanı ise; 9 m²'dir.

3.1.1.8 Havalandırma tankları

Ön arıtma kademelerinde atık su kirlilik parametrelerinde önemli bir giderim sağlandıktan sonra, atık su havalandırma tanklarına gelmektedir.

Havalandırma tankında aktif çamurla temas eden atık suda bulunan ve kirliliği oluşturan organik maddeler, aktif çamur tarafından su, karbondioksit ve yeni aktif çamur hücrelerine dönüştürülmektedir. Havalandırma tankında aktif çamurun ihtiyacı olan oksijen; Şekil 3.7'de görülen fuchs aeratörlerle sağlamaktadır.



Şekil 3.7. Havalandırma tankları ve fuchs aeratörler

Havalandırma tankı paralel ve/veya seri çalışabilen 2 gözden oluşmaktadır. Havalandırma tankından çıkan arıtılmış atık sular ve aktif çamur karışımı cazibe ile çöktürme tankına geçmektedir.

Tankın toplam hacmi 4000 m³'tür.

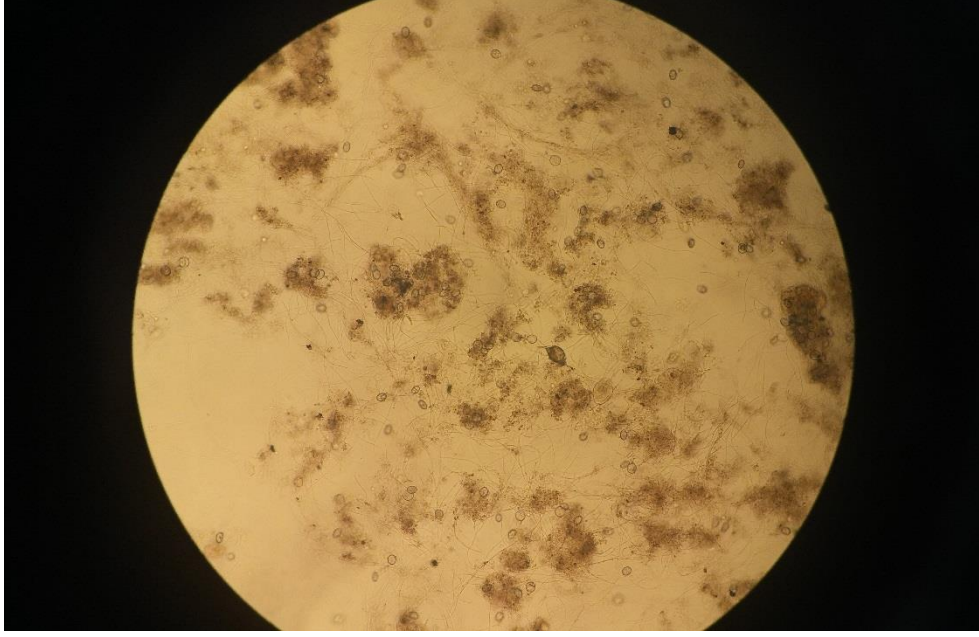
Tanklarda toplam 10 adet aeratör bulunup, her bir aeratör 15 kW gücündedir. Aeratörler yani havalandırıcılar, tankta bulunan ve atık suların organik olarak arıtılmasını sağlayan aktif çamur bakterilerinin çözülmüş oksijen ihtiyacını karşılarlar. Ayrıca aktif çamur bakterilerinin besin olarak kullanması amacı ile havalandırma havuzuna azot (N) kaynağı olarak üre, fosfor (P) kaynağı olarak DAP (Di Amonyum Fosfat) eklenmektedir.

Havalandırma havuzlarında bulunan aktif çamur bakterilerinin tür popülasyonu Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Aktif çamur içerisindeki heterotrofik bakterilerin dağılımı
(Droste ve Gehr 1996)

Cins ya da grup	%
<i>Comamonas- Pseudomonas</i>	50
<i>Alcaligenes</i>	5,8
<i>Pseudomonas (fluorescent group)</i>	1,9
<i>Paracoccus</i>	11,5
<i>Unidentified (gram- negative rods)</i>	1,9
<i>Aeromonas</i>	1,9
<i>Flavobacterium- Cytophaga</i>	13,5
<i>Bacillus</i>	1,9
<i>Micrococcus</i>	1,9
<i>Coryneform</i>	5,8
<i>Arthrobacter</i>	1,9
<i>Aureobacterium- Microbacterium</i>	1,9

Havalandırma havuzunda, günlük olarak gerçekleştirilen mikroskopik analize ait görüntü ise Şekil 3.8'teki gibidir.



Şekil 3.8. Mikroskobik analize ait görüntü

3.1.1.9 Son çöktürme tankı

Havalandırma tankından çıkan arıtılmış su ve aktif çamur karışımı, ayrılmak için cazibe ile çöktürme tankına geçmektedir (Şekil 3.9). Ağır olan aktif çamur tabana çökerken üstte kalan duru faz savaklarla toplanıp, çıkış yapısından arıtılmış temiz su olarak deşarj edilmektedir.

Çöktürme tankı tabanına çöken çamurlar; döner küreme köprüsüyle merkeze toplanıp, geri devir pompasıyla ön temas tankına geri pompalanmaktadır. Geri devir pompaları aktif çamuru parçalamayacak şekilde açık fanlı olarak seçilmiştir. Geri devir çamuru ön temas tankına aktarılırken, arıtma işlemi sırasında üreyen fazla biyolojik çamur, çamur deposuna alınmaktadır.



Şekil 3.9. Son çöktürme tankı

3.1.1.10 Çamur deposu

Sedimentasyon ve son çöktürme tankı tabanına toplanan çamurlar, çamur deposuna alınmaktadır. Çamur deposunda toplanarak stabil hale gelen çamurlar bir pompa ile beltpresse pompalanmakta, beltpress öncesi çamura polimer verilmektedir. Beltpressten çıkan kek halindeki çamurlar katı atık olarak sistemden uzaklaştırılırken; oluşan süzüntü suları dengeleme tankına alınmaktadır.

3.1.1.11 Dengeleme tankı

Atık sularda olabilecek debi salınımlarını karşılamak üzere maksimum debiyi, 4 saat karşılayan bir dengeleme tankı bulunmaktadır (Şekil 3.10). Tesiste oluşabilecek herhangi bir arıza durumunda kontrollü deşarj yapılması amacı ile kullanılmaktadır.



Şekil 3.10 Dengeleme tankı

3.1.1.12 Beltpress

Çamur deposunda toplanan çamuru kek haline getirmek için kullanılmaktadır (Şekil 3.11) 4 kW gücündedir. % 35-40 kuru madde sağlar ve kapasitesi 30 m³/saat'tir.



Şekil 3.11. Beltpress

3.1.1.13 Laboratuvar

Tesisin işletilmesi sırasında gerekli olan; askıda katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı, renk, N, P, kuru madde, pH, çözülmüş oksijen gibi parametrelerin analizlerinin yapıldığı atık su analiz laboratuvarı Şekil 3.12’te gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Laboratuvar

3.2 Yöntem

3.2.1 Giren debi değerlerinin belirlenmesi

Tesisin girişinde (proses terfi tankında) bir adet parshall savağı ve savak üzerinde bir ultrasonik okuyucu bulunmaktadır. Ultrasonik okuyucu geçen debimetre değerini sayaç üzerine yansıtmaktadır. Arıtma tesisi vardiya yetkilileri; her gün sabah saat 08:00’de bu sayaç üzerindeki değeri okur ve işletme formlarına kaydederler. İki günün değeri birbirinden çıkarılarak aradaki fark; yani 24 saatte savaktan geçen su miktarı bulunmuş olur. Bulunan değer; m³/gün cinsinden arıtma tesisine giren debi değerini verir. Bölüm 4.1.1’de verilen giren debi değerleri çizelgesi bu veriler ışında oluşturulmuştur.

3.2.2 Çıkan debi değerlerinin belirlenmesi

Tesisin girişinde bulunan parshall savağı, aynı şekilde tesisin çıkışından da yapılan deşarjın miktarını belirlemek üzere kurulmuştur. Bu ünite de çalışma ve değer okuma prensipleri Bölüm 3.1’de belirtildiği gibi olup; ulaşılan sonuç; m³/gün cinsinden arıtma tesisinden çıkan (deşarj edilen) debi değerini verir. Bölüm 4.1.2’de verilen çıkan debi değerleri çizelgesi bu veriler ışında oluşturulmuştur.

3.2.3 Laboratuvar analizlerinin gerçekleştirilmesi

Bölüm 3.9.13’te bahsedilen laboratuvar da; bu çalışmada kullanılan askıda katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı ve pH parametrelerinin ölçümü yapılmaktadır.

3.2.3.1 Askıda katı madde analizi

Askıda katı madde, atık su numunesi içerisindeki çökebilir veya çökemeyen katı maddelerin toplam miktarıdır. Bundan sonra AKM olarak bahsedilecektir.

AKM ölçümleri; her vardiya (günde 3 kez) 08:00, 16:00 ve 00:00 saatlerinde, her bir ünitenin giriş ve çıkışlarında TS EN 872 standardına uygun yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Aşağıda bulunan hesaplama yöntemi kullanılarak analiz sonucu belirlenir (TS EN 872).

$$\text{Analiz Sonucu mg/l} = \frac{(\text{Son Tartım} - \text{İlk Tartım})\text{g}}{100 \text{ ml}} \times \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{\text{l}}$$

Fitrasyon düzeneği ile AKM analizi Şekil 3.13'te görüldüğü gibi filtrason düzeneği, 104 °C sabit ısıda bulunan Memmert marka UM400 model etüv, vakum düzeneğinde süzgeç görevi gören 0,45 mikron gözenek çapına sahip filtre kağıdı, desikant maddeler içeren ve etüvde kurutulan örneklerin havanın nemini almadan soğuması için kullanılan desikatör, 100 ml mezür ve hassas terazi kullanılarak yapılır.



