



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEKER PANCARINDAN BİYOETANOL ÜRETİMİ AŞAMASINDA ORTAYA
ÇIKAN ŞİLEMPENİN BİYOGAZ ÜRETİMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Emre ŞİRİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Emre ŞİRİN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEKER PANCARINDAN BİYOETONAL ÜRETİM AŞAMASINDA ORTAYA ÇIKAN ŞİLEMPENİN BİYOGAZ ÜRETİMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Emre ŞİRİN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

2022

Jüri

Danışman: Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

Dr.Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

Dr.Öğr. Üyesi Mahmut ÜNALDI

Bu çalışma şeker fabrikalarında alkol üretimi aşamasında ortaya çıkan şilempenin biyogaz prosesine beslenmesiyle gaz ve reaktör içerisinde meydana gelen değişimleri belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan atıkların prosese girerken ve reaktörde reaksiyon aşamalarında; kuru madde oranları, organik kuru madde oranları, pH seviyeleri, FOS/TAC oranları, gazın hidrojen sülfür oranları gibi testler yapılmış ve özellikleri belirlenmiştir. Üretilen gaz 3 adet 1500 kW ve 2 adet 1000 kW olmak üzere toplam 6,5 MW kurulu güçte incelenmiştir. Çalışma kapsamında 10 hafta boyunca herhangi bir şekilde şilempe beslemesi yapılmamıştır. 10. haftadan sonra ise günlük yaklaşık olarak 150 tona yakın şilempe beslemesi yapılmış ve besleme işlemine 10 hafta devam edilmiştir. Motorların maksimum momenti 1000 kW motorlarda 8,61 kg/m² 1500 kW motorlarda 11,64 kg/m² ve devirleri 1500 rpm olan motorlarda elektrik enerjisi üretilmiş ve üretilen enerjiler kayıt altına alınmıştır. Motora giren gazın özellikleri gaz analizörlerinde gözlemlenmiştir. Beslemenin yapılmadığı ve yapıldığı dönemlerde reaktör ve enerji analizleri yapılmış ve iki dönem arasındaki üretim ve proses sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre şilempenin prosese beslenmesi ile gaz üretiminde artış gözlemlenmiştir. Aynı zamanda şilempe beslemesinin metan oranında artış yarattığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Etanol, Metan, Şeker pancarı, Şilempe

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VINASSE EMERGED IN BIOETONAL PRODUCTION STAGE FROM SUGAR BEET ON BIOGAS PRODUCTOON

Emre ŞİRİN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ENERGY SYSTEMS ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr Hidayet Oğuz

2022

Jury

Advisor: Prof. Dr Hidayet Oğuz

Dr. Fatih AYDIN

Dr. Mahmut ÜNALDI

This study was carried out to determine the changes that occur in the gas and reactor when the vinasse, which emerges during the alcohol production stage in sugar factories, is fed to the biogas process. While entering the process of the wastes used in the research and in the reaction stages in the reactor; Tests such as dry matter ratios, organic dry matter ratios, pH levels, FOS/TAC ratios, hydrogen sulfide ratios of the gas were carried out and their properties were determined. The produced gas was examined at a total installed power of 6.5 MW, 3 units of 1500 kW and 2 units of 1000 kW. Within the scope of the study, no food was given to the vinasse for 10 weeks. After the 10th week, approximately 150 tons of vinasse was fed daily and the feeding process continued for 10 weeks. The maximum torque of the motors is 8.61 kg/m² in 1000 kw motors, 11.64 kg/m² in 1500 kw motors, and electrical energy is produced in motors with 1500 rpm and the generated energies are recorded. The characteristics of the gas entering the engine were observed in the gas analyzers. In the periods when the feeding was not made and when it was made, reactor and energy analyzes were made and the production and process results between the two periods were compared. According to the results obtained from the study, there was a noticeable increase in gas production with the feeding of the vinasse to the process. At the same time, it was observed that the vinasse feed increased the methane rate.

Key Words: Biogas, ethanol, methane, sugar beet, vinasse.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında hazırlanmıştır. Çalışmada Şeker pancarından alkol üretim aşamasında ortaya çıkan şilempenin biyogaz üretimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, elinden gelenin fazlasını sunan, her sorun yaşadığımda çözüm önerileri sunan, kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Hidayet OĞUZ'a içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ	V
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyogaz	2
1.1.1. Dünya’da biyogaz durumu.....	2
1.1.2. Türkiye’nin biyogaz durumu	4
1.2. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler (Tür–Tez).....	5
1.3. Biyogazın Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması.....	6
1.4. Anareobik Sindirim.....	7
1.4.1. Fermantasyon ve hidroliz.....	8
1.4.2. Asit oluşumu	9
1.4.3. Metan oluşumu	9
1.5. Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler.....	10
1.5.1. Karbon/Azot (C/N) oranı	10
1.5.2. Organik yükleme hızı (OYH)	11
1.5.3. Reaktördeki partikül boyutu	11
1.5.4. Sıcaklık	11
1.5.5. Basınç.....	13
1.5.6. Ph	15
1.5.7. Hidrolik bekletme süresi (HBS)	15
1.5.8. Karıştırma	16
1.6. Şilempe.....	16
1.6.1. Şilempe’nin bertaraf yöntemleri ve değerlendirilmesi	18
1.7. Türkiye Şeker Fabrikaları	19

1.8.	Türkiye’de Etil Alkol Üretimi.....	20
1.9.	Şekerpancarı Mamulleri	21
1.9.1.	Şeker	21
1.9.2.	Şekerpancarı yaprağı.....	21
1.9.3.	Şeker pancarı kök gövdesi	22
1.9.4.	Melas.....	22
1.10.	Şeker Pancarı ve Etanol Verimi	24
1.11.	Biyoetanol Üretimindeki Gelişmeler.....	25
1.12.	Biyoetanol için Pancar Islahı.....	25
2.	KAYNAK ARAŞTIRMASI	26
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1.	Materyal	30
3.1.1.	Araştırmada kullanılan atıkların temini ve hazırlanması	30
3.1.2.	Tesisin genel tanıtımı.....	30
3.1.3.	Gelen tonajlar ve malzemelerin numune analizi.....	34
3.1.4.	Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar	38
3.1.5.	Çalışmada kullanılan motorların teknik özellikleri	41
3.2.	Yöntem.....	43
4.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	44
4.1.	Reaktörlerin Analiz Deney Sonuçları	44
4.1.1.	pH.....	44
4.1.2.	FOS/TAC değerleri.....	46
4.1.3.	Kuru madde oranı (% TS)(KM).....	49
4.1.4.	Organik kuru madde oranı %VS (OKM).....	52
4.1.5.	Hidrojen sülfür değerleri.....	55
4.1.6.	Reaktörlere beslenen FeCl ₃ değerleri	56
4.2.	Gaz ve Enerji Üretimi Deney Sonuçları	57

4.2.1. Üretilen gaz miktarı	57
4.2.2. Blowerların çektiği gaz miktarı	58
4.2.3. Üretilen enerji miktarı.....	60
4.2.4. Şilempe gaz verimi	61
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
5.1. Sonuçlar	64
5.2. Öneriler	66
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
KM	: Kuru Madde
OKM	: Organik Kuru Madde
FOS	: Uçucu Organik Asitler
TAC	: Toplam Anorganisches Karbonat
MW	: Mega Watt
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
l	: Litre
m	: Metre
m ³	: Metre küp
O ₂	: Oksijen
°C	: Santigrat Derece
cm	: Santimetre
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
Ppm	: Milyonda parça
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
SO _x	: Kükürtoksitler
PM	: Partikül Madde

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji tüketimi dünya nüfusundaki çoğalmaya paralel olarak artış göstermektedir (Dizaji ve ark. 2021). Nüfusun artması sanayi sektörünün yaygınlaşmasına ve çeşitlenmesine sebep olmakta, bu durum da insanların ihtiyaçlarında ve yaşam standartlarında yükselmeye sebep olmakta, böylece enerji tüketimi artmaktadır. Petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtların sınırlı olması ve gelecekte tükenecek olması bu kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını ve bunlara alternatif enerji kaynaklarının bulunmasını zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr, güneş, su ve biyokütle gibi kaynaklar bu konuda oldukça önemli bir yere sahiptir ve günümüzde kullanımları yaygınlaşmaktadır. Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, ekonomisi özellikle tarım ve hayvancılığa dayalı ülkelerde enerji arzının azaltılmasında oldukça büyük rol oynamaktadır. Bu ülkelerde kullanımı yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de biyogazdır (Çağman, 2014).

Metan ve karbondioksit gibi sera gazlarının atmosfere salınması küresel ısınmaya neden olarak dünya üzerinde olumsuz hava olaylarının görülmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle metan ve karbondioksit gazlarının geri kazanılması hem ekonomik açıdan hem de çevre açısından oldukça faydalıdır. Bu gazların atmosfere salınımını azaltacak en önemli yöntemlerden birisi biyogaz üretimidir (Budiyono ve ark. (2014). Biyogaz teknolojisi, atıkların bertaraf edilerek enerjiye çevrilmesi ve çevreyi koruması nedeniyle pek çok ülkenin ilgisini çekmiştir. Biyogaz teknolojileri ile üretilen gaz arındırıldığında ısı ve güç üretimi ile birlikte araçlarda ve evlerde yakıt olarak kullanılabilir. Demir (1993) 1 m³ biyogazın, dört kişilik bir ailenin günlük yemeklerini pişirmek için gerekli enerjiyi sağlayabileceğini, 2,43 m³ biyogaz ile ise 6 kişilik bir ailenin bir günlük pişirme ve aydınlatma ihtiyacının karşılanabileceğini bildirmiştir.

Temiz, biyolojik olarak parçalanabilen ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilen biyogaz; hayvan gübresi, bitkisel atıklar, endüstriyel atıklar vb. gibi maddelerden anareobik sindirim yoluyla üretilmektedir. Biyogaz sistemleri her şeyden önce organik gübre ve enerji üretiminin doğal bir kaynağı olarak görülmektedir ve çok büyük avantajlara sahiptir. Birçok kişi tarafından biyogazın sadece enerji üretimi açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Ancak biyogaz sisteminde organik gübre üretimi de çok büyük bir paya sahiptir (Buğutekin, 2007). Biyogaz üretimi sırasında bazı proses atıkları da verimi artırmak amacıyla kullanılabilir. Bu atıkların en önemlilerinden birisi şeker pancarından alkol üretimi sırasında ortaya çıkan şilempedir.

Şilempe, şeker pancarı ve şeker kamışı gibi bitkilerden biyoetanol üretimi aşamasında oluşan sıvı halde bir atıktır (Gonzalez ve ark. 2017). Şeker üretim atığı olan melasın alkol üretimi için fermente edilip, destilasyon yolu ile alkolü uzaklaştırıldıktan sonra kalan kısmı şilempe olarak ifade edilmektedir (Ateş ve Namlı, 2021). Şeker pancarı şilempesi biyogaz üretimi yanında farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Örneğin ruminantların (geviş getiren hayvanlar) beslenmesinde yem katkı maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca içeriğinde yüksek oranda Potasyum (K)'la birlikte Azot (N) ve Fosfor (P) gibi makro besin elementlerini, Mangan (Mn), Demir (Fe) ve Bor (B) gibi mikro besin elementlerini içermektedir. Bu özelliğinden dolayı tarımsal üretimde gübre olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir (Mall ve ark. 2021). Ayrıca şilempe yüksek oranda organik madde içermektedir (España-Gamboa ve ark. 2011). Bu nedenle, şilempenin ortama doğrudan deşarj edilmesi çevre problemlerine sebebiyet verebilmektedir.

Bu çalışmada; şilempe maddesinin, hayvansal ve bitkisel atıklara karıştırılarak oksijensiz ortamda çürütüldükten sonra anaerobik çürütücüden elde edilen biyogaz verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında endüstriyel bir atık olan şilempenin, biyogaza dönüştürülmesi suretiyle mevcut bertaraf ve değerlendirme yöntemlerine alternatif bir yaklaşım sunulması hedeflenmiştir.

1.1. Biyogaz

Biyogaz, organik atıkların oksijensiz ortamda bakteriler tarafından parçalanmasıyla ortaya çıkan (Yılmaz ve Atalay, 2000) ve % 50-70 metan, % 30-40 karbondioksit, % 0.2 hidrojen sülfür ve daha az miktarda su buharı, azot, hidrojen gazı içeren havadan hafif, renksiz ve yanıcı bir gazdır. Aynı zamanda biyogazın sıvılaştırılması için düşük sıcaklıklar (-163 C) gerekmektedir (Anonim, 2007).

1.1.1. Dünya'da biyogazın durumu

İkinci dünya savaşından sonra Avrupa'da anaerobik uygulamalar artmıştır. Günümüzde başta Çin olmak üzere ABD, Almanya, İsveç, Danimarka, Japonya ve Hindistan gibi ülkelerde oksijensiz fermentasyon teknolojileri kullanılmaya başlamıştır. Almanya, İsveç, Danimarka gibi ülkeler daha çok çiftlik tipi reaktörler kullanılmaktadırlar. Latin Amerika, Hindistan, Çin gibi ülkelerde ise 3-10 m³'lük biyogaz tesisleri bulunmaktadır. (Meyer-Aurich vd. 2012, Türker 2008).

1804–1810 yılları arasında sığır gübresinden anaerobik fermantasyon ile metan üretimi yapılmaya başlanmış ve ilk pratik uygulama 1895 yılında İngiltere’de yapılmıştır. Şehir kanalizasyonlarından toplanan biyogaz, özel bir tesis aracılığıyla sokak lambalarında kullanılmıştır. Bu konuda yapılan araştırmalar mikrobiyoloji ve bilimdeki gelişmelere paralel olarak 1900’lü yıllardan sonra artış göstermiş, anaerobik bakteriler ve özellikleri saptanarak metan üretimi teşvik edilmiştir. 1920’li yılların sonunda Buswell’in anaerobik fermantasyon çalışmalarına başlamasıyla, endüstriyel ve çiftlik atıkları enerji üretiminde kullanılmaya başlanmış ve anaerobik fermantasyonda azotun kaçınılmaz bir parça olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca 1956 yılında Barker tarafından gerçekleştirilen temel biyokimya çalışmaları, metan bakterileri hakkındaki bilgilerin zenginleşmesine büyük katkı sağlamıştır (Sözer ve Yıldız, 2006; Öztürk, 2019).

1973–1975 yılıyla beraber yaşanmaya başlanan petrol sıkıntısı dünya genelinde enerji fiyatlarına yansımış ve bu da biyogazı ön plana çıkarmıştır. İhtiyaca cevap verebilmek için Güney ülkeleri ve Doğu Asya ülkelerinde biyogaz konusundaki araştırma ve geliştirme çalışmaları artmış ve koşullara uygun biyogaz reaktörleri kurulmaya başlamıştır. Almanya’da 3 yıl içerisinde 58 adet tesis kurulurken, aynı dönemde Avrupa ülkelerindeki biyogaz tesisi sayısı 300’e ulaşmıştır. Biyogaz tesislerinin kurulumu 1985-1990 yıllarda yavaşlasa da 1990’dan sonra Almanya enerji yasasında değişikliklere giderek gaz motoru ve kojenerasyon ikilisinin kullanımını, fermantasyon teknolojisinin gelişmesini, H₂S’nin gaz içerisinde temizlenebilmesini sağlayan biyogaz teknolojisinin yeniden kullanılmaya başlamasına yardımcı olmuştur. (Buğutekin, 2007; Öztürk, 2019).

Günümüzde fosil yakıtların kullanımı büyük çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu nedenle fosil yakıtların kullanımının sınırlandırılması ve çevreye daha az zararlı enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmakta ve kararlar alınmaktadır. AB üye ülkeleri, 2030 yılı için aşağıdaki hedefler üzerinde de mutabakata varmıştır (Anonim, 2022a)

- Sera gazı emisyonlarının seviyesini 1990 yılı seviyelerine kıyasla %40 oranında azaltmak;
- AB üyesi ülkelerde tüketilen enerjinin miktarının %27’sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmesini sağlamak;
- Enerji verimliliğini en az %27 oranında artırmak.
- AB ülkeleri arasında, elektrik dahili bağlantı hedefi olarak belirlenen %15 oranına ulaşmak ve altyapı projelerini ilerleterek iç enerji piyasasını tamamlamak.

AB, 2050 itibariyle sera gazı emisyonlarının 1990 yılına kıyasla ile %80 ila %90 arasında bir azalma olmasını hedeflemektedir. 2050 Enerji Yol Haritası bu hedefe ulaşmaya yönelik birkaç senaryo sunmaktadır.

Dünya genelinde biyogaz tesis sayısı bakımından Çin 7 milyon biyogaz tesisi ile ilk sırayı almaktadır. Çin'i 29 milyon ile Hindistan izlemektedir. Nepal'de 49,5 bin, Kore'de 29 bin, Brezilya'da 23 bin ve Bangladeş'te 566 adet tesis bulunmaktadır (Çizelge 1.1). Bangladeş'te tesislerin birçoğunun çalışmamasının sebebi inşaat, bakım onarım problemleridir (Buğutekin 2007). Çizelge 1.1 incelendiğinde Çin ve Hindistan gibi nüfus yoğunluğu yüksek ülkelerde yüksek enerji ihtiyacından dolayı tesis sayısının da fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 1.1. Gelişmekte olan bazı ülkelerdeki biyogaz tesisi sayısı (Buğutekin 2007)

Ülkeler	Tesis Sayısı
Çin	7.000.000
Hindistan	2.900.000
Nepal	49.500
Kore	29.000
Brezilya	2.300
Bangladeş	566*

*: Yarısı çalışmıyor.

1.1.2. Türkiye'nin biyogaz durumu

Ülkemizde organik atık kapasitesi yüksek olup organik atıklar genel atıkların % 65'ini oluşturmaktadır. Bu atıklar çevreye atılarak çürümeye bırakılmakta ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bu organik atıkların değerlendirilmesi enerji ihtiyacı ve çevre kirliliği açısından önem arz etmektedir (Anonim, 2014a).

Ülkemizdeki biyogaz çalışmalarını 1980 öncesi ve sonra diye ikiye ayırabiliriz. Genellikle 1980 öncesinde kamu kurumları ve yetersiz teknolojiye sahip bazı üniversiteler ayrı ayrı çalışmalar yürütmüşlerdir. İlk çalışmalar 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü ile başlamış olup 1960'lı yıllardan itibaren Devlet Üretim Çiftliklerinde pilot tesisler kurulmuştur (Eryaşar, 2007; Ilgar, 2016).

1963 yılında Tarım Bakanlığı'na bağlı olarak faaliyet gösteren Toprak Su Araştırma Enstitüsü tarafından, 5 tanesi Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsünde, 2 tanesi Eskişehir'in köylerinde ve 1 tanesi de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam 8 adet biyogaz tesisi kurulmuştur. Bu tesislerin bir kısmından iyi sonuç alınmıştır. Ancak yönetimlerin biyogaza sıcak bakmaması, tesisi yürütecek kurumun olmaması, teknik çalışanların ve çiftçilerin yeterli bilgilendirilememesi çalışmaların yarıda

kalmasına veya verim alınamadığı gerekçesiyle kapatılmasına sebep olmuştur (Eryaşar, 2007; Ilgar, 2016)

Günümüzde ülkemizin sadece hayvan atıkları ile 2000 adet biyogaz tesisini çalıştırabilecek potansiyeli vardır. (Anonim, 2011). Fakat şu anda anaerobik fermantasyon ile çalışan 61 biyogaz tesisi bulunmaktadır ve bu tesislerin lisans gücü toplam 229,78 MW, devreye alınan ise 192,032 MW'dir (Anonim, 2022b).

1.2. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Maddeler

Genel olarak içerisinde karbonhidrat, yağ , hemiselüloz, selüloz veya protein bulunan her türlü biyokütle biyogaz üretimi için kullanılabilir. Önemli olan seçilen biyokütle için uygun ve verimli fermantasyon prosesinin seçilmesidir (Deublein ve Steinhäuser 2008).

Biyogaz üretimini doğrudan etkileyen en önemli unsurlar materyallerin toplam katı madde (TK) ve uçucu katı madde (UK) oranlarıdır. Bazı maddelerin TK ve UK oranlarıyla biyogaz verimleri Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Bazı atık maddelerin TK, UK oranları ve biyogaz verimleri, Eryaşar, 2007

Materyal	TK (%)	UK (%)	Biyogaz Verimi (l/kg.UK)
Sığır Atığı	5-25	75-85	200-350
Tavuk Atığı (Yumurta)	10-35	70-75	310-620
Tavuk Atığı (Et)	50-90	60-80	550-650
Küçükbaş Hayvan Atığı	30	20	90-310
At Atığı	25-30	60	200-350
Domuz Atığı	3-16	70-80	250-550
Buğday Samanı	70-90	85-93	200-300
Mısır Artığı	80	91	350-480
Pirinç Artığı	89	93	170-280
Çimen	20-25	89-90	280-550
Küspe	65	78	140-190
Sebze Atıkları	5-20	75-86	300-400
İnsan Atığı	20-27	75	310-400
Yapraklar	80	90	300-400
Süt Prosesi Atığı	8-12	90	350-800
Konsantre Süt Prosesi Atığı	20-25	90	800-950
Meyve Artıkları	15-20	75	250-500
Yemek Atıkları	10-18	80-95	500-600

Ruminantların (geviş getiren hayvanlar) atıkları, sindirim sistemlerinde bulunan metan bakterileri tarafından dönüştürülemeyen maddeleri içermektedirler. Sığır

atıklarında, metanın bir kısmı hayvan sindirimi esnasında dönüştürülmekte ve elde edilen biyogaz verimi düşmektedir. Sığır atıklarının içerisinde sindirim işleminden sonra da metan bulunmaktadır. Bu durum biyogazda aşılama işlemi için uygun olduğunu göstermektedir. Ancak yaprak, tarımsal atıklar, endüstriyel atıklar ve saman fermente olabilmelerine rağmen aşılama yapılmadığında fermantasyonun başlaması aylar alabilmektedir. Sığır atığının içerisinde yüksek miktarda lif bulunması ve metaryalin fermantasyonun zor olması dezavantajlardandır. Geviş getiren hayvanların atıkları, tavuk ve domuz atığının tersine kuruduktan sonra içerisine su girişine izin vermez ve su yüzeyinde yüzer. Materyalin parçalanması dahi bunu engelleyemez. (Eryaşar 2007).

1.3. Biyogazın Diğer Yakıtlarla Karşılaştırılması

Biyogaz, artırılması ve kalitesinin iyileştirilmesi durumunda doğalgazın yerine kullanılacak bir yakıttır (Deviren ve ark. 2017). Çizelge 1.3'te doğalgaz ve biyogaz'ın bazı özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Biyogazın içerisinde yanma özelliğine sahip metan gazı vardır ve yanma işleminin gerçekleşebilmesi için hava ile metanın 1/7 oranında karışması gerekmektedir. (Kuhn, 1995).

Çizelge 1.3. Doğalgaz ve biyogaz özelliklerinin karşılaştırılması
(Türker 2008)

Özellikler	Doğalgaz	Biyogaz
Birleşik Hacim %	95-98	55-65
Mol ağırlığı(kg/mol)	16,04	26,18
Yoğunluk (kg/m ³)	0,82	1,21
Isıl Değer (Mj/m ³)	36,14	21,48
Maksimum Tutuşma Hızı (m/sn)	0,39	0,25

Çizelge 1.4'te bazı yakıt çeşitlerinin ısıl değerleri ve bu ısıl değerlerine karşılık gelen %60 metan oranı bulunan biyogaz miktarları görülmektedir. 1 m³ biyogaz, 2148 MJ/kg ısıl değeri ile 0,46 kg sıvılaştırılmış petrol gazı 0,56 kg fuel oil, ve 0,62 m³ doğalgazın karşıladığı ısıl değere eşit enerji üretebilir (Anonim, 2008).

Çizelge 1.4. Bazı yakıt çeşitlerinin ısıl değerleri ve bu ısıl değerlerine eşdeğer biyogaz miktarı, (Türker 2008)

Yakıt Cinsi	Isıl Değer (kJ/kg)	Biyogaz Miktarı Karşılıkları
1 kg No:6 Fuel-Oil	38492	0,56 kg
1 kg Karışık Dökme Gaz	46024	0,46 kg
1 kg Propan Dökme Gaz	6024	0,46 kg
Sıvılaştırılmış Petrol Gazı	6024	0,46 kg
1 kg Motorin	2676	0,50 kg
1 m3 Doğalgaz	4518	0,62 m3
1 kg Soma Kömürü	9664	1,09 kg
1 kg İthal Linyit Kömürü	27196	0,79 kg

Biyogazın ısıl değeri, bileşimindeki yanıcı metan gazından ileri gelmektedir (Gülen ve Arslan, 2005) Oksijensiz fermantasyon sonucunda oluşan biyogazın içerisinde; Metan (CH₄) gazından sonra, hacimsel olarak en fazla yüzdeyi Karbondioksit (CO₂) oluşturmaktadır. Bu enerji seyreltici olan gaz, üretilen biyogazın içerisinden ayrıştırıldığı zaman , Metan (CH₄) yüzdesi artacaktır ve buna bağlı olarak üretilmiş biyogazın ısıl değeri de artmış olacaktır (Deviren ve ark. 2017). Bileşimindeki metan oranına göre biyogazın ısıl değeri 17-25 MJ/m³ arasında değişmektedir. 1 m³ biyogazın etkili ısısı 1.46 kg kömür 0.62 litre gazyağı, 12.30 kg tezek, 3.47 kg odun, 0.43 kg bütan gazı, 5.70 kWh elektrik, 1.18 m³ hava gazının sağladığı ısıya eşittir (Gülen ve Arslan, 2005).

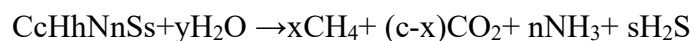
1.4. Anareobik Sindirim

Anaerobik sindirim, materyallerin oksijensiz ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalandığı bir biyolojik süreçtir. Atıkların bu şekilde parçalanmasıyla biyogaz ortaya çıkar.

