

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KÜTAHYA İLİ EVSEL BİYOBÖZÜNÜR ATIKLARIN BİYOGAZ
POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

SEMİH ÇELİK

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

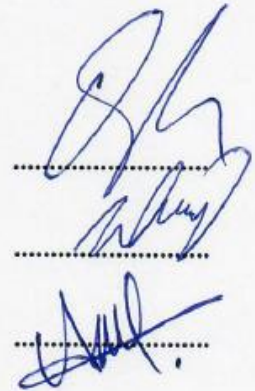
KÜTAHYA İLİ EVSEL BİYOBOZUNUR ATIKLARIN
BİYOGAZ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

SEMİH ÇELİK

Prof. Dr. Aykan KARADEMİR
Danışman, Kocaeli Üniv.

Doç. Dr. İsmail ÖZBAY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç. Dr. Asude ATEŞ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 31.05.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Kütahya İli evsel biyobozunur atıklarının biyogaz potansiyelinin belirlenmesi ve geliştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca ve tez çalışmamda görüşleri ile çalışmalarına çok büyük katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta desteğini ve zamanını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Aykan KARADEMİR'e,

Tez çalışmamda bilgi ve destekleriyle katkıda bulunan hocam Dr. Öğr. Üyesi Kadriye OKTOR'a,

Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini hep hissettiğim Çevre Mühendisi Mücahit Esat AYMAK'a, eğitim dönemim boyunca çalışmalarım için her türlü kolaylığı ve desteği gösteren İSKİ Çatalca Atıksu Arıtma Tesisleri Bölge Şefi Kenan ÜLKER'e ve KÜKAB yönetimine,

Yüksek lisans öğrenimim boyunca ve tez çalışmamda, üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum, her zaman koşulsuz desteklerini hissettiğim, onların sayesinde bugünlere geldiğim canım annem Nezire ÇELİK, canım babam Mehmet ÇELİK'e,

Tez çalışmamın tüm aşamalarında en büyük destekçim, her zaman sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan sevgili ve fedakar eşim Merve ÇELİK'e sonsuz teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Mayıs – 2019

Semih ÇELİK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLOLAR DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
GİRİŞ	1
1. BELEDİYELERDE ENTEGRE KATI ATIK YÖNETİMİ	4
1.1. Belediyelerde Entegre Katı Atık Yönetiminin Önemi	4
2. BİYOBOZUNUR ATIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ.....	7
2.1. Biyobozunur Atıkların Anaerobik Çürütülmesi.....	8
2.2. Anaerobik Parçalanma Basamakları.....	9
2.2.1. Hidroliz	9
2.2.2. Asit oluşumu	11
2.2.3. Metan oluşumu	12
2.3. Biyogaz Ürünleri	14
3. MATERYAL VE METOD	16
3.1. Araştırmanın Amacı	16
3.2. Kütahya Katı Atık Yönetimi ve Sahanın Tanıtımı.....	16
3.2.1. Kütahya II. sınıf düzenli depolama sahası	19
3.2.2. Katı atık transfer istasyonları.....	21
3.3. Biyobozunur Atıkların Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi.....	22
3.3.1. Evsel atıklarda organik atıkların ayrıştırılması.....	22
3.3.2. Evsel biyobozunur katı atık karakterizasyonu	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. Kütahya Katı Atık Projeksiyonu	29
4.1.1. Evsel katı atık projeksiyonu.....	31
4.2. Biyogaz Üretim Potansiyeli.....	36
4.2.1. Biyogaz tesisi kapasitesinin değerlendirilmesi	36
4.2.2. Organik atık ayırma ve hazırlama ünitesi kapasitesi	38
4.3. Anaerobik Çürütücü Sistemleri	39
4.4. Tesiste Üretilen Metan Gazı ve Elektrik Enerjisi Miktarı.....	42
4.5. Biyogaz Tesisi Teknolojisine Yönelik Değerlendirme	44
4.5.1. Kuru ve ıslak sistemlerin karşılaştırılması.....	43
4.5.2. Tek kademeli ve iki kademeli sistemlerin karşılaştırılması.....	49
4.5.3. Sürekli ve kesikli sistemlerin karşılaştırılması	50
4.5.4. Mezofilik ve termofilik sistemlerin karşılaştırılması.....	52
4.6. Performans Değerlendirmesi	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	59
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	62
ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Kütahya depolama tesisinde organik atıklardan üretilen kompost.....	15
Şekil 3.1.	Kütahya düzenli depolama tesisi 1. lot yapımı	19
Şekil 3.2.	Kütahya İli düzenli depolama sahası.....	21
Şekil 3.3.	Kütahya İli için biyobozunur atık oranları	27
Şekil 4.1.	Kuru anaerobik çürütme sistemleri örnek akım şeması	36
Şekil 4.2.	Farklı anaerobik çürütücü tiplerinin basit şemaları.....	38
Şekil 4.3.	Kütahya depolama sahası kojeneratif enerji santrali.....	41
Şekil 4.4.	Sıcaklığın anaerobik çürütme hızına etkisi	51

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Anaerobik arıtmada polimerik bileşiklerden biyogaz oluşumuna kadar gerçekleşen dönüşümler	8
Tablo 2.2. Enzimatik hidrolize katkıda bulunan mikroorganizmalar	10
Tablo 2.3. Tipik biyogaz bileşimi.....	14
Tablo 3.1. Düzenli depolama alanı hücrelerinin dolum kapasiteleri ve dolum Periyotları	20
Tablo 3.2. Transfer istasyonlarının merkez deponi sahasına uzaklığı.....	22
Tablo 3.3. Kütahya İli için evsel katı atık bileşenleri oranları	26
Tablo 4.1. Kütahya İli nüfus projeksiyonu	29
Tablo 4.2. Kütahya İli'nde toplanan atık miktarı	30
Tablo 4.3. Kütahya İli için katı atık projeksiyonu.....	31
Tablo 4.4. Biyogaz ünitesinde geri kazanılacak atık miktarı	32
Tablo 4.5. Atık kütle dengesi.....	34
Tablo 4.6. Biyometanizasyon tesisinde oluşacak ürünlerin miktarı	42
Tablo 4.7. Islak ve kuru anaerobik çürütme işlemlerinin karşılaştırılması	44
Tablo 4.8. Biyogaz tesisi parametreleri	45

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MW	: Megawatt
M ³	: Metreküp
T	: Sıcaklık, (°C)
t	: Süre, (dk)
V	: Hız, (sn)

Kısaltmalar

ADDDY	: Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik
EKAY	: Entegre Katı Atık Yönetimi
İSKİ	: İstanbul Su Kanalı İdaresi
KÜKAB	: Kütahya Katı Atık Birliği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

KÜTAHYA İLİ EVSEL BİYOBOZUNUR ATIKLARIN BİYOGAZ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Evsel atığı oluşturan bileşenler arasında geri dönüştürülebilen materyallerin geri dönüşümü/kazanımı katı atık yönetiminde entegre yaklaşımın en temel parçasını oluşturmaktadır. Bu kapsamda evsel atığın önemli bir kısmını oluşturan biyobozunur (organik, biyolojik olarak ayrışabilen) atıkların değerlendirilmesi son derece önemlidir. Çalışmada Kütahya ilinde ortaya çıkan evsel biyobozunur atıkların biyogaz potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında ilk olarak il genelinde evsel atıkların miktarı ve karakterizasyonu belirlenmiş ve Türkiye İstatistik Kurumu veriler temelinde 30 yıllık atık projeksiyonu yapılmıştır. Bu kapsamda evsel atıkların yaklaşık % 40'ının biyogaz tesisinde işlenebilir özellikte hızlı bozunabilen atıklar olduğu görülmüştür. Daha sonra evsel biyobozunur atıklardan biyogaz elde edilmesi için kullanılan mevcut teknoloji ve sistemler incelenerek mevcut biyobozunur atıklar için en uygun reaktör teknolojisi seçilmiştir. Bu bağlamda Kütahya ilinde toplanan evsel atıkların organik kısımlarının anaerobik olarak çürütülmesi ve enerji ve kompost elde edilmesi amacıyla kurulacak olan biyogaz tesisi için, atık özellikleri, güncel teknoloji, işletme kolaylığı, enerji verimi ve katı ürün özellikleri ve avantajları göz önüne alınarak “kuru anaerobik çürütme” prosesine dayanan bir sistem önerilmiştir. Son olarak bu sistem ile elde edilebilecek metan gazı miktarı temelinde, toplam enerji, elektrik enerjisi ve ısı enerjisi miktarları 30 yıllık bazda hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalarda 2018 yılında yaklaşık olarak 60 000 ton/yıl olan biyobozunur atık miktarının 2045'te yaklaşık olarak 85 000 ton/yıl olacağı; bu atıklardan elde edilebilecek elektrik enerjisinin de 2020 yılında 2.0 MW/saat iken 2050 yılında yaklaşık 2.75 MW/saat'e ulaşacağı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyobozunur Atık, Biyogaz, Evsel Atık.

ASSESSMENT OF BIOGAS POTENTIAL OF MUNICIPAL BIODEGRADABLE WASTES IN KÜTAHYA PROVINCE

ABSTRACT

Recycling of suitable materials in municipal solid wastes is the most significant part of integrated waste management. In this process, recycling of biodegradable organic wastes showing the highest ratio in municipal wastes is important particularly. The study includes an assessment of biogas potential of municipal biodegradable wastes collected in Kütahya Province. For this, the amount and characterization of the municipal wastes were determined first, and 30-years waste projection was performed based on the data given by Turkish Statistical Institution. The results showed that about 40 percent of the total municipal wastes is readily biodegradable wastes, which could be used in biogas process. Then the most feasible biogas reactor technology was selected for available biodegradable wastes in the province by assessing the current technology and system alternatives. For converting organic wastes to energy and compost by anaerobic digestion, a “dry anaerobic digestion” system was proposed for Kütahya province by considering waste characteristics, current technology alternatives, easiness of operation, energy efficiency, compost end-product properties etc. Finally, total energy, electrical energy and heat energy to be obtained from the methane produced by this system were calculated for next 30 years. It was estimated that the amount of biodegradable wastes collected in the province will increase from 60 000 tons per year in 2018 to 85 000 tons per year in 2045, while the electrical energy produced from these wastes will increase from 2.0 MWh in 2020 to 2.75 MWh in 2050.

Keywords: Biodegradable Waste, Biogas, Municipal Waste.

GİRİŞ

Evsel atıkların toplanması, taşınması ve çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi klasik katı atık yönetimi yaklaşımının temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Ancak, günümüzde katı atık yönetimi kavramı bu tanımlamanın ötesinde farklı bileşenleri de kapsamakta ve daha entegre bir yapıyı ifade etmektedir. Bu kapsamda, evsel atığı oluşturan bileşenler arasında geri dönüştürülebilen materyallerin geri dönüşümü/kazanımı söz konusu entegre yaklaşımın en önemli parçasını oluşturmaktadır. Atık yönetimiyle ilgili yönetmeliklerde de “atık üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda atıkların; yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve ikincil hammadde elde etme amaçlı diğer işlemler ile geri kazanılması, enerji kaynağı olarak kullanılması veya bertaraf edilmesi esastır” denilmektedir. Evsel atıkların içinde, geri dönüştürülebilen materyallerin başında kağıt/karton, plastik, cam, ve metal atık bileşenleri gelmektedir. Bu atıkların geri dönüşümü kaynağında ayırma veya atık ayırma/ayırıştırma tesislerinde yapılabilmektedir. Kaynağında ayırma yönteminde, atık üreticileri (kurum, kuruluş veya kişi) geri dönüştürülebilecek atıkları diğer atık bileşenlerine karıştırmadan ayrı olarak biriktirmekte, daha sonra evsel atıkların biriktirildiği konteynerlerden farklı konteynerlerde toplanan bu atıklar ilgili tesislerde değerlendirilmekte ve geri dönüşümü sağlanmaktadır. Aksi halde, geri dönüştürülebilecek atıklar üreticiler tarafından konteynerlerde evsel atıklar ile beraber biriktirilmekte, karışık olarak toplanmakta ve atık ayırma/ayırıştırma tesislerinde belli işlemlerden geçirilerek bileşenlerine ayrıştırılmaktadır. Ancak bu durumda, söz konusu atıkların büyük bir kısmı diğer atıklar tarafından geri dönüşümüne imkân sağlamayacak derecede karışmış/kirlenmiş hale gelmektedir. Dolayısıyla, atıkların birbirlerine olabildiğince karıştırılmamaları, uygulanacak sistemin başarılı olabilmesinin ilk adımını oluşturmaktadır.