Şekil 3.13. Fitrasyon düzeneği ile AKM analizi

3.2.3.2 Kimyasal oksijen ihtiyacı analizi

Kimyasal Oksijen İhtiyacı: Su örneğinin, asidik ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyiciyle oksitlenebilen organik madde miktarının oksijen eşdeğeri cinsinden ifadesidir. Başka bir deyişle, atık suyun teorik oksijen ihtiyacıdır. Bundan sonra KOİ olarak bahsedilecektir.

Atık su numunelerinin kimyasal oksijen ihtiyacı değerleri Hach Lange kitleri kullanılarak belirlenir. Hach Lange Kitleri, KOİ analizlerinin termoreaktör ve spektrofotometre yardımı ile yapılmasını sağlayan, analizin gerçekleşmesi için gerekli kimyasalların içerisinde hazır bulunduğu, belirli alt ve üst limitlerde okuma yapan Hach Lange markalı hazır kitlerdir. Atık suyun karakterizasyonuna göre, LCK314 ve LCK 514 olmak üzere 2 çeşit KOİ kiti kullanılmaktadır. LCK314 Analiz aralığı; 15 / 150 mg/l KOİ, LCK514 Analiz aralığı; 100 / 2000 mg/l KOİ'dir. Bu analizler Hach Lange 314-514 kimyasal oksijen ihtiyacı manuellere göre yapılmaktadır.

Spektrofotometre'nin çalışma prensibi; hazırlanıp cihazın kütetine yerleştirilen çözültiden, belirli spektrumlarda ışık geçirilmesi ve ışığın ne kadarının çözelti tarafından tutulduğunun bulunması esasına dayanan ve bu esasa göre sonuç veren ölçüm cihazıdır. Spektrometre Şekil 3.14'te görülmektedir. Markası Hanch Lange, modeli DR 2800'dür ve analiz yapılması spektrofotometrenin çalışma prosedürlerine göre yapılmaktadır (Anonim 2005). Spektrofotometre her yılın Şubat ayında kalibre ettirilmektedir.



Şekil 3.14. Spektrofotometre (Anonim 2005)

Termoreaktör, atık su numunesinin, yapılacak analiz ihtiyacına göre ısıtılmasını sağlar. (KOİ analizi için; 2 saat / 148 °C) Analiz için gerekli tepkimeler ısı yardımı ile gerçekleşir ve spektrofotometrede ölçülebilir hale getirilir. Numuneler günde bir kez saat

08:00'de, her bir ünitenin giriş ve çıkışlarından alınır. Atık su numunesinden alınacak miktar otomatik pipet yardımıyla çekilir ve bu sayede hata payı azalır. Termoreaktör Şekil 3.15'te görülmektedir. Markası Hach Lange, modeli LT200'dür. Her yılın mart ayında kalibrasyonu yaptırılmaktadır. Analizler termareaktörün çalışma prosedürlerine göre yapılmaktadır (Anonim 2006).



Şekil 3.15. Termoreaktör (Anonim 2006)

3.2.3.3 pH ölçümü

pH ölçümleri; her vardiya (günde 3 kez) 08:00, 16:00 ve 00:00 saatlerinde, her bir ünitenin giriş ve çıkışlarında yapılır.

pH bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarih eden ölçü birimidir. Biyolojik atık su arıtımında kullanılan aktif çamur prosesi için optimum pH değeri 7- 7,5 aralığındadır. Bu sebeple, işletme şartlarının kontrolünü sağlamak amacı ile atık suda pH ölçülür.

Şekil 3.16'de görülen pH metre süratli ve hatasız bir şekilde pH ölçümü yapmaya olanak sağlayan hassas problu portatif cihazdır. Markası WTW modeli pH 3210'dur. Her yılın Mart ayında kalibrasyonu yapılmaktadır. pH analizinde pH metreye ek olarak numune alma kabı ve kronometre kullanılır.



Şekil 3.16. pHmetre (Anonim 2008)

3.2.4 Elektrik enerjisinin saptanabilmesi için kullanılan veriler

Tesise ait ekipmanların bilgilerine ulaşabilmek adına öncelikle tesisin akım şeması incelenmiş ve ekipman listesi oluşturulmuştur. Daha sonra ekipmanların manuelleri incelenmiş ve sahadaki ekipmanların etiket değerleri ile karşılaştırılarak değerler teyit edilmiştir. Örneğin; ekipman listesinde bulunan A8 numaralı aeratörün etiket değerleri Şekil 3.17’ de yer almaktadır.



Şekil 3.17. A8 numaralı aeratörün etiket değerleri

Elektrik enerjisi girdisi, pompanın/motorun (kW) elektrik yükü, motorun çalıştığı saat cinsinden süre (h) ve arıtılan toplam atık su miktarı dikkate alınarak 3.1’de verilen formül ile saptanmıştır.

$$E_p = \frac{P \times T}{Q} \quad (3.1)$$

Burada E_p ; kWh/m³ olarak elektrik enerjisini, Q ; toplam atık su debisini (m³/gün), P ; ekipman gücünü (kW) ve T ; bir gün içinde çalışma saatlerini (saat/gün) ifade eder (Singh ve ark. 2012).

3.2.5 Mekanik enerjinin saptanabilmesi için kullanılan veriler

Ölçümlerin gerçekleştirildiği 6 aylık süre içerisinde, herhangi bir elektrik kesintisi yaşanmadığından dizel jeneratör çalışmamıştır. Fakat tesiste oluşan arıtma çamuru atığının sevki sırasında loader kullanıldığından sürekli olarak bir dizel yakıt tüketimi bulunmaktadır. Dizel yakıt miktarlarının belirlenmesi, tesis yetkilileri tarafından kullanılan yakıtın ölçülmesi ile sağlanmıştır.

Mekanik veya yakıt enerjisi; güç kesintilerinde kullanılan jeneratörü çalıştırmak için harcanan dizel yakıtı ve iş makinelerinin kullanılması sırasında tüketilen dizel yakıtı temsil eder. Mekanik enerji 3.2’te ki denklem kullanılarak saptanmıştır.

$$E_{\text{mekanik}} = \frac{10 D}{Q} \quad (3.2)$$

Burada; 10 kWh/L dizel enerji yoğunluğunun değeridir ve 1 L dizelde depolanan enerji miktarını temsil eder. D ise gün içinde tüketilen dizel miktarıdır (Singh ve ark. 2012).

3.2.6 İş gücü enerjisinin saptanabilmesi için kullanılan veriler

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi amacı ile hafta içi saat 08:00 ile 18:00, hafta sonu ise saat 13:00 ile 16:00 saatleri arasında tesiste bulunularak gözlemler yapılmış ve çalışanların gerçekleştirdiği faaliyetler not edilmiştir.

Daha sonra tesis yetkilileri ile görüşülerek, faaliyetlerin gerçekleştirilme sebepleri, aldığı vakitler ve zorluk durumları hakkında bilgi alınarak bu çalışmaya eklenmiştir. Şekil 3.18’de, gerçekleştirilen faaliyetlerden biri olan numune alma işlemi görülmektedir.



Şekil 3.18. Numune alma işlemi

İş gücü enerjisinin tüketimi, operatörlerin cinsiyetlerinin ve gerçekleştirdikleri faaliyetlerin bir fonksiyonudur. Bu hususlara dayanarak, iş gücü enerjisi 3.3’de ki eşitlikle saptanmıştır.

$$E_{\text{iş gücü}} = \frac{\sum_{i=0}^{i=n} \sum_{j=0}^{j=m} E_{ij} N_{ij} T_{ij}}{Q} \quad (3.3)$$

Burada $E_{\text{iş gücü}}$; kWh/m³ olarak iş gücü enerjisini, n; faaliyetlerin cinsini (hafif, orta ve ağır), m; cinsiyeti (erkek, kadın), E; insan gücü eşdeğerini (kW), N; bir aktiviteye katılan kişilerin sayısını ve T; aktiviteye ayrılan toplam süreyi (h/gün) ifade eder (Singh ve ark. 2012).

3.2.7 Kimyasal enerjinin saptanabilmesi için kullanılan veriler

Kimyasal enerjinin belirlenebilmesi için; arıtma tesisinin biyolojik ünitelerinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar ve pH dengeleme amacı ile kullanılan sarf kimyasalları göz önüne alınmıştır.

Biyolojik ünitelerdeki arıtma işleminin gerçekleşebilmesi için, havalandırma havuzlarına üre gübresi ve dap gübresi ilavesi yapılmaktadır. Üre ve dap gübreleri, içeriğindeki N ve P ile havalandırma havuzlarındaki aktif çamur bakterileri için besin oluşturur. Üre ve dap gübreleri, aylık olarak tedarik edilir ve günlük olarak tartılarak havuzlara eklenir. Günlük

tüketimler, operatörler tarafından işletme vardiya formlarına kaydedilir. Dolayısıyla; kimyasal tüketimleri ile ilgili verilere bu kayıtlardan ulaşılmıştır.

Atık su biyolojik arıtma ünitelerine girmeden önce, pH ölçümü gerçekleştirilir ve biyolojik sistem için uygun olmayan pH'a sahip atık suda pH dengeleme işlemi alüminyum sülfat ile gerçekleştirilir. Alüminyum sülfat, aylık olarak tedarik edilir ve günlük olarak tartılarak atık suya dozlanır. Günlük tüketim ise, operatörler tarafından işletme vardiya formlarına kaydedilir. Dolayısıyla; kimyasal tüketimleri ile ilgili verilere bu kayıtlardan ulaşılmıştır.

