

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**PASTÖRİZASYON ÖN İŞLEMİNİN
BİYOGAZ ÜRETİM VERİMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine ÇELEN

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Aralık 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**PASTÖRİZASYON ÖN İŞLEMİNİN
BİYOGAZ ÜRETİM VERİMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emine ÇELEN
0301161011**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ALTINBAŞ

Aralık 2018

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301161011 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emine ÇELEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “PASTÖRİZASYON ÖN İŞLEMİNİN BİYOGAZ ÜRETİM VERİMİNE ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ALTINBAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Serdar YAMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bestami ÖZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **16 Kasım 2018**

Savunma Tarihi : **14 Aralık 2018**



Canım Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda bana her türlü destek, yardım ve ilgisi ile çalışmalarımı yönlendiren, yöneten, değerlendirme, eleştiri ve önerileriyle çalışmam esnasında çıkan sorunların çözümünde yardımcı olan, değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mahmut ALTINBAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam esnasında deneysel çalışmalarına yardımcı olan Prof. Dr. Süleyman ÖVEZ, Mehmet Sadık AKÇA, Hülya ÜNVER, Sude SALİMİ'ye çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans hayatım boyunca aktardığı mesleki deneyim ve yönlendirmelerinden dolayı Muhammet ER'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Hayatım boyunca bana her konuda yardımcı olan, desteklerini her zaman hissettiğim annem Ayşe ÇELEN, babam Hasan ÇELEN ve kardeşim Mehmet Ubeyd ÇELEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2018

Emine ÇELEN
(Kimya Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Tezin Kapsamı	3
2. KÜRESEL ISINMA VE ENERJİ PİYASASI	5
2.1 Küresel Isınma	5
2.2 AB Ülkelerinde ve Dünya’da Enerji Piyasası.....	6
2.2.1 AB ülkelerindeki ve Dünya’daki yenilenebilir enerji potansiyeli	6
2.2.2 AB ülkelerindeki yenilenebilir enerji politikası.....	10
2.3. Türkiye’de Enerji Piyasası	11
2.3.1 Türkiye’deki yenilenebilir enerji potansiyeli	11
2.3.2 Türkiye’deki yenilenebilir enerji politikası.....	12
3. ATIK	15
3.1 Atık Yönetimi.....	15
3.2. Atık Yönetimi Hiyerarşisi	17
3.3 Yemek Atığı.....	19
4. BİYOKÜTLE ENERJİSİ	25
4.1. Biyokütle Çevrim Teknolojileri	25
4.1.1 Termokimyasal yöntemler	25
4.1.2 Biyokimyasal yöntemler	26
4.2. Biyokütle Enerjisi Ürünleri	27
5. BİYOGAZ ÜRETİM TEKNOLOJİSİ VE ANAEROBİK ÇÜRÜTME	31
5.1 Biyokütle Kaynakları	31
5.1.1 Tarım esaslı biyokütle kaynakları	31
5.1.2 Endüstriyel esaslı biyogaz kaynakları.....	32
5.1.3 Kentsel atıklar	33
5.1.4 Sucul biyokütle	33
5.2 Biyogaz Üretimi	35
5.2.1 Biyogaz üretim aşamaları.....	35
5.2.2 Biyogaz üretim verimini artırıcı ön işlemler.....	36
5.3 Biyogaz Üretimini Etkileyen Parametreler	37
5.3.1 Proses sıcaklığı.....	37
5.3.2 pH ve alkalinite	41
5.3.3 C:N oranı.....	42
5.3.4 Toksisite	42
5.3.5 Bekletme süreleri	43
5.3.6 Organik yükleme hızı	44
5.3.7 Diğer.....	44

5.4 Biyogaz Reaktörleri.....	45
5.4.1 Aşama sayısına göre reaktör çeşitleri.....	45
5.4.2 Kuru/yaş olma durumuna göre reaktör çeşitleri.....	46
5.4.3 Besleme şekline göre reaktör çeşitleri.....	46
5.5 Avrupa Birliği Biyogaz Yönetmeliği	46
5.6 Türkiye Biyogaz Yönetmeliği	47
5.7 İTÜ: Sürdürülebilir Enerji Üssü	48
6. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	53
6.1 Besleme ve Aşı Özellikleri.....	53
6.2 Deney Düzenegi	54
6.3 Analitik Yöntemler.....	57
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	65
7.1 KOİ Sonuçları	67
7.2 Mikrobiyal Analiz Sonucu	78
8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKÇA	85
ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
Bl	: Őahit numune (Blank)
CFC	: Kloroflorokarbon
CFU	: Koloni Oluşturan Birim (Colony Forming Unit)
CH₄	: Metan
CO	: Karbon monoksit
CO₂	: Karbondioksit
Dk	: Dakika
EC	: Escherichia coli
FAO	: DÜnya Sağlık Örgütü
FK	: Faecal Koliform
HRT	: Su Bekletme Süresi (Hydraulic Retention Time)
KH	: Karbonhidrat
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Mtep	: Milyon ton eşdeğer petrol
N₂O	: Diazot monoksit
O₂	: Oksijen
O₃	: Ozon
OLR	: Organik Yükleme Hızı (Organic Loading Rate)
Ort	: Ortalama
PRT	: Protein
Sa	: Saat
Sarf	: Sarfiyat
Sol	: Çözünmüş (Soluble)
TK	: Toplam Koliform
TKM	: Toplam Katı Madde
TKN	: Toplam Kjeldah Azotu
Tot	: Toplam (Total)
TP	: Toplam Fosfor
UKM	: Uçucu Katı Madde
VFA	: Uçucu Yağ Asidi (Volatile Fatty Acid)
Y	: Yağ



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: ETKB 2019 Strateji Belgesi ve 2023 Ulusal Yenilenebilir Eylem Planı'nda erişilmesi öngörülen kapasiteler.....	12
Çizelge 3.1: Türkiye'deki yemek atıklarının aşamaları verileri.	21
Çizelge 4.1: Biyogaz içeriği.	28
Çizelge 5.1: Enerji bitkilerinin metan oluşumu.....	32
Çizelge 5.2: Biyogaz hammaddeleri özellikleri.....	34
Çizelge 5.3: Mikroorganizma türleri ve ortam koşulları.	38
Çizelge 5.4: pH ve alkalinite ayarlaması için sıklıkla kullanılan kimyasal maddeler	42
Çizelge 5.5: İnorganik maddelerin toksisite değerleri.	43
Çizelge 5.6: Organik maddelerin toksisite değerleri.	43
Çizelge 5.7: Amonyak Konsantrasyonu Etkileri	45
Çizelge 5.8: Teknik fizibilite.	50
Çizelge 6.1: Atık karakterizasyonu.....	54
Çizelge 6.2: Aşı karakterizasyonu.	54
Çizelge 7.1: Farklı ön ısıt işlemlere ait pH değerleri.....	65
Çizelge 7.2: Farklı ön ısıt işlemlere ait iletkenlik değerleri.....	66
Çizelge 7.3: Farklı ön ısıt işlemlere ait KOİ ve çözünürlük değerleri.....	68
Çizelge 7.4: 40 °C sıcaklığa ait KOİ ve çözünürlük değerleri.....	72
Çizelge 7.5: 55 °C sıcaklığa ait KOİ ve çözünürlük değerleri.....	75
Çizelge 7.6: Ön ısıt işlem süresi göre metan üretimleri.....	78
Çizelge 7.7: Mikrobiyal analiz sonucu hesaplanan bakteri sayısı.	79



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Dünya enerji tüketimi.....	6
Şekil 2.2: 2017 yılına ait kıtalarda kullanılan enerji yüzdeleri.....	7
Şekil 2.3: 2016 yılında dünyada üretilen yenilenebilir enerjinin dağılımı.....	8
Şekil 2.4: 2016 yılında dünyada üretilen biyokütle enerjisi dağılımı.....	9
Şekil 2.5: Bölgelere göre biyokütle enerjisi üretimi.....	9
Şekil 2.6: 2017 itibari ile kaynaklarına göre Türkiye’de bulunan kurulu güçler.....	11
Şekil 2.7: ETKB 2019 Strateji Belgesi ve 2023 Ulusal Yenilenebilir Eylem Planı’nda erişilmesi öngörülen kapasiteler.....	11
Şekil 3.1: Katı atık yönetimi.....	16
Şekil 3.2: Entegre katı atık yönetimi.....	16
Şekil 3.3: Atık yönetimi hiyerarşisi.....	17
Şekil 3.4: Yemek atıklarının türlerine göre dağılımı.....	20
Şekil 3.5: Dünyadaki yemek atığına sebep olan aşamalarının kıtalara dağılımı.....	20
Şekil 3.6: Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre yemek atığı aşamaları verileri.....	21
Şekil 3.7: Yemek döngüsü.....	23
Şekil 5.1: Biyogaz üretim aşamaları.....	35
Şekil 5.2: Mikroorganizma türlerinin büyüme hızları.....	40
Şekil 5.3: İTÜ: Sürdürülebilir Enerji Üssü projesi akım şeması.....	49
Şekil 6.1: Parçalanmış yemek atığı.....	53
Şekil 6.2: İnkübatör.....	55
Şekil 6.3: Ön işlem gören besleme numuneleri.....	55
Şekil 6.4: Biyogaz reaktörleri.....	56
Şekil 6.5: 105 °C sonrasında numune görseli.....	57
Şekil 6.6: 550 °C sonrasında numune görseli.....	58
Şekil 6.7: TKN seti.....	58
Şekil 6.8: TKN sonrasında yapılan titrasyon.....	59
Şekil 6.9: TP seti.....	59
Şekil 6.10: TP numuneleri.....	60
Şekil 6.11: Spektrometre.....	60
Şekil 6.12: pH metre.....	61
Şekil 6.13: İletkenlik cihazı.....	61
Şekil 6.14: KOİ seti.....	62
Şekil 6.15: KOİ analizine ait titrasyon işlemi.....	62
Şekil 6.16: Sterilizasyon için kullanılan malzemeler.....	63
Şekil 6.17: MFC ve kromojenik besiyerleri.....	63
Şekil 6.18: Numune eklenmiş MFC ve kromojenik besiyerleri.....	64
Şekil 7.1: Farklı ön ısıt işlemlere ait pH değişim grafiği.....	66
Şekil 7.2: Farklı ön ısıt işlemlere ait iletkenlik değişim grafiği.....	67
Şekil 7.3: Farklı ön ısıt işlemlere ait çözünürlük yüzdesi değerleri.....	70
Şekil 7.4: Farklı ön ısıt işlemlere ait çözünürlük artışı değerleri.....	70
Şekil 7.5: Farklı ön ısıt işlemlere ait KOİ _{sol} değerleri.....	71
Şekil 7.6: 40 °C sıcaklığa ait çözünürlük yüzdesi değerleri.....	73

Şekil 7.7: 40 °C sıcaklığa ait çözünürlük artışı değerleri.....	73
Şekil 7.8: 40 °C sıcaklığa ait $KO\dot{I}_{sol}$ değerleri.	74
Şekil 7.9: 55 °C sıcaklığa ait çözünürlük yüzdesi değerleri.	76
Şekil 7.10: 55 °C sıcaklığa ait çözünürlük artışı değerleri.....	76
Şekil 7.11: 55 °C sıcaklığa ait $KO\dot{I}_{sol}$ değerleri.	77
Şekil 7.12: Escherichia coli (EC) ve Toplam koliform (TK) bakterileri sonuçları. ..	80
Şekil 7.13: Escherichia coli (EC) bakterisi sonucu.....	80
Şekil 7.14: Toplam koliform (TK) bakterisi sonucu.....	81
Şekil 7.15: Fekal koliform (FK) bakterisi sonuçları.....	81
Şekil 7.16: Fekal koliform (FK) bakterisi sonucu	82



PASTÖRİZASYON ÖN İŞLEMİNİN BİYOGAZ ÜRETİM VERİMİNE ETKİSİ

ÖZET

Geçmişten bugüne mütemadiyen azalmakta olan fosil yakıtların yakın gelecekte tükeneyeceği gerçeği, kalkınma ve ilerleme için gerekli olan planlama, istikrar ve süreklilik enerji arzının artmasıyla birlikte alternatif çalışmaları beraberinde getirmiştir.

Eş zamanlı olarak nüfusun hızla artış göstermesi ve toplumda tüketimin artmasıyla birlikte oluşan enerji talebi özellikle olarak Türkiye gibi enerjide dışa bağımlı ülkeler için yenilenebilir kökenli enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu kılmaktadır. Küresel ısınmanın da etkisini göstermesi bu tarz alternatif çalışmaların ilerlemesine ivme kazandırmıştır. Güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik ve biyokütle gibi yenilenebilir kaynaklar hem enerji talebine karşılık verebildiği gibi, hem de sürdürülebilir ve temiz bir çevre için önemli yönelimlerdir.

Ülkemizin tarım ve hayvancılık ülkesi olmasından ötürü biyokütle enerji sistemi yakın gelecekte ön plana çıkmaktadır. Sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte üretim faaliyetlerindeki ilerleme, artan popülasyona paralel olarak besin ihtiyacında artış göstermiştir. Bu husus beraberinde ise yemek artıkları konusunu önemli kılmıştır. Yemek artıkları, ürünlerin tarımsal faaliyetlere başlanmadan önceki ham hallerinden son tüketiciye temin edileceği tüm süreçlerde karşımıza çıkabilmektedir. Tüm bu süreçlerde karşımıza çıkan yemek artıkları yaşamlarının devamını katı atık olarak devam ettirmektedirler. Katı atıkların bertaraf edilmesi sürdürülebilirlik açısından büyük önem kazanmıştır. Yemek atıklarının da içinde bulunduğu katı atıkların depolandığı düzenli depolama sahaları katı atık hiyerarşisinde en son tercih edilen durumda değerlendirilmektedir ve nihai bertaraf yöntemi olarak uygulanmaktadır, fakat depolama sistemleri kötü koku, çevreye zarar verecek böceklerin üremesi ve sızıntı suyunun tehlike arz etmesinden ötürü kontrol edilebilme açısından zor sistemlerdir. En son tercih edilen bu sistemler ülkemizde oldukça yaygın ve aktif şekilde uygulanmaktadır. Bu sistemlerde ciddi miktarlara ulaşan atık miktarları, beraberinde enerji geri kazanım sistemlerini de getirmektedir.

Biyokütle enerjisi, halen Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması YEKDEM tarafından 10 senelik zaman süresince 0,133 USD/kWh alım garantisi altına alınmıştır. Dönüşüm teknolojilerinde yerel aksam ve ekipmanlara bağlı olarak ise bu teşvik miktarları artmaktadır.

Biyokütle enerjisi içerisinde yemek atıklarının dışında tarımsal atıklar, hayvansal atıklar, orman atıkları, ekinler gibi farklı atık çeşitlerini de barındırmaktadır. Farklı atık türleri farklı dönüşüm teknolojileri ile birlikte değerlendirilmektedir. Elektrik enerjisi elde etmek için termokimyasal ve biyokimyasal yöntemler kullanılmaktadır.

Bu yöntemler doğrudan yakma, piroliz, gazlaştırma, anaerobik çürütme ve düzenli depolama sahasından elde edilen gazlar sayesinde gerçekleştirilmektedir.

Anaerobik çürütme tezimizde de incelenen geri kazanım yöntemi olup, diğer dönüşüm sistemleri arasında en verimli ve de çevreye olumsuz etki etme açısından yemek atıkları için en uygun teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu metod sayesinde yüksek miktarda metan gazı ve karbondioksit gazı içeren biyogaz elde edilmektedir. Elde edilen biyogaz, gaz motorları vasıtasıyla elektrik enerjisine çevrilmektedir. Aynı zamanda gaz motorundan elde edilen atık ısı proseste değerlendirilebilmektedir. Proses sonrasında biyogazın haricinde yüksek kalitede kompost adı verilen gübre de elde edilmektedir.

Elde edilen biyogazı elektrik enerjisi üretimi yapılmadan önce beslemedeki yemek atıklarının içerisinde bulunması muhtemel patojenlerden arındırmak amacıyla pastörizasyon işlemi yapılmaktadır. Bu işlem Avrupa Birliği yasal mevzuatlarında zorunluluk olarak yer almaktadır. Bu işlemde besleme 1 saatlik süre boyunca 70 °C sıcaklıkta bekletilmektedir. Çözünürlüğün sıcaklıkla doğru orantılı arttığı genellemesi farklı ısı işlem sürelerinde gözlemlenmiştir. Tez çalışmasından sonra ise, mevzuatın getirdiği bu zorunluluğun uygulanması ve uygulanmaması durumundaki anaerobik fermantasyon sonucu elde edilmiş olan biyogaz üretim miktarındaki etkisi de karşılaştırılacaktır.

İncelemesi yapılan atıklar İstanbul Teknik Üniversitesi merkez kampüsünün yemekhanesinden alınmıştır. Yemekhane oluşmuş yemek atıkları İstanbul Teknik Üniversitesi Katı Atık Laboratuvarı'na getirilmiştir ve 4 °C'ta muhafaza edilmiştir. 500 Watt'lık doğrayıcıdan geçirilen yemek atıkları küçük parçalar haline getirilmiştir. Küçük parçalar haline getirilen atıklar üzerinde Toplam katı madde (TKM), toplam uçucu katı madde (TUKM), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), toplam fosfor (TP) ve pH analizlerini içermektedir.

Isıl işlem 70 °C sıcaklıkta 1 saat bekletme prosedürünü baz alarak 70 °C sıcaklıkta 15 dk, 30 dk, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat, 6 saat, 8 saat, 10 saat, 12 saat, 14 saat, 16 saat, 18 saat, 20 saat, 22 saat, 24 saat, 27 saat, 30 saat, 33 saat, 36 saat sürelerinde bekletilmiştir. Bu yöntemlerle farklı sürelerde uygulanan ön ısıl işlemin çözünürlükleri, pH ve iletkenlik değişimleri incelenmiştir. Sıcaklığa maruz kalınan süre arttıkça çözünürlüğün arttığı görülmüştür. Ön ısıl işlem süreleri içerisinde, en iyi çözünürlük değeri 30 ve 36 saatlere ait olduğu görülmüştür. Bu sürelerde çözünmüş KOİ değeri 47.888 mg/L olarak bulunmuştur. Çözünürlük ile doğru orantılı olan iletkenlik değerleri de zamana bağlı olarak artış göstermiştir. pH ise sıcaklığa maruz kalma süresi arttıkça azalmıştır. Bu çalışmalara ek olarak, ön işlem yapılmayan beslemenin fermentör sıcaklığının hem mezofilik (40 °C) hem de termofilik (55 °C) sıcaklıkta bulunduğu sistemler için çözünmüş KOİ değerleri 6 saat, 12 saat, 18 saat, 24 saat, 30 saat ve 36 saat boyunca incelenmiştir. Ön ısıl işlem yapılmadan, fermentörün mezofilik sıcaklıkta olduğu sistem içerisinde, en iyi çözünürlük değeri 36 saate ait olan 36.736 mg/L olduğu görülmüştür. Termofilik sıcaklıkta yapılan sistemde ise bu değer, yine 36 saate ait olan 41.656 mg/L'dir.

Ayrıca, değişen ön ısıl işlem sürelerinde toplam koliform, Escherichia coli ve fekal koliform bakteri sayısı incelenmiştir. Tez çalışmamızda bu zorunlu uygulamanın patojenlerden arındırma işlemi için yeterli olup olmadığı incelenmiştir. Bu ısıl işlem sonrasında yapılacak olan bakteri ölçümü farklı bekleme sürelerinde gözlemlenmiş ve tekrar ölçümleri yapılmaya devam edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda 1 saat

ön ısıtım süresi uygulamanın tüm patojenleri yok etmek için yetersiz olduğu görölmüştür.

Tez çalışmasının ardından, alınan sonuçlara göre, araştırma çalışmalarına devam edilecektir. Elde edilen çözünürlük değerleri incelenerek, reaktörler ön ısıtım süreleri belirlenecektir. Birinci reaktörde, çözünürlük değerlerinin en yüksek değere çok yakın olduğu 24 saat süre belirlenmiştir. İkinci reaktör için ön ısıtım süresi kısaltılmak istenmiş ve bu sebeple 8 saat olarak belirlenmiştir. Üçüncü reaktörlere 1 saat ön ısıtım süresi yapılması, dördüncü reaktöre ise hiç ön ısıtım işlemi yapılmaması kararına varılmıştır. Besleme reaktörün mezofilik olarak çalıştırıldığı sıcaklıklarda günlük olarak beslenecektir. Farklı özellikler taşıyan bu reaktörlerde üretilen biyogaz miktarı karşılaştırılacaktır. Biyogaz miktarı tespit edildikten sonra sonra, biyogaz içeriği (karbondioksit, metan, vs.) incelenecektir. Bu oranlara göre biyogaz içeriğinde önemli olan bileşik olan metan değerleri karşılaştırılacaktır.





EFFECT OF PASTEURIZATION PRE-TREATMENT ON BIOGAS PRODUCTION EFFICIENCY

SUMMARY

The truth of run short fossil fuels that emit greenhouse gases which are continuously decaying from past to present bring along alternative studies by increasing the energy supply to planning, stability and continuity needed for progression and advancement. Energy demand which occurred by increasing of the population and consumption among society, obliged to face renewable energy sources foreign dependent countries like Turkey. Effects of global warming also give acceleration to these alternative studies. It is necessary to carry out research renewable energy project in order to protect from global warming effect.

Renewable sources such as solar, wind, geothermal, hydraulic and biomass which cover both demand of energy and sustainable and clean environment are the crucial orientations. Since our country is an agricultural and livestock country biomass energy system comes into prominence in the near future. Progression of production activities with development of industry and technology cause the food requirement in a parallel to increased population. This matter makes food waste topic crucial.

Food wastes may be confronted from raw status before the agricultural activities start to be procured to the end user to us. Food wastes which are confronted in these periods, continue their lives as solid wastes. Disposal of solid wastes become crucial due to sustainability. Sanitary landfill sites which host food wastes are the least preferred situation, and to be applied as final disposal methods but sanitary landfills are difficult systems to control due to unpleasant smell, reproductive of insects dangerous to environment and posing a danger of seepage water. The least preferred systems are applied very common and active in our country. The top amount of wastes in these systems bring with energy recover systems. Biomass energy is still being supported by Renewable Energy Resources Support Mechanism (YEKDEM) under guarantee as 0,133 USD/kWh in a ten year limitation period. This incentive amounts can be increased by using local materials and equipment in conversion technologies.

Biomass energy contain agricultural wastes, animal wastes, forest wastes, crops apart from food wastes. Different types of wastes are evaluated in different forms of conversion technologies. For power generation thermochemical and biochemical methods are used. These methods are combustion, pyrolysis, gasification, anaerobic digestion and landfill gas which are obtained from sanitary landfill sites. Anaerobic digestion is the most efficient system among the others as already evaluated in this study, is confronted as the most suitable technology for food wastes. Through this method, containing top amount of methane and carbon dioxide biogas is obtained. Obtained biogas is converted to the electrical energy by using gas engines. Also it is possible to recover waste heat to use for process. After process, high quality compost is derived except biogas.

Before electrical energy conversion, pasteurization process is applied to the obtained biogas to purify from possible pathogens inside the food wastes. This process is compulsory in European Union and Turkey regulations and legislations. In this process feeding is waited in 1 hour period under 70 °C. In our study this compulsory application was examined if the purifying from pathogens will be sufficient. After this process, measurement of bacteria was observed and continued to measurements again. Generalization of solubility is increasing directly proportional was observed in different thermal process periods. At the same time application of this compulsory of the regulation and to be applied and not to be applied, compared to the effect for the obtained biogas from anaerobic fermentation. As a result of these observations, the best two solubility values of process periods feed to the digester and the amount of the biogas was compared as well.

The food wastes which comparisons made were taken from Istanbul Technical University central campus cafeterias. The food wastes which occurred in campus cafeteria were brought to the Istanbul Technical University Solid Waste Laboratories and conserved under 4 °C. Approximately 50 kg amount of food wasted were turned into small pieces by using 550 Watts chopper. Small pieces of food wastes contain Total Solid (TS), Total Volatile Solid (VS) , Total Kjeldhal Nitrogen (TKN), Total Phosphor (TP) and pH analysis.

Thermal process was made by taking base of 70 °C in 1 hour period, was waited under 70 °C in 15 minutes, 30 minutes, 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours, 6 hours, 8 hours, 10 hours, 12 hours, 14 hours, 16 hours, 18 hours, 20 hours, 22 hours, 24 hours, 27 hours, 30 hours, 33 hours and 36 hours. In these methods solubility of pretreatment, pH and variability of conductivities were examined in different time periods of application. It is observed that the solubility increased when the time period exposed under heat increases. The optimum time periods are 30 hours and 36 hours period were observed among the all pretreatment process periods. In these time periods COD (Chemical Oxygen Demand) is measured as 47.888 mg/L. The conductivity which is directly proportional to solubility also increased dependent on the time periods. pH decreased while the heat period increased. In addition to this study, the temperature of the fermenter feeding without pretreatment is observed the dissolved COD values during 6 hours, 12 hours, 18 hours, 24 hours, 30 hours and 36 hours time periods. Without the pretreatment, the best solubility value is 36.736 mg/L under mesophilic conditions at 36 hours period. This value increases 41.656 mg/L under thermophilic conditions at 36 hours period.

Also, during the pretreatment in all time periods, total coliform, Escherichia coli and fecal coliform bacteria amount is observed. In our thesis study, it is examined that if the removal of the pathogens is sufficient in this mandatory application. The measurement of bacteria after this process was observed in a different feeding time periods and the measurement was repeated. After all experiments and examinations, it is seen that 1 hour pretreatment application is sufficient for the removal for Escherichia coli and fecal coliform bacteria. However, this pretreatment is insufficient for the removal of total coliform bacteria. After the results of the thesis study, research studies will be continued.

According to the result values of solubility, the pretreatment temperature will be specified for digesters. For the first digester, 24 hours period is specified for the solubility values which is the closest to the maximum value. For the second digester, the pretreatment period was shorten to 8 hours period. Then it is decided that 1 hour

period pretreatment will be made for the third digester and there will not be any pretreatment for the fourth digester. In mesophilic conditions, the feeding will be feed daily. The obtained biogas yields comparison will be made between the digesters which have different conditions. After biogas yield will be defined, the content of biogas will be examined as carbon dioxide, methane, etc. Then methane values will be compared which is the most important component of biogas.





1. GİRİŞ

Enerji, gündelik hayatta insanların sıklıkla ihtiyaç duyduğu, vazgeçilmez bir kaynaktır. En fazla ulaşım, haberleşme, üretim, nakliye ve aydınlanmada kullanılan enerji, zamanla değişen teknoloji, gelişen endüstri, artan nüfus ve beraberinde değişen yaşam biçimleri ile kullanılan enerji türü ve miktarı da değişim göstermiştir. Yaşadığımız çağ içerisinde ise dünyada fosil kaynaklı enerji rezervlerinin sayısında azalma yaşanmasına rağmen, yaşam biçimlerinin değişmesi sebebiyle enerji arzı artmaktadır. Fosil kaynaklarının birçoğunun yakın gelecekte tükenecek olmaları, zararlı gaz salımına, buna bağlı solunum yolu hastalıklarına, asit yağmurlarına ve küresel ısınmaya sonucunda iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Tüm dünyada durum böyle iken, ülkemizde petrol rezervi az bulunduğu ve bundan dolayı enerji bakımından dışa bağımlı olan bir ülke halinde olduğumuz için, bu durum daha da vahimdir. 1970 yılında yaşanmış olan petrol krizinden sonra özellikle Türkiye gibi enerjide dışa bağımlı ülkeler yenilenebilir enerji için çalışmalar başlatmışlardır. Küresel ısınmanın baş göstermesi ile bu çalışmalar hız kazanmıştır. Başta güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik, biyokütle gibi çeşitleri olan yenilenebilir enerji, hem çevre için sürdürülebilir bir, hem de fosil kaynaklar gibi çevreye zarar vermediği için çevre dostudur.

Endüstri ve teknolojinin gelişimine bağlı olarak üretim faaliyetlerinde artış görülmüştür. Ülke ve dünya nüfusunun artışına bağlı olarak besin ihtiyacı artış göstermiştir. Üretim faaliyetleri ve besin ihtiyacından dolayı ortaya çıkan başka bir önemli konu ise yemek atıklarıdır. Yemek atıkları, tarımsal üretime başlanmasından, ürünlerin tüketiciye ulaştıktan sonrasına kadar oluşabilmektedir. Tarlada atılan ürünler, yemek hazırlanırken çöpe atılan ürünler, yemek pişirildikten sonra çeşitli nedenlerden dolayı yenmeden kalan kısım, tüketiciye ulaşmadan ve ulaştıktan sonra bozulmuş kısımlar, yaşamlarını katı atık olarak devam etmektedir. Çeşitli şekillerde çıkan bu katı atıkların bertaraf edilmesi sürdürülebilirlik açısından büyük önem teşkil etmektedir. Daha fazla miktarda ortaya çıkan yemek atıkları uygun koşullarda toplanmalı ve bertaraf edilmelidir. Yemek atıklarının içinde bulunduğu katı atık

depolama sistemleri, oluşan sızıntı suyunun tehlike arz etmesi, etrafta koku oluşumuna neden olması ve bazı böceklerin hızlı bir şekilde üreyerek doğaya zarar vermesi gibi nedenlerden dolayı kontrol edilmeleri zordur.

Biyokütle enerjisi, hem bir enerji kaynağı, hem de yemek atıklarının bertarafına çözüm olarak karşımıza çıkan yenilenebilir enerji çeşididir. İçerisinde kimyasal enerji bulunduran biyokütle kaynakları fotosentez sayesinde güneş enerjisini içlerinde depo etmektedirler. Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler sayesinde binlerce yıl öncesinden beri kullanılan biyokütle enerjisi, elde edilen gazın çeşitli işlemlerden geçmesi ile elektriğe çevrilmektedir. Nüfus ve üretim ihtiyacının artışına bağlı olarak artan yemek artıkları problemi, enerjide dışa bağımlı olan ülkemizde yemek atıklarını kullanarak elektriğe çevrilerek çözülebilmektedir.

Yemek atıklarının elektrik enerjisine dönüşümü doğrudan yakma, piroliz, gazlaştırma ve anaerobik çürütme metotları ile mümkündür. Bahsedilen teknolojilerden en verimlisi ve en çevre dostu olanı anaerobik çürütme olup, proses sonucunda yüksek oranda metan ve karbondioksit gazı içeren biyogaz açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan biyogaz, gaz motorunda yakılarak elektrik enerjisi üretilmekte ve atık ısı açığa çıkmaktadır. Oluşan ürünler arasında biyogazın yanı sıra, kompost adı verilen yüksek kalitede gübre açığa çıkmaktadır.