Evsel atığın önemli bir kısmını biyobozunur (organik, biyolojik olarak ayrışabilen) atık bileşenleri oluşturmaktadır. Bunlar; mutfak atıkları, kağıt, karton, hacimli karton, hal atıkları, park-bahçe atıkları, diğer yanabilenler (kumaş, çocuk bezi, ayakkabı, terlik, yastık) ve diğer yanabilir hacimli atıklar (mobilya, tahtadan yapılmış

malzemeler) olarak sayılabilir. Ülkemizde çıkarılan yeni yönetmeliklerle birlikte depolanan kentsel katı atıklardaki biyobozunur atık oranlarının kademeli olarak düşürülmesi gerekmektedir. Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (ADDDY) kapsamında düzenli depolama alanlarına alınacak biyobozunur atık miktarında yapılacak azaltım hedefleri; 2015 yılı için % 25, 2018 yılı için % 30 ve 2025 yılı için % 65 olarak hedeflenmiştir (URL-1). Bu kapsamda, söz konusu biyobozunur atıkların depolama alanlarına gönderilmeden bertarafına yönelik tedbirlerin alınması gerekmektedir. Burada dikkat edilmesi gerekli husus, biyobozunur atıkları oluşturan bileşenlerin kendi içinde de farklılıklar içermesidir. Bu kapsamda orta-hızda ve yavaş bozunabilen biyobozunur atıkların (kağıt, karton, hacimli karton, diğer yanabilenler (kumaş, çocuk bezi, ayakkabı, terlik, yastık) ve diğer yanabilir hacimli atıklar (mobilya, tahtadan yapılmış malzemeler)) kaynağından ayırma veya karışık atıktan ayrıştırma yoluyla geri dönüşümü yapılarak bu atıklara ekonomik değer kazandırılmaktadır. Diğer taraftan, hızlı bozunabilen biyobozunur atıkların (mutfak atıkları, hal atıkları ve park-bahçe atıkları) ekonomik değere dönüşümü ise yaygın olarak çok adımlı biyokimyasal reaksiyonlardan oluşan biyolojik süreçler (örneğin kompostlaştırma, anaerobik çürütme) sonucunda mümkün olabilmektedir. Bu kapsamda, işlenen atıklardan toprak iyileştirici madde, yakıt nitelikli ürün ve/veya doğrudan enerji üretimi mümkün olabilmektedir. Ülkemizde genel olarak evsel atığın ortalama %65'i biyobozunur atık olarak kabul edilmekte olup, bu miktarın yaklaşık yarısını (%30-35) ise hızlı bozunabilen biyobozunur atıklar (mutfak atıkları, hal atıkları ve park-bahçe atıkları) oluşturmaktadır.

Evsel atıkların nasıl bertaraf edileceği, hangi atıkların geri dönüştürüleceği ve biyobozunur atıkların nasıl değerlendirileceğine karar verilmeden önce bazı ön çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Evsel atıkların yapısal olarak oldukça heterojen olması, miktar açısından mevsimsel değişiklikler göstermesi, sosyo-ekonomik yapıya göre dahi farklılıklar içermesi dikkate alınmalıdır. Yukarıda ifade edildiği üzere, inorganik atıklar (plastik, cam, metal, hafriyat atığı) ile orta-hızda ve yavaş bozunabilen biyobozunur atıkların (kağıt, karton, hacimli karton, diğer yanabilenler (kumaş, çocuk bezi, ayakkabı, terlik, yastık) ve diğer yanabilir hacimli atıklar (mobilya, tahtadan yapılmış malzemeler)) geri dönüşümü/kazanımına yönelik

yöntem ve teknolojiler oldukça yaygın olup, uygulamada çok fazla farklılıklar içermemektedir.

Diğer taraftan, hızlı bozunabilen biyobozunur atıkların (mutfak atıkları, hal atıkları ve park-bahçe atıkları)hangi yöntemle değerlendirileceği, seçilen yöntemde hangi teknolojinin uygulanacağı, atığın nasıl ayrıştırılacağı, kurulacak tesisin kapasitesi gibi temel unsurlar dikkate alınmalı ve buna göre karar verilmelidir. Bu kapsamda dikkate alınması gereken en önemli kriter, evsel atık içindeki hızlı bozunabilen biyobozunur atıkların (mutfak atıkları, hal atıkları ve park-bahçe atıkları) oranı ve buna bağlı olarak belirlenen miktardır.



1. BELEDİYELERDE ENTEGRE KATI ATIK YÖNETİMİ

1.1. Belediyelerde Entegre Katı Atık Yönetiminin Önemi

Katı atıkların oluşturduğu kirlilik ile buna bağlı mevcut ve potansiyel riskleri boyutunun her geçen gün artması, doğal kaynakların azalması ekonomik ve diğer nedenlerle çağımızda katı atık yönetimi gittikçe önem kazanmakta ve karmaşıklaşmaktadır. Bu nedenle atık oluşumundan nihai bertarafa kadar bütün kademeleri içine alan entegre bir katı atık yönetiminin unsurları ve bunların birbirleri ile ilişkilerinin çok iyi bilinmesi zorunludur. Atık yönetimi; atık yönetimi sistemi içinde oluşan atıkların bertaraf edilmesinde çevreye ve ekonomiye olan etkilerinin en aza indirilmesini amaçlar. Bu amaca ulaşmanın en kısa yolu ise doğal olarak atık miktarının azaltılmasıdır.

Entegre atık yönetimi, atık yönetimini bir bütün olarak değerlendirdiğini ve bu bütünün elemanlarını birer birer verimlilik ve etkinlik açısından irdelediğini bir kavram olarak kabul ettikten sonra amaç ve hedeflerini tanımlandığı sistemlerdir. Temel amacı; bu sistemin içerisinde oluşan atıkların yok edilmesi işleminin çevreye ve ekonomiye olan etkisinin en aza indirilmesini sağlamaktır (URL-4).

Entegre atık yönetimi, belli bir atık yönetimi hedefine yönelik olarak gerekli uygun yöntem, teknoloji ve yönetim programlarının seçilmesi ve uygulanması olarak tanımlanabilir. Günümüzde entegre atık yönetiminin hiyerarşisine bakıldığında;

- 1- Atık önleme
- 2- Atık azaltma
- 3- Yeniden kullanım
- 4- Geri dönüşüm
- 5- Geri kazanım

6- Nihai Bertaraf adımlardan oluştuğu görülmektedir (Sayar, 2012).

Katı atık yönetimini oluşturan başlıca unsurlar; az olan enerji, hammadde gibi doğal kaynakların maksimum verimi sağlayacak şekilde kullanılmasını, az atıklı üretimin desteklenmesini, atıkların geri kazanımını ve yeniden kullanımını, çevreye (hava, su, toprak ve canlılara) zarar vermeden bertaraf edilmesinin gerçekleştirilmesini amaçlayan toplama, taşıma, geri kazanım ve bertaraf işlemlerinin tümünü içeren entegre bir sistemdir denilebilir (Kaya, 2013).

Verimli ve entegre bir katı atık yönetim sistemi başlıca aşağıdaki özellikleri taşımalıdır.

1. Bütüncül bir sistem olmalı: Katı atık yönetimi bir yerleşim merkezinde oluşan katı atığın bileşimini oluşturan bütün maddeleri ve üretim kaynaklarını ihtiva edecek şekilde planlanmalıdır.
2. Ekonomik değer oluşturabilmeli: Katı atık sisteminden sağlanabilecek ekonomik değerler geri kazanılabilir malzemelerden, komposttan ve elde edilebilecek (düzenli depolama ve anaerobik kompost) biyogazdan olan girdilerdir. Bunlardan temin edilecek gelir, piyasa şartları ve yapılacak yatırımın maliyeti ile yakinen ilgilidir. Bu sebeple planlama aşamasında ekonomik analizin çok iyi yapılması gereklidir.
3. Esnek olmalı: Katı atık yönetim sistemi, çevresel, mekansal ve atık özelliklerinde zamana bağlı olarak meydana gelebilecek çeşitli değişikliklere belirli oranda uyum sağlayabilecek esneklikte olmalıdır.
4. Bölgesel planlama yapılmalı: Toplanacak atık miktarının büyüklüğü, planlamanın o oranda verimli olmasını sağlamaktadır. Atık oluşum miktarı ise öncelikle nüfusa bağlıdır. Bu sebeple şehirler dışındaki planlamalarda daha büyük bölgesel planlamalar yapılmalıdır. Bazı araştırmacılar entegre bir yönetime bağlı nüfusun 500.000 kişiden az olmamasını tavsiye etmektedir.

Atık yönetimi, sistem yaklaşımı ile ele alınması gereken entegre bir konudur. Sistem yaklaşımı; atık yönetiminin atık oluşumu, toplama, işleme ve uzaklaştırma gibi temel unsurların yanında enerji, çevre koruma, kaynakların korunması, verimlilik artışı, istihdam gibi konularla bütünlük içinde ele alınmasını gerektirmektedir. Atık

yönetiminde sistem yaklaşımı, katı atıkların sadece insan çevresinden uzaklaştırılmasını değil; çevre ve insan sağlığının korunarak geliştirilmesiyle birlikte ekonomik kalkınmanın sağlanmasına da olumlu katkılar sağlayacaktır. Atık yönetiminde genel ilke; atıkların kaynağında azaltılması, kaçınılmaz olarak çıkan atıkların da mümkün olan en yüksek oranda geri kazanılarak, yeniden kullanılmasıdır (Meral, 2014).

Entegre katı atık yönetimi sürecinde belediyeleri önemli kılan hususlardan birisi de; belediyelerin çevreyi korumaya yönelik kaideler koyabilen ve gerekli kontrolleri yapabilen bir örgüt niteliğinde olmalarıdır (Şengül, 1999). Belediyeler, çevrenin korunması ve çevre kirliliğinin önlenmesi ile ilgili bütün hususlarda ilgili kanunlar tarafından gerekli yetkilerle donatılmışlardır. Sorumlu oldukları alanda katı atıklar da dâhil olmak üzere çevre ile ilgili kurallar koyabilmekte ve bu kuralların uygulanabilirliğini denetleyebilmektedirler. Özellikle belediyeler; çöp kirliliği, atık su kirliliği, hava kirliliği, gürültü kirliliği, görüntü kirliliği ve diğer kirlilik türlerinde gerekli denetimleri yapmakta ve kurallara uymayanlara gerekli yaptırımları uygulamaktadırlar (URL-7).

2. BİYOBOZUNUR ATIKLARDAN BİYOGAZ ÜRETİMİ

Türkiye’de katı atık bertarafında kullanılan en yaygın uygulama düzenli depolama yöntemidir. Birçok Avrupa ülkesi için düzenli depolama, alan sıkıntısı ve sera gazı emisyonları ile sızıntı suyu sorunu yüzünden uygun bir atık yönetim metodu olmaktan çıkmıştır (Hartmann H., 2002). Evsel katı atığın organik kısmının anaerobik arıtımı (biometanizasyon), yenilenebilir enerji geri kazanımı ve atığın stabilizasyonu nedeniyle, özellikle Avrupa’da çok yaygın olarak uygulanmakta olup ülkemizde de alt yapısı oluşmuş durumdadır. Katı atığın organik kısmının anaerobik biyolojik yöntemlerle arıtımı oldukça cazip bir arıtma alternatifidir. Anaerobik reaktör teknolojisindeki önemli gelişmeler 1950’lerden sonra hız kazanmıştır (McCarthy, P.L., 2004).

Evsel katı atıkların organik kısmı ile farklı organik atık türlerinin havasız çürütücülerde birlikte arıtımı sonucu entegre (bütünleşik) bir atık yönetimi sağlanır (Hartmann H., 2002). Bu bağlamda özellikle Avrupa’da organik atıklardan biyogaz üretmek amacıyla çok sayıda tesis kurulmuştur. Bu tesisler, atık muhtevsındaki katı madde yüzdesine (ıslak ve kuru sistemler), kademe sayısına (tek ve çift kademeli sistemler) ve prosesin yürütüldüğü işletme sıcaklığına (mezofilik ve termofilik sistemler) göre sınıflandırılmaktadır.

Katı atıkların biyometanizasyon yoluyla biyogaz geri kazanımı çevresel boyutun yanı sıra ekonomik olarak da dikkat çekmektedir. Bu yöntemle, düzenli depolanıp yeterli ve verimli bir şekilde geri kazanım sağlanamayan organik atıklardan biyogaz üretimi ve stabil gübre elde edilmesi sağlanabilecektir. Ayrıca organik atıklardan biyogaz üretimi yenilenebilir enerji kapsamına girdiğinden, enerji kaynaklarında üretilen elektrik birçok Avrupa ülkesinde farklı oranlarda devlet tarafından desteklenmektedir.

2.1. Biyobozunur Atıkların Anaerobik Çürütülmesi

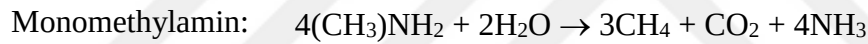
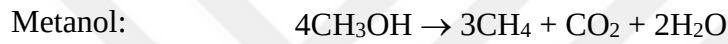
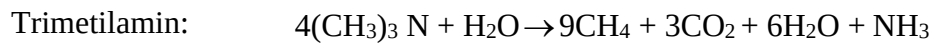
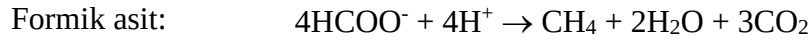
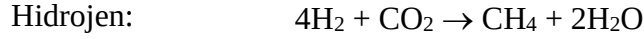
Anaerobik parçalanma, organik maddelerin oksijen yokluğunda anaerobik mikroorganizmalarla ayrışması esasına dayanan ve bu sırada meydana gelen çok adımlı biyokimyasal reaksiyonlardan oluşan biyolojik bir süreçtir (Lastella, 2000; İleri, 2000; Verma, 2002). Biyogazın dışında elde edilen sıvı veya katı olarak bulunan fermente ürün gübre olarak edilecektir.