Kimyasal reaksiyon sırasında, ısı ya serbest bırakılır ya da emilir. Bu enerjiye entalpi denir. Kullanılan kimyasal miktarı, reaksiyonun standart entalpisi yardımıyla kWh/m³ cinsine dönüştürülebilir. Böylece kWh/m³ cinsinden kimyasal enerji (E_c) saptanır (3.4).

$$E_c = \frac{n[\sum \Delta H_p - \sum \Delta H_r]}{Q} \times 0,000278 \quad (3.4)$$

Burada E_c ; kWh/m³ olarak kimyasal enerjiyi, n; günde kullanılan kimyasalların mol sayısını (mol/gün), 0.000278; kJ'den kWh'e dönüşüm faktörünü, ΔH_p ; ürünlerin oluşumunun entalpisini (kJ/mol), ΔH_r ; reaktanların kullanımının entalpisini (kJ/mol) ifade eder (Singh ve ark. 2012).

4. BULGULAR

4.1 Debi Değerleri

Debi değerleri, başta elektrik tüketimi olmak üzere, atık su arıtma tesisindeki enerji tüketimini etkileyen en önemli faktördür.

Debi değerleri, arıtma tesisinin terfi istasyonu girişinde ve deşarj bacası çıkışında konumlandırılmış 2 adet debimetre sayesinde ölçülür. Debimetreler, birer parshall savağı üzerinde bulunur ve ultrasonik okuma ile veri sağlar.

4.1.1 Giren debi değerleri

2017 Eylül ayının başından 2018 Şubat ayının sonuna kadar giren debi değerleri günlük olarak izlenmiş ve Çizelge 4.1’de verilmiştir. Her gün için m³/gün değerleri alınmış ve o ayın ortalaması bu değerlerle belirlenmiştir. 6 aylık ortalama nihai değer ise her ay için belirlenen günlük m³ değerlerinin ortalamasıdır.

Çizelge 4.1. Giren debi değerleri

AYLAR	GİREN DEBİ			
2017 EYLÜL	30 Günlük Ortalama m ³ /gün	2135,23333	64057	EYLÜL m ³ /ay
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	154,990039		
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	2552		
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1816		
2017 EKİM	31 Günlük Ortalama m ³ /gün	1787,45161	55411	EKİM m ³ /ay
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	443,7497		
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	2228		
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	0		
2017 KASIM	30 Günlük Ortalama m ³ /gün	1933,8	58014	KASIM m ³ /ay
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	122,665235		
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	2151		
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1433		
2017 ARALIK	31 Günlük Ortalama m ³ /gün	1966,29032	60955	ARALIK m ³ /ay
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	81,0233712		
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	2125		
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1797		
2018 OCAK	31 Günlük Ortalama m ³ /gün	1914,64516	59354	OCAK m ³ /ay
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	109,590307		
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	2265		
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1555		
2018 ŞUBAT	28 Günlük Ortalama m ³ /gün	1868,78571	52326	ŞUBAT m ³ /ay
	28 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	80,4502318		
	28 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	2027		
	28 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1596		
ORTALAMA 6 AYLIK GİREN DEBİ (m³/gün)		1934,36769		

4.1.2 Çıkan debi değerleri

2017 Eylül ayının başından 2018 Şubat ayının sonuna kadar çıkan debi değerleri günlük olarak izlenmiş ve Çizelge 4.2’te verilmiştir. Her gün için m³/gün değerleri alınmış ve o ayın ortalaması bu değerlerle belirlenmiştir. 6 aylık ortalama nihai değer ise her ay için belirlenen günlük m³ değerlerinin ortalamasıdır.

Çizelge 4.2. Çıkan debi değerleri

AYLAR	ÇIKAN DEBİ		
2017 EYLÜL	30 Günlük Ortalama m ³ /gün	1610,56667	48317 m ³ /ay
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	99,8884989	
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	1770	
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1386	
2017 EKİM	31 Günlük Ortalama m ³ /gün	1388,54839	43045 m ³ /ay
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	344,695269	
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	2024	
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	347	
2017 KASIM	30 Günlük Ortalama m ³ /gün	1491,13333	44734 m ³ /ay
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	102,932578	
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	1721	
	30 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1160	
2017 ARALIK	31 Günlük Ortalama m ³ /gün	1543,22581	47840 m ³ /ay
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	91,2584807	
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	1737	
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1348	
2018 OCAK	31 Günlük Ortalama m ³ /gün	1520,93548	47149 m ³ /ay
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	112,271829	
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	1767	
	31 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1207	
2018 ŞUBAT	28 Günlük Ortalama m ³ /gün	1510,64286	42298 m ³ /ay
	28 Günlük m ³ /gün değerlerinin Standart Sapması	67,7275078	
	28 Günlük m ³ /gün değerlerinin Maksimumu	1666	
	28 Günlük m ³ /gün değerlerinin Minimumu	1358	
ORTALAMA 6 AYLIK ÇIKAN DEBİ (m³/gün)		1510,84209	

Hesaplamalarda kullanılacak günlük debi değerleri; her gün ayrı ayrı okunan sayaç değerlerinin 6 aylık ortalamaları alınarak oluşturulmuştur.

Giren atık su debisinin nihai ortalama ise; ((2135,23 m³/gün) + (1787,45 m³/gün) + (1933,8 m³/gün) + (1966,29 m³/gün) + (1914,64 m³/gün) + (1868,78 m³/gün)) / 6 = 1934,36 m³/gün olarak belirlenmiştir.

Giren atık su debisinin çıkan atık su debisinden fazla olmasının sebepleri ise; ünitelerde gerçekleşen buharlaşma ve arıtma çamuru ile tesisten uzaklaşan nem miktarıdır.

4.2 Kirlilik Değerleri

Tesise ait atık su analiz laboratuvarında; askıda katı madde, kimyasal oksijen ihtiyacı ve pH analizleri yapılmaktadır.

Tesisteki ünitelere ait ortalama kirlilik değerleri Çizelge 4.3'teki gibidir.

Çizelge 4.3. Ünitelere ait kirlilik değerleri

ÜNİTELER ANALİZLER	SEDİMENTASYON GİRİŞ (Eylül 2017 - Şubat 2018 Ortalama Değerler)	SEDİMENTASYON ÇIKIŞ (Eylül 2017 - Şubat 2018 Ortalama Değerler)	HAVALANDIRMA GİRİŞ (Eylül 2017 - Şubat 2018 Ortalama Değerler)	SON ÇÖKTÜRME ÇIKIŞ (DEŞARJ) (Eylül 2017 - Şubat 2018 Ortalama Değerler)
AKM (mg/lt)	11715	430	380	20
KOİ (mg/lt)	18300	3900	3870	120
pH	9,3	7,2	7	6,9

4.3 Enerjinin Saptanması

4.3.1 Elektrik enerjisinin saptanması

Atık su artıma tesisinde tüketilen elektrik enerjisi; her bir ünite de arıtma işleminin gerçekleştirilmesi için farklı sayıda farklı cinsten bulunan mekanik ve elektriksel ekipmanlar tarafından kullanılır. Bu ekipmanlar başlıca; pompalar, motorlar, aeratörler ve karıştırıcılardır. Bu ekipmanlara ek olarak bet filtre de elektrik enerjisi tüketmektedir. Her birinin buldukları üniteler ve kullanım amaçları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Ekipman envanteri

Ekipman Türü	Ekipman Kodu	Bulunduğu Yer	Kullanım Amacı
Pompalar	P1A	Proses Terfi	Prosesten gelen atık suları sedimentasyon tanklarına ileten pompalardır.
	P1B	Tankı	
	P2A	Sedimentasyon	Çöken ve küreme köprüsü tarafından sıyrılan çamuru depoya gönderen pompalardır.
	P2B	Tankları Küreme Köprüleri	

Çizelge 4.4. (devamı) Ekipman envanteri

Ekipman Türü	Ekipman Kodu	Bulunduğu Yer	Kullanım Amacı
Pompalar	PF1	Sedimentasyon Tankları	Sedimentasyon tankı yüzeyinde oluşan çökmemiş elyaf kütlelerinin tazyik ile kırılarak dağılmalarını ve çökmelerini sağlayan pompalardır.
	PF2	Küreme Köprüleri	
	PT1	Sedimentasyon Tankları	Tank temizlikleri sırasında kullanılan pompalardır.
	PT2	Küreme Köprüleri	
	P3	Dengeleme Tankı	Sedimentasyon tankında oluşabilecek fazla debiyi karşılayan ve son çökeltimden çekilen fazla çamurun çamur deposuna alınmasına aracı olan pompadır.
	P4A	Evsel Terfi Tankı	Evsel atık suyu ön temas tankına alan pompadır.
	P4B		
	P5A	Son Çöktürme Tankı	Son çöktürmeden çekilen çamuru; dengeleme tankına, çamur deposuna ve havalandırma havuzuna alan pompalardır.
	P5B		
	P6	Çamur Deposu	Çamur deposuna alınan fiziksel ve biyolojik çamuru bellmere ileten pompadır.
	P7	Bellmer Altı	Press altı süzüntü suyunu sedimentasyon tankına ileten pompadır.
	P8	Deşarj	Pressin elekleri için kullanılan temiz su yerine arıtılmış deşarj suyunu kullanmak için bulunan pompadır.
	DP4	Bellmer Polimer Tankı	Bellmere giren çamurun kuru maddesini yükseltmek amacı ile verilen polimer çözeltisini bellmer girişine dozlamak için kullanılan pompadır.

