

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSU ARITMA TESİSİNİN
ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebubekir AKKOYUN

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

OCAK 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSU ARITMA TESİSİNİN
ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ebubekir AKKOYUN
(301081009)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mahmut ALTINBAŞ

OCAK 2020

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301081009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ebubekir AKKOYUN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSU ARITMA TESİSİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mahmut ALTINBAŞ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Sema AKYIL ERENTÜRK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Burak DEMİREL
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : 27 Aralık 2019
Savunma Tarihi : 20 Ocak 2020

Eşime ve kızıma,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında kendi disiplinimin biraz dışında olan bir bölümde tez yaparak kendimi geliştirmeyi düşünmüştüm. Çevre Mühendisliği ile ilgili olan bir konuda araştırma yapmak projenin başında bana korkutucu gelmişti. Ancak ders sırasında öğrendiğim bilgiler hep ilgilmi çektiğinden bu konuda bir çalışma yapmayı tercih etmiştim. Enerjinin bir kolu olan atıklardan biyogaz üretimi bana çok çekici geldi. Ülkemize katkısı olan bir enerji kolu olarakta parlayan bir sektör. Bu yeni konuda bana hep destek olan, tez çalışmam boyunca yardımını ve bilgisini benden esirgemeyen, her zaman sabırla anlatan Sayın Doç. Dr. Mahmut Altınbaş'a teşekkürü borç bilirim.

Ocak 2020

Ebubekir Akkoyun
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Konusu ve Amacı.....	1
1.2 Tezin Kapsamı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Süt Endüstrisi Atıksu Karakterizasyonu	3
3. SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSU ARITMA TESİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	9
3.1 Atıksu Arıtma Tesisi Tasarım Değerleri	9
3.2 Tesis Atıksu Özellikleri.....	9
3.3 Mevcut AAT	12
3.3.1 Fiziksel arıtma kademesi.....	12
3.3.2 Anaerobik arıtma kademesi	13
3.3.3 Aerobik arıtma kademesi	19
3.3.4 Çamur Yoğunlaştırma Birimi	19
3.3.5 Katı atık ve çamur çürütücüsü	20
3.3.6 Çamur susuzlaştırma sistemi.....	20
3.3.7 Biyogaz depolama, arıtma ve kojenerasyon sistemi	20
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
5. ATIKSU ARITMA TESİSİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ ...	25
5.1 Anaerobik Arıtma Kademesi.....	28
5.2 Anaerobik Reaktör İşletme Problemleri.....	33
5.3 Aerobik Arıtma Kademesi	36
6. EKONOMİK ANALİZ.....	39
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR	43
ÖZGEÇMİŞ.....	45

KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	: Askıda Katı Madde
AKR	: Ardışık Kesikli Reaktör
BOİ₅	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
COD	: Chemical Oxygen Demand
DAF	: Dissolved Air Flotation
EGSB	: Expanded Granular Sludge Bed Digestion
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
SS	: Suspended Solid
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TKM	: Toplam Katı Madde
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
TOK	: Toplam Organik Karbon
TP	: Toplam Fosfat
TUKM	: Toplam Uçucu Katı Madde
VSS	: Volatile Suspended Solids
WWTP	: Waste Water Treatment Plant

SEMBOLLER

Ca	: Kalsiyum
Co	: Kobalt
Cd	: Kadmiyum
Cu	: Bakır
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
S	: Kükürt
Zn	: Çinko

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Süt endüstrisi atıksuyu karakteristiği (Farizoğlu ve Uzuner, 2011).....	3
Çizelge 2.2 : Örnek bir süt endüstrisi atıksuyundaki bazı elementlerin konsantrasyonları (Demirel ve diğ., 2004).	3
Çizelge 2.3 : Süt endüstrisi atıksularının arıtımında tek kademeli havasız filtrelerin verimleri.....	4
Çizelge 2.4 : Süt endüstrisi atıksuları için anaerobik arıtma verimleri (Rajesh ve diğ., 2008).....	6
Çizelge 2.5 : Süt ürünleri endüstrisi atıksularının anaerobik arıtımı ile ilgili çalışma sonuçları.....	7
Çizelge 2.6 : Süt endüstrisi atıksularının anaerobik/aerobik arıtma verimleri.	8
Çizelge 3.1 : Arıtma tesisinin tasarımına esas atıksuyun miktarı ve özellikleri (AAT İşletme Kitapçığı, 2013).	9
Çizelge 5.1 : AAT performans değerlendirmesi.....	26
Çizelge 5.2 : AAT'nin gaz hattı performans değerlendirmesi.....	27
Çizelge 5.3 : Anaerobik besleme havuzunda yapılan mikroelement analiz sonuçları.	34
Çizelge 5.4 : Anaerobik biyokütle için gerekli mikro elementler ve konsantrasyonları.	35
Çizelge 5.5 : SKKY KOİ Deşarj limitleri.....	36
Çizelge 6.1 : AAT'nin enerji üretim analizi.	39
Çizelge 6.2 : AAT'nin ekonomik analizi.....	40
Çizelge 7.1 : AAT'nin anaerobik reaktör sonrası net enerji üretimi.	41

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : 328 günlük ölçümde AAT'ne gelen ham atıksuyun KOİ değişimi.....	10
Şekil 3.2 : AAT'ne gelen ham atıksuyun KOİ'ye göre eklenik ihtimal dağılımı.....	10
Şekil 3.3 : AAT'ne gelen ham atıksuyun KOİ yükü değişimi.....	11
Şekil 3.4 : AAT'ne gelen ham atıksuyun pH değişimi.....	11
Şekil 3.5 : AAT'ne gelen ham atıksuyun pH'ya göre eklenik ihtimal dağılımı.....	12
Şekil 3.6 : AAT akış şeması.	14
Şekil 5.1 : Anaerobik Reaktördeki KOİ giderim verimi ve çıkış KOİ konsantrasyonunun zamana göre değişimi.	28
Şekil 5.2 : Anaerobik reaktördeki ortalama biyokütle konsantrasyonları.	29
Şekil 5.3 : Degazör ünitesine giren anaerobik reaktör çıkışında çamur hacim indeksi değerlerinin eklenik ihtimal grafiği.	30
Şekil 5.4 : Anaerobik reaktöre yapılan organik madde yükleme hızları.	30
Şekil 5.5 : Anaerobik reaktörde Uçucu Yağ Asitinin zamana göre değişimi.	31
Şekil 5.6 : Anaerobik Reaktörde oluşan biyometan debisinin zamana göre değişimi.	31
Şekil 5.7 : Anaerobik Reaktörde oluşan biyogazın bileşimi.....	32
Şekil 5.8 : Kojenerasyon tesisinde üretilen elektrik enerjisi miktarları.....	32
Şekil 5.9 : Anaerobik çökeltim havuzunda uygulanan yüzeysel hidrolik yüklerin değişimi	33
Şekil 5.10 : Aerobik Reaktördeki giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.	37

SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSU ARITMA TESİSİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada bir süt tesisinin atıksu arıtma sistemi detaylı olarak incelenmiştir. İncelenen tesis geleneksel aerobik arıtma sisteminden anaerobik arıtma sistemine iyileştirmeler yapılarak geliştirilmiştir. İyileştirmeler sonrası enerji üreten bir tesis haline gelmiştir. Çalışmada özellikle atıksu arıtma tesisi içerisindeki üniteler incelenmiş ve tesisin işletme esnasında karşılaşılan problemleri analiz edilerek metodolojik yöntemlerle bulunması amaçlanmıştır. Tesisin akış şeması çıkarılarak tesis seçim kriterleri incelenmiş ve incelemeler sonucu anaerobik reaktördeki tasarım kriterleri ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Süreç olarak iyileştirmelerden biri olan anaerobik kontak reaktörü sayesinde atıksuyun sistem çıkışında KOİ giderimi yasal sınırların altında kaldığı gözlenlenmiştir. Sistemdeki proses akışına göre reaktörler ve önemli görülen yerler üzerinden numuneler alınmış, numuneler laboratuvar ortamında analiz edilmiştir. İncelemeler sonucunda tesiste iyileştirme öncesinde kullanılan geleneksel aktif çamur tesisine ilave yapılan anaerobik temas reaktörü kendi giriş ve çıkış atıksu KOİ giderim etkinliği 328 günlük izleme sonucunda saptanmaya çalışılmıştır. Detaylı laboratuvar analizleri sonucu reaktör giriş çıkış arasındaki atıksuyun KOİ giderim oranı % 84 olarak bulunmuştur. Atıksu KOİ konsantrasyonu zamanın % 85’inde 650 mg/L’nin altında olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda anaerobik temas reaktöründe biyokütleyi temsilen ölçülen AKM ve UAKM kademeli olarak 6000 mg/L ‘ye yükselmiştir. Bu değerin yükselme sebepleri irdelenmiş bununla birlikte yapılan analizler sırasında biyokütleyi anaerobik reaktörde tutmanın zor olduğu görülmüştür. Buna ilave olarak ikinci aşama olan aerobik biyolojik konvansiyonel (aktif çamur) sisteminin atık KOİ konsantrasyonu, zamanın %85’inde 47 mg/L ‘in altında olduğu tespit edilmiştir. Anaerobik çamur çürütücüsünden çıkan sıvı doğrudan gübre olarak kullanılması mümkün olup ayrıca tesiste yer alan dekantör ile katı sıvı ayrımının yapılması da mümkündür. Santrifüj dekantör ile ayrıştırılan çamurun sıvı kısmı atık aktif çamur sistemine devirdaim edilerek atıksu olarak işlem görmektedir. Anaerobik reaktörden elde edilen biyogaz içten yanmalı gaz motorları ile yakıldıktan sonra ısı ve elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bu kapsamda gaz motoru kısmındaki verim artışı incelenmiş ve 26400 kWh/gün elektrik enerjisi üretmek mümkün olduğu tespit edilmiştir. Tesisin sadece aerobik sistem var iken işletme maliyeti ile yeni anaerobik sistem kurulduktan sonraki işletme maliyetleri ekonomik açıdan değerlendirilmiş ve yatırımın geri dönüş süresi hesaplanmıştır.

ENERGY-EFFICIENT UPGRADING OF A LARGE DAIRY INDUSTRY WASTE WATER TREATMENT PLANT

SUMMARY

In this study, wastewater treatment system of a large dairy plant was investigated. The investigated plant is an upgraded facility with improvements from the traditional aerobic treatment system to the anaerobic treatment system. After the improvements, it has become an energy producing facility.

In WWTP, firstly, investigations were made and the process was tried to be understood. Appropriate sample points for wastewater analysis were identified with the process inspection. The existing sampling points of the facility are investigated in the literature. By examining the studies on this subject previously, it has been observed that the sampling points are correct. While examining the studies in the literature, the methodology of the measurement of dairy industry wastewaters was investigated in the early stages of the study. During the research, it was observed that COD removal rate was the main parameter among the parameters that should be measured.

Thanks to the anaerobic contact reactor, which is one of the improvements in process, COD removal at the system outlet of wastewater is below the legal limits. In this study, the sections in the wastewater treatment plant were examined and the problem was determined by the methodological methods.

Characterization of WWTP wastes was determined, it was compared with old experiences. The values of COD were checked with laboratory analyses. COD values were observed in accordance with the values in the literature. The facility processes 850 m³ of milk per day and produces 5000 m³/day of waste water for milk and dairy products, yoghurt, cheese, milk sweet products as well as fruit juice, ketchup, mayonnaise and powder products. According to the revision of the wastewater treatment plant, a flow rate of 6920 m³/day was chosen. Waste Flow 6920 m³/day; pH 9-11; COD 3500 mg/L; BOD is 1500-2000 mg/L; AKM 800 mg/L; oil and grease 400 mg/L; TKN is 100-200 mg/L and TP is 1-3 mg/L. The plant obtained from the factory for the purification processes and energy efficiency of the plant are combined here and laboratory measurements.

Dairy industry effluents can be treated by physico-chemical and biological methods. Due to the high cost and low COD removal efficiency, physico-chemical methods are not widely preferred, except for the separation of fatty and suspended solids. The treatment of dairy wastewater with aerobic processes is less efficient and has significant problems, such as excessive biomass formation, and foam generation in addition to its high cost of aeration. Anaerobic processes are efficient than the aerobic processes, decreasing to organic content of different wastewaters without oxygen. Therefore, biomethane recovery is one of the main alternatives for anaerobic treatment of dairy effluents having low energy cost, low sludge formation, as well as low nutrient requirements.

Anaerobic contact reactors have relatively higher biomass concentration, greater efficiency, and smaller reactor size which makes them cost-efficient and sustainable. Sludge recycling allows longer contact between biomass and raw wastewater.

Dairy industry waste characterization was explained with old experiments. Requirement of anaerobic treatment in dairy industry was tried to explain. WWTP detailed flow chart was showed and section of WWTP was explained, new sections working criterias was reviewed with mathematical analysis. Equipments capacities examined with design capacity. Anaerobic contact reactor, DAF unit, aerobic reactor operating values founded to expected values with design capacities.

According to the process flow in the system, samples were taken from tanks and important places and samples were examined in laboratory. As a result of the investigations, it has been tried to determine the efficiency of COD removal in the influent and effluent wastewater of the anaerobic contact reactor which is added to the traditional activated sludge plant used before the improvement in the plant.

During the plant examination, which parts of the wastewater came from the dairy plant were examined. The most important factor observed in the investigations is that hygiene-related washings in dairy products are the most important key performance indicators affecting the amount of wastewater. Washing water coming from the sections of the facility, remnants of dairy products in the pipes feeding the product lines, lost products from the start of production in the spaces constitute the significant amount of wastewater coming to WWTP. The COD levels in the dairy industry varied from 900 to 9000 mg / L. Other important parameters in milk industry characterization are BOD₅, TKN and SS.

In order to determine the treatment performance and energy efficiency of the facility, the data obtained from the factory, and the detailed laboratory measurements were combined. In the detailed wastewater characterization, composite samples were taken at a 2-h interval for 24-h and the samples were stored at 4 °C prior to analysis.

The performance analysis of the WWTP was carried out with COD, COD load, volumetric loading rate, organic loading rate, COD removal, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, SS, VSS, oil and grease, sulphate, free chlorine, pH, conductivity, and temperature parameters using regular statistical analysis tools.

After detailed laboratory analysis, waste COD removal rate between reactor influent and effluent was found to be 84%. Because of 328 days experiments for waste COD removal, the COD concentration was found to be below 650 mg/L at 85% of the time.

As a result of the experiments, SS and VSS gradually increased to 6000 mg/L in anaerobic contact reactor. Reasons for the increase of this value were examined, however, it was found difficult to keep the biomass in anaerobic reactor during the analyzes. Sludge leakage rootcause in the anaerobic reactor has been examined and the necessary studies are written in the results section. In addition to this, the second stage of the system, the aerobic biological conventional system (activated sludge), waste COD concentration, 85% of time was found to be less than 47 mg/L. The removal rate of the new anaerobic sludge digesters was analyzed methodologically, while it was observed that the solids used as direct manure were recycled to the activated sludge system. The flow chart of the plant were examined and as a result of the investigations, the design criteria of the anaerobic reactor and the experimental results were compared. Improvements to eliminate sludge leakage in anaerobic contact

reactor were determined. Improvements were made experimentally and the possible values were examined.

Biogas producing of biomass in the anaerobic contact reactor was calculated. The values were compared with the analysis results. The biomass capacity of %85 was treated to biogas. The biogas which was storage in the membrane tank, Membrane storage tank through to gas engine with the pipeline. Storage capacity is 1000 m³ and Storage tank can supply full capacity gas engine for 4 hours. It was showed enough for the sustainability of the operating to energy producing.

According to the results of detailed investigations based on the archive data available in the WWTP accompanied by a six-month observation period, it was concluded to generate 26400 kWh/day electrical energy with this system. In the pre-upgraded system, high proportion of chemicals (caustic, flocculant & acid) was used to reduce the COD entering the aerobic treatment, since anaerobic treatment was missing. In the case of anaerobic treatment, DAF would continue to work (as a normal DAF- not as a chemical DAF), so that only floating oils that were harmful to anaerobic treatment would be retained. COD removal would not be applied in this unit, which would save 200,000 €/year of chemical costs.

Moreover, there was a high amount of chemical sludge formation during the use of DAF. This sludge was disposed of as a hazardous waste and 10950 tons of oily chemical sludge was paid 50 € ton/year which would save up to more 547500 €/year. After the anaerobic treatment was established, the COD entering the aeration was reduced to a great extent, and the number of ventilation ponds was reduced to 1, and the process of conventional activated sludge was started. Since the COD load decreased, 150 kW was sufficient instead of the 500 kW in previous conditions. Therefore, an annual electricity cost savings of € 252000 has also emerged.

While there was only the aerobic system prior to anaerobic treatment, the biological sludge formed would be greatly reduced after anaerobic treatment and would be reduced more by digestion in the solid waste digester. In the previous situation, there was an estimated cost of 182500 €/year which decreased to 92722 €/year after upgrading.