Biyometanizasyon prosesi sonunda oluşan biyogaz gaz depolama ünitesinde depolanır. Daha sonra gaz temizleme ünitesinde arıtılarak kojenerasyon ünitesinde ısı ve elektrik enerjisi elde edilmek üzere yakılır. Elde edilen biyogazın metan içeriğinin enerji üretimi için uygun olmaması veya kullanılmaması halinde uygun kapasiteli meşalelerde yakılır. Biyogazın direkt olarak atmosfere salınması sonucunda oluşacak sera etkisi gaz yakma işlemiyle azaltılmış olur.

Tablo 2.1. Anaerobik arıtmada polimerik bileşiklerden biyogaz oluşumuna kadar gerçekleşen dönüşümler (İleri, 2000; Metcalf&Eddy, 2003; Juanga, 2005)

Reaksiyona giren ürünler	Mikroorganizmalar	Reaksiyon sonucu oluşan ürünler
Proteinler Yağlar Nişasta Selüloz	Hidrolizi gerçekleştiren mikroorganizmalar	Aminoasitler Yağ asitleri, Gliserin Glükoz Dextroz
Karbonhidratlar Aminoasitler Yağ asitleri Alkoller	Asit oluşturan mikroorganizmalar	Valerik asit Bütirik asit Propiyonik asit Laktik asit Etanol
Valerik asit Bütirik asit Propiyonik asit Laktik asit Etanol	Asetik asit oluşturan mikroorganizmalar	Asetik asit CO ₂ H ₂
Asetik asit Organik asitler Alkoller CO ₂ H ₂	Metan oluşturan mikroorganizmalar	CH ₄ + CO ₂

Anaerobik parçalanmayla biyogaz elde edilir. Biyogaz oluşum reaksiyonlarında hidrojen, formik asit, karbon monoksit, metanol, metilamin ve asetattan metan gazı oluşmaktadır (Metcalf&Eddy, 2003; Juanga, 2005).



2.2. Anaerobik Parçalanma Basamakları

Karmaşık makro moleküllerin transferi mikroorganizmalar aracılığıyla olmaktadır. Anaerobik parçalanmada protein, karbonhidrat ve yağların parçalanması dört farklı basamakla gerçekleşmektedir. Bunlar hidroliz, asidojenesis, asetojenesis ve metanojenesisdir (Van Haandel ve Lettiga, 1994; Vavilin ve Angelidaki, 2005; Juanga ve Park, 2005). Metan gazı üretim aşamaları çeşitli kaynaklarda farklı basamaklarla ele alınmaktadır. Bazı kaynaklarda asidojenesis ve asetojenesis evresi asit oluşumu adı altında birlikte verilmektedir. Metan fermantasyon sürecinde, uçucu yağ asitlerinin üretimi için asidojenik çürütme ve uçucu yağ asitlerinin metan ve karbondioksit dönüşümü olmak üzere iki temel proses meydana gelmektedir (Sosnowski, 2003).

2.2.1. Hidroliz

Organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından yapı taşlarına ayrılması olayına hidroliz denmektedir. Anaerobik parçalanma çok aşamalı bir süreçtir, Temel

adımlardan birisi hidrolizdir. Hidroliz işlemi süresince karmaşık yapıda bulunan parçalanamayan substrat makromoleküller yapıya sahip bakteriler aracılığıyla daha basit ve daha çözünebilir ara ürünlere hidrolize olurlar (Parawira vd., 2005).

Bakterilerin hücre dışı enzimleri partikül substratları küçük taşınabilir moleküllere hidroliz ederler, hidrolize olan bu küçük taşınabilir moleküller hücre zarı arasından geçebilir. Enerji sağlamak için ve hücresel bileşenler sentez etmek için hücre içerisinde bu basit moleküller kullanılır. Polisakkaritler basit şekerlere dönüştürülür, selülozun hidrolizi selülaz enzimi tarafından gerçekleşir glukoz oluşur, hemiselülozun hidrolizi ise xyloz, glikoz, pentozos, arabinoz ve mannoz gibi monosakkaritlere indirgenmesi ile sonuçlanır. Nişasta da amilaz enzimi tarafından glukozla dönüştürülür (Parawira vd., 2005).

Tablo 2.2. Enzimatik hidrolize katkıda bulunan mikroorganizmalar (İleri, 2000)

Hidroliz	Mikroorganizma
Protein Hidrolizi	E. Coli, Clostridia, S. Cerevisiae, küfler
Yağ Hidrolizi	Anaerobik bakterilerin çoğu, mayalar, küfler
Nişasta Hidrolizi	Clostridia, Bacillus, Aspergillus
Selüloz Hidrolizi	Trichoderma, Thermomonospora, Clostridia, Beyaz çürükçül fungus, küfler

Hidroliz hücre dışı enzimlerle gerçekleştirilen oldukça yavaş bir süreçtir. Reaksiyon hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve çamur yaşı (mikroorganizma bekleme süresi) dir. Yağlar çok yavaş hidrolize olduğundan önemli oranda yağ ve diğer yavaş hidrolize olan maddeler ihtiva eden atıkların havasız sindiriminde hidroliz hız sınırlayıcı bir faktör olabilmektedir. Özellikle bazı selülozlu atıkların havasız arıtımında da hidroliz sınırlayıcı rol oynar. Lignin de oldukça kompleks bir maddedir ve rastgele moleküler yapısı dolayısı ile anaerobik şartlarda hiç hidrolize olmaz veya reaksiyon hızı çok düşük olur.

2.2.2. Asit oluşumu

Anaerobik arıtmada ikinci adım asit oluşumudur. Uzun zincirli yağ asitleri ve aminoasitler, anaerobik oksitleyiciler ve fermentatif organizmalar tarafından substrat gibi kullanılırlar (Björnsson, 2000; Dewil ve ark., 2007). Fermantasyon olarak da adlandırılan asit oluşum sürecinde aminoasitler, şekerler ve bazı yağ asitleri parçalanarak fermentasyonun son ürünleri olan asetat, hidrojen (H₂), karbondioksit (CO₂), proporat ve bütirata dönüştürülürler. Proporat ve bütirat ilerde hidrojen (H₂) ve karbondioksit (CO₂)'e dönüştürülebilir. Bu fermantasyon son ürünleri metan oluşumunun habercileridir (Lastella, 2000; Metcalf&Eddy, 2003; Ostrem, 2004). Asit oluşumu basamağı asidojenesis ve asetojenesis olmak üzere iki basamakta ele alınmaktadır.

- $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_n \text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3 \text{COOH} + 2\text{H}_2$
- $2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3 \text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$

Asit üretimi safhasında iki farklı bakteri grubu görev yapmaktadır. Birinci grup bakteriler (fermentatif ve asidojenik bakteriler), organik polimerlerin hidrolizinde ve bunun sonunda açığa çıkan oligomen ve monomerler gibi hidroliz ürünlerinin organik asit ve solventlere dönüştürülmesinde rol alırlar. Bazı asidojenik bakteri türleri (homoasetik bakteri), karbonhidratları kullanarak asetik asit üretirler. Diğer bir tür de belirli şartlarda H₂ üretir. Asetik asit bakterileri, çoğalmaları için gerekli enerjiyi organik asit ve solventlerin asetik asit, H₂ ve CO₂'e parçalanması sonucu açığa çıkan enerjiden sağlarlar. Termodinamik sebeplerle asetik asit bakterileri sadece H₂ kullanan mikroorganizma alt grupları ile birlikte yaşarlar. Asetik asit bakterileri aynı zamanda H₂ üreten asetojenik bakteriler olarak da bilinmektedir (Öztürk, 1999; Gökçay, 2001). Asit oluşturan bakteriler, çözünmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitleri, hidrojen (H₂) ve karbondioksit (CO₂) gibi daha küçük yapıları maddelere dönüştürürler (Verma, 2002; Metcalf&Eddy, 2003; Sorensen, 2004). Asit oluşturan bakteriler anaerobiktirler ve asidik şartlarda büyürler. Asetik asit gibi uçucu yağ asit bakterilerinin büyümesi ve çoğalması için oksijene ve karbona ihtiyaçları vardır. Bakteriler çözeltideki bağlı haldeki oksijeni kullanarak büyüme ve çoğalmalarını sağlarlar. Asit oluşturan

bakteriler, metan oluřturucu bakteriler için anaerobik řartlar oluřtururlar (Sorensen, 2004).

2.2.3. Metan oluşumu

Anaerobik arıtımın nc adımı olan metan oluşum evresi metanojenler olarak bilinen mikroorganizma grubuyla gerçekleştirilir. Metan oluşum adımı genellikle proseste hız sınırlayıcı adımdır. Metan, asetattan veya asetotrofik ve hidrojenotrofik bakterilerin hidrojeni kullanarak karbondioksidin indirgenmesiyle üretilmektedir (Verma, 2002).

İki grup metanojenik organizma metan üretiminde rol almaktadır. Birinci grup asetotrofik metanojenler olarak adlandırılır. Bu metanojenler asetadı, metan ve karbondioksite ayırırlar. Böylece asetotrofik metanojenler karmaşık moleküllerin biyogaza dönüştürülmesine bağlı olarak genellikle hız sınırlayıcıdırlar (Van Haandel, 1994).

İkinci grup metanojenler, hidrojenotrofik metanojenler olarak adlandırılırlar. Bunlar da hidrojeni elektron verici, karbondioksiti ise elektron alıcı gibi kullanarak metan üretirler. Anaerobik proseslerdeki asetojenler olarak adlandırılan bakteriler de karbondioksiti kullanarak hidrojen ve asetik asit formuna okside edebilirler. Anaerobik rtmede üretilen metanın çoğu asetik asitten oluştuğu için hidrojen kullanan metanojenler ikincil önem arz ederler (Metcalf&Eddy, 2003). Hidrojen atık arıtımında kontrol parametresidir. Hidrojen kullanan metanojenler anaerobik rtme proseslerinde en hızlı büyüyen mikroorganizmalardır. Hidrojenotrofik metanojenler için en az ikilenme zamanı yavaş büyüyen asetolastik metanojenlerin 2,6 gün olmasıyla karşılaştırıldığında 6 saat olarak tahmin edilmektedir. Hidrojen kullanan metanojenler, bazı kolay hidrolize olabilen atıkların anaerobik paralanmalarında evre koşullarının değişikliğine, hız sınırlayıcı olan asetolastik metanojenlerden daha duyarlıdırlar (Björnsson, 2000).

- Asetotrofik metanojenlerle; $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$
- Hidrojenotrofik metanojenlerle; $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$

Denklemlerde iki tür metanojenler vasıtasıyla metan oluşumu görülmektedir. Hidrojen ve karbondioksitten metan üreten bakteriler asetat kullananlardan daha hızlıdır (Van Haandel, 1994). Methanosarcina ve Methanosaeta mikroorganizmaları asetatın metana direk dönüşümünde rol alırlar (Schmidt ve ark, 2000).

Verimli bir metan üretimi için anaerobik koşulların sağlanması gerekir. Bu bakımdan kullanılacak reaktörün dışarıya herhangi bir gaz sızıntısı olmayacak şekilde kapatılması ve oluşan biyogazın iyi bir şekilde toplanabilmesi önemlidir. Sistemde metan ve karbondioksit ek olarak çok az miktarda olsa da, kullanılan hammaddedeki kükürt ve azot içeriğine bağlı olarak hidrojen sülfür ve amonyak gibi bakterilerin çalışması açısından zararlı kirletici gazlar da üretilir. Ancak bu elementler aynı zamanda bakteriler için besin görevi de gördüğü için hammaddeden tamamen giderilmesi de söz konusu değildir (Cepa, 2008).

Metan oluşturuıcı bakteriler, asetik asitlerini parçalayarak ve hidrojen ile karbondioksit sentezi sonucu biyogaza dönüştürürler. Anaerobik koşullarda üretilen metanın % 70'i ise asetik asit'in parçalanmasından ve yaklaşık % 30'u ise hidrojen gazı ile karbondioksit gazından oluşmaktadır. Tüm çözünen organik bileşikler ve uçucu organik asitler biyogaza dönüşmemektedir. Bazı organik maddeler arıtılmadan sistemden atılabilir. Metan oluşturuıcı bakterilerin kullanılabilecekleri besin maddeleri oldukça sınırlıdır. Bunlar; asetik asit, hidrojen (H_2) ve tek karbonlu bileşiklerdir (Öztürk, 2005). Ortamda yeterli miktarda H_2 , CO_2 bulunduğu ve H_2 'nin kısmi basıncı da uygun olduğu sürece hidrojenotrofik metanojenlerle CH_4 üretimi devam eder. Ancak metan üretimi adımının her zaman hız sınırlayıcı olması söz konusu değildir, bazen hidroliz safhası daha kritik olabilir. Grup halinde metan bakterilerinin kullanılabilecekleri besin maddeleri olan H_2 , asetik asit ve tek karbonlu bileşikler sınırlı olabilir. Sulu ortamlardaki dip çamurları ve evsel çamur çürütme tesislerindeki CH_4 'nin % 70 asetik asitin metil grubundan, geri kalanı ise CO_2 den üretilmektedir (Öztürk, 1999; Gökçay, 2001). Metanojenler sıcaklık değişimlerine duyarlıdır. İyi işletilen çürütücülerde, metanojenler pH 6,8–7,4'de optimum faaliyet gösterirler (Elango, 2007).