Çizelge 4.4. (devamı) Ekipman envanteri

Ekipman Türü	Ekipman Kodu	Bulunduğu Yer	Kullanım Amacı
Karıştırıcılar	K1	Çamur Deposu	Çamur deposuna alınan çamurun çökmemesi (dolayısıyla septik koşul oluşmaması) ve bellmere homojen bir çamur basılması amacı ile bulunan karıştırıcılardır.
	K2	Çamur Deposu	
	K3	Bellmer Polimer Tankı	Bellmere dozlanacak polimer çözeltisini hazırlamaya (polimeri suda çözmeye) yarayan karıştırıcılardır.
	K4	Bellmer Polimer Tankı	
Aeratörler	A1	Dengeleme Tankı	Son çöktürme tanklarından, çamur deposuna gönderilmek üzere dengeleme tankına alınan biyolojik çamurun dibe çökmesini engelleyen aeratörlerdir.
	A2	Dengeleme Tankı	
	A3	Havalandırma Havuzları	Havalandırma havuzlarında bulunan bakteri nüfusunun ihtiyacı olan çözünmüş oksijeni sağlayan aeratörlerdir.
	A4		
	A5		
	A6		
	A7		
	A8		
	A9		
	A10		
	A11		
	A12		
Motorlar	M1	Sedimentasyon Küreme Köprüleri	Küreme köprülerinin havuz boyunca hareket etmesini, dolayısıyla tüm havuz boyunca çöken AKMnin kanala alınmasını sağlayan köprüye ait motorlardır.
	M2		

Çizelge 4.4. (devamı) Ekipman envanteri

Motorlar	M3	Son Çöktürme Sıyırıcı Köprüleri	Son çöktürme tanklarında; geri devir çamurunun ve çamur deposuna gidecek biyolojik çamurun tank kenarlarından sıyırılması için bulunan köprünün çalışmasını sağlayan motorlardır.
	M4		
Beltpress	-	Çamur Susuzlaştırma Ünitesi	Çamur deposunda toplanan çamuru kek haline getirmek için kullanılan ünedir.

Çizelge 4.4'teki ekipman envanterinde anlatılan her bir ekipmanın gücü ve gün içerisindeki çalışma saatleri farklı olup bu değerlere göre her bir ekipman için Ep Çizelge 4.5'de saptanmıştır. Saptamalar yapılırken motor verimi % 80 olarak kabul edilmiştir (Singh ve ark. 2012).

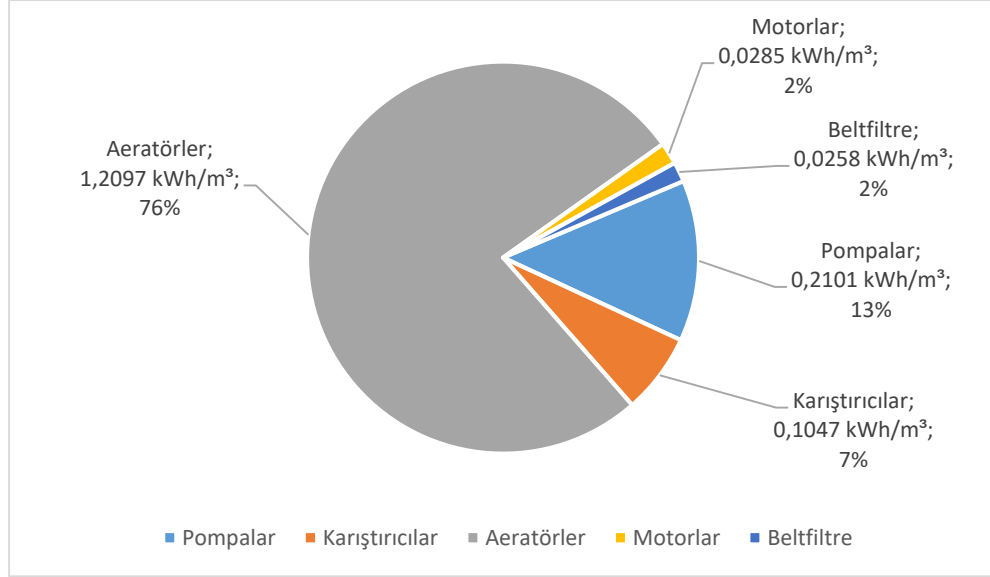
Çizelge 4.5. Her bir ekipman için elektrik enerjisi

Ekipman Türü	Ekipman Kodu	P kW	T Saat/gün	E_p kWh/m ³
Pompalar	P1A	3,1	8	0,0160
	P1B	3,1	8	0,0160
	P2A	1,3	12	0,0101
	P2B	1,3	12	0,0101
	PF1	1,5	2	0,0019
	PF2	1,5	2	0,0019
	PT1	1,3	2	0,0017
	PT2	1,3	2	0,0017
	P3	2,0	4	0,0052
	P4A	3,1	8	0,0160
	P4B	3,1	8	0,0160
	P5A	3,1	8	0,0160
	P5B	3,1	8	0,0160

Çizelge 4.5. (devamı) Her bir ekipman için elektrik enerjisi

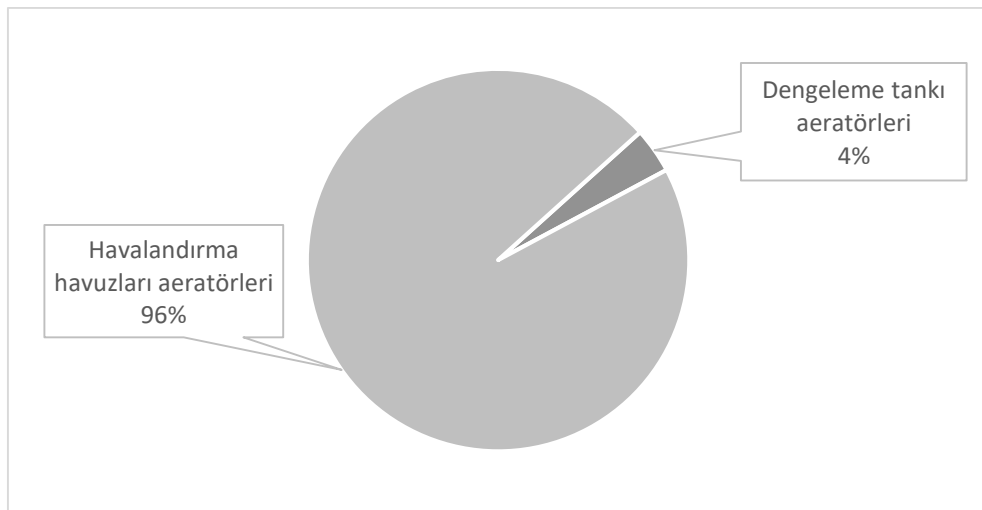
Pompalar	P6	7,5	8	0,0388
	P7	0,37	8	0,0019
	P8	7,5	8	0,0388
	DP4	0,37	8	0,0019
Karıştırıcılar	K1	1,5	24	0,0233
	K2	1,5	24	0,0233
	K3	3	24	0,0465
	K4	0,75	24	0,0116
Aeratörler	A1	3	12	0,0233
	A2	3	12	0,0233
	A3	15	12	0,1163
	A4	15	12	0,1163
	A5	15	12	0,1163
	A6	15	12	0,1163
	A7	15	12	0,1163
	A8	15	12	0,1163
	A9	15	12	0,1163
	A10	15	12	0,1163
	A11	15	12	0,1163
	A12	15	12	0,1163
Motorlar	M1	0,55	24	0,0085
	M2	0,55	24	0,0085
	M3	0,37	24	0,0057
	M4	0,37	24	0,0057
Beltpress	-	4	10	0,0258
TOPLAM Ep				1,5789

Çizelge 4.5'ya göre; her bir ekipmanın ayrı ayrı saptanan elektrik tüketimi toplanmış ve tüm tesis için 1 m³ suyun arıtılması sırasında tüketilen elektrik enerjisi 1,5789 kWh/m³ olarak bulunmuştur. Şekil 4.1'de atık su arıtma tesisinin elektrik tüketim değerlerinin yüzdeler payları verilmiştir.



Şekil 4.1. Elektrik enerjisi tüketiminin dağılımı

Şekil 4.1 incelendiğinde tesiste en fazla elektrik tüketiminin aeratörlerde olduğu görülmektedir. Aeratörler 1 m³ su başına kullanılan 1,5789 kWh/m³ elektrik tüketiminin %76'sını oluşturmaktadır. Tesiste bu %76'lık payı oluşturan 12 adet aeratör vardır. Aeratörlerin enerji tüketimleri incelendiğinde ise %96'sını havalandırma havuzlarında bulunan 10 adet aeratörün oluşturduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Elektrik enerjisi tüketiminde aeratörlerin yeri

Tipik olarak geleneksel bir atık su arıtma tesisinde enerji tüketimine asıl katkıyı sağlayan karışık sıvının havalandırılması %55-70 arasında değişmektedir (Türkmenler 2017). Bir atık su arıtma tesisinde havalandırma sistemleri toplam enerji kullanımının %54' ünü veya daha fazlasını içerebileceğini bildirmişlerdir. 2010'daki çalışma, arıtma tesisleri tarafından tüketilen enerjinin %50-60'ının havalandırma işlemiyle ilgili olduğunu göstermiştir (Saghafi ve ark. 2015). Bu değerlere bakıldığında inceleme konusu tesisin havalandırma işlemlerinde ortalamanın üstünde bir elektrik tüketimi olduğu görülmektedir.

4.3.2 Mekanik enerjinin saptanması

Elektrik kesintisi yaşanması atık su arıtma tesisi için bir acil durumdur. Acil durumlara müdahale edilmemesi ise; biyolojik sistem için gerekli olan oksijeni sağlayan aeratörlerin çalışmaması ve dolayısıyla sistemdeki aktif çamur popülasyonunun yok olması anlamına gelir. Bu sebeple; atık su arıtma tesisinde, yaşanması muhtemel elektrik kesintileri sırasında kullanılmak üzere dizel jeneratör bulunmaktadır.

Ayrıca beltpressten çıkan arıtma çamurlarının bertarafa gönderilmesi için çalışan loader de dizel yakıtlıdır.

Bu faaliyetler göz önüne alınarak mekanik enerji Çizelge 4.6'da saptanmıştır.