Biyogaz eldesinden elektrik üretimi amaçlı olan anaerobik çürütme, öncesinde beslemedeki yemek atıklarının içerisinde olası bulunan patojenlerden arındırma amacıyla Avrupa Birliği (AB) mevzuatında yer alan bir zorunluluğa tabi tutulmaktadır. Bu zorunluluk beslemenin fermentörden önce 70 °C sıcaklıkta, 1 saat beklemesi gerekmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Son dönemlerde artan küreselleşme, kentleşme ve sanayileşme sonucunda bilinçsizce tüketilen yemekler, atık olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretilen yemek atıklarından anaerobik çürütme ile biyogaz, biyogaz üretimi ile ise elektrik enerjisi üretimi yapılarak, atıklar insanlığa geri kazandırılmaktadır. Yemek atıklarından biyogaz üretimi yapılırken, AB'nin zorunlu kıldığı bir mevzuat bulunmaktadır.

Tezimizde, İstanbul teknik Üniversitesi içerisinde yer alan İTÜ: Sürdürülebilir Enerji Üssü projesindeki biyogaz tesisinin laboratuvar boyutu incelenecektir. Bu kapsamda,

laboratuvar ortamında yemek atıklarından biyogaz eldesi incelenecektir. Mevzuatta yer alan 70 °C sıcaklıkta, 1 saat bekletme zorunluluğunun, patojenlerden arındırmak için yeterli olup olmadığı incelenecektir. Bu amaç kapsamında ön ısıl işlemden sonra bakteri ölçümü yapılacaktır. 70 °C sıcaklıkta olan ön ısıl işlemin bekletme süreleri değiştirilerek de bakteri ölçümü yapılacaktır.

Çözünürlük, belli bir miktar çözünenin, belirli şartlar altında, özel bir çözücü içerisinde çözünmesini tanımlamaktadır. Anaerobik çürütme esnasında çözünürlük artışı uçucu yağ asitlerinin artmasına, uçucu yağ asitlerinin artması ise biyogaz üretiminin artışına neden olmaktadır. Biyogazın içeriğinde yer alan metan gazı da, biyogaz üretiminin artışı ile birlikte artış yaşamaktadır. Bu sebeple, tezimiz de çözünürlüğü artırmayı hedeflemekteyiz. Çözünürlük sıcaklık, basınç, ortak iyon, çözücü ve çözünenin cinsi gibi parametrelere bağlıdır (Chemistry Libretexts, 2018). Tezimizde, pastörizasyon sıcaklığında (70 °C) bekletme süresi artırılarak çözünürlük değerleri incelenecektir.

Bir genelleme olan sıcaklık artışı ile çözünürlüğün artması durumu yemek atıklarında incelenecektir. 70 °C sıcaklıkta, farklı sürelerde ön işlem uygulanacak ve çözünürlük incelenecektir.

Çözünürlüğün artmasının biyogaz üretimine olumlu bir etkisi olacağı düşünülmektedir. Bu sebeple, bu tez çalışmasının sonucuna göre, gelecek araştırma çalışması olarak, tez çalışması kapsamının dışında, mevzuattaki 70 °C sıcaklıkta 1 saat bekleme zorunluluğunun biyogaz üretimi üzerinde etkisi olup olmadığı incelenecek, ön ısıl işlem yapmayarak, 1 saat ön ısıl işlem yaparak ve en iyi çözünürlüğe sahip olan iki farklı sürede ön ısıl işlem yaparak, besleme anaerobik çürütücüye gönderilecek, çıkan biyogaz miktarı karşılaştırılacaktır. Karşılaştırma işlemi fermentörün mezofilik olduğu sıcaklıkta yapılacaktır.

1.2 Tezin Kapsamı

İTÜ: Sürdürülebilir Enerji Üssü projesinin laboratuvar boyutu olarak hazırlanan tezimiz, biyogaz üretimi için Avrupa Birliği Yönetmeliği'nde yer alan ve zorunlu kılınan 70 °C sıcaklıkta 1 saat bekletme işleminin yeterliliği, iyileştirmesi ve biyogaz üretimine olan etkisini gözlemlemek amacıyla yürütülen tezimiz 7 kısımdan oluşmaktadır.

Birinci kısımda, tez çalışmasına kısa bir giriş yapılarak, tezin amacı ve kapsamından bahsedilmiştir.

İkinci kısımda, dünyamızın karşı karşıya olduğu küresel ısınmaya, AB ülkelerindeki ve Türkiye'deki enerji perspektifine ve tezimizde kullanılan yenilenebilir enerji çeşidi olan biyokütle enerjisinin kullanımına değinilmiştir.

Üçüncü kısımda, tezimizde geri kazandırılan yemek atıklarından yola çıkarak, atık, atık yönetimi ve yemek atıklarının oluşmasından bahsedilmiştir.

Dördüncü kısımda, termokimyasal ve biyokimyasal olarak ikiye ayrılan biyokütle enerji çevrim yöntemlerinden bahsedilmiştir.

Beşinci kısımda, biyogaz üretim teknolojisi ayrıntılı olarak işlenmiştir. Biyokütle kaynakları, biyogaz üretimi ve aşamaları, biyogaz üretiminde yer alan parametrelerden bahsedilmiştir.

Altıncı kısımda, deney çalışması ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Deneyin yürütülüşü, deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasallar, cihazlar tanıtılmış ve analitik yöntemler belirtilmiştir.

Yedinci kısımda ise deney çalışmasının sonuçlarına yer verilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Sekizinci kısımda, deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre öneri sunulmuştur.

2. KÜRESEL ISINMA VE ENERJİ PİYASASI

2.1 Küresel Isınma

Küresel ısınma atmosferin dünyaya yakın olan yerlerinde ortalama dünya sıcaklığının artış göstermesidir. Sıcaklık artışına bağlı olarak, kutuplardaki buzullar erimektedir. Son 20 yılda, deniz seviyesi 15-20 cm yükselmiştir. Küresel ısınma sonucu olarak, sel ve erozyon gibi doğal afetlerin artış göstereceği, denizlerde meydana gelen sıcaklık artışı nedeniyle canlı çeşitliliğinde azalma olacağı, su rezervlerinin azalacağı, orman yangınlarında meydana gelen artışla birlikte çölleşme artacağı, asit yağmuru oluşumu artacağı, ani iklim değişikliği sonucu olarak hastalıkların artacağı öngörülmektedir.

Dünya güneş ışınları tarafından ısıtılmaktadır. Güneş ışınları içerisinde çeşitli gazlar barındıran atmosferden geçerek yeryüzüne ulaşmaktadır. Atmosferde bulunan gazlar güneş ışınlarını tutar ve bir kısmını yeryüzüne yansıtma olup bu durum sera etkisi olarak tanımlanmaktadır. Atmosferi oluşturan bu gazlar insanlar tarafından yeryüzünde üretilip, atmosfere salınmaktadır. Sanayi devrimi ve nüfus artışı ile 20. Yüzyılın ikinci yarısından beri karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), diazot monoksit (N₂O), ozon (O₃), kloroflorokarbon (CFC), karbon monoksit (CO) gibi atmosferi oluşturan gazlarda artma görülmüş ve bu durum daha fazla güneş ışınının yeryüzüne aktarılmasına neden olmaktadır (Ketenoglu ve Kurt, 2012). Bahsedilen sera gazlarının toplamının atmosferdeki oranı % 0,1 den daha az olmasına rağmen, iklim değişikliklerine neden olduğu için etkileri çok büyüktür. Özellikle son 30 yılda yaşanan nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler, bunlara bağlı olarak yakıt tüketiminde olan artış sera gazlarının salınımının artmasına neden olmuştur. Küresel ısınmaya en çok neden olan gaz CO₂ olup, fosil yakıtlarının yakılması ve ormanların yok edilmesinden kaynaklanmaktadır. CFC'ler ise kozmetik sanayi tarafından üretilen parfüm ve sprey kaynağıdır. CFC'ler atmosferdeki O₃'u O₂ ve türevlerine dönüştürüp, ozon tabakasının incelmeye sebep olmaktadır. Ozon tabakasının görevi güneşten gelen ultraviyole ışınlarını tutmaktır, ozon tabakası incelendiğinde gelen ultraviyole ışınları tutulmadan, fazla miktarda ışın dünyaya ulaşmaktadır. Bu durum ise,

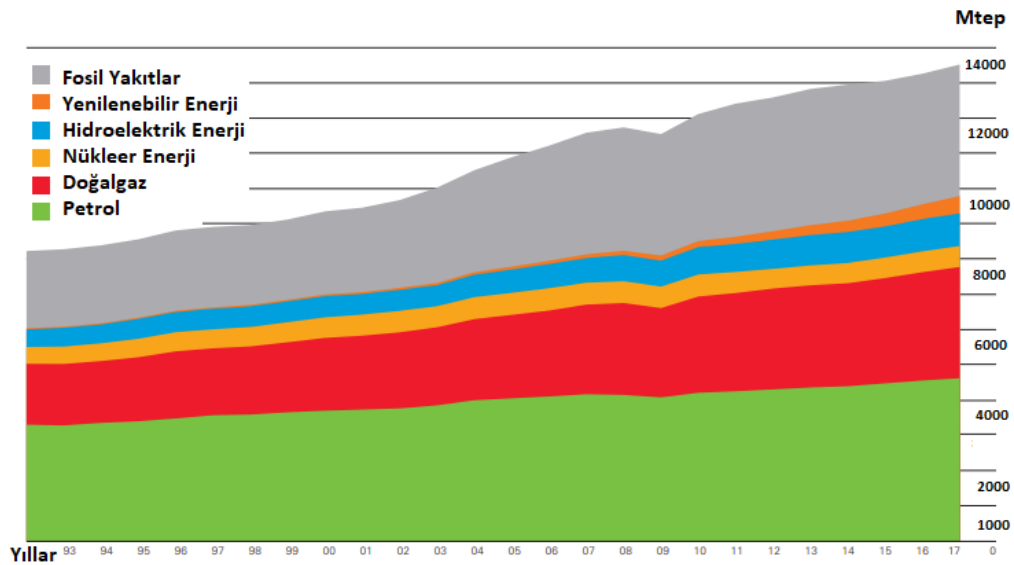
yeryüzünün ısınmasına ve canlıların zarar görmesine neden olmaktadır. Metan gazı ise pirinç tarımı, biyokütlelerin yakılması, çöp toplama alanları ve kömür madenlerinden kaynaklanmaktadır. N₂O gazı ise büyükbaş hayvan yemlerinden, suni gübre kullanımı ve tarıma açık toprakların kullanılmasından kaynaklanmaktadır. CO gazı ise fosil yakıtların iyi bir şekilde yakılmamasından dolayı oluşmaktadır (Akın, 2006).

2.2 AB Ülkelerinde ve Dünya’da Enerji Piyasası

2.2.1 AB ülkelerindeki ve Dünya’daki yenilenebilir enerji potansiyeli

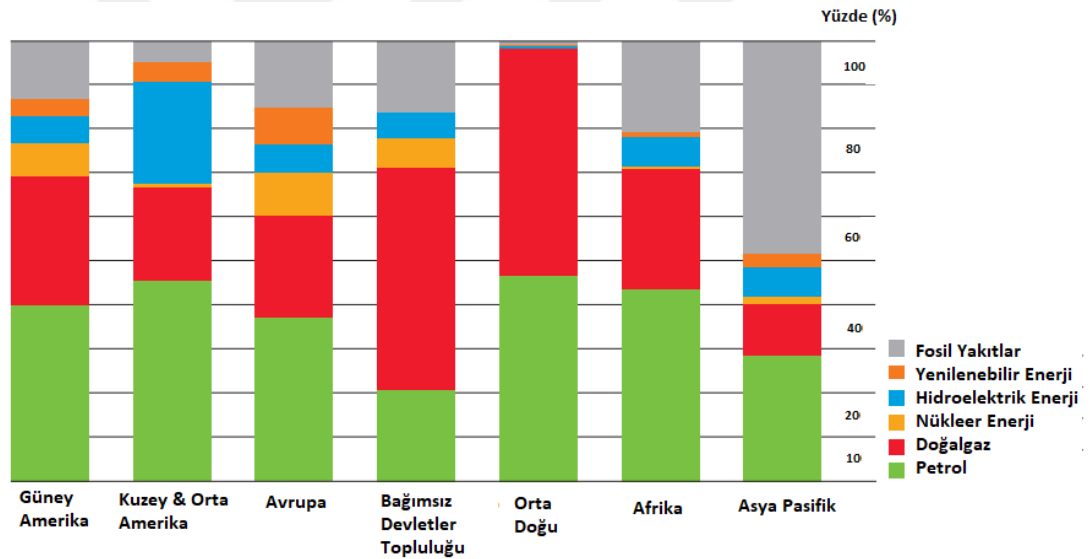
90’lı yılların başından günümüze kadar dünya genelinde enerji talebi hızla artmaktadır. Bu talebe karşılık verebilmek için tüm enerji çeşitlerinin kullanılabilirliği ve toplam üretimdeki paylara giderek artmaktadır. Şekil 2.1’de dünya enerji tüketimi grafiği gösterilmiştir. 90’lı yılların başında yaklaşık 4000 MTEP olan petrol kullanımı 2017 sonunda 5000 MTEP olarak karşımıza çıkmaktadır. Doğalgaz ve fosil yakıtlarda geçmişte olduğumuz gibi günümüzde de toplam üretimde hep yerlerini almışlardır.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili AR-GE, fizibilite çalışmaları ve kullanım oranlarında 2009 yılına kadar çok küçük kıpırdanmalar olsa da 2009 yılından günümüze kadar geçen süreç içerisinde kendine hidroelektrik enerjisi haricinde yaklaşık 500 MTEP mertebelerindedir. Bu sayı hidroelektrik enerjisiyle birlikte değerlendirildiğinde ise 1500 MTEP mertebelerine ulaşmaktadır ve gün geçtikçe dünya genelinde yatırımların artmasıyla kullanım oranları artmaktadır.



Şekil 2.1: Dünya enerji tüketimi (BP Statistical Review of World Energy, 2018).

Şekil 2.2’de 2017 yılındaki kıtalara it olan enerji yüzdeleri grafiği bulunmaktadıdır. Kıta ve bölge bazında incelediğimizde fosil yakıtların yoğun olduğu bölgeler Asya Pasifik olarak karşımıza çıkmaktadır. Petrol ve doğalgazın çıkarıldığı ve yoğun olduğu Orta Doğu’da ise hakimiyet petrol ve doğalgazdadır. Bu bölgenin iklim şartlarından dolayı hidroelektrik enerjisi de gelişmemiştir. Eski Sovyetler Birliği ülkelerinin kurmuş olduğu Bağımsız Devlet Topluluğunda da genel olarak Orta Doğu’nun yapısına uygun bir dağılım vardır. Petrol ve doğalgaz ana kalemler olarak yer alırken fosil yakıtlar da genel dağılımda etkindirler. Fakat Bu bölgede hatırı sayılır bir hidroelektrik eğilimi de mevcuttur. Diğer bir önemli kalem ise nükleer enerji olarak karşımıza çıkmaktadır. Afrika kıtasında da durum Bağımsız Devletler Topluluğu’na oldukça paraleldir. Petrol, doğalgaz, fosil yakıtlar ana arterleri oluştururken hidroelektrik enerji de 4. Sırada yer alarak enerjinin çeşitli kaynaklardan üretilmesi konusunda kendine yer bulmuştur.

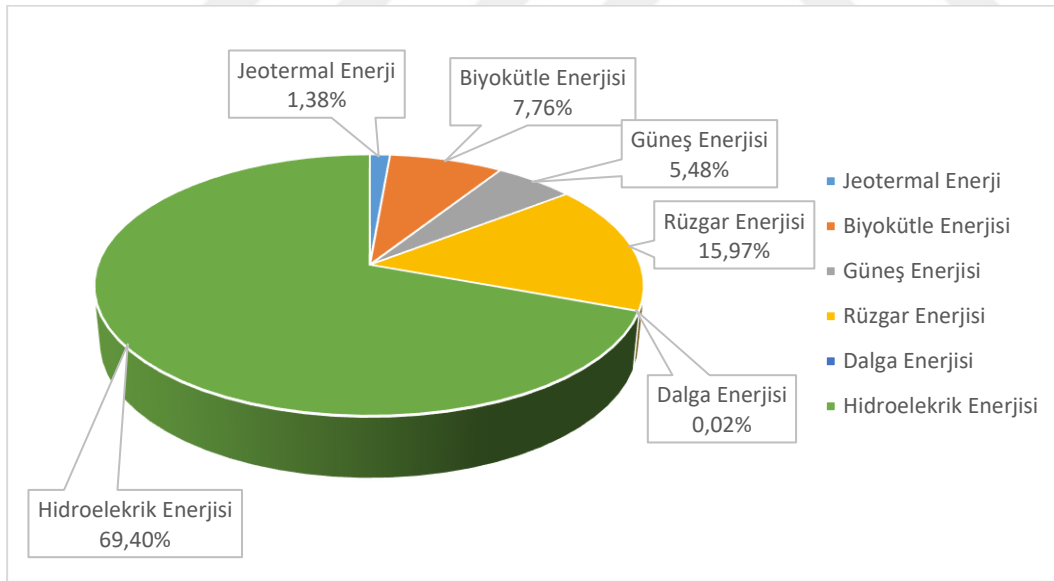


Şekil 2.2: 2017 yılına ait kıtalarda kullanılan enerji yüzdeleri (BP Statistical Review of World Energy, 2018).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en etkin ve yaygın olarak kullanıldığı bölgelere baktığımız zaman şüphesiz ki AR-GE’ye önem veren ve teknolojik olarak daha gelişmiş seviyede bulunan Avrupa ilk sırayı çekmektedir. Avrupa’da da baz yük için petrol, doğalgaz ve fosil yakıtlar kendilerine yer bulsa da yenilenebilir enerji kaynakları nükleer ile aynı oranda ve hidroelektrik enerjiden daha fazla olarak yer almaktadır. Avrupa’da yenilenebilir enerji ve hidroelektriğin toplam dağılımdaki oranı yaklaşık %18 mertebelerindedir. Hidroelektrik haricindeki diğer kaynakların

ortalaması ise yaklaşık %10'a tekabül etmektedir. Bu oran Orta Doğu, Afrika ve Bağımsız Devletler Topluluğunda %1'in altında yer almaktadır. Gelişmiş ülkelerin bulunduğu Amerika kıtasını incelediğimizde yenilenebilir enerjinin kullanımının Avrupa kıtasından sonra yaygın olduğu diğer kıta olarak karşımıza çıkmaktadır. Nispeten gelişmişlik düzeyi daha fazla olan Kuzey ve Orta Amerika'da yenilenebilir enerji %5 iken hidroelektrik enerji yaklaşık %20 mertebelerindedir. Hidroelektrik enerjinin kullanım oranı Kuzey ve Orta Amerika'da doğalgazdan daha fazladır. Güney Amerika'da da Kuzey ve Orta Amerika'dakine benzer bir dağılım çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji %5 mertebelerindeyken hidroelektrik enerji eğilimi yaklaşık %8 mertebelerindedir. Bu oranların fosil yakıtların tükenmesi, küresel ısınmanın etkisi ve çevresel sorunların daha fazla etki etmesinden dolayı yakın gelecekte değişeceği aşikardır.

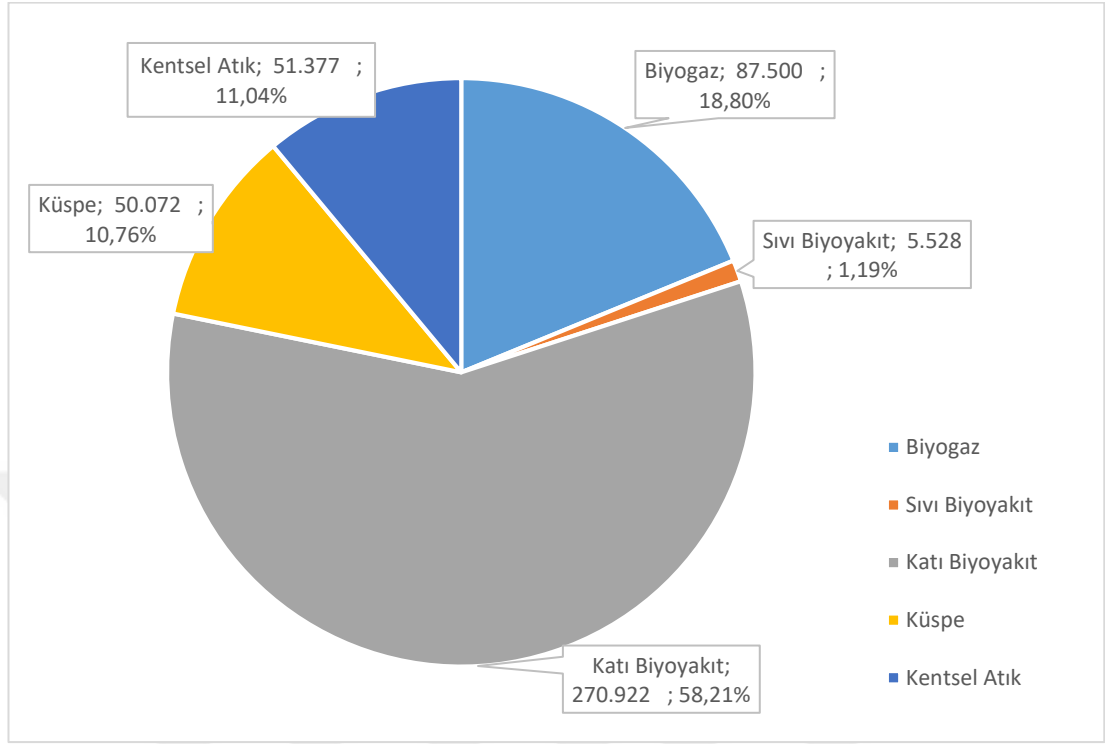
Şekil 2.3'te 2016 yılında dünyada üretilen yenilenebilir enerjinin dağılımı gösterilmektedir. Grafiği incelediğimizde, ilk sırada % 69,40 ile hidroelektrik enerjisi bulunmaktadır, sonrasında ise % 15,97 ile rüzgar, % 7,76 ile biyokütle, % 5,48 ile güneş, % 1,38 ile jeotermal ve % 0,02 ile dalga enerjisi bulunmaktadır.



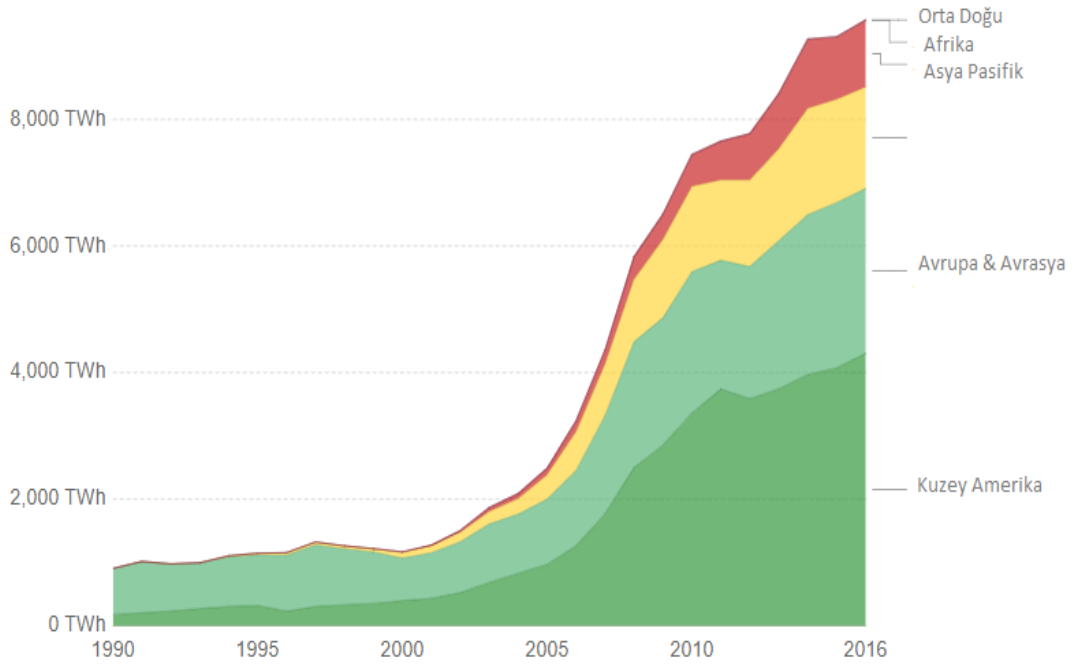
Şekil 2.3: 2016 yılında dünyada üretilen yenilenebilir enerjinin dağılımı (Renewable Energy Statistics 2018, 2018).

Şekil 2.4'te, 2016 yılında dünyada üretilen biyokütle enerjisi dağılımı verilmiştir. Bu grafiğe göre, biyokütle enerjisinin % 58,21'i katı yakıtlardan, %18,80'i biyogazdan,

% 11,04'ü kentsel atıklardan, % 10,76'sı küspeden, % 1,19'u sıvı yakıtlardan üretilmektedir. Şekil 2.5'e ise, bölgelere göre biyokütle enerji üretimi verilmiştir.



Şekil 2.4: 2016 yılında dünyada üretilen biyokütle enerjisi dağılımı (Renewable Energy Statistics 2018, 2018).



Şekil 2.5: Bölgelere göre biyokütle enerjisi üretimi (BP Statistical Review of World Energy, 2018).

2.2.2 AB ülkelerindeki yenilenebilir enerji politikası

1970 yılında yaşanan Petrol krizinden beri AB ülkelerinde yenilenebilir enerji teknolojileri çalışmaları yapılmaktadır. AB ülkelerinde yapılan politik düzenlemeler ve finansal kaynakların artırılması ile yenilenebilir enerji teknolojilerinin mekanizmaları geliştirilmektedir. Bu çalışmalar gelişim stratejilerinin oluşturulmasında etkili olmuştur (Uyerlinde ve diğ, 2003).

İlk olarak Almanya, İtalya, Danimarka ve İspanya'da başlayan yenilenebilir enerjiye destek projeleri zaman içerisinde diğer AB ülkeleri arasında da yaygın hale gelmiştir. AB ülkeleri arasında en fazla kullanılan destekleme şekilleri tarife garanti sistemi, yeşil sertifika, ihale sistemi ve vergi teşvikidir.

- **Tarife Garanti Sistemi**

Bu sistemde üretilen enerjinin fiyatında değişmezlik ve alım garantisi bulunmaktadır. Bu destek projesinde yenilenebilir enerjinin gelişimine katkı sağlanması avantaj olarak, üreticiler arasında rekabetin olmaması ve elektrik fiyatında herhangi bir düşüş olmayışı dezavantaj olarak değerlendirilmektedir.

- **Yeşil Sertifika**

Yeşil sertifika enerjinin yenilenebilir kaynaklardan üretildiğini göstermektedir. Üreticinin ürettiği elektrik karşılığında ve miktarı değerinde yeşil sertifika verilmekte, üretici hem ürettiği elektriği hem de sertifikayı tüketiciye satarak gelir elde etmektedir.

- **İhale Prosedürü**

Bu destek sisteminde devlet yenilenebilir enerjiden üretilen elektrik için ihale açar. İhale sonunda ortaya çıkan fiyat ile sözleşme yapılır. Elektrik enerjisi, sözleşme fiyatı haricinde olan ek maliyetler normalde kullanılanın dışında olan bir vergi sistemi ile tüketiciye ulaştırılır.

- **Vergi Teşviki**

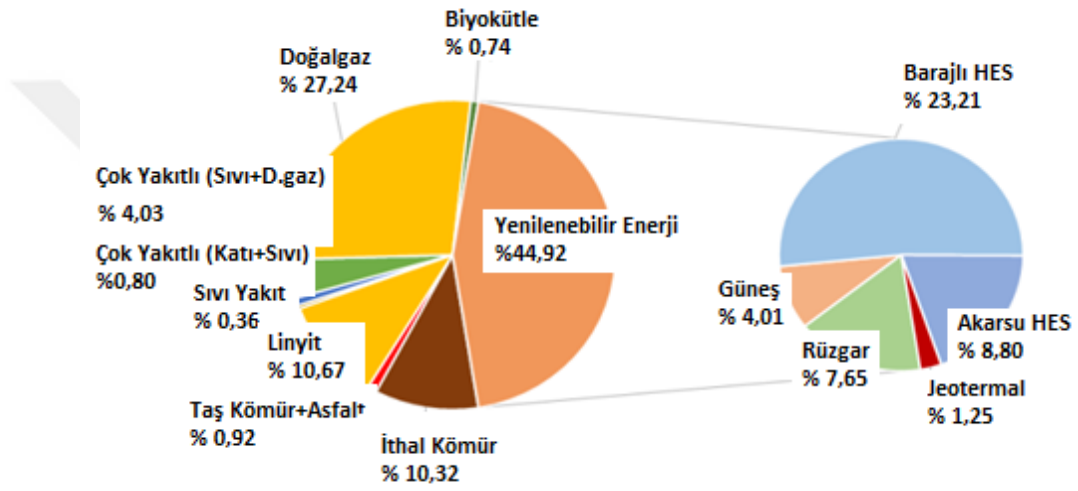
Vergi teşviki destek sistemi genellikle vergi ve gümrük muafiyeti olarak iki şekilde uygulanmaktadır. Bu destek sistemini kullanan AB üyesi ülkeleri, genellikle üreticileri 1-5 yıl boyunca elde edilen gelirlerden gelir ve kurum vergisinden muaf tutmaktadır. Bazı ülkelerde bu vergilere ek olarak enerji ve CO₂ vergileri de alınmamaktadır. Gümrük muafiyeti uygulamasında ise, rüzgar türbini, güneş paneli gibi ekipmanlardan

ithalat ve ihracat yapılırken gümrük vergisi düşük oranda alınmaktadır, bazı ülkelerde ise gümrük vergisi alınmamaktadır (Munoz ve diğ, 2007).

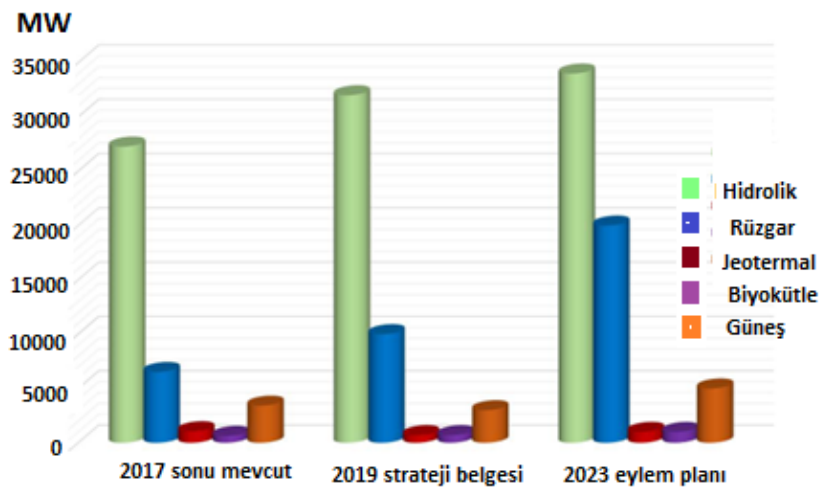
2.3. Türkiye’de Enerji Piyasası

2.3.1 Türkiye’deki yenilenebilir enerji potansiyeli

Şekil 2.6’da 2017 yılı itibariyle Türkiye’de bulunan kurulu güç verileri gösterilmektedir. Şekil 2.7’de ve Çizelge 2.1’de 2017 sonu, 2019 Strateji Belgesi ve 2023 Eylem Planına göre öngörülen kapasiteler yer almaktadır.