2.3. Biyogaz Ürünleri

Biyogaz tesislerinden ekonomik değeri olan iki ürün elde edilir: biyogaz ve fermente gübre. Biyogaz, organik maddelerin anaerobik olarak çürütülmesi işlemi sonucu ortaya çıkan ve metan içeriği nedeniyle ekonomik değere sahip olan bir gaz bileşimidir. Biyogaz genel olarak metan (CH₄, % 50-70), karbon dioksit (CO₂, % 30-50) ve daha küçük miktarlarda azot (N₂), hidrojen (H₂), hidrojen sülfür (H₂S), su buharı ve diğer gazlardan meydana gelmektedir. Tipik bir biyogaz bileşim tablo 2.3.'de verilmektedir.

Tablo 2.3. Tipik biyogaz bileşimi

Metan	% 50-70
Karbon dioksit	% 30-50
Hidrojen sülfür	200-4000 ppmv
Birim hacim başına enerji içeriği	20-25 MJ /Nm ³
Birim ton (evsel atık) başına CH ₄ enerji içeriği	167-373 MJ / ton evsel atık

Metan gazının standart sıcaklık ve basınç altında net ısı değeri 35,8 MJ/m³'tür (9.9 kWh/m³). Metan, propan ve bütandan oluşan doğalgaz ile karşılaştırıldığında ısı değeri düşüktür. Anaerobik çürütücü gazı ortalama olarak yaklaşık % 50-70 oranında metan içerdiğinden, çürütücü gazın ısı değeri bu değerden daha düşüktür (20-25 MJ /Nm³). Biyogaz, kazanlar ve içten yanmalı motorlar için yakıt olarak kullanılabilir.

Biyogaz tesislerinden çıkan diğer bir ürün ise kompost ya da fermente gübre adı verilen üründür. Bu ürün, çürüme işlemi tamamlandıktan sonra reaktörün altından alınan çamur kalıntısı olup susuzlaştırıldıktan sonra havalı ortamda iyileştirilip kompost haline getirilir. Kompost, cam ya da plastik parçalar gibi istenmeyen malzemelerin giderilmesi amacıyla eleklerden geçirildikten sonra toprak şartlandırıcı olarak satılabilir.



Şekil 2.1. Kütahya depolama tesisinde organik atıklardan üretilen kompost

Evsel atıkların organik kısmının anaerobik olarak çürütülmesinden elde edilen kompostların organik madde içeriği yaklaşık olarak % 30-40, kuru madde içeriği de % 40-50 arasındadır. Kompostun kalitesi atık bileşimine bağlıdır ve kullanım öncesi yasal limitler bağlamında (özellikle ağır metal içeriği yönünden) kontrol edilmelidir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Araştırmanın Amacı

Ülkemizde yerleşim birimlerinde oluşan katı atıkların bertarafı konusunda Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik hükümleri uygulanmaktadır. Bu kapsamda özellikle son yıllarda yapılan entegre tesisler ile atıkların ayrıştırılması, kompost elde edilmesi, organik atıkların çürütme işlemine tabi tutularak enerji elde edilmesi, değerlendirilebilir atıkların ekonomiye geri kazandırılması, inorganik atıkların düzenli depolanması ve bertarafına yönelik tesisler yapılmakta ve işletilmektedir.

Kütahya İlinde 2. Sınıf düzenli depolama tesisi bulunmakta ve il genelinde toplanan atıklar depolama tesisine getirilip, depolanarak burada bertaraf edilmektedir. Yapılan araştırma doğrultusunda entegre katı atık yönetimi doğrultusunda yapılacak olan biyometanizasyon proseslerinde organik atıkların çürütülmesiyle elde edilecek enerji verimi araştırılmıştır.

Biyometanizasyon tesislerinde oluşacak son ürünlerin hesaplanmasında TÜİK verileri kullanılarak 2050 yılına kadar Kütahya İl nüfus projeksiyonu oluşturulmuş, düzenli depolama tesisi giriş kantar verileri baz alınarak 2050 yılına kadar Kütahya katı atık projeksiyonu oluşturulması amaçlanmıştır.

3.2. Kütahya Katı Atık Yönetimi ve Sahanın Tanıtımı

Katı atıkların toplanması, taşınması, geri kazanılması ve bertaraf edilmesine ilişkin görev ve yükümlülükler, mahalli idareler içerisinde 5393 sayılı Belediye kanunu ile belediye başkanlıklarına, mahalli idareler dışında 5302 sayılı İl Özel İdaresi kanunu ile İl Özel İdarelerine verilmiştir. Kütahya ilinde oluşan katı atıkların kaynağında ayrı toplanması, değerlendirilmesi ve ekonomiye geri kazandırılması adına, organik atıklardan enerji üretiminin de gerçekleştirileceği entegre bir sistemin kurulması için 13 Mayıs 2006 yılında Kütahya İli Yerel Yönetimler Katı Atık Bertarafı Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği (KÜKAB) kurulmuştur.

Kütahya İli Yerel Yönetimler Katı Atık Bertarafı Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği (KÜKAB) 26167 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe girmiş 5491 sayılı kanun ile kabul edilmiştir. KÜKAB projesi kapsamında Kütahya Belediyesi tarafından AB katılım öncesi hibe programına müracaat etmesi üzerine, Kütahya İli Yerel Yönetimler Katı Atık Bertarafı Tesisleri Yapma ve İşletme Birliği (KÜKAB), AB Çevre Projeleri hibe destek programınca kabul edilmiştir. Birliğin amacı, birlik üyelerinin tek tek yapamadıkları ve yerine getirmekte zorlandıkları hizmetlerde, tüm üyelerin haklarını ve çıkarlarını daha etkin bir şekilde korumak ve yerine getirmektir.

Birlik çalışma alanında, Kütahya bölgesinde toplanan katı atıkların değerlendirilmesi ve ekonomiye geri kazandırılması adına, organik atıklardan enerji üretiminin de gerçekleştirileceği entegre bir sistemin kurulması için KÜKAB katı atık toplama ile EKAY ek tesisleri yapımı ve tesislerin işletilmesi işinin 29 yıllığına gördürülmesi ihalesi, 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu’nun 35/a maddesi gereğince yapılmış olup, İşin sözleşmesi 23.12.2013 tarihinde imzalanmış, yer teslimi ise 31.12.2013 tarihinde gerçekleştirilmiş olup, 2014 yılında bu iş kapsamında kaynağında ayrı toplama, taşıma ve bertaraf hizmeti alınmaya başlanmıştır.

Bu iş kapsamında ilgili mevzuat çerçevesinde katı atık toplama ile EKAY ek tesisleri yapımı ve tesislerin işletilmesi, mevcut düzenli depolama tesisinde, depolama yoluyla bertaraf edilecek olan değerlendirilemeyen nihai atıkların miktarının asgari düzeye indirilmesi ve çevreye olan zararlı etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır.

Birlik, aşağıdaki başlıca gerekleri karşılama kapasitesine sahip olmalıdır.

- Üye belediyeler adına, ortak finansmanı AB hibeleriyle yapılan gelecekteki projenin yararlanana ait sorumlulukları üstlenmek, örneğin, AB finansmanının idaresi, kredi alımı ve geri ödemesi, gelecekteki inşaatların yönetimine katkıda bulunmak, tesislerin ve satın alınan malların mülk sahipliği yapmanın yanı sıra ilgili uzun vadeli işletme, finansman ve yasal sorumlulukları üstlenmek;

Atık yönetimi planlarının ve belediye meclisleri tarafından görüşülerek kabul edilecek yönetmeliklerin hazırlanması da dahil olmak üzere üye belediyelerin sorumluluklarının çoğunluğunu devralmak ve yerine getirmek;

- Birliği ve üye belediyelerin kararlarına uygun olarak işletmek veya diğer görevleri yüklenici firmalara vermek veya gerektiği şekilde işletme departmanları kurmak;
- Yüksek kaliteli ihale belgeleri hazırlamak, özel işletmeleri dahil etmek için gereken ihaleleri yapmak ve bu işletmelerle sözleşmeler yapmak, pazarlık etmek ve ayrıca performanslarını kontrol etmek ve gerektiğinde cezalar uygulamak;
- Bu alanda çalışan özel sektörle eşdeğerde olabilmek için profesyonel olarak işletme ve mali bakımdan kaynaklara ve kapasite/kabiliyete sahip olmak;
- Tahsil edilen atık yönetimi ücretlerinden gelen gelirlerin atık yönetimi maliyetlerini karşılamasını ve kirleten öder ilkesine uyulmasını sağlamak için bağımsız ve şeffaf bir mali muhasebe ve raporlama sistemi yürütmek;

KÜKAB'ın 2019 yılı itibariyle üyerleri; Kütahya, Tavşanlı, Domaniç, Emet, Hisarcık, Altıntaş, Dumlupınar, Gediz, Eski Gediz, Pazarlar, Şaphane, Simav, Aslanapa, Çavdarhisar, Tunçbilek, Seyitömer, Tepecik, Çukurca, Kuruçay, Demirci, Çitgöl, Yenikent, Güney, Naşa, Akdağ, Kuşu Belediyelerini ve Kütahya İl Özel İdaresini kapsamaktadır.

Proje kapsamında yer alan yerleşim yerlerinden toplanan katı atıkların kaynağında azaltılması, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi, halka çevre bilincini anlatmak ve katı atıkların insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkilerini azaltarak katı atık yönetimi hizmetlerini etkin kılmak hedeflenmektedir. Projenin % 62'si AB tarafından hibe olarak geriye kalan %38'lik kısmı ise projeye katılan belediyelerin öz kaynaklarından karşılanmıştır. KÜKAB projesinin uygulama ve izleme aşamasında Çevre ve Orman Bakanlığı, Devlet Planlama Teşkilatı, İller Bankası, Kütahya Belediyesi, Merkezi Finans ve İhale Birimi, AB Genel Sekreterliği ve ve AB Türkiye Delegasyonu kurumları tarafından koordinasyonun sağlanması ve projenin yürütülmesi konusunda bir yönlendirme kurulu kurulmuştur (Yılmaz ve Bozkurt, 2010).

3.2.1. Kütahya II. sınıf düzenli depolama sahası

Düzenli depolama sahası Kütahya merkez ilçesi, Perli Mahallesi, Şabanözü mevkiinde, tapunun 23 pafta (kadaastro paftası), 185 ada, 985 parsel numarasında kayıtlı, 246.416,5 m² yüzölçümlü alan üzerinde, 1521 m² yüzölçümlü kapalı alanda yer almaktadır. İşletme Evsel atıkların bertarafı konusunda faaliyet göstermekte olup, çevre izni/ lisans konuları için 27 Aralık 2010 tarihinde geçici faaliyet belgesi, 13.09.2013 tarihinde ise çevre izin ve lisans belgesini almış ve 25 Nisan 2011 tarihi itibari ile faaliyetine başlamıştır.



Şekil 3.1. Kütahya düzenli depolama desisi 1. lot yapımı

Atıklar düzenli depolama tesisi 1.hücre’de bertaraf edilmektedir. Kütahya atık yönetimi projesi kapsamında, düzenli depolama tesisi 1. depolama kapasitesi 860,000 m³ ve kullanım ömrü 5 yıl olarak planlanmıştır. Hücre 1’in yüzey alanı 4.19 (ha)’dır. Toplam 24,6 (yirmi dört tam onda altı) ha büyüklüğündeki alanın yaklaşık 10,94 (on tam yüzde doksan dört) ha’lık kısmına 3 (üç) adet Lot yapılması planlanmış olup lot1 (4,19 ha) tamamlanmıştır.

Düzenli depolama alanında 20 yıllık ekonomik işletme süresi boyunca depolanacak kümülatif katı atık toplamının yaklaşık 2.246.000 ton olacağı tahmin edilmektedir. Organik atığın bozunması ve basınç, atık hacminin alt kısımlarındaki atığın

yoğunluğunu artıracaktır. Gerçekçi bir varsayım ile atığın taban kısmından üst noktasına kadar m³'deki yoğunluğun 0.8-1.0 ton arasında olması beklenmektedir. Depolama alanının tasarımında günlük ara örtünün depolanabilmesi için toplam hacmin yaklaşık %10'unu (yaklaşık 280.000 m³) kadar bir alan ayrılacaktır. Bunlar göz önüne alındığında, toplam depolama hacmi ihtiyacı 2.810.000 m³ olacaktır. Depolama alan hücrelerinin dolum kapasiteleri ve süreleri tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Düzenli depolama alanı hücrelerinin dolum kapasiteleri ve dolum periyotları

Hücre No	Taban Alanı (ha)	Yüzey Alanı (ha)	Depolama Kapasitesi (m ³)	Dolum Periyodu (yıl)
1	0,90	4,19	860.000	5
2	0,94	3,31	970.000	7
3	0,52	3,44	980.000	8
Toplam	2,36	10,94	2.810.000	20

Düzenli depolama tesisinde depolama lotları ile birlikte aşağıda verilen sabit birimler bulunmaktadır.