After the upgrading of the system, 50% reduction in the initial aeration tank volume, and 70% reduction in the aerating power had been achieved, alongside a 50% decrease in sludge disposal costs. The improvement totaling an investment cost of 3 million € has been refunded in less than 2 years with the revenue of the generated biomethane energy, and other precautionary savings. The results demonstrated that anaerobic treatment for dairy effluent can indeed be considered as a very efficient and even income generating source.

Detailed economic analysis was examined end of the study. The investment costs and operating cost detailed determined with WWTP archive values. This analysis return on investment was given with detailed table. Return on investment value less than 2 years. It was examined to 1,65 years. The results demonstrated that anaerobic treatment for dairy effluent can indeed be considered as a very efficient and even income generating source.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Konusu ve Amacı

Süt endüstrisi gıda sektöründe önemli bir yere sahiptir. Türkiye, Dünya Süt Üretiminde % 2,5 'lık pay ile üst sıralarda yer almaktadır. Süt sektöründe temel ürünler süt, yoğurt, peynir, tereyağı, süt tozu, ayran gibi ana kollara ayrılmaktadır. Sektörde üretim her geçen yıl artmakla birlikte yıllara göre düzenli bir dağılma göstermektedir. Süt ürünleri toplumda beslenme payı olarak önemli bir yerde bulunmaktadır. Bu sayede sektör önemini korumakta ve üretim artışı nüfus artışı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Böyle bir sektörün önemli çıktılarından biri olan üretim atıkları konusu her zaman önemli bir performans göstergesi olarak takip edilmektedir. Süt endüstrisi üretiminde hijyen den kaynaklanan problemlerden dolayı önemli miktarda su tüketilmekte ve atık suyun içeriği önem arz etmektedir.

Süt endüstrisi gıda sektöründeki pek çok farklı sektörde olduğu gibi SKKY'deki deşarj limitlerini yakalamak için biyolojik arıtma kullanmaktadır. Süt endüstrisi atıkları organik kirliliği yüksek atıklardır.

Biyolojik arıtma yöntemi olan anaerobik arıtma, organik kirliliğin azaltılmasında, özellikle gıda üretimi yapan ve tarıma dayalı endüstrilerin (süt ürünleri, maya, mısır, nişasta, şeker, alkol, selüloz ve kağıt) atıksularına bir asırdan fazla süredir uygulanmaktadır (McCarthy, 1982).

AAT'lerin enerji verimli hale getirilmesinde anaerobik arıtma sistemler oldukça önemlidir. Bu kapsamda enerji verimli hale getirmek için bir süt endüstrisi AAT'sinde iyileştirmeler yapılmıştır.

Bu çalışma ile ATT'nin enerji verimliliği performansı ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda AAT'ndeki her bir ünitenin atıksu karakterizasyonu yapılmış ve kirlenme profili çıkarılmıştır. Ayrıca AAT'de yaşanan problemler değerlendirilerek çözüm önerileri sunulmuştur.

1.2 Tezin Kapsamı

Süt endüstrisine ait atıkların kirlenme profili oluşturulmuştur. Bölüm 2’de süt endüstrisinin genel karakteristikleri, üretim özellikleri, atıksu özellikleri ve arıtımı ile ilgili literatür çalışmaları verilmiştir. Bu çalışmada ele aldığımız süt endüstrisi atıksularından alınan numuneler ile birlikte AKM, UAKM, pH, iletkenlik, BOİ, KOİ, Çözünmüş KOİ, Azot oranı, Fosfor oranı, amonyak ölçümü yapılmıştır. Bu çalışmada, ele aldığımız süt endüstrisi atıksularının süt, yoğurt, peynir hatlarından ve atıksu arıtma tesisindeki birimlerinden alınan numunelerin her birine AKM, UAKM, pH, iletkenlik, KOİ, Çözünmüş KOİ, BOİ, Azot Tayini, Fosfor Tayini, Amonyak, anyon ölçümü, sudaki kalsiyum, magnezyum, sodyum, bakır, çinko, potasyum ölçümü, EGSB reaktöründeki musluklardan alınan numunelerin TKM ve TUKM gibi bu süt endüstrisine ait atıksuların arıtılabilirliklerini belirleyen parametre esaslı deneysel çalışmalar ile atıksu karakterizasyonu yapılarak, süt endüstrisine ait proses ve kirlenme profili oluşturulması hedeflenmiştir.

Bölüm 2’de, süt endüstrisinin atıksularının genel karakteristikleri, atıksu özellikleri ve arıtımı, tesis kapasitesinin irdelenmesi ile ilgili literatür çalışmaları verilmiştir.

Bölüm 3’te, çalışma kapsamında tesise ait anaerobik reaktörün kapasite ve işletme bilgileri verilmiştir. Süt üretimi endüstrisinin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’ndeki, bağlı olduğu kapsamlara göre değerleri karşılaştırılmıştır.

Bölüm 4’te, numune alma noktaları ve numune alma koşulları ile ilgili bilgi verilmiştir. Yapılan analizler ve yöntemlerden kısaca bahsedilerek KOİ bileşenleri tanımlanmıştır.

Bölüm 5’te, incelenen süt endüstrisine ait proses ve kirlenme profili test sonuçlarına göre incelenmiş ve yapılan analizlerin testleri değerlendirilmiştir.

Bölüm 6’da, atıksu arıtma birimlerinde yapılan karakterizasyon çalışmalarının sonuçları verilmiştir. Mevcut arıtma tesisinin arıtma performansı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’nce belirlenmiş deşarj limitlerine göre incelenmiştir. Tesiste yapılması gereken iyileştirmeler belirtilmiş ve yapılan iyileştirmeler sonrası biyogazın artım oranı metodolojik olarak belirtilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Süt Endüstrisi Atıksu Karakterizasyonu

Süt endüstrisi atıksuları genelde üretim esnasında cihazların ve hatların temizlenmesi, taşıyıcı konteynerlerin temizlenmesi, süt silolarının yıkanması ve cihaz veya operasyon hatalarına bağlı döküntülerden oluşmaktadır. Süt endüstrisi atıksuları protein, karbonhidrat ve yağlardan kaynaklanan yüksek miktarlarda organik madde içermektedirler. Bu nedenle yüksek KOİ, BOİ ve askıda katı madde ile yağ-gres kirliliği mevcuttur (Farizoğlu ve Uzuner, 2011). Süt endüstrisi atıksuyu genel özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Süt endüstrisi atıksuları genelde fizikokimyasal ve biyolojik yöntemlerle arıtılabilmektedir. Maliyeti yüksek ve çözünmüş KOİ giderim verimi düşük olduğu için yağlı ve askıda katı maddelerin ayırımı hariç fizikokimyasal yöntemler fazla tercih edilmemektedir (Demirel ve diğ., 2004). Örnek bir süt endüstrisi atıksuyundaki bazı elementlerin konsantrasyonları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Süt endüstrisi atıksuyu karakteristiği (Farizoğlu ve Uzuner, 2011).

Parametre	mg/L
KOİ	900-9000
BOİ ₅	480-6080
TKN	8-230
AKM	130-800

Çizelge 2.2 : Örnek bir süt endüstrisi atıksuyundaki bazı elementlerin konsantrasyonları (Demirel ve diğ., 2004).

Atıksu Tipi	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Fe (mg/L)	Co (mg/L)	Ni (mg/L)	Mn (mg/L)
Süt Endüstrisi Atıksuları	170-200	35-40	35-40	5-8	2-5	0,05-0,15	0,5-1,0	0,02-0,1
Karışık Proses Atıksuları	123-2324	8-160	12-120	2-97	0,5-6,7	0	0-0,13	0,03-0,43

Süt endüstrisi atıksularının aerobik proseslerle (aktif çamur, damlatmalı filtre v.b.) arıtımı daha düşük verimli olup ve aşırı biyokütle oluşumu ve köpük problemleri gibi

sorunlar yaşanmaktadır. Ayrıca havalandırma maliyeti de çok yüksektir. Düşük enerji maliyeti, çamur oluşumu ve besi maddesi ihtiyacının çok az olması ile biyometan gerikazanımı, süt endüstrisi atıksuları için anaerobik arıtmanın temel tercih sebeplerindendir (Rajesh ve diğ., 2008).

Genel olarak süt endüstrisi atıksularının arıtımı için havasız filtreler kullanılmaktadır. Özellikle arıtılacak proses atıksuyunun askıda katı madde (AKM) konsantrasyonu düşük olduğunda havasız filtreler uygun olmaktadır.

Laboratuvar ölçekli havasız filtrelerde hidrolik bekletme süresi 4 gün alındığında tipik süt endüstrisi atıksuyunda ortalama KOİ giderimi % 78-92 arasında değişim göstermektedir (Demirel ve diğ., 2004). Pilot ölçekli çalışmalarda ise 6 kgKOİ/m³gün'lük hacimsel organik yüklemde % 85 KOİ giderimi elde edilebilmektedir (Örnek: Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : Süt endüstrisi atıksularının arıtımında tek kademeli havasız filtrelerin verimleri.

Atıksu Tipi	Reaktör Tipi	Hidrolik Bekletme Süresi(gün)	Hacimsel Organik Yük (kg KOİ/m ³ gün)	KOİ Giderimi (%)
Çiğ Süt	Havasız Filtre		5-6	90
Yağlı Süt End. Atıksu	Havasız Filtre	4	10	85

Yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörler endüstriyel atıksuların arıtımı için hızlı ve verimli sistemlerdir. Ancak bu prosesin uygulanması için reaktördeki biyokütlenin granüler olması tercih edilmektedir (Demirel ve diğ., 2004). Kurulu ölçekli yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörlerin süt endüstrisi atıksularının arıtımında kullanımı 20 yıllık bir geçmişe sahiptir ve birçok uygulaması bulunmaktadır.

Laboratuvar ölçekli yukarı akışlı hibrid havasız çamur yataklı reaktörde; 30° C sıcaklık, 5 saat hidrolik bekletme süresi ve 8,5 kgKOİ/m³gün organik yükleme için % 87 civarında KOİ giderimi sağlanmıştır. Yüksek konsantrasyonlarda yağ ve gres (800-900 mg/L) içeren süt endüstrisi atıksuyu yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktör ile arıtıldığı durumlarda düşük KOİ giderimleri (% 50 seviyesinde) elde edilmektedir ve reaktördeki biyokütle dışı UAKM miktarında artış (birikme) gözlenmektedir (Demirel ve diğ., 2004).

Laboratuar ölçekli bir diğer çalışmada, yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörler, 35°C sıcaklıkta kesikli olarak çalıştırılıp, ani hidrolik ve organik yüklemelerin performans üzerindeki etkilerine bakılmıştır. Bu tip reaktörlerin şok yüklemelere rağmen iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Süt endüstrisi atıksularının havasız arıtımı iki tip yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktör kullanarak incelenmiştir.

Reaktörler 3-12 saat hidrolik bekletme süresi ve 2,4-13,5 kg KOİ/m³gün organik yükleme aralığında çalıştırılmışlardır. Her iki reaktör için 3 saatlik hidrolik bekletme süresinde elde edilen en yüksek KOİ giderimi ~% 96 olup, 12 saatlik hidrolik bekletme süresinde KOİ giderimi yaklaşık % 90 olarak bulunmuştur (Ramasamy ve diğ., 2004).

10-20 °C sıcaklıkta süt endüstrisi atıksuyunun yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörde arıtımı incelenmiş ve bu sıcaklık seviyesinde KOİ gideriminin % 80 üzerinde olduğu görülmüştür.

Yukarı akışlı mezofilik havasız çamur yataklı reaktörler kesikli beslemeli 24-144 saat bekletme sürelerinde ve 2,5-29 kg KOİ/m³gün yüklerinde işletilmiştir. En verimli sonuç 96 saatlik bekletme süresinde elde edilmiştir. Ayrıca 22 kg KOİ/m³gün yüke kadar oldukça kararlı işletim koşulları sağlanmıştır.

Yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörler kullanılarak, 200-600-1000 mg/L yağ ve gres içeren sentetik süt endüstrisi atıksuyunun havasız arıtımında 1000 mg/L yağ ve gres içeren atıksuyu ile beslenen reaktörde % 82-90 arasında değişen KOİ giderimleri elde edilmiştir (Demirel ve diğ., 2005).

Hibrit havasız çamur yataklı reaktörler ve havasız ardışık kesikli reaktörler de süt endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımında kullanılmaktadırlar. Laboratuar ölçekli bir çalışmada, hibrit havasız reaktör sistemi ile sentetik süt endüstrisi atıksuyunda, 1,7-4,1 gün hidrolik bekletme süresi ve 0,82-6,11 kgKOİ/m³gün organik yüklemelerde, %90-97 civarında KOİ giderimi elde edilmiştir (Ramasamy ve diğ., 2004).

Havasız ardışık kesikli reaktör sistemleri de süt endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımında verimli sonuçlar sağlamaktadır. Laboratuar ölçekli bir çalışmada, 6 saat hidrolik bekletme süresi ve 15 °C sıcaklıkta, yağ içermeyen sentetik bir süt endüstrisi atıksuyu için, havasız ardışık kesikli reaktör sistemi, % 62 civarında çözünmüş KOİ ve % 75 civarında BOİ₅ giderimi sağlamıştır (Banik ve Dague; 1997).

Hibrit havasız çamur yataklı reaktör süt endüstrisi atıksuları için laboratuvar ölçekli uygulanmıştır. Bu kapsamda 5,9 L hacimli bir reaktör 8-20 kgKOİ/m³gün'lük hacimsel yüklerde 110 gün çalıştırılmış ve ortalama KOİ giderim verimi % 84 olarak belirlenmiştir. Anılan çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Süt endüstrisi atıksuları için anaerobik arıtma verimleri (Rajesh ve diğ., 2008).

Ölçülen Parametre	Ham Atıksu	Anaerobik arıtılmış atıksu
pH	7,1	7,5-7,7
Toplam katı madde (mg/L)	3880	1746
Uçucu katı madde (mg/L)	1347	472
KOİ (mg/L)	5000	654
BOİ (mg/L)	2800	310
TOK (mg/L)	2550	270
TKN (mg/L)	16,5	58
NH ₃ -N (mg/L)	0,25	50,4
Klorür (mg/L)	187	187
Sülfat (mg/L)	60,4	20,5
Toplam Fosfor (mg/L)	38,6	45,8
Potasyum (mg/L)	18,5	20,1

Süt endüstrisi atıksuyu ile gerçekleştirilen laboratuvar ölçekli 2 kademeli anaerobik arıtmada, 2,44 kgKOİ/m³gün'lük organik yükleme için %94 KOİ giderimi elde edilmiştir (Demirel ve diğ., 2004). Süt ürünleri endüstrisi atıksularının anaerobik

arıtımı ile ilgili bazı çalışmalarda elde edilen sonuçlar Çizelge 2.5’de topluca verilmiştir (Demirel ve diğ., 2004).

Çizelge 2.5 : Süt ürünleri endüstrisi atıksularının anaerobik arıtımı ile ilgili çalışma sonuçları.

Proses	Uygulama ölçeği	Atıksu tipi	Reaktör tipi	Azami hacimsel yük (kgKOİ /m ³ gün)	KOI giderimi
Tek kademeli havasız arıtma	Pilot	Süt ve krema	Yukarı akışlı filtre	6	> % 85
Tek kademeli havasız arıtma	Laboratuvar	Çiğ süt	Yukarı akışlı filtre	5-6	> % 90
İki kademeli havasız arıtma	Laboratuvar	Süt ve krema, şişeleme	Tam karışimli reaktör yukarı akışlı filtre	23-7	% 90

Süt endüstrisi atıksuyu anaerobik/aerobik arıtma performansı ile ilgili bazı diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlar ise Çizelge 2.6 ‘da özetlenmiştir (Demirel ve diğ., 2004).Süt endüstrisi atıksularının anaerobik arıtımı ile ilgili çalışma sonuçları incelendiğinde tek kademeli havasız arıtma kullanımı yaygın olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 2.6 : Süt endüstrisi atıksularının anaerobik/aerobik arıtma verimleri.