Şekil 2.6: 2017 itibari ile kaynaklarına göre Türkiye’de bulunan kurulu güçler (Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018, 2018).



Şekil 2.7: ETKB 2019 Strateji Belgesi ve 2023 Ulusal Yenilenebilir Eylem Planı’nda erişilmesi öngörülen kapasiteler (Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018, 2018).

Çizelge 2.1: ETKB 2019 Strateji Belgesi ve 2023 Ulusal Yenilenebilir Eylem Planı'nda erişilmesi öngörülen kapasiteler (Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018, 2018).

	Hidrolik	Rüzgar	Jeotermal	Biyokütle	Güneş	TOPLAM
2017 sonu	27.273,1	6.516,2	1.063,7	634,2	3.420,7	38.907,9
2019 Strateji Belgesi	32.000	10.000	700	700	3.000	46.400
2023 Ulusal Yenilenebilir Eylem Planı	34.000	20.000	1.000	1.000	5.000	61.000

2.3.2 Türkiye'deki yenilenebilir enerji politikası

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleme ilk olarak Avrupa Birliği'nin yaptığı direktifler sonucunda 4628 sayılı yasa ile hayata geçirilmiştir. 20.02.2001 yılında yürürlüğe giren yasaya göre elektrik enerjisinin piyasasındaki faaliyetleri düzenlemek ve denetlemek amacıyla EPDK Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu kurulmuştur. EPDK yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla faydalanılabilmesi için teşvikler vasıtasıyla girişim yapmak isteyen yatırımcı firma ve kuruluşlara yardımcı olmayı, faaliyetlerini denetlemeyi, tariflerini onaylamayı ve lisans vermeyi görev olarak üstlenmiştir. Verilen lisans süreleri 10 yıl ila 49 yıl arasında değişebilmektedir.

Türkiye'de uzun süreli alım garantili tarifeli sistemi barındıran yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM) TL'nin de değer kaybetmesiyle yerini 2020 yılından itibaren Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA) modeline bırakacaktır. Fakat YEKA modeli tahsis uygulamalarında her yıl farklı kaynak ve tek bir firma yerine dağıtılmış model izlenmesi gelecek projeksiyonda daha uygun bir uygulama olacaktır. Son dönemlerde yapılan YEKA ihalelerinde izlenen yerli ekipmanların kullanımının teşvik edilmesi olumlu olsa da yatırım teşvik desteklerinin olmaması olumsuz olarak karşımıza çıkmaktadır. 2017 yılında Bakanlığın yapmış olduğu açıklamaya göre 2027 yılına kadar geçecek olan 10 yıllık süreç içerisinde mevcut santrallere ilave olarak 10.000 MW rüzgar enerjisi, 10.000 MW güneş enerjisi santrali kurulumu hedef olarak belirlenmiştir. Hidroelektrik enerji santrali kapasitesinin 34.000 MW mertebelerine, jeotermal kurulu gücünün 1.500 MW mertebelerine ve biyokütle kapasitesinin de 1.000 MW mertebelerine gelmesi öngörülmüştür.

Tüm bu hedefler ümit vaat edici hedefler olarak karşımıza çıkarken uygulanması gereken model dünyadaki modele paralel mantıkta düşük karbonlu elektrik enerjisi hedeflenerek devam edilmelidir. Bu sayede verimlilikte sağlanacak gelişmeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırıldığı ve amiral gemi olarak dışa olan bağımlılığı azaltıcı politikalar güdülererek düşük karbonun strateji olarak belirlendiği şekilde ilerlenmelidir.





3. ATIK

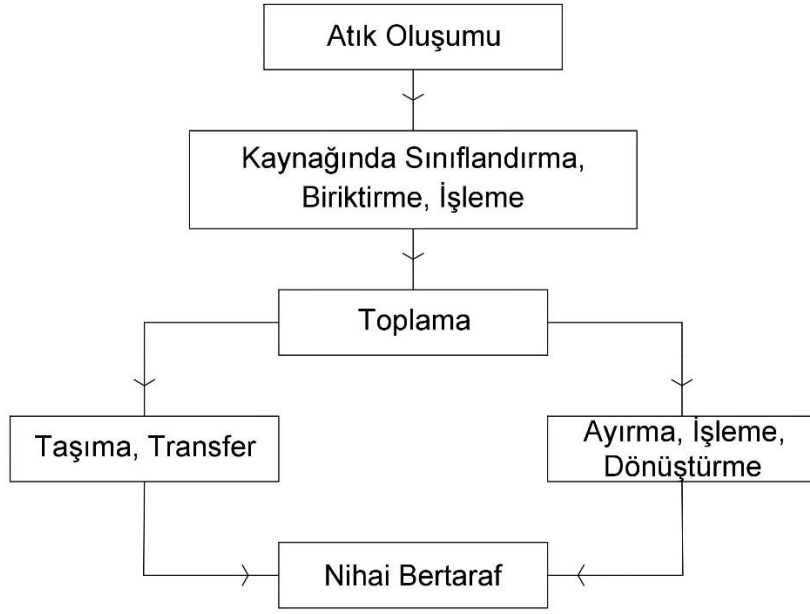
Atık çevreye atılan, bırakılan ya da atılması zorunlu olan madde olarak tanımlanmaktadır. Çok farklı şekillerde üretilmesi mümkün olan atıklar, çevre ve insan üzerinde negatif etkiler taşımaktadır. Her anlamda küreselleşen dünyada kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışına bağlı olarak kaynaklar daha çok ve bilinçsizce kullanılmakta ve bunun sonucunda atık miktarında artış görülmektedir. Atıkları evsel katı atıklar, tehlikeli atıklar, endüstriyel atıklar, tarımsal atıklar, uzaklaştırılması büyük önem taşıyan radyoaktif vb. gibi özel atıklar, tıbbi atıklar, inşaat atıkları olarak ayırabilmek mümkündür.

3.1 Atık Yönetimi

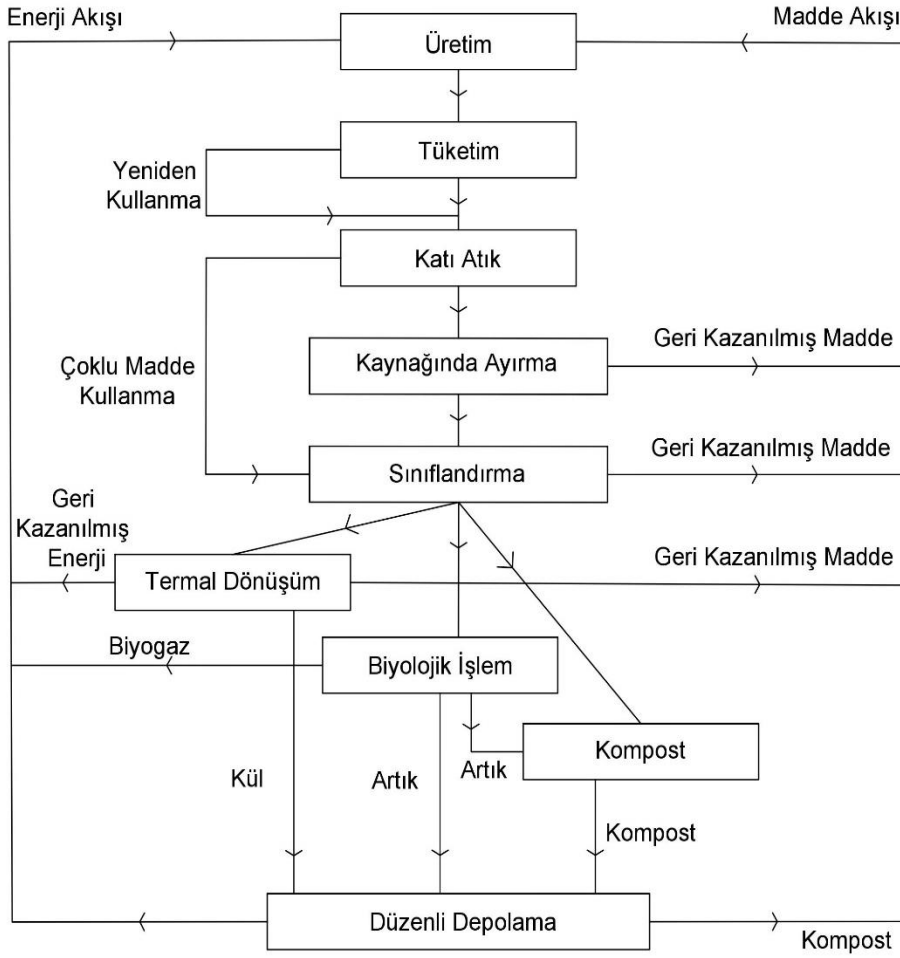
Çeşitli yollarla meydana gelen atıklar çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. İnsan ve çevre üzerinde sağlık açısından olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için atıkların uygun şekilde toplanması, taşınması ve zararsız hale getirilmesi gerekmektedir. Çevresel sorunlardan dolayı meydana gelen negatif etkileri yok etmek için atıkların belli bir prosedüre göre muamele edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple Türkiye’de Atık Yönetimi Yönetmeliği mevcuttur. Son yönetmelik 2 Nisan 2015 tarihinde yayınlanmıştır.

Atık yönetimin amaçları arasında, atık oluşumunun engellenmesi, azaltılması, atığın yeniden kullanılması, türüne göre ayrılıp biriktirilmesi, toplanması, geri dönüştürülmesi, geri kazanılması, bertarafı, bertaraf sonrası izleme ve denetim faaliyetlerini yapılması yer almaktadır. Atık yönetimi uygulaması bir prosedür çerçevesinde yapılmakta, buna atık yönetimi hiyerarşisi denmektedir (Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015).

Verimli bir katı atık yönetimi bütüncül ve esnek olmalı, ekonomik değer oluşturabilmeli ve bu yönetimde bölgesel planlama yapılmalıdır. Bu amaçlar doğrultusunda Şekil 3.1’de katı atık yönetimi, Şekil 3.2’de ise entegre atık yönetimi diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.1: Katı atık yönetimi (Kemirtlek, 2018).



Şekil 3.2: Entegre katı atık yönetimi (Kemirtlek, 2018).

Atığın yönetiminde süreç uygun yürütülmez ise, ekolojik ve fizyolojik etkiler meydana gelebilmektedir. Bunlar;

- Açık depolama alanlarında oluşan çözünebilir bileşenlerin su ile birlikte süzülmesi sonucunda oluşan sızıntı suyu sebebiyle etrafta bulunan su ve toprak kaynakları kirlenebilmektedir. Ayrıca, kokuya neden olan gazlar hava kalitesini de azaltabilmektedir.
- Hacim azaltma sebebiyle yapılan açık alanda yakma işlemi ise hava kalitesini büyük ölçekte olumsuz yönde etkilemektedir.
- Tıbbi atık gibi zararlı olan atıkların çıplak elle tutulması ya da bu atıklara maruz kalınması gibi sebeplerden dolayı sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir.
- Atıkların uygun olarak toplanmaması sebebiyle insanlarda çöl sineği ile bulaşan oryantal düğme hastalığı görülebilmektedir (Steiner ve Wiegel, 2009).

3.2. Atık Yönetimi Hiyerarşisi

Altı adet maddesi bulunan atık yönetimi hiyerarşisinde, asıl amaç gelecek nesillere yaşanabilir bir dünyayı bırakmaktır. Bunun yanı sıra diğer amaçlar ise, sürdürülebilir bir çevre oluşturulması, doğal kaynakların korunması, enerji ve mali tasarruf yapmak, kirlenme oranının azaltılması, tehlikeli atık miktarının azaltılmasıdır. Atık yönetimi hiyerarşisi öncelik sırasına göre önleme, azaltma, yeniden kullanma, geri dönüşüm, enerji geri kazanımı ve bertaraf maddelerinden oluşmakta olup, Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Atık yönetimi hiyerarşisi (Ercan, 2019).

Önleme: Öncelik sırasında ilk sırada yer alan önleme, amaç atık miktarının ve dolayısıyla oluşacak tehlikenin azaltılmasıdır. Atıkları önleyerek, doğal kaynakların gereksiz tüketimi minimize edilmektedir. Buna bağlı olarak sürdürülebilir çevre ve dünyanın korunması için en etkili yoldur. Atıkları önleme yolları:

- Doğal kaynakları olabildiğince az kullanmak,
- Atık olarak değerlendirilen ürünleri tekrar kullanmak
- Ürünlerin kullanım sürelerini azaltmak

Azaltma: Atık yönetimi hiyerarşisinde öncelik sıralamasında ikinci olan madde azaltmadır. Atık oluşumunun önlenmesinin mümkün olmadığı durumlarda tercih edilmelidir. Atıkları azaltma yolları:

- Atık üreten endüstrilerin daha temiz teknolojiler geliştirmek ve bu temiz teknolojileri kullanarak üretilen atık miktarını minimize etmek,
- Endüstrilerin ambalaj kullanımını en aza indirmesi,
- Ambalaj miktarının azaltmak amacı ile satın alınan malzemelerin büyük hacimlerde alınması,

Yeniden Kullanma: Bu maddede üretilen atıkların mümkün olduğuna tekrar kullanmayı kapsamaktadır. Atıkları yeniden kullanma yolları:

- Başta cam şişeler olmak üzere, kullanılan materyalleri temizleyerek tekrar kullanmak,
- Satın alınan maddelerin plastik kaplarını ihtiyaca yönelik (saksı yapımı vs.) kullanmak,

Geri Dönüşüm: Geri dönüşümü mümkün olan atıkların kaynağında ayrı toplanarak tekrar hammadde haline getirilmesidir. Bu şekilde kullanılmış maddelerden hammadde üretilir ve bu hammaddelerden tekrar ürün üretimi gerçekleştirilmektedir. Geri dönüştürülen ürünler sayesinde sera gazı ve atıksu oluşumu azaltılmakta, enerji tasarrufu edilmekte, istihdam yaratılmakta, temiz teknolojiler gelişmektedir. Bunlara bağlı olarak ise atık depolama ve yakma tesislerine olan ihtiyaç azalmaktadır. Geri dönüşüm yolları:

- Evde üretilen yemek, bahçe atıkları ve diğer organik atıklardan kompost üretmek,

- Cam, plastik, pil, metal, kağıt, organik atıklarına her birine ayrılmış farklı çöp kutularına atarak geri dönüşüme katkı sağlamak

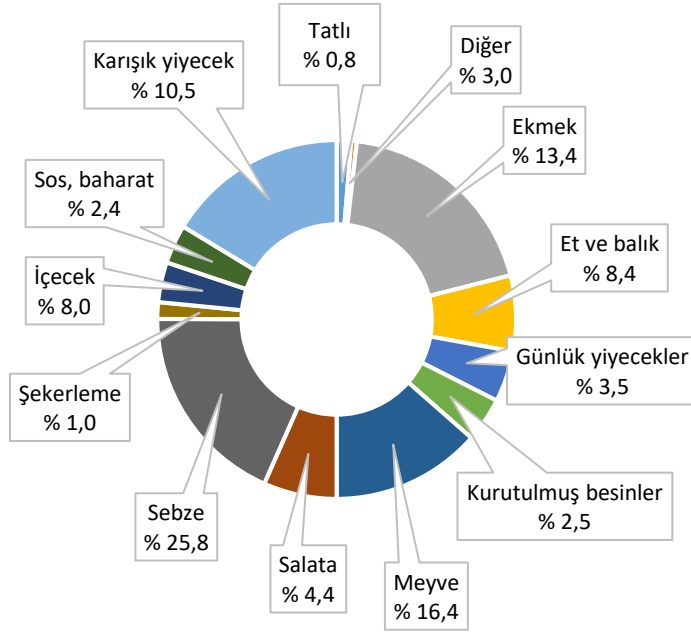
Enerji Geri Kazanımı: Geri dönüştürülmesi mümkün olmayan atıkların, anaerobik çürütme, yakma, piroliz, gazlaştırma ve düzenli depolama sahası yöntemleri ile gaz elde etmektir. Elde edilen gaz yakıt olarak kullanılabilen ya da çeşitli işlemler sonucunda elektrik ve ısı elde edilmektedir. Sırlan yöntemler dünyanın korunmasında büyük bir öneme sahipken, özenle yapılmadan uygulandığında ise olumsuz çevresel etkilere neden olabilmektedir.

Bertaraf: Atık yönetimi hiyerarşisinde en son olarak tercih edilmesi gereken seçenek bertarafıdır. En iyi bertaraf şekli düzenli atık depolama sahalarıdır. Dikkatli bir şekilde uygulanmadığında, çevreye olumsuz etkileri olan bertaraf seçeneği, yönetmeliğe göre uygulanmalıdır (Ercan, 2019).

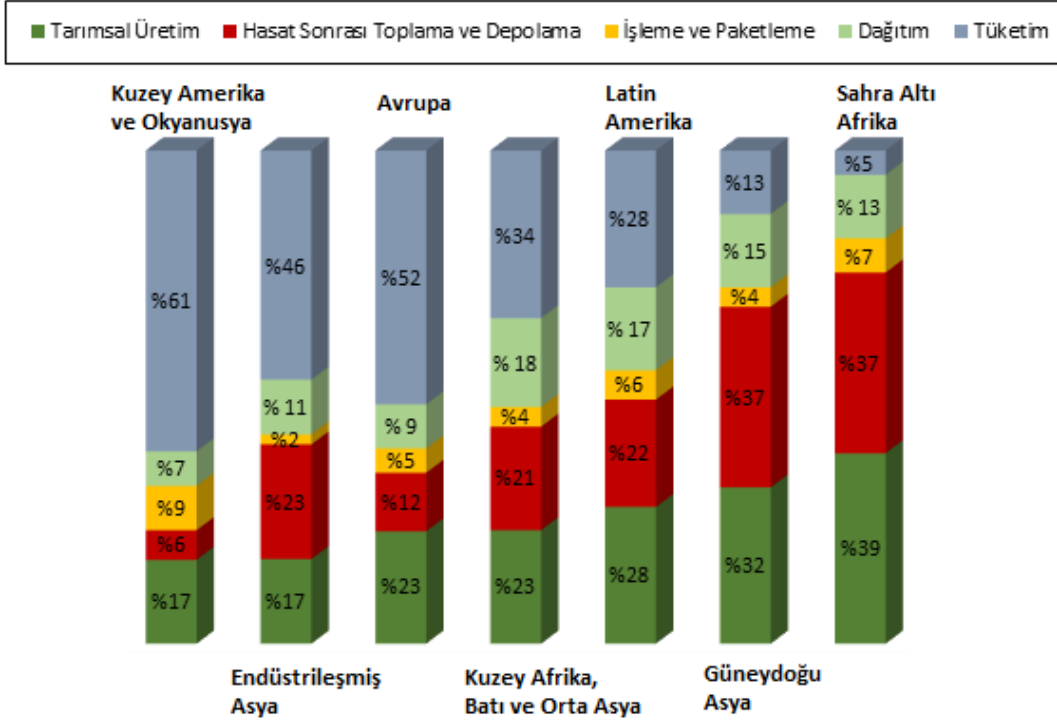
3.3 Yemek Atığı

Yemek atığı sadece olası besin kıtlığı açısından değil, ekonomik, sosyal, çevresel etkileri sebebiyle de önemli bir problem olarak kabul edilmektedir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) dünya çapında üretilen tüm yiyeceklerin 1/3'ünün kayıp ve atık olduğunu belirterek, problemin önemini göz önüne sermiştir (Gustavsson ve diğ., 2011).

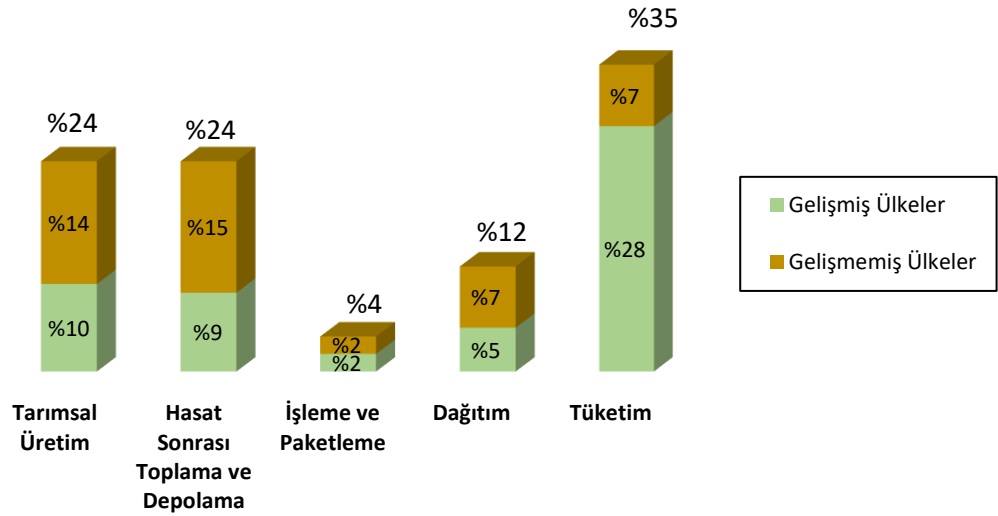
Besin atığının negatif olan çevresel etkilerini ortadan kaldırmanın en iyi yolu daha az atık üretmektir. Yemek atığı yönetimi için daha az atık üretmenin yanında alternatif yollar anaerobik çürütme ve biyoyakıt üretimidir. Yemek atığı besin tedarik zinciri boyunca oluşan atıkların tümünü kapsamaktadır, bu sebeple, FAO'ya göre atık yönetimi için yemek atıkları tüm tedarik zinciri boyunca incelenmelidir. Besin tedarik zinciri tarımsal üretim, hasat sonrası toplama ve depolama, işleme ve paketleme, dağıtım ve tüketim olarak 5 kısma ayrılmaktadır. Besin atığının bir alt basamağı besin kayıpları olarak adlandırılmakta ve bu besin kayıpları daha çok tüketim ve dağıtımdan önceki aşamalarda çıkan atıklar için kullanılmaktadır. Şekil 3.4'te yemek atıklarının türlerine göre dağılımı gösterilmektedir. Şekil 3.5'te dünyadaki yemek atığına sebep olan aşamalarının kıtalara dağılımı verilmiştir. Şekil 3.6'da ise, ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre yemek atığı aşamaları verilmiştir.



Şekil 3.4: Yemek atıklarının türlerine göre dağılımı (The Food We Waste, 2008).



Şekil 3.5: Dünyadaki yemek atığına sebep olan aşamalarının kıtalara dağılımı (Lipinski, ve diğ, 2013).



Şekil 3.6: Ülkelerin gelişmişlik düzeyine göre yemek atığı aşamaları verileri (Lipinski ve diğ., 2013).

Türkiye 2018 verilerine göre 80 milyon nüfusa sahiptir (TÜİK, 2018). Sahip olduğu nüfusa bağlı olarak tarımsal üretim ve gıda endüstrisi ekonomide büyük bir rol oynamaktadır. Besin kıtlığı Türkiye için henüz büyük bir problem olmamakla beraber, büyük miktardaki kentsel katı atık zorluk çıkarmaktadır. Çizelge 3.1’de, Türkiye’de yemek atıklarının aşamalarına göre verileri analiz edilmiştir. Şekil 3.7’de yemek döngüsüne yer verilmiştir.

Çizelge 3.1: Türkiye’deki yemek atıklarının aşamaları verileri (Tatlıdil ve diğ., 2013).

Ürün	Tarımsal Üretim	Hasat Sonrası Toplama ve Depolama	İşleme ve Paketleme	Dağıtım	Tüketim
Tahıl	% 5,1	% 4,0	% 2,0	% 1,0	% 5,0
Yağlı tohum ve baklagiller	% 15,0	% 5,0	% 7,0	% 1,0	% 4,0
Meyve ve sebze	% 20,0	% 8,0	% 10,0	% 10,0	% 5,0
Et	% 10,0	% 0,2	% 5,0	% 0,5	% 1,0
Balık ve deniz ürünleri	% 10,0	% 0,0	% 0,0	% 0,0	% 2,0
Süt	% 10,0	% 1,0	% 1,5	% 6,0	% 1,5
Yumurta	% 6,0	% 1,0	% 2,0	% 1,0	% 0,0

Türkiye’de tarımsal üretim aşamasında üretimin yaklaşık % 11,9’u yani 13,7 milyon ton/ yıl besin kaybı yaşanmaktadır. Dünyadaki tarımsal üretim aşamasındaki besin kayıp ve atık verileri incelendiğinde, Türkiye bu kayıp ve atıkların %3,33’ünden sorumludur.

Tarımsal üretim aşamasındaki kayıp ve atıkları önlemek için;

- Çiftçilerin yeni teknolojiler kullanması,
- Çiftçilerin eğitilerek uygun böcek ilacı, gübreleme, sulama ve ekim yapması (Tatlidil ve diğ, 2013),
- Daha özenli ve titiz bir şekilde çalışılması,

Hasat toplama ve depolama aşamasındaki kayıp ve atıkları önlemek için;

- Çalışan kişilerin çiftçilerin hasat toplama ile ilgili, hasat toplama sonrasında ise uygun depolama koşulları ile ilgili eğitim alarak bilgilenmesi (Lipinski ve diğ, 2013),

Proses ve paketleme aşamasındaki kayıp ve atıkları önlemek için;

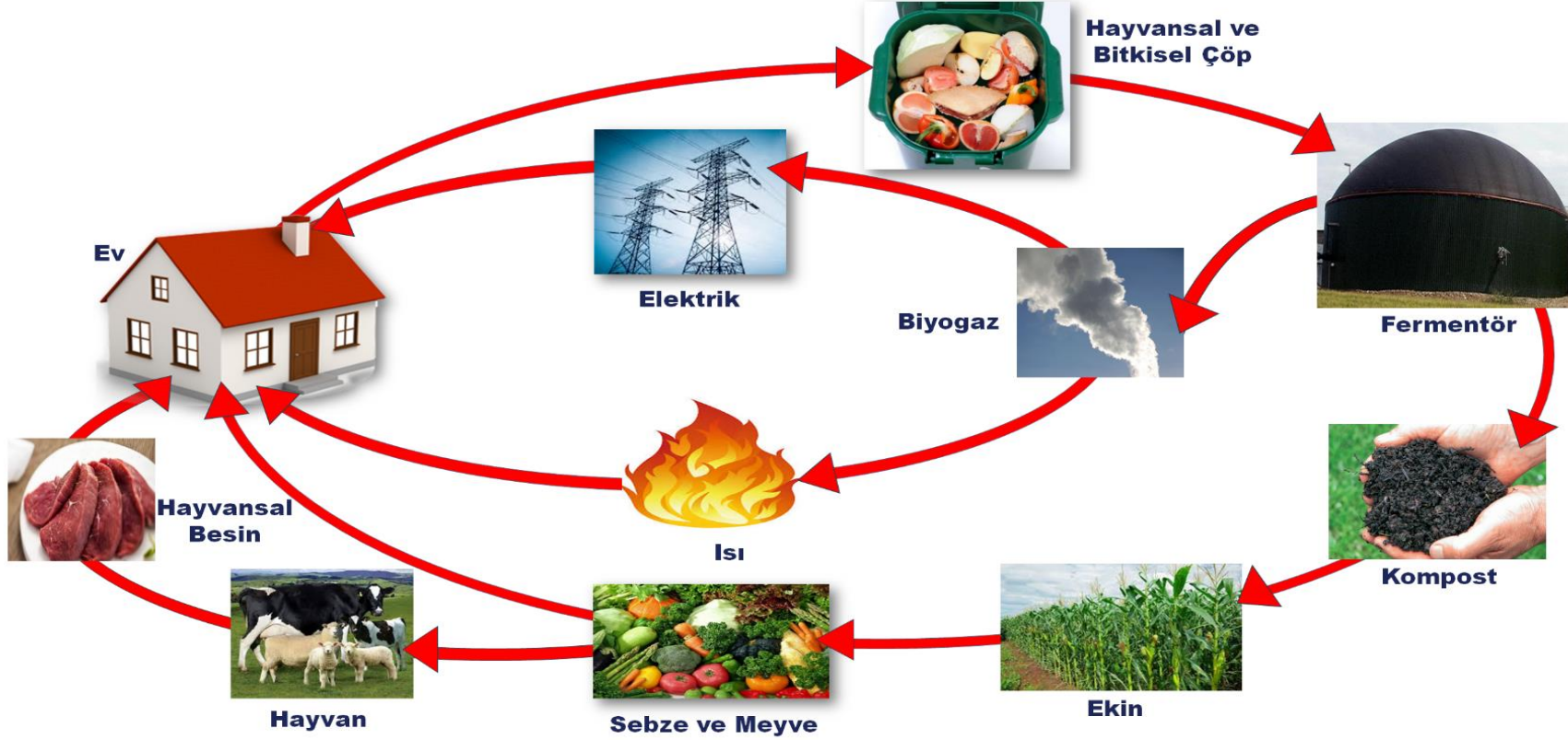
- Mühendisler tarafından uygulanan proseslerin iyileştirilmesi,
- Tedarik zinciri yönetiminin geliştirilmesi,
- Ürünlerin daha taze kalması,
- Daha uzun süre korunması için paketleme sisteminin geliştirilmesi

Dağıtım aşamasındaki kayıp ve atıkları önlemek için;

- Satılmayan ürünler için promosyon kapmayanları düzenlenmesi,
- Daha özenli ve titiz bir şekilde çalışılması,
- Ürünlerin bağışlanması,

Tüketim aşamasındaki kayıp ve atıkları önlemek için;

- Restoran, lokanta, yemekhane, kafe ve kantinlerde satılmayan ürünlerin bağışlanması,
- Tüketicilere eğitim düzenlenmesi,
- Restoranlardaki porsiyonların küçültülerek, insanların ihtiyaçları kadar yiyerek, az miktarda atık üretmesi,
- Her bir ürünün saklama koşulları ile ilgili rehber niteliğinde bilgi verici yazılar hazırlanması (Tatlidil ve diğ, 2013).



Şekil 3.7: Yemek döngüsü.



4. BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Biyokütle ana bileşeni karbonhidrat olan, tüm fosilleşmemiş bitkisel ve hayvansal kaynaklı maddelerdir. Geniş bir kapsama sahip olan biyokütle, bitkilerin fotosentez yaparak elde ettiği ve depoladığı güneş enerjisini içerisinde barındırmaktadır. Ağaçlar, bitkiler, yağlı tohum bitkileri, sebze ve meyveler, hayvansal, bitkisel, kentsel ve endüstriyel atıklar biyokütle kaynaklarına örnek olarak verilebilir.

Biyokütle kaynaklı maddelerden üretilen elektrik ve ısı enerjisine ise biyokütle enerjisi denmektedir. Biyokütle enerjisi uzun yıllar boyunca kullanılan bir yöntem olduğu için klasik ve modern olarak iki grupta değerlendirmek daha doru olacaktır.

Klasik yöntemde biyokütle enerjisi, pişirme, aydınlatma, hayvansal atıklarından oluşturulan tezek ve bitki atıklarını yakacak olarak kullanarak ısıtmada kullanılmaktadır. Modern anlamda ise, yeni teknolojiler sayesinde sadece ısı değil, elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmaktadır. Biyokütle enerjisi kaynakları, elde edilmesi kolay olup, özellikle kırsal bölgeler için ekonomik ve sosyal açıdan büyük bir önem teşkil etmektedir.

4.1. Biyokütle Çevrim Teknolojileri

Biyokütle kaynaklarını enerjiye çevirme yöntemleri termokimyasal ve biyokimyasal olarak ikiye ayrılabilir. Termokimyasal yöntemlerde doğrudan yakma, piroliz ve gazlaştırma, biyokimyasal yöntemlerde ise anaerobik çürütme, fermentasyon ve biyofotoliz bulunmaktadır.

4.1.1 Termokimyasal yöntemler

Doğrudan Yakma

Doğrudan yakma prosesinde yakıt içerisindeki kimyasal enerji oksijen varlığında ısı ve elektrik enerjisine çevrilmektedir. Biyokütle çevrim yöntemleri arasında en yaygın kullanılan teknolojidir. Fakat yüksek yatırım maliyeti, atmosfere salınan CO₂'in fazla olması sebebiyle büyük karbon ayak izi, kül oluşumu ve baca gazının arıtılması

maliyetinin yüksek olması sebebiyle dezavantajları bulunduğundan, bu yöntem çevre dostu ve sürdürülebilir değildir.

Yüksek basınç ve sıcaklıkta buhar kazanında üretilen buhar, sonrasında türbinden geçerek elektrik üretilmektedir. Bu proseste ısı ve elektrik birlikte üretilbildiği için kojenerasyon sistemi mevcuttur.

Piroliz

Piroliz organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak, başlıca bileşenleri CO ve metan gazı olan katı, sıvı ve gaz formunda ürünlerin oluştuğu prosestir.

Oluşan yakıtlar motor ve türbinlerden geçirilerek ısı enerjisi elektrik enerjisine çevrilmektedir.

Gazlaştırma:

Yanma için gerekli oksijen miktarının % 20-30 altında oksijen varlığında, yüksek sıcaklıkta gazlaştırıcı adı verilen reaktörlerde gerçekleşen prosestir. Proses sonucunda sentez gazı isminde yüksek oranda CO ve H₂, düşük oranda ise CO₂ ve CH₄ oluşmaktadır. Oluşan sentez gazı ısı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır (Fardin ve de Barros, 2018).

4.1.2 Biyokimyasal yöntemler

Anaerobik Çürütme

Biyokütlenin oksijensiz ortamda mikroorganizmalar tarafından çürütülmesidir. Ayrıntılı olarak ilerleyen kısımlarda anlatılacaktır.

Fermantasyon

Biyokütlenin içerisinde bulunan şeker, oksijensiz ortamda maya gibi mikroorganizmalar sayesinde alkole çevirme prosesidir.

Ürün olarak etanol ve metanol elde edilmekte olup, içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilir (Saxena ve diğ, 2008).

Biyofotoliz

Denizlerde yaşayan bazı alglerin güneş enerjisi yardımıyla deniz suyunu H₂ ve O₂ gazına çevirme işlemidir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018).

4.2. Biyokütle Enerjisi Ürünleri

Biyokütle enerjisi sayesinde katı yakıt olarak peletler, sıvı yakıt olarak biyoetanol, biyodizel, gaz yakıt olarak ise sentez gazı, biyohidrojen ve biyogaz üretilmektedir (Biyokütlenin Altın Çağı, 2014).

Pelet

6-8 mm çapında, 10-12 mm uzunluğunda silindirik bir yapıya sahip olan peletler, biyokütlenin sıkıştırılarak yoğunluğu ve enerjisi arttırılmış halidir. Konut ve işyerlerinde, soba ve katı yakıt kat kaloriferlerinde, sanayide ise küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde proses suyu ısıtmalarında kullanılabilir (Er, 2018).

Biyoetanol

Biyoetanol, enzim yardımı ile şeker içeren tarımsal ürünlerinden ekstrakte edilen basit şekerlerin fermantasyonundan elde edilmektedir. Biyoetanol yapımında kullanılan başlıca tarımsal ürünler şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, arpa, kenevir, patates, melas, buğday, pamuktur.

Biyoetanol benzin ve dizel ile karıştırıldığında, karışım oranına göre isimlendirilip, ulaşımda, kojenarasyon sistemlerde ve küçük ev aletlerinde yakıt olarak kullanılabilir.

Biyodizel

Biyodizel, hayvansal yağlar veya ayçiçek, soya, kanola gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların bir katalizör ile birlikte, kısa zincirli bir alkol ile reaksiyonu sonucunda oluşmaktadır. Biyodizel, dizel ile karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir.

Sentez Gazı

Gazlaştırma prosesi sonucu elde edilen sentez gazı, yüksek oranda H₂ ve CO, düşük oranda CO ve CH₄ içeriğine sahiptir. Yüksek ısı değere sahip olan sentez gazı, ismi sentetik doğal gaz ara ürünü olmasından ve bazı kimyasalların sentezinde rolü olmasından almıştır.

Sentez gazı direkt olarak yakılamamasına rağmen, yakıt kaynağı kullanılıp, elektrik ve kızgın buhar üretiminde kullanılabilir.

Biyohidrojen

Biyofotoliz yöntemi ile üretilen biyohidrojen gazı yüksek enerji değerine sahiptir. Yakıldığında ara ürün olarak su oluşturduğu için çevreye ve insanlara zararlı değildir (Genç, 2009).

Biyogaz

Biyogaz organik maddelerin anaerobik çürütme sonucu oluşan renksiz ve kokusuz gazdır. Ağırlıklı olarak metan ve CO₂ içeren biyogazın içeriği Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Biyogazın enerji değeri içeriğindeki metan ile ilişkili olup, 1 m³ metan gazı 10 kWh enerji üretmektedir. Metan içeriği %50 kabul edilmiş biyogazın ısı değeri 21 MJ/Nm³, yoğunluğu 1,22 kg/Nm³ (Uçkun Kıran ve diğ, 2016). Çizelge 4.1'de biyogaz içeriği gösterilmektedir.

Çizelge 4.1: Biyogaz içeriği (Al Seadi ve diğ, 2008).

Ürün	Hacimsel Oran (%)
Metan gazı (CH ₄)	50-75
Karbondiyoksit (CO ₂)	25-45
Su Buharı (H ₂ O)	2 (20°C) – 7 (40°C)
Oksijen (O ₂)	<2
Nitrojen (N ₂)	<2
Amonyak (NH ₃)	<1
Hidrojen (H ₂)	<1
Hidrojen Sülfür (H ₂ S)	<1

Biyogaz üretiminin hem topluma hem de çiftçilere çevresel ve sosyoekonomik avantajları bulunmaktadır. Biyogazın toplumsal faydalarını sıralayacak olursak;

- **Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretiliyor olması:** Günümüzde üretilen enerjinin büyük kısmı yenilenemez enerji kaynağı olan fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Biyogaz üretiminde kullanılan biyokütle kaynakları, hem çevre dostu hem de sürdürülebilirdir.
- **Sera gazı salınımının azaltılması:** Fosil yakıtların kullanılmasından dolayı atmosfere salınan CO₂, sera gazı etkisine sahip olup, küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Biyogaz içeriğinde CO₂, sera gazı salınımı CO₂'in 23 katına eşit olan CH₄ ve 296 katına eşit olan nitrit oksitler bulunmaktadır. Biyogaz teknoloji ile üretilen CO₂, CH₄ ve nitrit oksitlerin, fosil yakıtların ürettiği sera gazlarından farkı, oluşan gazların atmosfere verilmeyip, kapalı bir şekilde fermentörde tutulmasıdır.

- **Fosil yakıtlara bağılığın azalması:** Fosil yakıtların sınırlı kaynaklar olması, Rusya ve Orta Doğu gibi belirli çevrelerde toplanması sebebiyle çoğu ülkede fosil yakıtlara bir bağılılık vardır. Fakat biyogaz teknolojisinde kullanılan biyokütle kaynaklar sayesinde fosil yakıtlara olan bağılılık azalmaktadır.
- **AB enerji ve çevre hedeflerine ulaşabilme:** Küresel ısınmanın sebep olduğu iklim değişikliğini engellemek amacıyla AB Komisyonu'nda oluşturulan hedefler bulunmaktadır ve üye ülkelerin oluşturulan bu hedeflere uygun olup olmadığını belirlemek için ölçümler yapılmaktadır. biyokütle enerji kaynaklarının kullanılması ile sera gazı salımı azaltılmış olup, AB çevre ve enerji hedeflerine ulaşabilmeye olanak sağlanmaktadır.
- **Atık Azaltma:** Biyokütle kaynağı olarak kullanılan evsel ve endüstriyel atıklar biyogaza çevrilerek azaltımı yapılmaktadır.
- **İş fırsatı:** Biyogaz teknolojisi sırasında atık toplama ve taşıma, teknik ekipmanların üretimi, montajı ve tesis işletimi gerekli olduğu için bu alanlarda iş fırsatı oluşmaktadır.
- **Esnek ve verimli kullanım:** Biyogaz pişirme ve aydınlanma için kullanılabilereği gibi ısı ve elektriği birlikte üreten kojenarasyon sistemlerinde de kullanılabilir. de.
- **Su girdisine ihtiyacın az olması:** Gelecekte su kıtlığı olması durumunda etkilenmeyecek bir üretim teknolojisi bulunmaktadır.
- **Çiftçilere ek gelir:** Biyokütle kaynağı üretecek olan çiftçiler ek gelir elde edebilmektedir.
- **Gübre:** Biyogaz üretim teknolojisinde sadece biyogaz değil, yan ürün olarak nitrojen, fosfor, potasyum içeriği yüksek olan kompost oluşmaktadır.
- **Besin zinciri:** Şekil 3.7'de gösterilen kapalı çevrim besin zincirine sebep olmaktadır.
- **Faklı hammadde kullanımı:** Hammadde olarak hayvansal gübre, çamur, ekin kalıntısı, günlük üretilen organik madde kalıntıları, gıda ve tarım endüstrisi kalıntı ürünleri, atık su, belediye katı atıkları, ev ve iş yerlerinde oluşan organik atıklar kullanılabilir. de.
- **Koku ve sineklerin azalması:** Hayvansal gübre ve organik atıkların depolanması koku oluşmasına neden olup, çevresinde sinekleri barındırmaktadır. Anaerobik çürütme prosesi ile üretilen biyogaz

teknolojisinde ise kapalı bir fermentör olduğu için, bölgeye yayılan koku ve sinekte azalma görölmektedir (Al Seadi ve diğ, 2008).



5. BİYOGAZ ÜRETİM TEKNOLOJİSİ VE ANAEROBİK ÇÜRÜTME

Uzun yıllar boyunca anaerobik çürütme sadece hayvan gübresi ve çamuru ile atıksu tesislerinden arıtma çamuru işlemleri ile ilişkilendirilmekte idi. 1970 yılları boyunca endüstrinin ürettiği organik atıklar ve evde üretilen kentsel atıklar biyogaz hammaddesi olarak gösterilmiştir. Bu gösterim çevresel farkındalık oluşturmuş, bunun sonucunda atık yönetimi stratejisi, ileri teknoloji içeren proses kontrol teknikleri gereksinimi getirmiştir. 1990'lü yıllarda ise Almanya, Avusturya gibi ülkelerde biyogaz hammaddesi olarak tahıl, mısır, çim, pancar, patates, ayçiçeği gösterilmiştir (Steffen ve diğ., 1998).

5.1 Biyokütle Kaynakları

Biyokütle kaynakları tarım esaslı biyokütle kaynakları, hayvansal gübre ve çamur, bitki atıkları, enerji bitkileri, endüstriyel esaslı biyokütle kaynakları, kentsel atıklar ve sucül biyokütle olarak ayrılabilirlerdir.

5.1.1 Tarım esaslı biyokütle kaynakları

En büyük potansiyele sahip olan hammadde, tarım esaslı olanlardır. Tarım esaslı biyokütle kaynakları çitliklerden toplanan gübre ve çamur gibi ara ürün ve kalıntıları, bitki artıkları, ara ürünleri ve atıklarını içermektedir. Son yıllarda bu kategoriye mısır, çim, şeker pancarı, ayçiçeği gibi enerji bitkileri de eklenmiştir.

- **Hayvansal Gübre ve Çamur**

Hayvan çiftlikleri dünyadaki sera gazı salınımlarının % 18'inden sorumludur (Info Resources, 2007). Bu emisyonların çoğu gübre ve çamurdan kaynaklıdır. Önceden oluşan gübrenin dökülmesi ile herhangi bir sınırlama olmazken, şu an birçok ülkede çevresel kısıtlamalar mevcuttur. Anaerobik çürütme gübre ve çamuru çevre dostu bir yaklaşımla atıkları değerli birer kaynak olan biyogaz ve komposta dönüştürmektedir. Hayvansal gübrenin kuru madde oranı % 10-30 oranı değişmekte iken, çamurda bu oran 10'un altındadır. Çamurdaki kuru madde oranı düşük olduğu için metana oluşumu

düşüktür. Bu sebeple çamur ve gübre çürütücüye karıştırılarak beslenmelidir. Oluşan bu karışımın saman ve lif içeriği dolayısı ile lignoselüloz içeriği yüksektir. Bu sebeple karışım çürütücü içerisinde zor ayrılmaktadır. Bunu önlemek için çürütücüye farklı ürünler (kentsel atıklar, enerji bitkileri, arıtma çamuru) birlikte beslenebilmektedir.

- **Bitki Artıkları**

Bu kategori sebze ve meyve artıkları ve ara ürünlerini, hasat kalıntılarını, bitkileri, kalitesi ya da kusurlu ekinleri, yem silajlarını kapsamaktadır. Bitki artıkları çoğu zaman hayvansal gübre ve ya diğer tip biyokütle kaynaklarına ek olarak birlikte çürütmek üzere kullanılmaktadır. İçeriğinde lignoselüzoik madde barındırdığı için çürütme öncesinde mekanik ön işlem yapılmaktadır.

- **Enerji Bitkileri**

Enerji bitkileri metan oluşumu yüksek olan içerisinde mısır, şeker pancarı, çim, tahıl, patates, ayçiçeği gibi bitkilerdir. Enerji bitkileri olarak adlandırılan bu bitkilerin metan oluşumları Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1: Enerji bitkilerinin metan oluşumu (Murphy ve diğ, 2011).

Enerji Bitkisi	Metan oluşumu (m ³ /VS)
Mısır	205-450
Çim	298-467
Yonca	290-390
Kenevir	355-409
Ayçiçeği	154-400
Yağlı Tohumlu Kolza	240-340
Patates	275-400
Şeker Pancarı	236-381
Yemlik Pancar	420-500
Arpa	353-658
Isırgan Otu	120-420
Saman	242-324
Yaprak	417-453

5.1.2 Endüstriyel esaslı biyogaz kaynakları

Yiyecek içecek, yem, balık işleme, süt, nişasta, şeker, ilaç, biyokimyasal ürünler, kozmetik, kâğıt hamuru ve kâğıt, kesimhane gibi sektörlerdir. Bu endüstrilerin oluşturduğu atıklar orijinlerine göre yapı, kompozisyon, kuru madde oranına ve bunlara göre ise metan potansiyeline sahiptir. Oluşan bu ürünlerin çoğu homojen, kolay ayrıştırılabilen ve karbonhidrat, protein ve yağ bakımından zengindir.

5.1.3 Kentsel atıklar

Evlerde oluşan yemek atığı, bahçe atığı gibi benzer organik atıkları ve arıtma çamurlarını kapsamaktadır. Anaerobik çürütmede kullanmak amacıyla bu organik atıkların kaynaklarından ayrılarak yüksek kaliteye ulaşması büyük bir çözümdür. Bu ayırma işlemi sonucunda atıkların çok az bir kısmı yakma ya da çöp gömülme işlemine uğramaktadır.

Çürütücüye beslenen kentsel atıklar, sistemin zarar görmemesi için organik madde dışında % 0,1'i aşmayacak şekilde yabancı madde içermelidir. Anaerobik çürütme kentsel atıksuyun aerobik olarak arıtımı sonucunda oluşan birincil ve ikincil kanalizasyon atığını işlemek için de kullanılmaktadır. Arıtma çamuru hayvansal çamura benzer bir metan oluşumuna sahiptir. Birincil atık, ikincil atıktan çok daha fazla potansiyele sahiptir. Arıtma çamurunu biyogaz üretiminde çok fazla miktarda kirletici içermesinden dolayı sınırlamaktadır. Çürütücüde kalan çamur da risk oluşturmaktadır.

5.1.4 Sucul biyokütle

Son yıllarda araştırma sonucunda metan potansiyeli yüksek olan sucul biyokütle deniz ve tatlı suda yaşamaktadır. Bu canlılar sadece biyogaz üretiminde değil, biyoyakıt üretmektedir. Sucul biyokütle makroalg ve mikroalg olarak iki alt kategoriye ayrılmaktadır.

Makroalg şeker ve diğer karbonhidratlar bakımından zengindir ve aynı zamanda biyo çeşitlilikte büyük bir role sahiptir. İkinci grupta yer alan mikroalgler ise, büyük bir çoğunluğu tek hücreli olan, mikroskop ile görülebilen fotosentetik organizmalardır. Dünyada 30,000 çeşidi olduğu bilinen, sadece bir kaçı ticari ilgi alanı girmektedir. Mikroalg yağ bakımından zengindir, fakat kuru madde oranı düşüktür. Biyoyakıt üretiminde yağdan suyu uzaklaştırmak gerekmektedir. Suyun uzaklaştırılması enerji kullanımı gerektirmektedir. Fakat biyogaz üretimi için kuru madde oranı % 8 olması yeterlidir.

Sucul biyokütle kaynakları ile alakalı gelecek vaat edici birçok araştırma çalışması yürütülmektedir. Büyük ölçekte de sucul biyokütle tesisi bulunmaktadır. Teknolojik çözümleri hala araştırma aşama aşamasındadır (Wellinger ve diğ, 2013). Biyogaz hammaddeleri özellikleri Çizelge 5.2'de gösterilmektedir.

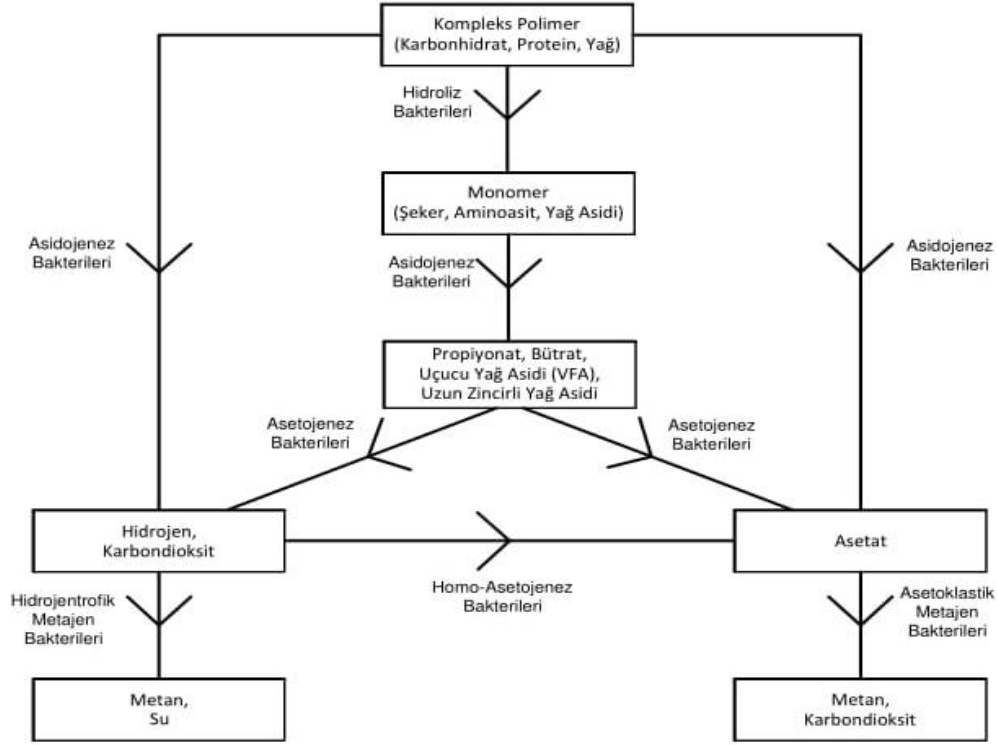
Çizelge 5.2: Biyogaz hammaddeleri özellikleri (Wellinger ve diğ, 2013).

Hammadde Türü	Organik İçerik	C:N Oranı	TS (%)	VS % of DM	VS (%)	Metan Verimi (m ³ CH ₄ / kg VS)	Metan Üretimi, (m ³ CH ₄ / m ³)
Hayvansal Atık ve Ara Ürünleri							
Domuz Çamuru	KH, PRT, Y	7	5	80,0	4,0	0,30	12,0
Katı Domuz Gübresi	KH, PRT, Y	7	20	80,0	16,0	0,30	48,0
Büyükbaş Çamuru	KH, PRT, Y	13	8	80,0	6,4	0,20	12,8
Sığır Gübresi	KH, PRT, Y	13	20	80,0	16,0	0,20	32,0
Tavuk Dışkısı	KH, PRT, Y	7	5	80,0	4,0	0,30	12,6
Tavuk Gübresi	KH, PRT, Y	7	20	80,0	16,0	0,30	48,0
Mide, Bağırsak İçeriği (Sığır)	KH, PRT, Y	4	12	80,0	9,6	0,40	38,4
Mide, Bağırsak İçeriği (Domuz)	KH, PRT, Y	4	12	80,0	9,6	0,46	44,2
Bitkisel Atık ve Ara Ürünleri							
Saman	KH, Y	90	70-90	80-90	-	0,15-0,35	-
Bahçe Atığı	KH, Y	125	60-70	90	-	0,20-0,50	-
Çimen	KH, Y	18	20-25	90	-	0,30-0,55	-
Meyve Atığı	KH, Y	35	15-20	75	-	0,25-0,50	-
Organik Endüstri Atıkları							
Peynir Altı Suyu	Laktoz, PRT	-	5	90	4,5	0,33	15,0
Konsantre Peynir Altı Suyu	Laktoz, PRT	-	10	90	9,0	0,54	31,5
Sıvı Çamur	Laktoz, PRT	-	5	80	4,0	0,54	21,6
Balık Yağı	-	-	90	90	81,0	0,80	648,0
Soya Yağı/ Margarin	-	-	95	90	85,5	0,80	684,0
Alkol	-	-	40	95	38,0	0,40	152,0
Zeytin Küspesi	-	-	24	90	18	0,33	59,4
Atıksu Çamuru	-	-	5	75	3,75	0,4	15,0
Konsantre Atıksu Çamuru	-	-	10	75	7,5	0,4	30,0
Yemek Artığı	-	-	10	80	-	0,50-0,60	-

5.2 Biyogaz Üretimi

5.2.1 Biyogaz üretim aşamaları

Anaerobik çürütme, birkaç anaerobik mikroorganizma tarafından artarda ve etkileşimli olarak gerçekleşen kompleks bir biyokimyasal prosestir. Anaerobik çürütme dört ana aşamadan oluşmakta olup, Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Biyogaz üretim aşamaları (Uçkun Kıran, Stamatelatu, Antonopoulou, & Lyberatos, 2016).

Hidroliz: Organik polimerler hücre dışı enzimler tarafından hücre duvarına (karbonhidrat, protein ve yağ) kendi monomerlerine (şeker, amino asit ve yağ asitler) doğru hidrolize edilirler. Karbonhidrat hidrolizi birkaç saat içinde gerçekleşirken, protein ve yağların hidrolizi birkaç günde gerçekleşmektedir.

Bu aşamada görev alan bakteriler hidroliz bakterileridir. Hidroliz bakterileri çözünmez maddeleri çözünür hale getirmek için, polimer moleküllere ait olan zincirleri kırarak monomere çevirmektedir.

Asidojeniz: Asidojeniz bakteriler tarafından gerçekleşen asidojeniz aşamasında hidroliz aşamasında oluşan monomerler, propiyonat, bütrat, uzun zincirli yağ asidi ve

uçucu yağ asidine dönüşürler. Oluşan ürünler çoğu uçucu yağ asididir. Bunlara ek olarak bazı bakteriler diğer bir aşama ürünleri olan, asetat, H₂ ve CO₂ de üretebilmektedir.

Biyoküttelede karbonhidrat içeriğinin fazla olduğu durumlarda, H₂ üretimi fazla olmakta ve biyoyakıt olarak doğrudan kullanımı mevcuttur. Asidojenez bakteriler yüksek büyüme hızına sahiptir ve pH 5-6 seviyelerine kadar büyümeye devam edebilir. Hızlı büyümenin sonucunda, asidik ürünler üretilmezse, ortam pH'nın azalması sebebiyle anaerobik çürütme sona erebilmektedir.

Asetojenez: Bir önceki aşamada oluşan yağ asitleri ve diğer organik maddeler asetojenez bakterileri tarafından asetik asit, CO₂ ve H₂'ye dönüştürülürler.

Oluşan H₂ ve O₂ ise homoasetojenez bakterileri tarafından asetata çevrilebilmektedir. Asetojenez aşaması bakterilerin yavaş büyümesi sebebiyle genellikle uzun sürmektedir.

Metanojenez: Bu aşamada farklı substratlardan metan ve CO₂ üreten iki farklı mikrobiyal grup bulunmaktadır. İlk grup bakteri asetik asit üzerinde büyüyen ve metan üretimini gerçekleştiren asetoklastik metajen bakterilerdir. Asetoklastik metajen bakterileri pH, besin ve geçiş elementlerine bağlı büyüme hızına sahip olup, hızı diğer mikroorganizmalara göre iki kat daha yavaştır.

İkinci grup mikroorganizmaları H₂ ve CO₂ kullanarak metan üreten hidrojentrofik metajenlerdir. Biyogazdaki metan içeriği, substrat içeriğine ve substratta gerçekleşen organik karbon oksidasyonuna bağlıdır. Ayrıca başlangıçta olan substratların sayısı proses sırasında azaldıkça, metan üretimi artmaktadır (Uçkun Kıran ve diğ, 2016).

5.2.2 Biyogaz üretim verimini artırıcı ön işlemler

Biyogaz üretim veriminin artması için farklı ön işlemler bulunmaktadır. Bunlar fiziksel, kimyasal, biyolojik, fizikokimyasal yöntemler olarak ayrılmaktadır. Fiziksel yöntem olarak, mekanik öğütme, ultrasonik dalga, mikrodalga, termal, basınç değişimi gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler hidroliz aşamasını hızlandırarak, polimerlerden monomerlere dönüşümü artırmaktadır. Mekanik öğütme ile yüzey alanı artırılarak çözünürlüğün artışı sağlanmaktadır. Ultrasonik dalga ile mikrobiyal hücre duvarını kırarak hücre içi malzemenin dışa çıkartılmaktadır. Mikrodalga suyun kaynaması için kinetik enerjisini arttıran, 300 MHz ile 300 GHz frekansları arasında

değişebilen kısa elektromanyetik enerji dalgalarıdır. Mikrodalga ışımasıyla hidrojen bağlarını kırabilmektedir. Basınç değişimi ile ise mikrobiyal hücre duvarları kırılarak çözünürlüğün artışı sağlanmaktadır (Zhang ve diğ, 2014). Termal ön ısıtma işlemi sayesinde, suya geçen katı madde miktarı artırılarak, çözünürlük artışı meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, hücre hidrolizine neden olmakta, hücre monomerlerine daha hızlı ve daha sağlıklı bir şekilde ayrılmaktadır. Ön ısıtma işlemi olarak verilen ısı enerjisi hücre duvarı ve membrandaki kimyasal bağları yıkarak hücre içinin karışımının tümüne yayılmasını sağlamaktadır (Aboufoth ve diğ, 2015). Çözünürlük artışı ile biyogaz üretim aşamasında yer alan VFA'ların üretimi artmakta, bu nedenle, biyogaz üretim miktarı da artış göstermektedir (Ferrer ve diğ, 2008).

5.3 Biyogaz Üretimini Etkileyen Parametreler

Anaerobik çürütmede hız belirleyici olan etmen VFA'nın metana dönüşümüdür. VFA ayrıştırılması ile metan bakterileri çok düşük bir enerji elde ederken, geriye kalan enerji metana aktarılmaktadır.

Metan bakterilerinin VFA'dan düşük miktarda enerji alması, bu bakterilerin büyüme hızını kısıtlamakta böylece bakteri başına kullanılan substrat miktarı fazladır. Bu sebeple bakteri büyümesi ve sulu çamur üretimi düşüktür. İstenilen katı yıkımı ve metan üretim hızına ulaşabilmek için optimum operasyon koşullarında çalışılmalıdır.

Metan bakterileri anaerobik mikroorganizmalardır ve alkalinite, pH ve sıcaklığa karşı hassaslardır. Bu sebeple, operasyon koşulları periyodik olarak izlenmeli, kontrol edilmeli ve optimum aralıkta çalışılmalıdır. Metan bakterileri alkalinite, pH ve sıcaklığa ek olarak toksisite, bekleme süreleri, organik yükleme hızı gibi parametrelerden de etkilenmektedir. Bu sebeple bu parametreler de incelenmelidir.

Anaerobik çürütücüleri kontrol etmek, direkt ya da indirekt olan fazla sayıda operasyon koşulu olduğu için zordur. Diğer bir zorluk ise birbirinden farklı optimum çalışma sıcaklığına sahip olan bakterilerin varlığıdır.