- Tesis İçi Yollar,
- Otopark,
- Kantar ve Kontrol Binası,
- Depo, İdari Binası(iç ekipmanı ile),
- Yangın Söndürme Sistemi,
- Makine Park Alanı, Tamir ve Bakım Atelyesi,
- Lot1 :Sızdırmazlık Teşkili,
- Saha Aydınlatma Sistemi,
- Yağmur Suyu Drenaj Kanalları,
- Gözlem Kuyuları,,
- Fosseptik,
- Pilot Kompost Tesisi,

- Sızıntı Suyu Dengeleme Havuzu ve Terfi Merkezi,
- Ambalaj Atıkları Ayırma Tesisi,
- Kütahya Belediyesi Arıtma Tesisine giden, Sızıntı Suyu Terfi Hattı,
- Tel Çit
- Tekerlek Yıkama Ünitesi,
- İçme Ve Kullanma Suyu Sistemi Ve Su Deposu,
- 650 KW Trafo ve 650 KW Jeneratör,



Şekil 3.2. Kütahya İli düzenli depolama sahası

3.2.2. Katı atık transfer istasyonları

Katı atıkların daha hızlı ve ekonomik taşınabilmesi için Kütahya ili genelinde 7 adet transfer istasyonu kurulmuş olup, transfer istasyonunda toplanan çöplerin düzenli depolama tesisine sevkiyatı buralardan gerçekleştirilmektedir. Prensip olarak atık aktarma istasyonu günlük toplanan belediye atıklarını alarak daha sonra atıkların düzenli depolama sahasına taşınması işlemleriyle ilgilidir. Atık kumbaralarından ve geri dönüşüm merkezlerinde toplanan atıkların aktarma istasyonlarına getirilmeyeceği ve burada tutulmayacağı kabul edilmiştir. Atık miktarlarına ve düzenli depolama sahasına olan uzaklıklarına dayanarak atıkların yeniden yüklenmesiyle ilgili olarak iki farklı prensip uygulanabilir. Eğer taşınacak atık

miktarı fazlaysa veya taşınacak mesafe fazlaysa, atığı taşımadan önce sıkıştırmak elverişli olacaktır. Eğer az miktarda atık varsa ve mesafe de kısaysa, atığı daha büyük konteynerlere aktarmak elverişli olacaktır.

Tablo 3.2. Transfer istasyonlarının merkez deponi sahasına uzaklığı

TRANSFER İSTASYONUN ADI		DEPONİ SAHASINA UZAKLIĞI
1	TAVŞANLI TRANSFER İSTASYONU	59 KM
2	SİMAV TRANSFER İSTASYONU	149 KM
3	GEDİZ TRANSFER İSTASYONU	104 KM
4	EMET TRANSFER İSTASYONU	106 KM
5	ÇAVDARHİSAR TRANSFER İSTASYONU	58 KM
6	ALTINTAŞ TRANSFER İSTASYONU	57 KM
7	ASLANAPA TRANSFER İSTASYONU	49 KM

3.3. Biyobozunur Atıkların Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

3.3.1. Evsel atıklarda organik atıkların ayrıştırılması

Dünya genelinde ve özellikle gelişmiş ülkelerde evsel katı atıkların organik kısmının (mutfak atıkları vb.) kaynakta ayrı olarak toplanması ve çeşitli işlemlerle ekonomik ürünlere dönüştürülerek geri kazanılması genel bir politika olarak benimsenmiştir.

Bu şekilde diğ er evsel atıklarla karış tırılmayan organik atıkların işlenmesi ve geri kazanılması proses ve maliyet açısından daha verimli olmaktadır. Ülkemizde de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 18.01.2014'te yayınlanan Biyobozunur Atık



Yönetimi Yönetmeliği Taslağı'nda bu atıkların toplanmasına ilişkin olarak madde 5'te şu ifadeler yer verilmiştir (URL-2).

MADDE 5 - (1) Biyobozunur atık yönetimine ilişkin genel ilkeler şunlardır;

a-) Atık üretiminin önlenmesi ve azaltılması esastır.

b-)Atık üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda atıkların; yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve ikincil hammadde elde etme amaçlı diğer işlemler ile geri kazanılması, enerji kaynağı olarak kullanılması veya bertaraf edilmesi esastır.

c-) Tesis işleticisi, özellikle havanın, toprağın, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesi ile koku ve gürültü gibi çevre üzerindeki olası olumsuz etkileri ve insan sağlığı açısından doğrudan risk oluşturan kirlilik kaynaklarını önlemek ve/veya azaltmak zorundadır. Bu amaçla, atığın tesise kabulü ile birlikte gerekli tedbirleri alır.

ç-)Belediye/Birliklerin atık yönetim planları dahilinde biyobozunur atıkların kaynağında/üretildikleri yerde geri kazanılabilir atıklarla karıştırılmaksızın, sınıflandırılarak ayrı toplanması esastır.

d-) Düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek biyobozunur atık miktarının azaltılması esastır. Atıkların düzenli depolama yöntemi ile bertaraf edilmesi ve depolanacak olan biyobozunur atık miktarı hedefleri için, 26/3/2010 tarihli ve 27533 sayılı Resmi Gazete' de yayımlanarak yürürlüğe giren Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik hükümleri uygulanır (URL-1).

e-) Atıkların, görünüş, koku, toz, sızdırma ve benzeri faktörler yönünden çevreyi kirletmeyecek şekilde kapalı araçlarda taşınması zorunludur.

f-) Atıkların, Bakanlık ve/veya il müdürlüğünden izin ve/veya çevre lisansı almış tesisler dışında üçüncü kişiler tarafından ticari amaçlar ile toplanması, satışı, geri kazanılması ve/veya bertaraf edilmesi yasaktır (URL-3).

Yönetmelik taslağında da ifade edildiği üzere biyobozunur atıkların kaynağında, diğer atıklara karıştırılmadan ayrı olarak toplanması bilimsel-teknik ve yasal bir gerekliliktir. Ancak ülkemiz koşulları düşünüldüğünde, özellikle evlerde bu tür atıkların ayrı toplanması için gerekli sistemlerin oluşturulması ve halkın bu konuda

bilinçlendirilmesinin belirli bir süre alacağı açıktır. Bu bakımdan evsel atıklar içindeki biyobozunur atıkların bir süre daha diğer atıklarla karışık olacağı ve bu bakımdan bir atık ön işleme tesisinde ayrıştırılması gerekeceği görülmektedir. Bu ayrıştırma işlemi ne kadar başarılı olsa da, biyobozunur atıkların (özellikle de mutfak atıklarının) yüksek su içeriği nedeniyle diğer atıklarla temas edip kirleneceği ve bunun da işletimi son derece hassas olan anaerobik çürütme prosesinde birtakım sorunlar oluşturacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Anaerobik çürütme yöntemi ilk olarak tek kademeli ıslak çürütücü tanklar olarak tarımsal atıklar (hayvan dışkısı vb.) ve belediye evsel atıksu arıtma tesisi çamurları için kullanılmaya başlanmıştır. Bu görece kolay çözünebilir atıklara nazaran evsel katı atıkların biyobozunur kısımları çürütme sistemlerinde farklı özellikler gösterir. Evsel atığın homojen olmayan doğal yapısı nedeniyle, çürütücü içinde oluşturduğu çamur, çürütme işlemi esnasında ayrışma ve üzerinde kirli bir köpük tabakası oluşturma eğilimi gösterir. Evsel atığın heterojen yapısından gelen bu katıların oluşturduğu bu köpük tabakasıyla uzun temas sürelerinde bakteri ölümleri kaçınılmaz olmaktadır. Çünkü evsel atıklar yüksek oranda toksik ve inhibitör-engelleyici bileşikler içermektedir (özellikle atık suya kıyasla). Çürütücü içindeki sulu karışımda bu bileşikler hızlıca yayılırlar ve aynı oranda reaktör boyunca dağılırlar. Yeterli yüksek konsantrasyona ulaştıklarında ise, mikroorganizmaları şok edebilirler. Oluşan bu tabaka ayrıca sistemdeki pompaların ve hatların tıkanmasına sebep olur. Anaerobik çürütme sisteminin işletilmesini tamamen zorlaştıran bu problem, diğer atıkların sulu ortamda çürütülmesinde gözlenmez, ancak evsel organik atıkların anaerobik olarak çürütülmesi uygulamalarında ortaya çıkmıştır. Bunun önlenmesi için, inert bütün katıların (taş, kum, toz, toprak, çakıl, seramik, moloz parçaları, tahta vb) evsel atığın içinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Dolayısıyla biyogaz tesisinde anaerobik çürütme öncesi organik atık ayırma ve hazırlama işlemleri içeren ön-işlem tesislerinin kurulması gerekmektedir. Avrupa'da kullanılan tüm evsel organik atık beslemeli biyogaz sistemlerinde, çürütücü tipine bakılmaksızın ön işlem tesisleri mevcuttur. Özellikle anaerobik çürütme prosesinde çürütücü giriş ve çıkışında bu ön ve son proses destek birimleri kullanılması kaçınılmazdır. Çünkü ön ayrıştırma, pompaların tıkanmasını, toksik bileşenlerle

bakterilerin ölmesini ve inert malzemelerle çürütücü hacminin azalmasını ve verimsiz bir şekilde kullanılmasını önlemek için gereklidir.

Evsel atığın organik fraksiyonunun ayrıştırılarak bertaraf edileceği anaerobik çürütme proseslerinin tamamında, ‘organik atık ayırma ve hazırlama’ için ön işlem yani mekanik ayrıştırma ünitesi gereklidir. Proseste kullanılacak olan çürütücü tipine bağlı olarak ön işlem ünitesinin tasarımı ve kapsamı son derece önemlidir. Tasarlanan ön işlem ünitesi; evsel atıktan organik fraksiyonu en üst verimle ayırabilmeli; inert katıları (taş, kum, toz, toprak, çakıl, seramik, moloz parçaları, tahta vb) en üst performansla arındırmalı, ve seçilen çürütücü tipine bağlı olarak proses gerekliliklerini sağlamalıdır. Özellikle çürütücü tipine bağlı olarak atık akımı içinde bakteri ölümlerine sebep olabilecek toksik ve inhibe edici maddeleri mümkün olduğunca elimine etmelidir.

3.3.2. Evsel biyobozunur katı atık karakterizasyonu

Biyometanizasyon tesisinde sadece biyobozunur (organik) atıklar, organik atıkların içinde ise sadece hızlı bozunabilen biyobozunur atıkların (mutfak atıkları, hal atıkları ve park bahçe atıkları) işlenmesi söz konusu olacaktır. Bu kapsamda, Kütahya ili için karakterizasyon çalışması yapılmış, yapılan çalışmada, toplam organik (biyobozunur) atık ve biyogaz tesisinde işlenebilecek hızlı bozunabilen biyobozunur atıkların (mutfak atıkları, hal atıkları ve park-bahçe atıkları) oranları tablo 3.3.’de verilmiştir.

Mekanik ayırma ve biyometanizasyon ünitelerin kurulmasıyla birlikte, tesise gelen atıklar tesis girişinde tartıldıktan sonra öncelikli olarak mekanik ayırma ünitesinin atık kabul birimine getirilecek ve burada biyobozunur atıklar ayrıştırılacaktır. Mekanik ayırma ünitesinde ayrıştırılıp biyometanizasyon ünitesinde geri kazanılacak biyobozunur atığın toplam atık miktarı içindeki yüzdesinin tespit edilmesi ve miktarının belirlenmesi için KÜKAB tarafından T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı’nın 2007/10 sayılı genelgesinin ekinde bulunan katı atık karakterizasyonu ve katı atık bertaraf tesisleri kitapçığı’nın tablo 1.’nde verilen tabloya uygun olarak yapılan karakterizasyon çalışması yapılmıştır (URL-5).

Tablo 3.3. Kütahya İli için evsel katı atık bileşenlerin oranları

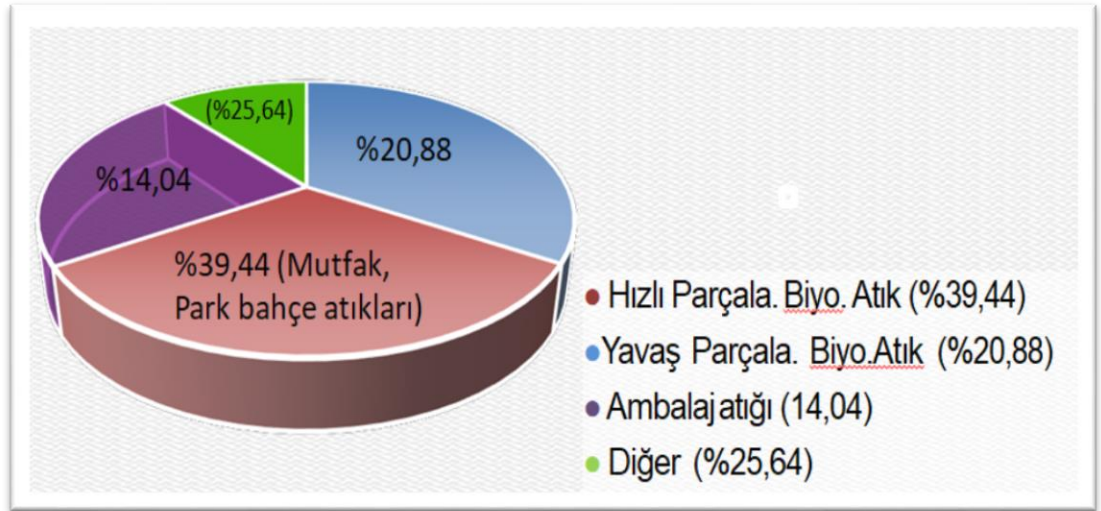
Katı Atık Bileşenleri	Oran (%)
Mutfak Atıkları	25,2
Kağıt	3,53
Karton	2,21
Hacimli Karton	2,04
Plastik	2,92
Cam	2,67
Metal	0,61
Hacimli Metal	0,03
Atık Elektrik ve Elektronik Ekipman	0,07
Tehlikeli Atık	0,65
Park ve Bahçe Atıkları	14,24
Diğer Yanmayanlar	13,55
Diğer Yanabilenler	12,04
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	1,06
Diğer Yanmayan Hacimli Atıklar	2,1
Diğer	17,8
TOPLAM	100,00

Kütahya il sınırları, sosyo-ekonomik yapısına göre 13 bölgeye ayrılmıştır. Söz konusu bölgelerde mahallelerin farklı sokaklarından çöpler toplanmış, toplanan çöplerden numuneler alınarak analiz yapılmıştır.