Atıksu tipi	Sistem konfigürasyonu	Giderim	Uygulama ölçeği
Süt şişeleme tesisi	DAF + yukarı akışlı anaerobik filtre	% 38-50 BOİ5 (DAF) > % 90 BOİ5 (UAF) > % 85 KOİ (UAF)	Pilot
Sentetik süt endüstrisi atıksuyu	Aktif çamur	> % 90 KOİ	Laboratuvar
Endüstriyel süt analiz laboratuvarı atıksuyu	Anaerobik filtre + ardışık kesikli reaktör (AKR)	% 98 KOİ % 99 TKN	Laboratuvar

3. SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSU ARITMA TESİSİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

3.1 Atıksu Arıtma Tesisi Tasarım Değerleri

Fabrikada mevcut durumda 850 ton/gün süt işlenmekte ve süt ve süt ürünleri, meyveli içecekler, toz ürünler, ketçap/mayonez ve tatlı ürünler imalatı sonucunda 5000 m³/gün atıksu oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesisinde yapılan revizyon çalışmalarında, yakın gelecekte yapılması planlanan fabrika tevsi (genişleme) faaliyetleri de dikkate alınarak 6920 m³/gün'lük debi esas alınmıştır. Atıksu arıtma tesisinin tasarımına esas atıksu miktar ve özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

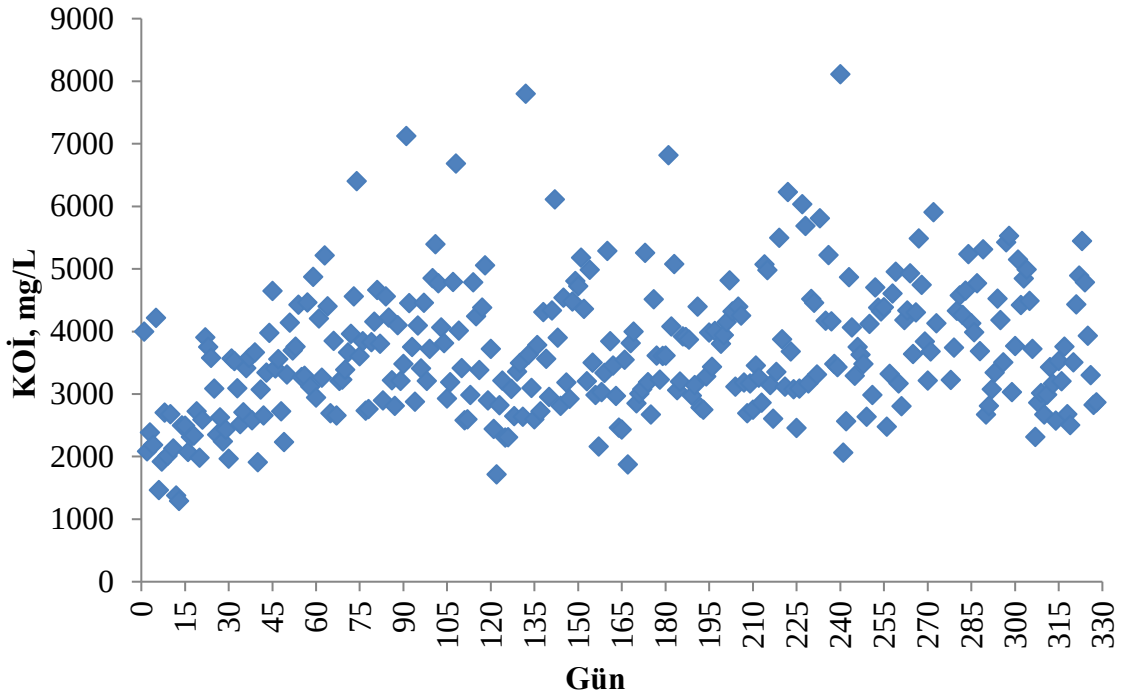
Çizelge 3.1 : Arıtma tesisinin tasarımına esas atıksuyun miktarı ve özellikleri (AAT İşletme Kitapçığı, 2013).

Parametre	Birim	Değer
Debi	m ³ /gün	6920
pH	-	9-11
KOİ	mg/L	3500
BOİ	mg/L	1500-2000
AKM	mg/L	800
Yağ ve gres	mg/L	400
TKN	mg/L	100-200
TP	mg/L	1-3

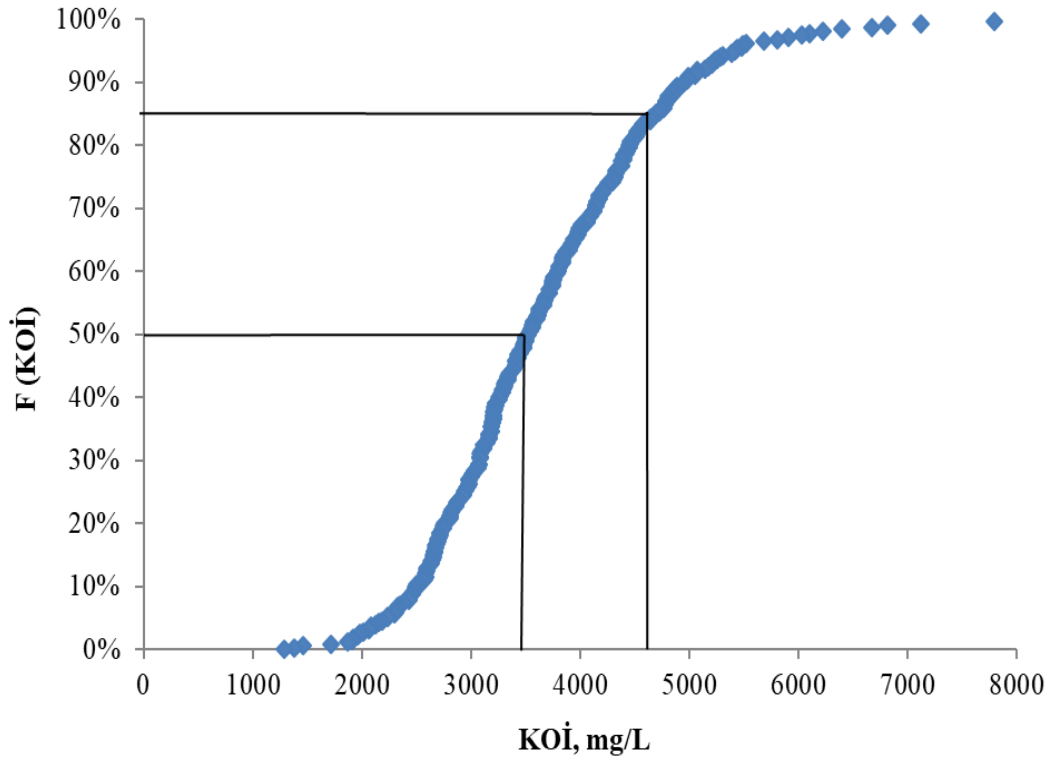
3.2 Tesis Atıksu Özellikleri

328 günlük dönemde AAT'ne gelen atıksuyun KOİ değişim grafiği ve eklenik ihtimal dağılımı sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilmiştir. AAT'ne alınan atıksuyun KOİ

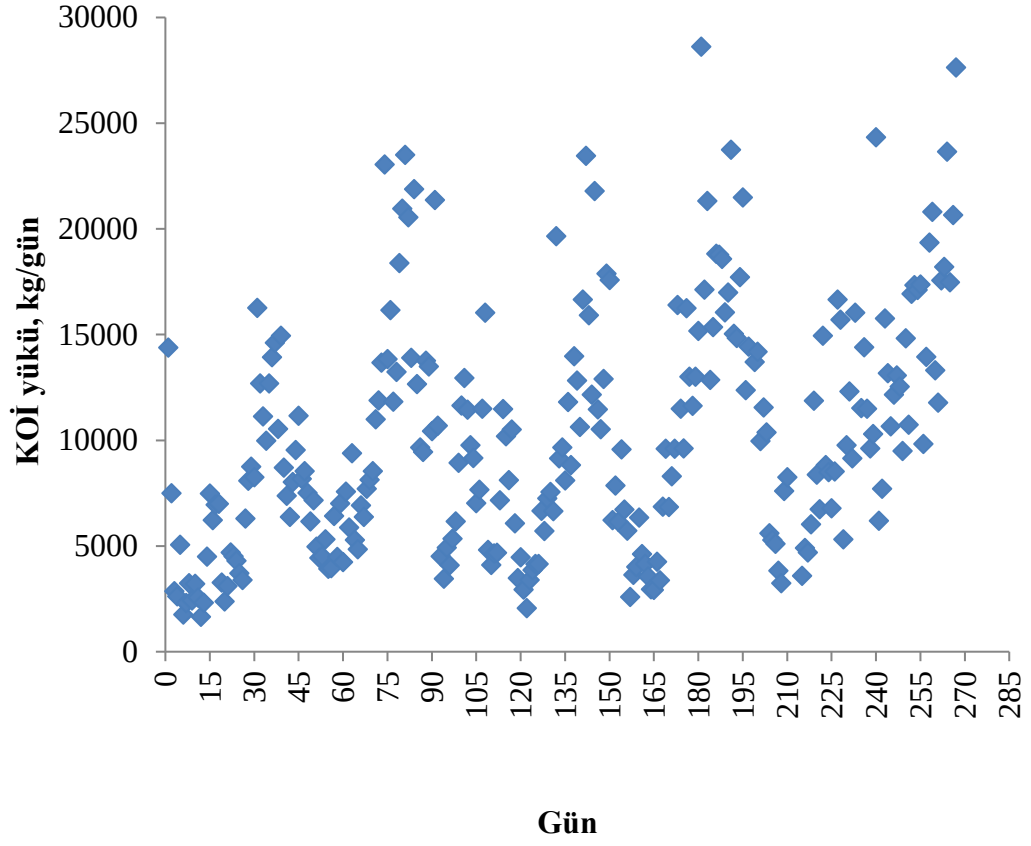
yükü değişim grafiği Şekil 3.3’de, pH değişimi ve eklenik ihtimal dağılımı da sırasıyla Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de verilmiştir.



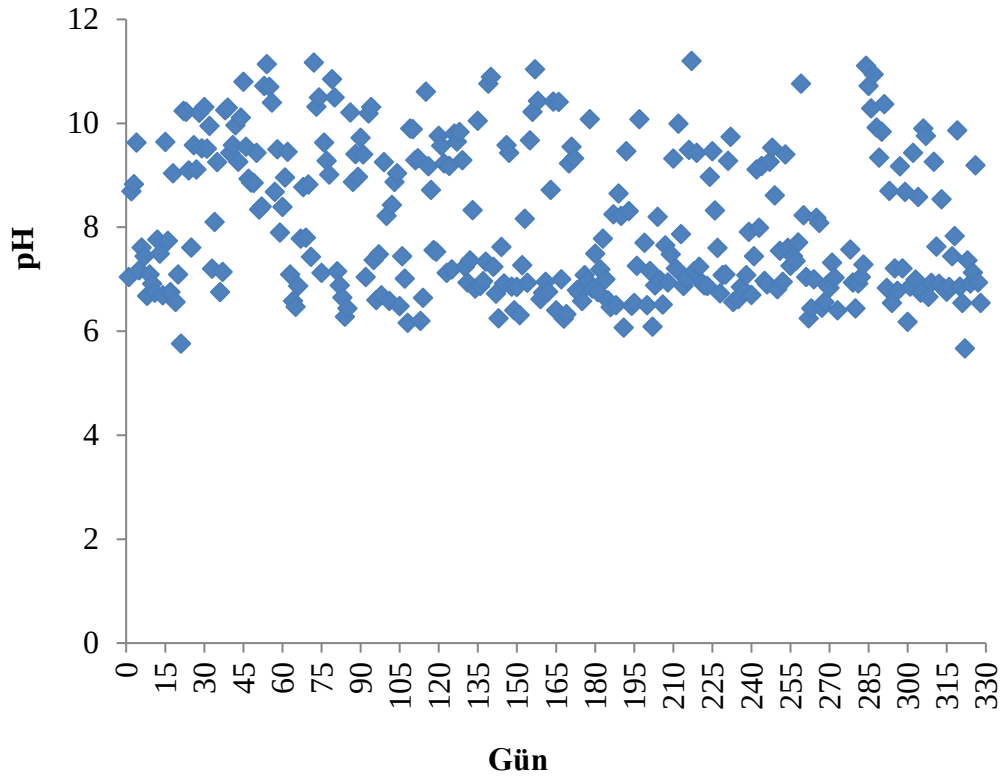
Şekil 3.1 : 328 günlük ölçümde AAT’ne gelen ham atıksuyun KOİ değişimi.



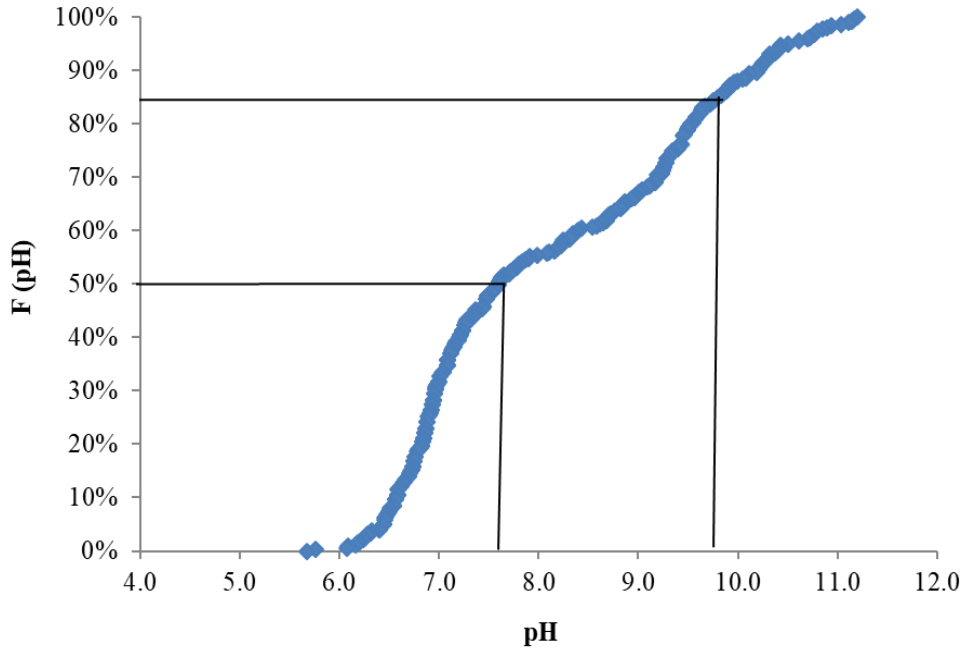
Şekil 3.2 : AAT’ne gelen ham atıksuyun KOİ’ye göre eklenik ihtimal dağılımı.



Şekil 3.3 : AAT'ne gelen ham atıksuyun KOİ yükü değişimi.



Şekil 3.4 : AAT'ne gelen ham atıksuyun pH değişimi.



Şekil 3.5 : AAT’ne gelen ham atıksuyun pH’ya göre eklenik ihtimal dağılımı.

3.3 Mevcut AAT

Tesisin üretim prosesinden kaynaklanan atıksular, yüksek verimle ve gerekli alıcı ortam deşarj standartlarına uygun şekilde arıtılabilmesi amacı ile, fiziksel ön arıtma, anaerobik ve aerobik biyolojik arıtma, çamur yoğunlaştırma ve susuzlaştırma birimlerini içeren çok kademeli modern bir atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Ayrıca, arıtma tesisinin fiziksel ve biyolojik arıtma kademelerinde oluşan çamurları, üretimde oluşan katı atıkları ve iade ürünleri çürütmek üzere ayrı bir anaerobik çamur çürütücü kurulmuştur. Katı atık ve çamur çürütme tesisi, atık besleme havuzu, ısıtma sistemi, anaerobik reaktör, çamur susuzlaştırma, biyogaz desülfürizasyon, biyogaz depolama, flare (fazla gaz yakma) ve biyogaz terfi birimlerinden oluşmaktadır. Tesisdeki anaerobik reaktörlerde üretilen biyogaz bir blower ile kojenerasyon ünitesine sevk edilerek yakılıp elektrik ve ısı enerjisi geri kazanılmaktadır.

3.3.1 Fiziksel arıtma kademesi

Fabrikada oluşan ve cazibeli hat ile AAT’ye gelen atıksu, ilk olarak 2 cm aralıklı kaba ızgaradan geçmekte ve bu ızgarada tutulan katı maddeler konteynerde toplanarak tesisin belirlediği mevzuata uygun olarak uzaklaştırılmaktadır. Atıksu, ince geçirgenlikte otomatik ızgaradan geçtikten sonra havalandırma havuzu olarak

kullanılan 2000 m³'lük dengeleme havuzuna alınmaktadır. Atıksu buradan mevcut terfi pompası ile tambur tip otomatik temizlemeli ince ızgaraya beslenmektedir. İnce ızgarada kaba ızgaradan kaçan katı partiküller tutulmaktadır. Izgarada tutulan katı maddeler konteynerde toplanıp ve kaba ızgarada tutulan katı maddeler ile birlikte ilgili mevzuata uygun olarak uzaklaştırılmaktadır. İnce ızgaradan geçirilen atıksu pH ayarlama tankına beslenmektedir. Atıksu bu tanktan DAF tankına alınmaktadır. Sadece basınçlı hava kullanılarak yüzebilir fazdaki yağın yüzdürülmesi ve sıyrıcı vasıtası ile atıksudan ayrılması sağlanmaktadır. Yağlar daha sonra mevcut olan sirkülasyon pompası ile katı atık tesisinin besleme havuzuna gönderilmektedir. DAF sistemi çıkışında atıksu anaerobik atıksu reaktörüne beslenmek üzere terfi havuzuna alınmaktadır. Atıksu buradan terfi havuzuna pompalar ile anaerobik reaktöre beslenmektedir. Reaktöre atıksu beslemesinde herhangi bir sıkıntı olmaması için atıksuyun debisi sürekli ölçülmekte ve sirkülasyon pompasının frekans invertörü ile atıksuyun debisi ayarlanabilmektedir.