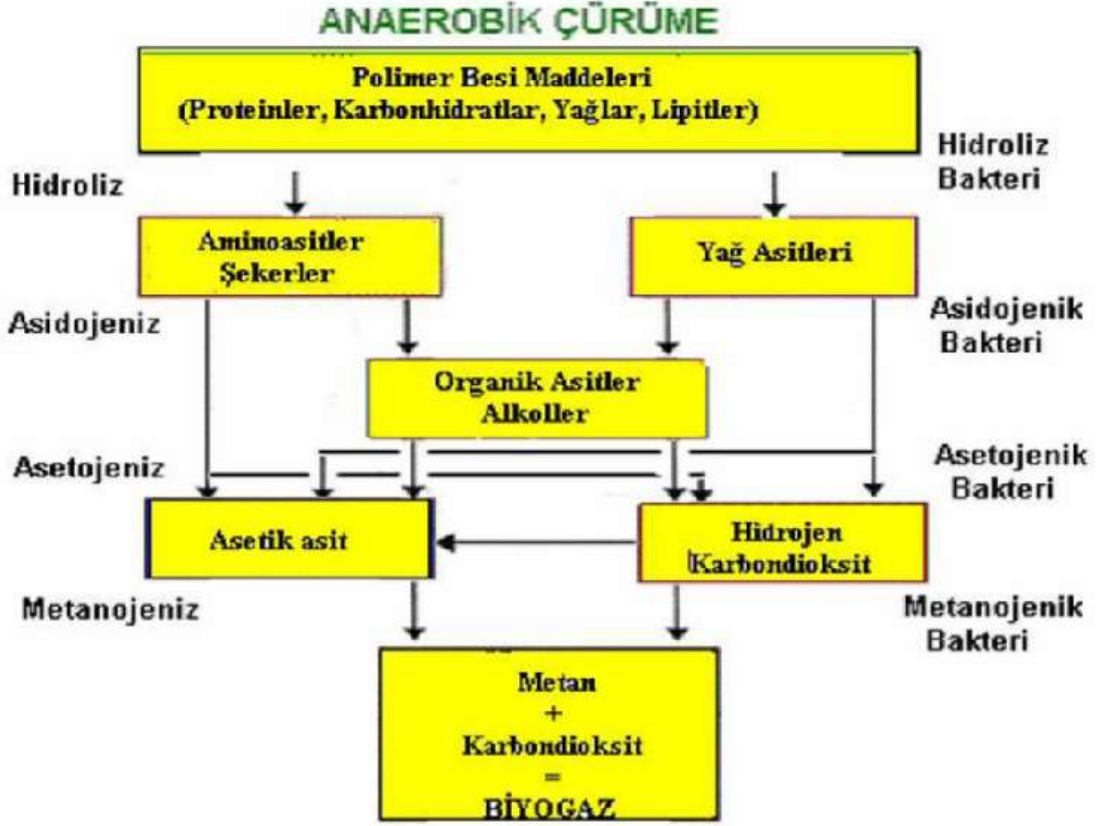
Kompleks organik maddelerin oksijensiz ortamda ayrışması en genel halde hidroliz aşaması, asit üretimi aşaması ve metan üretimi olmak üzere üç aşamalı bir işlem halinde ele alınabilir (Gül, 2006).

Şekil 1.1’de (Öztürk, 2005) görüldüğü üzere ilk aşamada yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözülmüş organik maddeler bakterilerin hücre dışı enzimleriyle hidrolize uğrayarak daha düşük molekül ağırlıklı organik maddelere dönüşür. Asit üretimi aşamasında ise düşük molekül ağırlıklı organik maddeler asit bakterilerince çeşitli uçucu yağ asitlerine ve ardından da asetik asite dönüştürülür. Son aşamada ise asit üretimi aşamasında üretilen asetik asitin parçalanmasıyla veya CO₂ ve H₂ senteziyle metan üretimi gerçekleşir (Kossmann ve Pönitz 1999).

Organik maddeler anaerobik şartlarda çürüdüğü zaman reaksiyon teorik olarak



şeklinde gerçekleşmektedir (Öztürk, 2005)



Şekil 1.1. Anaerobik çürüme kademeleri

1.4.1. Fermantasyon ve hidroliz

Birinci aşamada fermentatif ve hidrolitik bakteriler olarak isimlendirilen bakteri grupları; organik maddenin üç temel ögesi olan karbonhidratları ($C_6H_{10}O_5$), proteinleri ve yağları parçalayarak daha küçük parçalara yani şekere, aminoasitlere, yağ asitlerine ve büyük kısmını da çözünebilir uçucu organik maddelere dönüştürürler. Hidroliz hücre dışı enzimlerle gerçekleştirilir ve bu süreç oldukça yavaştır (Gökçay ve ark. 2002). Uzun zincirli polisakkaritler monosakkaritlere, proteinler peptidlere ve aminoasitlere dönüşürler (Öztürk, 2005).

Yağlar çok yavaş hidrolize olan maddelerdir. Bu nedenle yüksek oranda yağ ve diğer yavaş hidrolize olan maddeleri ihtiva eden atıklar anaerobik arıtıma maruz kaldıklarında içerdikleri maddeler hidroliz hızını sınırlayıcı bir faktör olarak karşımıza çıkabilmektedir (Kennedy ve Van den Berg, 1982). Anaerobik koşullarda hidroliz hızını sınırlayan faktörlerden bir diğeri materyalin içerdiği selüloz miktarıdır. Lignin de oldukça karmaşık yapıya sahip bir maddedir ve rastgele moleküler yapısı nedeniyle anaerobik şartlarda hiç hidrolize olmaz veya reaksiyon hızı çok düşüktür (Öztürk, 2005).

1.4.2. Asit oluşumu

Asit oluşturuvcu bakteriler anaerobiktirler ve çözüncür hale döncüşmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen (H₂) ve karbondioksit (CO₂) gibi daha küçük yapılı maddelere döncüştürürler. Bu bakteriler asidik şartlarda büyürler ve çözeltildeki bağlı oksijeni kullanırlar. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterileri büyüme ve çoğalma için oksijene ve karbona ihtiyaç duyarlar. Metan oluşturuvcu bakteriler için anaerobik şartlar asit oluşturuvcu bakteriler tarafından hazırlanırlar. Uçucu yağ asitlerden başka asit bakterileri organik bileşikleri daha düşük moleküllü alkollere, organik asitlere, amino asitlere, karbondioksite, hidrojen sülfüre ve esas miktarda metana döncüştürürler. Havasız reaktörlerin işletmeye alınması safhasında uçucu yağ asidi konsantrasyonunun 1000-1500 mgHAC/l'ten fazla olması istenmeyen bir durumdur. Asit üretim hızı metan üretim hızına kıyasla daha büyüktür. Organik madde konsantrasyonundaki ani artışlar asit üretiminin artmasına ve pH'nın düşmesine neden olur. Bu da metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisi yapar (Öztürk, 2005).

Asit üretimi aşamasında hidroliz ürünleri asetik asit veya reaktördeki işletme şartlarının kararlı olmaması halinde, propiyonik, izobutirik, valerik, butirik, ve izovalerik asit gibi ikiden fazla karbonlu yağ asitlerine döncüştürülür. Asit üretimi aşamasında iki farklı bakteri grubu görev yapmaktadır. Birinci grup bakteriler (fermentasyon veya asidojenik bakteriler), organik polimerlerin hidrolizinde ve müteakiben de açığa çıkan oligomen ve monomerler gibi hidroliz ürünlerinin organik asit ve solventlere döncüştürülmesinde rol alırlar. Bazı asidojenik bakteri türleri (homoasetik bakteri) karbonhidratları kullanarak asetik asit üretirler. Diğer bir tür de belli şartlarda H₂ üretir (Gül 2006).

Bu aşamada, ilk aşama sonucunda açığa çıkan aminoasidi, şekeri ve uçucu yağ asitlerini organik asitlere döncüştüren asetojen (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girer. Bu aşamada yüksek miktarda asetik asit oluşmakla birlikte az miktarlarda da butirik, valerik, formik asit oluşmaktadır (Gökçay ve ark. 2002)

1.4.3. Metan oluşumu

Anareobik sindirimin son aşaması metan oluşturan bakteri gruplarının devreye girmesidir. Metan bakterilerinin bir kısmı hidrojen ve karbondioksit kullanarak metan ve su açığa çıkarırken, bir diğer grup asetik asitleri kullanarak metan ve karbondioksit oluşturuurlar. Metan gazını açığa çıkaran bakteriler, asetik asitleri parçalayarak hidrojen

ile karbondioksit sentezi sonucu biyogaza dönüştürürler. Anaerobik koşullarda üretilen metanın % 70'i asetik asitin parçalanmasından, geri kalanı ise karbondioksit gazından ile hidrojen gazından oluşmaktadır. Tüm çözünebilen uçucu organik asitler ve organik bileşikler biyogaza dönüşmemektedir. Bazı organik maddeler arıtılmadan sistemden atılabilir. Metan oluşturuç bakterilerin kullanabilecekleri besin maddeleri oldukça sınırlıdır. Bunlar; hidrojen, asetik asit, ve tek karbonlu bileşiklerdir (Öztürk, 2005).

Metan gazının oluşum aşaması asetik asit oluşumuna göre çok daha yavaş gerçekleşir. Bu nedenle anaerobik bozunumun hızını denetleyen ve reaktörde alıkoyulma süresini belirleyen basamak metan gazı oluşum basamağıdır. Ayrıca metanojenik bakteriler asetik asit oluşum aşamasındaki ürünleri hammadde olarak kullandığından her iki basamağın dengeli sürmesi gerekmektedir (Dönmez, 1981).

H₂ ve CO₂ ortamda yeterli miktarda bulunduğu ve H₂'nin kısmi basıncı uygun olduğu sürece hidrojenotrofik metanojenlerle CH₄ üretimi devam etmektedir. Ancak metan üretimi adımının her zaman hız sınırlayıcı olması söz konusu değildir, bazen hidroliz safhası daha kritik olabilmektedir (Öztürk, 1999; Gökçay ve ark. 2001).

1.5. Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler

Anareobik ortamda biyogaz üretim sürecinde C/N oranı, kuru madde miktarı (KMM), uçucu organik madde miktarı (UOM), hidrolik bekletme süresi (HBS), organik yükleme hızı (OYH), toksik maddeler, sıcaklık, pH, alkalinite gibi birçok faktör biyogaz verimini etkilemektedir (Grady ve ark. 1999). Başarılı bir işletme ve anaerobik sistemin verimli olabilmesi için mikrobiyolojik olarak denge ve istikrar önemlidir. Bu denge ve istikrarı sağlamak için uygun aşımın kullanılması gerekir ve düzenli olarak kuru madde oranı, pH, organik asit oluşumu gibi parametrelerin ölçülmesi gerekir.

1.5.1. Karbon/Azot (C/N) oranı

C/N oranı reaktör içerisinde metan gazı oluşumunda son derece etkili bir faktördür. Karbon, biyogaz oluşumu, azot ise anaerobik sistem içerisindeki bakterilerin gelişimi ve yeniden üretilmesi için gereklidirler (İlkiliç ve Deviren, 2011). Hidroliz ve asitojenik bakterilerle reaksiyon aşamasında bu değerin 10-45, metan gazı oluşumu aşamasında ise 20-30 olması gerektiği bildirilmiştir (Guo Guo 2010). Azot oranının fazla olması amonyak oluşumu sebep olmakta ve bu durum da biyogaz üretimini olumsuz etkilemektedir. C/N oranı hesaplamalarında devamlı kuru madde esas alınır (Gülen ve Çeşmeli, 2012). Bununla birlikte, C/N oranını dengelemek için farklı substrat besin

maddelerinin önemli ölçüde düşük oranda karıştırılması gerekebilmektedir (Khalid ve ark. 2011). Moraes ve ark. (2015) şilempenin çok düşük C/N oranına sahip olduğunu bu nedenle amonyak (NH₃) inhibisyonu olmaksızın verimli bir biyogaz üretimini desteklemek için karbon eklenmesi gerektiği belirtmişlerdir.

1.5.2. Organik yükleme hızı (OYH)

Reaktörlere günlük olarak beslenen organik madde miktarı olarak ifade edilen organik yükleme hızı yüksek olduğu zamanlarda reaktör içinde asit birikmesi olur. Asit birikmesi sonucu ise pH düşer ve metanojenik bakterilerinin faaliyetleri olumsuz yönde etkilenir. Bu durum gaz üretim hızını düşmesine, hatta durmasına sebep olabilir. Ayrıca organik besleme hızının düşük olması da gaz üretimini düşürmektedir (Öztürk, 2005).

Maksimum biyogaz verimine ulaşmak, genellikle sistemin tasarımı veya uygulanabilir tutma süresi seçeneğinin temelini oluşturur. Organik yük, bu açıdan önemli bir parametredir. Bu hacim ve zaman birim başına ne kadar organik kuru madde olduğunu gösterir, aşağıdaki denkleme göre çürütücüye beslenebilir: (Teodorita., 2008).

$$BR = m * c / VR$$

$$BR = \text{Organik yük [kg / d * m}^3\text{]}.$$

$$m = \text{Zaman birimi başına beslenen alt tabaka kütlesi. [kg/d]}.$$

$$C = \text{Organik madde konsantrasyonu [\%]}.$$

$$VR = \text{Sindirici hacmi [m}^3\text{]}.$$

1.5.3. Reaktördeki partikül boyutu

Reaktörlerdeki organik madde miktarının azalması, substrat materyallerin ayrışmasında büyük rol oynar. Karmaşık organik maddeleri parçalayarak partikülleri boyutlandırma biyogaz üretimi için ön işlem olarak kabul edilmektedir (Kapraji et al.,2002). Yöntem maddeyi reaktörde uygun bir şekilde kullanmak için AD işlemi sırasında gerçekleşir. Özellikle enerji mahsullerini işlemek için pek çok adım vardır. Bunların hasat edilmesi, ezilmesi, parçalanması işlenmesi ve öğütülmesi gerekmektedir (Sharma ve ark., 1988).

Anaerobik sindirimde boyut küçültme ile tesiste boru tıkanmalarının azaltılması da sağlanmaktadır.

1.5.4. Sıcaklık

Biyokimyasal tepkimelerde metan üretim hızı, sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Biyogaz üretimi için kullanılan ve psikofilik sıcaklıkta (12-20°C),

mezofilik sıcaklıkta (20-40°C) ve termofilik sıcaklıkta (40-65°C) çalışan reaktörler bulunmaktadır. Değişimlere esneklikleri nedeniyle mezofilik uygulamalar daha çok tercih edilmektedir (Kim et al., 2002) Boyd,(2000)'den alınan Şekil 1.2'de mezofilik uygulamaların dünyada yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Gübreleme işleminde bir problem olan zararlı otların yok edilmesi, termofilik şartlarda mezofilik şartlara oranla daha fazla gerçekleşmektedir (İlkiliç ve Deviren 2011, Pöschl ve ark. 2010). Mezofilik şartlar güvenli olması ve enerji verimliliği sebebiyle genellikle biyogaz tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. 35-57 °C arası en iyi çalışma şartlarıdır. Bu rakamların altında veya üstünde yapılan herhangi bir iyileştirme biyogaz üretimini olumsuz yönde etkilemektedir (Khalid ve ark., 2011).

Mezofilik şartlara kıyasla termofilik şartlarda çalışan tesislerde, ısıtma enerji gereksinimi fazla ve reaktör hacmi küçüktür. Bu nedenle mezofilik sıcaklık aralığı (35-37°C) daha çok tercih edilmektedir (İlkiliç ve Deviren 2011; Öztürk 2005; Şerit ve ark. 2009).

Bu sıcaklıkların her birinin verimlilik açısından avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Termofilik şartlarda yüksek yükleme hızları mevcuttur ve bu nedenle yüksek metan üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yüksek sıcaklıklar bekletme sürelerini kısaltabilmekte ve bozunabilir malzemelerin reaksiyonunu iyileştirebilmektedir. Ancak bu durum sıcaklıklarda değişim olduğunda düzenlenmesinin zor olması ve enerjinin yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle ticari olarak pek arzu edilmemektedir (Elmashad ve ark., 2004).

Ticari uygulama olarak en uygun olanı mezofilik şartlardır. Ancak mezofilik şartlarda işlem uzun sürebilmekte ve düşük biyogaz verimi ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda işlem sıcaklığının artırılması amonyak toksisitesini arttırmakta ve işlem sıcaklığı düşürülerek bir rahatlama sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, sıcaklık 50°C veya altına düştüğünde termofilik mikroorganizmaların büyüme hızları düşebilmekte ve gerçek HRT'den daha düşük bir büyüme oranına bağlı olarak mikrobiyal popülasyonun yıkanma riski ortaya çıkabilmektedir (Angelidaki, 2004).

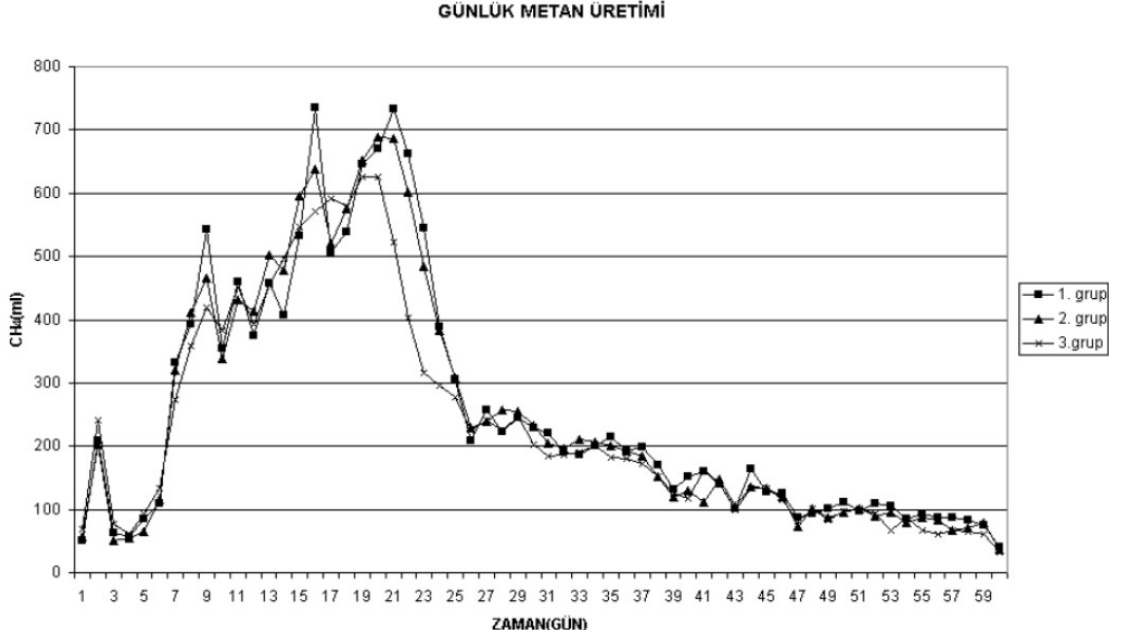


Şekil 1.2. Dünyada kurulu tesislerdeki sıcaklık dağılımı

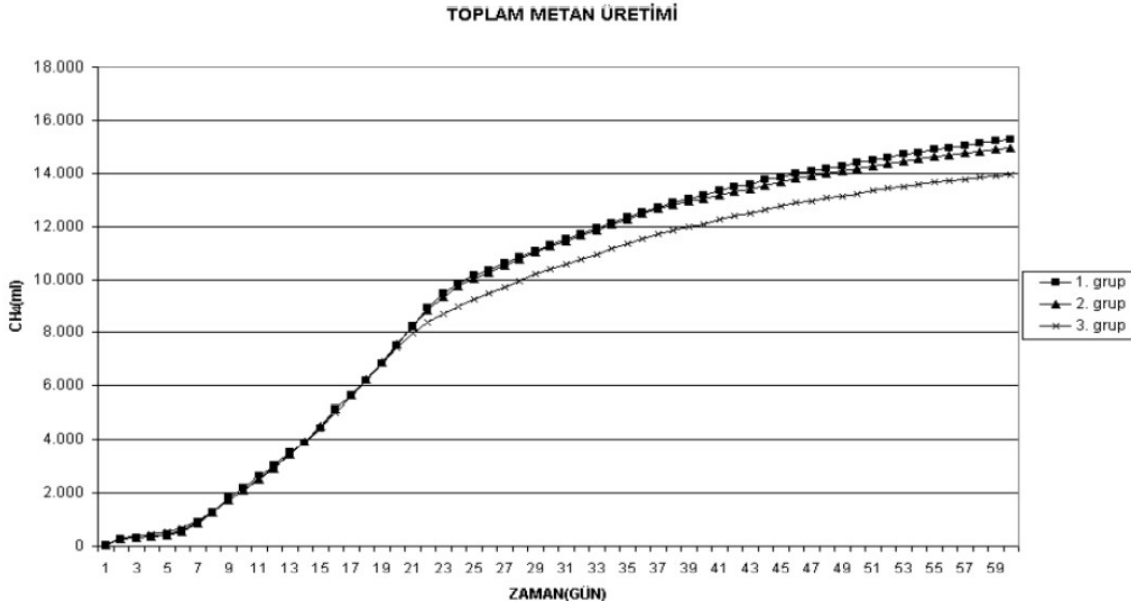
1.5.5. Basınç

Reaktör içerisinde oluşacak basınç, anaerobik bakteriler ve dolayısıyla biyogaz verimine üzerine oldukça etkilidir. Basınç aralığının 0.75 – 1.5 kPa aralığında olmasının, biyogaz üretimi için ideal olduğu ve bunun üzerindeki basınçlarda üretimin zorlaşacağı yapılan araştırmalarda ortaya konmuştur. Özellikle metan bakterileri büyük reaktörlerin alt kısmında büyük hidrolik basınca maruz kalmalarına rağmen faaliyetlerini sürdürebilmekte ve herhangi bir performans düşüklüğü ortaya çıkmamaktadır (Eryaşar, 2007).

Biyogaz üretiminde 1,5 kPa basınç değeri sınır değeri olarak kabul edilmektedir. Ancak farklı basınç değerlerinde yapılan üretimlerde metan verimi bakımından ciddi bir fark oluşmadığı ortaya konmuştur. Farklı basınç değerlerinde günlük ve toplam üretilen metan değerleri Şekil 1.3 ve Şekil 1.4’de verilmiştir (Eryaşar ve Koçar, 2009). Şekillerdeki 1. Grup: 19,6 kPa (mutlak), 2. Grup: 9,8 kPa (mutlak) ve 3. Grup: 1,5 kPa (mutlak) basınçları ifade etmektedir.



Şekil 1.3. Farklı basınç değerlerinde günlük metan üretimi



Şekil 1.4. Farklı basınç değerlerinde toplam metan üretimi

Eryaşar ve Koçar, (2009) grafiklerdeki veriler üzerinden, değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın olmadığını, ancak en düşük sistem basıncı olan 1,5 kPa uygulamasında diğer gruplara göre daha düşük seviyede metan üretimi gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Bu durum, 1,5 kPa mutlak basınç üzerindeki basınçların, metan üretimini zorlaştırdığı şeklindeki literatür bilgisine zıt bir durum oluşturmaktadır. Bu da, 1,5 kPa basınç değerinde metan üretiminde sınır değer alan yorumların, bu etkiler göz önüne alınmadan yapıldığını düşündürmektedir.

1.5.6. pH

Anareobik ortamdaki sindirim için en uygun pH aralığı 6-8 aralığındadır. Asit üreten bakterilerin metan üreten bakterilere kıyasla ortamda daha hızlı üremesi nedeniyle asit oranı sistemde artarken metan bakterilerinin aktivitesi düşmektedir (Onat ve Topaloğlu 2004).

Reaktörlerde pH düştüğü zaman iki yöntemle seviyeler normale döndürülebilir. Bu yöntemlerden birincisi organik maddelerin beslemesi kesilir ve ortamda metajonik mikroorganizmaların konsantrasyonu artırılır. Böylece ortamda yağ asidi konsantrasyonu azalır. Eğer pH istenilen seviyeye gelirse organik madde beslemeye devam edilebilir. İkinci yöntemde ise ortama kimyasal eklenir. Bu pH'yı yükseltmek ve tamponlama kapasitesini artırmak için yapılır. Kimyasal madde olarak soda (sodyum bikarbonat) ve sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) çözeltileri kullanabilmektedir Kimyasal madde eklenmesiyle pH hızlı bir şekilde kararlı hale getirilebilmektedir (Öztürk, 2005).

1.5.7. Hidrolik bekletme süresi (HBS)

Organik maddelerin reaktör içerisinde fermante edilerek biyogaz üretme süresi hidrolik bekletme süresi olarak ifade edilir. Organik maddeler bazen reaktör içerisinde biyokimyasal reaksiyona girerler ve biyogaz üretiminde düşüşler görülür. Seçilen hidrolik bekletme süresi içerisinde biyokimyasal reaksiyona giren besi maddelerinin %70-80 oranında bertaraf olduğu kabul edilir. Hidrolik bekletme süresi biyogaz işletmelerinde reaktör sıcaklıklarına bağlı olarak 20-120 gün arası değişmektedir. Sürekli beslemeli tesislerde HBS daha uzun seçilebilir. Bu şekilde bakterilerin kaçışı engellemekte ve bakteri sayısı arttırılabilmektedir. Eğer HBS yetersiz ise bakteriler reaktörden daha hızlı kaçar (Öztürk, 2005) ve yağ asitleri miktarı artar. Bu durumda metan üretiminin azalmasına neden olur. Hidrolik bekleme süresi aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Yılmaz, 2019).

$$HBS = \frac{\text{Reaktör Hacmi (m}^3\text{)}}{\text{Günlük Debi (} \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \text{)}}$$

Fermante olacak malzemeye göre Hidrolik bekleme süresi değişiklik göstermektedir. Hidroliz aşaması hayvan atıklarında hidrolik bekleme süresini etkileyen en önemli aşamadır. Hayvan gübresinde bulunan organik maddelerin çürümesi;

karbonhidratlar, yağlar, proteinler, hemiselüloz ve selüloz sırasıyla gerçekleşerek hızlanır. En hızlı hidroliz karbonhidratlar ve yağlarda meydana gelirken selülozların hidrolizi daha zor olmaktadır (Öztürk, 2005)

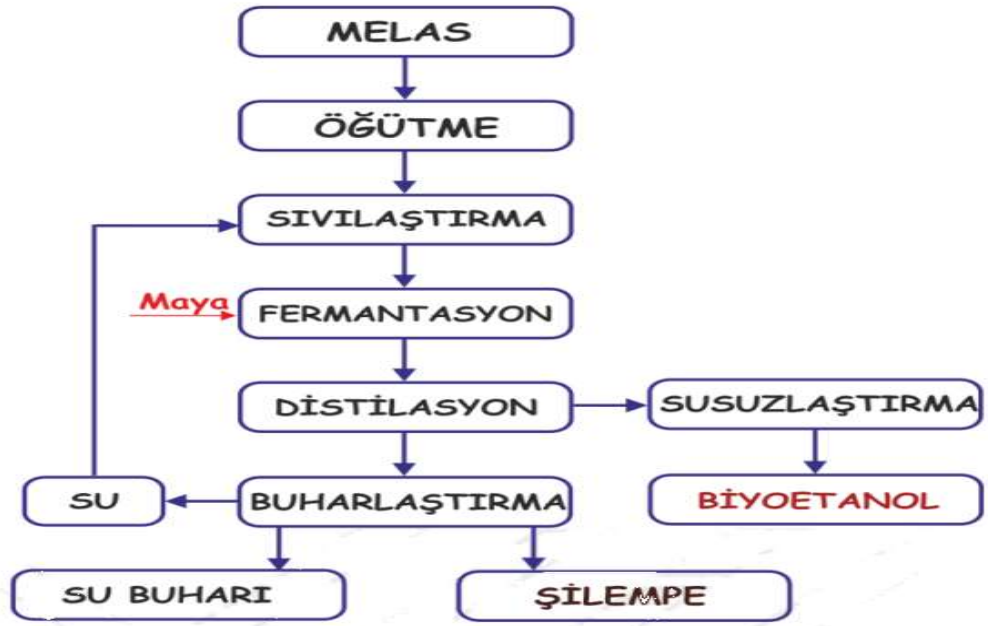
Reaktörlerde sıcaklığın yükselmesi hidrolik bekleme süresini kısaltmaktadır. En uzun bekleme süresi 100-300 gün ile psikofilik şartlardaki tesislerde uygulanmaktadır. Mezofilik şartlardaki tesislerde ise bekleme süresi yaklaşık 20-40 gün arasındadır. Termofilik şartlardaki tesislerde ise daha kısa hidrolik bekleme süreleri uygulanmaktadır (İlkiliç ve Deviren 2011; Öztürk 2005).