Kütahya ilinde evsel atık içinde bulunan biyobozunur atık oranının ortalama olarak %60,32 oranında olduğu görülmektedir. Bu oranın ancak yaklaşık %70'lik kısmı biyogaz tesislerinde işlenebilecek özellikteki atıklardan oluşturmaktadır.

Bu kapsamda, geri kalan %30'luk kısım her ne kadar biyobozunur atık olsa da, mikrobiyal faaliyetler tarafından ayrıştırılmaları oldukça güç ve çok uzun zaman alacağı için, biyogaz tesislerinde işlenmeleri mümkün olmamaktadır.

Şekil 3.3.'de verilen biyogaz tesisinde işlenebilir özellikte hızlı bozunabilen biyobozunur atık oranı için hesaplanan değer (%39,44) kullanılarak, Kütahya İli için oluşacak maksimum atık miktarları ve biyogaz tesisinde işlenebilecek atık miktarı belirlenecektir.



Şekil 3.3. Kütahya İl için biyobozunur atık oranları

Geri kazanılabilir atık kalitesinin düşmesini engellemek ve geri kazanım veriminin artırılmasını sağlamak amacıyla bu atıkların diğer atıklardan ayrı olarak toplanması gerekmektedir. Katı atık yönetimi karar verici ve uygulayıcılar kadar halkın da paydaş olarak yer aldığı bütüncül bir sistemdir. Biyometanizasyon tesisinin kurulması ve işletilmesi sırasında ayrı toplama çalışmalarına devam edilecektir. Proje kapsamında kurulması planlanan mekanik ayırma ünitesinde ayrı toplama çalışmaları sonucunda karışık toplanan atıklar kabul edilecektir. Bu atıklar mekanik ayırma ünitesinde ayrıştırılacak ve diğer atıklardan ayrıştırılabilen biyobozunur atıklar biyometanizasyon ünitesinde bertaraf edilecektir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kütahya Katı Atık Projeksiyonu

Katı atık bertarafına yönelik kurulması planlanan bir tesisin kapasitesi ancak hizmet vereceği bölgenin üreteceği atık miktarına bağlı olarak belirlenebilir. Belirlenen miktardan daha az kapasiteye sahip bir tesis, bölgede üretilen atığın bertarafını sağlamakta yetersiz kalacağı gibi, üretilen atık miktarından daha fazla kapasitede tasarlanan tesis ise gereksiz yatırım olarak kabul edilmektedir. Diğer taraftan, atık miktarı nüfus ile doğru orantılıdır. Gelecekte üretilmesi beklenen atık miktarı ancak gelecekte beklenen nüfus artışı ile hesaplanabilmektedir. Daha verimli bir katı atık yönetim planı yapılması için mevcut nüfus eğilimlerinin belirlenmesi ve bu eğilimlere göre gelecekteki nüfus hakkında tahminlerde bulunulması gerekir. Dolayısıyla, gelecekte beklenen nüfus, tesisin kapasitesini belirleyen en önemli parametredir.

Kurulması planlanan biyometanizasyon tesisine Kütahya İli sınırları içerisinde bütün ilçe belediyelerinden gelen atıklar kabul edilecektir. Bu nedenle Kütahya İli'ndeki ilçelerin kentsel nüfusları toplanmış ve toplam nüfus üzerinden nüfus projeksiyonu yapılmıştır. Proje kapsamında kurulması planlanan biyometanizasyon tesisi Kütahya İli'de halihazırda bulunan düzenli depolama alanının bulunduğu tesise yapılacağından Kütahya İli nüfus projeksiyonu gelecek yıllara ait nüfusun ve atık miktarının belirlenmesinde yeterli olacaktır. Tüm ilçelerden toplanan atıklar hâlihazırda tesise getirilmektedir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri dikkate alındığında, Kütahya'nın mevcut nüfus değerleri ve gelecekteki nüfus projeksiyonları tablo 4.1.'de verilmiştir (URL-6). Görüldüğü üzere, Kütahya iline ait nüfus projeksiyonu yıllar itibariyle nüfusta artma olacağını göstermektedir. Yine TÜİK verilerine göre, Kütahya için yıllık nüfus artış hızı % 1.4 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla söz konusu nüfus projeksiyonu gelecekte üretilmesi muhtemel atık miktarının belirlenmesinde temel teşkil edecektir.

Tablo 4.1. Kütahya İli nüfus projeksiyonu

YILLAR	NÜFUS
2016	573.642
2017	572.256
2018	574.423
2019	575.385
2020	576.102
2021	576.578
2022	576.927
2023	577.125
2024	577.088
2025	576.830
2026	578.407
2027	578.917
2028	579.427
2029	579.937
2030	580.447
2031	580.956
2032	581.466
2033	581.976
2034	582.486
2035	582.996
2036	583.506
2037	584.016
2038	584.526
2039	585.036
2040	585.546
2041	586.056
2042	586.566
2043	587.076
2044	587.586
2045	588.096
2046	588.605
2047	589.115
2048	589.625
2049	590.135
2050	590.645

4.1.1. Evsel katı atık projeksiyonu

Bölgede 2014, 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarında toplanan atık tonajları tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kütahya ilinde toplanan atık miktarı

YILLAR	Yıllık Atık Miktarı (ton)	Günlük Atık Miktarı (ton)
2014	127.564	350
2015	138.586	379
2016	145.635	399
2017	148.300	406
2018	150.958	413

Tablo 4.1. ve tablo 4.2. verileri dikkate alındığında Kütahya ili için kişi başına günlük üretilen atık miktarı 2014, 2015, 2016, 2017 ve 2018 yılları sırasıyla 0.612, 0.663, 0.70, 0.709 ve 0.718 kg olarak hesaplanabilir. Bu değerler, sahadan elde edilen gerçek veriler olmasına rağmen, üretilen tüm atıkların toplanmadığı veya atıkların geri dönüşümünün sağlandığı da göz önünde bulundurulmalıdır. İnsanların yaşam standardı yükseldikçe, tüketim alışkanlıkları da değişmekte ve beraberinde üretilen atık miktarında da değişiklikler oluşmaktadır. Bu kapsamda, gelecekte söz konusu atık oluşturma miktarlarının artış göstereceği beklenmektedir. Dolayısıyla atık oluşum miktarları belirlenirken yıllara bağlı olarak %1 oranında artış olacağının kabul edilmesi doğru olacaktır. Kütahya ili için atık projeksiyonu toplanan atık miktarına dayalı olarak belirlenen değer (2019 yılı için 0,73 kg/kişi.gün) dikkate alınarak hesaplanmış ve tablo 4.3.’de verilmiştir. TÜİK tarafından yapılan nüfus projeksiyonları 2023 yılına kadar mevcuttur. Dolayısıyla, bu yıldan sonra nüfusun sabit kaldığı (TÜİK tarafından öngörülen nüfus azalmasının durduğu) kabul edilmiş ve atık projeksiyonu buna göre yapılmıştır. Hesaplanan bu değerler, Kütahya ili için üretilebilecek katı atık miktarı ve maksimum teorik katı atık miktarlarıdır.

Bu kapsamda 2019 yılından başlamak üzere 2050 yılına kadar 31 yıllık atık projeksiyon tablo halinde yapılmıştır.

Tablo 4.3. Kütahya İli için katı atık projeksiyonu

Yıl	Tahmin edilen olası değer		
	Kişi başı atık oluşumu (kg/ kişi. gün)	Yıllık katı atık miktarı - toplanan miktarına göre (ton/yıl)	Günlük katı atık miktarı- toplanan miktara göre (ton/gün)
2019	0,73	153.311	420
2020	0,74	155.605	426
2021	0,75	157.318	431
2022	0,76	160.039	438
2023	0,77	162.200	444
2024	0,78	164.296	450
2025	0,79	166.328	455
2026	0,80	168.894	462
2027	0,81	171.156	468
2028	0,82	173.422	475
2029	0,83	175.691	481
2030	0,84	177.965	487
2035	0,89	189.386	518
2040	0,94	200.090	550
2045	0,99	212.508	582
2046	1,00	214.840	588
2047	1,01	217.177	595
2048	1,02	219.517	601
2049	1,03	221.861	607
2050	1,04	224.208	614

Ayrı toplanabilen biyobozunur atıklar biyometanizasyon ünitesine girecektir. Biyogaz tesisinde bertaraf edilecek atık miktarı tahminleri aşağıda verilmiştir. Mutfak atığı ve park bahçe atığı sütununda mekanik ayırma ünitesine gelen ve karakterizasyon sonucuna göre hesaplanan toplam atık içerisindeki mutfak ve park bahçe atığı miktarını ifade etmektedir. Geri kazanılacak miktar sütununda ise karakterizasyon sonucuna göre hesaplanan mutfak ve park bahçe atığının toplam miktarları verilmiştir.

Tablo 4.4. Biyogaz Ünitesinde Geri Kazanılacak Atık Miktarı

YILLAR	Günlük Oluşan Atık Miktarı (ton/gün)	Mutfak Atığı (%25,20) (ton/gün)	Park-Bahçe Atığı (%14,24) (ton/gün)	Geri Kazanılacak Biyobozunur Atık Miktarı (ton/gün)
2018	413	104	58,81	162,8
2019	420	105,8	59,80	165,6
2020	426	107,3	60,66	167,9
2021	431	108,6	61,37	169,9
2022	438	110,3	62,37	172,6
2023	444	111,8	63,22	175
2024	450	113,4	64,08	177,4
2025	455	114,6	64,79	179,3
2026	462	116,4	65,78	182,1
2027	468	117,9	66,64	184,5
2028	475	119,7	67,64	187,3
2029	481	121,2	68,49	189,7
2030	487	122,7	69,34	192
2031	493	124,2	70,20	194,4
2032	500	126	71,20	197,2
2033	506	127,5	72,05	199,5
2034	512	129	72,90	201,9
2035	518	130,5	73,76	204,2
2036	525	132,3	74,76	207
2037	531	133,8	75,61	209,4
2038	537	135,3	76,47	210
2039	544	137	77,46	214,4
2040	550	138,6	78,32	216,9
2041	556	140,1	79,17	219,2
2042	563	141,8	80,17	221,9
2043	569	143,3	81,02	224,3
2044	575	144,9	81,88	226,7
2045	582	146,6	82,87	229,4
2046	588	148,1	83,73	231,8
2047	595	149,9	84,72	234,6
2048	601	151,5	85,58	237,1
2049	607	153	86,43	239,4
2050	614	154,7	87,43	242,1

Yukarıdaki tabloya göre biyogaz tesisinde bertaraf edilmesi beklenen atık miktarı 2050 yılında en yüksek değere ulaşarak 242,1 ton/gün olmaktadır. Bu nedenle kurulması planlanan biyogaz tesisinin kapasitesi 242,1 ton/gün olacaktır. Yukarıdaki tabloda geri kazanılacak miktarın dışında kalan ve mekanik ayırma ünitesinde

ayrıştırılamayan mutfak ve park bahçe atıkları katı atık bertaraf tesisinde bulunan düzenli depolama alanında nihai olarak depolanacaktır.

Kütahya İli yerleşim yerinde oluşan atık miktarı, biyogaz ünitesinde geri kazanılacak olan atık miktarı ve düzenli depolama sahasında nihai olarak depolanacak olan atık miktarını kapsayan atık kütle dengesi aşağıda tablo 4.5.'te verilmiştir. Aşağıdaki tabloda günlük atık miktarı, nüfus tahminleri ve birim atık oluşum miktarlarına göre hesaplanan atık miktarını ifade etmektedir. Atık karakterizasyon çalışması sonucunda belirlenen ambalaj atığı miktarı hesaplanmış ve aşağıdaki tabloda geri kazanılabilir ambalaj atığı sütununda verilmiştir. Tam otomatik katı atık ayrıştırma ünitesinde boyutlarına göre ayrılacak olan ambalaj atıkları, hacimlerinin azaltılması için preslemeye tabi tutulur. Presleme işlemi tamamlandıktan sonra tartımı gerçekleştirilerek antlaşmalı lisanslı firmalara verilerek ekonomiye geri kazandırılması sağlanır. Günlük atık miktarı içerisinde, geri kazanılabilir biyobozunur atık ve ambalaj atığı dışında kalan atıklar ise nihai depolamaya gönderilecektir. Tesise kabul edilen günlük atık miktarı, biyogaz tesisinde geri kazanılacak biyobozunur atık miktarı, geri kazanılabilir ambalaj atığı ile nihai olarak depolanacak atık miktarının toplamı kadardır.