Çizelge 4.6. Mekanik enerji

İzleme Aralığı	İzleme Süresi (gün)	Toplam Tüketim (lt)	Ortalama Günlük Tüketim (lt/gün)	Ortalama Günlük Tüketim (lt/gün)	Mekanik Enerji Em
01.09.2017 – 21.09.2017	20	53	2,65	2,44	0,012639153
21.09.2017 – 17.10.2017	26	71,24	2,74		
17.10.2017 – 26.11.2017	40	84,542	2,11		
26.11.2017 – 05.12.2017	9	26,409294	2,93		
05.12.2017 – 10.01.2018	36	77,92884	2,16		
10.01.2018 – 22.01.2018	12	28,25544	2,35		
22.01.2018 – 15.02.2018	24	51,95256	2,16		
15.02.2018 – 28.02.2018	14	34,1194	2,44		

Çizelge 4.6’da verilen tarihler arasında elde edilen değerlerden faydalanılarak belirlenmiş mekanik enerji 0,0126 kWh/m³’tür.

4.3.3 İş gücü enerjisinin saptanması

Çalışmanın gerçekleştirildiği atık su arıtma tesisi herhangi bir otomasyon sistemine sahip değildir. Bu sebeple kirlilik değerlerinin analiz edilmesi, ekipmanların çalıştırılıp durdurulması, sistemin işletilmesi ve ünite temizlikleri gibi birçok işlem iş gücü enerjisi ile (çalışanların beden gücü ile) gerçekleştirilmektedir. İş gücü enerjisinin harcadığı faaliyetler, faaliyetlerin cinsi, faaliyetlere katılan kişi sayısı ve faaliyetlerde harcanan gün içerisindeki zaman dilimi Çizelge 4.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Faaliyet bilgileri tablosu

Faaliyet	Faaliyetin Cinsi (n)	Cinsiyet Sayısı (m)	Faaliyete Katılan Kişi Sayısı (N)	Faaliyete Ayrılan Süre (h/gün) (T)
Terfi Tankı Şamandrasının Kontrolü	Hafif	Erkek	1	0,5
Çamur Deposu Seviye Kontrolü	Hafif	Erkek	1	1
Polimer Çözeltilisinin Hazırlanması	Ağır	Erkek	2	1
Vardiya Defteri ve Raporların Yazılması	Hafif	Erkek	1	0,5
Pompaların Kontrolleri	Ağır	Erkek	2	1
Aeratörlerin Kontrolleri	Ağır	Erkek	2	1
Karıştırıcı Kontrolleri	Ağır	Erkek	2	1
Cihaz Doğrulamaları	Hafif	Erkek	1	1
Numune Alma İşlemleri	Orta	Erkek	1	3
Laboratuvar Cihazlarının Temizliği ve Kontrolü	Hafif	Erkek	1	0,5

Çizelge 4.7. (devamı) Faaliyet bilgileri tablosu

Faaliyet	Faaliyetin Cinsi (n)	Cinsiyet Sayısı (m)	Faaliyete Katılan Kişi Sayısı (N)	Faaliyete Ayrılan Süre (h/gün) (T)
Laboratuvarda Atık Su Analizleri	Orta	Erkek	2	10
Kimyasal Depo Kontrolü	Hafif	Erkek	1	0,5
Debimetre Değerlerinin Alınması	Hafif	Erkek	1	0,5
Giriş Yapılarındaki Izgaraların Temizliği	Ağır	Erkek	2	1
Sedimentasyon Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	2
Evsel Terfi Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	1
Proses Terfi Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	0,5
Nötraliyasyon Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	0,5
Ön Temas Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	1
Havalandırma Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	4
Son Çöktürme Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	3
Beltpressin Temizliği	Ağır	Erkek	1	1
Çamur Deposunun Temizliği	Ağır	Erkek	2	3
Süzüntü Havuzu Temizliği	Ağır	Erkek	2	1

WHO tarafından 1985 yılında yayınlanan insan gücü eşdeğeri tablosu ise Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. kW cinsinden insan gücü eşdeğeri tablosu (WHO 1985)
(Singh ve ark. 2012, Belloir ve ark. 2015)

Veriler	Erkek	Kadın	Aritma tesisindeki faaliyetler
Hafif	0,13	0,10	Su pompasını açıp / kapatmak, kayıt defterini tutmak, motor sıcaklığını kontrol etmek
Orta	0,14	0,11	Çamur boşaltma vanasını açıp / kapatmak, geri yıkama vanalarının çalıştırılması
Ağır	0,54	0,44	Kimyasal çözeltiyi dozlama için hazırlamak, kimyasal çözeltiyi dozlama tankına doldurmak, kurutulmuş çamuru çuvalara yüklemek

Çizelge 4.7’de verilen faaliyet bilgileri ve Çizelge 4.8’de verilen insan gücü eşdeğerleri esas alınarak iş gücü enerjisi Çizelge 4.9’da saptanmıştır.

Çizelge 4.9. İş gücü enerjisi

Faaliyet	Faaliyetin Cinsi n	Cinsiyet Sayısı m	Faaliyete Katılan Kişi Sayısı N	Faaliyete Ayrılan Süre (h/gün) T	İnsan Gücü Eşdeğeri (kW) E	İş Gücü Enerjisi (kWh/m ³) Em
Terfi Tankı Şamandrasının Kontrolü	Hafif	Erkek	1	0,5	0,13	0,00003360
Çamur Deposu Seviye Kontrolü	Hafif	Erkek	1	1	0,13	0,00006721
Polimer Çözeltisinin Hazırlanması	Ağır	Erkek	2	1	0,54	0,00055832
Vardiya Defteri ve Raporların Yazılması	Hafif	Erkek	1	0,5	0,13	0,00003360
Pompaların Kontrolleri	Ağır	Erkek	2	1	0,54	0,00055832
Aeratörlerin Kontrolleri	Ağır	Erkek	2	1	0,54	0,00055832

Çizelge 4.9. (devamı) İş gücü enerjisi

Faaliyet	Faaliyetin Cinsi	Cinsiyet Sayısı	Faaliyete Katılan Kişi Sayısı	Faaliyete Ayrılan Süre (h/gün)	İnsan Gücü Eşdeğeri (kW)	İş Gücü Enerjisi (kWh/m³)
	n	m	N	T	E	Em
Karıştırıcı Kontrolleri	Ağır	Erkek	2	1	0,54	0,00055832
Cihaz Doğrulamaları	Hafif	Erkek	1	1	0,13	0,00006721
Numune Alma İşlemleri	Orta	Erkek	1	3	0,14	0,00021713
Laboratuvar Cihazlarının Temizliği ve Kontrolü	Hafif	Erkek	1	0,5	0,13	0,00003360
Laboratuvarda Atık Su Analizleri	Orta	Erkek	2	10	0,14	0,00144750
Kimyasal Depo Kontrolü	Hafif	Erkek	1	0,5	0,13	0,00003360
Debimetre Değerlerinin Alınması	Hafif	Erkek	1	0,5	0,13	0,00003360
Giriş Yapılarındaki İzgaraların Temizliği	Ağır	Erkek	2	1	0,54	0,00055832
Sedimentasyon Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	2	0,54	0,00111664
Evsel Terfi Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	1	0,54	0,00055832
Proses Terfi Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	0,5	0,54	0,00027916
Nötraliyasyon Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	0,5	0,54	0,00027916
Ön Temas Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	1	0,54	0,00055832
Havalandırma Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	4	0,54	0,00223329
Son Çöktürme Tankının Temizliği	Ağır	Erkek	2	3	0,54	0,00167497

Çizelge 4.9. (devamı) İş gücü enerjisi

Faaliyet	Faaliyetin Cinsi	Cinsiyet Sayısı	Faaliyete Katılan Kişi Sayısı	Faaliyete Ayrılan Süre (h/gün)	İnsan Gücü Eşdeğeri (kW)	İş Gücü Enerjisi (kWh/m³)
	n	m	N	T	E	Em
Beltpressin Temizliği	Ağır	Erkek	1	1	0,54	0,00027916
Çamur Deposunun Temizliği	Ağır	Erkek	2	3	0,54	0,00167497
Süzüntü Havuzu Temizliği	Ağır	Erkek	2	1	0,54	0,00055832
Toplam Em						0,01397097

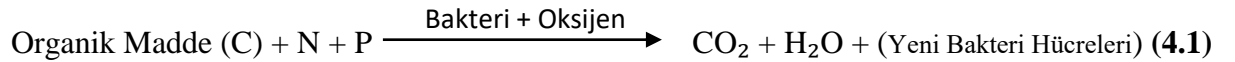
Her bir faaliyet için ayrı ayrı saptanan iş gücü enerjileri toplanarak tesis geneli için harcanan iş gücü enerjisi 0,0139 kWh/m³ olarak bulunmuştur.

4.3.4 Kimyasal enerjinin saptanması

Tesis için kimyasal enerjinin saptanması gereken başlıca iki reaksiyon bulunmaktadır. Reaksiyonun biri atık sudaki kirliliğin (karbonlu bileşiklerin) besin (N, P) ve oksijen yardımı ile bakteriler tarafından arıtılması sırasında gerçekleşen reaksiyon; diğeri ise, pH dengeleme sırasında kullanılan alüminyum sülfat çözeltilisine ait reaksiyondur.

4.3.4.1 Biyolojik arıtma reaksiyonları kimyasal enerji saptaması (Ec₁)

Tesisin biyolojik arıtma ünitelerinde, aktif çamur bakterileri tarafından gerçekleştirilen arıtma işleminin temel denklemi 4.1’de verilmiştir.



Tesise 1 günde giren atık sudaki organik bileşiklerde, yaklaşık 100 kg/gün C atomu bulunmaktadır. Reaksiyonun gerçekleştirilebilmesi için ise, atık suya günde 50 kg üre gübresi (CH₄N₂O), 10 kg ise DAP gübresi ((NH₄)₂HPO₄) eklenmektedir.

(ΔHr) Reaktanların kullanım entalpisinin (kJ/mol) belirlenmesi Çizelge 4.10’da verilen enerji eşdeğerleri dikkate alınarak saptanmıştır.