1.5.8. Karıştırma

Reaktör içerisindeki maddelerin temas ederek reaksiyona girebilmeleri için mutlaka karıştırılması gerekmektedir. Karıştırma işlemiyle bakteri popülasyonunun homojen şekilde dağılması sağlanmaktadır. Ayrıca, karıştırma sonucunda fermantörde ölü bölge oluşumu engellenmekte ve reaktör içerisindeki sıcaklık dağılımı eşitlenmektedir (İlkiliç ve Deviren, 2011). Biyogaz üretiminde, kullanılan materyalin tane büyüklüğü önemlidir. Bu nedenle iyi bir karıştırma işlemi büyük parçaları küçük boyutlara çevirmekte ve kütle aktarım dirençlerini azaltmaktadır (Walla ve Schneeberger, 2008). Verimli bir fermantasyon için karıştırma işleminin yavaş bir şekilde yapılması gerekmektedir. Yapılan araştırmalar en verimli sonuçların dört saatte bir yapılan karıştırma sıklığında alındığını göstermektedir (İlkiliç ve Deviren, 2011).

1.6. Şilempe

Melas, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi bitkilerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan kahverengi bir maddedir. Şilempe ise Şekil 1.5'te görüldüğü gibi melas fermantasyonu ile biyoetanol üreten tesislerde ortaya çıkan ağır kokulu, koyu renkli, sıvı bir atıktır (Wilkie ve ark. 2000; Syaichurrozi ve ark. 2013).



Şekil 1.5. Melasın fermantasyonu ile biyoetanol üretimi akım şeması

Distilasyon prosesi esnasında 1L etil alkol üretiminde 10-15 L şilempe ortaya çıkmaktadır. (Kahyaoğlu ve Konar, 2006). Şilempe'nin kimyasal kompozisyonu işlemde kullanılan başlangıç maddesine göre değişebilmektedir. Şeker kamışı, üzüm, şeker pancarı ve sorgum bitkisinden elde edilen şilempe'lerin kimyasal kompozisyonları Çizelge 1.5'te verilmiştir (Christofoletti vd., 2013). Tabloda yer alan değerlere bakıldığında, pH değerlerinden şilempenin asidik karakterde olduğu, KOİ ve BOİ değerlerinden ise organik madde oranının yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

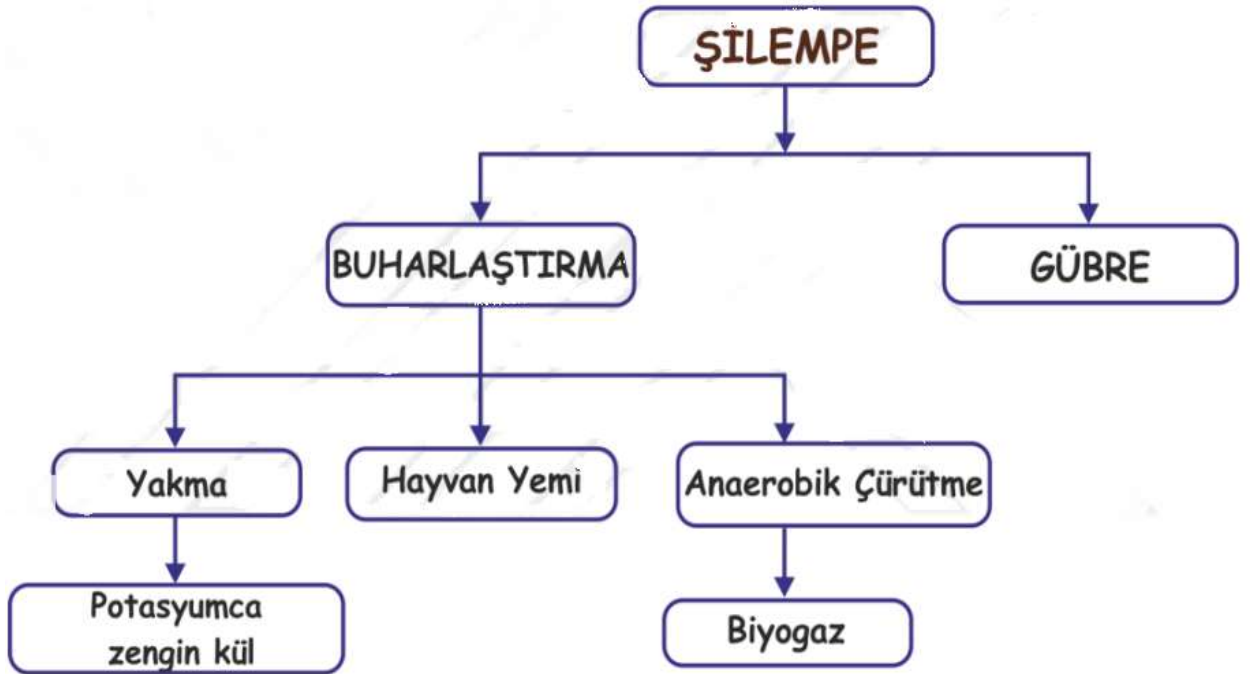
Çizelge 1.5. Farklı bitkilerden elde edilen şilempenin kimyasal kompozisyonu

Parametreler	Şilempe			
	Şeker Kamışı	Üzüm	Şeker Pancarı	Sorgum Bitkisi
pH	3.9	2.9	5.1	4.5
BOİ, mg/L	5046	18900	78300	46
KOİ, mg/L	13380	.*	-	-
Potasyum, mg/L	2056	118-800	10000	-
Sodyum, mg/L	50.2	-	3.79	-
Sülfat, mg/L	710	120	0.62	-
Kalsiyum, mg/L	719	-	0.71	-
Magnezyum, mg/L	237	-	1.23	-

.*: Tespit edilemedi.

1.6.1. Şilempe'nin bertaraf yöntemleri ve değerlendirilmesi

Şilempe yüksek oranda organik madde içeriğine sahiptir. Bu nedenle doğrudan bir su ortamına deşarj edilmesi, hem suyun çözünmüş oksijen seviyesini azaltmakta hem de pH'nın düşmesine sebep olmaktadır (Kannan ve Upreti, 2008). Bu nedenle farklı yöntemlerle şilempenin bertarafı yoluna gidilmektedir. Şekil 1.6'da gösterildiği gibi gübre olarak kullanımı, buharlaştırma ile konsantre edilmesi, hayvan yemi olarak değerlendirilmesi ve biyogaz üretiminde kullanılması bu yöntemler arasında yer almaktadır (Robertiello, 1982). Bu yöntemlerin kendilerine özgü avantaj ve dezavantajları da Çizelge 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.6. Şilempe'nin alternatif değerlendirme yöntemleri

Çizelge 1.5. Şilempe'nin alternatif değerlendirme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları

Proses/Son Kullanım	Avantajları	Dezavantajları
Gübre	<ul style="list-style-type: none">▪ Ucuz▪ Uygulaması kolay	<ul style="list-style-type: none">▪ Taşıma maliyeti▪ Uzun dönem etkilerinin bilinmemesi
Hayvan yemi	<ul style="list-style-type: none">▪ Ucuz▪ Uygulaması kolay	<ul style="list-style-type: none">▪ Çok az çalışılması▪ Uzun dönem etkilerinin bilinmemesi
Anaerobik Çürütme (Biyogaz üretimi)	<ul style="list-style-type: none">▪ Enerji üretilmesi▪ BOİ'de azalmaya sebep olması▪ Kalan atığın gübre olarak kullanımı	<ul style="list-style-type: none">▪ Maliyeti yüksek▪ İleri teknoloji gerektirmesi
Yakma	<ul style="list-style-type: none">▪ Tamamen ortadan kalkması▪ Enerji üretilmesi▪ Potasyumun geri kazanılması	<ul style="list-style-type: none">▪ Çok az çalışılması▪ Küçük ölçekte uygulanması

Gübre amacıyla kullanılan şilempe, bulundurduğu yüksek organik maddelerden dolayı, uygulandığı toprakta ve yer altı sularında kirliliğe, toprakta tuzlanmaya, toprağın tamponlama kapasitesinde düşmeye ve bu nedenle ürünlerin verimlerinde azalmaya sebep olmaktadır. (Kumar ve Viswanathan, 1991; Navarro vd., 2000; Santana ve Machado, 2008).

Şilempenin bir diğer değerlendirme yöntemi olan hayvan yemi olarak kullanılması ile ilgili çok az çalışma yapılmıştır (Christofolletti vd., 2013).

1.7. Türkiye Şeker Fabrikaları

Türkiye'de şeker sanayisi kurma fikirleri 1840 lı yıllarda oluşmaya başlamış ve bu tarihte, Arnavut köylü Dimitri Efendi adında bir müteşebbis, İstanbul yakınında bir şeker fabrikası kurmak için faaliyete geçerek ruhsat almıştır. Ancak bu teşebbüs ileri götürülememiş ve fabrika kurulamamıştır. Daha sonra farklı teşebbüsler olsa da (1867 yılında Davudoğlu Karabet, 1879 yılında Fenerler imtiyazı sahibi Michel Paşa, 1847 yılında Afyon'lu Yusuf Bey, 1899 yılında Müşir Rauf Paşa ve 1917 yılında da Almanlarla birlikte kurulan Zenith Şirketi) bunların da hiç birisi uygulamaya geçememiştir. Nuri Şeker'in öncülüğünde bazı yerli müteşebbisler tekrar bir araya gelerek 51 kişilik bir kurucu heyeti bulunan "Uşak Terrakkii Ziraat Türk Anonim Şirketi"ni 600.000 TL sermaye ile 19 Nisan 1923 yılında kurmuşlardır (Türkoğlu, 1952). Ancak üretime

17.12.1926 tarihinde başlanabilmiştir. Uşak Şeker Fabrikası Türkiye'nin ilk şeker fabrikasıdır.

Türkiye'de sakkaroz ve nişasta olmak üzere 2 tür şeker üretim fabrikası bulunmaktadır. Ülkemizde pancar şekeri üreten 7 şirket ve nişasta kökenli şeker (NBS) üreten 5 şirket bulunmakta olup, bu şirketlerin isimleri aşağıda verilmiştir (Anonim, 2015).

Pancar Şekeri Üreten Şirketler:

- TÜRKŞEKER (25 fabrika) KAMU
- Konya Şeker Fabrikası A.Ş.(2 fabrika) Pankobirlik
- Kayseri Şeker Fabrikası A.Ş. (2 fabrika) Pankobirlik
- Amasya Şeker Fabrikası Pankobirlik
- Adapazarı Şeker Fabrikası A.Ş. ÖZEL
- Kütahya Şeker Fabrikası A.Ş. ÖZEL
- Keskinlilç Gıda San. ve Tic. A.Ş. ÖZEL

Nişasta Bazlı Şeker Üreten Şirketler:

- Amylum Nişasta San. ve Tic. A.Ş.
- Cargill Tarım ve Gıda San. Tic. A.Ş.
- PNS Pendik Nişasta Sanayi A.Ş.
- Sunar Mısır Entegre Tesis. San.Tic
- Tat Nişasta San. ve Tic. A.Ş.

1.8. Türkiye'de Etil Alkol Üretimi

Şeker fabrikaları şeker pancarından şeker üretimi yanında, ürettikleri yan ürünler ile hayvancılık, alkol, maya sektörler için de önemli bir girdi kaynağı oluşturmaktadırlar. Şeker fabrikalarında yaş pancar posası ve melas yan ürün olarak üretilmekte, yaş pancar posası ya saf olarak ya da melas ile karıştırılarak hayvan yemi olarak kullanılabilir. Üretilen melas miktarı işlenen pancar miktarına göre değişmektedir. Yıllara göre işlenen melas miktarı ve üretilen etil alkol miktarı Çizelge 1.6'da verilmiştir (Anonim, 2015).

Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. bünyesinde; Malatya (40.000 l/gün), Erzurum (40.000 l/gün), Turhal (45.000 l/gün) ve Eskişehir (65.000 l/gün) Şeker Fabrikaları'nda toplam dört adet 190.000 l/gün kapasiteli alkol üretim tesisine sahiptir. (Anonim 2015)

Çizelge 1.6. Yıllara göre işlenen melas ve üretilen etil alkol miktarları

Yıllar	İşlenen Melas (Ton)	Üretilen Etil Alkol (Bin Litre)
2012	15.334	5.200
2013	18.520	6.400
2014	17.010	6.000
2015	15.280	5.480
2016	18.650	6.785
2017	14.060	4.665
2018	30.728	6.410
2019	11.868	3.547
2020	31.200	8.957

1.9. Şekerpancarı Mamulleri

Şeker pancarı günümüzde sadece şeker üretiminde kullanılmamaktadır. Şeker pancarı mamullerinden farklı şekillerde yararlanılmaktadır.

1.9.1. Şeker

Şeker pancarının kök kısmı tarlada olgunlaştıktan sonra yapraklarından temizlenir ve şeker fabrikasına getirilmesiyle şeker üretim aşaması başlar. Fabrikada birçok işlemden geçen şeker pancarının kök gövdesi daha sonra sıvı veya kristal şekere dönüşür (Öztaş, 2015).

Yaklaşık olarak 1 ton şeker pancarından 150 kg şeker elde edilebilmektedir (El-Bassam, 2018). Türkiye’de şeker pancarının şeker oranı %15-16 olmasına rağmen randıman olarak %13-14 oranlarındadır. Bu yüzden 150 kg şeker pancarından yaklaşık olarak 13-14 kg şeker elde edilebilmektedir (Kıbrıscık, M. 2019)

1.9.2. Şekerpancarı yaprağı

Tarlada şeker pancarı hasadı yapılırken yaprak ve taç kısmı kesilmektedir. Yaprak kısmında yüksek oranda şeker olmasına rağmen, bu şekerin alınmasını engelleyen maddeler de bulunmaktadır (El Bassam, 1998). Şeker pancarını yaprakları ve taç kısmı, hayvan yemi olarak kullanılabilme potansiyeline sahiptir. Ayrıca bu parçalar tarlada bırakılırsa gübre olarak toprağı besin maddeleri bakımından zenginleştirebilmektedir (Kıbrıscık, M. 2019)

1.9.3. Şeker pancarı kök gövdesi

Şeker pancarının kök gövdesi karbonhidrat bakımından zengin bir yapıya sahiptir. Ayrıca kolay fermante olabilen bir üründür. Bu ürünün hayvan yemi olarak kullanımı pek uygun değildir. Çünkü fermantasyon aşamasında çok fazla gaz ortaya çıkmaktadır. Ancak hayvan yemi olarak kullanılacaksa diğer yemler ile az miktarda karıştırılmalıdır (Tıknazoğlu, 2009).

1.9.4. Melas

Melas; şeker fabrikalarında şeker pancarı veya şeker kamışı üretim sürecinde şekerin fabrikasyon ünitesine geri alınamayan son şurup halidir. Koyu kahverengi renginde ağdamsı ve pekmez görünümüne sahip olan melas yaklaşık olarak %50 şeker, %30 şeker dışı maddeler ve %20 oranında da su içermektedir. İçerdiği yüksek şeker oranından dolayı değerli bir yan ürün olarak göze çarpmaktadır (Kıbrıscık, 2019).

Melastan genel olarak üç ayrı yol kullanarak yararlanılmaktadır;

1. Melastaki şekerin kimyasal usullerle kazanılması suretiyle,

2. Melastaki şekerin mayalanma usulleriyle başka maddelere dönüştürülmesi suretiyle,

3. Melasın doğrudan doğruya hayvan besiciliğinde değerlendirilmesi suretiyle,

İçeriğinde %50 şeker bulunan melas aşağıdaki amaçlarla kullanılabilir (Anonim, 2017);

- İçilebilecek kalitede olan direk damıtılan içkilerde
- Sirke, hamur ve yemlik mayada
- Briket kömür imalinde
- İçilemeyecek kalitede olan endüstriyel tüketim ve ilaç endüstrisinde
- Kozmetik sanayinde
- Etil alkol üretiminde
- Fermantasyon (Maya) malzemesi olarak
- Doğrudan hayvan yemi olarak

Türkiye’de 2011-2020 yılları arasında üretilen melas miktarları Çizelge verilmiştir. (Anonim, 2017).

Çizelge 1.7. Yıllara göre melas üretim miktarları

Yıllar	Türkşeker (Ton)	Şeker Sanayi (Ton)
2011	349.600	601.451
2012	321.600	554.967
2013	369.579	630.711
2014	386.724	666.084
2015	369.389	655.589
2016	503.230	842.716
2017	489.985	857.768
2018	246.500	750.103
2019	283.600	725.627
2020	382.800	1.007.000

Türkiye’deki melas üretiminde Türkşeker’in payı 2002 yılında % 71 iken, sektör kompozisyonunda meydana gelen değişiklikler nedeniyle, üretim ve kota miktarlarıyla paralellik içinde %49’a kadar gerilemiş, 2020 yılında Türkşeker’in payı (15 şeker fabrikası arasında) % 38 olarak gerçekleşmiştir.

1.9.4.1. Melastan biyoetanol üretimi

Etenol üretiminde şeker pancarı şeker kamışına göre daha ekonomiktir. Çünkü şeker pancarı, şeker kamışından farklı olarak direkt beyaz rafine şekerle dönüştürülmektedir. Şeker pancarı işlendikten sonra ortaya çıkan yan ürünlerden birisi posadır. Diğerleri ise şeker ekstraksiyonundan sonra kalan ve çözünebilen maddeler içeren melastır (Harland et al. 2006).

Posa ve melasın her ikisi de hayvan yemi olarak kullanılabilir. Şeker pancarının şeker içeriği genel olarak şeker kamışından daha fazladır. Şeker pancarı (yaş ağırlık) %16-18 oranında şeker içerirken, şeker kamışında bu oran %10-15’dir. Ayrıca 1 ton şeker pancarındaki (yaş ağırlık) sakkarozdan 118 litre etanol üretimi yapılabilmektedir (Shapouri ve ark. 2006). Bu hesaplama %15.5 şeker içeren pancar ve 1 ton melastan 20 kg şeker eldesine göre yapılmıştır.

Genel olarak 3 kg melas işleme sokulduğunda yaklaşık olarak 1 lt etil alkol elde edilebilme imkanı vardır. Biyoetanol 20 °C de 0,789 gr/ml (200°C de 1 litre 0.789 kg ya da, 1 kg 1.26 litre) yoğunluğa sahiptir. Buna göre 4 ton şeker pancarından 160 kg melas ve bu melas miktarından da 63litre (50x1,26 litre) biyoetanol üretilebilme olanağı vardır (Yılmaz ve ark. 2005)

1.10. Şeker Pancarı ve Etanol Verimi

Şeker pancarında verim birçok faktöre bağlı olarak değişebilmektedir. Pancarın sulanması veya yağmura dayalı olarak yetiştirilmesi, hastalık ve stres koşulları verimi etkileyen en önemli faktörlerdendir. Eğer diğer koşulların eşit ve optimum olduğunu varsayarsak şeker pancarındaki sakkaroz miktarı pancarın yapraklarından alınan güneş enerjisine bağlıdır (Milford, 2006; Altunbay ve ark. 2016)

Şeker pancarındaki sakkaroz içeriği yetiştirildiği bölgeye göre de farklılık göstermektedir. Eğer sakkaroz fermantasyonundan etanol elde edilecek ise sakkaroz içeriği etanol veriminde önemli rol oynayacaktır. Sadece posa ve melastan elde edilen etanolün miktarı şeker pancarında posanın %30-50 oranında hammaddeye çevrildiği durumlarda 7-11 l/t arasında değişmektedir. Şeker pancarının etanola dönüşümündeki maliyet etanol üretimine ve petrol fiyatlarına bağlı olarak değişmektedir (Shapouri ve ark. 2006; Altunbay ve ark. 2016). Şeker pancarının hammadde olarak kullanıldığı etanol fabrikaları dünyanın birçok bölgesinde faaliyet göstermektedir (Eggleston et al. 2010; Altunbay ve ark. 2016).

Aslında sakkarozun etanole dönüşmesi sadece fermantasyonu içeren basit bir işlemdir, ancak mısır, buğday ve diğer tahıllardan etanol elde edilmesi için bazı enzimlere ihtiyaç duyulmaktadır (Jacobs 2006). Ancak tahıllarla karşılaştırıldığında hasat edilen şeker pancarı köklerinin depolanması çok zordur. 2014 yılında AB ülkelerinde üretilen 6.6 milyar litre etanol mısır (%42), buğday (%33), şeker pancarı (%18), ve diğer tahıllardan (%7) elde edilmiştir. Toplam 10.5 milyon ton tahıl ve 2.21 milyon ton kota dışı şeker pancarı (beyaz şeker eşdeğeri) etanol üretiminde kullanılmıştır. Bu değerler 2014 yılı için Avrupa tahıl üretiminin %2'si ile şeker pancarı üretiminin %8'ine karşılık gelmektedir. Dünyada 2014 yılında üretilen 90.5 milyon litre yenilenebilir etanol üretiminde Avrupa çok küçük bir paya sahiptir. Üretilen etanolün çoğu yenilenebilir taşıt yakıtı olarak iç tüketime yöneliktir. ABD (%60) ve Brezilya (%30) en fazla etanol üreten ülkelerdir ve Avrupa Birliğindeki üretim ise (%7) daha düşüktür (Anonim 2014)

Birim alan dikkate alındığında şeker pancarı etanol üretimi için en uygun bitkilerden biridir. Şeker pancarından (taze ağırlık olarak) 2.44 GJ/t enerji elde edilebilmekte ve bu değer etanole çevrildiğinde 115 l/t etanol üretildiği varsayılmaktadır. Ortalama verimi dikkate alındığında (46 t/ha pancar, 4.9 t/ha mısır, 2.8 t/ha buğday) pancardan 5.060 l/ha, buğdaydan 952 l/ha ve mısırdan 1.960 l/ha alkol elde edilmiştir (Panella, 2010).

1.11. Biyoetanol Üretimindeki Gelişmeler

Sürdürülebilir olmayan fosil yakıtlarından sürdürülebilir biyoyakıtlara geçerken, 1. jenerasyon sıvı biyoyakıtlar, petrol-bazlı ulaşım sisteminden uzaklaşmada önemli bir rol oynamaya devam edecektir. Şeker pancarı biyoetanol üretiminde büyük önem taşıyacaktır. Avrupa'da biyoetanol üretiminin büyük kısmı Fransa'da yapılmaktadır bunu Almanya ve İspanya takip etmektedir. Amerika kıtasında ise Brezilya şeker kamışından ve ABD mısırdan elde edilen etanolü büyük miktarda kullanan ülkeler arasındadır. Şeker pancarı köklerinin depolanması, biyoetanol hammaddesi olarak şeker pancarının tercih edilmesinin önündeki bir engel olarak görülmektedir. Şeker pancarı üretiminin hem yazlık hem de kışlık olarak yapılabildiği iklimler biyoyakıt için en çok tercih edilen yerlerdir (Klocke ve ark. 2007).

Bununla beraber yapılan araştırmalar, biyoetanolun en iyi senaryolarda dahi uzun dönemde ulaşım sektöründe kullanılan fosil yakıtların yerine geçemeyeceğini öngörmektedir (DeWit ve Faaj., 2010). ABD'de üretilen tahılın tamamının biyoetanolle dönüştürülmesi durumunda dahi otomobillerin ihtiyaç duyduğu yakıtın sadece %18 karşılanabilmektedir (Brown 2022).

1.12. Biyoetanol için Pancar Islahı

Gelecek yıllarda birçok bölgede çift yönlü şeker pancarı ihtiyacının artacağı düşünülmektedir. Şeker pancarı hem şeker bitkisi hem de enerji bitkisi olarak üretilebilecek bir potansiyele sahiptir. Şeker pancarı biyoyakıt için kullanılması durumunda biyokütle olarak büyük önem taşıyacaktır. Bu durumda şekerin varlığı ikinci plana itilebilir. Şekerpancarı biyokütle verim potansiyeli, güneş ışınımına bağlı olup (Kenter ve ark. 2006) bu şartlar vejetasyon süresi uzun olan kış dönemi pancar için uygundur (Hoffman 2008). Biyoyakıt için biyokütle verimi en önemli faktör olarak kabul edilmesi ile şeker pancarı ve yem pancarının melezlenmesi sonucu daha yüksek biyokütle elde edilebilecektir (Doney ve Theurer, 1984; Theurer ve ark. 1987). Bu çalışmalar genellikle kışlık pancarın yetiştirildiği yerlerde yapılmalıdır (Panella and Kaffka 2010). Şeker pancarı ıslah şirketleri enerji pancarı için ıslah programına başlamışlardır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Espana-Gamboa ve ark. (2011). Sakaroz üretmek amacıyla kullanılan şeker pancarı bitkisinin melasından yüksek maliyeti olan etanol üretilmektedir. Etanol üretiminden sonra ortaya çıkan şilempe maddesi önemli bir gliserol içeriğine sahip olması yanında, 200°C'ye kadar yüksek sıcaklıkları tolere edebilen ve azot açısından zengin bir bileşik olan betain maddesini içermektedir. Betain ozmoprotektör ve metil radikallerinin donörü olarak görev yapan iki ana metabolik fonksiyona sahiptir. Şeker kamışı şilempesinde olduğu gibi, şeker pancarı şilempesinde de bulunan ana organik asitler piruvat ile birlikte oksalat, laktat, asetat ve malattır. Şeker pancarı şilempesi şeker kamışı şilempesine oranla yüksek bir protein içeriğine sahiptir. Şeker pancarı şilempesi yüksek azot içeriğinden dolayı, düşük karbon/azot (C/N) oranına sahiptir ve organik azot toplam azot içeriğinin %40'ı kadardır. Benzer şekilde mineral içeriğinin yaklaşık üçte birlik bölümünü yüksek potasyum içeriği oluşturmaktadır. Ayrıca bileşiminde şeker üretiminde kullanılan sülfatlama işleminden kaynaklanan sülfatlar da bulunmaktadır.