5.3.1 Proses sıcaklığı

Anaerobik çürütücülerde genel problem ısıtma sığasını kaybı ve optimum çürütücü sıcaklığının devamının sağlanamamasıdır. Değişen sıcaklık, istenmeyen bakteri aktivitesini engellemektedir. Birkaç derece sıcaklığın değişmesi bile bakterilerin

biyolojik aktivitesini etkilemektedir. Hatta bu etkilenme bakterilerin inhibasyonuna bile neden olabilmektedir. Sıcaklığın stabilitesi karıştırma ile sağlanabilmektedir.

Sıcaklık hem fizikokimyasal, hem de mikrobiyolojik proseslerde etkili bir parametredir. Fizikokimyasal parametreler faz dağılımı, kütle transferi hızı ve çözünürlükle ilgilidir. Kimyasal reaksiyonlarda sıcaklığın artışı kimyasal oluşum hızı ile doğru orantılı olduğu kabul edilmektedir. Fakat bu durum biyolojik bozunma proseslerinde her zaman geçerli değildir. Bunun nedeni mikroorganizmaların varlığını belirli sıcaklık değerlerinde sürdürebilmesidir. Bu sıcaklık değerlerinin aralığından çıkıldığında mikroorganizmada kalıcı hasarlar meydana gelebilmektedir. Anaerobik çürütmede mikroorganizmaların maksimum büyüme hızı, yarı doygunluk sabiti, büyüme verimi ve çürüme hızı ile ilişkili olduğu için, sıcaklığın büyük bir etkisi vardır.

Mikroorganizmalar 3 farklı kategoriye ayrılmış sıcaklık aralığında anaerobik çürütme prosesini gerçekleştirmektedir. Bu aralıklar sakrofilik, mezofilik ve termofilik mikroorganizmalara ait sıcaklık aralıkları olup, sakrofilik mikroorganizmaların çalışma sıcaklıkları 0-25 °C arası, mezofilik mikroorganizmaların çalışma sıcaklıkları 25-40 °C arası ve termofilik mikroorganizmaların çalışma sıcaklıkları ise 40-60 °C arasındadır. Proses sıcaklığı ile hidrolitik bekletme süresinin doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. Sakrofilik mikroorganizmaların bulunduğu sıcaklık değerinde bekletme süresi en az 70-80 gün iken, mezofilik mikroorganizmaların bulunduğu sıcaklık değerinde 30-40 gün, termofilik mikroorganizmalarda ise bu süre 15-20 gün arasında değişmektedir. Mikroorganizma türleri ve ortam koşullarına ait özet veriler Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3: Mikroorganizma türleri ve ortam koşulları (Gerardi, 2003).

Mikroorganizma	Sıcaklık Aralığı (°C)	Minimum Bekletme Süresi (gün)
Sakrofilik	0-25	70-80
Mezofilik	25-40	30-40
Termofilik	40-60	15-20

Biyogaz oluşum aşamalarındaki mikroorganizmalar incelendiğinde, metanojenik mikroorganizmaların diğer mikroorganizmalara göre daha fazla sıcaklığa duyarlı olduğu görülmüştür.

Sakrofilik proses iklim koşulları ve mevcut enerjiden dolayı kullanılmakta olup, özel bir seçim değildir. Genellikle çürütücülerin ısıtma ihtiyacı olmadığından dolayı, enerji ihtiyacı olmayan ve yoğun bir teknoloji içermeyen bir sistemdir. Termofilik mikroorganizmaların bulunduğu termofilik proses mezofilik ve sakrofilik prosese göre bazı avantajları bulunmaktadır.

Avantajları:

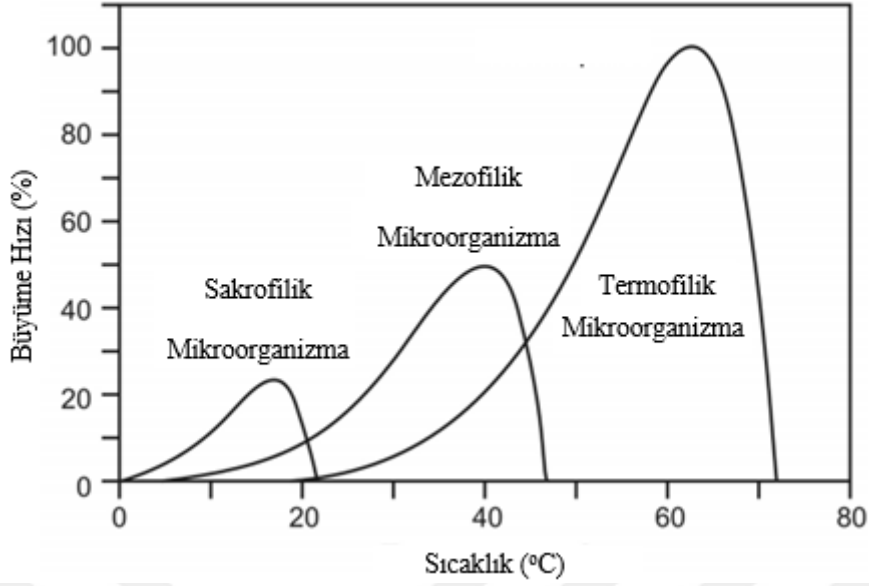
- Daha hızlı ve daha verimli gerçekleşen proses sonucunda bekletme süresinin kısalması,
- Patojenleri etkili bir şekilde yok etme,
- Yüksek sıcaklıklarda metanojenik mikroorganizmaların büyüme hızlarının artması,
- Uzun zincirli yağ asitlerinin daha iyi çürütülmesi,
- Katı ve sıvı fazın ayrımının daha iyi olması

Dezavantajları:

- Yüksek sıcaklıklarda çalışıldığı için yüksek enerji ihtiyacı, ısı değiştirici ve yalıtım için yüksek yatırım maliyeti,
- Amonyak inhibisyonunun yüksek risk oluşturması

Proses sıcaklığı amonyak toksisitesini etkiler. Amonyak toksisitesi sıcaklık artışı ile artmakta, sıcaklık düşüşü ile ise azalmaktadır. Sıcaklık 50 °C ve altında olduğunda, termofilik mikroorganizmaların büyüme hızı keskin bir biçimde düşmektedir. Termofilik proseste mezofilik prosese göre gaz verimi ve dönüşümü daha fazladır.

Biyogaz oluşumunda tek bir mikroorganizma faaliyet göstermemekte, aşama aşama mikroorganizmalar farklılık göstermektedir. Bu organizmaların büyümek için farklı sıcaklık aralıklarına ihtiyacı vardır. Bu aralıklarda her bir mikroorganizmanın farklı optimum sıcaklık değerleri bulunmaktadır. Şekil 5.2’de görüldüğü üzere, sakrofilik prosteki mikroorganizmaların büyüme hızı 17 °C’ta yaklaşık %20, mezofilik proseslerde 40 °C’de %50, termofilik proseste ise 65 °C sıcaklıkta %100 olduğu görülmektedir. Optimum büyüme hızı hemen sonrasında, tüm sıcaklık değer aralıklarında enzimlerin denature olmasından dolayı büyüme hızında ani bir düşüş oluşmaktadır.



Şekil 5.2: Mikroorganizma türlerinin büyüme hızları (Batstone & Angelidaki, 2011).

Amonyak, hidrojen, metan, H₂S, VFA gibi çeşitli bileşiklerin çözünürlüğü sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklığa bağlı olan başka bir parametre de viskozitedir. Substrat yüksek sıcaklıklarda daha fazla sıvı faz içermekte, böylece çözülmüş maddelerin difüzyonu daha kolay bir şekilde gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklıklarda pompalama ve karıştırma daha kolay gerçekleşmektedir. Böylece sıvı gaz transferi ve kütle transferi artmaktadır. Difüzyon gücü de sıcaklık artışı ile artmaktadır. Böylece sıcaklık artışı sıvı gaz transfer hızını artırmaktadır. Özet olarak termofilik proses daha hızlı kimyasal reaksiyon hızına böylece daha verimli metan üretimine, daha fazla çözünürlüğe ve daha düşük viskoziteye sahiptir.

Metanojenik mikroorganizmalar ani sıcaklık değişimlerinden, gündüz ve gece arasındaki sıcaklık farkından çok çabuk etkilenmektedir, bu sebeple biyogaz üretim proseslerinde sıcaklığı sabit tutmak oldukça büyük önem taşımaktadır. Termofilik proseste sıcaklığı sabit tutmak ise daha büyük bir önem teşkil etmektedir, çünkü sıcaklık dalgalanmaları biyogaz üretimini negatif şekilde etkilemektedir. Termofilik mikroorganizmalar +1 °C sıcaklık değişimine diğer mikroorganizmalardan daha hassaslık gösterirler ve yeni sıcaklığa adapte olma süreleri diğerlerine göre uzun olur. Mezofilik mikroorganizmalar ise metan üretiminde düşüş olmadan +3 °C sıcaklık değişimini tolere edebilmektedirler (Batstone ve Angelidaki, 2011), (Wellinger ve diğ., 2013).

5.3.2 pH ve alkalinite

pH değeri çözeltilinin asitlik/ bazlık ölçümünü göstermektedir. Substratın pH değeri metanojenik mikroorganizmaların büyüme hızlarını ve bazı bileşiklerin çözümlerini etkilemektedir.

Metanojenik mikroorganizmalar tarafından sağlanan metan oluşumunu dar bir pH aralığında görülmektedir. Bu aralık 5,5-8,5'tir. Optimum aralık ise 7,0-8,0'dir. Asidojenik mikroorganizmalar için ise bu değer genelde daha düşüktür.

Mezofilik şartlarda işletilen anaerobik çürütmede optimum pH 6,5-8,0 değerleri arasındadır. pH 6,0'nın altında ve ya 8,3 'ün üzerinde olduğunda ise mikroorganizmalar inhibite olabilirler. Sudaki karbondioksitin çözünürlüğü sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Bu sebeple termofilik sıcaklıklarda işletilen anaerobik çürütücünün optimum pH değerleri daha yüksektir. Çünkü çözülmüş CO₂ su ile reaksiyona girerek karbonik asit oluşturmaktadır.

Beslemede bulunan proteinin zaman içerisinde degrade olması ile amonyak oluşur ve oluşan amonyak pH değerini yükseltebilmektedir. Anaerobik çürütücüde pH değeri bikarbonat amonyum tamponu ile kontrol edilmektedir. Yani, çürütücü içerisindeki pH değeri CO₂'in kısmi basıncına ve sıvı fazdaki asit ve baz bileşenlerin konsantrasyonuna bağlıdır. Bikarbonat tamponu pH'ın düşerek metanojenik mikroorganizmalar üzerinde negatif etki etmesini engeller. Bikarbonat tamponu çürütme esnasında oluşan VFA'ları bağlı halde tutacağından dolayı pH'ın düşmesine izin vermez.

Anaerobik çürütücülerde pH yükseldiğinde iki yol izlenmektedir. Birincisi organik yükleme yapılmaya ara verilmelidir. Bu şekilde metanojenik mikroorganizmaların konsantrasyonları artar ve de uçucu yağ asitleri konsantrasyonu düşmektedir. pH yaklaşık olarak 6,8 seviyelerine geldiğinde ara verilen beslemeye devam edilebilmektedir. İkinci yol ise kimyasal madde ekleyerek pH'ı yükseltmek ve tamponun kapasitesini artırmaktır. Kimyasal madde eklemek hızlı bir şekilde pH'ı istenilen aralığa getirmektedir. Bahsedilen kimyasal maddeler Çizelge 5.4'te gösterilmiş olup, bunlar; amonyak (NH₃), kostik soda (NaOH), kireç (CaO, Ca(OH)₂), soda külü (Na₂CO₃), sodyum bikarbonat (NaHCO₃)'tır. Sistemde pH düştüğünde, yüksek pH değerine sahip olan amonyak, kostik soda, kireç gibi malzemeler eklenerek pH değerinin yükselmesi sağlanır.

Çizelge 5.4: pH ve alkalinite ayarlaması için sıklıkla kullanılan kimyasal maddeler (Gerardi, 2003).

Kimyasal Madde	Formül
Amonyak	NH ₃
Kostik Soda	NaOH
Kireç	CaO, Ca(OH) ₂
Soda Külü	Na ₂ CO ₃
Sodyum bikarbonat	NaHCO ₃

5.3.3 C:N oranı

Biyokütle C, H, N, O'den oluşmaktadır. Anaerobik çürütme esnasında C, H ve O, CH₄ ve CO₂'e çevrilmektedir. N ise yeni hücreler oluşturmak için yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

C/N oranı, atık ve bileşiminde kontrol edilmesi gereken ilk konudur. En iyi verimde çalışması planlanan sistem için, oran istenilen aralıkta olmalıdır. Azotun yeterli miktarda olması, mikroorganizmaların nükleik asit ve protein sentezi için gerekli olduğu gibi sistemin tamponlama kapasitesini artırması ve pH'ın düşürülmesi için de gereklidir. En uygun C:N oranı 20-30:1 arası kabul edilmektedir. C:N oranının bu değerden büyük olması durumunda, protein ihtiyacını karşılayabilmek için metan mikroorganizmaları tarafından tüm azot tüketilecek ve az sayıda yeni hücre meydana gelecektir. Hammaddenin karbon içeriği ise uzun süre tepkimeye giremeyecektir. C:N oranının bu değerden küçük olması durumunda ise, kullanılan azot amonyak üretmekte ve bu üretilen amonyak çürütücüdeki pH'ı artırarak, pH aralığının dışına saptırabilmektedir. pH'ın 8.5'tan yukarı olması durumunda ise metan mikroorganizmalarının pH yaşama aralığının dışına çıkmaktadır.

5.3.4 Toksikite

Susbrat içerisinde, biyolojik reaksiyonları etkileyerek biyogaz verimini etkileyen bazı toksik maddeler mevcut olabilmektedir. Mineral iyonlar ve ağır metaller çürütme esnasında mikroorganizmaların büyümelerine izin vermezler, bu duruma toksisite denmektedir. Mineral iyonlar ve ağır metaller belli bir seviyeye kadar mikroorganizmaların hızını artırarak çürütmeye pozitif bir etki yaparken, belli bir seviyeden sonra ise negatif etkiye sebep olmaktadır. Çizelge 5.5'de amonyak, arsenik, bor gibi inorganik maddelerin toksisite değerleri, Çizelge 5.6'da alil alkol, oktil alkol gibi organik maddelerin toksisite değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.5: İnorganik maddelerin toksisite değerleri (Gerardi, 2003).

İnorganik Madde	Toksisite değeri (mg/L)
Amonyak	1500
Arsenik	1,6
Bor	2
Kadmiyum	0,02
Krom (Cr+6)	5-50
Krom (Cr+3)	50-500
Bakır	1-10
Siyanür	4
Demir	5
Magnezyum	1000
Sodyum	3500
Sülfür	50
Çinko	5-20

Çizelge 5.6: Organik maddelerin toksisite değerleri (Gerardi, 2003).

Organik Madde	Toksisite değeri (mg/L)
Alil Alkol	100
Oktil Alkol	200
Akilonitril	5
Benzidine	5
Kloroform	10-16
Tetraklorometan	10-20
Metilen Klorür	100-500
Trikloroetan	1
Trikloroflorometan	20
Triklorofloroetan	5

5.3.5 Bekletme süreleri

Anaerobik çürütme için iki önemli bekleme süresi bulunmaktadır. Bunlardan biri katı bekletme süresi (solid retention time, SRT), diğeri ise hidrolik bekletme süresidir (hydraulic retention time, HRT). SRT (solid retention time) çürütücü içerisinde bulunan bakterilerin/katıların ortalama bulunma süresini, HRT (hydraulic retention time) ise beslemenin çürütücüde kaldığı ortalama süreyi belirtmekte olup, büyük bir önem teşkil etmektedir.

Anaerobik çürütücü SRT süresi 12 günden fazladır. Metan oluşturan bakteriler diğeri anaerobik bakterilere ve fakültatif anaerobik bakterilere oranla daha uzun sürede büyüdüğü için bu süre daha uzundur. HRT ise VFA'nın metana dönüşümü işlemini etkilemektedir.

Katı bekletme süresi 10 günden az olması önerilmemektedir. 10 günden daha az olan su dolma sürelerinde metan oluşturan bakterilerin yıkanması olayı gerçekleşmektedir. Yüksek SRT değeri anaerobik çürütücü için avantajları bulunmaktadır. SRT süresinin uzun olmasının avantajı removal kapasitesini maksimize eder, gerekli olan çürütücü hacmini azaltır, şok yükleme ve toksik maddelere karşı koruma sağlar. Yüksek SRT değeri toksik bileşiklerin biyolojik aklımasyonun oluşmasına yardımcı olmaktadır. SRT'nin arttığını anlamak iki şekilde mümkündür. Birincisi çürütücüdeki ürünün hacmi artmaktadır. İkincisi ise bakteri/katı konsantrasyonu artmaktadır.

Uçucu katıların gaz ürünlerine dönüşmesi ise HRT ile kontrol edilmektedir. HRT değeri hızı ve metan oluşumunun miktarını etkilemektedir. HRT, fermantasyonun tamamlanabilmesi için beslemenin reaktör içerisinde beklemesi gereken süreyi belirtmektedir. HRT reaktör hacminin günlük debiye bölünmesi ile hesaplanmakta olup Denklem 5.1'de gösterilmiştir.

$$HRT = \frac{\text{Reaktör Hacmi (m}^3\text{)}}{\text{Günlük Debi (} \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \text{)}} \quad (5.1)$$

5.3.6 Organik yükleme hızı

Organik yükleme hızı (Organic Loading Rate, OLR), fermentöre günlük olarak beslenmesi gereken organik madde miktarını temsil etmektedir. OLR'nin birimi $\text{kgODM/m}^3 \cdot \text{gün}$ olup, reaktör birim hacmi başına günlük yüklene kuru madde miktarıdır. OLR formülü Denklem 5.2'de verilmiştir.

$$OLR = \frac{\text{Günlük Debi (} \frac{\text{m}^3}{\text{gün}} \text{)} * \text{Organik Kuru Madde Oranı}}{\text{Reaktör Hacmi (m}^3\text{)}} \quad (5.2)$$

5.3.7 Diğer

Başlangıç

İlk besleme için gerekli olan bakterilerin ve mikroelementlerin temini için hayvan dışkısı ya da aşı kullanılmaktadır.

İlk besleme, bakterilerin inhibite olmaması için pH ve alkalinite kontrol edilerek yapılmalıdır. Yükleme sırasında aceleci davranarak pH'ın ani değişimine engel olunmalıdır. Ayrıca çürütücü içerisinde asitleri nötralize edebilecek bir alkalinitenin varlığı kontrol edilmelidir.

İlk besleme esnasında çürütücüyü uygun pH'ta tutmak için bazı kimyasallar eklenebilmektedir. Bu kimyasallar maliyetine, güvenliğine, depolanmasına göre seçilmelidir. Çürütücü içerisindeki pH optimum aralıktan yüksek ise amonyak zehirlenmesi meydana gelebilmektedir.

Amonyak Varlığı

Amonyak gıda ürünlerinde ve gübrede büyük oranda bulunan önemli bir bileşiktir. Amonyak anaerobik çürütücü için de büyük bir önem teşkil etmektedir. Bu sistemlerde proteinler büyük bir amonyak kaynağıdır. Çürütücü içerisinde yüksek amonyak konsantrasyonu toksisiteye neden olmaktadır. Metanojenik bakteriler amonyak toksisitesine hassaslık göstermektedir. Hayvansal çamurda bulunan üre, yüksek oranda amonyak içermektedir.

Çizelge 5.7'de amonyak varlığının etkileri gösterilmiştir. Amonyakın toksik etkisini yok etmek için, konsantrasyonu 3000 mg/L'nin altında tutulmalıdır (Wellinger ve diğ., 2013).

Çizelge 5.7: Amonyak Konsantrasyonu Etkileri (Gerardi, 2003).

Amonyak Konsantrasyonu (mg/L)	Etki
50-200	Yararlı
200-1000	Olumsuz etki yoktur.
1500-3000	pH>7 ise, toksik

5.4 Biyogaz Reaktörleri

Biyogaz reaktörleri aşama sayısına, kuru/yaş olma durumuna besleme şekline göre değişebilmektedir.

5.4.1 Aşama sayısına göre reaktör çeşitleri

Aşama sayısına göre reaktör çeşitleri bir ve iki aşamalı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bir aşamalı reaktörlerde anaerobik çürütmenin tüm aşamaları bir fermentörde gerçekleşmektedir.

İki aşamalı reaktörde ise hidroliz ve asitleşme aşamaları birinci fermentörde, asit ve metan oluşumu ise ikinci fermentörde gerçekleşmektedir. İki aşamalı reaktörler optimizasyon amacıyla yapılarak, küçük reaktörlerde daha fazla gaz verimi elde edilmektedir (Kaya ve Öztürk, 2012).

5.4.2 Kuru/yaş olma durumuna göre reaktör çeşitleri

Katı madde içeriği %20 ile % 40 arasında olan beslemenin yapıldığı reaktör, kuru tip reaktör, katı madde içeriği % 20'den düşük olan beslemenin yapıldığı reaktör ise yaş tip reaktör olarak nitelendirilmektedir.

Kuru tip reaktörlerin özellikleri;

- Bekleme süresi uzundur.
- Zor olan ön işlem gerektirmez.
- Enerji gereksinimi düşüktür.
- Beslemeyi karıştırmak zordur.

Yaş tip reaktörlerin özellikleri;

- Köpük tabakası oluşumu gözlenmektedir.
- Su ve enerji tüketimi yüksektir.

5.4.3 Besleme şekline göre reaktör çeşitleri

Reaktör çeşitleri besleme şekline göre 3'e ayrılmaktadır. Bunlar, kesikli, yarı kesikli ve sürekli reaktörlerdir.

Kesikli tip reaktörlerde, reaktör belirli bir süre boyunca besleme ile doldurulur. Sonrasında yalıtım yapılır ve böylece fermantasyon işlemi başlatılmış olur. Sürekli tip reaktörlerde, hammadde sürekli olarak reaktöre beslenmektedir. Yarı kesikli reaktörlerde ise, sadece günün belirli zamanlarında hammadde yüklemesi yapılmaktadır.

Avrupa'daki büyük ölçekli olan tesislerin neredeyse tamamı sürekli tip reaktörler kullanmaktadır. Yalnızca çim silajında durum değişmektedir. Çim silajının kuru katı içeriği, lifli yapısı ve düşük enerji gereksinimi nedeni ile kesikli tip reaktörler daha uygun olabilmektedir (Kaya ve Öztürk, 2012).

5.5 Avrupa Birliği Biyogaz Yönetmeliği

Hayvansal yan ürünler için anaerobik çürütme prosesinden önce gübre ve hayvansal yan ürünlerde olası bulunan patojenlerin oluşturma risklerini azaltmak için zorunlu olarak ön işleme tabi tutulmalıdır. Bu zorunluluk Avrupa Komisyonu tarafından

belirlenmiş olup, Commission Regulation (Komisyon Yönetmelikleri)(EU) No 142/2011 adı ile en son 25 Şubat 2011’de revize edilmiştir.

Bu yönetmeliğe göre, hayvansal yan ürünler olası patojen bulundurma durumuna göre 3 kategoriye ayrılmıştır.

Birinci kategoride prion adı verilen hastalık oluşturucu proteinleri içerebilen özgün risk ürünleri bulunmaktadır. Prion deli dana hastalığına neden olabilmektedir. Birinci kategoride sığır, evcil ve hayvanat bahçesinde bulunan hayvanlara ait cesetler bu kategoride yer almaktadır. Bu ürünlere örnek olarak bu hayvanlara ait göz, beyin, dalak ve bağırsak verilebilir. Birinci kategoride bulunan bu ürünler ya teknik amaçlar için kullanılmalı ya da yakılmalıdır. Birinci kategorideki ürünlerden biyogaz üretimine izin verilmemektedir.

İkinci kategoride bulunan hayvansal ürünler birinci kategoriye dahil olmayan hayvanlar (ölü domuz, kümes hayvanları, at gibi) ve bu hayvanların beşer tüketim için kullanılan çöplerini içermektedir. Gübre ve sindirim sistemi ürünleri ikinci kategoride yer almaktadır. İkinci kategoride bulunan bu ürünler anaerobik çürütme öncesinde 133 °C ve 3 bar’da 20 dakika sterilize edilmelidir. Gübre ise buna ek olarak, anaerobik çürütücü sonrasında da sterilize edilmelidir.

Üçüncü kategori ürünleri beşeri tüketim için kullanılan hayvansal ürünleri ve kanı içermektedir. Üçüncü kategori ürünleri en fazla 12 mm boyutunda parçalardan oluşmalı ve anaerobik çürütme öncesinde 70 °C’de 1 saat pastörizasyon işlemine tabi tutulmalıdır (Union, 2018).

5.6 Türkiye Biyogaz Yönetmeliği

Biyogaz tesisleri için uygulanan standartlar, 2014 yılında Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan “Hayvansal yan ürün kullanan biyogaz ve kompost tesislerinin çalışma usul ile esaslarına ilişkin talimat” adlı talimattan alınmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2014).

Bahsedilen talimatta geçen hayvansal ürün kategorileri “İnsan tüketimi amacıyla kullanılmayan hayvansal yan ürünler yönetmeliği” adlı yönetmelikte yer almaktadır. Kategori 1 ürünleri, delidana hastalığı taşıyan veya taşıdığından şüphelenilen hayvanların, çiftlik hayvanları ve yabani hayvanlar hariç, pet hayvanları, sirk ve

hayvanat bahçesi hayvanları gibi hayvanların, insan veya hayvanlara bulaşabilecek bir hastalık etkeni taşıdığından şüphelenilen yaban hayvanlarının, deri ve postları dâhil tüm gövdeleri veya parçaları, vs.

Kategori 2 ürünleri, fosilleşmemiş gübre ve sindirim sistemi ürünleri, içeriğinde yabancı cisim bulunması nedeniyle insan tüketimine uygun olmadığı belirlenen hayvansal ürünler, vs.

Kategori 3 ürünleri, insan tüketimine uygun olan kesilen hayvanların cesetleri ve parçaları ile öldürülen av hayvanlarının gövdesi veya parçaları, insanlara ve hayvanlara geçebilen bulaşıcı hastalık belirtisi göstermeyen, çiftlikte kesilen kümes hayvanlarından elde edilen hayvansal yan ürünler, yemek atıkları, risk oluşturmayan gıda maddeleri, bulaşıcı hastalık belirtisi olmayan hayvanların kan, toynak, tüy, kıl, plasenta, boynuz ve çiğ sütü, vs.

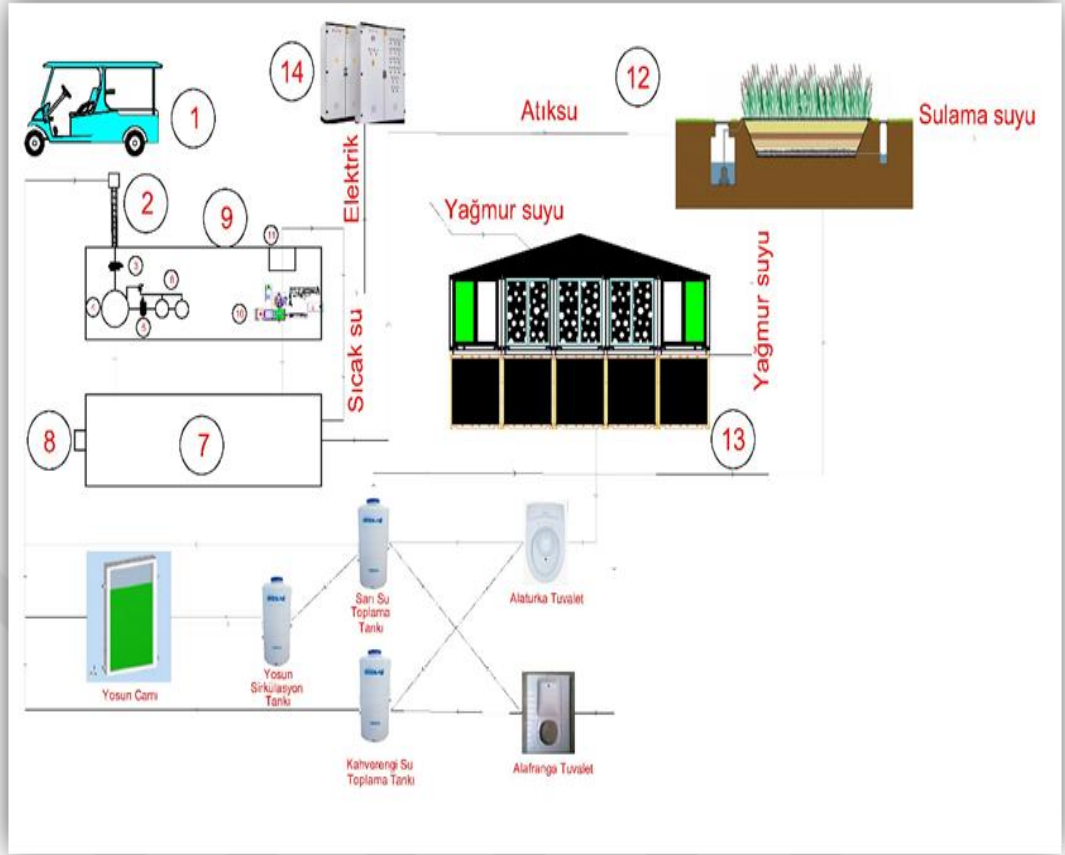
Bahsedilen kategorilerden, Kategori 2 ve Kategori 3 ürünlerinin biyogaz üretimine izin verilirken, Kategori 1 ürünleri ise teknik amaçla kullanılmalı ya da yakılmalıdır (Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, 2011).

Hayvansal yan ürün beslenen biyogaz tesislerinde, parça büyüklüğü en çok 12 mm olmalı ve fermentöre beslenmeden önce pastörizasyon/hijyenizasyon ünitesi bulunmalıdır. Bu ünite içerisinde, bir saat boyunca 70 °C'lik ısının korunup korunmadığını sürekli izleyecek ekipman, bu ekipmandan alınan verileri sürekli olarak kaydedecek bir cihaz ve de yetersiz ısıtmayı bildirip önleyecek bir sistem bulunmalıdır.

Fermentör öncesinde 70 °C ve 1 saat pastörize etme zorunluluğu dışında, 7 adet alternatif yöntem bulunmaktadır.

5.7 İTÜ: Sürdürülebilir Enerji Üssü

Tez çalışmasında İTÜ: Sürdürülebilir Enerji Üssü projesi içerisindeki biyogaz tesisinin laboratuvar boyuttaki çalışması incelenmiş, akım şeması Şekil 5.3'te verilmiştir. İTÜ: Sürdürülebilir Enerji Üssü projesi İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü içerisinde kurulmuş olup, içerisinde biyogaz tesisi, yapay sulak alan ve çevreci bir anlayışla tasarlanan yeşil ofis bulunmaktadır. Proje İstanbul Kalkınma Ajansı (İSTKA) ve İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından desteklenmiştir.