Tablo 4.4.'te proje alanına ait kentsel katı atıkların ana kategorilere göre dağılım sonuçları verilmektedir. Ana kategoriler, düzenli depolama ve ambalaj atıkları direktiflerin de belirtilen gereksinimler doğrultusunda, proje alanına sonradan kurulmasına ihtiyaç duyulabilecek tesisler göz önüne alınarak belirlenmiştir. Belirtilen kategoriler; biyolojik olarak ayrışabilen kentsel atık, ambalaj atığı, kuru geri dönüşebilir materyal ve geriye kalan kentsel katı atıklar olarak sınıflandırılmıştır. Biyolojik olarak ayrışabilen atıklar, yemek atıkları, bahçe atıklarının yanı sıra kağıt, karton ve yanabilen atıklar gibi yüksek organik madde içerikli atıklardan oluşmaktadır. Kuru geri dönüşebilir atıklar kağıt, karton, plastik, cam, metal gibi geri kazanılması mümkün atıkları içermektedir. Ambalaj atıkları ise, geri dönüşebilir atıklar içerisindeki sadece paket ve ambalaj malzemesi olarak kullanılan kağıt, karton, cam, plastik ve metal atıklarını içerir. Diğer kentsel atıklar ise, yanabilen atıkların bir kısmı ile yanmayan atıklardan, evsel nitelikli tehlikeli atıklardan, elektrik ve elektronik atıklardan oluşmaktadır.

Tablo 4.5. Atık Kütle Dengesi

YILLAR	Günlük Oluşan Atık Miktarı	Geri Kazanılacak Biyobozunur Atık Miktarı	Geri Kazanılacak Ambalaj Atık Miktarı(%14.01)	Nihai Depolanan Miktar
	(ton/gün)	(ton/gün)	(ton/gün)	(ton/gün)
2018	413	162,8	57,9	192,3
2019	420	165,6	58,8	195,6
2020	426	167,9	59,7	198,4
2021	431	169,9	60,4	200,7
2022	438	172,6	61,4	204,0
2023	444	175	62,2	206,8
2024	450	177,4	63	209,6
2025	455	179,3	63,7	212,0
2026	462	182,1	64,7	215,2
2027	468	184,5	65,6	217,9
2028	475	187,3	66,5	221,2
2029	481	189,7	67,4	223,9
2030	487	192	68,2	226,8
2031	493	194,4	69,1	229,5
2032	500	197,2	70,1	232,8
2033	506	199,5	70,9	235,6
2034	512	201,9	71,7	238,4
2035	518	204,2	72,6	241,2
2036	525	207	73,6	244,4
2037	531	209,4	74,4	247,2
2038	537	210	75,2	251,8
2039	544	214,4	76,2	253,4
2040	550	216,9	77,1	256,0
2041	556	219,2	77,9	258,9
2042	563	221,9	78,9	262,2
2043	569	224,3	79,7	265,0
2044	575	226,7	80,6	267,7
2045	582	229,4	81,5	271,1
2046	588	231,8	82,4	273,8
2047	595	234,6	83,4	277
2048	601	237,1	84,2	279,7
2049	607	239,4	85	282,6
2050	614	242,1	86	285,9

4.2. Biyogaz Üretim Potansiyeli

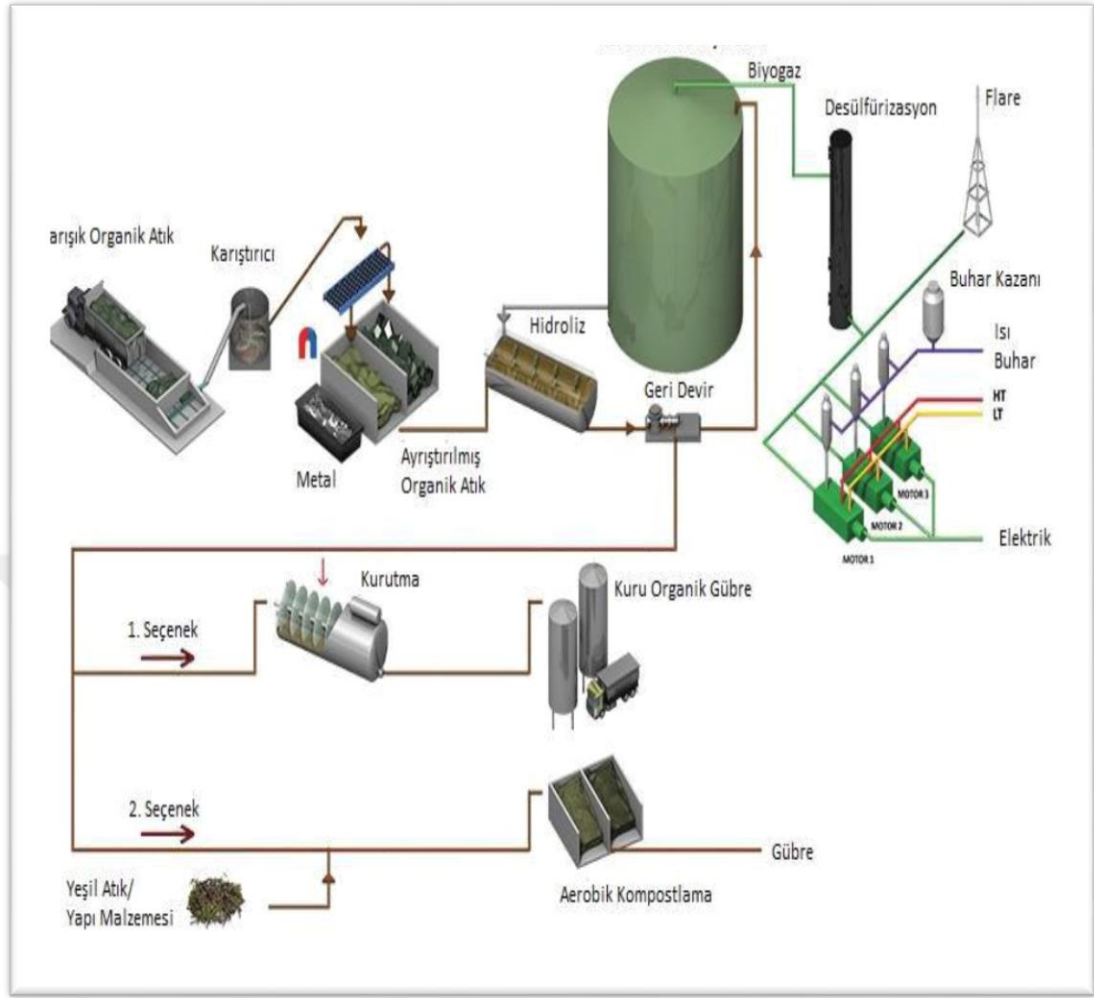
4.2.1. Biyogaz tesisi kapasitesinin değerlendirilmesi

Kütahya İli için planlanan Biyogaz Tesisinde oluşturulacak üniteler şunlardır;

- Organik Atık Ayırma Ünitesi,
- Organik Atık Hazırlama ve Besleme Tesisi,
- Biyogaz Tesisi,
- Kojeneratif Enerji Santrali,
- Çürütülmüş Atık Susuzlaştırma Tesisi,
- Kompostlaştırma/Kurutma Tesisi,
- Atık Hava Temizleme Tesisi bulunması gerekmektedir.

Tablo 4.5.'te elde edilen değerler Kütahya İli için tasarlanacak olan bir biyogaz tesisinde işlenebilecek özellikte atık miktarını vermektedir. Bu kapsamda 32 yıllık atık projeksiyonuna göre (2018 yılı başlangıç kabul edilerek), 2050 yılında biyogaz tesisinde işlenebilecek atık miktarı (hızlı bozunabilen biyobozunur atık) 88.366 ton olarak belirlenmiştir. Teknik Şartnamede, söz konusu tesisin boyutlandırılmasının bu projeksiyona göre yapılması gerektiği belirtilmektedir. Dolayısıyla, Kütahya için maksimum kapasitesi 90.000 ton/yıl olarak tasarlanacak bir tesisin yeterli olacağı düşünülmektedir.

Diğer taraftan, çoğu zaman tesisin %100 kapasiteyle çalışması pratik olarak mümkün olmayacağı için, tesisin başlangıçta (ilk 10 yıl ihtiyacı karşılayacak ve % 80 kapasiteyle çalışacak şekilde) 70.000 ton/yıl kapasitede modüler ve kapasite artırımına imkan verecek şekilde tasarlanması daha uygun olacaktır. Bu kapsamda, planlanan Biyogaz Tesisi alanında ileride yapılacak olan tanklar için fonksiyonel boş alanların ilk tasarım aşamasında gösterilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak, şimdiden maksimum atık miktarı dikkate alınarak bu kapasitede bir tesisin kurulmasının, gerek maliyet açısından gerekse de gelecekte bugünkü teknolojinin yetersiz kalacak olması bakımından uygun olmayacağı düşünülmektedir.



Şekil 4.1. Kuru Anaerobik Çürütme Sistemleri Örnek Akım Şeması (URL-8)

Günümüzde entegre atık yönetimi kapsamında evsel atıkların kaynağında ayrıştırılmasına yönelik planlamalar yapılmaktadır. Bu amaçla, çeşitli organizasyon ve eğitim çalışmalarıyla halkın bilinçlendirilmesi planlanmalıdır. Bunun yanında, geri dönüşüm kumbaraları, organik atık biriktirme kovaları, kül/cüruf ve biriktirme konteynerleri yaygın bir şekilde kullanılarak, atıkların kaynağında ayrı toplanması hedeflenmelidir. Türkiye'nin genelinde beklendiği gibi Kütahya'da yıllar itibariyle, gerek yasal mevzuatlar gerekse de halkın bilinçlenmesi sayesinde atıkların kaynağında ayrıştırılmasının artması beklenmektedir. Kaynağında ayrı toplanan atıklar doğrudan geri dönüştürülebilecek olup, bu atıkların atık ayrıştırma ünitesinde işlenmeleri söz konusu olmayacaktır.

Pratikte genel olarak yıllık 20.000 ton hızlı biyobozunur atık (mutfak atıkları, hal atıkları ve park-bahçe atıkları) yaklaşık olarak 1 MW elektrik üretme kapasitesine

sahiptir. Yukarıda ifade edildiği üzere, Kütahya için başlangıçta 70.000 ton/yıl kapasitede kurulacak olan bir biyogaz tesisinden sağlanacak olan maksimum kojeneratif enerji yaklaşık 4 MW'lık bir çıkış değerine sahip olabilecektir. Bu kapasite, uygulamada ulaşılabilir bir kapasite olarak değerlendirilmektedir.

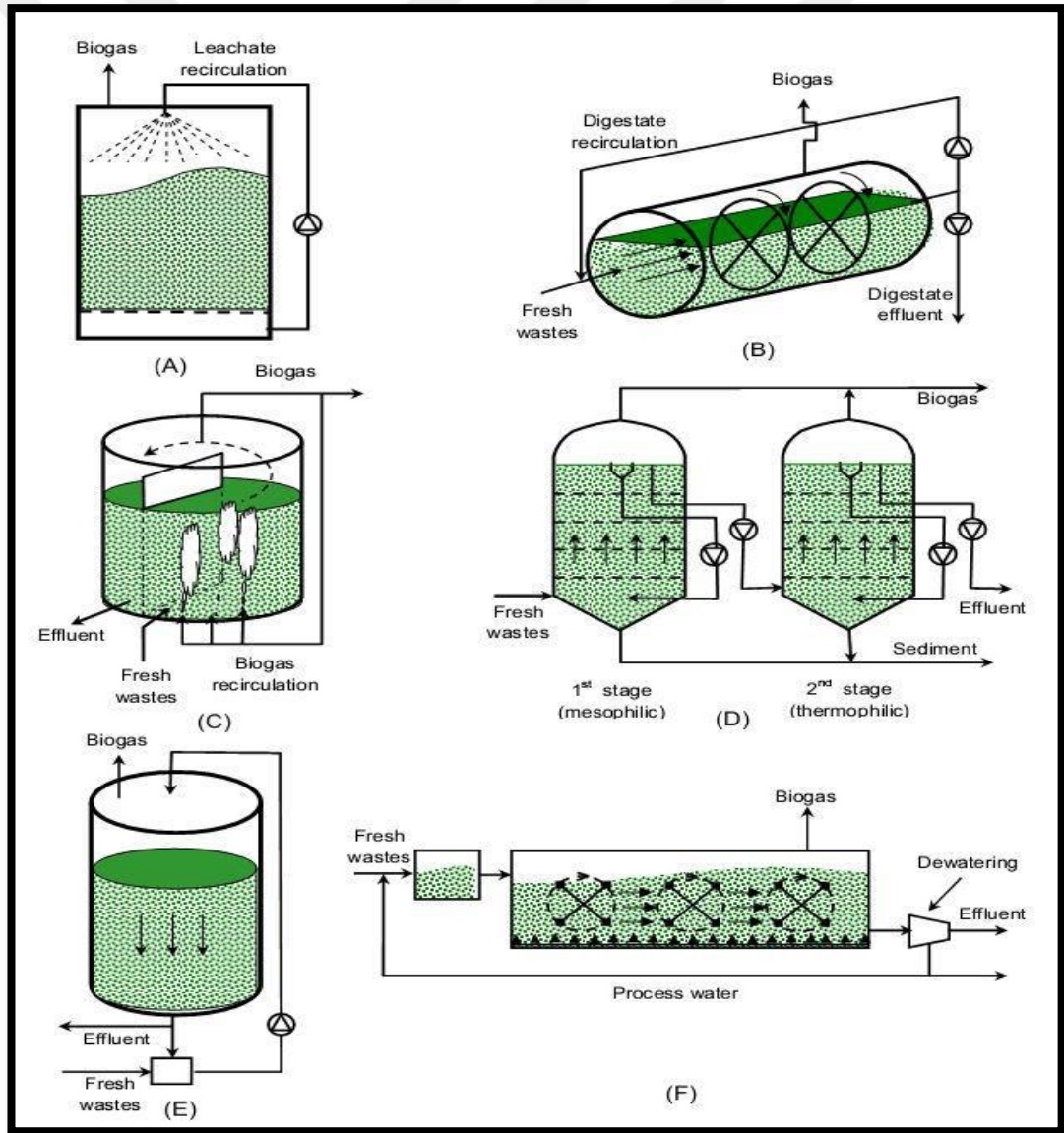
4.2.2. Organik atık ayırma ve hazırlama ünitesi kapasitesi