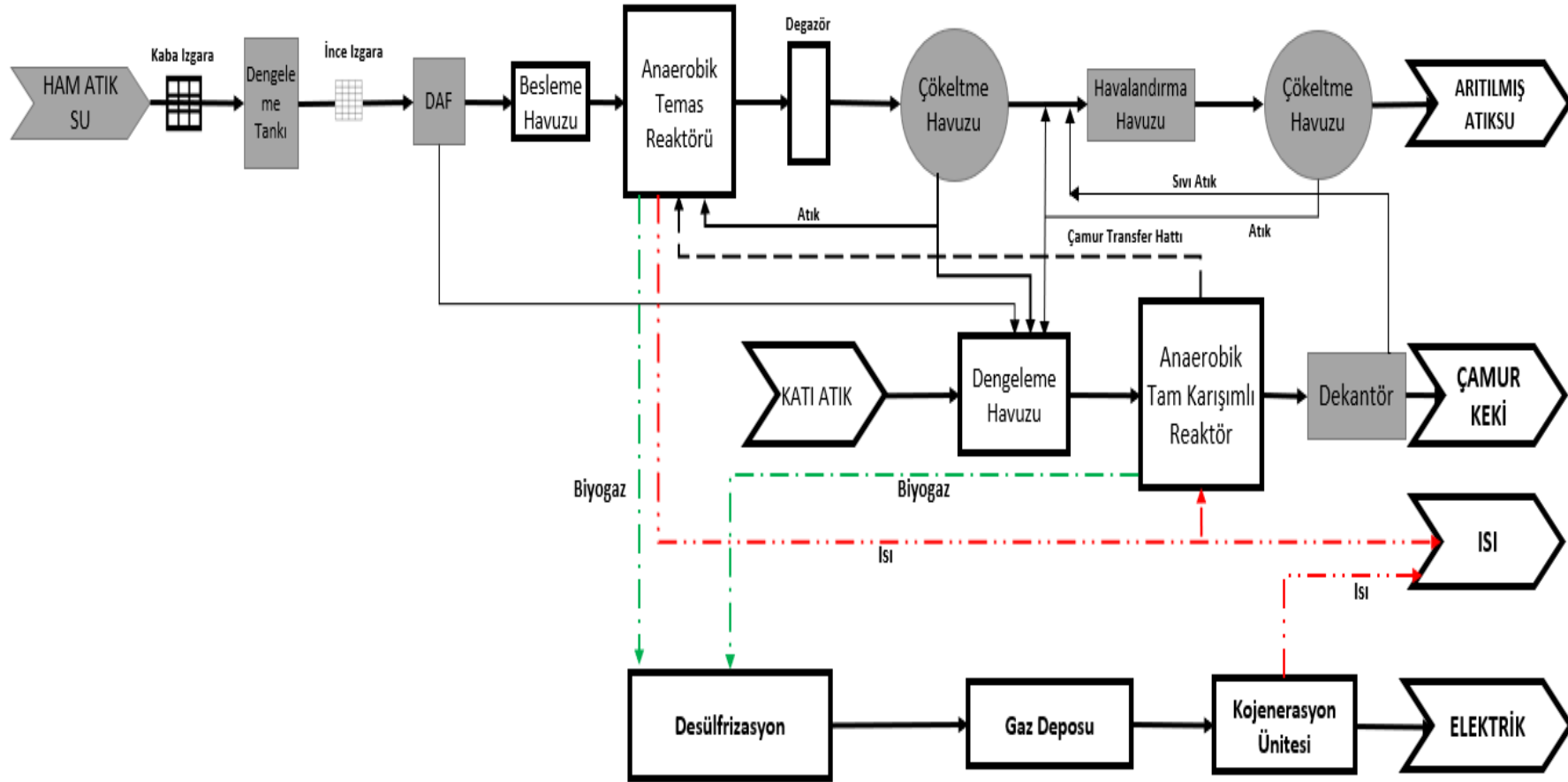
3.3.2 Anaerobik arıtma kademesi

Anaerobik arıtma prosesi olarak anaerobik temas tipli reaktör kullanılmaktadır. Atıksu anaerobik arıtmaya alınmadan önce hat tipi plakalı esanjör kullanılarak 37 °C'ye ısıtılmaktadır. Reaktörden emiş yapan bir sirkülasyon pompası ile reaktör içeriği de atıksu giriş hattı ile birleştirilerek reaktör içeriği ısıtılmaktadır. Isıtma için gerekli ısı enerjisi biyogaz kojenerasyon ünitesinde bulunan gaz motorunun atık ısısından sağlanmaktadır. Anaerobik reaktör üzerine monte edilen üst girişli karıştırıcı ile sürekli karışım halinde tutulmaktadır. Arıtılan atıksu anaerobik reaktör sonrasında degazör ünitesinden geçirilerek reaktörden kaçan gazlardan tutulmaktadır. Tutulan gazlar bir fan yardımı ile havalandırma havuzuna gönderilerek arıtılmaktadır. Cazibeli akış ile anaerobik çökeltme havuzuna geçen atıksuyun içindeki anaerobik biyolojik çamur bu havuzda çökelttilerek ve geri devir pompası ile reaktöre geri pompalanmaktadır. Atıksu buradan cazibeli akış ile aerobik arıtmaya iletilmektedir. AAT akış şeması Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Anaerobik arıtma kademesinde aşağıdaki birimler yer almaktadır.

Anaerobik Reaktör Besleme Havuzu: $V = 550 \text{ m}^3$.

Anaerobik Reaktör: $V_{\text{ıslak}} = 6500 \text{ m}^3$, $D = 21,5 \text{ m}$, $H_{\text{ıslak}} = 17,5 \text{ m}$, $H_{\text{topl}} = 18 \text{ m}$.



Şekil 3.6 : AAT akış şeması

Anaerobik Çökeltme Havuzu: $V = 1720 \text{ m}^3$ $D = 25 \text{ m}$, $H_{\text{Islak}} = 3,5 \text{ m}$.

Floküler çamurlu ve anaerobik temas reaktörü olarak bilinen Anaerobik Reaktördeki ortalama KOİ giderimi % 84 olarak gerçekleşmiştir. Bu reaktördeki medyan hacimsel organik yük,

$$L_v = \frac{Q_i \cdot S_o}{V} \frac{\text{kgKOİ}}{\text{m}^3 \text{gün}} \quad (3.1)$$

L_v ; Hacimsel organik yükleme parametresidir.

S_o ; Giriş atıksuyu KOİ miktarıdır.

Q_i ; Atıksu debisidir.

V ; Anaerobik reaktör hacmi, 6500 m^3 'tür

$S_o = 2679 \text{ mg/L}$ ve $Q_i = 6500 \text{ m}^3/\text{gün}$ alınarak L_v denklem 3.1'e göre $2,7 \frac{\text{kgKOİ}}{\text{m}^3 \text{gün}}$ olarak hesaplanır.

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad (3.2)$$

θ ; Hidrolik bekleme süresidir.

V ; Anaerobik reaktör hacmi, 6500 m^3 'tür.

Q ; Atıksu debisidir, $6500 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür.

Denklem 3.2'ye göre hidrolik bekletme süresi 1 gün çıkmıştır. Tesis tam kapasite çalışması halinde hacimsel organik yükleme hızı $2,7 \frac{\text{kgKOİ}}{\text{m}^3 \text{gün}}$ olacaktır. Bu tip reaktörlerde hacimsel yükün $5 \sim 8 \frac{\text{kgKOİ}}{\text{m}^3 \text{gün}}$ gibi yüksek değerlerinde bile oldukça yüksek verimlerde (%80-%90) KOİ giderimi sağlanabilmektedir. Kararlı ve yüksek verimli bir işletme için, tam karışım tip anaerobik reaktöre yapılabilecek en fazla yüklemenin $5 \text{ kg KOİ/m}^3 \text{gün}$ 'ü aşmaması hedeflenmektedir.

Organik Yükleme Hızı 5 g AKM/L ve 10 g AKM/L 'lik biyokütle değerleri için besin/mikroorganizma (F/M) oranı ayrı ayrı hesaplanır.

$$\frac{F}{M} = \frac{Q_v \cdot L_v}{V \cdot X} = \frac{\text{kgKOİ}}{\text{kgUAKMgün}} \quad (3.3)$$

MLVSS; Havalandırma havuzu askıda katı miktarı g AKM/L

Q_v ; Bir günde atılan çamur hacmi $m^3/gün$.

V; Havalandırma havuzu hacmi m^3 .

X; biyokütle içindeki UAKM miktarı.

5 g AKM/L biyokütlenin %80'i UAKM kabul edilirse; denklem 3.3'e göre aşağıdaki 0,67 değeri bulunur.

10 g AKM/L biyokütlenin %80'i UAKM kabul edilirse; denklem 3.3'e göre aşağıdaki 0,34 değeri bulunur.

Hesaplanan $0,67 \frac{kg\ KOI}{kg\ UAKM\ gün}$ yükleme değeri kritik bir değer olup $0,5 \frac{kg\ KOI}{kg\ UAKM\ gün}$ değerinin aşılmaması tavsiye edilmektedir. Bu nedenle Anaerobik Temas Reaktörü içerisinde biyokütle konsantrasyonunun tercihen 10 g UAKM/L civarında tutulması önerilmektedir.

Tam kapasite ile çalışması halinde Anaerobik Temas Reaktörüne yapılacak organik yükleme;

$$L = CxQ = \frac{kgKOI}{gün} \quad (3.4)$$

L; Organik yük miktarıdır, birimi $\frac{kg\ KOI}{gün}$, dür.

Q; Atıksu debisidir, birimi $m^3/gün$ 'dür.

C; Organik yükleme hızı $2,679 \frac{kg\ KOI}{m^3\ gün}$

Denklem 3.4'e göre organik yükleme miktarı 17414 kg KOİ/gün olarak tespit edilir.

KOI'nin bir kısmı atıksuyun içinde bulunan sülfatı indirgemek için kullanılacaktır. Bu değer medyan sülfat değerleri kullanılarak;

$$M_{SO_4} = Qx(X_1 - X_2) \quad (3.5)$$

M_{SO_4} ; İndirgenecek sülfat miktarıdır, birimi kg $SO_4/gün$ 'dür.

X_1 ; Ham atıksu içindeki sülfat miktarıdır, 0,306 mg/L'dir.

X_2 ; Anaerobik reaktör çıkışındaki sülfat miktarıdır, 0,084 mg/L'dir.

Q; Atıksu debisidir, birimi m³/gün'dir.

Denklem 3.5'deki değerler hesaplandığında 6500 m³ /gün x (0,306-0,084) =1143 kg SO₄/gün alınabilir. Sülfat indirgenmesi için kg SO₄ başına 0,66 kg KOİ gerekli olup; 0,66 x 1143 = 952 kg KOİ / gün sülfat indirgenmesi için kullanılacaktır.

Anaerobik reaktörde medyan KOİ giderim verimi %87 olup giderilen organik maddeye bağlı teorik gaz üretim potansiyeli denklem 3.6'ya göre hesaplanmıştır.

$$Q_{CH_4} = c_i x (Y_1 - Y_2) x \eta_{KOİ} \quad (3.6)$$

C_i; Bir günde üretilen CH₄ miktarı (0°C); 0,35 m³/ kg KOİ.

Y₁; Anaerobik reaktör girişi medyan organik yük miktarı, 17414 kg KOİ/gün.

Y₂; Anaerobik reaktör çıkışı medyan organik yük miktarı, 952 kg KOİ/gün.

$\eta_{KOİ}$; Anaerobik reaktör medyan KOİ giderim verimi; 0,87.

Teorik gaz üretim miktarı 4863 m³ CH₄ /gün bulunur.

Tesisteki kojenerasyon tesisinde üretililecek enerji değeri denklem 3.7'ye göre hesaplanır.

$$P_{el} = Q_{CH_4} x Ex \eta_{th} x \frac{1}{24} \quad (3.7)$$

P_{el}; Kojenerasyon tesisinde üretililecek enerji değeri kWh/h.

Q_{CH₄}; Teorik gaz üretim miktarı 4863 m³ CH₄ /gün.

E; CH₄ teorik ısı kapasitesi, 9,8 kW/m³ CH₄.

η_{th} ; Gaz motoru yanma verimi, 0,42.

Denklem 3.7'ye göre hesaplandığında 834 kWh/h olacaktır.

Anaerobik çamur+katı atık çürütücü için bekletme süresi 25 gün seçilirse 2500 m³ hacim için besleme debisi 100 m³/gün olur. Çürütücüye yapılacak en yüksek yükleme 4 kg UKM/m³ gün kabulü ile reaktöre beslenecek UKM miktarı 4 x 2500 =10 tonUKM/gün olabilir.

1 ton UKM'den elde edilebilecek metan miktarı en yüksek 350 m³/ton UKM seçilirse;

Çürütücüden üretilen metan miktarı; $350 \times 10 = 3500 \text{ m}^3/\text{gün}$ CH_4 bulunur. Bu durumda tesisteki kojenerasyon tesisinde üretilen enerji değeri denklem 3.7'ye göre hesaplandığında 600 kWh/h olarak bulunur.

Dolayısıyla AAT'inde üretilen toplam biyogaz enerjisi miktarı,

$834 + 600 = 1434 \text{ kWh/h}$ olup kojenerasyonun kapasitesine ulaşılacaktır.

Aerobik fazla çamurdan üretilmesi beklenen metan miktarı denklem 3.8'e göre hesaplanır.

$$Q_B = M_{TKM} \times c_{UKM} \times Q_{UKM} \quad (3.8)$$

M_{TKM} ; Atık çamur miktarı, 462 kg TKM/gün .

c_{UKM} ; Uçucu katı madde miktarı % 80.

Q_{UKM} ; Uçucu katı madde içindeki teorik metan miktarı, $0,2 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg UKM}$.

Q_B ; Aerobik fazla çamurdan üretilen metan debisi, $\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{gün}$.

Q_B denklem 3.7'ye göre hesaplandığında $74 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{gün}$.

DAF çamuru miktarı % 90 Yağ giderimi kabulü yapılırsa ve denklem 3.9'a göre hesaplanırsa;

$$Q_{By} = M_y \times \eta_y \times Q \times c_y \quad (3.9)$$

M_y ; Yağ ve Gres miktarı; 333 mg/L .

Q ; Atıksu debisi, $6500 \text{ m}^3/\text{gün}$.

η_y ; Atıksu içindeki yağın giderim oranı, % 90.

C_y ; Bir ton yağdan üretilen metan miktarı, $500 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ton}$.

Q_{By} ; Atıksu içindeki yağdan üretilen metan miktarı, $1000 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{gün}$.

Üretilen enerji denklem 3.9'a göre hesaplandığında $1000 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{gün}$ olarak bulunur.

Aerobik fazla çamurdan üretilen toplam metan miktarı $1074 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{gün}$ olarak hesaplanır. Denklem 3.7'ye göre toplam enerji miktarı hesaplandığında 184 kWh/h olarak hesaplanır.

İade ürünleri veya başka bir organik atık besleme yapılmaması durumunda mevcut durumda gözlenebilecek en yüksek elektrik enerjisi değeri;

$834 + 184 = 1018 \text{ kWh/h}$ düzeyinde olacaktır.

Anaerobik çökeltim havuzunda yüzeysel yük kontrolü tesis için önemli bir parametredir ve denklem 3.10'a göre hesaplanıp kontrol edilir;

$$L_{yy} = \frac{Q}{A \times 24} \quad (3.10)$$

L_{yy} ; Yüzeysel hidrolik yük, birimi $\text{m}^3/\text{m}^2\text{sa}$ 'dır.

A; Anaerobik çökeltim havuzu ıslak yüzey alanı, 491 m^2 'dir.

Q; Atıksu debisidir, $6500 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür.

Denklem 3.10'a göre hesaplandığında $0,55 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ sa}$ olarak bulunur. (0,2-0,25 olmalıdır; Nahle, 1991). Bu yük tam kapasite ile yükleme halinde aşılmaktadır.

3.3.3 Aerobik arıtma kademesi

Anaerobik çökeltim havuzu çıkışından itibaren atıksu cazibe ile 8000 m^3 hacmindeki havalandırma havuzlarına havalandırma havuzundan sonra ise yine cazibe ile çökeltim havuzuna alınmaktadır. Çökeltim havuzunda dipte biriken biyolojik çamur pompa ile havalandırma havuzlarına geri devredilmektedir. Fazla çamur ise debimetre kontrolü ile mevcut yoğunlaştırma havuzuna gönderilmektedir. Çökeltim havuzu yüzeyinden arıtılmış su savaklanarak deşarj edilmektedir.

Havalandırma Havuzu (2 adet, 1 tanesi kullanılıyor): $V_t = 4000 \text{ m}^3$ (Bir havuzun hacmi).

Son Çökeltim Havuzu (1 adet): $V = 1720 \text{ m}^3$, $D = 25 \text{ m}$, $H_{\text{Islak}} = 3,5 \text{ m}$

Aerobik arıtma kademesindeki medyan $\text{KOİ giderme verimi } \%93$ olarak gerçekleşmektedir.