Syaichurrozi ve ark. (2013) Yürüttükleri bir çalışmada şilempe anason üzüm posası tarafından belli oranlarda karışımlar ile metan oranları ve hidroliz hızlarının takibi yapılmıştır. Bu çalışma sonunda Şilempe içeriğinde yüksek miktarda kolay parçalanabilen organik bileşikler bulundurmaktadır. Bu kolay parçalanabilen bileşiklerin hidrolizi hızlı olduğundan, mikroorganizmalar tarafından kolayca kullanılabilir. Bunun sonucu olarak hızlı bir şekilde biyogaz üretimi gerçekleşmektedir. Aynı araştırmacılar çürütücülerin içerisindeki bakterilerin şilempenin bileşiminde bulunan asetik asit, laktik asit ve gliserol gibi organik maddeleri kolaylıkla biyogaza dönüştürebildiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar şilempenin biyogaz üretimine etkisini inceledikleri bir çalışmada fermentasyonun 1 günü başlayan biyogaz üretiminin 3. gün maksimum düzeye ulaştığını, daha sonra ise düşüş eğilimine girdiğini tespit etmişler ve bu durumun şilempenin yapısındaki fenolik bileşiklerden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Budiyono ve ark. (2014). şilempenin anaerobik parçalanma ile organik bileşikleri biyogaza dönüştürebildiğini bildirmişler ve farklı oranlarda (1:0, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5) hazırlanan şilempe/su karışımlarının biyogaz üretimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda karışımdaki su oranı arttıkça, toplam katı madde miktarı ve kimyasal oksijen ihtiyacı (COD) değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca en yüksek biyogaz üretim potansiyeli (37.485 mL/g COD), günlük en yüksek biyogaz üretim oranı (6.665 mL/g COD.gün) biyogaz üretimi için en düşük süre (0,959 gün) şilempe/su oranı 1:3 olduğunda elde edilmiştir. Araştırmacılar elde ettikleri bu değerlerin literatürdeki diğer

çalışmaların sonuçlarından daha düşük olduğunu, bu durumun ise kullanılan organik maddelerin farklı olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Moraes ve ark. (2015). Paslanmaz bir CSTR reaktörü kullanarak şekerpancarı şilempesinden biyogaz üretimini araştırdıkları bir çalışmada, %3 oranında (optimum bir C/N elde etmek için) inek gübresi ve saman şilempe ile karıştırılmış ve şilempenin tek başına metan üretim potansiyelinin $267.4 \pm 4.5 \text{ L CH}_4 \text{ kg VS}^{-1}$ olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada ayrıca şilempenin parçalanması için inek gübresi kullanılması durumunda Anaerobik çürütmenin en stabil halde olduğu belirtilmiştir.

Ziemiński ve Kowalska-Wentel (2015), şeker pancarı küspe silajı (ŞPKS) ve şilempe karışımlarının biyogaz verimi üzerine etkilerini incelemiş ve ŞPKS/Şilempe oranını 3:1, 1:1 ve 1:3 olacak şekilde ayarlamışlardır. Çalışma sonucunda en yüksek biyogaz veriminin (765.5 mL/g VS) karışıma enzimatik ön işlem uygulandığında ve ŞPKS/Şilempe oranı 3:1 olduğunda elde edildiğini belirlemişlerdir. Bu durum şeker pancarı küspesine % 25 oranında şilempe ilave edilmesinin biyogaz verimini artırdığını ortaya koymuş ve karışımdaki şilempe oranı %25'in üzerine çıktığında biyogaz verimi düşmüştür. Elde edilen başka sonuca göre ise enzimatik ön işlem uygulanmadığında biyogaz veriminin %27,9 oranında azaldığı bulunmuştur. Çalışma kapsamında tespit edilen veriler değerlendirildiğinde lignoselülozik atıkların ve şilempenin biyogaz üretiminde kullanılabilecek etkili materyaller olduğu sonucuna varılmıştır.

Gonzalez ve ark. (2017). Farklı oranlarda karıştırılan şekerpancarı pres çamuru ve şilempe'nin, karışımının metan verimi ve metan üretim hızı üzerindeki sinerjik ve antagonistik etkilerini inceledikleri bir çalışmada, en yüksek metan verimlerinin $248 \text{ N mL CH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ COD fed}$ ile %50 Şilempe-%50 pres çamuru ve $245 \text{ N mL CH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ COD fed}$ ile %75 Şilempe-%25 pres çamuru uygulamalarından elde edildiğini bildirmişlerdir.

Belhamidi ve ark. (2021).CSTR reaktöründe anaerobik parçalanma ile şilempeden biyogaz üretimini inceledikleri bir çalışmada, üretilen biyogaz miktarının organik maddenin bozunması ile doğru orantılı olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar aynı çalışmada inokulum/şilempe oranı 0,3 olduğunda organik madde bozunması [Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ): %91 ve Askıda katı madde (AKM): %91,3] üzerine oldukça etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Dizaji ve ark. (2021), Şeker kamışı ve şeker pancarı gibi bitkilerden etil alkol üretimi sırasında ortaya çıkan yan ürünlerinden olan şilempe, biyogaz üretiminde de kullanılabilir. Şeker kamışı/şeker pancarı melası ve şilempesinin farklı tasarımlarının hem çevresel etki hem de enerji verimliliği açısından bir karşılaştırılması

araştırdıkları bir çalışma sonucunda biyogaz üretimi sırasında şilempe kullanımının tesisin enerji ihtiyacını azalttığını, böylece enerji performansının ve çevresel etkilerin iyileşmesine katkıları sağladığını bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar hem şeker kamışı hem de şeker pancarı şilempesi kullanımının analiz ettikleri tüm parametreler (iklim değişikliği, ozon incelmesi, karasal asitleme, insan toksisitesi, fotokimyasal oksidan oluşumu, tatlı su ekotoksisitesi, deniz ekotoksisitesi, iyonlaştırıcı radyasyon) üzerine aynı bitkilerin melaslarının kullanımına kıyasla daha olumlu etkiler yaptığını belirtmişlerdir.

Kiani ve ark. (2022), biyoetanol üretiminden sonra ortaya çıkan ve organik açıdan zengin bir atık su olan şeker kamışı şilempesinin biyogaz üretimi için oldukça uygun bir kaynak olduğunu belirtmişler ve pH, sıcaklık, besinler, karbon-azot oranı, hidrolik tutma süresi (HTS), organik yükleme hızı (OYH), karıştırma koşulu ve reaktör konfigürasyonları gibi farklı parametrelerin biyogaz üretimini etkilediğini bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar şeker kamışı şilempesinden biyogaz üretimine ilişkin işletme koşullarını ve reaktör konfigürasyonlarını (CSTR, AnMBR, HAIR, UASB, EGSB, FBR, AFBR, FBR (APBR, UAF, ASTBR) ve HAR) incelenmişler ve yüksek oranda biyolojik bozunmaya neden olan UASB reaktörünün uygulanan en yaygın reaktör olduğunu belirlemişlerdir.

Caillet ve Adelard (2021), şeker pancarı şilempesinin, yüksek düzeyde organik bileşikler ve besin maddeleri içerdiğini, özellikle potasyum açısından zengin olan şilempenin aynı zamanda azot ve fosfor elementlerini de içerdiğini bildirmişler ve yüksek kirletici içeriğine sahip bir atık olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca şilempenin çevreye doğrudan atılması durumunda tuzluluk, sodiklik, fitotoksisite, anoksi, ötrofikasyon ve su yaşamının ölümü gibi olumsuz çevre koşullarına sebep olabileceğini ve birçok ciddi sağlık sorununu ortaya çıkarabileceğini belirtmişlerdir.

Marin-Batista ve ark. (2016), yürüttükleri bir çalışmada yüksek azot içeriğine sahip tavuk gübresi ile karıştırılan yüksek karbon içeriğine sahip şilempenin anaerobik parçalanma sırasındaki sinerjistik etkilerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında şilempe:tavuk gübresi oranları 1:0, 3:1, 1:3 ve 0:1 olacak şekilde ayarlanmış ve biyokimyasal metan potansiyelleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda şilempe:tavuk gübresi oranı 3:1 olduğunda $0,65 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg VS}$, oran 1:3 olduğunda ise $0,56 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg VS}$ metan üretimi gerçekleştiği belirlenmiştir. Şilempe ve tavuk gübresi tek tek uygulamaya alındığında ise metan üretiminin daha az olduğu bildirilmiştir. Elde edilen sonuçlar şilempe ile tavuk gübresi arasında metan üretimi açısından sinerjistik bir etki

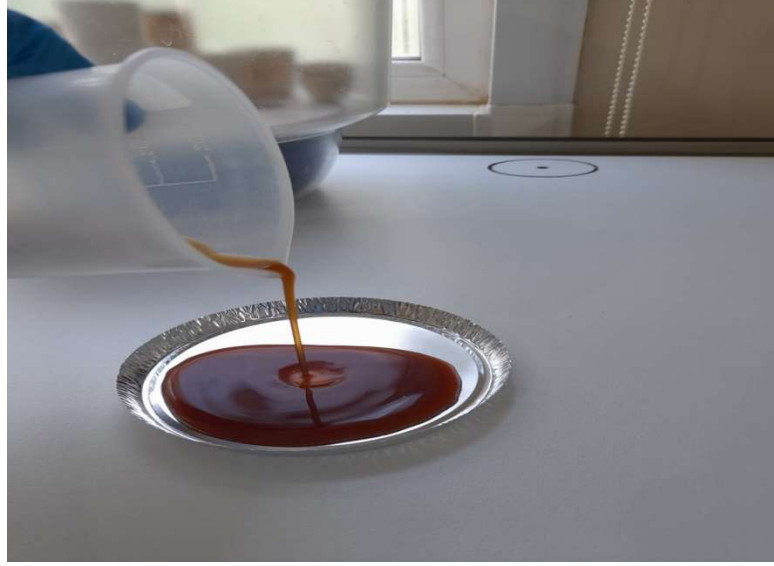
olduğunu ve birlikte işleme sokulmaları halinde daha yüksek oranda metan üretimi yapılabileceğini göstermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırmada kullanılan atıkların temini ve hazırlanması

Biyometanol üretiminde melasın fermantasyonu sonucu atık olarak ortaya çıkan sıvı haldeki şilempe şeker Fabrikasından temin edilmiştir. şilempenin görünümü şekil 3.1 de verilmiştir.



şekil 3.1. şeker fabrikasından temin edilen şilempe maddesi

Gelen atıkların her gün vidanjörlerden numune alınarak laboratuvara getirilmiş ve analizleri yapılmıştır.

3.1.2. Tesisin genel tanıtımı

Tesis 6,5 MWh enerji üretim kapasitesine sahip olan bir tesistir. Toplam reaktör hacmi 61.000 m³ tür. Tesiste giriş ve çıkışta bulunan numune alma cihazları sayesinde, numuneler periyodik olarak alınabilmekte ve numune alma cihazlarının süresi isteğe göre ayarlanabilmektedir. Tesiste hayvan gübresi ve diğer bitkisel atıklar için günlük giriş-çıkış KM, Kül, Ph, OKM Reaktör FOS/TAC analizleri, sıcaklık gibi ölçümler de yapılmaktadır.

Tesiste bulunan üniteler ve bu ünitelerin kapasiteleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tesise ait üniteler ve kapasiteleri

Ünite ADI	Adedi	Kapasiteleri
Ön Çökeltme Havuzu	4	Her bir havuz 550 (m ³)
Reaktör Besleme Havuzu (Mixpit)	4	Her bir havuz hacmi 342 (m ³)
Main (Birincil) Reaktör	4	2*4464 m ³ +2*5831 (m ³)
Post (İkincil) Reaktör	4	2*4464 m ³ +2*5831 (m ³)
Son (Lagün) Reaktör	2	2*10044 (m ³)
Gaz Depolama	10	Toplam hacmi 38400 (m ³)
Chiller (Soğutucu, Nem Alma) Ünite	2	Her bir cihaz 24 kW
Blower Ünitesi	3	1600 m ³ /h
Yatay Karıştırıcı	18	14 Adet reaktör+4 adet mixpit 15 kW
Dikey Karıştırıcı	22	18 Adet Reaktör +4 adet Mixpit 11kW
Motor Kapasitesi	5	3 *1500 kW+ 2 *1000 kW

3.1.2.1. Ön Çökeltme Havuzu

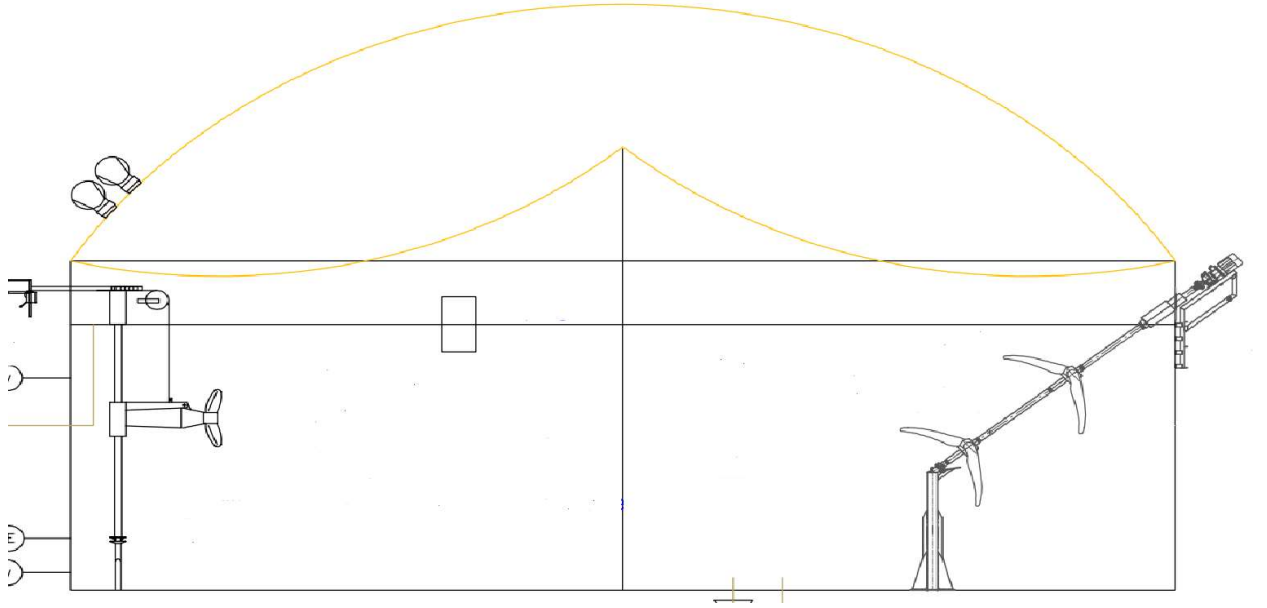
Ön çökeltme havuzu, her birinin hacmi 550 m³ olan 4 havuzdan oluşmaktadır. Burada oluşan ham malzeme, pompalar yardımıyla mixpit tanklarına basılmakta ve oradan belirli aralıklarla ile reaktöre beslenmektedir. Anaerobik çürütücüye beslenen çamur ön ve son çökeltme tanklarından sağlanmakta olup, sistem mezofilik koşullarda (39-40°C) çalışmaktadır.

3.1.2.2. Anaerobik çürütücü tank

Bu reaktörler main ve post olmak üzere 2 şer adet toplam 4 tanedir ve 1 adette son lagün reaktörü vardır. Bir bölüm için reaktör hacmi toplam 30.500 m³ dür.

Reaktörlerde 11 kW yatay ve dikey olmak üzere 2 adet karıştırıcı vardır.

Hidrolik bekletme süresi ortalama 43 gündür. Çürütücünün performansı % 83,7 olarak tasarlanmıştır. Çürütücü için seçilen sıcaklık 39°C’dir. Prosese giriş kuru madde oranı % 10,52 çıkış kuru madde oranı ise %6,5’ dir. Reaktör içinde normal pH aralığı 6,9 ile 7,9 arasındadır.



Şekil 3.4. Anareobik çürütücü tankın şematik görünümü



Şekil 3.5. Atık ve gaz depolama reaktörü

3.1.2.3. Desülfürizasyon ünitesi

Bu ünite sayesinde gaz üretimi esnasında meydana gelen sülfür ve bileşeni gazlar içerisindeki sülfürün filtrasyonu sağlanmaktadır. Biyogazda hidrojen sülfür varlığı bazı sorunlara neden olmaktadır. Örneğin hidrojen sülfür pH dengesizliğine ve bakteri florasının inhibisyonuna, ayrıca reaksiyon ortamının bozulmasına sebep olmakta ve sonuç olarak organik maddenin bozunmasını yavaşlatmaktadır (Belhamidi ve ark. 2021). Korozif özelliğe sahip olması nedeniyle biyogazda bulunan hidrojen sülfürün giderilmesi önemlidir. Biyogaz içinde H_2S bulunması, gaz akış ölçerlerinde, basınç düzenleyicilerde, vanalarda ve ekipmanın çelik parçalarında korozyona neden olmaktadır. Aynı zamanda H_2S 'nin yanma ürünü olan SO_2 su buharı ile birleştiğinde gaz motorlarında korozyona neden olur. Korozyon sebebiyle gaz motorunda aşınmalar meydana gelir ve yağlama süresi kısalmır.

Desülfürizasyon süreci uygun ve verimli bir çözüm sunmaktadır. Aynı zamanda hiçbir kimyasal ürün gerektirmemektedir.

İşletmede H_2S bertarafı sürecinde kimyasal işlemler de olmaktadır. Reaktörlerin beslendiği mixpit kuyularına 1000 L tanklar ile reaktörün durumu ve yapılan analizlere göre Fe_3Cl verilmektedir. Aynı zamanda oluşan biyogaz gaz motoruna gitmeden önce aktif karbon filtre yöntemi kullanılarak gaz motorlarında oluşacak korozyon önlenmektedir.

3.1.2.4. Blower ve susuzlaştırma işlemi

Gazın içindeki nemi almak ve blowera (Şekil 3.6) yüksek sıcaklıkta gaz göndermemek için Chiller kullanılmaktadır.



Şekil 3.6. Chiller ünitesi

Chillerin çıkış sıcaklığı 3°C'ye göre ayarlanmıştır. 2 adet Chiller vardır. Chiller 24 Kw (1 adeti) dir. 3 adet blower ünitesi vardır. 1 adet blowerin gaz basma kapasitesi 1600 m³/h dir.

3.1.2.5. Gaz yakıcı

Tesiste kaplı tip 1 adet gaz yakıcı bulunmaktadır. Gaz yakıcının amacı, sistemde oluşan fazla gazın yakılarak sistemden uzaklaştırılmasını sağlamaktır.

(GAZ DEBİSİ kapasitesi yaklaşık 300 Nm³/saat ve nominal biyogaz basıncı 80 mbar, yüksekliği ise yerden > 2m'dir.)

3.1.2.6. SCADA kontrol odası

SCADA kontrolü sayesinde tesis içerisinde sahada bulunan ekipmanların takibi yapılabilmekte ve bu ekipmanların uzaktan kontrol edilebilmesi sağlanmaktadır.

3.1.3. Gelen tonajlar ve malzemelerin numune analizi

Şilempe beslemesi yapılmadan önceki 6 hafta prosese beslenen malzemelerin haftalık ortalaması Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Şilempesiz dönemde tesise gelen malzemelerin tonaj, kuru madde ve organik kuru madde değerleri

Zaman	Sıvı Gübre			Tavuk			Mısır Silajı			Diğer		
	Tonaj	KM	OKM	Tonaj	KM	OKM	Tonaj	KM	OKM	Patates	Soğan	Kan
1 .HAFTA	882,39	7,91	80,43	131,06	28,31	70,10	19,82	27,77	94,22	0,00	0,00	15,36
2 .HAFTA	901,94	8,12	80,52	132,06	27,71	70,14	19,89	24,74	93,75	0,00	0,00	20,21
3 .HAFTA	909,91	8,25	81,62	132,66	28,32	74,47	20,19	26,60	94,36	0,00	0,00	18,34
4 .HAFTA	937,72	8,22	80,16	131,08	27,88	81,51	20,49	28,14	94,24	0,00	1,69	19,10
5 .HAFTA	970,13	8,05	81,77	131,96	26,09	80,32	20,15	28,02	94,39	0,00	2,45	19,62
6 .HAFTA	984,46	8,05	80,70	136,95	25,37	75,70	40,59	26,85	94,23	0,00	1,59	21,13
7 .HAFTA	1085,27	8,42	80,87	138,09	25,96	76,60	40,11	25,42	93,02	0,00	4,17	17,51
8 .HAFTA	1040,81	8,31	79,06	147,66	25,36	76,72	39,89	27,30	95,58	0,00	5,89	12,95
9 .HAFTA	958,43	8,50	80,85	147,93	28,24	75,70	39,89	26,92	94,12	0,00	6,21	15,20
10 .HAFTA	1055,20	8,50	81,24	146,81	27,64	80,84	39,23	23,73	93,14	0,00	7,80	16,18

*Bu analizde haftanın analizi gün olarak alınmıştır.

Ürünlere şilempe eklendikten haftalarda 10 hafta prosese beslenen malzemelerin haftalık ortalaması Çizelge 3.3'te verilmiştir.

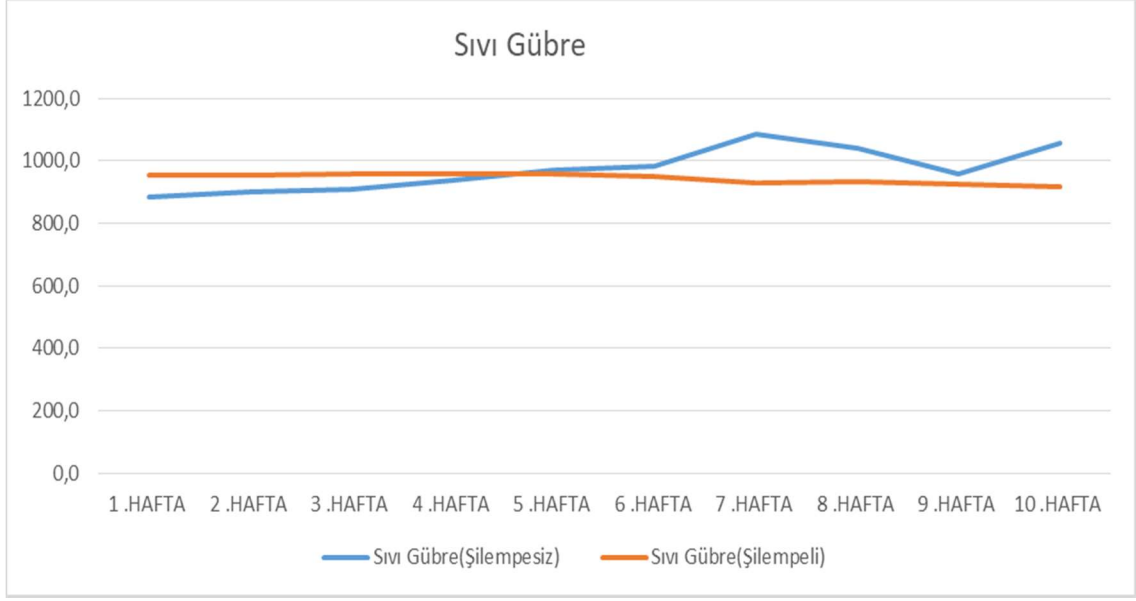
Çizelge 3.3. Şilempeli dönemde tesise gelen malzemelerin tonaj, kuru madde ve organik kuru madde değerleri

Zaman	Sıvı Gübre			Tavuk			Mısır Silajı			Şilempe			Diğer		
	Tonaj	KM	OKM	Tonaj	KM	OKM	Tonaj	KM	OKM	Tonaj	KM	OKM	Patates	Soğan	Kan
1 .HAFTA	953,62	8,47	81,48	151,30	25,65	74,71	7,11	4,86	26,10	146,37	10,99	66,93	0,00	3,56	18,29
2 .HAFTA	956,36	8,43	80,92	150,29	25,77	75,26	4,21	2,43	13,05	162,54	10,92	66,84	0,00	4,14	18,39
3 .HAFTA	958,45	8,44	80,44	150,84	25,73	75,64	0,00	0,00	0,00	186,61	10,80	66,75	0,00	4,79	18,84
4 .HAFTA	958,41	8,43	80,67	150,72	25,83	76,02	0,00	0,00	0,00	215,29	10,60	66,46	0,00	5,07	19,47
5 .HAFTA	956,76	8,36	80,97	150,54	25,79	76,13	0,00	0,00	0,00	240,66	10,69	66,89	0,00	4,91	19,30
6 .HAFTA	951,72	8,41	80,93	149,74	26,47	76,77	0,00	0,00	0,00	253,04	10,73	67,05	0,00	5,27	20,69
7 .HAFTA	928,67	8,45	80,98	149,21	26,62	77,40	0,00	0,00	0,00	267,01	10,77	67,17	0,00	5,43	21,87
8 .HAFTA	933,39	8,36	80,90	146,22	26,58	77,13	0,00	0,00	0,00	289,48	10,83	67,28	0,00	5,54	21,87
9 .HAFTA	926,35	8,25	81,09	147,34	26,39	76,41	0,00	0,00	0,00	304,91	10,78	66,94	0,00	5,83	22,00
10 .HAFTA	916,84	8,19	81,57	146,43	26,34	76,07	0,00	0,00	0,00	308,74	10,81	66,87	0,00	6,09	19,57

*Bu analizde haftanın analizi gün olarak alınmıştır.