Şekil 5.3: İTÜ: Sürdürülebilir Enerji Üssü projesi akım şeması.

İTÜ Sürdürülebilir Enerji Üssü projesinde, çöp arabası ile kampüs içindeki toplama noktalarından alınan günlük 1,6 ton organik atık katı toplama aracı ile atık tesise getirilmektedir. Atıklar vida konveyör aracılığıyla besleme tankına aktarılmaktadır. Besleme tankına girmeden öğütücü ile ön işleme tabi tutulmaktadır. Böylece atık boyutu küçültülmektedir. Ardından hamurlaştırıcıda istenilen katı madde içeriğine getirilmektedir. Sisteme beslenen organik atıklara ek olarak engelsiz yeşil ofiste özel bir cam içerisinde büyütülen mikroyosun biyokütlesi hamurlaştırıcı ile sisteme beslenmektedir. Sonrasında atıkların boyutları maseratör ile küçültülmektedir. Daha küçük boyutlara ulaşan atıklar zararlı patojenlerden arıtılmak amacıyla 70 °C sıcaklıkta, bir saat bekletildikten sonra, fermentöre aktarılmaktadır. Fermentör içerisinde oksijensiz solunum yapan mikroorganizmalar, atıkları parçalamakta ve bir süre sonra atıkları metan ve karbondioksit içerikli biyogaza dönüştürmektedirler. Elde edilen biyogaz boru aracılığıyla teknik konveyora aktarılmaktadır. Biyogaz teknik konveyorda bulunan gaz motoru sayesinde elektrik enerjisine, gaz motorunda

gerçekleşen yakma işleminden dolayı ise ısı enerjisine dönüşmektedir. Üretilen elektrik, elektrikli araç şarj istasyonuna elektrikli araç kullanımı için gönderilmektedir. Elde edilen ısı, fermentörün ısıtılmasında kullanılmaktadır. “İTÜ: Sürdürülebilir Enerji Üssü” projesinde bulunan biyogaz tesisi için gerekli hesaplamalar yapılmış, sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8: Teknik fizibilite.

Parametre	Değer
Üretim (ton/gün)	1,6000
Kuru madde (%)	32,35
Kuru madde (ton/gün)	0,5176
Organik Madde (%)	98,06
Organik Madde (ton/gün)	0,5076
Metan Üretimi (m ³ CH ₄ /ton Organik Madde)	380,0000
Metan Üretimi (m ³ CH ₄ /gün)	192,8723
Biyogaz Üretimi (m ³ biyogaz/gün)	332,5384
Metan Üretimi (m ³ CH ₄ /sa)	8,0363
CH ₄ Enerji Değeri, (kWsa/m ³)	9,8000
Toplam Enerji Değeri (kW)	78,7562
Elektrik Enerjisi verimi (%)	31,7300
Isı Enerjisi Verimi (%)	49,0300
Elektrik Enerjisi (kW)	24,9893
Isı Enerjisi (kW)	38,6142

Hesaplamalar sonucunda elde edilen elektrik enerjisinin 24,99 kW, ısı enerjisinin ise 38,61 kW olduğu belirlenmiştir.

Biyogaz tesisi ekipmanları içerisinde yer alan 12,1 uzunluk, 2,28 m genişlik ve 2,69 m yüksekliğe sahip olan fermentörün 40 °C sıcaklıkta tutulması için gerekli enerji miktarı hesaplanmıştır. Kış ayı sıcaklık ortalaması 6,37 °C olan İstanbul ili için ısınma ihtiyacı 9,46 kW, yaz ayı sıcaklık ortalaması olan 22,27 °C sıcaklıkta ise ısınma

ihtiyacı 5,84 kW olarak bulunmuştur (Mevsimlik Sıcaklık Analizi, 2018).Üretilen elektrik enerjisi sayesinde, 384 adet, ortalama 1,5 kW güce sahip olan elektrikli bisikletlerin 1 saat çalışabilmektedir. Ayrıca, farklı bir senaryo olarak, 4 kişilik bir ailenin 0,35 kW elektrik enerjisi ihtiyacı olduğu düşünülürse, üretilen elektrik enerjisi sayesinde yaklaşık 70 hanenin elektrik ihtiyacı karşılanmaktadır.





6. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Tez çalışması için kullanılacak atıklar, İstanbul Teknik Üniversitesi merkezi yemekhanesinden alınmıştır. Yemekhanede yenilmeyerek atılan balık, tatlı, cacık, çorba, salata gibi besinler laboratuvara getirilip, 4 °C'ta tutulmuştur. Atık içeriğinde ağırlık balığa aittir.

Yemek artıkları 500 watt gücündeki doğrayıcıdan geçirilmiş, bunun sonucunda atıklar çok küçük parçalar haline gelmiştir. Parçalanmış yemek atığının görseli Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1: Parçalanmış yemek atığı.

6.1 Besleme ve Aşı Özellikleri

Parçalama işleminden sonra atık üzerinde karakterizasyon analizi yapılmıştır. Yapılan karakterizasyon, toplam katı madde (TKM), toplam uçucu katı madde (TUKM), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), toplam fosfor (TP) ve pH analizlerini içermektedir. Analiz sonucu Çizelge 6.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.1: Atık karakterizasyonu.

Parametre	Değer
TKM (%)	32,35
TUKM (%)	98,06
TKN (mg/L)	2344
TP (mg/L)	4435
pH	5,03

Atık karakterizasyonundan sonra, anaerobik çürütme için gerekli olan ve aşı olarak kullanılan bakterilerin karakterizasyonu yapılmış olup, sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2: Aşı karakterizasyonu.

Parametre	Değer
TKM (%)	17,07
TKN (mg/g)	1445,6
TP (mg/L)	7370,2

Bu işlemler sonrasında beslemenin toplam kuru madde oranı (TKM) % 8 olacak şekilde su ile seyreltme hesaplaması yapılmıştır. Fermentöre başlangıçta yapılacak aşı miktarı da yine katı madde oranına göre hesaplanmıştır.

6.2 Deney Düzenegi

Bu işlemler sonrasında, tezin ilk amacı olan, biyogaz üretimini artırıcı etkiler incelenmiştir. Bu kapsamda, biyogaz üretiminde zorunlu kılınan 70 °C sıcaklıkta 1 saat bekletme işleminden yola çıkarak, 70 °C sıcaklıkta 15 dk, 30 dk, 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat, 6 saat, 8 saat, 10 saat, 12 saat, 14 saat, 16 saat, 18 saat, 20 saat, 22 saat, 24 saat, 27 saat, 30 saat, 33 saat, 36 saat sürelerde bekletilerek çözünürlük değerleri incelenmiştir. Çözünürlük değerlerinin bulunmasının ardından, her bir bekletme süresinin çözünürlük artış oranı da hesaplanmıştır.

Bu çalışmaya ek olarak, mezofilik ve termofilik sıcaklıkta işletilen fermentörün ön ısıtım işlemi olmadan beslendiği takdirde, beslemeden sonra 6 saat, 12 saat, 18 saat, 24 saat, 30 saat ve 36 saatteki çözünürlük oranları incelenmiştir. Termofilik sıcaklık olarak 40 °C, mezofilik sıcaklık olarak ise 55 °C seçilmiştir. Bu çalışma ile çözünürlüğün biyogaz üretimi üzerine etkisi incelenmektedir. 70 °C, 40 °C ve 55 °C, sıcaklığın sağlandığı inkübatör Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2: İnkübatör

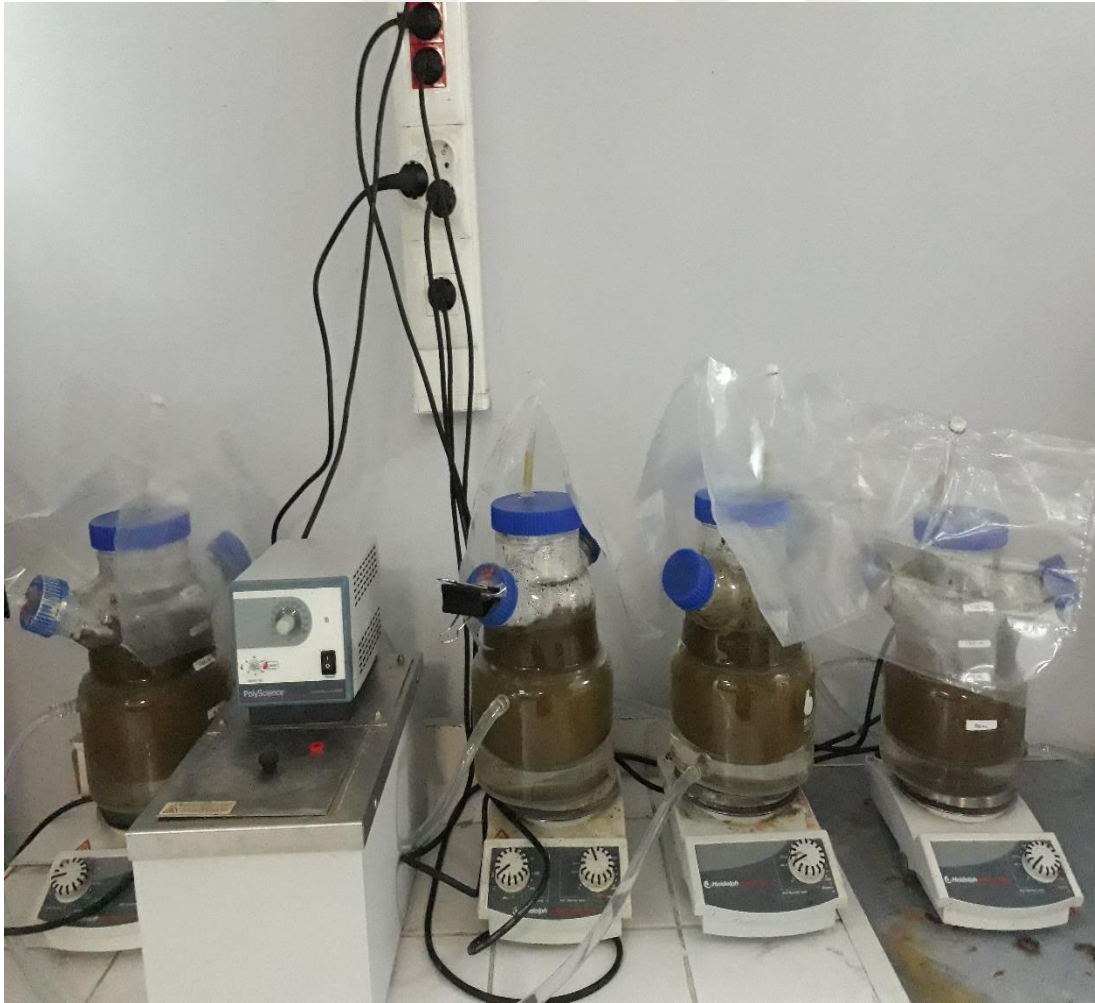
Farklı sürelerde ön ısıl işlem gören besleme, her bir farklı ön işlem süresi için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Şekil 6.3'te 4 saat ön ısıl işlem gören numuneler gösterilmektedir. Ön işlem öncesi ve sonrasında pH, iletkenlik ve KOI_{toplam} ve $KOI_{\text{çözülmüş}}$ değerleri incelenmiştir.

Biyogaz üretiminde zorunlu kılınan Avrupa Birliği Yönetmeliği'nde amaçlanan pastörizasyon işleminin gerçekleşip gerçekleşmediği analiz edilmek amacıyla, hem 1 saatin sonunda, hem de farklı bekleme zamanlarında bekletilen beslemenin, bekleme sürelerinin sonunda içerisinde *Escherichia coli*'nin de bulunduğu toplam koliform bakteri sayısı ve fekal koliform bakteri sayısı incelenmiştir.



Şekil 6.3: Ön işlem gören besleme numuneleri.

Tezin diğer kısmında ise çözünürlük oranları en yüksek olan ön işlem sürelerine atık beslemelerin biyogaz üretimleri incelenmek üzere reaktörler kurulmuştur. Hazırlanan biyogaz reaktörleri 4 adet olup, bir sonraki kısımda gösterilecek olan sonuçlar neticesinde ön ısıt işlem sürelerine karar verilmiştir. Birinci reaktörde karşılaştırmanın mümkün olabilmesi adına ön işlem yapılmadan beslenen atık yapılmıştır. İkinci reaktörde yönetmelikte belirtilen 1 saat boyunca ön ısıt işlem uygulanmaktadır. En iyi çözünürlük değeri olan ön ısıt işlem süresi 30 saat olarak bulunmuş, ona en yakın ısıt işlem süreleri ise 36, 27, 24 saattir. Besleme günlük olarak yapılacağı için, üçüncü reaktöre uygulanacak ön ısıt işlem süresinin 24 saat olmasına karar verilmiştir. Dördüncü reaktöre ise uygulanabilirlik açısından en iyi olanı seçilmiştir. Bunun için çözünürlük ve ivmenin yüksek olduğu, ısıt işlem süresinin ise kısa olduğu çözünürlük değeri olan 8 saat ön ısıt işlem süresinin uygulanmasına karar verilmiştir. Hazırlanan biyogaz reaktörleri Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4: Biyogaz reaktörleri.

Biyogaz reaktörleri % 8 olarak ayarlanan yemek atığı ile beslenmektedir. Reaktörlerin kurulması aşamasında atık ile birlikte, reaktöre aşı olarak büyükbaş hayvan dışkısı konulmuştur. Hayvan dışkısı ve aşı karıştırıldığında, pH optimum olacak şekilde ayarlanmış, sistem 40 °C'ta tutulmuştur.

6.3 Analitik Yöntemler

Katı Madde Tayini

Katı madde, su ve atıksu denetimi için standart metotların yer aldığı kitap içerisindeki 2540B numaralı metoda göre tayin edilmiştir (Eaton ve diğ, 2005). Şekil 6.5'te 105 °C sonrasındaki numune gösterilmiştir.



Şekil 6.5: 105 °C sonrasında numune görseli.

Uçucu Katı Madde Tayini

Uçucu katı madde, su ve atıksu denetimi için standart metotların yer aldığı kitap içerisindeki 2540E numaralı metoda göre tayin edilmiştir (Eaton ve diğ, 2005). Şekil 6.6'da 550 °C sonrasındaki numune gösterilmiştir.



Şekil 6.6: 550 °C sonrasında numune görseli.

Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)

Toplam Kjeldahl Azotu, su ve atıksu denetimi için standart metotların yer aldığı kitap içerisindeki 4500-N_{org} B numaralı metoda göre tayin edilmiştir (Eaton ve diğ , 2005). Şekil 6.7’de TKN seti, Şekil 6.8’de TKN sonrası yapılan titrasyon işlemi gösterilmiştir.

1. Aşama



2. Aşama



Şekil 6.7: TKN seti.

Titrasyon Öncesi



Titrasyon Sonrası



Şekil 6.8: TKN sonrasında yapılan titrasyon.

Toplam Fosfor

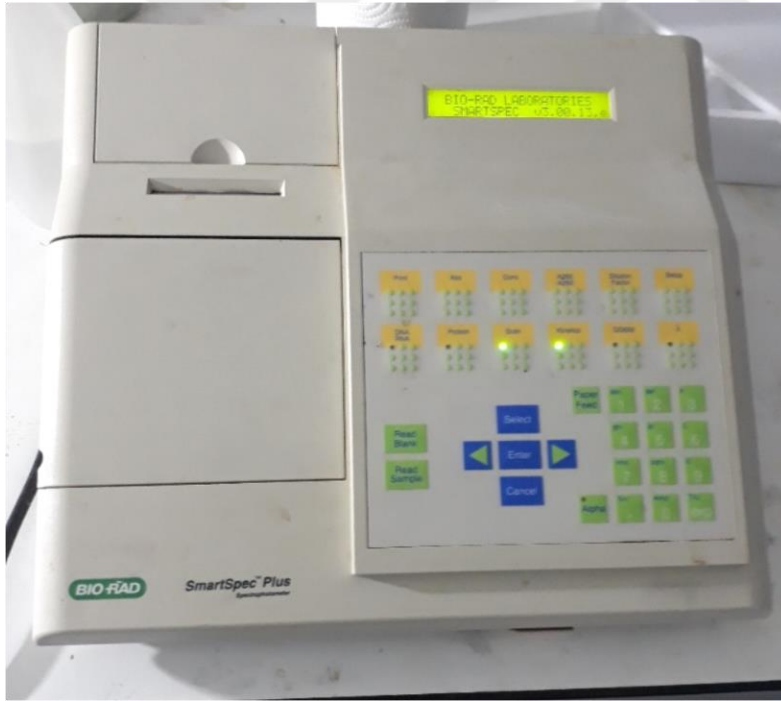
Toplam fosfor, su ve atıksu denetimi için standart metotların yer aldığı kitap içerisindeki 4500-P A numaralı metoda göre tayin edilmiştir (Eaton ve diğ, 2005). Şekil 6.9'da TP seti, Şekil 6.10'da TP numuneleri, Şekil 6.11'de ise dalga boyunu öğrenmemizi sağlayan spektrometre cihazı gösterilmektedir.



Şekil 6.9: TP seti.



Şekil 6.10: TP numuneleri.



Şekil 6.11: Spektrometre.

pH Tayini

pH tayini Thermo Orion 720A+ model pH metre ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.12’de kullanılan pH metre gösterilmiştir.



Şekil 6.12: pH metre.

İletkenlik Tayini

İletkenlik tayini Hach HQ 40d iletkenlik cihazı ile yapılmıştır. Şekil 6.13'te deneylerde iletkenliğin ölçüldüğü iletkenlik cihazına yer verilmiştir.



Şekil 6.13: İletkenlik cihazı.

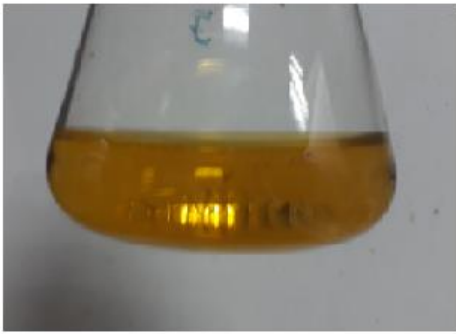
Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), su ve atıksu denetimi için standart metotların yer aldığı kitap içerisindeki 5220 numaralı metoda göre tayin edilmiştir (Eaton ve diğ., 2005). Şekil 6.14'te KOİ seti, Şekil 6.15'te ise KOİ sonrası yapılan titrasyon işlemi gösterilmiştir.

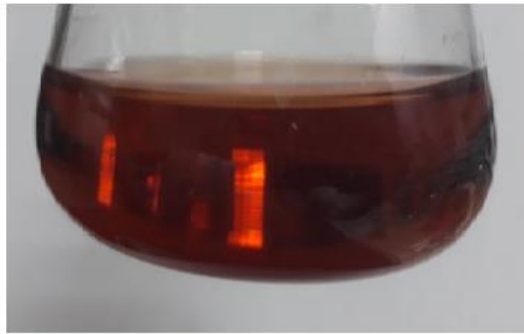


Şekil 6.14: KOİ seti.

Titrasyon Öncesi



Titrasyon Sonrası

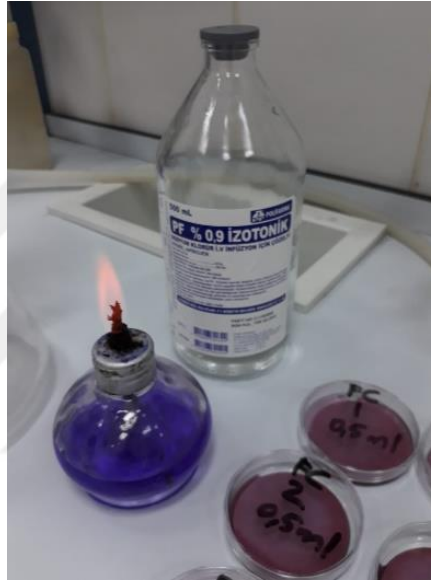


Şekil 6.15: KOİ analizine ait titrasyon işlemi.

Mikrobiyolojik Analiz

Bu analiz kapsamında toplam koliform, fekal koliform ve Escherichia coli sayımı incelenmiştir. Fekal koliform sayısı için MFC besiyeri (pembe renk), toplam koliform ve Escherichia coli için ise kromojenik koliform besiyeri (beyaz renk) kullanılmış olup, Şekil 6.17'de gösterilmiştir. Koliform bakteri sınıfına giren Escherichia coli'nin toplam koliform bakterilerini incelerken sayılması mümkündür. Sayım yapılırken Escherichia coli için mavi renkli olan noktalar, toplam koliform için ise mavi dışındaki

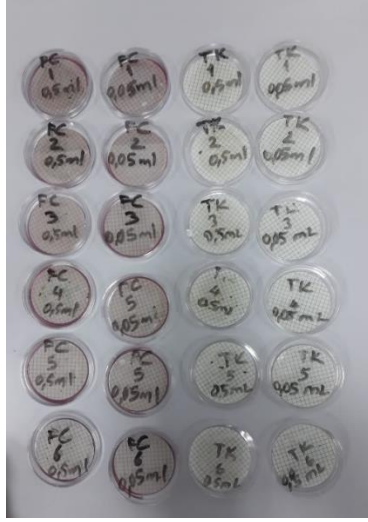
diğer noktalar dikkate alınmaktadır. Deney esnasında kullanılan aletlerin sterilizasyonu için Şekil 6.16'da gösterilen sterilize su ve alev kullanılmaktadır. İlk olarak alınan besiyerlere 3 mL sterilize su konulmaktadır. Daha sonrasında ise 0,45 mikrometrelik filtre kağıdından ilk olarak 1 mL sterilize su, hemen ardından ise 0,1 mL numune süzölmektedir. Askıda kalan kısım besiyerlere konulmaktadır. Numune görselleri Şekil 6.18'de gösterilmektedir. Hazırlanan numuneler için fekal koliform için 44,5 °C, toplam koliform ve Escherichia coli için ise 37 °C sıcaklıkta yaklaşık 24 saat beklemesi gerekmektedir. Şekil 6.16'da sterilizasyon için kullanılan malzemeler, Şekil 6.17'de besiyerler, Şekil 6.18'te ise numuneler gösterilmektedir.



Şekil 6.16: Sterilizasyon için kullanılan malzemeler.



Şekil 6.17: MFC ve kromojenik besiyerleri.



Şekil 6.18: Numune eklenmiş MFC ve kromojenik besiyerleri.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

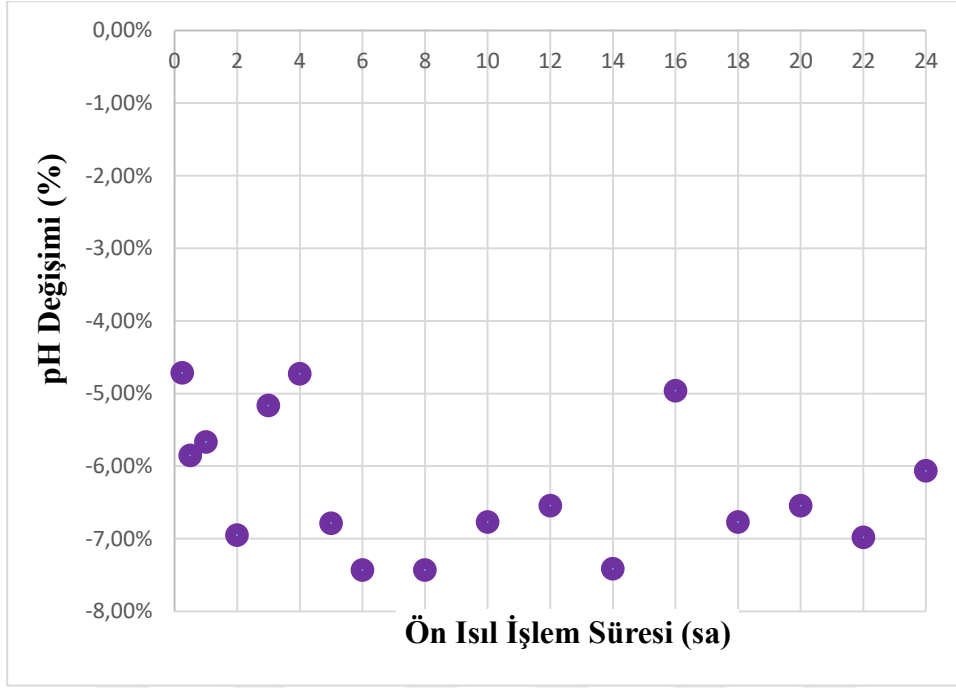
Bu kısımda “PASTÖRİZASYON ÖN İŞLEMİNİN BİYOGAZ ÜRETİM VERİMİNE ETKİSİ” isimli tez çalışmamız için yürüttüğümüz deneyler sonucunda elde ettiğimiz verilere ait şekil ve çizelgeler gösterilmektedir.

Yapılan deneylerin neticesinde Çizelge 7.1’de pH değerleri, Şekil 7.1’de ise sonuçlardan elde edilen pH değişim grafiği verilmiştir.

pH Sonuçları

Çizelge 7.1: Farklı ön ısıt işlemlere ait pH değerleri.

Ön Isıl İşlem	pH Giriş	pH Çıkış	pH Değişimi (%)
15 dk	4.45	4.24	-4.72%
30 dk	4.44	4.18	-5.86%
1 saat	4.41	4.16	-5.67%
2 saat	4.46	4.15	-6.95%
3 saat	4.45	4.22	-5.17%
4 saat	4.44	4.23	-4.73%
5 saat	4.42	4.12	-6.79%
6 saat	4.44	4.11	-7.43%
8 saat	4.44	4.11	-7.43%
10 saat	4.43	4.13	-6.77%
12 saat	4.43	4.14	-6.55%
14 saat	4.45	4.12	-7.42%
16 saat	4.43	4.21	-4.97%
18 saat	4.43	4.13	-6.77%
20 saat	4.43	4.14	-6.55%
22 saat	4.44	4.13	-6.98%
24 saat	4.45	4.18	-6.07%



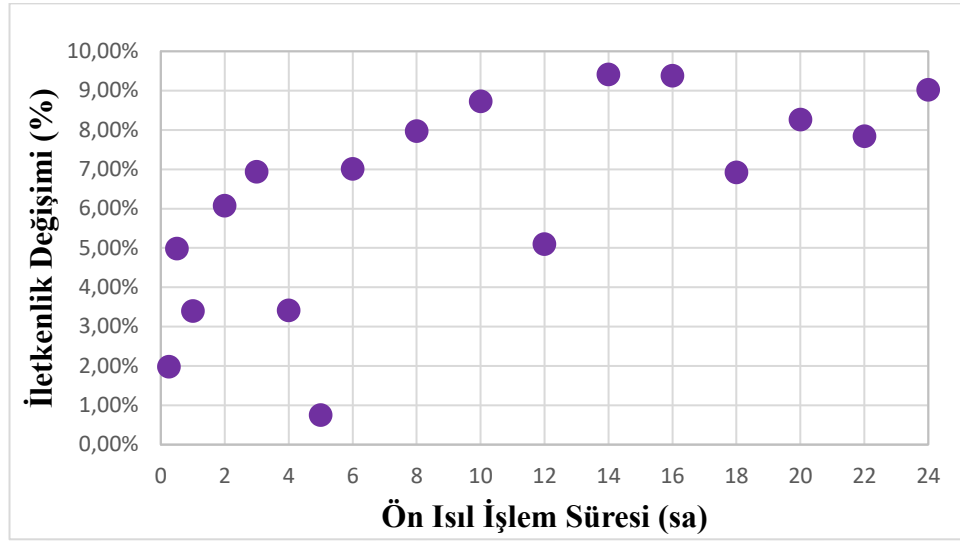
Şekil 7.1: Farklı ön ısıt işlemlere ait pH değişim grafiği.

İletkenlik Sonuçları

Yapılan çalışmaların ardından Çizelge 7.2’de iletkenlik değerleri, Şekil 7.2’de iletkenlik değişim grafiği verilmiştir.

Çizelge 7.2: Farklı ön ısıt işlemlere ait iletkenlik değerleri.

Ön Isıl İşlem	İletkenlik Giriş (mS/m)	İletkenlik Çıkış (mS/cm)	İletkenlik Değişimi (%)
15 dk	2,53	2,58	1,98%
30 dk	2,61	2,74	4,98%
1 saat	2,65	2,74	3,40%
2 saat	2,47	2,62	6,07%
3 saat	2,45	2,62	6,94%
4 saat	2,64	2,73	3,41%
5 saat	2,67	2,69	0,75%
6 saat	2,71	2,9	7,01%
8 saat	2,51	2,71	7,97%
10 saat	2,52	2,74	8,73%
12 saat	2,55	2,68	5,10%
14 saat	2,55	2,79	9,41%
16 saat	2,56	2,8	9,37%
18 saat	2,6	2,78	6,92%
20 saat	2,42	2,62	8,26%
22 saat	2,55	2,75	7,84%
24 saat	2,55	2,78	9,02%



Şekil 7.2: Farklı ön ısıt işlemlere ait iletkenlik değişim grafiği.

7.1 KOİ Sonuçları

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) sudaki yükseltgenbilir maddelerin kimyasal yolla oksitlenmeleri için gerekli oksijen miktarıdır. Kirlilik derecesini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biri kimyasal oksijen ihtiyacıdır. Çizelge 7.3’da ön ısıt işlemlere ait KOİ değerleri gösterilmektedir. Çözünürlük oranı değişim formülü denklemden hesaplanmıştır (Altınbaş, Kara, & Hasanoğlu, 2018).

$$KOİ_{sol} (\%) = \left(\frac{KOİ_{sol,çıkış} - KOİ_{sol,giriş}}{KOİ_{sol,giriş}} \right) \times 100 \quad (7.1)$$

Şekil 7.3’te ön ısıt işlemlere ait çözünürlük oranı grafiği, Şekil 7.4’te ise çözünürlük oranı değişimi grafiği ve Şekil 7.5’te $KOİ_{sol}$ değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.4’te ön işlem uygulanmayan beslemenin 40 °C sıcaklıktaki fermentörün içerisindeki KOİ değerleri verilmiştir. Şekil 7.6’de ön ısıt işlem uygulanmayan ve 40 °C sıcaklıkta işletilen beslemeye ait olan ait çözünürlük oranı grafiği, Şekil 7.7’de ise çözünürlük oranı değişimi grafiği ve Şekil 7.8’de $KOİ_{sol}$ değerleri verilmiştir.