3.3.4 Çamur Yoğunlaştırma Birimi

Mevcut çamur yoğunlaştırma havuzunda konsantrasyonu arttırılan fazla anaerobik ve aerobik çamurlar pompa ile mekanik yoğunlaştırma ünitesine pompalanmaktadır. Bu ünite sayesinde çamurların konsantrasyonu $\%2$ 'den $\%6$ mertebesine çıkartılarak hacmi önemli oranda azaltılmaktadır. Mekanik yoğunlaştırmadan sonra çamurlar bir

terfi haznesine mevcut pompalar ile katı atık dengeleme havuzuna sevk edilmektedir. Terfi haznesinde çökelmeyi önleme amaçlı mevcut karıştırıcısı kullanılmaktadır.

3.3.5 Katı atık ve çamur çürütücüsü

Fabrikada oluşan gıda atıkları (iade ürünler, üretim atıkları v.b.), arıtma tesisinde oluşan ön arıtma ve biyolojik arıtma çamurları katı atık dengeleme haznesinde karıştırılarak ve anaerobik çürütme için uygun konsantrasyon elde edilmektedir. Atık karışımı özel lobe tipi pompa ile anaerobik çürütücüye beslenmektedir. Isıtma işlemi katı atık için uygun tasarımda boru tip eşanjör ile yapılmaktadır. Isıtma için gerekli enerji kojenerasyon ünitesinden elde edilen ısıdan temin edilmektedir. Anaerobik reaktörde hidrolik bekletme süresi 25-30 gün'dür. Reaktör tam karışım tip (CSTR) ve geri devirsiz bir reaktör olup sürekli besleme prensibine göre işletilmektedir. Karışım "top-entry" tip aksiyel üstten tahrikli bir karıştırıcı ile karıştırılmaktadır.

Katı atık Dengeleme Havuzu: $V = 75 \text{ m}^3$, $5 \times 5 \text{ m}$, $H_{\text{Islak}}=3 \text{ m}$, $H_{\text{toplam}}=3,5 \text{ m}$

Anaerobik Reaktör: $V_{\text{Islak}}= 2500 \text{ m}^3$, $D= 15 \text{ m}$, $H_{\text{Islak}} = 13,5 \text{ m}$, $H_{\text{toplam}} = 14 \text{ m}$

3.3.6 Çamur susuzlaştırma sistemi

Reaktörde çürüme sonucunda elde edilen organik ürün dekantör ünitesine alınarak katı ve sıvı faza ayrılmaktadır. Susuzlaştırma verimini artırma amacı ile katyonik polimer kimyasalı sisteme dozlanmaktadır. Dozaj, otomatik hazırlama ve dozaj sistemi ile yapılmaktadır. Ayrıştırma sonrasında % 25 kuru madde (KM) içeren kek formundaki ürün ilgili yönetmeliklere uygun olarak doğrudan tarım arazisinde toprak şartlandırıcı olarak kullanılabilecektir.

Dekantör: 210 kg KM/sa kapasiteli, $Q = 7 \text{ m}^3/\text{sa}$; Giriş KM = %3; Çıkış KM = %20-25

3.3.7 Biyogaz depolama, arıtma ve kojenerasyon sistemi

Anaerobik atıksu ve katı atık reaktörlerinde oluşan biyogaz kendi basıncı ile biyogaz deposunda toplanmaktadır. Burada biyogazın içeriği ve basıncı sabitlenmektedir. Depo yaklaşık 2,5 saat üretilen biyogazı depolama kapasitesine sahiptir.

Biyogaz depolandıktan sonra içerisindeki hidrojen sülfürün alınması amacı ile biyolojik desülfürizasyon sistemine gelmektedir. Biyolojik sülfür giderimi için gerekli

besi maddeleri atıksu arıtma tesisinde arıtılan suda mevcuttur, bu sebeple atıksu arıtma tesisinde arıtılan suyun bir kısmı sisteme düzenli aralıklar ile verilecektir. Sülfürü alınmış biyogaz bir blower fan yardımı ile kojenerasyon sistemine beslenmektedir.

Blower vasıtası ile kojenerasyon ünitesine beslenen biyogaz burada içten yanmalı motor ve alternatörden oluşan kojenerasyon sisteminde yakılarak elektrik ve ısı enerjisine çevrilmektedir. Üretilen ısı 90 °C sıcaklıkta sıcak su formunda olup, anaerobik reaktörlerin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Isı enerjisi motorun gövde ısısının ve egzoz gazı ısısının geri kazanılması ile sağlanmaktadır. Üretilen ısıdan faydalanılamadığı durumlarda, fazla ısı radyatör vasıtası ile atmosfere verilmektedir. Kojenerasyon sisteminde üretilen elektrik enerjisi ise trafo üzerinden sebekeye beslenmektedir. Kojenerasyon ünitesi 1 adet 1,4 MW elektrik üretim kapasiteli olarak temin edilmiştir.

Gaz Deposu: 1000 m³

Alev Bacası (Flare): 450 m³/sa

Ko-jen elektrik enerji çıkışı: 1400 kW

Kojenerasyon sistemi ısı enerji çıkışı: 1475 kW

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Tesiste günlük 850 m³ süt işlenmekte ve bu ürünlerle süt ve süt ürünleri, yoğurt, peynir, sütlü tatlı ürünleri bunun yanında meyve suyu, ketçap, mayonez, toz ürünleri sonucunda 5000 m³/ gün atık su üretilmiştir. Atıksu arıtma tesisinde yapılan revizyon çalışmalarında, aldığımız bilgilere göre yakın gelecekte yapılması planlanan fabrika genişletme faaliyetleri dikkate alınarak 6920 m³/ gün akış oranı seçildiği gözlenmiştir. Atıksu arıtma tesisinin tasarımı için atıksu miktarı ve özellikleri aşağıdaki gibidir: Debi 6920 m³/ gün; pH 9-11; KOİ 3500 mg/L; BOİ 1500-2000 mg/L'dir; AKM 800 mg/L; yağ ve gres 400 mg/L; TKN 100-200 mg/ L ve TP 1-3 mg/L 'dir. Tesisin arıtma performansını ve enerji verimliliğini belirlemek için fabrikadan elde edilen veriler ve ayrıntılı laboratuvar ölçümleri birleştirilmiştir. Ayrıntılı atık su karakterizasyonunda yapılması için kompozit numuneler, bir ay içinde 9 farklı günde alınmış, alınan bu numuneler fabrikadaki düzenli üretimi temsil etmesi beklenmiştir. Kompozit numuneler 24 saat boyunca 2 saatlik aralıklarla alınmış olup analizden önce 4 °C'lik soğutucu ekipmanda saklanmıştır. AAT'nin performans analizi KOİ, KOİ yükü, hacimsel yükleme oranı, organik yükleme oranı, KOİ giderimi, TKN, NH₄-N, TP, PO₄-P, SS, VSS, yağ ve gres, sülfat, serbest klor ile gerçekleştirilmiştir. İletkenlik, pH ve sıcaklık parametrelerini kullanarak düzenli istatistiksel analiz araçları kullanılmıştır.

Analitik metodlar olarak KOİ, AKM, UAKM, TKN, NH₄-N, PO₄-P, yağ ve gres, serbest klor ve sülfat parametreleri standart yöntemlere göre analiz edildi (APHA, 2005). pH ve iletkenlik, portatif iletkenlik ölçer (Hach Sension 5) kullanılarak belirlendi. Çözülmüş KOİ ve UYA için alınan numuneler, 15 dakika boyunca 9000xg'de santrifüjlendi. Sonuç olarak nihai süpernatant KOİ ölçümü için bir PVDF Millipore (0,45) ile filtrelendi, UYA ölçümü için bir Millipore PVDF (0,22 mm) filtresi ile filtrelendi. KOİ ölçümü numuneleri H₂SO₄ ile korunmuş UYA ölçümü numuneleri 10 M H₃PO₄ ile korunmuştur. UYA seviyesi, bir alev-iyonizasyon dedektörü ve 30mx 0,25mm TRB-FFAP kapiler kolonu (film kalınlığı 0,25 µm) (Altınbaş ve Hasanoğlu, 2018) ile donatılmış bir gaz kromatografisiyle (Shimadzu GC-2010) belirlenmiştir. Element analizi (potasyum, kalsiyum, magnezyum, bakır,

Çinko, sodyum) endüktif olarak bağlanmış plazma optik emisyon spektrometresi (ICP, Perkin Elmer Optima 7000 DV ICP-OES) kullanarak yapılmıştır. Bazı anyonların (klorür, sülfat, nitrat, nitrit ve fosfat) belirlenmesinde ise iyon kromatografisi kullanılmıştır. Biyogaz analizi tesiste mevcut bulunan gaz analiz cihazı (Geotech biogas 5000) ile tespit edilmektedir. Gaz analiz cihazının ölçebildiğı özellikler, CH₄ içeriğı (%), CO₂ içeriğı (%), O₂ içeriğı (%), H₂S içeriğı (ppm) olarak ölçülmektedir. Ölçümler günlük yapılmaktadır ve alınan değerler kayıt edilmektedir

5. ATIKSU ARITMA TESİSİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

AAT'nin analiz dönemi işletme verilerinin istatistiki değerlendirme sonuçları Çizelge 5.1 'te topluca verilmiştir. Her bir kademenin performansı ile ilgili değerlendirme aşağıda özetlenmiştir. Çizelge 5.2'de AAT'nin gaz üretim performansını göstermektedir.

Yapılan testleri incelediğimizde Anaerobik reaktördeki KOİ giderimi verimi ortalama %84 çıkmıştır. KOİ konsantrasyonu zamanın % 85'inde 650 mg/ L'in altındaydı. Bazı operasyonel sorunları olmasına rağmen, yüksek kaldırma verimliliği gözlemlenmiştir. Anaerobik reaktörde, anaerobik çamur yavaş yavaş artmış ve 6000 mg /L'ye ulaşmıştır. Ara sıra çamur yıkaması gözlenmesine rağmen, ortalama 4171 mg/L çamur konsantrasyonu sürdürülmüştür. Sonuçlara göre, reaktördeki düşük biyokütle nedeniyle hacimsel yükleme oranı düşüktür (1,1 kg KOİ/m³ gün). Biyokütle konsantrasyonu 10 kg/m³'e kadar arttırılabiliyorsa, hacimsel yükleme oranı da 2,7 kg KOİ/m³ gün 'e kadar arttırılabilir. Bu tür reaktörlerde, KOİ uzaklaştırma 5-8 kg KOİ/m³ gün gibi yüksek hacimsel yük değerlerinde bile çok yüksek verimlerde (% 80-90) elde edilebilir. Kararlı ve yüksek verimli bir çalışma için, tam karışım anaerobik reaktöre maksimum yükleme 5 kgKOİ/m³gün'ü geçmemelidir (Speece, 1996). Biyokütle 10 g/L'e yükseltilebiliyorsa, organik yükleme oranı 0,38 kg KOİ/kg UAKMgün olacaktır, böylece 0,5 kgKOİ/kgUAKMgün kritik yükünün altında kalarak kararlı çalışma koşulları elde edilebilir. Degazöre giren anaerobik reaktör çıkış suyunda gözlemlenen çamur hacmi indeksleri incelendiğinde, sistemin %85'lik kritik seviyesi olan 134 mg/L'nin altında gözlemlenmiş ve sistemin verimli çalıştığı onaylanmıştır. Anaerobik çökeltme tankındaki biyokütle yıkamasının bir başka nedeni, havuzun yetersiz yüzey alanıdır. Anaerobik reaktör atığı, çözünmüş gazları atık sudan uzaklaştırmak için ilk önce degazöre beslenmiştir. Degazör çıkışı daha sonra 941 m²'lik bir yüzey alanına sahip çökeltme tankına beslenmiştir. Literatürde yüzey yük değerinin 0,25 m³/m² sa'i geçmemesi önerilmiştir (Nahle, 1991). Ancak AAT'nin tam kapasite çalışması durumunda bu değer 0,5 m³/m² sa değerini aştığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, anaerobik çöktürme tankının çıkışındaki AKM'nin, yeterli çöktürmeyi için 100 mg/L'nin altında tutulması önerilmiştir.

Çizelge 5.1 : AAT performans değerlendirmesi.

Birimler	Parametre	Ortalama	Aralık	%85'lik değer	Std.Sapma
Ham Atıksu	KOİ, mg /L (n=327)	3658	1289- 8111	4702	1043
	KOİ yükü, kg/gün (n=327)	10129	1654-28623	16250	346
	AKM, mg/L (n=327)	577	357-830	-	150
	UAKM, mg/L (n=327)	526	330- 730	-	130
	Sülfat, mg/L (n=327)	290	123- 462	-	88
	Serbest Klor, mg/L (n=327)	3,4	2,6- 4,9	-	0,4
	pH (n=327)	8,1	5,7- 11,2	9,8	1,4
	Sıcaklık, °C (n=327)	31	21- 38	34	2,7
Anaerobik Besleme Tankı	KOİ, mg L (n=327)	2765	1094- 5171	3475	748
	KOİ Giderim Verimi, % (n=327)	20	N/A-75	-	28
	AKM, mg/L (n=327)	549	328-740	-	167
	UAKM, mg/L (n=327)	499	305-690	-	149
	Serbest Klor, mg/L (n=327)	3,1	0,5-4,5	-	0,8
	pH (n=327)	7,6	5,6- 10,5	8,0	0,7
	Sıcaklık, °C (n=327)	30	15-35	33	3,2
	TKN, mg/L (n=9)	49	42-68	4,9	3,0
	NH ₄ -N, mg/L (n=9)	35	20-50	6,0	3,7
	TP, mg/L (n=9)	136	82-211	7,0	16,4
	PO ₄ -P, mg/L (n=9)	74	41-109	13,7	8,3
	İletkenlik, µS/cm (n=9)	1937	1778-2031	43,2	26,7
	Yağ ve Gres, mg/L (n=9)	327	242-480	105,4	54,7
Anaerobik Reaktör içi	AKM, mg/L (n=327)	4171	360-8860	-	1664
	UAKM, mg/L (n=327)	3229	275- 6280	-	1408
	Serbest Klor, mg/L (n=327)	0,8	0-3,6	-	0,6
	pH (n=327)	7,2	6,7-7,8	7,3	0,1
	Sıcaklık, °C(n=327)	37	31-38	37	0,8
	Hacimel Yük. Hızı, kg KOİ/m ³ gün (n=327)	1,1	0-3,6	-	0,6
	Organik Yük. Hızı, kg KOİ/kg UAKM.gün (n=327)	0,7	0,2-4,0	-	0,7
	TKN, mg/L (n=9)	84	29-119	25,6	44,7
	NH ₄ -N, mg/L (n=9)	33	20-50	4,8	8,3
	TP, mg/L (n=9)	314	172-452	69,5	111,4
	PO ₄ -P, mg/L (n=9)	97	69-120	14,1	22,8
	İletkenlik, µS/cm (n=9)	2505	2382-2675	58,9	103,1
	Yağ ve Gres, mg/L (n=9)	40	17-59	12,1	15,2
Anaerobik Çıkış	AKM, mg/L (n=327)	205	20-2130	220	348
	UAKM, mg/L (n=327)				
	KOİ, mg/L (n=327)	427	108-1621	648	262
	KOİ yükü, kg/gün (n=327)	1136	199-6323	1766	838
	KOİ Giderim Verimi, % (n=327)	84	35-96	92	9,8
	pH (n=327)	7,4	6,9-7,9	7,6	0,2
	Sıcaklık, °C(n=327)	32	27-37	34	1,7
	UYA mg/L(n=327)	1,5	0,1-8,3	2,7	1,6
	Sülfat mg/L (n=327)	83	28-121	-	37
	TKN, mg/L (n=9)	56,3	32-110	10,8	21,8
	NH ₄ -N, mg/L (n=9)	33	26-45	3,2	6,1
	TP, mg/L (n=9)	188,5	95-514	70,5	132,9
	PO ₄ -P, mg/L (n=9)	98	83-114	5,6	9,7
	İletkenlik, µS/cm (n=9)	2496,9	2330-2898	90,5	170,5
	Yağ ve Gres, mg/L (n=9)	40	17-59	12,1	15,2
Aerobik Çıkış Deşarj	KOİ, mg/L (n=327)	31	9-150	47	20
	KOİ Giderim Verimi (aerobik unite), % (n=327)	90	32-99	97	8,7
	pH (n=327)	7,8	7,2-8,1	7,9	0,1
	KOİ Yükü (deşarj), kg/gün (n=327)	80	11-538	129	64
	KOİ Giderimi (toplam AAT), % (n=327)	99,1	94,7-99,9	99,6	0,7

Mikro element eksikliğinin analizi için besleme tankından anaerobik reaktör örnekleri alınmıştır ve proses atık suyunda Co ve Ni elementlerinin eksik olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.2 : AAT'nin gaz hattı performans değerlendirmesi.