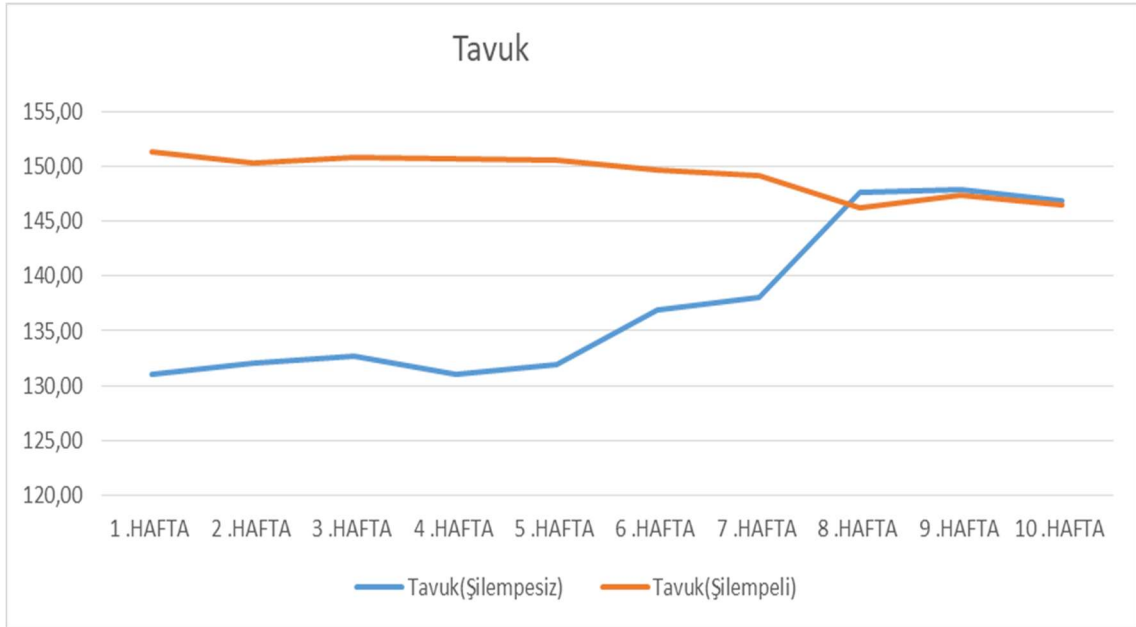
Not: Tesiste bakımlardan ve arızalardan dolayı bazı günlerde şilempe beslenmesi yapılamamıştır. 27 Aralık'ta (3. hafta) şilempe atılmamış, 5 Ocak'ta (5. hafta) 96 ton atılmış, 13-14-15 Ocak'ta (6. hafta) şilempe atılmamış, 29-30 Ocak'ta (8. hafta) şilempe atılmamıştır.

Şilempeli ve şilempesiz dönemlerde sıvı gübre tonajları arasındaki 10 haftalık ortalama fark 28 ton'dur. Bu haftalar arasında en fazla fark 157 ton ile 7. haftada gerçekleşmiştir. Kuru madde ve organik kuru madde farkı ise dikkate alınmayacak derecededir. Sıvı gübre tonajlarının haftalık değişimleri Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Sıvı gübre miktarlarının haftalık değişimi

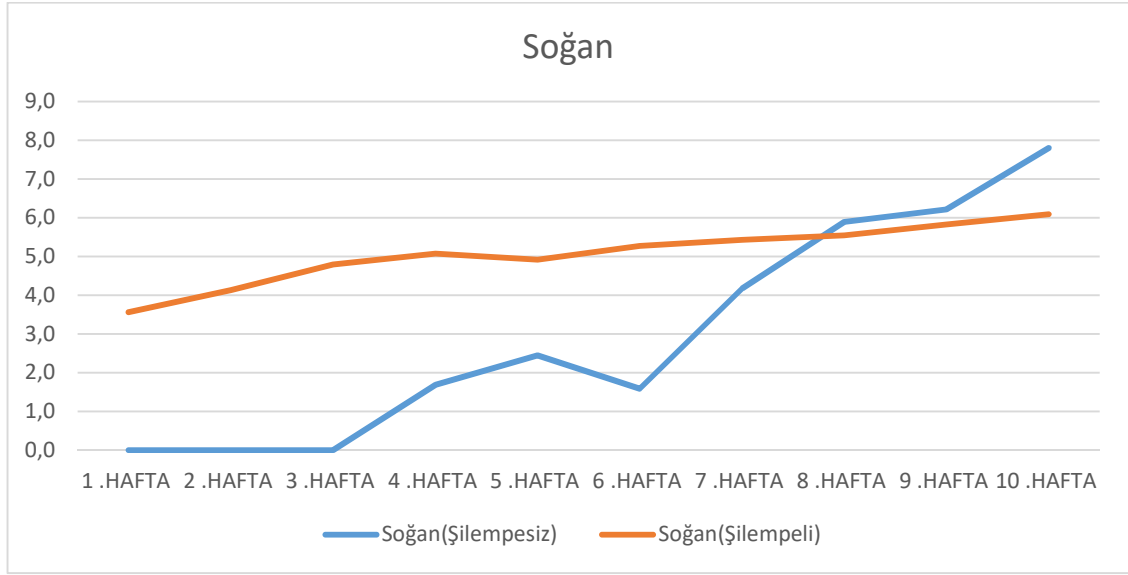
Tavuk atığı tonajları incelendiğinde ilk haftalarda şilempeli dönem için kullanılan miktarların şilempesiz döneme kıyasla oldukça yüksek olduğu ancak 8.hafta itibarıyla tonajların aynı seviyeye geldiği görülmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Tavuk atıkları miktarlarının haftalık değişimi

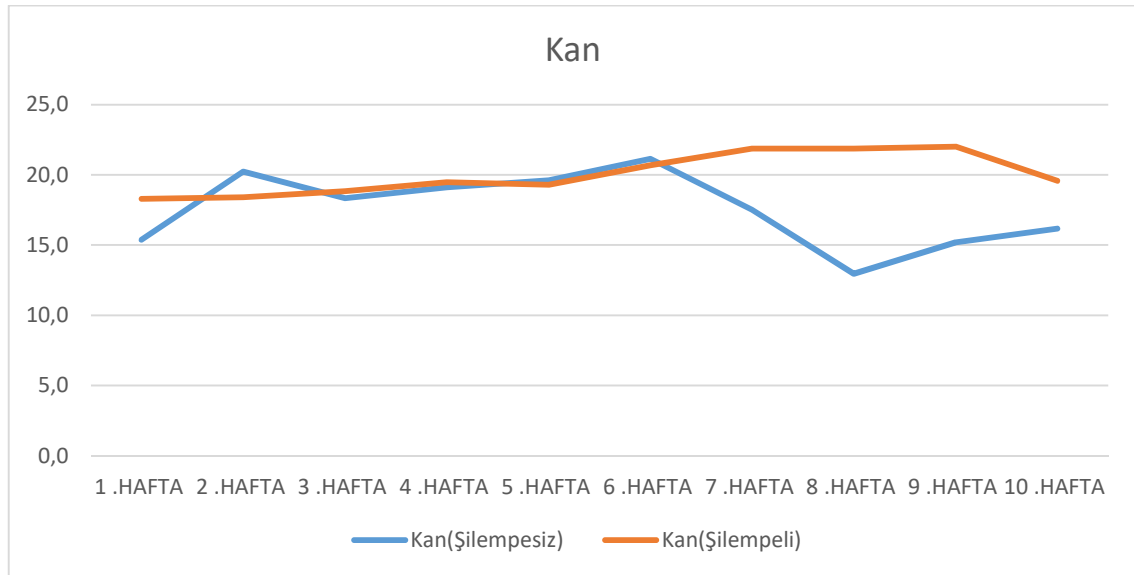
Soğan tonajı elde edilen atık karışımı için enerji ve gaz üretiminde dikkate alınacak derecede değildir. Şilempeli dönemde şilempesiz döneme göre 7 haftalık süreçte

daha fazla soğan atığı kullanılmış ancak tavuk atığında olduğu gibi 8. Haftadan sonra tonaj miktarları birbirine yakın seyretmiştir (Şekil 3.9)



Şekil 3.9. Soğan atıkları miktarlarının haftalık değişimi

Tesiste şilempesiz ve şilempeli dönemlerde kullanılan kan atığı miktarları incelendiğinde ilk haftalarda her iki dönem içinde değerlerin birbirine yakın olduğu ancak şilempesiz dönemde 6. Haftadan itibaren bir düşüşün olduğu görülmüştür (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Kan atıkları miktarlarının haftalık değişimi

3.1.4. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar

3.1.4.1. Laboratuvar

Laboratuvar binası idari binadan ayrı bir yerde bulunmaktadır ve araç girişlerinde numune alınarak kuru madde ve organik kuru madde analizleri yapılmaktadır.

3.1.4.2. Nem ölçüm cihazı

Atıkların nem oranını dolayısıyla kuru madde oranlarını belirlemek için tesis laboratuvarında bulunan Radwag marka MA.50.12 model cihaz kullanılmıştır. Maksimum numune ağırlığı 50 gr'dır. Nem içeriği tekrarlanabilirliği hassasiyeti ± 0.005 (numune 2 kg), ± 0.01 (numune 10 gr). Kurutma sıcaklığı maksimum 160°C dir. Nem ölçme cihazı Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

Kuru madde tayini sırasında öncelikle nem cihazı sıfırlanmış ve ardından start verilerek bir süre beklenmiştir. Cihaz numune kabına örnek koyma işareti verdikten sonra numune kabına atık maddeden 5 gr civarında örnek konulmuştur. Bu işlem sonunda cihazın uyarı sesiyle örneğin nem değeri % olarak ölçmüştür. Bulunan nem miktarı 100 rakamından çıkarılarak ta atığın kuru madde oranı % olarak hesaplanmıştır. Örneğin %90 nem içeriği olan bir atığın kuru madde oranı %10 olarak hesaplanır.



Şekil 3.11. Nem ölçme cihazı

3.1.4.3. FOS/TAC analiz ölçüm cihazı

Atıkların FOS/TAC değerlerini ölçmek için tesisin laboratuvarında yer alan HACH marka titralab AT1000 serisi cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.12). İşletme sıcaklığı $15-35^{\circ}\text{C}$ ($59-95^{\circ}\text{F}$) arası çalışmaktadır.

FOS/TAC analizi için cihazda 5 ml numune ince bir süzgeç yardımıyla süzdürülmüş ve üzerine 45 ml saf su eklenmiştir. Su ekleme işleminden sonra 3 cm³'lük silindirik mıknatıs atılarak, prop ucu numune içine girecek şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra cihaz açılmış, seçeneklerden FOS/TAC seçilmiş ve analiz başlatılarak ölçülen değerler kaydedilmiştir.



Şekil 3.12. FOS/TAC analiz ölçüm cihazı

3.1.4.4. Kül fırını

Gelen atık numunelerinin kül tayini yapmak için tesis laboratuvarında bulunan Nükleon marka NKF serisi cihaz kullanılmıştır. Fırının maksimum sıcaklığa ulaşma süresi 45 dakikadır. İsteğe bağlı olarak 1100-1200°C çıkabilmektedir. Kül fırını Şekil 3.13'de görülmektedir.

Kül tayini sırasında ise öncelikle boş bir kroze hassas terazide tartılmış ve ağırlığı not edilmiştir. Daha sonra nem cihazında kuru maddesi ölçülmüş olan örnek uygun bir araçla tabaktan kazınarak darası alınan kroze aktarılmış ve içerisinde örnek bulunan kroze hassas terazide tartılarak ağırlığı not edilmiştir. Kroze 550°C de 2 saat kül fırınında yakılmış ve 2 saatin sonunda fırından çıkartılarak nem almasına izin verilmeden tartılmıştır. Elde edilen değerler aşağıdaki formülde kullanılarak örneklerin ham kül oranları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Anonim, 2022c).

$$\text{Ham kül (\%)} = \frac{\text{Son tartım (g)} - \text{Dara (g)}}{\text{Numune miktarı (g)}} \times 100$$



Şekil 3.13. Kül fırını

3.1.4.5. Azot ölçüm cihazı

Proseste kullanılacak ürünlerin istenildiğinde azot ölçümleri için tesisin laboratuvarında bulunan nükleon marka cihaz kullanılmaktadır. Kjeldahl yöntemi kullanılarak ölçümler yapılmaktadır. Destilasyon süresi 0-200 dakika arasındadır. Azot ölçüm cihazının görüntüsü Şekil 3.14’te verilmiştir.

Örneklerin azot içerikleri azot tayin cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Azot analizi yapılacak numuneler yakma tüplerine alınmış ve 450 °C sıcaklıkta 1 saat yakılmıştır. 1 saatin sonunda yakılan numuneler soğumaya bırakılmış ve soğuyan numuneler destilasyon cihazına alınmıştır. Destilasyon işlemi yapıldıktan sonra titrasyon işlemi gerçekleştirilerek azot içerikleri belirlenmiştir.



Şekil 3.14 Azot ölçüm cihazı

3.1.4.6. pH Ölçüm Cihazı

Atıkların pH ölçümü için, tesiste bulunan laboratuvarında HACH marka HQ11D model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.15). Cihazın pH ölçüm aralığı 0-14, pH ölçüm hassasiyeti ± 0.002 'dir. Ölçüm sıcaklığı aralığı -10 ile 110 °C , ölçüm hassasiyeti ± 0.3 C dir.



Şekil 3.15. pH ölçüm cihazı

3.1.4.7. Gaz analiz ölçüm cihazı

Gazların bazı aşamalarda ölçümünü yapabilmek için tesiste bulunan Awitex marka 10.3 model cihaz kullanılmıştır. Cihazda metan (CH_4), Hidrojen Sülfür (H_2S), Oksijen (O_2), Karbondioksit (CO_2) gibi ölçümler yapabilmektedir. Çalışma sıcaklığı $5-35$ °C arasındadır. Gaz analiz ölçüm cihazı Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Gaz analiz ölçüm cihazı

3.1.5. Çalışmada kullanılan motorların teknik özellikleri

Tesiste J320 GS-D25 ve J420 GS D25 olmak üzere iki tip motor kullanılmıştır. Bu motorların ikisi de 4 zamanlı olup GE Jenbacher firması tarafından üretilmiştir.

Tesiste kullanılan ve görüntüsü Şekil 3.17’de verilen motorların teknik özellikleri Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de yer almaktadır.



Şekil 3.17. Tesiste kullanılan motorlardan bir görüntü

Çizelge 3.4. Motorların teknik verileri

	J320 GS-D25	J420 GS D25
Üretici Firma	GE Jenbacher	GE Jenbacher
Motor Tipi	J320 GS-D25	J420 GS - B25
Elektrik Çıkış (kW)	1067	1500
Termal Çıkış (kW)	1156	877
Çalışma Prensibi	4 zamanlı	4 zamanlı
Yapılandırma (Derece)	Dikey 70	Dikey 70
Silindir Sayısı	20	20
Delik (mm)	135	145
Felç (mm)	170	185
Nominal Hız (rpm)	1500	1500
Ortalama Piston Hızı (m/s)	8,50	9,25
Uzunluk (mm)	3320	3750
Genişlik (mm)	1358	1580
Yükseklik (mm)	2065	2033
Ağırlık Kuru (kg)	5200	7200
Ağırlık Dolu (kg)	5700	7900
Eylemsizlik Momenti (kgm ²)	8,61	11,64
Dönme Yönü	Sol	Sol
Marş motoru Çıkışı (kW)	7	13
Marş motoru Voltajı (V)	24	24

Çizelge 3.5. Motorların teknik çalışma değerleri

	3*JMS 420	2*JMS 320	Toplam	Birim
Mekanik Güç	3*1540	2*1095	6.810	kW/saat
Elektrik üretimi	3*1500	2*1067	6634	kW/saat
Biyogaz tüketimi (Alt ısıtılma değeri 6,0 (kwh/Nm ³))	3*3538	2*2608	15830	kW/saat
	3*590	2*435	2640	Nm ³ /saat
Üretilen Sıcak Su	3*877	2*634	3899	kW/saat
Üretilen Buhar miktarı	3*920	2*775	4310	Kg/saat
Elektrik çevrim verimi	42,4	40,9	41,9	kW/saat
Termal verim	44,5	47,9	45,6	%
Toplam Verim	86,9	88,9	87,5	%
İç enerji tüketimi	3*54	2*40	242	kW/saat
Egzoz gazı sıcaklığı	421	465		C
Egzoz gazı debisi	3*7943	2*5623	35075	Kg/saat
Gaz motoru yakıt basıncı	120-200	80-200		mbar

3.2. Yöntem

Belirtilen amaç doğrultusunda ilk olarak, tesisten elde edilen çamurun aylara göre değişimi belirlenmiştir. Tesisin 2021 sonlarından (Şilempenin ilk geldiği tarihten itibaren) 60 gün süre boyunca işlenen çamur debisi ile üretilen biyogaz miktarlarının aylara göre değişimlerinin tablo ve grafikler halinde verilmesi ve aylara ait çamur debisi, toplam katı madde (KM), toplam uçucu katı madde (UKM), pH , H₂S, FOSTAC, gaz üretimi gibi değerler analiz edilmiştir. Biyogaz miktarları arasındaki ilişkiyi göstermek için regresyon analizlerinin yapılmış ve diğer parametrelerin literatür bilgilerinden yola çıkılarak şilempe'nin biyogaz kapasitesinin bulunması hedeflenmiştir.

Çalışma aşağıdaki sıralama ile gerçekleşmiştir.

Bu tez çalışmasında reaktörlere 10 hafta boyunca şilempe verilmemiş ve bu süreçte diğer ürünlerin kuru madde ve organik kuru madde miktarları, reaktörlerin pH değerleri, FOS/TAC değerleri, oluşan gaz ve metan oranları enerji üretimi verileri kayıt altına alınmıştır. 10 haftanın sonunda tekrardan 10 hafta boyunca prosese şilempe beslenmeye başlanmış ve aynı parametrelerin kayıtları tutulmuştur. (Prosesse diğer beslenen ürünlerin literatürde çalışmaları vardır.)

4.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

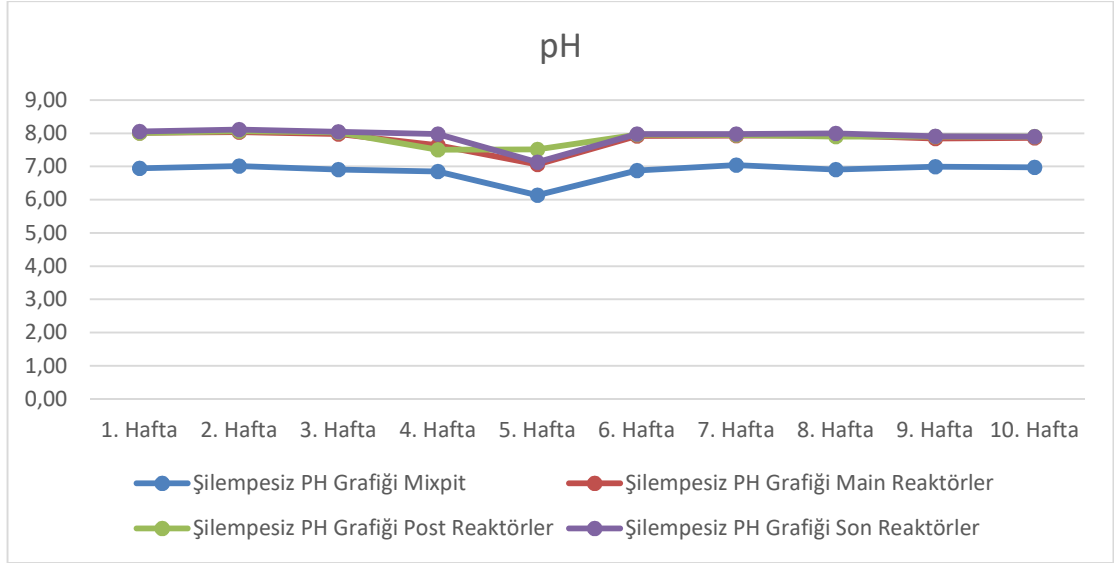
4.1.Reaktörlerin Analiz Deney Sonuçları

4.1.1. pH

Biyogaz üretimi sırasında yüksek asidik veya bazik ortamlarda mikroorganizmalar inhibe veya inaktive olabilmektedir. Mikroorganizmaların çoğu nötr pH seviyelerini tercih etmektedirler. Bu nedenle pH değeri izlenmesi gereken önemli bir parametredir (Kiani ve ark. 2022).Şilempe eklenmeden önceki 10 haftalık süreç boyunca reaktörlerde ölçülen pH değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde haftalar arasında reaktörlerde ölçülen pH değerleri bakımından büyük farklılıkların olmadığı görülmektedir. Ancak farklı reaktörler dikkate alındığında şilempe beslemesinden önce Mixpitt reaktöründe ölçülen pH değerlerinin diğer reaktörlerden daha düşük olduğu ve son reaktöre doğru değer artış gösterdiği belirlenmiştir. Bunun sebebi henüz reaktör beslemesi yapılmaması ve atık içinde canlı bakteri bulunmamasıdır. Elde edilen bir başka sonuca göre ise şilempe uygulanmayan süreçte tüm reaktörlerde ölçülen pH değerleri 5. haftada bir düşüş göstermiş, 6 haftadan sonra stabil hale gelmiştir (Şekil 4.1).

Çizelge 4.1. Şilempe eklenmeden önce ölçülen pH değerleri

Zaman	Mixpitt	Main (Birincil) Reaktör	Post (İkincil) Reaktörlerin	Son Reaktör
1. Hafta	6,95	8,01	8,00	8,06
2. Hafta	7,02	8,04	8,07	8,12
3. Hafta	6,91	7,98	8,03	8,05
4. Hafta	6,85	7,64	7,51	7,98
5. Hafta	6,14	7,06	7,51	7,13
6. Hafta	6,88	7,92	7,95	7,98
7. Hafta	7,04	7,92	7,95	7,98
8. Hafta	6,91	7,94	7,90	8,00
9. Hafta	6,99	7,84	7,90	7,91
10. Hafta	6,98	7,86	7,90	7,91
Ortalama	6,87	7,82	7,87	7,91

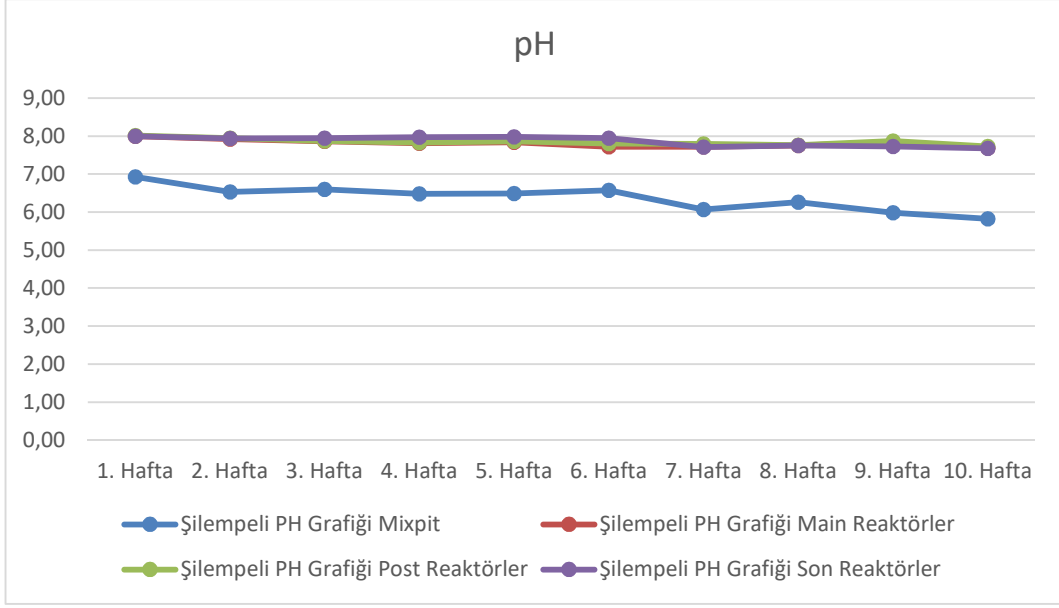


Şekil 4.1. Şilempesiz dönemde reaktörlerin pH değişimleri

Şilempeli dönemde de Mixpitt reaktöründe en düşük düzeyde tespit edilen pH değeri birincil ve ikincil reaktörlerde yükselmiş ve son reaktörde en yüksek seviyesine ulaşmıştır (Çizelge 4.2). Haftalar itibariyle ise 1. haftadan itibaren 10. Haftaya kadar pH değerleri reaktörlerin genelinde stabil ölçülmüştür ancak mixpitt reaktöründe 10. haftadaki pH ölçümü ile 1. haftadaki pH ölçümünden daha düşük çıkmıştır (Şekil 4.2).