Reaktanlar;

C: atomun oluşum entalpisi olmaz

N: üre gübresi

P: DAP gübresi

Çizelge 4.10. Kimyasal gübrelerin enerji eşdeğerleri (Baran ve Karaağaç, 2014)

Kimyasal Gübreler	Enerji Eşdeğeri (MJ/kg)
N	45
P	8

$$E_{c_1} = -0,335 \text{ kWh/m}^3$$

4.3.4.2 pH dengeleme sırasında harcanan kimyasal enerjinin saptanması (E_{c_2})

Atık suyun pH'ının 9'dan yüksek olduğu durumlarda; pH dengelemek amacı ile suya alüminyum sülfat ilavesi yapılır. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 'ün oluşum entalpisi -3440 kJ/mol 'dür.

Tesiste veri toplama dönemi boyunca, atık suda herhangi bir pH değişimi yaşanmadığı için alüminyum sülfat kullanımı olmamıştır. Fakat bu hesabın yapılabilmesi amacı ile geçmiş yılların tüketim rakamlarına ulaşılmış ve 2017 yılında ortalama $1130 \text{ kg Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanıldığı görülmüştür. (Tesis yetkilileri tarafından, 2017 yılında karton üretimi sırasında kullanılan hammaddenin değişmesinden dolayı bu tüketimin olduğu paylaşılmıştır.) Bu değer giren ortalama atık su değerine oranlandığında $0,002 \text{ kg/m}^3$ atık su verisine ulaşılır.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanımının entalpisi (kJ/mol) (Anonim 2019).

pH dengeleme sırasında harcanan kimyasal enerji - $0,0183 \text{ kWh/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

Toplam kimyasal enerji hesabı (E_c)

$$\sum E_c = E_{c_1} + E_{c_2} = (-0,335) + (-0,0183) = -0,3533 \text{ kWh/m}^3$$

Biyolojik sistemin arıtma işlemini gerçekleştirmesi esnasında harcadığı kimyasal enerji (E_{c_1}) ve pH dengeleme işlemi sırasında harcanan kimyasal enerji (E_{c_2}) olmak üzere tesiste tüketilen toplam kimyasal enerji; $0,3533 \text{ kWh/m}^3$ 'tür.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

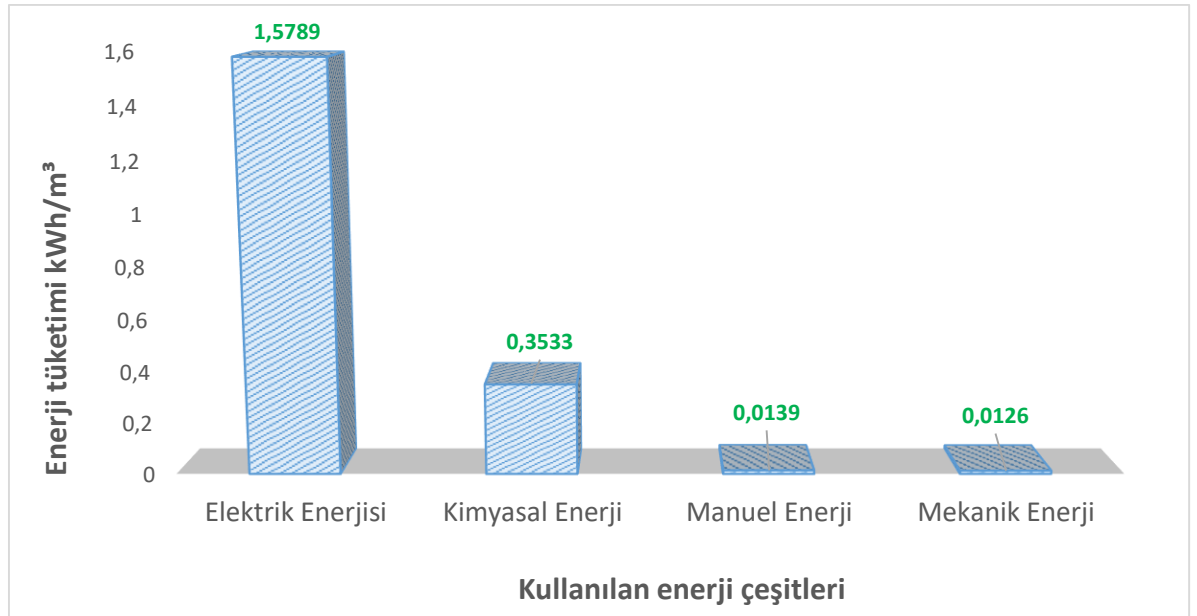
Yüksek enerji tüketimi, enerji geri kazanımı, ekipman ve proseslerde enerji verimliliğine yönelik uygulamalar ve enerji maliyeti yönetimi konularının önemi ve enerji optimizasyon çalışmalarının atık su arıtma tesislerinde uygulanmaya başlamasına neden olmuştur. Bir atık su arıtma tesisinin enerji tüketimi bulunduğu kentteki nüfus, endüstriyel atık sular, nüfus artışı, deşarj kriterleri gibi farklı parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Enerji kullanımını azaltıcı çalışmalar da tesislerde enerji maliyetlerini düşürdüğünden dolayı önemlidir. Bu sebeple, tesislerin enerji tüketimleri konusunda yorum yapabilmek ve önerilerde bulunmak için ilk olarak tesislerin mevcut durum ve işleyişlerinin bu açıdan incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmaya konu olan atık su arıtma tesisinin günlük rutinleri ve gerçekleştirilen faaliyetler gerçek veriler ile ortaya konmuş ve enerji; elektriksel, mekanik, iş gücü ve kimyasal olarak ayrı ayrı saptanmıştır.

Sonuç olarak toplam harcanan enerji; $1,9587 \text{ kWh/m}^3$ olarak bulunmuş ve Şekil 5.1 ve 5.2’de enerji tüketimlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

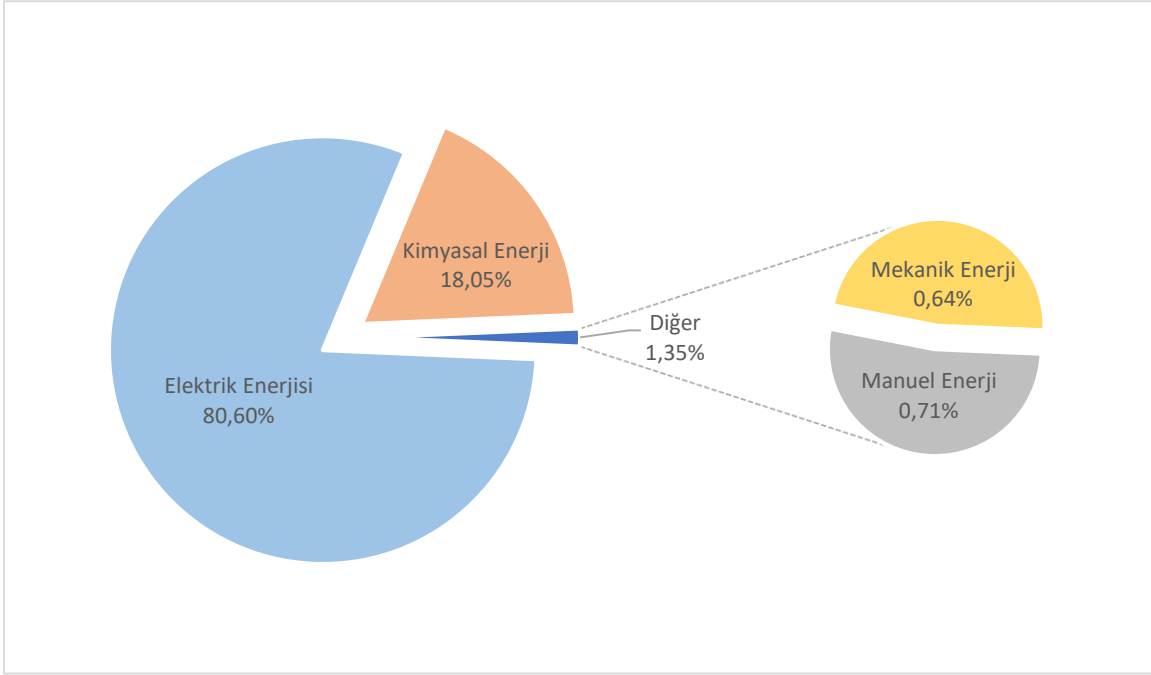
Tüketimler ise, sırasıyla;

- 1- Elektrik enerjisi $1,5789 \text{ kWh/m}^3$
- 2- Mekanik enerji $0,0126 \text{ kWh/m}^3$
- 3- İş gücü enerjisi $0,0139 \text{ kWh/m}^3$
- 4- Kimyasal enerji $0,3533 \text{ kWh/m}^3$

olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Enerji tüketimlerinin kWh/m³ cinsinden karşılaştırmalı gösterimi