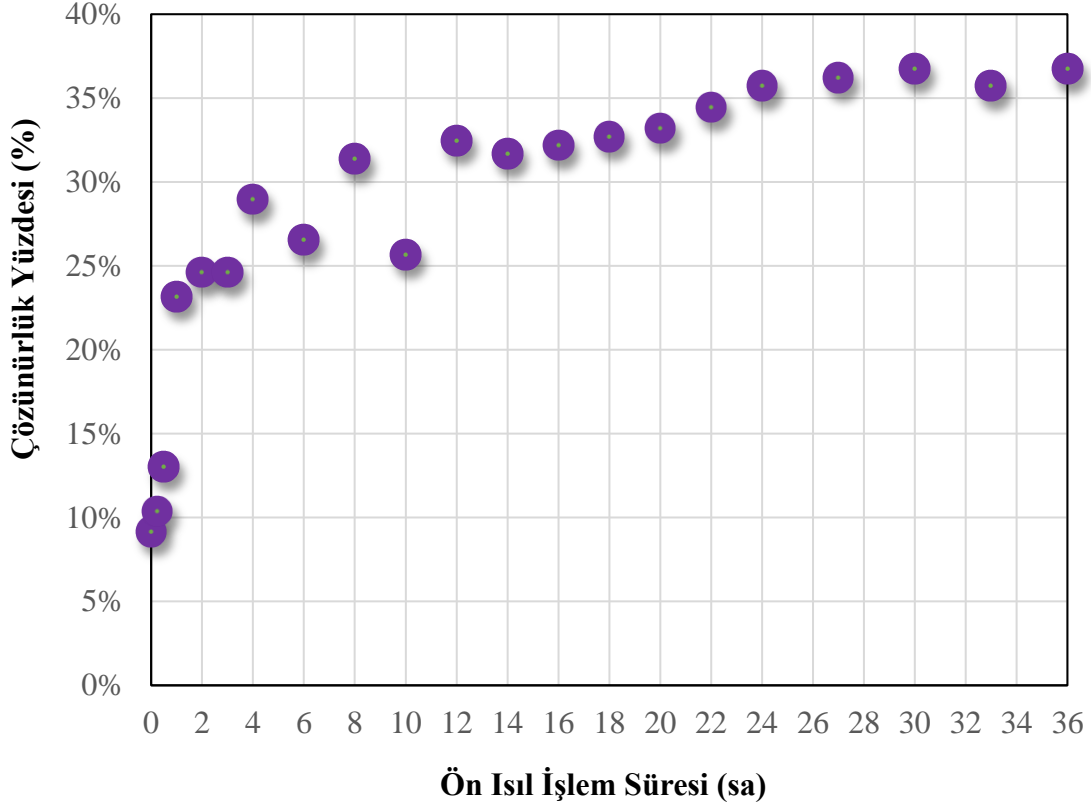
Çizelge 7.5’de ön işlem uygulanmayan beslemenin 55 °C sıcaklıktaki fermentörün içerisindeki KOİ değerleri verilmiştir. Şekil 7.9’te ön ısıt işlem uygulanmayan ve 55 °C sıcaklıkta işletilen beslemeye ait olan ait çözünürlük oranı grafiği, Şekil 7.10’de ise çözünürlük oranı değişimi grafiği ve Şekil 7.11’de $KOİ_{sol}$ değerleri verilmiştir.

Çizelge 7.3: Farklı ön ısıt işlemlere ait KOİ ve çözünürlük değerleri.

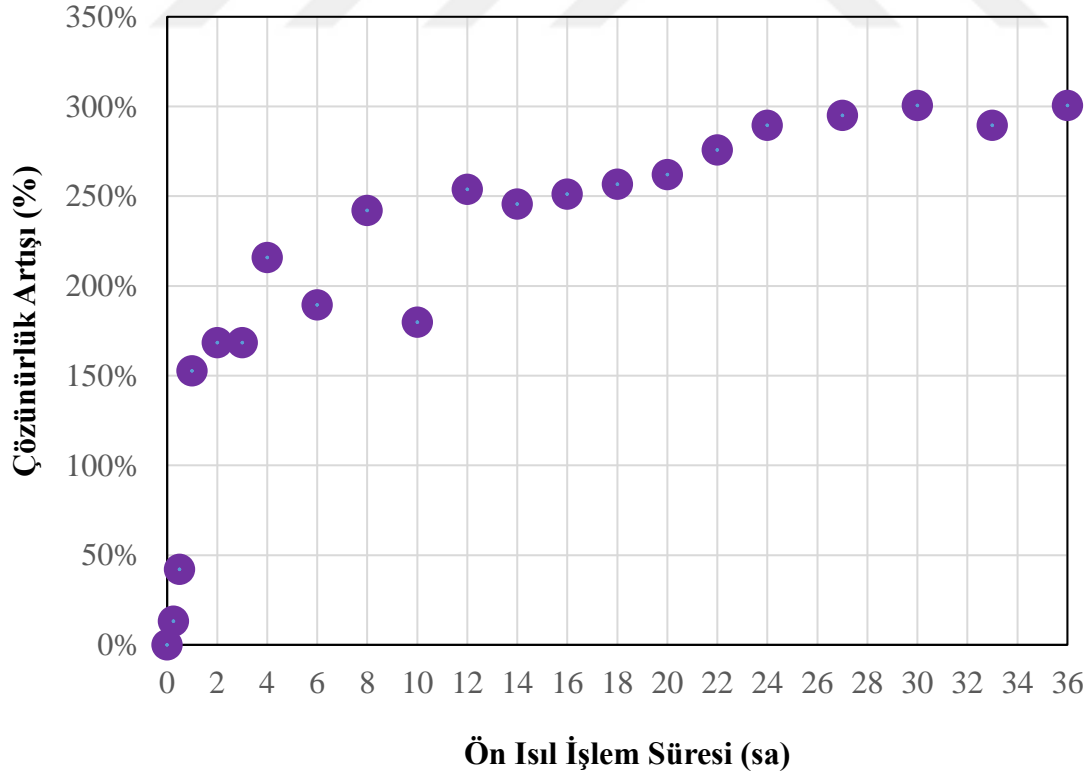
Ön Isıt İşlem		COD _{ort} (mg/L)	COD _{sol} / COD _{tot,ort} (%)	(COD _{sol,çıkış} - COD _{sol,başlangıç}) / COD _{sol,başlangıç}
yok	tot	105.728		
	sol	11.957	9,17%	0,00%
15 dk	tot	120.203		
	sol	13.531	10,38%	13,16%
30 dk	tot	143.803		
	sol	16.992	13,03%	42,11%
1 saat	tot	136.880		
	sol	30.208	23,17%	152,63%
2 saat	tot	135.621		
	sol	32.096	24,62%	168,42%
3 saat	tot	128.069		
	sol	32.096	24,62%	168,42%
4 saat	tot	115.168		
	sol	37.760	28,96%	215,79%
6 saat	tot	118.315		
	sol	34.613	26,55%	189,47%
8 saat	tot	136.565		
	sol	40.907	31,37%	242,11%
10 saat	tot	132.789		
	sol	33.456	25,66%	179,79%
12 saat	tot	145.960		
	sol	42.312	32,45%	253,86%

Çizelge 7.3 (devam): Farklı ön ısıt işlemlere ait KOİ ve çözünürlük değerleri.

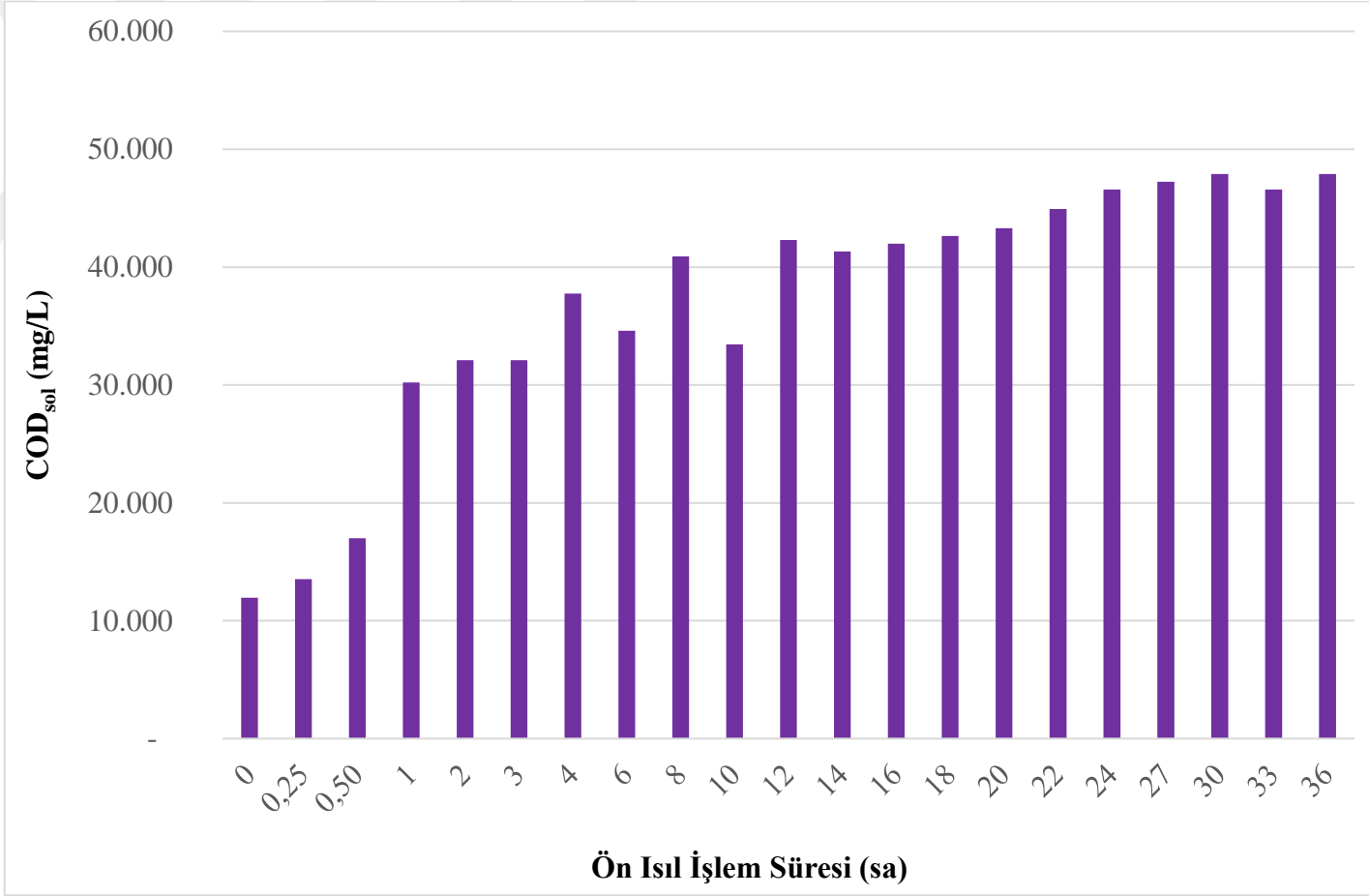
Ön Isıl İşlem		COD _{ort} (mg/L)	COD _{sol} / COD _{tot,ort} (%)	(COD _{sol,çıkış} - COD _{sol,başlangıç}) / COD _{sol,başlangıç}
14 saat	tot	145.960		
	sol	41.328	31,70%	245,63%
16 saat	tot	119.392		
	sol	41.984	32,20%	251,12%
18 saat	tot	123.984		
	sol	42.640	32,70%	256,60%
20 saat	tot	146.288		
	sol	43.296	33,21%	262,09%
22 saat	tot	141.040		
	sol	44.936	34,47%	275,80%
24 saat	tot	120.704		
	sol	46.576	35,72%	289,52%
27 saat	tot	119.392		
	sol	47.232	36,23%	295,00%
30 saat	tot	117.424		
	sol	47.888	36,73%	300,49%
33 saat	tot	128.576		
	sol	46.576	35,72%	289,52%
36 saat	tot	116.112		
	sol	47.888	36,73%	300,49%



Şekil 7.3: Farklı ön ısıt işlemlere ait çözünürlük yüzdesi değerleri.



Şekil 7.4: Farklı ön ısıt işlemlere ait çözünürlük artışı değerleri.

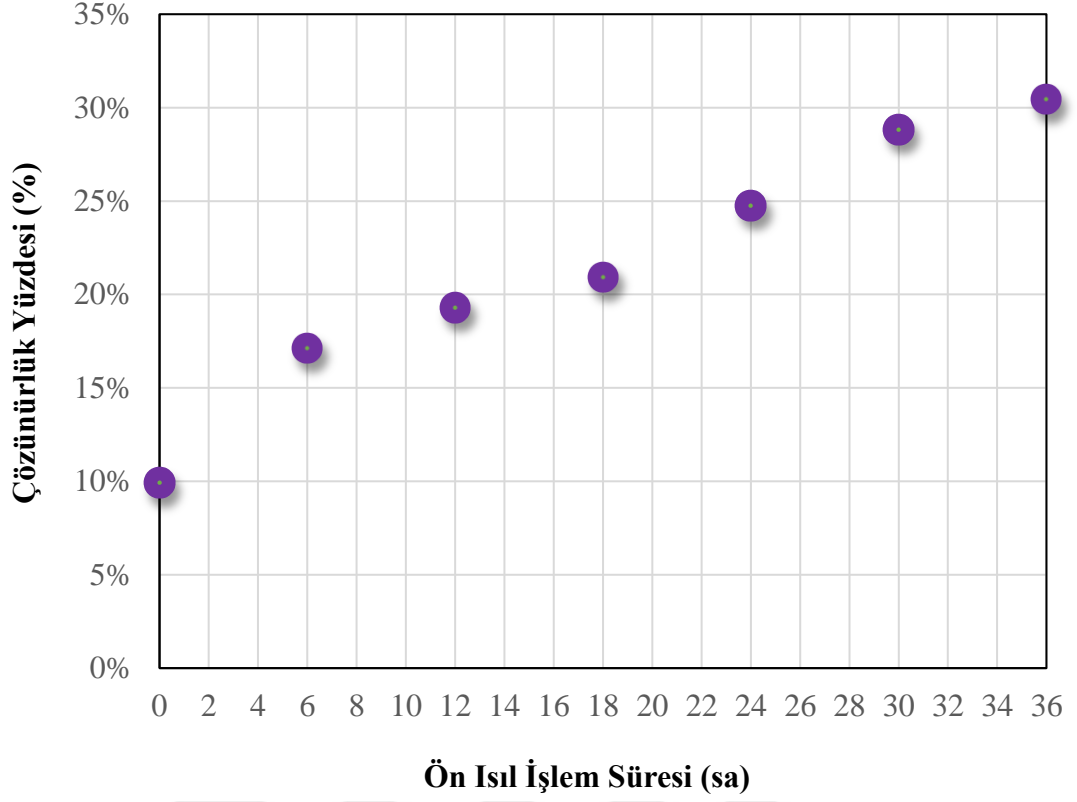


Şekil 7.5: Farklı ön ısıtma işlemlerine ait KOI_{sol} değerleri.

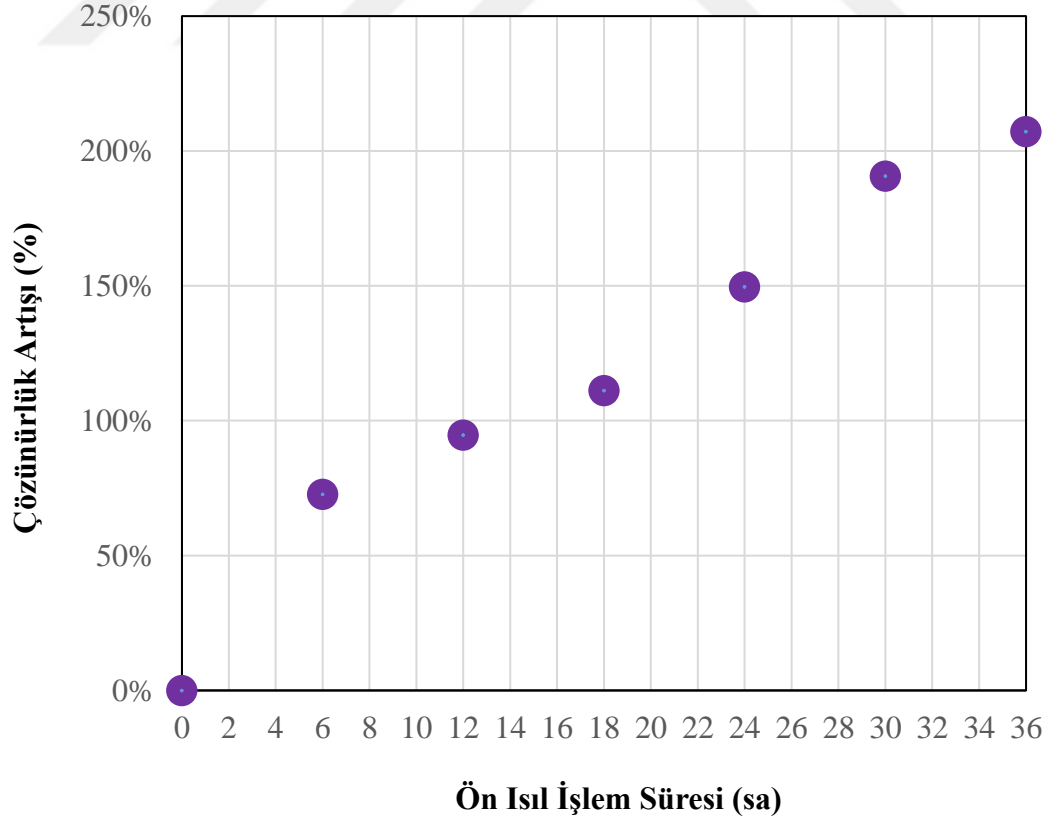
Çizelge 7.4: 40 °C sıcaklığa ait KOİ ve çözünürlük değerleri.

Ön Isıl İşlem		COD _{ort} (mg/L)	COD _{sol} / COD _{tot,ort} (%)	(COD _{sol,çıkış} - COD _{sol,başlangıç}) / COD _{sol,başlangıç}
yok	tot	105.728		
	sol	11.957	9,91%	0,00%
6 saat	tot	125.952		
	sol	20.664	17,13%	72,81%
12 saat	tot	116.768		
	sol	23.288	19,31%	94,76%
18 saat	tot	127.264		
	sol	25.256	20,94%	111,22%
24 saat	tot	119.392		
	sol	29.848	24,74%	149,62%
30 saat	tot	127.920		
	sol	34.768	28,82%	190,77%
36 saat	tot	121.360		
	sol	36.736	30,45%	207,23%

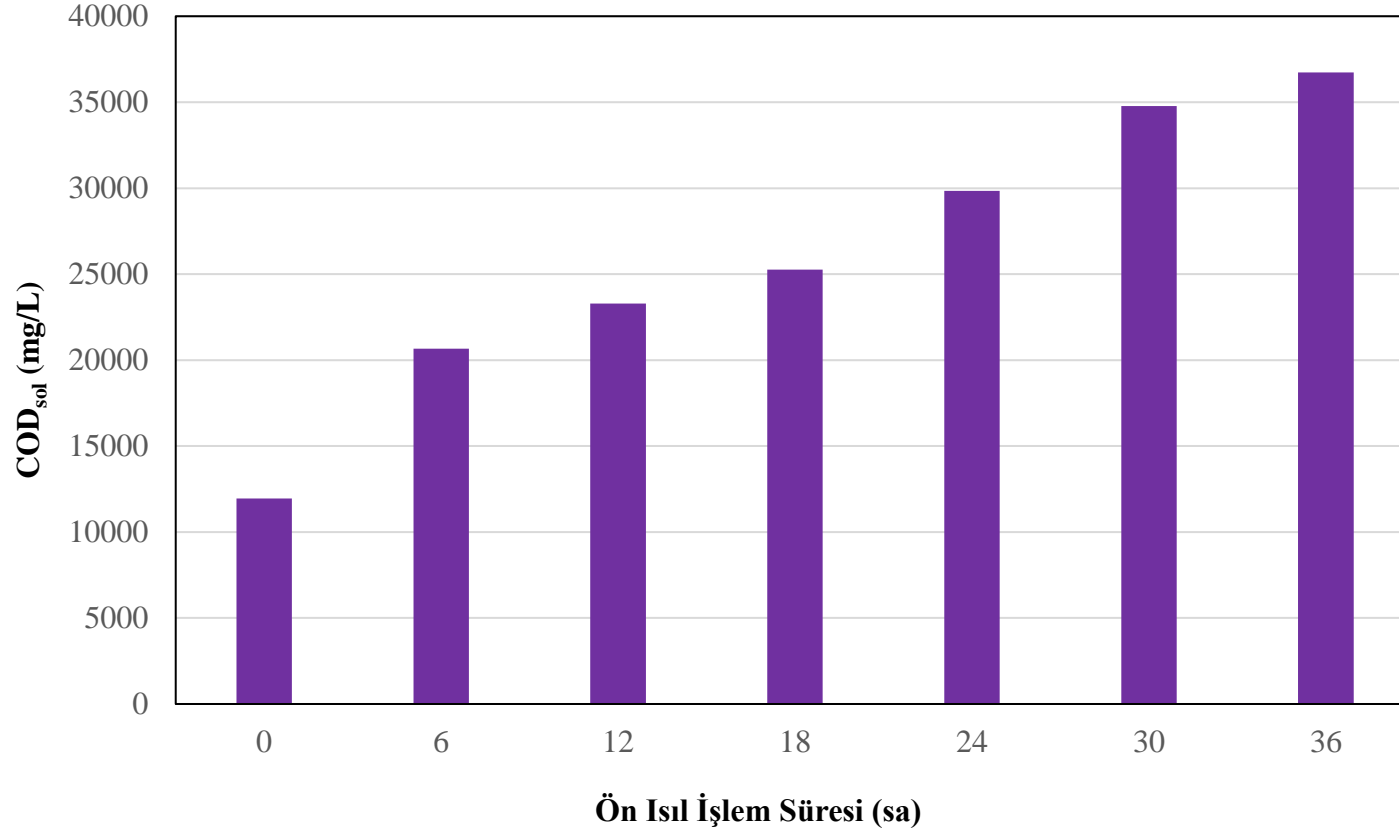
Ferrer çamur kullanılan termofilik bir sistemde (55 °C), 70 °C olan ön ısıl işlemi, 9 saat, 24 saat, 48 saat ve 72 saatler boyunca denemiştir. Bekletme süreleri farklı olan numunelerin çözülmüş uçucu katı madde değerleri incelenmiş, çözünürlük derecesi belirlenmiştir. Dokuz saat boyunca uygulanan ön ısıl işlemden sonra bile, çözülmüş uçucu katı madde sonra, 10 katına çıkmıştır. Buna bağlı olarak hem VFA miktarında, hem de biyogaz üretiminde artış görülmüştür (Ferrer ve diğ, 2008). Bu çalışmada, çözünürlük artışı verileri, çözülmüş uçucu katı madde üzerinden belirlenmiştir. Oluşturulan formülasyon sayesinde çözünürlük derecesinin artığı görülmüştür. Reaktör beslemesi yapıp, biyogaz üretim miktarları karşılaştırılarak da sonuçlar teyit edilmiş, ön ısıl işlem uyguladıkça biyogaz üretim miktarı artış göstermiştir.



Şekil 7.6: 40 °C sıcaklığa ait çözünürlük yüzdesi değerleri.



Şekil 7.7: 40 °C sıcaklığa ait çözünürlük artışı değerleri.

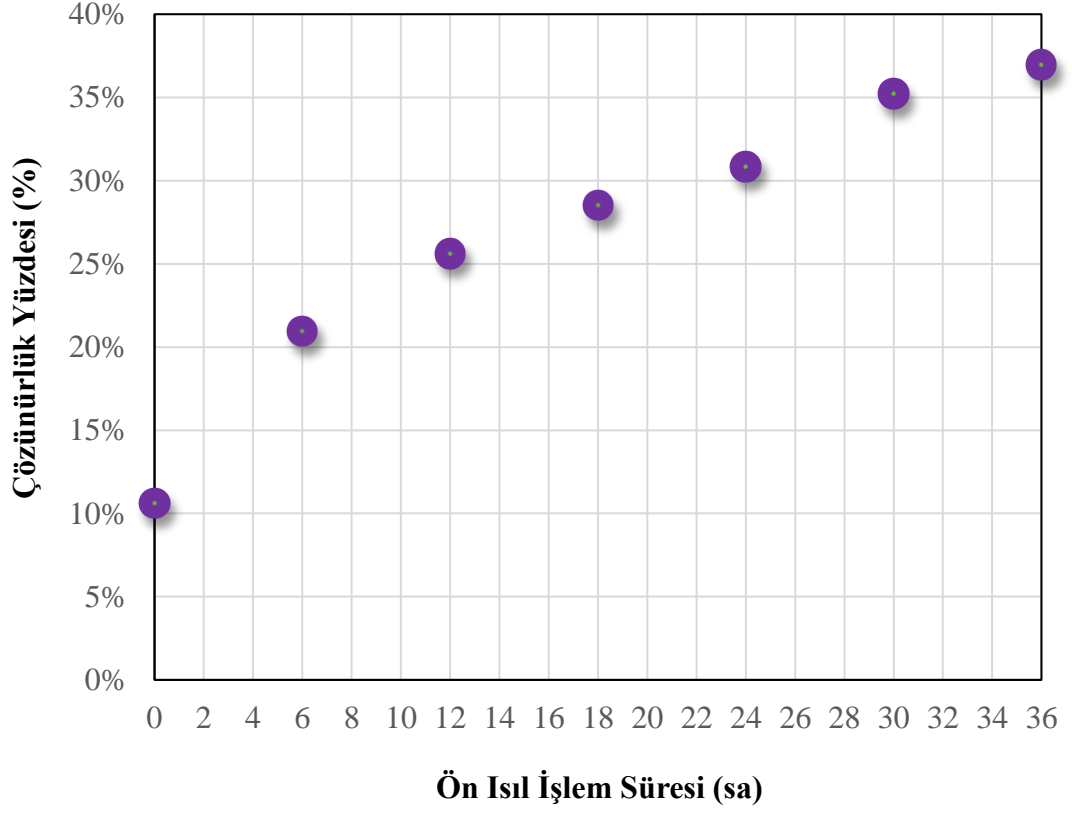


Şekil 7.8: 40 °C sıcaklığa ait KOİ_{sol} değerleri.

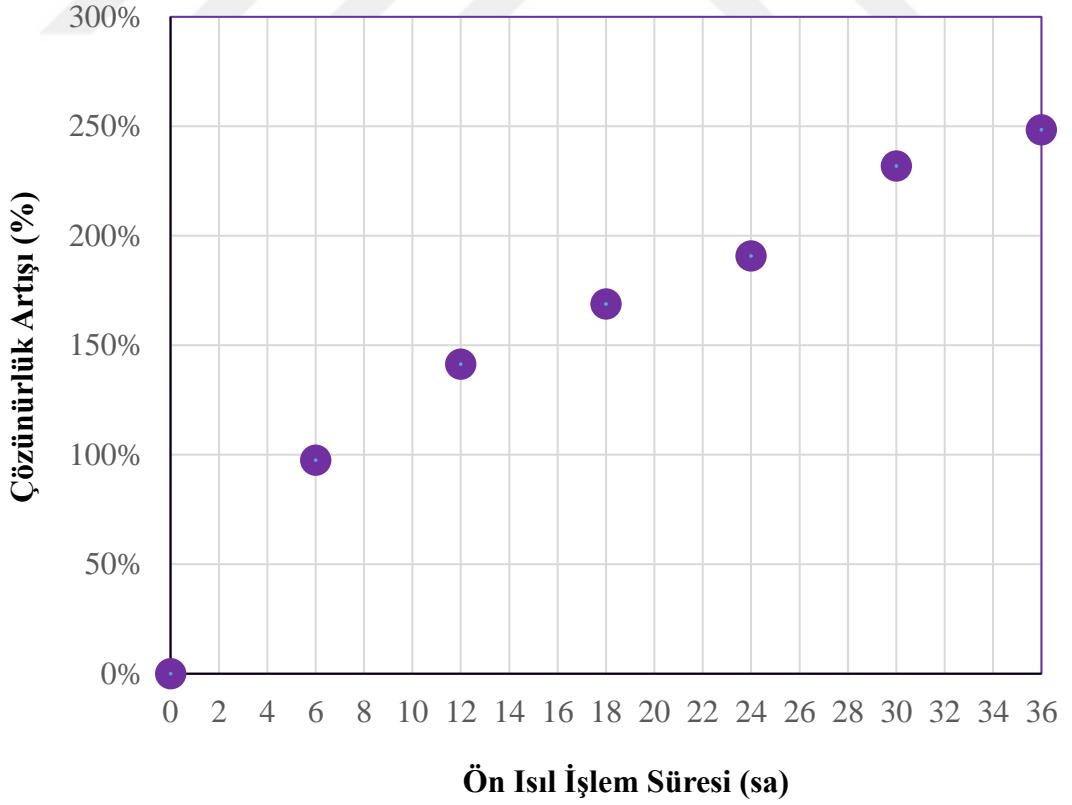
Çizelge 7.5: 55 °C sıcaklığa ait KOİ ve çözünürlük değerleri.

Ön Isıl İşlem		COD _{ort} (mg/L)	COD _{sol} / COD _{tot,ort} (%)	(COD _{sol,çıkış} - COD _{sol,başlangıç}) / COD _{sol,başlangıç}
yok	tot	105.728		
	sol	11.957	10,61%	0,00%
6 saat	tot	104.960		
	sol	23.616	20,95%	97,50%
12 saat	tot	102.992		
	sol	28.864	25,61%	141,39%
18 saat	tot	117.424		
	sol	32.144	28,52%	168,82%
24 saat	tot	124.968		
	sol	34.768	30,85%	190,77%
30 saat	tot	111.192		
	sol	39.688	35,21%	231,91%
36 saat	tot	121.688		
	sol	41.656	36,96%	248,37%

Rodriguez ve diğerleri, domuza ait kesimhane atığı üzerinde, 35 °C fermentör sıcaklığına sahip olan kesikli bir sistemde, ilk olarak ön işlem olmadan, ikinci olarak 1 saat boyunca pastörizasyona (70 °C) tabi tutarak, son olarak da 20 dakika boyunca sterilizasyon (133 °C, 3 bar) işlemine tabi tutarak bir araştırma çalışması gerçekleştirmiştir. Ön ısıl işlem görmeyen reaktördeki biyogaz üretimi 0,58 iken, pastörizasyona tabi tutulan reaktörde 0,88, sterilizasyonda ise 0,96 CH₄.kg/TUKM'e yükselmiştir (Rodriguez Abalde ve diğ, 2011). Bu çalışmada, ara işlem olarak çözünürlük verileri bulunmamasına rağmen, yapılan ön ısıl işlem sayesinde biyogaz üretim miktarında büyük bir artış gözlenmiştir. Bu literatür çalışması tezimizde incelediğimiz sistemle benzerlik göstermektedir.



Şekil 7.9: 55 °C sıcaklığa ait çözünürlük yüzdesi değerleri.