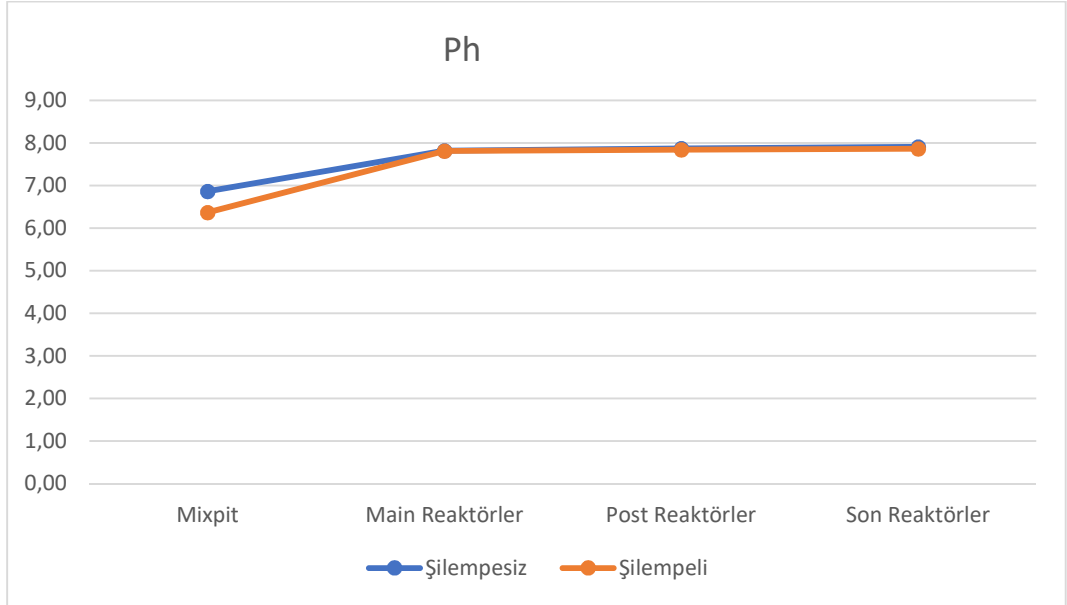
Çizelge 4.2. Şilempe eklendikten sonra ölçülen pH değerleri

Zaman	Mixpitt	Main (Birincil) Reaktör	Post (İkincil) Reaktörlerin	Son Reaktör
1. Hafta	6,93	8,00	8,01	8,00
2. Hafta	6,53	7,92	7,95	7,94
3. Hafta	6,60	7,87	7,87	7,95
4. Hafta	6,48	7,81	7,83	7,98
5. Hafta	6,49	7,84	7,87	7,98
6. Hafta	6,57	7,72	7,80	7,95
7. Hafta	6,07	7,72	7,80	7,71
8. Hafta	6,26	7,76	7,77	7,76
9. Hafta	5,98	7,83	7,87	7,73
10. Hafta	5,82	7,68	7,72	7,68
Ortalama	6,37	7,82	7,85	7,87



Şekil 4.2. Şilempeli dönemde reaktörlerin pH değişimleri

Reaktörlerin şilempesiz ve şilempeli uygulamalardaki pH ortalamaları değerlendirildiğinde Mixpitt reaktöründe bir farklılık ortaya çıkmış (Şilempesiz: 6,87 ve Şilempeli: 6,37), diğer reaktör ortalamaları arasında değerleri ise belirgin bir farklılık görülmemiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Şilempeli ve şilempesiz dönemlerde reaktörlerin ortalama pH karşılaştırması

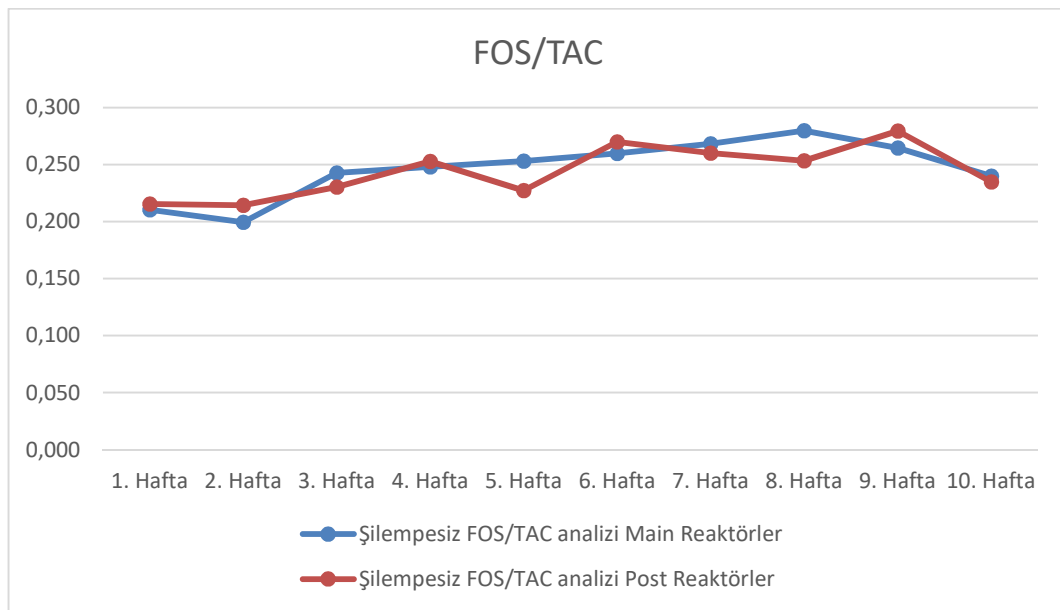
4.1.2. FOS/TAC değerleri

Uçucu organik asitlerin ve tampon kapasitesinin oranı olarak bilinen FOS/TAC değerlerinin Biyogaz tesislerinde düzenli olarak izlenmesi, verimli çalışma için büyük

önem taşır. Marin-Batista ve ark. (2016), şilempenin aerobik sindirimi üzerine yapılan araştırmalarda, işlemin başlangıcında şiddetli pH düşüşü ortaya çıktığını ve pH'daki değişimlerin uçucu yağ asitleri konsantrasyonları ve sistemin tamponlama kapasitesi tarafından etkilendiğini belirtmişlerdir. FOS/TAC değerleri şilempe uygulanmadan önceki dönem için Çizelge 4.3'de verilmiştir. Mixpitt ve son reaktör verilerinin olmadığı çizelgeye göre, birincil ve ikincil reaktörün şilempe eklenmeyen döneme ait 10 haftalık FOS/TAC ortalamaları arasında büyük bir farklılık bulunmamaktadır. Bu durum Şekil 4.4'deki değişim grafiğinde de görülmektedir. Grafiğe göre değerlerde haftalar boyunca dalgalanmalar olsa da her iki reaktörde de 1. ve 10. hafta FOS/TAC değerler birbirine yakın çıkmıştır.

Çizelge 4.3. Şilempe eklenmeden önce ölçülen FOS/TAC değerleri

Zaman	Mixpitt	Main (Birincil) Reaktör	Post (İkincil) Reaktörlerin	Son Reaktör
1. Hafta		0,211	0,216	
2. Hafta		0,200	0,214	
3. Hafta		0,243	0,231	
4. Hafta		0,248	0,253	
5. Hafta		0,253	0,227	
6. Hafta		0,260	0,270	
7. Hafta		0,268	0,260	
8. Hafta		0,280	0,254	
9. Hafta		0,265	0,280	
10. Hafta		0,240	0,235	
Ortalama		0,247	0,244	

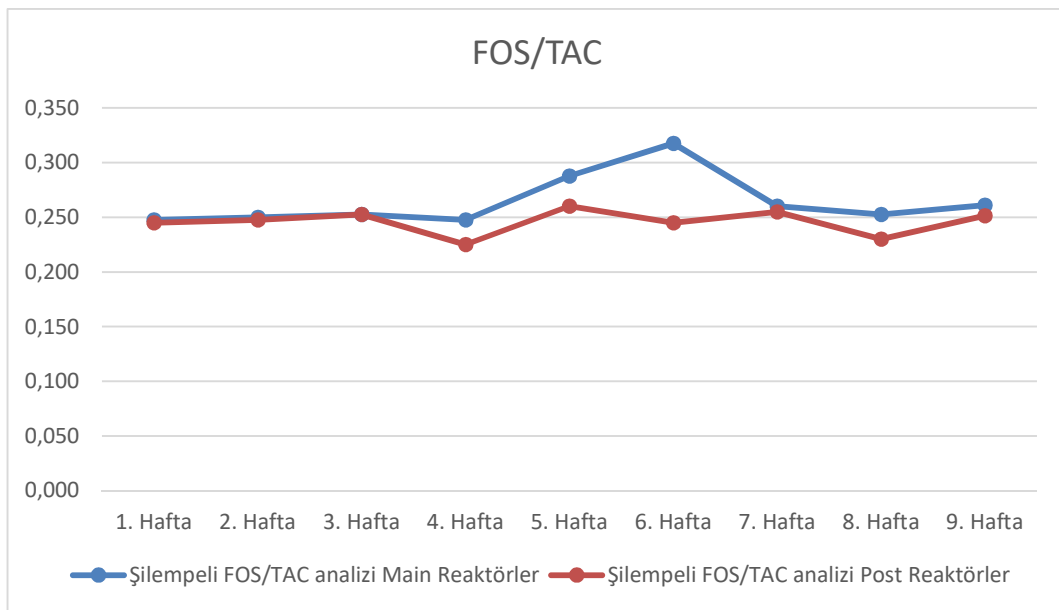


Şekil 4.4. Şilempesiz dönemde reaktörlerin FOS/TAC değişimleri

Şilempeli dönemde ise birincil reaktör (0,265) ve ikincil reaktör (0,245) FOS/TAC değerleri arasında 0,020'lik bir fark oluşmuştur (Çizelge 4.4). Şilempe birincil reaktörlerde hem doyum seviyesini hem de bakteri reaksiyonlarını ve parçalanmasını arttırmakta, bu nedenle de ikincil reaktörlerdeki bakteriler daha fazla organik malzemeye ihtiyaç duymaktadırlar. Bu durum yapılan analizlerde gözlemlenmiştir. Haftalık değerlere bakıldığında birincil reaktörde 4. haftadan sonra 6. haftaya kadar FOS/TAC değerlerinde bir yükseliş olmuş, 7. haftada tekrar düşerek ilk haftalardaki seviyelerine geri dönmüştür. İkincil reaktörde ise 1. haftadan 10. haftaya kadar önemli farklılıklar görülmemiştir (Şekil 4.5).

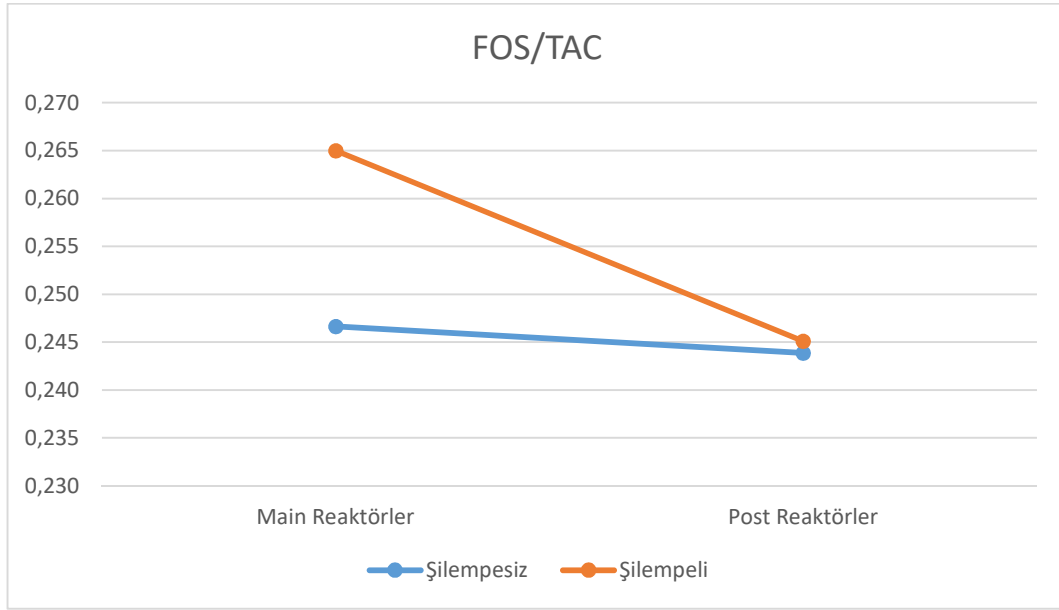
Çizelge 4.4. Şilempe eklendikten sonra ölçülen FOS/TAC değerleri

Zaman	Mixpitt	Main (Birincil) Reaktör	Post (İkincil) Reaktörlerin	Son Reaktör
1. Hafta		0,248	0,245	
2. Hafta		0,250	0,248	
3. Hafta		0,253	0,253	
4. Hafta		0,248	0,225	
5. Hafta		0,288	0,260	
6. Hafta		0,318	0,245	
7. Hafta		0,260	0,255	
8. Hafta		0,253	0,230	
9. Hafta		0,261	0,251	
10. Hafta		0,268	0,240	
Ortalama		0,265	0,245	



Şekil 4.5. Şilempeli dönemde reaktörlerin FOS/TAC değişimleri

Şilempesiz ve şilempeli dönemlerdeki FOS/TAC değerleri karşılaştırıldığında birincil reaktör aşamasında çok belirgin bir farklılık göze çarpmakta (Şekil 4.6) ve şilempeli dönemdeki değer (0,265) şilempesiz dönemdeki değerden (0,247) daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak şilempeli dönemde (0,245) FOS/TAC değeri ikincil reaktörde azalmış şilempesiz dönemdeki (0,244) değere yaklaşmıştır.



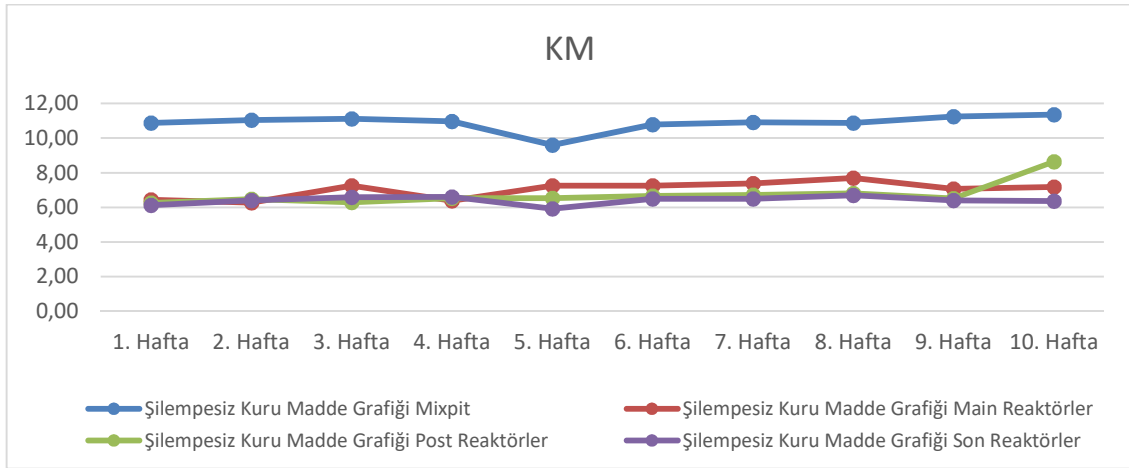
Şekil 4.6. Şilempeli ve şilempesiz dönemlerde reaktörlerin ortalama FOS/TAC karşılaştırması

4.1.3. Kuru madde oranı (% TS)(KM)

Şilempe uygulanmadan önce reaktörlerde ölçülen kuru madde oranları Çizelge 4.5’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde Mixpitt reaktöründe 10 haftalık süreçte ortalama %10,88 olan kuru madde oranı, birincil reaktörde %7,02’ye, ikincil reaktörde %6,74’e ve son reaktörde ise %6,41’e düşmüştür. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere kuru madde oranları en yüksek mixpitt reaktöründe belirlenirken, en düşük değer son reaktörde belirlenmiştir. Reaktörler kendi içerisinde değerlendirildiğinde kuru madde oranları mixpitt reaktöründe 5. haftada bir düşmüş, diğer haftalarda ise belirgin bir değişiklik görülmemiştir. Ayrıca ikincil reaktörde 9. Haftadan 10. Haftaya geçerken büyük bir artış olmuştur (Şekil 4.7)

Çizelge 4.5. Şilempe eklenmeden önce ölçülen % TS (KURU MADDE) değerleri

Zaman	Mixpitt	Main (Birincil) Reaktör	Post (İkincil) Reaktörlerin	Son Reaktör
1. Hafta	10,88	6,45	6,25	6,13
2. Hafta	11,03	6,27	6,47	6,41
3. Hafta	11,11	7,25	6,28	6,59
4. Hafta	10,97	6,39	6,52	6,61
5. Hafta	9,61	7,25	6,53	5,92
6. Hafta	10,78	7,25	6,66	6,50
7. Hafta	10,91	7,38	6,72	6,50
8. Hafta	10,87	7,69	6,81	6,70
9. Hafta	11,24	7,07	6,52	6,39
10. Hafta	11,35	7,18	8,64	6,37
Ortalama	10,88	7,02	6,74	6,41

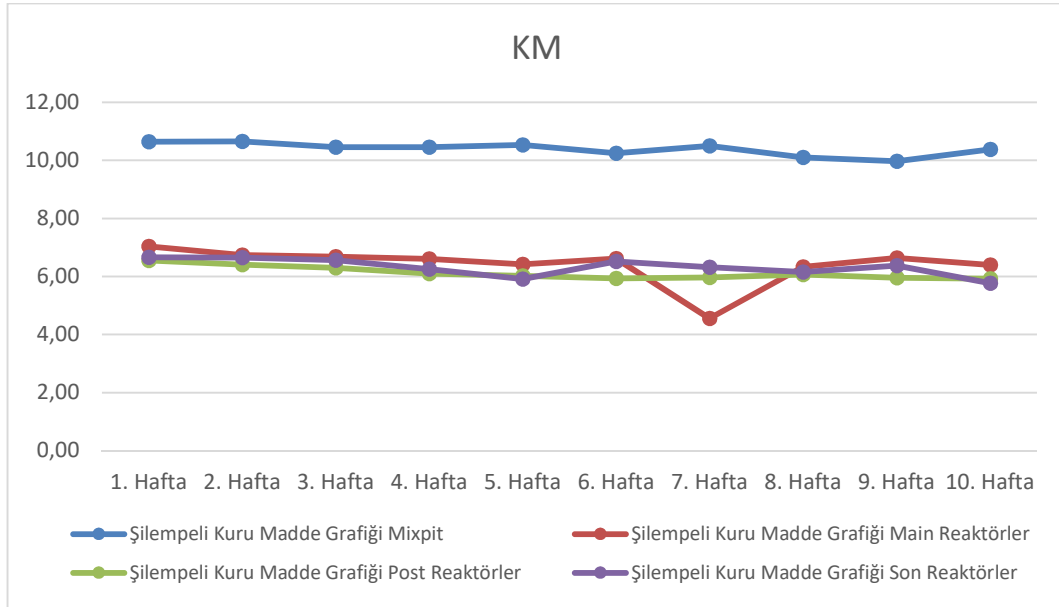


Şekil 4.7. Şilempesiz dönemde reaktörlerin kuru madde değişimleri

Kuru madde oranlarının şilempe uygulamasından sonraki değerleri Çizelge 4.6'da görülmektedir. Şilempesiz uygulamada olduğu gibi mixpitt reaktöründe en yüksek kuru madde oranı (% 10,39) tespit edilmiştir. Sonraki dönemlerde ise kuru madde oranı birincil reaktörde %6,40'a ve ikincil reaktörde ise %6,12'ye düşmüştür. Son reaktörde mixpitt ve birincil reaktörlere göre bir düşüş olsa da ikincil reaktöre göre küçük bir yükseliş olmuş ve kuru madde oranı %6,32'ye yükselmiştir. Şilempeli uygulamadaki kuru madde değişimlerini gösteren Şekil 4.8 incelendiğinde genellikle reaktörlerin ölçümlerin yapıldığı ilk hafta ile son hafta arasında büyük değişimlere uğramadığı, sadece birincil reaktörde 7. haftada bir düşüş olduğu ama sonraki hafta tekrar yükseldiği görülmektedir.

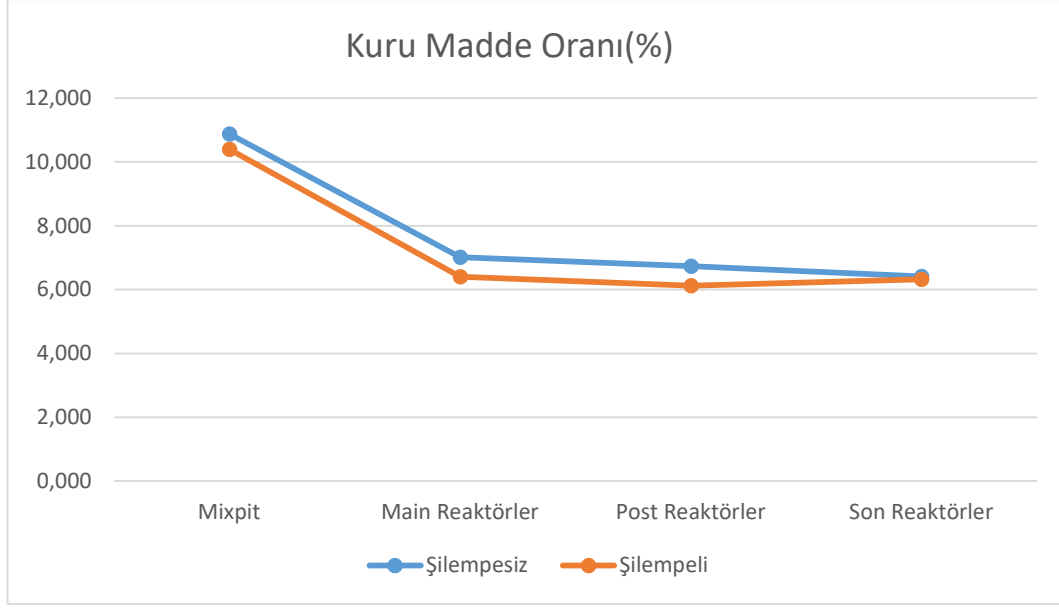
Çizelge 4.6. Şilempe eklendikten sonra ölçülen % TS (KURU MADDE) değerleri

Zaman	Mixpitt	Main (Birincil) Reaktör	Post (İkincil) Reaktörlerin	Son Reaktör
1. Hafta	10,64	7,04	6,56	6,67
2. Hafta	10,65	6,74	6,41	6,66
3. Hafta	10,45	6,68	6,30	6,57
4. Hafta	10,45	6,60	6,10	6,26
5. Hafta	10,53	6,42	6,02	5,91
6. Hafta	10,24	6,62	5,93	6,52
7. Hafta	10,50	4,56	5,97	6,33
8. Hafta	10,10	6,33	6,07	6,15
9. Hafta	9,97	6,64	5,95	6,38
10. Hafta	10,38	6,39	5,93	5,77
Ortalama	10,39	6,40	6,12	6,32



Şekil 4.8. Şilempeli dönemde reaktörlerin kuru madde değişimleri

Şilempesiz ve şilempeli dönemdeki kuru madde oranı ortalamaları karşılaştırıldığında ise (Şekil 4.9) değerlerin birbirine yakın olduğu ancak şilempeli dönemdeki kuru madde oranlarının nispeten daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



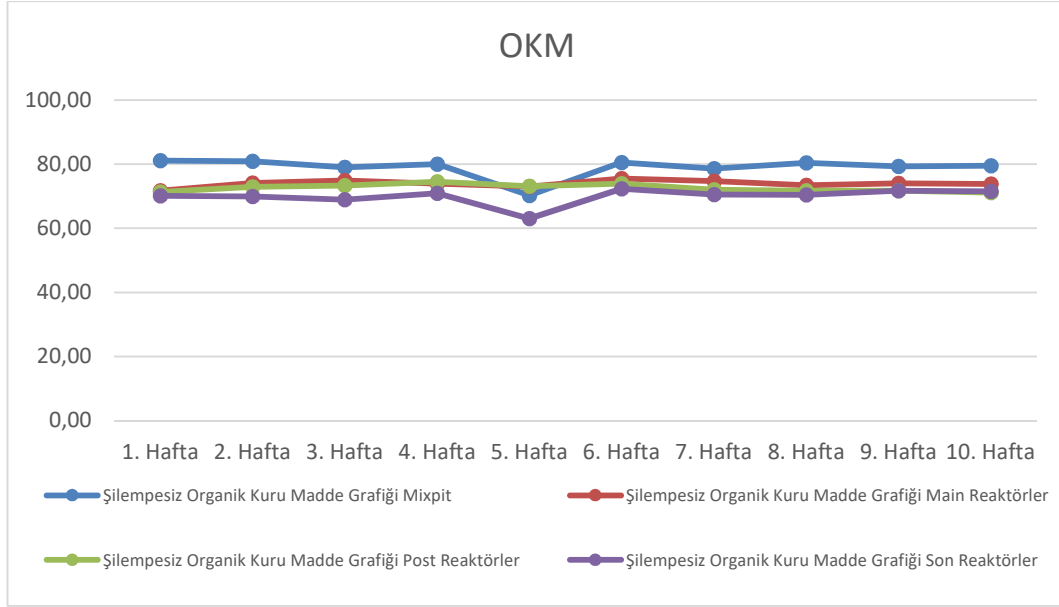
Şekil 4.9. Şilempeli ve şilempesiz dönemlerde reaktörlerin ortalama kuru madde oranı karşılaştırması

4.1.4. Organik kuru madde oranı %VS (OKM)

Çalışma kapsamında şilempe uygulaması yapılmadan reaktörlerde tespit edilen organik kuru madde değerleri Çizelge 4.7’de görülmektedir. Mixpitt’te %78,96 olan ortalama organik kuru madde değeri birincil reaktörde %73,93’e, ikincil reaktörde 72,58’e ve son reaktörde ise %69,93’e düşmüştür. 10 haftalık süreçte ise Mixpitt ve son reaktörde organik kuru madde değeri 5. haftada düşmüş, sonraki hafta ise ilk haftalardaki seviyelerine geri dönmüştür. Birincil ve ikincil reaktörlerde ilk haftadan son haftaya kadar değerler arasında belirgin bir farklılık gözlenmemiştir (Şekil 4.10).

Çizelge 4.7. Şilempe eklenmeden önce ölçülen organik kuru madde değerleri

Zaman	Mixpitt	Main (Birincil) Reaktör	Post (İkincil) Reaktörlerin	Son Reaktör
1. Hafta	81,13	71,70	71,31	70,13
2. Hafta	80,88	74,17	72,91	69,91
3. Hafta	79,04	74,93	73,31	68,91
4. Hafta	80,05	73,93	74,56	70,94
5. Hafta	70,26	73,05	73,11	63,02
6. Hafta	80,47	75,49	73,95	72,30
7. Hafta	78,57	74,73	72,03	70,47
8. Hafta	80,42	73,42	71,72	70,44
9. Hafta	79,28	74,03	71,77	71,71
10. Hafta	79,54	73,85	71,17	71,5
Ortalama	78,96	73,93	72,58	69,93

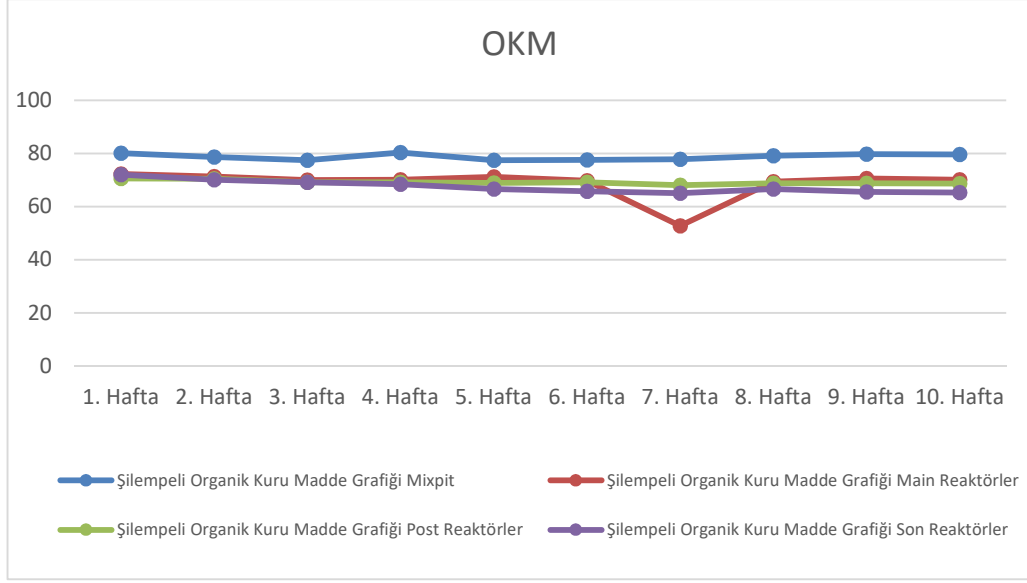


Şekil 4.10. Şilempesiz dönemde reaktörlerin organik kuru madde değişimleri

Reaktörlere şilempe eklenmesinden sonra Mixpitt'te %78,78 olarak ölçülen ortalama organik kuru madde oranı birincil reaktörde %68,67'ye düşmüştür. Değerler ikincil reaktörde küçük bir yükselişle % 69,16'ya çıkmış, son reaktörde ise % 67,47 ile en düşük değerine ulaşmıştır (Çizelge 4.8). Reaktörlerin 10 haftalık süreçleri ayrı ayrı dikkate alındığında Mixpitt, ikincil ve son reaktörde tüm haftalarda ölçülen organik kuru madde değerleri arasında farklılıklar görülmemiştir. Ancak birincil reaktörde 7. hafta organik kuru madde değerinde belirgin bir düşüş olmuş, sonraki hafta tekrar ortalama seviyelere geri dönmüştür (Şekil 4.11).