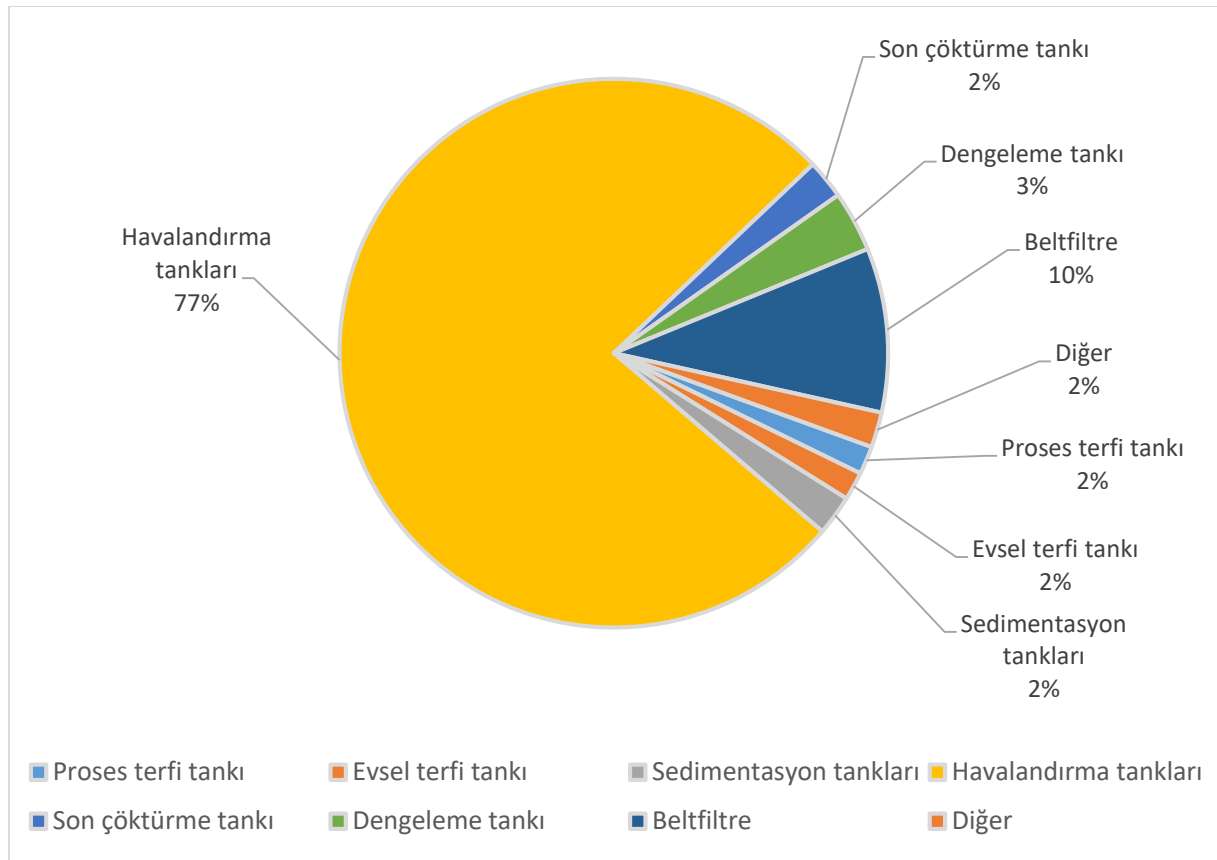
Şekil 5.2. Enerji tüketimlerinin yüzde dağılımları

Atık su arıtma tesislerinin enerji tüketimlerinin dünya ortalamasına bakıldığında; değerlerin 0,079 ile 1,122 kWh/m³ arasında değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni, tüm atık su arıtma tesislerinin aynı seviyede arıtma, atık kalitesi standardı, proses teknolojisi, çalışan deneyimi vb. sahip olmamasıdır. Dünya çapında yaygın teknoloji, aktif çamur sistemidir ve yazarlar tarafından belirtilmediğinde, bunun benimsenen süreç olduğu anlaşılmaktadır (Wakeel ve ark. 2016). Yaptığımız çalışmada tespit ettiğimiz enerji tüketim değeri dünya ortalamasının üstündedir. Ayrıca; geleneksel bir atık su arıtma tesisinde işletme maliyetlerinin %25-40'ının enerji tüketiminden kaynaklandığı literatürden ve yönetsel tecrübelerden bilinmektedir. Bu değer, arıtılan atık suyun m³'ü başına yaklaşık olarak 0,3-2,1 kWh aralığında değişmektedir (Türkmenler 2017). Bu projeye konu olan atık su arıtma tesisi tüketim açısından üst sınıra yakındır.

Sing ve ark. (2012)'de yaptığı bir çalışmada enerji; elektrik, mekanik, iş gücü ve kimyasal olarak sınıflandırılarak yapılmış ve atık su arıtma tesisin toplam enerji tüketimi 1.046 kWh/m³ olarak bulunmuştur. Tesisimizdeki enerji tüketimi bu çalışma ile karşılaştırıldığında enerji tüketimimizin 1,87 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

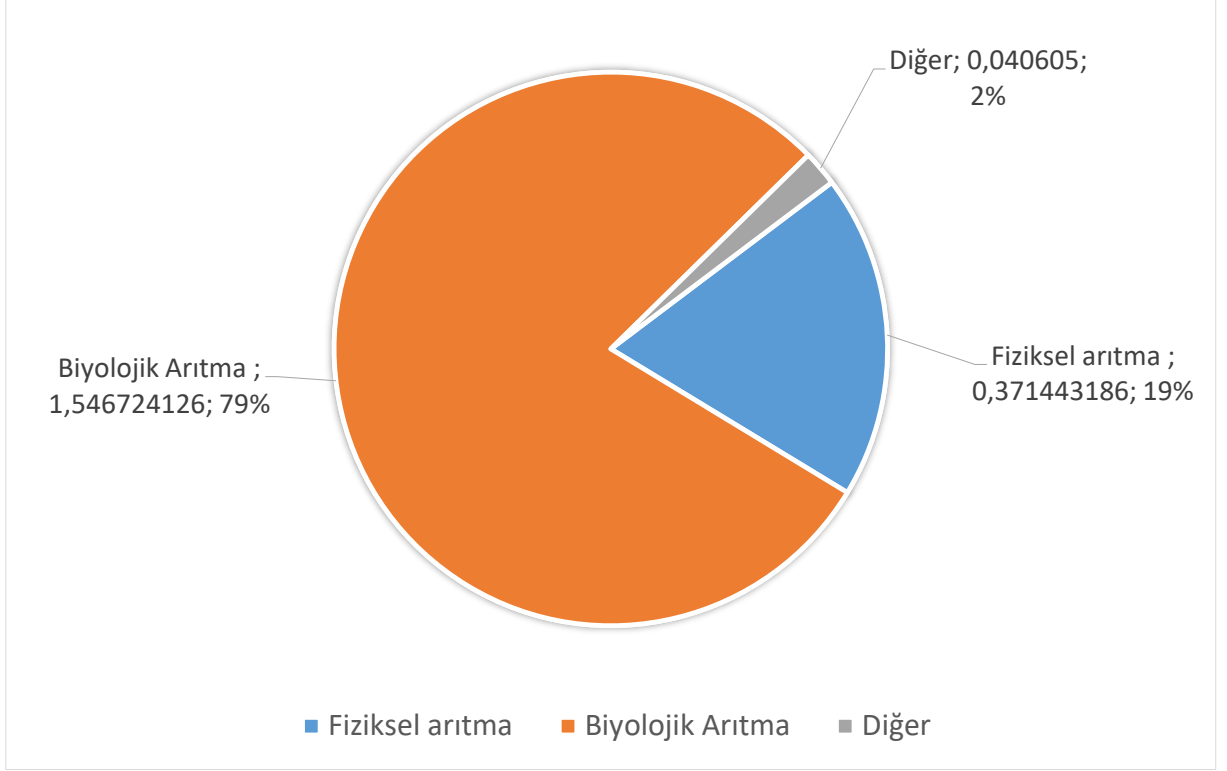
Belloir ve ark. (2015)'te yaptığı çalışmaya göre ise enerji tüketimi 3,3 kWh/m³ olarak bulunmuştur. Bu çalışmaya göre ise 1,68 kat daha az enerji tükettiğimiz sonucuna ulaşılmıştır. Bu farklılıkların arıtma tesislerinin proses farklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Atık su arıtma tesisindeki enerji tüketimlerinin bölüm bazında dağılımı Şekil 5.3'te verilmiştir. Havalandırma tanklarında ki aeratörlerin elektrik tüketimlerinin, aeratör enerji tüketimindeki % 96'lık paya sahip olması sebebiyle enerji tüketiminde % 77' lik pay ile en çok enerjinin havalandırma tanklarında harcandığı tespit edilmiştir. Çamur susuzlaştırma sürecine ait olan beltpress de ise elektrik, mekanik ve iş gücü enerji çeşitlerinin tüketiliyor olması sebebiyle enerji tüketiminde % 10'luk paya sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 5.3. Süreç bazında enerji tüketiminin bölüm dağılımı

Çalışmaya konu olan atık su arıtma tesisinde uygulanan arıtma 2 yöntem mevcuttur. Bunlardan birincisi fiziksel arıtma ikincisi ise biyolojik arımadır. Bu çalışmada elde edilen veriler sonucunda tesisin arıtma yöntemlerine göre enerji tüketim değerleri Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Arıtma yöntemlerinin enerji tüketim karşılaştırması

Tesisin Fiziksel Arıtma ünitelerinde 6 ay boyunca elde edilen veriler sonucunda belirlenen ortalama tüketim $0,37145 \text{ kWh/m}^3$ 'tür. Fiziksel arıtma prosesinde enerji tüketimine sebep olan üniteler; evsel ve proses terfi tanklarında bulunan pompalar ve tanklarda gerçekleştirilen iş gücü harcanan işlemler, dengeleme tankı pompaları, sedimentasyon tanklarına ait gezer küreme köprüleri ve pompalar ile tanklarda gerçekleştirilen iş gücü harcanan işlemler ve çamur susuzlaştırılan beltpresstir.

Biyolojik arıtma ünitelerinde ise; havalandırma havuzları, çöktürme havuzları, nötralizasyon tankı tesisin temel tüketimini oluşturmaktadır. Biyolojik arıtma prosesinde ortalama $1,5468 \text{ kWh/m}^3$ enerji tüketimine sebep olmaktadır.