Şekil 7.10: 55 °C sıcaklığa ait çözünürlük artışı değerleri.



Şekil 7.11: 55 °C sıcaklığa ait KOİ_{sol} değerleri.

Diğer bir literatür çalışması Grim tarafından yapılmıştır. Kesimhane atıklarını kullanarak, yarı kesikli bir sistemde pastörizasyonun biyogaz verimi üzerine laboratuvar boyutunda bir araştırma yapmıştır. 55 °C fermentör sıcaklığına sahip olan düzeneklerden biri 1 saat pastörizasyon işlemine tabi tutulmuş, diğer düzenek ise hiçbir ön işlem görmemiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda her iki düzenekte biyogaz üretim miktarları arasında bir fark görülmemiştir (Grim ve diğ., 2015). Bu çalışmada, biyogaz üretim miktarlarının aynı olması fermentör sıcaklığının termofilik sıcaklıkta olmasından kaynaklanmaktadır.

Analiz edilen KOİ_{çöz} değerleri kullanılarak, ön ısıl işlem sürelerine göre metan üretimi hesaplanmış olup, değerler Çizelge 7.6'da verilmiştir. Ön ısıl işlem süresi arttıkça üretilen metan miktarında da artış görülmüş, ön ısıl işlem yapılmayan hammaddede metan üretimi 0,061 L CH₄/ g TUKM iken, 1 saat ön ısıl işlem uygulandığında 0,154 L CH₄/ g TUKM, 3 saat ön ısıl işlem uygulandığında 0,164 L CH₄/ g TUKM, 6 saat ön ısıl işlem uygulandığında 0,177 L CH₄/ g TUKM, 12 saat ön ısıl işlem uygulandığında 0,216 L CH₄/ g TUKM, 18 saat ön ısıl işlem uygulandığında 0,218 L CH₄/ g TUKM, 24 saat ön ısıl işlem uygulandığında 0,238 L CH₄/ g TUKM, 36 saat ön ısıl işlem uygulandığında bu değer 0,244 CH₄/ g TUKM'ye ulaşmıştır. Bu değerler KOİ_{çöz}'den yola çıkılarak hesaplanmış olup, en doğru sonuçlar biyogaz analizleri yapıldığında alınacaktır.

Çizelge 7.6: Ön ısıtma işlem süresi göre metan üretimleri.

Ön Isıl İşlem	Metan Üretimi (L CH ₄ /g TUKM)
yok	0,061
15 dk	0,069
30 dk	0,087
1 saat	0,154
2 saat	0,164
3 saat	0,164
4 saat	0,193
6 saat	0,177
8 saat	0,209
10 saat	0,171
12 saat	0,216
14 saat	0,211
16 saat	0,214
18 saat	0,218
20 saat	0,221
22 saat	0,229
24 saat	0,238
27 saat	0,241
30 saat	0,244
33 saat	0,238
36 saat	0,244

7.2 Mikrobiyal Analiz Sonucu

Cooltry ve diğerleri, inek dışkı ve idrarını kullanarak çeşitli sıcaklıklarda E.coli bakterisinin bulunup bulunmadığını incelemiştir. Başlangıçta $4,8 \times 10^8$ CFU bulunan E.coli, 40 °C sıcaklıkta 1 saat tutulduğunda $4,2 \times 10^8$ CFU'ya, 50 °C'ta $4,8 \times 10^5$ CFU'ya düşmektedir. 60 °C'de 1 saat, 24 saat, 48 saat beklenildiğine ise E.coli bakterisine rastlanılmamıştır. Mevzuatta yer alan ön ısıtma işlem sıcaklığı ve süresinde yani, 70 °C'ta 1 saat bekletildiğinde ise, E.coli bakterisine rastlanılmamıştır (Cooltry ve diğ., 2013).

Başka bir çalışmada, septik tanklardan alınan dışkıdaki fekal koliform, fekal streptokok ve Salmonella bakterilerini incelemiştir. Bu bakteriler, 70 °C sıcaklıkta, 20, 40,60, 80, 100, 120 dakika boyunca gözlemlenmiştir. Yönetmelikte yer alan 70 °C 1 saat bekletme süresi sonunda, bu üç bakterinin de bulunduğu görülmüştür. Fekal koliform ve fekal streptokok'un 100 dk'nın, Salmonella'nın ise 80 dakikanın sonunda yok olduğu görülmüştür (Yin ve diğ., 2016).

Sahlström ve diğerleri, çeşitli organik atıkların bulunduğu biyokütle kaynakları üzerinde Enterococci, Clostridium perfringens ve E.coli bakterilerini incelemiştir. 70 °C olan ön ısıtma işlemi, 1 saat sürenin sonunda Enterococci ve E.coli görülmezken, Clostridium perfringens bakteriler varlıklarını sürdürebilmiştir (Sahlström ve diğ., 2008).

Bagge, domuz ve büyükbaş hayvan gübresi, evsel atık, yemek atığı ve ilaç endüstrisi atığından oluşan karışımın koliform, E.coli, Enterococci ve Clostridium perfringens bakterileri varlığı bir yıl boyunca incelenmiştir. Analiz edilen numunelerde koliform ve E.coli bakterilerine 70 °C'ta 1 saat ön ısıtma işlemi süresi sonunda rastlanılmamıştır. Enterococci bakterisine ise pastörizasyon sonrasında sadece kış aylarında rastlanılmıştır. İzlenen süre boyunca, pastörizasyon sonrasında Clostridium perfringens bakterileri sürekli olarak gözlemlenmiştir (Bagge ve diğ., 2005).

0,1 mL olarak alınan numunelerin mikrobiyal analiz sonuçları, 100 mL cinsinden Çizelge 7.7'de gösterilmiştir.

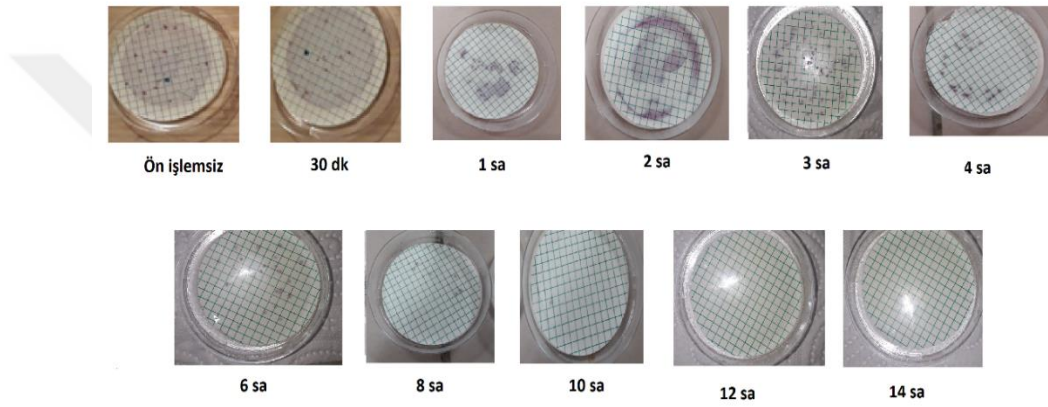
Çizelge 7.7: Mikrobiyal analiz sonucu hesaplanan bakteri sayısı.

Ön İşlem	Escherichia coli (CFU)	Toplam Koliform (CFU)	Fekal Koliform (CFU)
Yok	1000	132000	2000
30 dk	1000	116000	1000
1 sa	0	91000	0
2 sa	0	81000	0
3 sa	0	73000	0
4 sa	0	26000	0
6 sa	0	22000	0
8 sa	0	6000	0
10 sa	0	1000	0
12 sa	0	0	0
14 sa	0	0	0

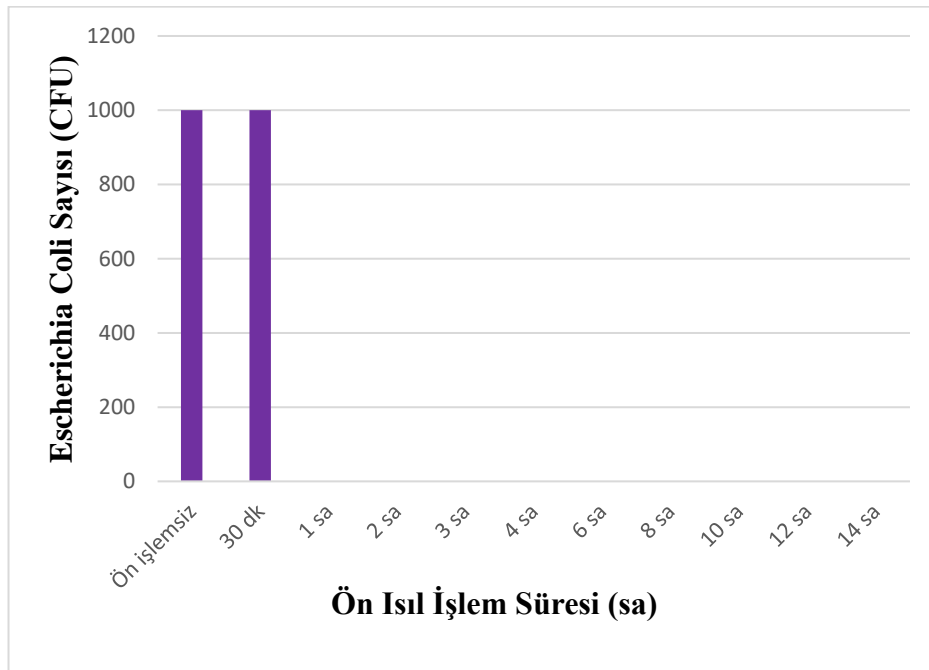
Şekil 7.12'ta görüldüğü üzere, ön işlem yapılmadığı takdirde EC ve çok sayıda TK bakterilerine rastlanmıştır. 30 dk ön işlemden sonra TK sayısında azalma görülürken, EC

sayısı aynı kalmıştır. Yönetmelikte yer alan 1 saat ön işlemden ise, EC bakterileri yok oluş, fakat hala TK bakterileri gözlemlenmiştir. TK bakterileri 10 saat süre ile ön ısıtma işlemi yapılmaya kadar varlığını sürdürmüştür, 12 ve 14 saat ön ısıtma işlem sürelerinde ise varlığını kaybetmiştir. EC ve TK sayılarının daha iyi gözlemlenmesi için Şekil 7.13'te E.coli, Şekil 7.14'te ise TK bakterisinin grafiği verilmiştir.

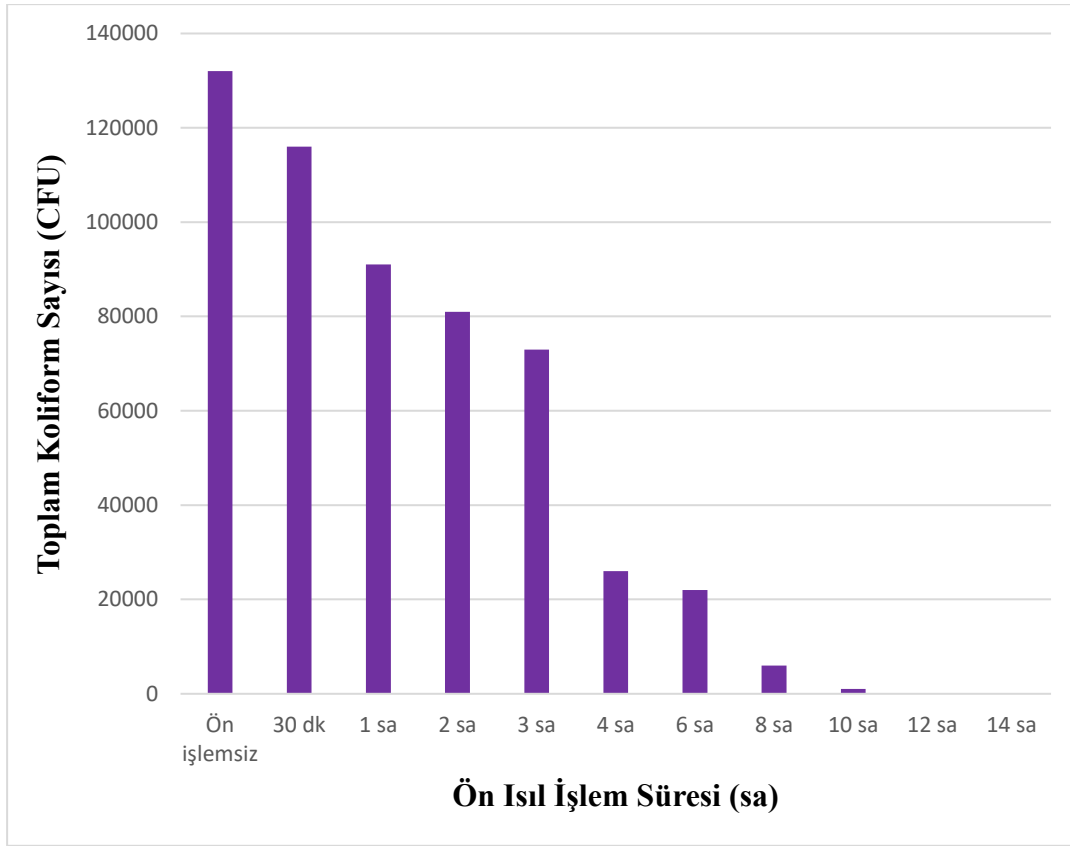
Bir saat ön ısıtma işlem süresi FK ve EC bakterilerinin yok olması için yeterli iken, TK bakterileri için yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Tez çalışmamızda kullanılan atığın, literatürde kullanılan atık türlerinden farklı olduğu için sonuçların farklılık gösterebilmektedir.



Şekil 7.12: Escherichia coli (EC) ve Toplam koliform (TK) bakterileri sonuçları.

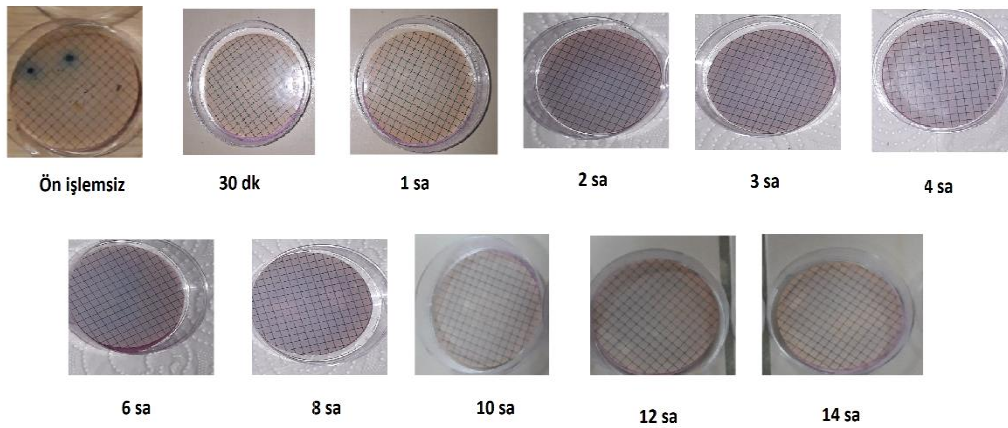


Şekil 7.13: Escherichia coli (EC) bakterisi sonucu.

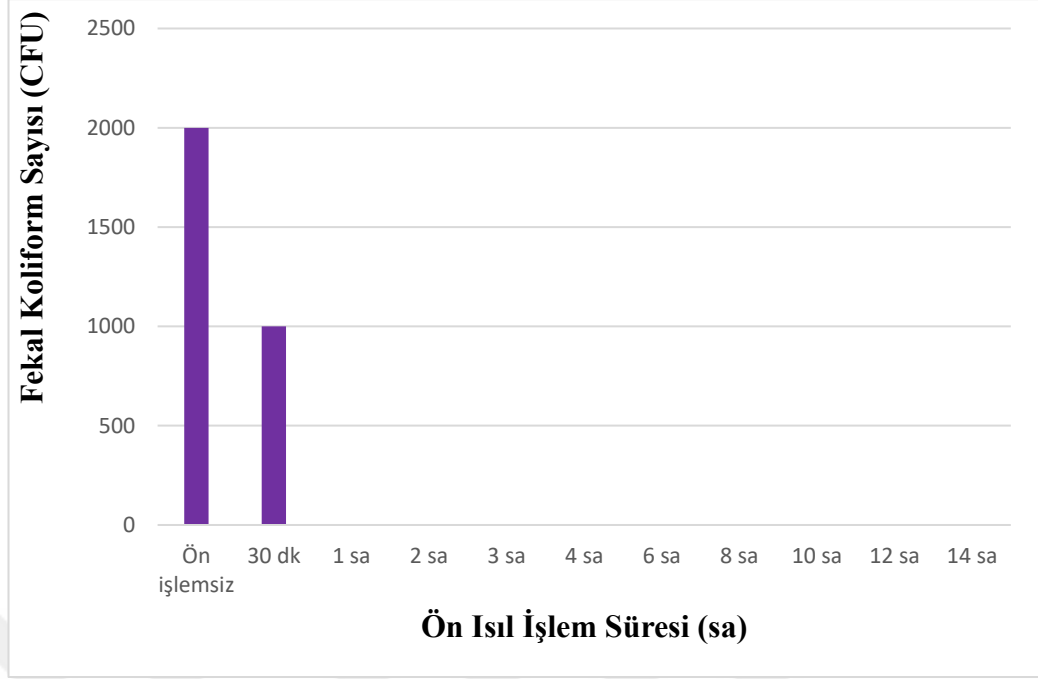


Şekil 7.14: Toplam koliform (TK) bakterisi sonucu.

Fekal koliform (FK) sayımları ise Şekil 7.15’de gösterilmiştir. Ön işlem yapılmadığında, numunemizde FK bakterilerine rastlanmıştır. 30 dk ön işlem yapıldığında ise, FK bakteri sayılarında bir düşüş olduğu görülmektedir (1.000 CFU). 1 saat ve daha uzun süre ön işlem yapıldığında ise, FK bakteri görülmemektedir. Şekil 7.16’de FK sayımı grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 7.15: Fekal koliform (FK) bakteri sonuçları.



Şekil 7.16: Fekal koliform (FK) bakteri sonucu

70 °C 1 saatin sonunda, bizim çalışmamızda olduğu gibi, yukarıda bahsedilen çalışmaların hepsinde, E.coli bakterisine rastlanmamıştır. Septik tanklardan alınan dışkı ile incelenen çalışmada ise 70 °C 1 saatin sonunda, FK bakterileri yok olmamıştır. Biim çalışmamızda ise bu saatin sonunda fekal bakterileri yok olmuştur. FK bakterilerinin dışkı kaynaklı olmasında ve bahsedilen çalışmada kullanılan atığın dışkı olması nedeniyle bu süre zarfında FK bakterileri yok olmamıştır. Bagge ve diğerlerinin domuz ve büyükbaş hayvan gübresi, evsel atık, yemek atığı ve ilaç endüstrisi atığından oluşan karışımı ile yapmış olduğu çalışmada 1 saat sonunda TK bakterilerine rastlanmazken, bizim yaptığımız deneyin sonucunda bol miktarda TK bakterisine rastlanmıştır. Bu farkın nedeni olarak yine farklı tür atık kullanımını gösterilebilmektedir

8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji üretiminde en büyük paya sahibi olan fosil kaynaklarının yakın zaman içerisinde tükenecek olması, dünyanın ve Türkiye'nin nüfusunda yaşanan artış ile birlikte atık miktarının artması, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle enerjisine yönlendirmektedir. Biyokütle enerjisi içerisinde ise en temiz olan teknoloji anaerobik çürütme ile meydana gelen biyogaz teknolojisidir.

Tez kapsamında biyogaz teknolojisi için var olan AB yönetmeliği incelenmiştir. AB yönetmeliğinde, kategori 3 içerisinde yer alan yemek atığı, patojenlerden arındırmak amacıyla anaerobik çürütme işlemine sokulmadan 70 °C sıcaklıkta 1 saat süre ile tutulması zorunludur.

Biyogaz üretimi için yönetmelikte yer alan maddenin laboratuvar boyutunda incelemesi yapılmıştır. Bu inceleme sonucunda, 1 saat ön ısıtma işlem süresi FK ve EC bakterilerinin yok olması için yeterli iken, TK bakterileri için yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Tüm patojenlerden arındırmak amacıyla ön ısıtma işlem süresi uzatılabilmektedir. Yaptığımız tez çalışmasında, araştırılan tüm bakterilerden arınma süresi 12 saat olarak tespit edilmiştir.

Ön ısıtma işlem süresi uzadıkça çözünürlüğe olumlu bir etkisi olacağından üretilen biyogaz miktarında da artış görülmesi beklenmektedir. Bu sebeple, tezimizde mikrobiyal analiz dışında çözünürlük değerleri de incelenmiştir. 36 saate kadar uzatılan pastörizasyon süresine ait olan toplam ve çözülmüş kimyasal oksijen ihtiyacı incelenmiştir. Bunun neticesinde, en iyi çözünürlük sonucu 30 saate ön ısıtma işlem süresine aittir. Günlük olarak besleme yapılacağı için 30 saat ön ısıtma işlem süresinin çok uzun olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle 30 saat ön ısıtma işlem süresine ait olan çözünürlük değerlerine yakın olan değerler incelenmiştir. Gelecek araştırma çalışmaları için en iyi sonuca yakın ve uygulanabilirliği yüksek olması açısından 24 saat ön ısıtma işlemine tabi tutulması önerilmektedir.

Diğer yandan, farklı ön ısıl işlem sürelerine ait çözünürlük tablosu incelendiğinde, ivmesinin yüksek olması açısından 8 saat olarak uygulanan ön ısıl işlem süresi gelecek vaat edici görülmektedir.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ışığında, gelecek araştırma çalışması olarak dört farklı reaktörde biyogaz üretim miktarları karşılaştırılacaktır. Dört farklı reaktörden birincisinde beslemeye herhangi bir ön ısıl işlem uygulanmayacaktır. İkinci reaktöre beslenecek hammadde ise, yönetmelikte yer alan, yani 1 saat süre ile pastörizasyon uygulamasına tabi tutulacaktır. Üçüncü ve dördüncü reaktörlerde ise, 8 ve 24 saat ön ısıl işlem süresi uygulanacak beslemelerin biyogaz miktarları incelenecektir.



KAYNAKÇA

- Aboufioth, A., El Gohary, E., & El Monayer, O.** (2015). Effect of Thermal Pretreatment on The Solubilization of Organic Matters in A Mixture of Primary And Waste Activated Sludge. *Journal of Urban and Environmental Engineering*.
- Akın, G.** (2006). Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 2(46), 29-43.
- Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., & Janssen, R.** (2008). *Biogas Handbook*. Danimarka: University of Southern Denmark Esbjerg.
- Altınbaş, M., Kara, C., & Hasanoğlu, A.** (2018). Volatile Fatty Acid Production from Baker's Yeast Industry Effluent. *Waste and Biomass Valorization*.
- Atık Yönetimi Yönetmeliği.** (2015). (29314). Resmi Gazete. 10 21, 2018 tarihinde <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm> adresinden alındı
- Bagge, E., Sahlström, L., & Albiñ, A.** (2005). The effect of hygienic treatment on the microbial flora of biowaste at biogas plants. *Water Research*.
- Batstone, D., & Angelidaki, I.** (2011). Anaerobic Digestion: Process. T. Christensen içinde, *Solid Waste Technology & Management*. Wiley.
- Biyokütlenin Altın Çağı.** (2014). *Deloitte*.
- BP Statistical Review of World Energy.** (2018, Ekim 8). BP: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf> adresinden alındı
- Chemistry Libretexts.** (2018, Aralık 5). Temperature Effects on Solubility: [https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_\(Physical_and_Theoretical_Chemistry\)/Equilibria/Solubility/Temperature_Effects_on_Solubility](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Equilibria/Solubility/Temperature_Effects_on_Solubility) adresinden alındı
- Cooltry, J., Walsh, E., & McDonnell, K.** (2013). Energy and economic implications of anaerobic digestion pasteurisation regulations in Ireland. *Energy*.
- Eaton, A., Clesceri, L., Rice, E., & Greenberg, A.** (2005). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. Maryland: Centennial Edition.
- Er, A.** (2018, Ekim 29). *Biyoyakıt Kaynağı Olarak Pelet Yapımı*. Sakarya Ticaret Borsası: <https://www.stb.org.tr/Dosyalar/Arastirmalar/pelletbiomass.pdf> adresinden alındı

- Ercan, F.** (2019, Eylül 18). *Atık Yönetimi Mevzuatı*. PAGÇEV: www.pagcev.org/upload/files/Funda%20Ercan%20Atik%20Yonetimi%20Mevzuati.pdf adresinden alındı
- Fardin, J., & de Barros, O.** (2018). *Biomass: Some Basics and Biogas*. Elsevier.
- Ferrer, I., Ponsa, S., Vazquez, F., & Font, X.** (2008). Increasing biogas production by thermal (70 °C) sludge pre-treatment prior to thermophilic anaerobic digestion. *Biochemical Engineering Journal*, 186-192.
- Genç, N.** (2009). Biyolojik Hidrojen Üretim Prosesleri. *BAÜ FBE Dergisi*, 17-36.
- Gerardi, M. H.** (2003). *The Microbiology of Anaerobic Digester*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı.** (2011, Aralık 24). İnsan tüketimi amacıyla kullanılmayan hayvansal yan ürünler yönetmeliği. *Resmî Gazete*. Aralık 7, 2018 tarihinde <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/12/20111224-3.htm> adresinden alındı
- Grim, J., Malmros, P., Schnürer, A., & Nordberg, A.** (2015). Comparison of pasteurization and integrated thermophilic sanitation at a full-scale biogas plant- Heat demand and biogas production. *Energy*, 419-427.
- Gustavsson, J., Cederbeg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R., & Meybeck, A.** (2011). *Global Food Losses and Food Waste- Extent, Causes and Prevention*. Food and Agriculture of the United Nations (FAO).
- Info Resources.** (2007). *Info Resources Focus 1/07*. Zollikofen, İsviçre.
- Kaya, D., & Öztürk, H.** (2012). *Biyogaz Teknolojisi*. İzmit: Umuttepe Kitabevi.
- Kemirtlek, A.** (2018, Kasım 5). *Entegre Katı Atık Yönetimi*. İstaç: istac.com.tr/contents/44/cevre-makaleleri_130838592910380265.pdf adresinden alındı
- Ketenoğlu, O., & Kurt, L.** (2012). Küresel Isınma - İklim Değişikliği ve Türkiye'nin Biyolojik ve Türkiye'nin Biyolojik. *Eylül- Ekim*.
- Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R., & Searchinger, T.** (2013, Haziran). Reducing Food Loss and Waste. *World Resources Institute*. Ekim 21, 2018 tarihinde http://pdf.wri.org/reducing_food_loss_and_waste.pdf adresinden alındı
- Mevsimlik Sıcaklık Analizi.** (2018, Aralık 16). Meteoroloji Genel Müdürlüğü: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=ISTANBUL> adresinden alındı
- Munoz, M., Oschmann, V., & Tabara, D.** (2007). Harmonization of renewable electricity feed-in laws in the European Union. *Energy Policy*(35), 3104-3114. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.11.006>
- Murphy, J., Braun, R., Weiland, R., & Wellinger, A.** (2011). *Biogas From Crop Digestion*. IEA Bioenergy.
- Renewable Energy Statistics 2018.** (2018, Ağustos 8). IRENA: <https://www.irena.org/>

/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2018.pdf adresinden alındı

- Rodriguez Abalde, A., Fernandez, B., Silvestre, G., & Flotats, X.** (2011). Effects of thermal pre-treatments on solid slaughterhouse waste methane potential. *Waste Management*, 1488-1493.
- Sahlström, L., Bagge, E., Emmoth, E., & Holmqvist, A.** (2008). A laboratory study of survival of selected microorganisms after heat treatment of biowaste used in biogas plants. *Bioresearch Technology*, 7859-7856.
- Saxena, R., Seal, D., Kumar, S., & Goval, H. B.** (2008). Thermo-chemical routes for hydrogen rich gas from biomass: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1909-1927.
- Steffen, R., Szolar, O., & Braun, R.** (1998). Feedstocks for Anaerobic Digestion. Ekim 25, 2018 tarihinde <https://pdfs.semanticscholar.org/293e/a2a9a8d8315548b8d749f60e4b28378d9dfa.pdf> adresinden alındı
- Steiner, M., & Wiegel, U.** (2009). *Katı Atık Yönetimi Atık Yönetiminin Esaslarına Yönelik Rehber Kitap*. (A. Quicket, Dü., & A. Dizdar, Çev.) Ankara, Türkiye: Eflatun Yayınevi.
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.** (2018, Ekim 30). http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_cevim_tekno.aspx adresinden alındı
- Tarım ve Orman Bakanlığı.** (2014). Hayvansal yan ürün kullanan biyogaz ve kompost tesislerinin çalışma usul ile esaslarına ilişkin talimat. Aralık 6, 2018 tarihinde <https://kms.kaysis.gov.tr/Home/Goster/56458> adresinden alındı
- Tatlıdil, F. F., Dellal, İ., & Bayramoğlu, Z.** (2013). *Food Losses and Waste in Turkey*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Ekim 21, 2018 tarihinde <http://www.fao.org/3/a-au824e.pdf> adresinden alındı
- The Food We Waste.** (2008). Ekim 21, 2018 tarihinde <http://wrap.s3.amazonaws.com/the-food-we-waste-executive-summary.pdf> adresinden alındı
- TÜİK.** (2018, Ekim 21). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi: http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059 adresinden alındı
- Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018.** (2018, Eylül 1). TMMOB Makina Mühendisleri Odası: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu2018_1.pdf adresinden alındı
- Uçkun Kıran, E., Stamatelatos, K., Antonopoulou, G., & Lyberatos, G.** (2016). *Production of Biogas via Anaerobic Digestion*.
- Union, O. J.** (2018, Ekim 8). *Regulations*. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:054:0001:0254:EN:PDF> adresinden alındı

- Uyerlinde, M., Daniels, B., de Noord, M., & de Vries, H.** (2003). Renewable Electricity Market Developments In The European. The Netherland: Final Report Of The Admire Rebus Project. Ekim 21, 2018 tarihinde <https://www.zew.de/de/publikationen/renewable-electricity-market-developments-in-the-european-union-final-report-of-the-admire-rebus-project/> adresinden alındı
- Wellinger, A., Murphy, J., & Baxter, D.** (2013). *The Biogas Handbook*. IEA Bioenergy.
- Yin, F., Li, Z., Wang, D., & Ohlsen, T.** (2016). Performance of thermal pretreatment and mesophilic fermentation system on pathogen inactivation and biogas production of faecal sludge: Initial laboratory results. *Biosystems Engineering*.
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., & Tan, T.** (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 383-392.



ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Emine ÇELEN

E-posta: celene@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi,
Kimya Mühendisliği