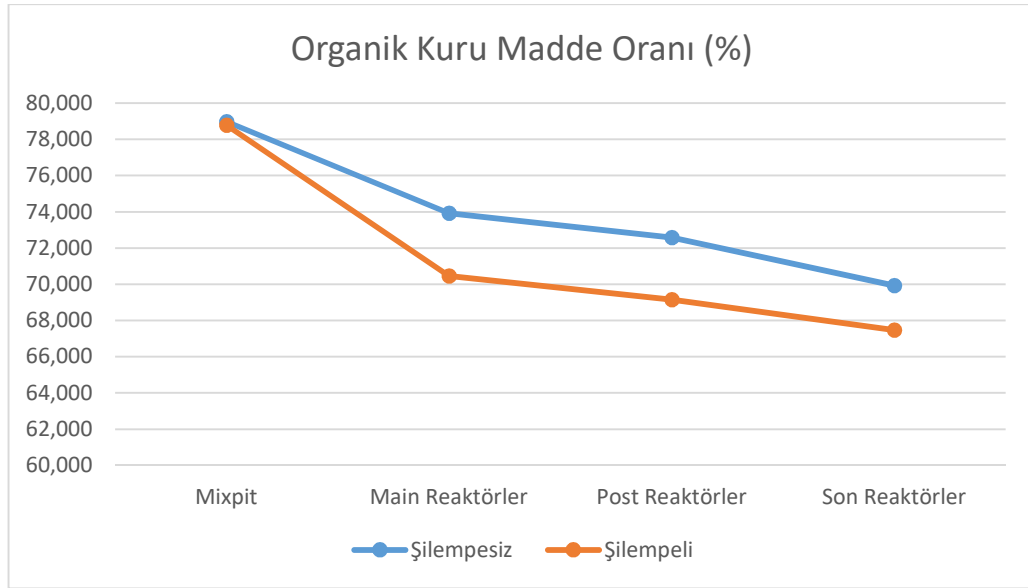
Çizelge 4.8. Şilempe eklendikten sonra ölçülen organik kuru madde değerleri

Zaman	Mixpitt	Main (Birincil) Reaktör	Post (İkincil) Reaktörlerin	Son Reaktör
1. Hafta	80,08	72,24	70,53	72,04
2. Hafta	78,7	71,36	70,50	70,07
3. Hafta	77,43	70,04	69,18	69,19
4. Hafta	80,37	70,13	69,09	68,47
5. Hafta	77,4	71,23	68,87	66,65
6. Hafta	77,52	69,79	69,20	65,83
7. Hafta	77,81	52,78	68,03	65,01
8. Hafta	79,13	69,38	68,77	66,61
9. Hafta	79,69	70,59	68,75	65,50
10. Hafta	79,67	70,11	68,68	65,35
Ortalama	78,78	68,77	69,16	67,47



Şekil 4.11. Şilempeli dönemde reaktörlerin organik kuru madde değişimleri

Şilempesiz ve şilempeli uygulamaların karşılaştırması yapıldığında, Mixpitt'te her iki uygulamanın da organik madde ortalamalarının birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Ancak şilempeli uygulamada birincil, ikincil ve son reaktörün organik kuru madde miktarları bakımından şilempesiz uygulamaya göre her üç reaktörde de daha düşük değerler elde edilmiştir (Şekil 4.12). Sonuçlar değerlendirildiğinde şilempeli dönemde organik kuru madde oranındaki azalmanın, şilempesiz döneme göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum şilempenin reaktörler içinde organik parçalanmayı hızlandırmış olabileceğini göstermektedir. Nitekim Ziemiński ve Kowalska-Wentel (2015), şilempenin basit organik bileşikler içerdiğini ve bu bileşiklerin bakteriler tarafından hızlı bir şekilde parçalanabildiğini belirtmişlerdir.



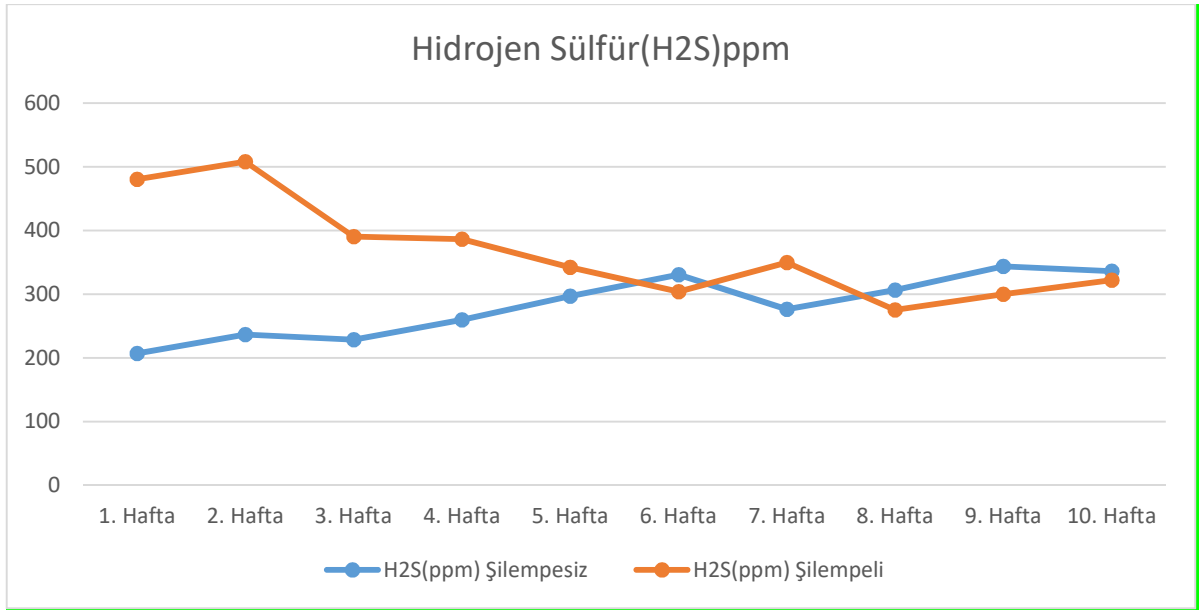
Şekil 4.12. Şilempeli ve şilempesiz dönemlerde reaktörlerin ortalama organik kuru madde karşılaştırması

4.1.5. Hidrojen sülfür değerleri

Şilempesiz ve şilempeli dönemlerde biyogaz aktif karbona girmeden H₂S (hidrojen sülfür) değerleri ölçülmüş ve sonuçlar Çizelge 4.9'da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde şilempesiz dönemde genellikle haftalar geçtikçe H₂S değerlerinin yükseldiği, şilempeli dönemde ise tam tersi azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca ilk haftalarda şilempesiz ve şilempeli uygulamalara ait H₂S değerleri arasında yüksek farklar ortaya çıkarken, çalışmanın son haftalarına doğru bu farklar azalmıştır (Şekil 4.13).

Çizelge 4.9. Şilempesiz ve şilempeli dönemde biyogazda hidrojen sülfür miktarları

Zaman	H ₂ S(ppm) Şilempesiz	H ₂ S(ppm) Şilempeli
1. Hafta	207	480,5
2. Hafta	237	508
3. Hafta	228,5	390,5
4. Hafta	260	386,5
5. Hafta	297	342,5
6. Hafta	330,5	304
7. Hafta	276,5	350
8. Hafta	306,5	275,5
9. Hafta	344	300
10. Hafta	336	322
Ortalama	282,3	365,95



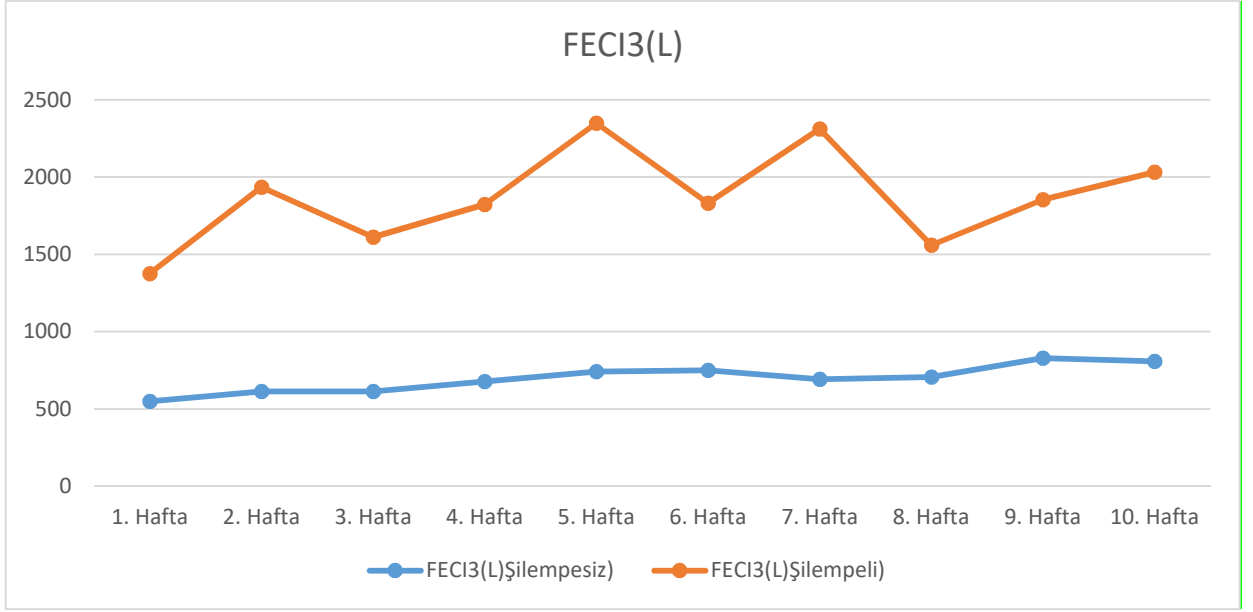
Şekil 4.13. Şilempesiz ve şilempeli dönemde biyogazda hidrojen sülfür karşılaştırılması

4.1.6. Reaktörlere beslenen FeCl₃ değerleri

Biyogaz tesislerinde H₂S tutucu olarak kullanılan FeCl₃ (Demir 3 Klorür)'e ilişkin şilempesiz ve şilempeli dönemlere ait değerler Çizelge 4.10'da sunulmuştur. Şilempesiz dönemde 10 hafta boyunca ortalama 698 L FeCl₃ uygulanmış, şilempeli dönemde ise yine 10 haftalık süreçte 1868 L FeCl₃ uygulanmıştır. Yani şilempeli dönemde H₂S seviyesinin artmasını engellemek için şilempesiz döneme göre ortalama 1170 L fazla FeCl₃ kullanılmıştır. 10 haftalık süreç kendi içerisinde değerlendirildiğinde şilempesiz dönemde uygulanan FeCl₃ miktarları haftalar arasında büyük değişiklikler göstermemiş, şilempeli dönemde ise büyük dalgalanmalar olmuştur (Şekil 4.14).

Çizelge 4.10. Şilempesiz ve şilempeli dönemde reaktörlere eklenen FeCl₃ miktarları

Zaman	FeCl ₃ (L)	
	Şilempesiz	Şilempeli
1. Hafta	550	1375
2. Hafta	614	1936
3. Hafta	614	1611
4. Hafta	678	1824
5. Hafta	742	2350
6. Hafta	750	1832
7. Hafta	693	2311
8. Hafta	707	1561
9. Hafta	828	1853
10. Hafta	807	2032
Ortalama	698	1868



Şekil 4.14. Şilempesiz ve şilempeli dönemde reaktörlere beslenen FeCl3 miktarlarının karşılaştırılması

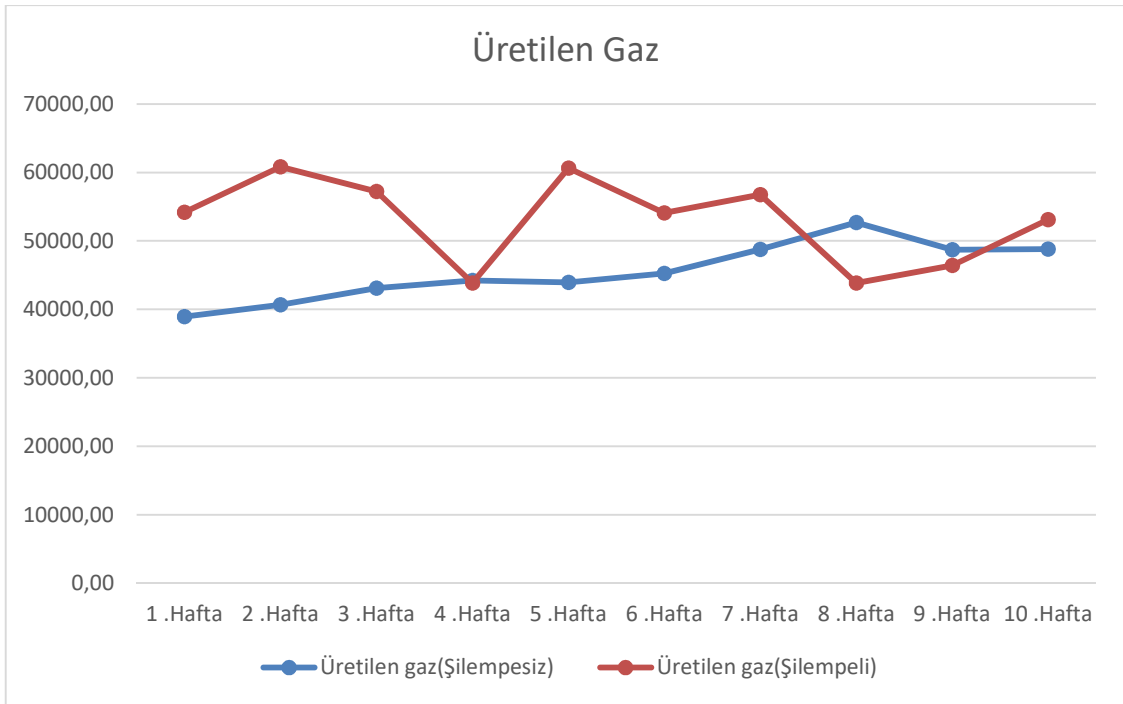
4.2. Gaz ve Enerji Üretimi Deney Sonuçları

4.2.1. Üretilen gaz miktarı

Reaktörlere şilempe beslemesi olmayan ve şilempe beslemesi olan haftalarda üretilen gazın miktarlarına ilişkin değerler Çizelge 4.11’de verilmiştir. Her iki dönem kıyaslandığında şilempesiz dönemde haftalık ortalama $45503,36 m^3$ üretim yapılmışken, bu miktar şilempeli dönemde $53097,23$ ’e çıkmıştır. Caillet ve Adelard (2021), şeker kamışı şilempesi ile yaptıkları bir çalışmada farklı oranlardaki şilempe uygulamalarından şilempesiz uygulamalara oranla daha fazla metan üretimi yapıldığını ortaya koymuşlardır. Çizelgeden elde edilen bir başka bilgiye göre şilempesiz dönemin 10. Haftasında $48783,49$ biyogaz verimi elde edilmiş, ancak sonraki hafta sisteme şilempe eklenmesiyle biyogaz verimi $54178,17$ ’ye yükselmiş yani %11,05’lik bir artış ortaya çıkmıştır. Şilempesiz ve şilempeli dönemlerin ilk ve son hafta biyogaz verimleri kıyaslandığında şilempesiz dönemde %25’lik bir artış görülürken şilempeli dönemde ise % 1,98’lik bir azalma görülmüştür. Bu azalmanın sebebi blowerin çektiği gazda azalma olması yani metan oranının artmasıdır. Bu durum Çizelge 4.12’de ayrıca açıklanacaktır. Şilempesiz ve şilempeli dönemlerdeki biyogaz veriminin 10 haftalık seyrine bakıldığında şilempesiz dönemde aşırı yükseliş ve azalmaların olmadığı, ancak şilempeli dönemde haftalar arasında dalgalanmaların olduğu görülmektedir (Şekil 4.15)

Çizelge 4.11. Şilempesiz ve şilempeli dönemde üretilen gaz miktarları

Zaman	Üretilen gaz miktarı	
	Şilempesiz (m^3)	Şilempeli (m^3)
1 .Hafta	38918,29	54178,17
2 .Hafta	40649,57	60840,07
3 .Hafta	43112,29	57222,14
4 .Hafta	44200,61	43864,76
5 .Hafta	43954,36	60647,09
6 .Hafta	45262,46	54087,84
7 .Hafta	48751,86	56764,26
8 .Hafta	52693,70	43864,76
9 .Hafta	48706,96	46399,18
10 .Hafta	48783,49	53104,09
Ortalama	45503,36	53097,23



Şekil 4.15. Şilempesiz ve şilempeli dönemde üretilen gaz miktarının karşılaştırılması

4.2.2. Blowerların çektiği gaz miktarı

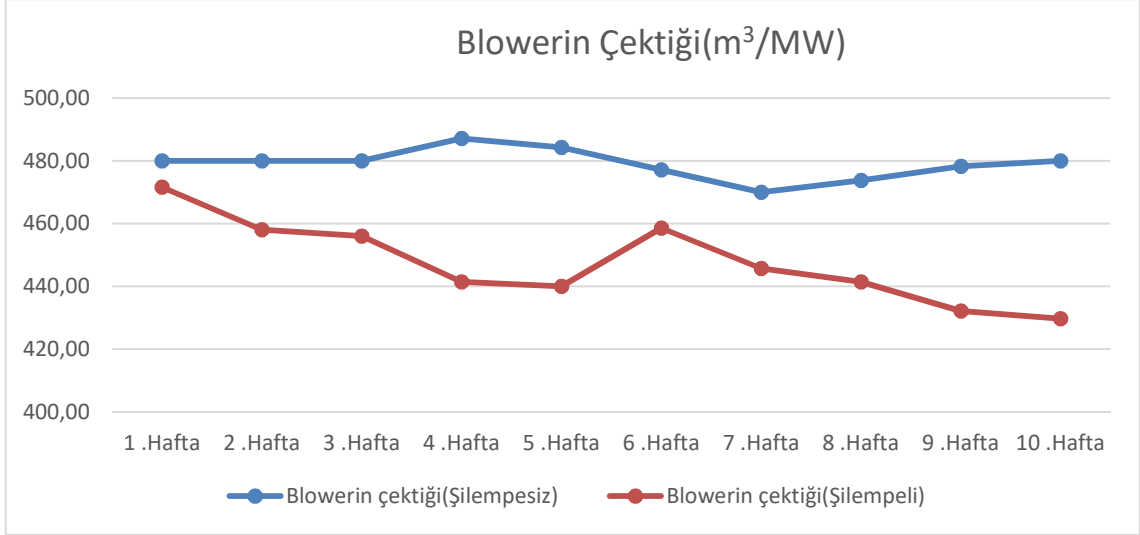
Blowerlar motorların 1MW elektrik enerjisi üretmesi için saate kaç m^3 gaz çektiğinin hesabı yapılmış ve şilempesiz ve şilempeli döneme ait çekilen gaz değerleri Çizelge 4.12’te verilmiştir. Şilempesiz dönemde ortalama olarak $479,06 m^3$ gaz çekilmiş, şilempeli dönemde ise çekilen gaz miktarı $447,46 m^3$ olarak tespit edilmiştir. Her iki dönemin ilk hafta ve son haftaları kıyaslandığında şilempesiz dönemde blowerın çektiği

m³'de bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Yani bu dönemde metan oranından bir artış olmamıştır. Şilempeli dönemde ise ilk hafta ve son hafta dikkate alındığında gaz çekiminde % 8.9'luk bir azalış gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar metan miktarında da yaklaşık aynı oranda bir artış olduğunun göstergesidir.

Şilempesiz dönemin 10 haftalık sürecinde Blowerların çektiği gaz miktarında fazla bir değişiklik olmazken, şilempeli dönemde 5. haftaya kadar düşüş gözlemlenmiş (Şekil 4.16), ancak motor bakımlarından dolayı 3 gün prosese şilempe beslemesi yapılmamış ve 6. hafta bir önceki haftaya göre çekilen gazdan % 4.09'luk (440,00 m³'ten 458,57 m³'e) bir artış görülmüştür.

Çizelge 4.12. Şilempesiz ve şilempeli dönemde Blowerların çektiği gaz miktarları

Zaman	Blowerin çektiği(Şilempesiz)	Blowerin çektiği(Şilempeli)
1 .Hafta	480,00	471,57
2 .Hafta	480,00	458,00
3 .Hafta	480,00	456,00
4 .Hafta	487,14	441,43
5 .Hafta	484,29	440,00
6 .Hafta	477,14	458,57
7 .Hafta	470,00	445,71
8 .Hafta	473,71	441,43
9 .Hafta	478,29	432,14
10 .Hafta	480,00	429,71
Ortalama	479,06	447,46



Şekil 4.16. Şilempesiz ve şilempeli dönemde Blowerların çektiği gaz miktarının karşılaştırılması

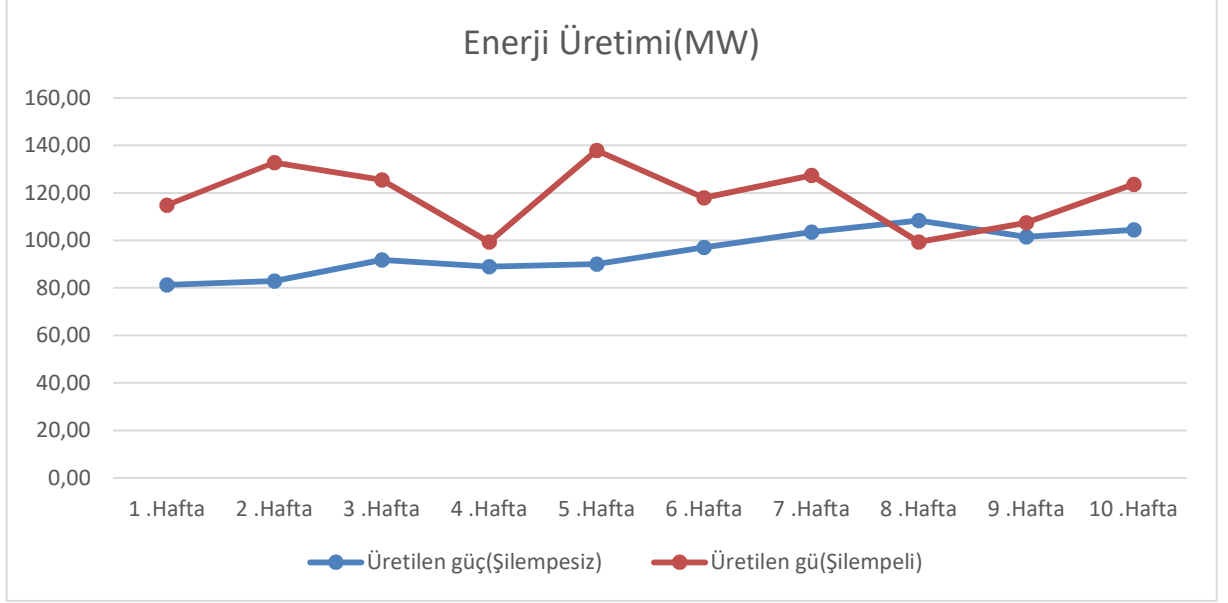
4.2.3. Üretilen enerji miktarı

Reaktörlere şilempe beslemesi olmayan haftalarda ve şilempe beslemesi olan haftalarda üretilen enerji miktarları Çizelge 4.13’de görülmektedir. Çalışma kapsamında planlı bir enerji üretimi yapılmıştır. Her iki dönem ait ortalama enerji üretimlerine bakıldığında, şilempesiz dönemde 10 haftalık süreç boyunca ortalama 94,97 MW enerji üretilmiş, şilempeli dönemde ise üretilen enerji miktarı ortalama 118,60 MW değerine ulaşmıştır. İki dönemin ortalamasına baktığımızda üretilen güçte % 24.8 bir artış belirlenmiştir. Ancak üretim bir gün öncesinde planlanarak gerçekleştiği için üretim sonucuna bakarak şilempenin enerji üretimindeki etkisini değerlendirmek yanlış olabilir. Fakat 10 haftalık ortalamaya bakıldığında şilempenin olumlu bir etkisinin bulunduğu söylenebilir. 10 hafta boyunca haftalık olarak üretilen enerji değerleri kıyaslandığında, Şekil 4.17’te görüldüğü gibi şilempesiz dönemde aşırı dalgalanmalar meydana gelmemiş ve birbirine yakın değerler ölçülmüştür. Şilempeli dönemde ise ölçülen değerlerin bazı haftalarda yükseldiği, bazı haftalarda ise düştüğü belirlenmiştir.

Çizelge 4.13. Şilempesiz ve şilempeli dönemde üretilen enerji miktarları

Zaman	Üretilen güç(MW)	
	Şilempesiz	Şilempeli
1 .Hafta	81,21	114,89
2 .Hafta	82,86	132,84
3 .Hafta	91,86	125,49
4 .Hafta	88,99	99,37

5 .Hafta	90,04	137,83
6 .Hafta	97,00	117,95
7 .Hafta	103,50	127,36
8 .Hafta	108,33	99,37
9 .Hafta	101,47	107,37
10 .Hafta	104,42	123,58
Ortalama	94,97	118,60



Şekil 4.17. Şilempesiz ve şilempeli dönemde üretilen enerji miktarlarının karşılaştırılması

4.2.4. Şilempe gaz verimi

Atıklar aynı tür atık olmasına rağmen farklı kuru madde ve organik kuru madde oranlarına sahip olmaları nedeniyle ürettikleri gaz miktarında farklılıklar olabilmektedir.