Bu çalışmanın sonucunda, yukarıda belirtilen hususlar ek olarak 2017 Eylül – 2018 Şubat döneminde;

- Üretimde kullanılan temiz su ortalama; $65.662 \text{ m}^3/\text{ay}$
- Atık su arıtma tesisine gelen atık su ortalama; $58.352 \text{ m}^3/\text{ay}$
- Üretilen karton ortalama; 7.908 ton/ay
- 1 ton karton üretimi için ortalama $8,30 \text{ m}^3/\text{ton}$ temiz su harcandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Dolayısıyla; 1 ton karton üretiminde harcanan 8,30 m³ suyu arıtmak için; 16,2635 kWh/ton enerji harcandığı tespit edilmiştir. Atık suyu arıtmak için kullanılan enerjinin maliyeti ise 28.008,96 TL olarak saptanmıştır.

Enerji tüketimlerinin değerlendirilmesi sonucunda tesiste aşağıda verilen önerilerin enerji verimliliği anlamında optimizasyon sağlayacağı öngörülmektedir.

Tesisin kurulumunun üzerinden 19 yıl geçmiştir ve bu süre içerisinde tesise herhangi bir yatırım yapılmadığı görülmüştür. Bu sebeple; tesisin kurulum aşamasında temin edilmiş olan 15 kW gücündeki aeratörlerin yeni teknoloji ve düşük enerji tüketimine sahip olan aeratörler ile yenilenmesi önerilmektedir. %80 verimle çalışan 10 adet havalandırma tankı aeratörlerinin toplam enerji tüketimleri 1,1632 kWh/m³'tür. Mevcut aeratörlerin yüksek verimli aeratörlerle revize edilmesi durumunda toplam enerji tüketimlerinin 1,0270 kWh/m³ olacağı yapılan hesaplar sonucunda görülmüştür. Havalandırma tanklarındaki 10 adet aeratörün yüksek verimli aeratörlerle revize edilmesi durumunda 1 m³ suyun arıtılması için harcanan enerjiden 0,1362 kWh/m³ tasarruf edilebilmektedir. Bu durumda aylık atık su artıma tesisinin toplam enerji maliyeti 28.008,96 TL'den 26.586,63 TL'ye düşmektedir ve aeratörlerin değiştirilmesiyle ayda 1.986,88 TL tasarruf edilebilmektedir.

1 ton karton üretimde kullanılan 8,30 m³ temiz su, tesisin işletme süreçlerinde yapılacak düzenlemelerle (örneğin işletmede kullanılan suyun atık su artıma tesisine gönderilmeden önce tesis içinde yeniden kullanılmasıyla) 6 m³ suya düşürülürse aylık temiz su tüketimi 65.622 m³'ten 47.448 m³'e düşürülebilir ve 18.174 m³ su tasarrufu sağlanabilir. Dolayısıyla atık su artıma tesisine gelen atık suda bu oranda düşecektir. 1 ton karton üretimi için 6 m³ temiz su kullanıldığında atık su arıtma tesisine gelen aylık atık su miktarı ortalama 42.162,72 m³ olacaktır. Aylık atık su artıma enerji maliyeti ise aeratörler yenilenmez ise 20.647,49 TL, aeratörler yenilenir ise 19.736,19 TL olacaktır. Dolayısıyla aeratörlerde gerçekleştirilecek doğru yatırımlar ve su tüketiminin azaltılması enerji tüketimini ve maliyeti olumlu yönde etkilenecek olup ayda 8.837,32 TL tasarruf sağlanabilir.

6 aylık saha izleme döneminde, arıtma tesisinde çalışan personellerin uzun yıllardır tesiste görev yapan tecrübeli çalışanlar olduğu görülmüştür. Tecrübeli çalışan faktörü birçok açıdan faydalı olmakla birlikte; laboratuvar çalışması sonuçları ve teknik veriler yerine sezgi ve tecrübelerden faydalanarak işletilen tesislerde enerjinin gereksiz kullanımını noktasında negatif etkiler yaptığı da bir gerçektir.

Karton prosesi gereği, tesise gelen atık su içerisinde biyolojik arıtma sistemine besin oluşturacak organik maddeler azdır ve bu sebeple biyolojik arıtma prosesindeki aktif çamur bakterileri için besin yetersizliği yaratmaktadır. Dolayısıyla tesiste besin amacı ile ekstra kimyasal tüketime bulunmaktadır ve bu durum kimyasal enerji tüketimini arttırmaktadır. Üretim prosesinde kullanılan yardımcı kimyasal maddelerin gözden geçirilmesi ve organik içerikli kimyasallar kullanımı atık sudaki besin miktarını arttıracaktır. Ek olarak; atık suya besin oluşturabilecek evsel nitelikli atık suların biyolojik arıtma sistemine kabul edilmesi önerilebilir.

Projeye konu olan atık su arıtma tesisinde, herhangi bir otomasyon sistemi bulunmamaktadır ve bu sebeple beden gücünün ön plandadır. Otomasyon sistemlerinin artırılması sonucunda iş gücü enerjisinin azalacağı öngörülmektedir.

Tüm bu önerilerin hayata geçirilmesi için; atık su arıtma tesisleri alanında faaliyet gösteren mühendislik firmalarından etkin ve verimli enerji kullanımı konusunda destek alınmasının faydalı olacağı düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- Ali M, Srekrishnan TR (2001). Aquatic Toxicity From Pulp and Paper Mill Effluent: A Review. *Advances in Environmental Research*, 5, 175-196.
- Anonim (2019). Kimyasal Tepkimeler ve Enerji. <https://www.islamidavet.com/kutuphane/2011/05/31/kimyasal-tepkimeler-ve-enerji/> (erişim tarihi, 07.05.2019).
- Anonim (2005). DR 2800 Spectrophotometer Working Procedures. Hach Lange, 559, Germany.
- Anonim (2006). Termoreaktör LT 200 Kullanım Kılavuzu. Hach Lange, 36, Almanya.
- Anonim (2008). pH 3210 Operating Manuel. Wissenschaftlich Technische Werkstätten GmbH, 68, Germany.
- Aynur Z (2014). Atık Su Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baran MF, Karaağaç HA (2014). Kırklareli Koşullarında İkinci Ürün Ayçiçeği Üretiminde Enerji Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 1(2): 117–123
- Belloir C, Stanford C, Soares A (2015). Energy Benchmarking in Wastewater Treatment Plants: the Importance of Site Operation and Layout. *Environmental Technology*, 36: 260-269.
- Doğan E, Aydın C, Mert B, Narcı A, Kılınçoğlu Ö, Durna E, Akbacak U (2017). Kağıt Endüstrisi Atık Sularının Yeniden Kullanımında Uygun Nanofiltrasyon Membranların Belirlenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(3): 279.
- Droste RL, Gehr RL (1996). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. Wiley Publishing Company, 957, Canada.
- Dumlu L (2014). Kağıt Endüstrisi Atık Sularına Uygun Arıtma Teknolojilerinin Belirlenmesi ve Türkiye'deki Mevcut Durumun Analizi. Uzmanlık Tezi, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Su ve Toprak Yönetimi Daire Başkanlığı, Ankara.
- Friedrich E, Pillay S, Buckley CA (2008). *Environmental Life-Cycle Assessments for Water Treatment Processes a South African Case Study of an Urban Water Cycle*.
- Horne AJ, Jasper JT, Nguyen MT, Jones ZL, Ismail NS, Sedlak DL, Sharp JO, Luthy RG ve Nelson KL (2013). Unit Process Wetlands for Removal of Trace Organic Contaminants and Pathogens from Municipal Wastewater Effluents. *Environmental Engineering Science, Reinventing Urban Water Infrastructure*, 30: 8.
- Kılınç Ö (2017). Atık Su Arıtımının Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Köken E, Büyükkamacı N (2010). Kağıt Endüstrisi Atık Su Arıtma Tesislerinde Çamur İşleme Ünitelerinin Toplam Maliyete Etkisi. *İtü Dergisi*, 20: 66.
- Olsson G (2012). *Water and Energy Threats and Opportunities*. IWA Publishing, 465 p, London.
- Özçelep BZ (2009). Kağıt Endüstrisi Atık Sularının Membran Prosesleriyle İleri Arıtımı. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Saghafi S, Mehrdadi N, Hendy GNB ve Rad HA (2015). Energy Efficiency in Wastewater Treatment Plant Emphasizing On Cod Removal: A Case Study Of Amol Industrial

Zone, Iran, Canadian Journal of Pure and Applied Sciences Vol. 9, No. 2, pp. 3441-3448, June 2015

- Singh P, Carliell-Marquet C, Kansal A (2012). Energy Pattern Analysis of a Wastewater Treatment Plant. *Appl Water Sci*, 2: 221-226.
- TS EN 872, Su Kalitesi- Askıdaki Katı Maddelerin Tayini- Cam Elyaf Süzgeçler Kullanılarak Süzme Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2007, 10.
- Türkmenler H (2017). Atık Su Arıtma Tesislerinde Enerji Verimliliği. *Politeknik Dergisi*, 20 (2): 498.
- Wakeel M, Chen B, Hayat T, Alsaedi A, Ahmad B (2016). Energy Consumption for Water use Cycles in Different Countries: A review, *Applied Energy* 178: 868–885.
- WEF (1997). Energy Conservation in Wastewater Treatment Facilities Manual of Practice, Water Environment Federation, 1–142, Alexandria, USA.
- WHO (1985). World Health Organization. Energy and protein requirements.
- Yakut A (2012). Geri Dönüştürülebilir Kullanılmış Kağıttan Yeni Kağıt Üretiminin İrdelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 127: 68 - 75.
- Yarar M (2009). Wastewater Reuse and Water Optimisation at the Pulp and Paper Industry. MSci. Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Büşra YARAR 1993 yılında Tekirdağ'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Tekirdağ'da tamamladı. 2011 yılında Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı ve 2016 yılında mezun oldu. Mezuniyetinin ardından aynı yıl Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans eğitimine, 2017 yılında ise bir Karton Fabrikasında Sağlık, Emniyet, Çevre Uzmanı olarak çalışma hayatına başlamıştır. C sınıfı iş güvenliği uzmanlık yetki belgesine sahiptir ve 07.02.2019 tarihinde İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü yüksek lisans eğitiminden mezun olmuştur.