Aritma Birimi	Parametre	Ortalama	Maks	Min	Medyan	Mod	%85'lik değer	Std. Sapma	
Temas	Reaktörü Gaz Kompozisyonu	CH ₄ , %	80,5	93,4	7,8	81,2	80,9	-	8,8
		CO ₂ , %	13,0	28,5	4,8	12,2	12,6	-	4,7
		O ₂ , %	0,2	0,6	0	0,2	0,2	-	0,07
		H ₂ S, ppb	-	>9999	707	7349	>9999	>9999	-
Çürütücü	Reaktörü Gaz Kompozisyonu	CH ₄ , %	72,5	92,4	34,2	75,0	76,1	79,1	8,3
		CO ₂ , %	23,9	56,2	1,5	20,2	19,5	37,2	10,2
		O ₂ , %	0,3	7,4	0	0,2	0,2	0,3	0,9
		H ₂ S, ppb	-	>9999	39	4248	>9999	7505	-
Bio-scrubber	Giriş Gaz Kompozisyonu	CH ₄ , %	77,9	92,3	17,4	79,6	80,0	84,9	9,9
		CO ₂ , %	13,8	39,4	0,6	12,7	0,4	19,3	6,0
		O ₂ , %	0,5	13,3	0	0,1	0,1	0,3	1,7
		H ₂ S, ppb	-	>9999	39	7556	>9999	>9999	-
Bio-scrubber	Çıkış Gaz Kompozisyonu	CH ₄ , %	65,0	91,1	20,4	66,9	67,4	72,3	10,1
		CO ₂ , %	12,5	35,4	4,8	10,7	8,8	17,7	5,6
		O ₂ , %	2,8	8,1	0	2,4	2,2	4,6	1,7
		H ₂ S, ppb	-	>9999	16	950	>9999	3318	-

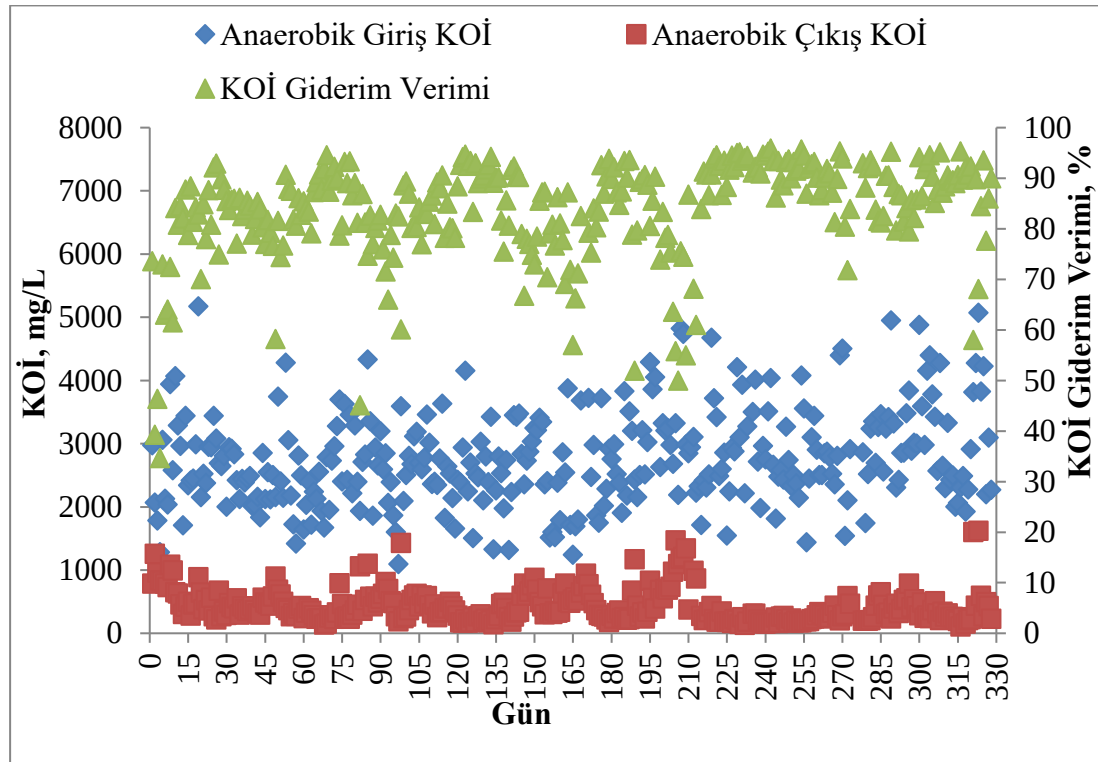
Analizlerin sonuçları, en bol miktarda mikro elementin Na (28-75 mg/L), ardından Fe (0,1-14,4 mg/L), K (0,23-5,7 mg/L) ve Ca (0,13-4,5 mg/L).

Mevcut konvansiyonel aktif çamur sisteminin yenilenmesi ve anaerobik sisteme yükseltilmesi net enerji üreten bir tesis olarak ortaya çıkmıştır. Ancak bazı operasyonel sorunlar da gözlenmiştir. Anaerobik temas reaktörü, reaktördeki düşük biyokütle konsantrasyonu nedeniyle tam kapasitede çalıştırılmamıştır. Anaerobik biyodegradasyon ile reaktörde büyüyen biyokütlenin önemli bir kısmı çökeltme tankından kaçmıştır. Reaktörün tam kapasitede çalışabilmesi için anaerobik biyokütle konsantrasyonunun artırılması gerekmektedir. FeCl₃ esas olarak sülfid inhibisyonunu önlemek için reaktöre beslenmiştir, ancak bu ilave biyokütlenin anaerobik

sedimentasyon tankından kaçmasını önlemek için flokülasyon işlemine de yardımcı bı olmuştur. İlk aşamada, mevcut çalışma koşullarında (5000 m³/gün akış) uygulanacak FeCl₃ dozajının 7 ~ 8 ton FeCl₃/ay (~ 230-270 kg/gün) olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, atık suda Co ve Ni elementleri eksik bulunmuştur. Bu nedenle, CoCl₂ ve NiCl₂'nin 0,5 mg/L konsantrasyonunda, tercihen 4 saatlik aralıklarla günlük yükleme şeklinde uygulanması önerilir. (her 4 saatte bir günlük Ni + Co gereksiniminin ~ 1 / 6 'sı). Ayrıca, sodyum metabisülfıt serbest klorun uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanıldığından tampon tankındaki toplam klor seviyesini 1 ppm tutmak için gerekli önlemler alınmalıdır.

5.1 Anaerobik Arıtma Kademesi

Floküler çamurlu ve temas reaktörü (havasız aktif çamur sistemi) olarak bilinen anaerobik arıtma kademesinde KOİ giderim verimi ve giriş, çıkış KOİ konsantrasyonları Şekil 5.1'de verilmiştir. Anaerobik reaktördeki giderim veriminin ortalama % 84 ve çıkış KOİ konsantrasyonu zamanın %85'inde 650 mg/L'nin altında olduğu tespit edilmiştir.



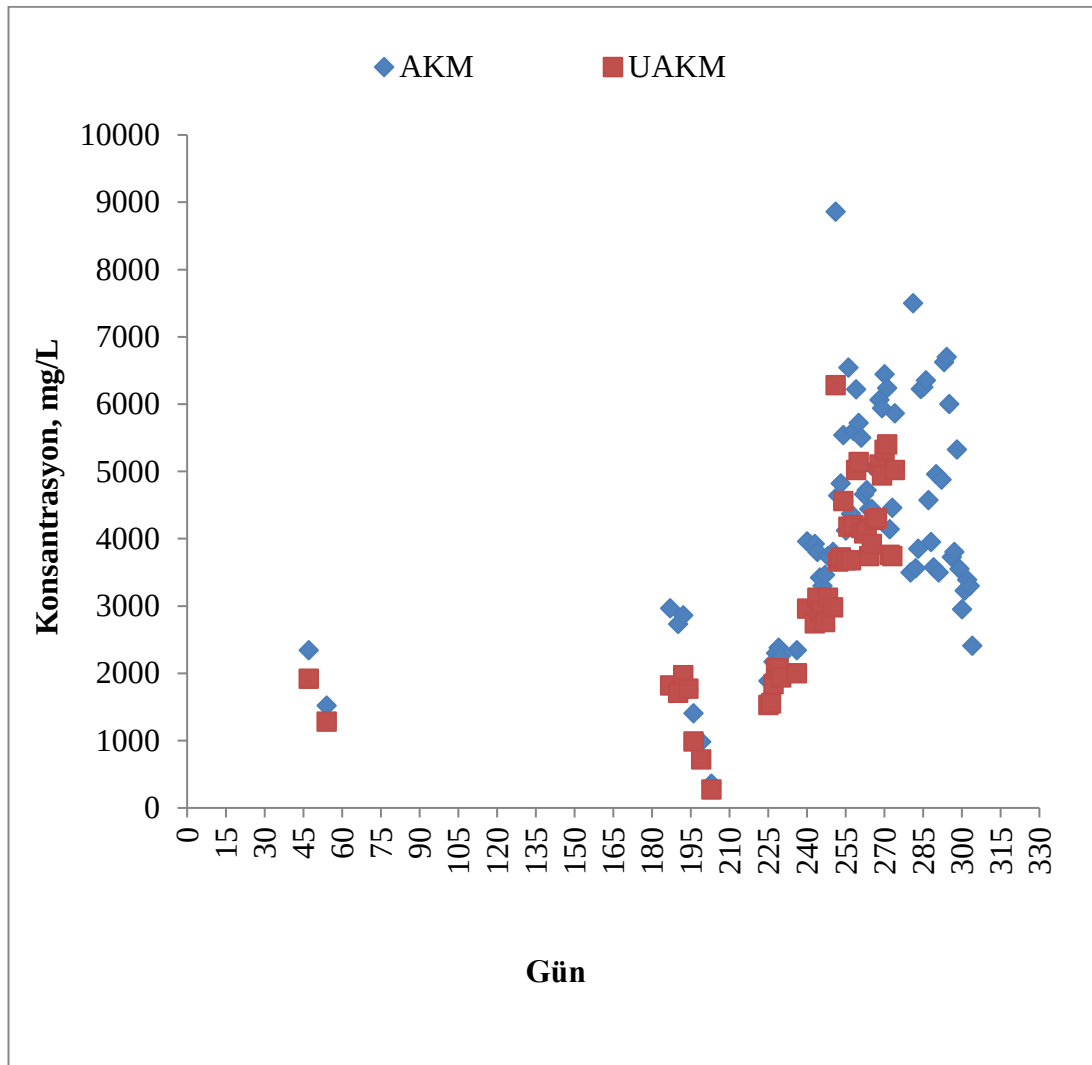
Şekil 5.1 : Anaerobik Reaktördeki KOİ giderim verimi ve çıkış KOİ konsantrasyonunun zamana göre değişimi.

Şekil 5.2’de verilen anaerobik reaktördeki AKM ve UAKM’nin son dönemlerde giderek arttığı ve 6000 mg/L’ye ulaştığı gözlenmiştir.

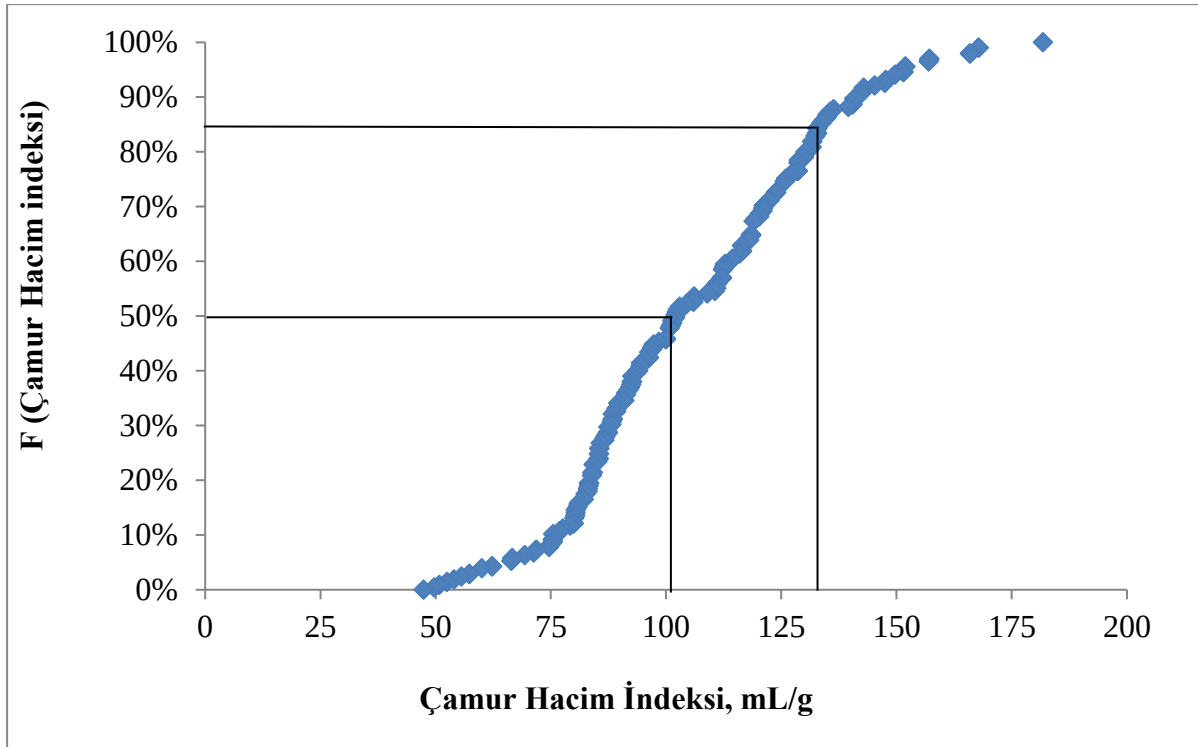
Degazöre giren anaerobik reaktör çıkış akımında gözlenen çamur hacim indeksinin eklenik ihtimal değerleri Şekil 5.3’de gösterilmiştir.

Buna göre zamanın %85’inde 134 mL/g değeri gözlemlenmiştir. Kritik seviye olan 150 mL/g seviyesinin altında olduğu belirlenmiştir ve 150 mL/g değerinin altında kaldığı için sistem verimli çalışmaktadır.

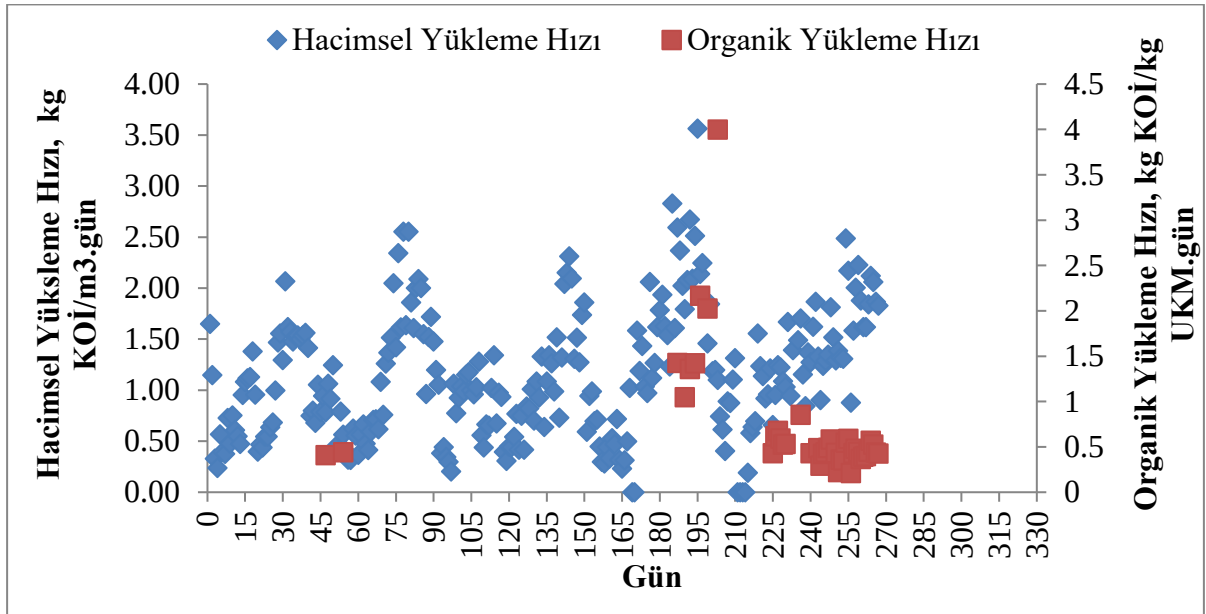
Reaktöre beslenen organik yük (KOİ) miktarları Şekil 5.4’de verilmiştir. Bu değerlere göre reaktörün organik yükleme hızının düşük olduğu belirlenmiştir. Biyokütle konsantrasyonunun 10 kg/m³’e çıkarılması halinde hacimsel yükleme hızının da 5 kg KOİ/m³ gün seviyelerine çıkarılabileceği yapılan incelemeler sonucunda görülmektedir.



Şekil 5.2 : Anaerobik reaktördeki ortalama biyokütle konsantrasyonları.