Çizelge 4.14'te atıkların 1 kg organik yükte üretebilecekleri biyogaz miktarları ve metan oranları verilmiştir. Çizelgedeki veriler Solea Enerji firması tarafından tesisteki kuru madde ve organik kuru maddelere göre hesaplanmış ve organik l/kg birimine çevrilmiştir.

Çizelge 4.14. Atıkların biyogaz ve metan miktarları

Atık	l/kg	%CH ₄
Tavuk	512	63
Sığır	400	55
Mısır Silajı	743	52
Kan	760	55
Soğan	889	55

Ayrıca literatürde atıkların gaz üretimi hesaplamaları şilempesiz dönem için Çizelge 4.15’de, şilempeli dönem için ise Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.15. Literatürde atıkların gaz üretimi hesaplaması (Şilempesiz Dönem)

Atık	Gaz (m ³)	Enerji (MW)
Sıvı gübre	27137,89	56,54
Tavuk	14206,59	29,60
Mısır Silajı	4200,68	8,75
Patates	0,00	0,00
Soğan	965,52	2,01
Kan	840,79	1,75
Toplam	48237,94	100,5
Gerçekleşen	45503,36	94,97

*Hesaplar günlük üretim olarak hesaplanmıştır. Enerji Üretimi olarak yanılma payı %4-5 oranındadır.

Çizelge 4.16. Literatürde atıkların gaz üretimi hesaplaması (Şilempeli Dönem)

Atık	Gaz (m ³)	Enerji (MW)
Sıvı gübre	26910,61	60,20
Tavuk	15200,81	34,01
Mısır Silajı	210,27	0,47
Patates	0,00	0,00
Soğan	2431,16	5,44
Kan	959,00	2,15
Toplam	45711	102,26
240 ton/gün (Şilempe)	7385	16,34
Gerçekleşen	53097	118,6

*Hesaplar günlük üretim olarak hesaplanmıştır. Enerji Üretimi olarak yanılma payı %4-5 oranındadır.

Şilempeli dönemde aradaki farka bakıldığında 1 ton şilempe için 30-32 m³ biyogaz üretebileceği ve 525l/kg olarak hesaplanmıştır.

Örnek hesaplama: 1000 kg, %9.67 (10 haftalık KM oranı), %60,99(10 haftalık OKM oranı)

$$1000\text{kg} \times \%9.67 \times \%60,99 = 58,97 \text{ kg}$$

$$58,97 \text{ kg} \approx 31\text{m}^3$$

Bu eşitlikten ise şilempenin 525 l/kg verisine ulaşılmış olur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında şeker pancarından biyoetanol üretimi aşamasında ortaya çıkan şilempenin biyogaz üretimine etkisi araştırılmıştır. Şilempe diğer atıklar ile (Sığır atığı, tavuk atığı, kan, soğan,) belli oranlarda karıştırılarak gaz motorlarında yakılmış ve elektrik enerjisi üretilmiştir. Araştırmada kullanılan atıkların prosese girerken ve reaktörde reaksiyon aşamalarında; kuru madde oranları, organik kuru madde oranları, ph seviyeleri, FOS/TAC oranları, gazın metan oranları gibi testler yapılmış ve özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra iki dönem arasında üretim ve proses analizleri karşılaştırılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre şilempe beslemesinin başladığı ilk hafta sığır atıklarında 100 ton düşüş olmasına ve aynı zamanda bu atıklarda bulunan organik madde miktarının % 12 civarında (95 tondan 85 tona) düşmesine rağmen biyogaz üretiminde %11,05 bir artış gözlemlenmiştir.

İki dönem dikkate alındığında enerji üretmek için şilempesiz dönemde 479 m³/MW biyogaza ihtiyaç var iken bu seviye şilempeli dönemde 447 m³/MW seviyelerine düşmüştür. Bu sonuç metan oranının % 6,68 oranında artışı anlamına gelmektedir.

Elektrik enerjisi üretimine bakıldığında şilempe beslenen ilk haftada bir önceki haftaya göre % 9,6'lık bir artış gözlemlenmiştir. 10 haftalık iki dönemdeki süreçlere bakıldığında ortalama günlük üretimin 94,97 MW'dan 118,6 MW çıktığı ve % 24,88'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir.

Şilempesiz dönem dikkate alındığında günlük olarak % 8,23 KM ve % 80,72 OKM oranına sahip 972,63 ton sıvı gübre atığının (sığır, inek) reaktörlere beslendiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde tavuk atığı 137,63 ton % 27,09 KM ve % 76,21 OKM oranı, mısır silajı 30,02 ton, % 26,55 KM ve % 94 OKM oranı, soğan 2,98 ton % 60 KM , % 90 OKM oranı, kan ise 17,56 ton, % 7 KM ve % 91 OKM oranı ile günlük olarak reaktörlere beslenmiştir.

Şilempeli dönemde eklenen günlük ortalama şilempe miktarı 238 ton olup, kuru madde oranı % 10,79 ve organik kuru madde oranı % 66,92 olarak belirlenmiştir. Yine şilempeli dönemde kullanılan sıvı gübre atığı günlük olarak 944,06 ton, % 8,38 KM ve % 80,99 OKM oranı ile reaktöre beslenmiştir. Aynı şekilde tavuk atığı 149,26 ton, % 26,12KM ve % 76,15 OKM oranı, mısır silajı 1,13 ton, % 26 KM ve % 94,15 OKM,

soğan 5,06 ton, % 60 KM ve % 90 OKM oranı, kan ise 20,03 ton, % 7 KM ve % 91 OKM oranı ile günlük olarak reaktörlere beslenmiştir.

Her iki dönemde beslenen atıklara bakıldığında şilempeli dönemde şilempesiz döneme göre sıvı gübre tonaj oranı bakımından % 2.93'lük bir azalma görüşmüştür. Aynı şekilde sıvı gübrenin KM ve OKM oranları bakımından sırasıyla % 1.82 ile % 0.33'lük bir artış gözlemlenmiştir. Tavuk atığında tonajda % 8.45 bir artış, KM ve OKM oranlarında % 3,58 ve % 0,078 bir azalış gözlemlenmiştir. Mısır silajında tonaj olarak % 96.23'lük bir azalış gözlemlenmiş, bu duruma depolanan silajın bitmesi sebep olmuştur. Silajın KM oranında % 2.07'lik bir azalış, OKM oranında ise % 0,19'luk bir artış olmuştur. Soğan ve kanda tonaj oranlarında sırası ile % 67,78 ve % 14,06'lık artışlar gözlemlenmiş, her iki atığın KM ve OKM oranlarında ise belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir.

Reaktör analizleri dönemler açısından değerlendirildiğinde, şilempesiz dönemde mixpit ve son reaktör verilerinde % 14,6 bir artış belirlenirken, bu oran şilempeli dönemde %15,7 olarak tespit edilmiştir. FOS/TAC değerlerine baktığımızda ise şilempesiz dönemde % 1,1, şilempeli dönemde % 9,3 azalma olduğu gözlemlenmiştir. KM oranları dikkate alındığında ise şilempesiz ve şilempeli dönemlerde sırasıyla % 66,3 ve % 66,5 oranlarında azalış belirlenmiştir. Şilempesiz dönemde % 12,9 oranında OKM azalışı tespit edilmiş, bu azalış oranı şilempeli dönemde % 16,79 olarak gerçekleşmiştir. Bu 4 analiz değerine bakıldığında reaktörlerin içinde oluşan reaksiyonların şilempeli dönemde daha hızlı gerçekleştiği ve organik maddeleri daha hızlı parçalanmaya neden olduğu anlaşılmaktadır.

Özellikle organik kuru maddedeki azalma atıkta bulunan organığın daha hızlı bir şekilde parçalandığını göstermektedir. Aynı zamanda FOS/TAC oranlarındaki azalmaya ise bakterilerin açlık oranının artması yani reaksiyonların hızlı şekilde gerçekleşmesi nedeniyle daha fazla atığa ihtiyaç duyulmasının sebep olduğu düşünülmektedir.

Şilempesiz ve şilempeli dönemlerin ilk hafta ve son haftaları kıyaslandığında şilempesiz dönemde blowerin çektiği m³'de artış ve azalış gözlemlenmemiştir. Yani bu dönemde metan oranında bir artış veya azalış olmamıştır.

Şilempeli dönemde ise gaz çekiminde % 8.9'luk bir azalış tespit edilmiştir. Bu da metan oranında yaklaşık aynı değerde artışın olduğunu göstermiştir. Şilempeli dönemde 5. haftaya kadar düşüş gözlemlenmiş ancak motor bakımlarımdan dolayı 3 gün prosese şilempe beslenmemiş ve 6. hafta bir önceki haftaya göre çekilen gazda % 4.09'luk bir artış görülmüştür.

Her iki döneme ait ortalama MW/m³ oranları kıyaslandığında şilempesiz dönemde 1MW için 480 m³ biyogaza ihtiyaç var iken bu sonuç şilempe ile birlikte bu ihtiyaç 447 m³'e düşmüştür. Literatürdeki hesaplamalar göz önüne alındığında organik olarak şilempenin ortalama 525 l/kg biyogaz üretim kapasitesi olduğu hesaplanmıştır. Ortalama % 9,67 kuru madde oranına ve % 60,99 organik kuru madde oranına sahip şilempenin yaklaşık 1 tonda 35-38 m³ arasında bir biyogaz üretebileceği hesaplanmıştır.

Kazanımlarımız;

- Şeker fabrikalarından çıkan şilempenin biyogaz tesislerinde kullanılarak üretilen gazın metan oranının arttığı,
- Şilempenin biyogaz tesislerinde beslenerek reaktörlerdeki gerçekleşen reaksiyonların hızını artırıp, parçalanmayı ve gaz oluşumunu hızlandırması,

5.2. Öneriler

Sonuçların daha somut hale gelebilmesi için;

- Daha küçük reaktörler ile ölçüm yapılarak karışımların belirli oranlar ile deneyleri yapılmalıdır.
- Dış ortam sıcaklığının sabit olduğu bir ortamda ölçümler yapılmalıdır.
- Kuru madde ve organik kuru madde oranlarının düzenli beslendiği bir proseste deneyler yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altunbay, S. G., Kangal, A. ve Gürel, S., 2016, Şeker pancarından biyoetanol üretimi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel Sayı-2), 334-339.
- Angelidaki, I., 2004, Environmental Biotechnology. AD – Biogas Production. Environment & Resources DTU, Technical University of Denmark.
- Anonim 2007. <http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/biyogaz>, 2007
- Anonim, 2008. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atık/Atık Ham Maddeler ve Çeşitli Kaynaklardan Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri ve Biyogazdaki Metan Miktarları: 2008. Retrieved from www.eie.gov.tr/biyogaz/atik.html
- Anonim 2011. Anaerobic Digestion Report Turkey's Situation in Biogas. Available: (http://www.ieabiogas.net/_download/publications/countryreports/april2011/Turkey_Country_Report.pdf)
- Anonim 2014. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/energyresources/Biyok%C3%BCtlenin%20alt%C4%B1n%20%C3%A7a%C4%9F%C4%B1Sonn.pdf> (Erişim Tarihi: 02.03.2017).
- Anonim 2014a. State-of-the-Industry-Report. www.epure.org/sites/default/files/publication/140612-222.pdf
- Anonim, 2015. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Sektör Raporu 2015 & 20202014. Ankara
- Anonim, 2017. TŞFAŞ. (Temmuz 2018a). 2017 Sektör Raporu. Ankara: Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Şirketi.
- Anonim 2022a. <https://www.avrupa.info.tr/tr/enerji-abnin-hedefleri-58> (erişim tarihi: 26.04.2022)
- Anonim, 2022b. <https://biyogazder.org/biyogaz-tesisleri/> (Erişim tarihi: 15.05.2022)
- Anonim, 2022c. Yemlerde kuru madde ve kül analizleri. T.C. Millî Eğitim Bakanlığı. Laboratuvar Hizmetleri, Ankara 2015. 34 s. (Erişim tarihi: 15.05.2022) (http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Yemlerde%20Kuru%20Madde%20ve%20K%C3%BCl%20Analizleri.pdf)
- Ateş Ç., ve Namlı, A., 2021. Şeker fabrikası atığı vinasın (şilempe) inkübasyon süresince toprağın bazı kimyasal ve biyokimyasal özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2), 30-41.

- Belhamidi, S., Elkhedime, H., Elrhaouat, O., Kitanou, S., Taky, M., and Elmidaoui, A., 2021. Biogas production from vinasse derived from ethanol manufacturing using a continuous stirred tank reactor pilot plant. *Desalination and Water Treatment*, 240, 216-224.
- Brown, L.R. 2022. Full Planet, Empty Plates: The New Geopolitics of Food Scarcity, Chapter 4. Food or Fuel? <http://www.earth-policy.org/mobile/books/fpep/fpepch4> (Erişim Tarihi: 18.05.2022)
- Budiyono, B., Syaichurrozi, I. and Sumardiono, S., 2014. Effect of total solid content to biogas production rate from Vinasse (RESEARCH NOTE). *International Journal of Engineering*, 27(2), 177-184.
- Buğutekin, A. 2007. Atıklardan Biyogaz Üretimini İncelenmesi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, **157 s.** İstanbul.
- Boyd, R. (2000). Internalising Environmental Benefits of Anaerobic Digestion of Pig Slurry in Norfolk. University of East Anglia: İnternet erişimi: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://citeseerx.ist.psu.edu/iewdoc/download?doi=10.1.1.493.6281&rep=rep1&type=pdf (Erişim tarihi: 04.08.2022)
- Caillet, H. and Adelard, L., 2021. Start-up strategy and process performance of semi-continuous anaerobic digestion of raw sugarcane vinasse. *Waste and Biomass Valorization*, 12(1), 185-198.
- Christofolletti, C. A., Escher, J. P., Correia, J. E., Marinho, J. F.U. and Fontanetti, J. S., 2013, Sugarcane vinasse: Environmental implications of its use, *Waste Manage.*, 33, 2752-2761.
- Çağman, S., 2014. Anaerobik fermantasyonla elde edilen biyogazda nem ve hidrojen sülfürün gideriminin deneysel incelenmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi. 99 s.
- Deublein, D. and Steinhauser, A., 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. ISBN 978-3-527-31841-4 pp. 57-77, Germany

- Deviren, H., İlkılıç, C. ve Aydın, S., 2017. Biyogaz üretiminde kullanılabilen materyaller ve biyogazın kullanım alanları. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2/2), 79-89.
- DeWit, M. and Faaj, A., 2010. European biomass resource potential and costs, *Biomass and Bioenergy*, 34, 188-202.
- Doney, D.L. and Theurer, J.C., 1984. Potential of breeding for ethanol fuel in sugar beet, *Crop Science*, 24, 255-257.
- Dönmez, S., 1981. Biyogaz reaktörlerinin mikrobiyolojisi, *Uluslararası Biyogaz Semineri*, 191-201
- Eggleston G., Tew T., Panella L. and Klasson T., 2010. Ethanol from sugar crops. In: *Industrial Crops and Uses* (Editör: Singh BP), pp. 60–83. CABI, Chippenham, UK.
- El Bassam, N, 1998 Enerji bitkisi türleri: çevre ve gelişme üzerindeki etkileri ve etkileri. <https://translate.google.com/translate?hl=tr&sl=en&u=https://www.feedipedia.org/node/4666&prev=search> (Erişim tarihi: 20.12.2018)
- El-Mashad, H. M., Zeeman, G., Van Loon, W. K., Bot, G. P., and Lettinga, G, 2004, Effect of temperature and temperature fluctuation on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure. *Bioresource Technology*. Vol 95, Issue 2, pp 191 201.
- Eryaşar, A. 2007. Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerinin Araştırılması. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi*, 302 s. İzmir.
- Eryaşar, A., Koçar, G. 2009. Biyogaz Üretiminde Basıncın Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(2), 181-186.
- Espana-Gamboa, E. Mijangos-Cortes, J., Barahona-Perez, L., Dominguez-Maldonado, J. Hernández-Zarate, G., and Alzate-Gaviria, L. (2011). Vinasses: characterization and treatments. *Waste management & research*, 29 (12): 1235-1250.
- González, L.L.M., Reyes, I.P. and Romero O.R., 2017. Anaerobic co-digestion of sugarcane press mud with vinasse on methane yield. *Waste Management*, 68, 139-145.

- Gökçay, C., Demirer, G.N., Ergüder, T.H., Uzal, N.V. ve Tezel, U., 2002, Anaerobik arıtım teorik altyapı ve uygulamalar eğitim semineri notları, *TMMOB Çevre Mühendisleri Odası*, Ankara, 1-37, 41-45.
- Gökçay, C., Duran, M. ve Demirer, G., 2001. Anaerobik Biyoteknoloji Teorik Alt yapı ve Uygulamalar Eğitim Semineri Notları, İçel
- Grady, C.P.L., Daigger, G.T. and Lim, H.C., 1999). *Biological Wastewater Treatment*, pp. 619, 626, 630, Marcel Dekker, Inc., New York
- Gülen, J., ve Arslan, H., 2005. Biogas. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4, 121-129.
- Guo Guo L., 2010). Potential of Biogas Production From Livestock Manure in China, Department of Energy and Environment Division of Energy Technology, Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden.
- Gül, N., 2006. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Araştırılması, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi Isparta, 5-24.
- Gülen, J., ve Çeşmeli, Ç., 2012. Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 5(1), 65-84.
- Harland, J.I., Jones C.K. and Hufford C., 2006. Coproducts. In the sugar beet, Draycott (ed. A.P.), 443-463. Oxford, UK: Blackwell Publishing, Ltd.
- Hoffman C.M., 2008. Bioenergy from sugar beet physiological aspects of yield formation. Proceedings of the 71st International Institute of Beet Research Congress. IIRB, Brussels, pp. 117-124
- İlgar, R. 2016. Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespine Yönelik Bir Çalışma. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(35), 89-106.
- İlkiliç, C., ve Deviren H., 2011. Biyogaz oluşumunu etkileyen fiziksel kimyasal parametreler. 6. *International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Turkey.
- Jacobs J., 2006. Ethanol from sugar: What are the prospects for U.S. sugar crops? Pp:5. <http://www.rurdev.usda.gov/rbs/pub/sep06/ethanol.html>

- Kahyaoğlu, M. ve Konar, V., 2006, Şeker fabrikası atık maddeleri kullanılarak *Pseudomonas aeruginosa*'dan Ramnolipit biyosüpfektanı elde edilmesi, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18, 493-498.
- Kannan, A. and Upreti, R.K., 2008, Influence of distillery effluent on germination and growth of mung bean (*Vigna radiata*) seeds, *J. Hazard. Mater.*, 153, 609-615.
- Kennedy, K.J., Van den Berg, L., (1982). "Anaerobic Digestion of Piggery Waste Using a Stationary Fixed Film Reactor", *Agricultural Wastes*, 4: 151-158.
- Kenter C., Hoffmann C.M. and Märlander B., 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, Vol.: 24, 1:62-69
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T. and Dawson, L., 2011. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*. 31(8), 1737-1744.
- Kiani, M. K. D., Parsaee, M., Ardebili, S. M. S., Reyes, I. P., Fuess, L. T., and Karimi, K. 2022, Different bioreactor configurations for biogas production from sugarcane vinasse: A comprehensive review. *Biomass and Bioenergy*, 161, 106446
- Kıbrıscık, M. (2019). Türkiye'de şeker pancarından biyoetanol üretiminin ekonomik analizi. Kırıkkale Üniversitesi Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. 185 sayfa
- Kim, M., Ahn, Y. and Speece, R. E, 2002, Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic. *Water Research*. 36(17), 4369-4385.
- Klocke M., Mahnert P., Mundt K., Souidi K. and Linke B., 2007. Microbial community analysis of a biogas-producing completely stirred tank reactor fed continuously with fodder beet silage as mono-substrate. *Systematic and Applied Microbiology*, 30: 139-151
- Kuhn, E., 1995. Kofermantation, Arbeitspapier. Kuratorium für Technick und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- Kumar, S. and Viswanathan, L., 1991, Production of biomass, carbon dioxide, volatile acids, during distillery waste treatment by bacterial strains, *Enzyme and Microbial Technology*, 13, 179-187.

- Kossmann, W., Pönitz, U., (1999). "Biogas Digest, Biogas Basics Volume I, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT)", GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Federal Republic of Germany, 4, 9, 14, 20.
- Mall, A. K., Misra, V., Pathak, A. D. and Srivastava, S., 2021. Sugar beet cultivation in india: prospects for bio-ethanol production and value-added co-products. *Sugar Tech*, 23(6), 1218-1234.
- Marin-Batista, J., Salazar, L., Castro, L. and Escalante, H., 2016. Anaerobic co-digestion of vinasse and chicken manure: alternative for Colombian agrowaste management. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(2): 6-12.
- Meyer-Aurich, A., Schattauer, A., Hellebrand, H.J., Klauss, H., Plöchl, M. and Berg, W., 2012. Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources. *Renewable Energy*, 37, 277-284.
- Milford G.F., 2006. Plant structure and crop physiology. In: Draycott AP.(Ed). Sugar Beet. Blackwell Publishing Ltd Oxford UK. pp. 30- 49.
- Moraes, B. S., Triolo, J. M., Lecona, V. P., Zaiat, M. and Sommer, S. G. 2015. Biogas production within the bioethanol production chain: Use of co-substrates for anaerobic digestion of sugar beet vinasse. *Bioresource Technology*, 190, 227-234.
- Navarro, A. R., Sepúlveda, M. C. and Rubio, M. C., 2000, Bio-concentration of vinasse from the alcoholic fermentation of sugar cane molasses, *Waste Manage.*, 20, 581-585.
- Onat S., Topaloğlu B., (2004). "Bir Biyogaz Üretim Sistem Modeli", V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 601-608.
- Öztaş, N., 2015, Türkiye’de Şeker Sektörü Üretim Süreci ve Çalışma İlişkileri, Şeker İş Yayınları Ankara 2015 s:31-38
- Öztürk, İ., 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Birsen Yayınevi, Eyüp, 1-25, 35-38.
- Öztürk, M., 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 5,8-18,21

- Öztürk, B., 2019. Aydın ili biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. *Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tarım Makinaları Anabilim Dalı Yüksek Lisan Tezi, ss.94
- Panella L. and Kaffka S.R., 2010. Sugar beet (*Beta vulgaris* L) as a biofuel feedstock in the United States. In *Sustainability of the sugar and sugar-ethanol industries*, ed. ed. G. Eggleston, pp.163- 175
- Panella L., 2010. Sugar Beet as an Energy Crop. *Sugar Tech* (September and December 2010). 12(3-4): 288-293.
- Robertiello, A., 1982, Upgrading of agricultural and agroindustrial wastes: the treatment of distillery effluents (vinasses) in Italy, *Agric. Wastes*, 4, 387-395
- Pöschl M, Ward S, Owende P., (2010). Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways. *Applied Energy* 87:3305-3321.
- Santana, V. S. and Machado, N. R. C. F., 2008, Photocatalytic degradation of the vinasse under solar radiation, *Catal. Today*, 133, 606-610.
- Shapouri H., Salassi M. and Fairhanks J.N., 2006. The economic feasibility of ethanol production from sugar in the United States. www.usda.gov/oce/reports/energy/EthanolSugarFeasibilityReport3.pdf
- Sharma, S.K., Mishra, I. M., Sharma, M. P. and Saini, J. S., 1988. Effect of particle size on biogas generation from biomass residues. *Biomass*, 17(4), 251-263.
- Sözer, S. ve Yıldız, O. 2006. Sığır Gübresi ve Peynir Altı Suyu Karışımlarından Biyogaz Üretimi Üzerine Bir Araştırma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 179-183 sayfa, Antalya.
- Syaichurrozi, I., Budiyono, and Sumardiono, S., 2013. Predicting kinetic model of biogas production and biodegradability organic materials: Biogas production from vinasse at variation of COD/N ratio. *Bioresource Technology*, 149, 390– 397. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.088>
- Şerit, G., Yiğit, G.S., Gündüz, M., Şengün, R.B. and Toraman, Ö., 2009. İki Fazlı Biyogaz Üretim Tesislerinde Gaz Üretimine Etki Eden Parametreler. III. Enerji verimliliği ve kalitesi sempozyumu, Kocaeli.
- Teodorita A, S., 2008, *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark Esbjerg.

- Theurer, J. C., Doney, D. L., Smith, G. A., Lewellen, R. T., Hogaboam, G. J., Bugbee, W. M., and Gallian, J. J. (1987). Potential Ethanol Production from SugarBeet and Fodder Beet 1. *Crop science*, 27(5): 1034-1040.
- Tıknazoğlu, B., 2009. Yem Bitkileri Tarımı ve Silaj Yapımı. Samsun İl Tarım Müdürlüğü Çiftçi Eğitim ve Yayım Şubesi Müdürlüğü, Samsun 2009 s:31-32
- Türker, M., 2008. Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi, Çevkor Vakfı Yayınları, İzmir, 260 s.
- Türkoğlu, A., 1952. Türkiye Şeker Endüstrisi, İstanbul Üniversitesi, İktisat Fakültesi (Basılmamış Doçentlik Tezi), 1952, s.51
- Walla C. and Schneeberger, W., 2008. The optimal size for biogas plants. *Biomass and Bioenergy* 32: 551-557.
- Wilkie, A., Riedesel, K. and Owens, J., 2000, Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks, *Biomass Bioenergy*, 19, 63-102.
- Yılmaz, A., 2019. Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Kurulu Santrallerin Ürettiği Elektrik Enerjisi, *Ecological Life Sciences (NWSAELS)*, 14(1):12-28.
- Yılmaz, A.H. ve Atalay, F.S., 2000. Katı Atıkların Anaerobik Fermentasyonu Üzerine Modelleme Çalışmaları, 4. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi Bildiri Kitabı, 77-81
- Yılmaz, A., Kaptan, C., Çoban, D., Kılınc, H., Özaltan, A., Yakın, N. ve Sağlam, D.. (2005). Şeker Ortak Piyasa Düzeni Alt Çalışma Grup Raporu. Ankara: T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı. s. 23.
- Dizaji, Z. H., Haroni, S., Sheikhdavoodi, M. J., Safieddin Ardebili, S. M., González Alriols, M., and Kiani, M. K. D., 2021, An investigation on the environmental impacts and energy efficiency of biogas and bioethanol production from sugarcane and sugar beet molasses: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-15.
- Ziemiński, K. and Kowalska-Wentel, M., 2015. Effect of enzymatic pretreatment on anaerobic co-digestion of sugar beet pulp silage and vinasse. *Bioresource Technology*, 180, 274-280.