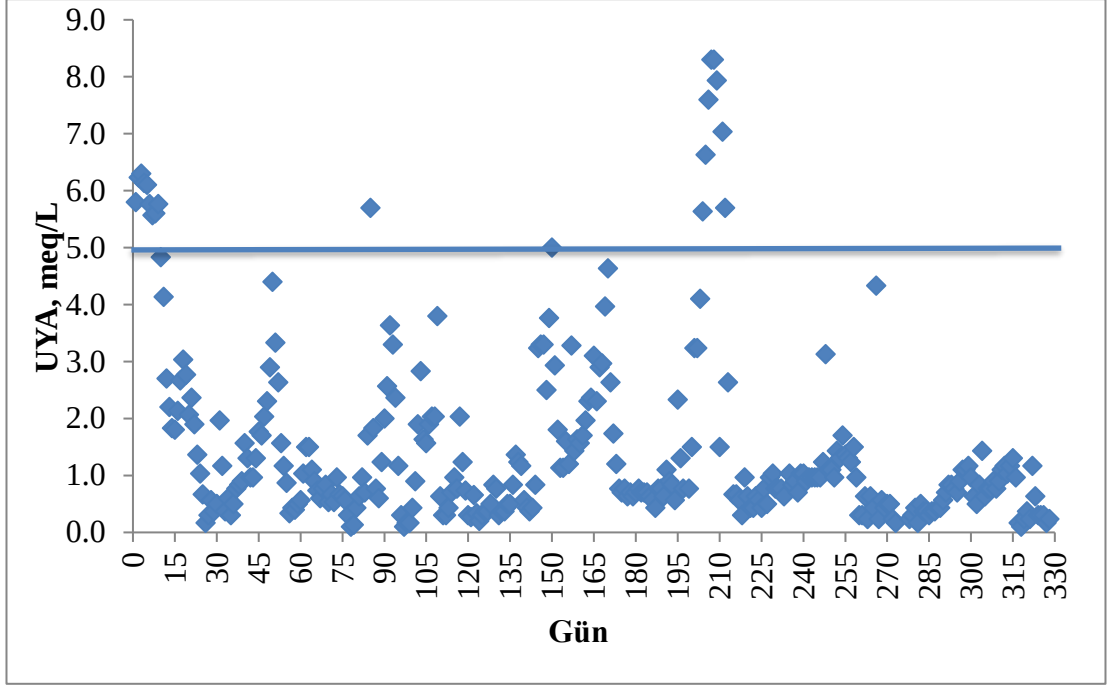


Şekil 5.3 : Degazör ünitesine giren anaerobik reaktör çıkışında çamur hacim indeksi değerlerinin eklenik ihtimal grafiği.



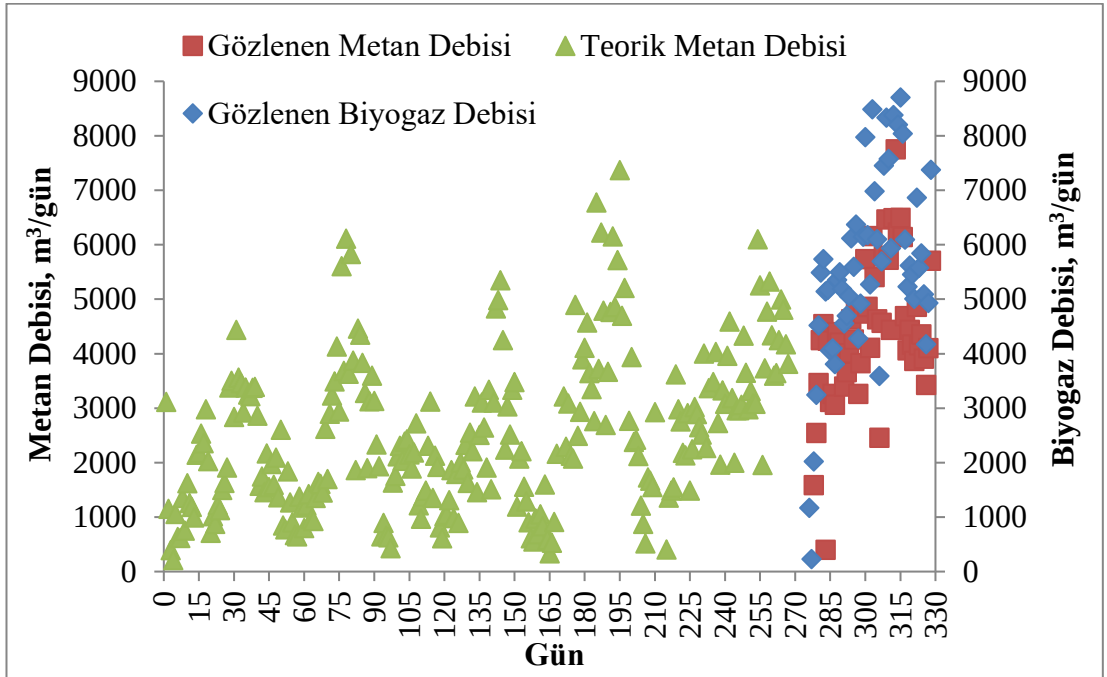
Şekil 5.4 : Anaerobik reaktöre yapılan organik madde yükleme hızları.

Anaerobik reaktörde Uçucu Yağ Asiti (UYA) ‘nin zamana göre değişimi Şekil 5.5’de verilmiştir. Anaerobik reaktör içerisinde UYA değerinin 5 meq/L değerini aşması istenmemektedir (Speece, 1996). Tesiste zamanın sadece %6’sında bu kritik seviyenin aşıldığı gözlenmiştir.

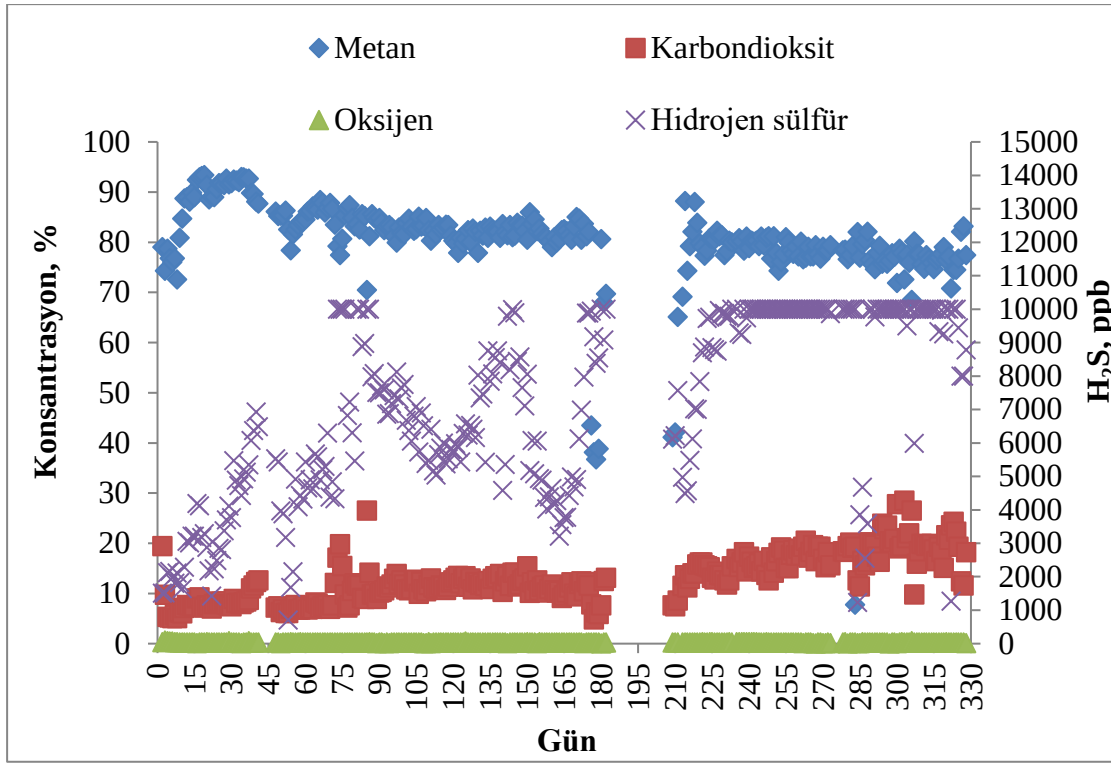


Şekil 5.5 : Anaerobik reaktörde Uçucu Yağ Asitinin zamana göre değişimi.

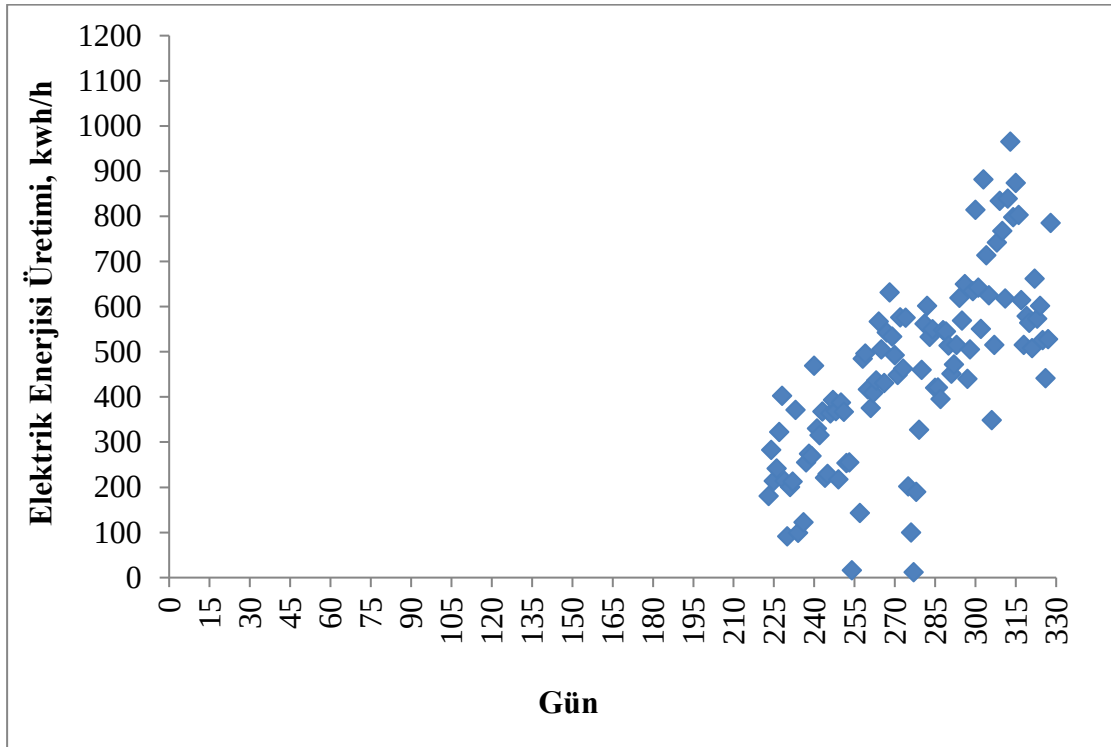
Anaerobik Reaktörde oluşan biyogaz debisinin zamana göre değişimi Şekil 5.6’de verilmiştir. Reaktörde üretilen biyogazın bileşimi ise Şekil 5.7’te verilmiştir. Biyogazda metan içeriğinin yüksek olduğu ve bileşimi oksijen değerinin %0,1’in altında kaldığı gözlenmiştir. Hidrojen sülfür ölçerin ölçüm üst limiti 9999 ppb olup bu değerin üstündeki değerler okunamamıştır (gazdaki H_2S içeriği >1 ’dir).



Şekil 5.6 : Anaerobik Reaktörde oluşan biyometan debisinin zamana göre değişimi.



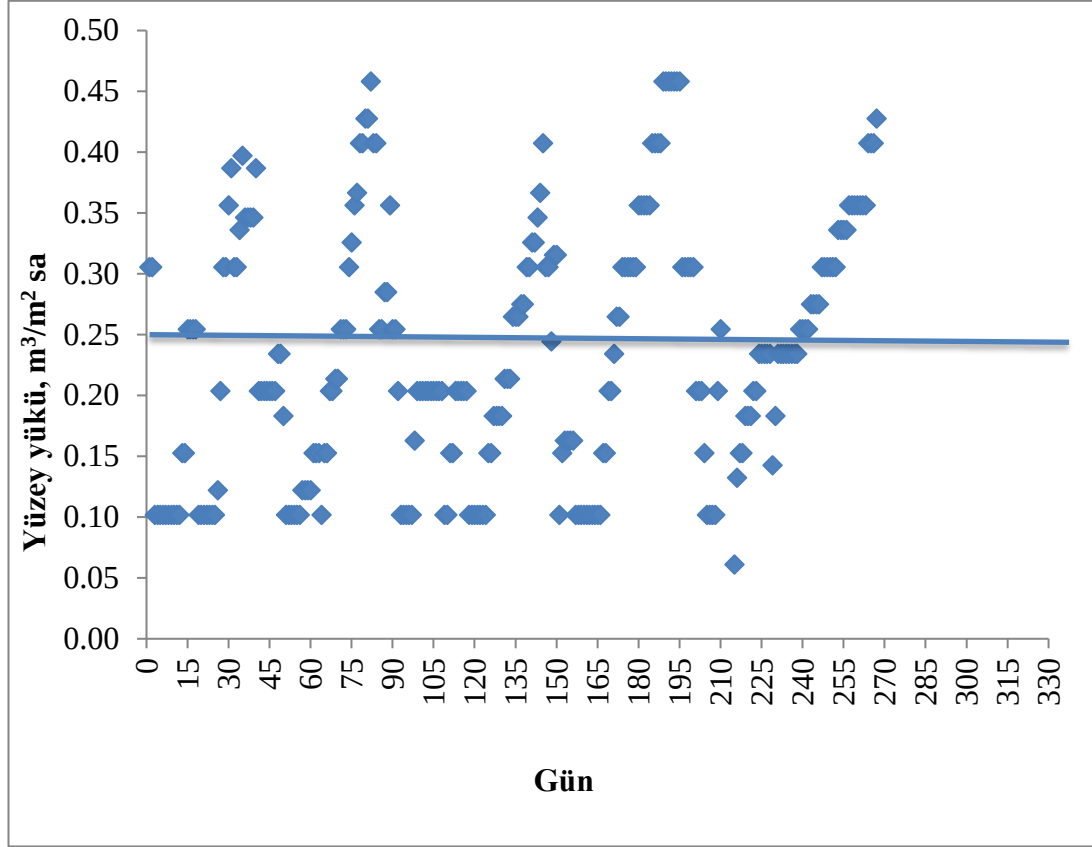
Şekil 5.7 : Anaerobik Reaktörde oluşan biyogazın bileşimi.



Şekil 5.8 : Kojenerasyon tesisinde üretilen elektrik enerjisi miktarları.

Tesisin kojenerasyon biriminde üretilen elektrik enerjisi miktarları zamana bağlı olarak Şekil 5.8’de verilmiştir.

Anaerobik reaktör çıkışı atıksuyun içerisindeki çözünmüş gazların uzaklaştırılması için önce degazöre beslenmektedir. Sonrasında degazör çıkışı 941 m² yüzey alanına sahip anaerobik çökeltim havuzuna verilmektedir.



Şekil 5.9 : Anaerobik çökeltim havuzunda uygulanan yüzeysel hidrolik yüklerin değişimi.

Çökeltim havuzuna yapılan yüzeysel yükleme grafiği Şekil 5.9’da verilmiştir. Yüzey yükünün 0,2-0,25 m³/m²sa olması tavsiye edilmektedir. Ancak tesiste zamanın %44’ünde bu kritik değerin aşıldığı gözlenmiştir.

5.2 Anaerobik Reaktör İşletme Problemleri

Anaerobik reaktöre besleme havuzundan alınan numunelerde mikro element eksikliğinin tespiti için analizler yapılmış olup yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Anaerobik arıtma esnasında özellikle metanojenlerin faaliyetlerini sürdürebilmeli için mikro element ihtiyaçları vardır. Literatürde farklı kompozisyon ve konsantrasyonda element ihtiyaçları belirlenmiştir. Çizelge 5.4’de bu konsantrasyonlar belirtilmiştir.

Çizelge 5.3 : Anaerobik besleme havuzunda yapılan mikroelement analiz sonuçları.

Element	Birim	Değer
Ca	mg/L	0,13-4,5
Mg	mg/L	0,016-1,93
Na	mg/L	28-73
Pb	mg/L	0,21-0,25
Cd	mg/L	1,1-2,1
Zn	mg/L	0,07-0,36
Ni	mg/L	0-0,01
Cu	mg/L	0,04-2,9
K	mg/L	0,23-5,7
Fe	mg/L	0,1-14,4
S	mg/L	0,5-0,9
Mn	mg/L	0
Co	mg/L	0

Tesisin proses atıksuyunda özellikle Co ve Ni elementlerinin eksik olduğu tespit edilmiştir.

20 g Toplam KOİ başına aşağıdaki kompozisyondan 1 mL iz element çözeltisi ilave edilmesi halinde metan üretim veriminin arttığını tespit etmiştir (Angelidaki, 1990).

$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2000 mg/L,

$\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 106 mg/L

(NH₄)Mo₇O₂₄•6H₂O 50 mg/L

Çizelge 5.4 : Anaerobik biyokütle için gerekli mikro elementler ve konsantrasyonları.

İz Element	İz Element Tuzu	Konsantrasyon	Birimi	Besleme Şekli	Açıklama	Kaynak
Co	CoCl ₂ •6H ₂ O	2000	mg/L	Besleme çözeltisine	20 g TCOD için 1 ml izAngelidaki element çözeltisi	I, 1990
		10	mg/L	Besleme çözeltisine		Espinosa A, 1995
		0,3-10	mg/L	Besleme çözeltisine	50 g/L COD için	Weiland, P. 1991
		0,05-2	mg/L	Besleme çözeltisine	10 g/L COD için	Weiland, P. 1991
	CoCl ₂	0,003	mg/ g Asetat	Besleme çözeltisine / reaktör içerisine		Speece, R.E., 1996
Zn	ZnCl ₂	0,1	mg/L reaktör hacmi	Reaktör İçerisine	VFA yükselmesi durumunda	Speece, R.E., 1996
		50	mg/L	Besleme çözeltisine	20 g TCOD için 1 ml izAngelidaki element çözeltisi	I, 1990
Mo	(NH ₄)Mo ₇ O ₂₄ •6H ₂ O	0,02	mg /g Asetat	Besleme çözeltisine / reaktör içerisine		Speece, R.E., 1996
		50	mg/L	Besleme çözeltisine	20 g TCOD için 1 ml izAngelidaki element çözeltisi	I, 1990
		0,2	mg/L	Besleme çözeltisine		Espinosa A, 1995
		0,05-0,2	mg/L	Besleme çözeltisine	50 g/L COD için	Weiland, P. 1991
Ni	NiCl ₂ •6H ₂ O	0,01-0,05	mg/L	Besleme çözeltisine	10 g/L COD için	Weiland, P. 1991
		142	mg/L	Besleme çözeltisine	20 g TCOD için 1 ml izAngelidaki element çözeltisi	I, 1990
		15	mg/L	Besleme çözeltisine		Espinosa A, 1995
		0,3-15	mg/L	Besleme çözeltisine	50 g/L COD için	Weiland, P. 1991
		0,05-3	mg/L	Besleme çözeltisine	10 g/L COD için	Weiland, P. 1991
		0,004	mg/gAsetat	Besleme çözeltisine / reaktör içerisine		Speece, R.E., 1996
Ni	NiCl ₂ •6H ₂ O	0,1	mg/ L reaktör hacmi	Reaktör İçerisine	VFA yükselmesi durumunda	Speece, R.E., 1996

Çizelge 5.4 (devamı): Anaerobik biyokütle için gerekli mikro elementler ve konsantrasyonları.

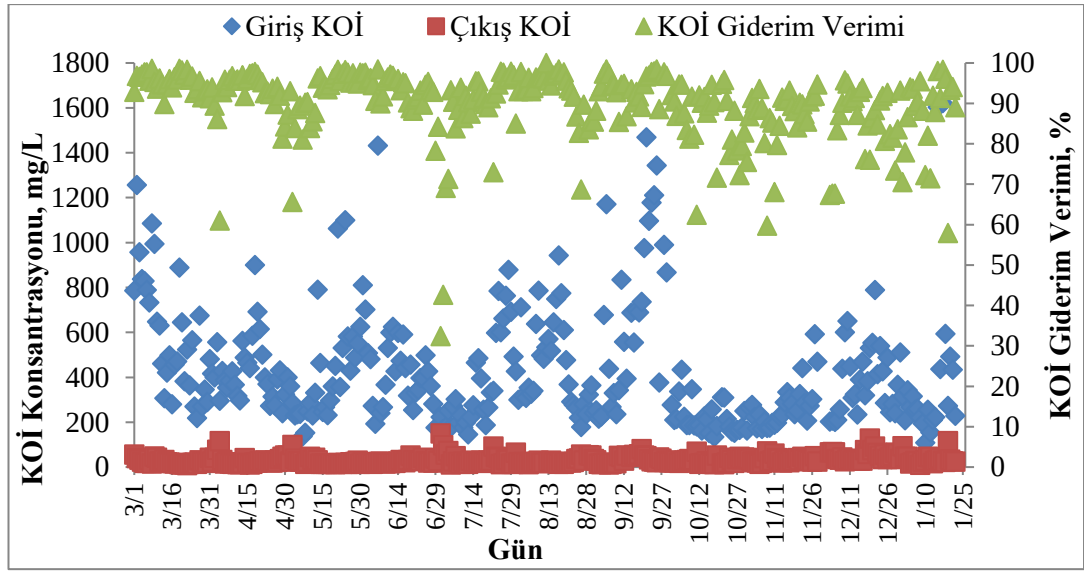
İz Element	İz Element Tuzu	Konsantrasyon	Birimi	Besleme Şekli	Açıklama	Kaynak
Fe ²⁺		100	mg/L	Besleme çözeltisine		Espinosa A, 1995
		3-100	mg/L	Besleme çözeltisine	50 g/L COD için	Weiland, P. 1991
		0,5-20	mg/L	Besleme çözeltisine	10 g/L COD için	Weiland, P. 1991
		0,023	g/g Asetat	Besleme çözeltisine / reaktör içerisine		Speece, R.E., 1996
		1	mg/L reaktör hacmi	Reaktör İçerisine	VFA yükselmesi durumunda	Speece, R.E., 1996

5.3 Aerobik Arıtma Kademesi

Askıda çoğalan aerobik biyolojik arıtma (aktif çamur) prosesi olan aerobik arıtma kademesinde, giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonu Şekil 5.10’da verilmiştir. SKKY’deki deşarj limitleri Çizelge 5.5’de verilmiştir. Deşarj limitleri ile Aerobik çıkış değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.5 : SKKY KOİ Deşarj limitleri.

Parametre	Kompozit Numune (2 Saatlik)	Kompozit Numune (24 Saatlik)
KOİ, mg/L	170	160
Yağ ve Gres, mg/L	60	30
pH	6-9	6-9



Şekil 5.10 : Aerobik Reaktördeki giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonlarının zamana göre değişimi.

6. EKONOMİK ANALİZ

AAT’de bulunan arşiv verilerine dayanan ayrıntılı araştırma ile bu tesiste onbir aylık gözlem süresi ile birlikte 1055 kWh elektrik enerjisi üretildiği sonucuna varılmıştır. Arıtma tesisi için yapılan net enerji üretim analizi Çizelge 6.1 ‘de gösterilmiştir. Tesisin eski durumunda sadece aerobik arıtmaya giren KOİ’yi azaltmak için yüksek oranda kimyasal (kostik, flolülant ve asit) kullanılmıştır. Anaerobik arıtma ile birlikte incelendiğinde ise DAF sistemi KOİ giderimi sağlamadan çalışmaya devam ederek (kimyasal DAF olarak değil) böylece anaerobik arıtmaya zararlı yüzen yağlar ayrıştırılır. 125000 €/yıl kimyasal tüketimden gelen bir maliyet azaltılmış olur.

Çizelge 6.1 :AAT’nin enerji üretim analizi.

Parametre	Birim	Değer
Biyogaz miktarı	m ³ /yıl	3111988
Biyogaz miktarı	m ³ /h	370
Biyogaz metan oranı	%	71
Biyogaz enerji içeriği	kWh/m ³	7,1
Elde edilen ham enerji	kW	2510
Ko-jen elektrik verimi	%	42
Üretilen elektrik enerjisi	kW	1054
Üretilen yıllık elektrik enerjisi	kWh/yıl	9203209
Ko-jen ısı verimi	%	45
Üretilen ısı enerjisi	kW	1182
Üretilen yıllık ısı enerjisi	kWh/yıl	10353611
Tesis elektrik sarfıyatı	kWh/yıl	600000
Net elektrik üretimi	kW	8603209
Tesis ısı tüketimi	kWh/yıl	500000
Net ısı üretimi	kWh/yıl	9853611
Elektrik birim fiyatı	€/kWh	0,085
Doğalgaz birim fiyatı	€/m ³	0,30
Aerobik arıtma zamanında tehlikeli atık miktarı	ton/yıl	1750
Tehlikeli atık bertaraf bedeli	€/ton	100

Ayrıca, DAF kullanımı sırasında yüksek miktarda kimyasal çamur oluşmuştur. Bu çamur, tehlikeli atık olarak bertaraf edilmiştir. Bertaraf edilen bu kimyasal çamur 1750

ton/yıl ve 100 €/ton maliyet üzerinden ödenmiştir. Buradan 175000 €/yıl dan daha fazla bir tasarruf sağlanacağını göstermektedir. Anaerobik arıtma kurulduktan sonra, havalandırmaya giren KOİ yükü azaltılmıştır ve havalandırma göletlerinin sayısı da 1'e düşürülmüştür, geleneksel aktif çamur işlemi başlatılmıştır. KOİ yükü azaltıldığından, önceki koşullarda birim ürün başına 500 kW havalandırma için enerji harcanırken, yeni durumda 150 kW enerji yeterli olmuştur. Bu iyileştirme ile 352201 €/yıl tasarruf enerjiden sağlanmıştır. AAT'nin eski sisteminde sadece aerobik arıtma bulunduğundan oluşan biyolojik çamurda yeni sistem ile birlikte önemli ölçüde azalacak ve katı atık çürütücüsünde daha iyi bir çürütme sağlanacaktır. Yapılan yatırımın ekonomik analizi Çizelge 6.2'de gösterilmiştir. Yatırımın basit geri dönüş süreside çizelge de belirtilmiştir. Yapılan çalışmalar süt endüstrisinde yapılan anaerobik arıtma sistemlerinin uygun olduğunu ve süt endüstrisinin ısı ve enerji ihtiyacına katkı sağladığı ve birim ürün başına enerji maliyetleri düşüren bir iyileştirme olduğunu göstermiştir.

Çizelge 6.2 : AAT'nin ekonomik analizi.

Parametre	Birim	Değer
Gelirler		
Elektrik enerjisi geliri	€/yıl	714066
Doğalgaz karşılığı ısı enerjisi geliri	€/yıl	246340
Arıtma tesisi kimyasal madde tasarrufu	€/yıl	125000
Atıksu arıtma tesisi enerji tasarrufu	€/yıl	352201
Yağ bertaraf tasarrufu	€/yıl	175000
Çamur bertaraf tasarrufu	€/yıl	0
Toplam gelirler	€/yıl	1612608
İşletme Giderleri		
Personel gideri	€/yıl	0
Yedek parçave bakım	€/yıl	50000
Kimyasal madde	€/yıl	0
Toplam işletme giderleri	€/yıl	50000
Yatırım geri ödemesi		
Yaklaşık yatırım maliyeti	€	2575000
Net gelir	€/yıl	1562608
Yatırım geri dönüş süresi	yıl	1,65

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Süt Endüstrisi AAT'nin yaklaşık onbir aylık gözlemlere dayalı olarak yapılan detaylı incelemeler sonucunda enerji verimliliği ortaya konmuştur. AAT'nin anaerobik reaktör sonrası net enerji üretimi Çizelge 7.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 : AAT'nin anaerobik reaktör sonrası net enerji üretimi.

Parametre	Birim	Değer
Net KOİ giderimi	mg/L	2338
Atıksu debisi	m ³ /gün	6500
Net KOİ yükü	kg KOİ/gün	15197
Teorik metan içeriği	m ³ CH ₄ /kg KOİ	0,397
Net CH ₄ debisi	m ³ /gün	6033,21
Biyogaz içindeki CH ₄ içeriği	%	71
Biyogaz debisi	m ³ /gün	8497,5
Metan debisi	m ³ /h	251
Metan debisi	kWh	2510
Gaz motoru yanma verimi		0,42
Net elektrik üretimi	kWh	1055

Gözlemlenen proseste anaerobik temas reaktöründe atıksu kirlilik profili ile gözlemlenen KOİ giderimi ortalama değerinde 2338 mg/L çıkmıştır. KOİ giderim verimi % 84 olarak gözlemlenmiştir. Bu değer literatür taramalarındaki ortalama giderim verimleri ile karşılaştırıldığında reaktörün doğru seçildiği anlaşılmaktadır.

Degazöre giren anaerobik reaktör çıkış akımında gözlenen çamur hacim indeksi zamanın %85'inde 134 mL/g değeri gözlenmiştir ve kritik seviye olan 150 mL/g seviyesinin altında olduğu için sistem verimli çalışmaktadır.

Tesisten alınan proses değerleri ile birlikte hesaplandığında saatlik 1055 kWh enerji üreten bir tesis olduğu görülmüştür. Tesisin yenilenmesi sonrası pekçok değer değişmiş, aerobik arıtma zamanında enerji ve kimyasal tüketen atık yükü yüksek bir tesis iken anaerobik arıtma ile birlikte kimyasal tüketimi %70 azalmıştır. Atık bertaraf maliyeti azalmış, günün her saati enerji üreten ve ürettiği bu elektrik ile enerjinin kaynağında tüketilmesi süreçlerini gerçekleştiren bir arıtma tesisi gözlemlenmiştir.

Anaerobik arıtma atıksu debisi, organik atık içeriği yüksek tesisler için çok verimli çalışmakta ve tesise gelir getirmektedir. Özellikle tarımsal endüstrilerden yüksek

organik içeren süt endüstrisi atıksuların arıtımında anaerobik arıtma prosesi, aerobik arıtma prosesine göre daha uygun bir yöntemdir.

Yatırım bütçesi yüksek bir miktar olmasına rağmen sistem iyi incelenip proses iyi analiz edildiğinde proje geri ödeme süresi çok kabul edilebilir değerlere dönüşmektedir.

Enerji üretim miktarını artırmak ve sürekliliğini sağlamak amacı ile anaerobik reaktörlerin stabil işletimi gereklidir. Bu kapsamda Uçucu Yağ Asit (UYA)'nın konsantrasyonunun 5 meq/L değerini aşmaması, aşması halinde reaktör beslemesinin durdurulması, anaerobik biyokütle konsantrasyonunun arttırılması, anaerobik çökeltim havuzunda yüzey yükü değerinin 0,25 m³/m²sa'yi aşmaması, çökeltme havuzundaki biyokütle kaçışını engellemek için floklaşmaya yardımcı olarak reaktöre FeCl₃ beslemesi yapılması, atıksuda bulunmayan Co ve Ni elementlerinin sudaki konsantrasyonları 0,5 mg/L olacak şekilde tercihen günlük dozu 4 saatlik aralıklarla ani yüklemeler halinde uygulanması ve atıksudaki toplam klor seviyesinin < 1 ppm olması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

- AAT İşletme Kitapçığı** (2013). Atıksu Arıtma Tesisi ve Katı Atık Değerlendirme Projesi, Arbiogaz, İstanbul.
- Angelidaki I, Peterden SP, Ahring BK.** (1990). Effects of lipids on thermophilic anaerobic digestion and reduction of lipid inhibition upon addition of bentonite. *Appl Microbiol Biotechnol*;33:469–72.
- Banik GC, Dague RR** (1997). ASBR treatment of low strength industrial wastewater at psychrophilic temperatures. *Water Sci Technol*; 36:337–44.
- Demirel, B., Yenigün, O., Onay, T.T.,** (2004). Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review, *Process Biochemistry*, 40, 8, 2583-2595.
- Espinosa A, Rosas L, Ilangovan K, Noyola A.** (1995). Effect of trace metals on the anaerobic degradation of volatile fatty acids in molasses stillage. *Water Sci Technol*; 32(12):121±9.
- Farizoğlu, B., Uzuner, S.,** (2011). The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system, *Biochemical Engineering Journal*, 57, 46-54.
- Nahle, C.** (1991). The contact process for the anaerobic treatment of wastewater: technology, design and experiences, *Water Science and Technology*, 24 (8), 179-191.
- Öztürk, İ.,** (2007). Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Ramasamy EV, Gajalakshmi S, Sanjeevi R, Jithesh MN, Abbasi SA.** (2004). Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresour Technol*;93:209–12.
- Rajesh Banu, J., Anandan, S., Kaliappan, S., Yeom, I.T.** (2008). Treatment of dairy wastewater using anaerobic and solar photocatalytic methods, *Solar Energy*, Vol. 82, 812-819.
- Speece, R. E.,** (1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*, Archae Press, USA.
- Weiland, P. and Rozzi A.** (1991). The start-up, operation and monitoring of high rate anaerobic treatment systems: discussor's report digester. *Wat. Sci. Tech.*, 24(8), 257-277
- Wheatley A. Anaerobic digestion: a waste treatment technology.** (1920). London and New York: Elsevier Applied Science; 1990.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Ebubekir Akkoyun
E-posta : bekirakkoyun06@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2008-2009 yılları arasında Proses Geliştirme Mühendisi olarak çalıştı.
- 2010-2019 yılları arasında Tesis Bakım Mühendisi olarak çalıştı. Halen çalışmaktadır.