Kütahya İlinde 2014, 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarında toplanan atık tonajları dikkate alındığında, günlük ortalama 389 ton atık toplanmaktadır. 2019 yılında toplanan günlük atık miktarı 420 ton/gündür. Bu kapsamda 32 yıllık atık projeksiyonuna göre 2050 yılında oluşması beklenen atık miktarı 224.208 ton/yıl olarak belirlenmiştir. Bu ise günlük 614 ton atığa karşılık gelmektedir. Teknik şartnamede, atık ayrıştırma tesisinin yıllık kapasitesi 162.000 ton olarak belirlenmiştir. Bu 2018 yılından başlamak üzere yaklaşık 7 yıl süreyle Kütahya'dan toplanacak tüm atıklar (atıkların kaynağında hiçbir ayırmaya tabi tutulmadığı kabul edilirse) ayrıştırılabilecek kapasitedir. Ancak, teknik şartnamede ifade edilen entegre atık yönetimi kapsamında evsel atıkların kaynağında ayrıştırılmasına yönelik planlamaların yapılması gerektiği ifade edilmektedir. Bu amaçla, çeşitli organizasyon ve eğitim çalışmalarıyla halkın bilinçlendirilmesi planlanmaktadır. Bunun yanında, geri dönüşüm kumbaraları, organik atık biriktirme kovaları, kül/cüruf ve biriktirme konteynerleri yaygın bir şekilde kullanılarak, atıkların kaynağında ayrı toplanması hedeflenmektedir. Türkiye'nin genelinde beklendiği gibi Kütahya'da da yıllar itibariyle, gerek yasal mevzuatlar gerekse de halkın bilinçlenmesi sayesinde atıkların kaynağında ayrıştırılmasının artması beklenmektedir. Kaynağında ayrı toplanan atıklar doğrudan geri dönüştürülebilir olup, bu atıkların atık ayrıştırma ünitesinde işlemleri söz konusu olmayacaktır. Kütahya'da gelecekte toplam atığın %20'lik bir kısmı dahi kaynağında ayrıştırılabilir (mevcut Avrupa ortalamsı yaklaşık %40), Teknik Şartnamede yer aldığı şekilde 162.000 ton/yıl kapasitede bir ayrıştırma tesisinin, Kütahya'nın 29 yıllık ihtiyacını karşılayabileceği görülmektedir.

4.3. Anaerobik Çürütücü Sistemleri

Kütahya İlinde toplanan evsel atıkların organik (ya da biyobozunur) kısımlarının anaerobik olarak çürütülmesi ve enerji ve kompost elde edilmesi amacıyla kurulacak olan Biyogaz Tesisi için, atık özellikleri, maliyet, güncel teknoloji, işletme kolaylığı, enerji verimi ve katı ürün özellikleri göz önüne alınarak “KURU ANAEROBİK ÇÜRÜTME” prosesine dayanan bir sistem önerilmiştir. Bu tür kuru proseslerin genel akım şeması şekil 4.2.’te verilmiştir.

(A) Biocel, (B) Kompagas, (C) Valorga, (D) Schwarting-Uhde, (E) Dranco ve (F) Linde-BRV



Şekil 4.2. Farklı Anaerobik Çürütücü Tiplerinin Basit Şemaları (Nayono, 2010)

Kütahya için önerilen sistem “TEK AŞAMALI ve SÜREKLİ” bir çürütücü sistemi olan tasarlanmıştır. Ancak değerlendirmede iki aşamalı LINDE-KCA sistemi de değerlendirilmiştir. Reaktör sıcaklığı ise, yine önceden açıklandığı üzere, gerek kuru sistem olması, gerekse yüksek metan üretimi verimi bakımından “TERMOFİLİK” olarak seçilmiştir.

A- DRANCO: DRANCO (Dry Anaerobic Composting) prosesi tek aşamalı bir anaerobik çürütme sistemi olup sonrasında kısa süreli bir aerobik olgunlaştırma fazı mevcuttur. Genellikle termofilik koşullarda çalıştırılrsa da, mezofilik koşullara da uyarlanabilir. Bu proses tipik bir dikey piston akışlı sistemdir. Çürütücü reaktör üstten beslenir ve çürütülmüş çamur aynı anda reaktörün altından alınır. Bu sulu çamurun bir kısmı aşı olarak tekrar reaktöre beslenir. Sıcaklığı belirli bir derecede tutmak için karışıma küçük bir miktar buhar verilir ve bu önden ısıtılmış karışım besleme boruları üzerinden reaktörün üstünden pompalanır. Atık ve aşı beslemesi dışında reaktörde karıştırma aletlerine ihtiyaç duyulmaz. Çürütülmüş çamurun kalan kısmı ise susuzlaştırılır ve bu katılaşmış çamur aerobik olarak (havalandırılarak) yaklaşık iki hafta boyunca stabilize edilir. DRANCO prosesi % 20-50 arası katı içeriğine sahip atıklar için verimli bir bertaraf yöntemi olarak kabul edilir. Tipik bekleme süreleri 15-30 gündür ve biyogaz üretimi 100-200 m³/ton atık düzeyindedir.

B- KOMPOGAS: KOMPOGAS sistemi de tek aşamalı kuru anaerobik çürütme prosesidir. Fermantasyon yatay bir piston-akışlı reaktörde, termofilik koşullarda gerçekleşir. Reaktör, yatay olduğu için atık içindeki ağır malzemelerin tabanda birikmesini engellemek için atığı karıştırma amaçlı, yavaş dönen pervaneli bir sistemle donatılmıştır. Besleme öncesi katı atık, atık içindeki kirliliklerin (impurity) giderilmesi ve boyut küçültme amaçlı olarak mekanik ön işlemden geçirilir. KOMPOGAS sisteminde atıktaki katı madde miktarının belirli bir aralıkta (% 23-28) tutulması önemlidir, bu nedenle su eklenerek katı madde içeriği ayarlanır. Eğer katı madde içeriği bu değerlerden düşük ise kum, cam vb. gibi ağır maddeler reaktör içinde birikerek reaktör içindeki yatay akışı güçleştirebilirler. Sistemde bekleme süreleri 15-20 gündür. Mekanik sınırlamalardan dolayı KOMPOGAS reaktörlerinin hacmi çok büyük değildir. Eğer beslenecek katı atık miktarı yüksek ise tesis kapasitesi, her biri 15 000-20 000 ton/yıl kapasitesinde olan birkaç paralel reaktör yapılarak ayarlanabilir. KOMPOGAS sisteminin çok kararlı bir çalışma sistemine

sahip olduğu belirtilmektedir ancak bunun en önemli koşulu uygun bileşimde ve katı içeriğinde atık beslemesi yapılmasıdır. Özellikle protein bakımından yüksek gıda atıklarının yoğun olarak beslendiğı durumlarda yüksek amonyak konsantrasyonlarının bakteriyel inhibisyona yol açtığı gözlemlenmiştir. Bazı çalışmalarda bu durumun elimine edilmesi için atıklar, besleme öncesi kağıt ya da bahçe atıklarıyla karıştırılarak C/N oranı ayarlanıp kontrol altında tutulabilir.

C- LINDE-KCA: LINDE-KCA prosesi, diğeri iki sistemden farklı olarak iki aşamalı bir kuru anaerobik çürütme prosesidir. Atıktan kirlilikleri ayıklama ve boyut küçültme amaçlı ön-işlemlerden sonra ayrıştırılmış biyobozunur atıkların katı içeriğı % 34'e ayarlanır. Sulu çamur daha sonra bir aerobik ön çürütme işleminden geçirilerek organik maddeler kısmen hidrolize edilir. 2 günlük bekleme süresine sahip bu aşamadan sonra ön-çürütülmüş çamur yatay piston akış modunda çalışan dikdörtgen şeklinde beton bir çürütücüye pompalanır. Karıştırma işlemi çapraz pedallı karıştırıcılarla yapılır. Yatay akışlı hareket reaktörün altına inşa edilen yürüyen bir zemin ile sağlanır. Bu yürüyen zemin aynı zamanda reaktör tabanına çöken sedimentleri reaktörün diğeri ucuna taşıyarak deşarj edilmesini sağlar. Proses, genel olarak termofilik olsa da, mezofilik sıcaklıklar da uygulanabilir. Gerekli sıcaklığı sağlamak için dışarıdan ısı eşanjörü ile ısı verilebilir ancak çoğunlukla içeriden ısıtma yapılır. Termofilik proseste bekleme süreleri 21-25 gündür.

Bu bilgiler ışığında işletim kolaylığı, az ekipman ve alan gerektirmesi ve verim bakımından DRANCO prosesi önerilebilir. Sistem termofilik ortamda çalışacağı için bekleme süresi 20 gün olarak düşünülebilir. Alternatif olarak LINDE-KCA düşünülebilir.

Gerçekte anaerobik çürütme işleminde, atıkları parçalayan bakterilerin besin ihtiyaçlarına özel bir dikkat gösterilmelidir. Bakteriler için en önemli besinler karbon ve azot olup bu besinlerin uygun bir oranda sağlanması gerekir. Eğer bu orana dikkat edilmezse, sistemdeki amonyak düzeyleri, bakterilerin çalışmasını engelleyebilecek düzeylere çıkabilir. Uygun bir karbon/azot (C/N) oranı, sistemdeki karbon ve azot kaynaklarının kolay sindirilme özelliklerine bağlıdır, dolayısıyla organik evsel atıklar için uygun bir C/N oranı diğeri atıklara göre daha farklı olabilir. Genelde organik maddelerin anaerobik olarak çürütülmesi için en uygun koşullar, nötral pH

değerlerine yakın pH değerleri, sabit sıcaklık (termofilik ya da mezofilik) ve uygun bir besleme oranıdır (Cepa, 2008).

4.4. Tesiste Üretilen Metan Gazı ve Elektrik Enerjisi Miktarı

Kütahya için yıllara göre beklenen biyobozunur özellikteki evsel atık miktarı tablo 4.6.'da verilmiş olup bu atıkların büyük bir kısmının evlerden ve restoranlardan çıkan mutfak atıkları olacağı beklenmektedir. Kütahya'da 2018'de yaklaşık 59.422 ton, 2030'da 70.080 ton ve 2050'de de 88.366 ton biyobozunur atık toplanacaktır. Diğer taraftan, çoğu zaman tesisin % 100 kapasiteyle çalışması pratik olarak mümkün olmayacağı için, tesisin başlangıçta % 80 kapasiteyle çalışacağı varsayılırsa, toplam 70.000 ton/yıl (192 ton/gün) kapasitede modüler ve kapasite artırımına imkan verecek şekilde tasarlanması daha uygun olacaktır.



Şekil 4.3. Kütahya depolama sahası kojeneratif enerji santrali

Proje kapsamında kurulması planlanan biyometanizasyon tesisinde elde edilecek metan gazı ile üretilen elektrik enerjisi tablo 4.6.'da verilmiştir. Yıllık geri kazanılacak atık miktarı hesaplanırken tablo 4.5.'de verilen günlük geri kazanılacak atık miktarı verisi kullanılmıştır. Üretilen biyogaz miktarının hesaplanmasında atıktaki kuru madde % 30, organik kuru madde % 25 ve biyogaz verimi de 0.55

m³/kg organik kuru madde alınmıştır. Biyogazın metan içeriği ortalama % 50 ve metanın ısıl gücü de 9.9 kWh/Nm³ olarak kabul edilmiştir.

Elde edilen gazın bir kojenerasyon tesisinde yakılarak ısı ve enerjiye dönüştürüleceği varsayımıyla, elde edilen toplam enerjinin ülkemizdeki kojenerasyon tesislerindeki enerji ve ısı verimleri dikkate alınarak yaklaşık olarak % 40'ının elektrik enerjisine, % 50'sinin ısı enerjisine dönüşeceği, % 10 da kaçak olacağı kabul edilmiştir.

Tablo 4.6. Biyometanizasyon tesisinde oluşacak ürünlerin miktarı

Yıl	Biyobozunur atık miktarı	Biyogaz miktarı	Metan gazı miktarı	Metan gazı miktarı	Toplam enerji	Elektrik enerjisi %40	Isı enerjisi %50	Fermente Ürün %35 KM
	ton/yıl	(Nm ³ /yıl)	(Nm ³ /yıl)	(Nm ³ /saat)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	ton/yıl
2018	59.422	8.170.525	4.085.263	466	4.617	1.847	2.308	20.797
2019	60.444	8.311.050	4.155.525	474	4.696	1.879	2.348	21.155
2020	61.284	8.426.550	4.213.275	481	4.762	1.905	2.381	21.449
2021	62.014	8.526.925	4.263.463	487	4.818	1.927	2.409	21.704
2022	62.999	8.662.363	4.331.181	494	4.895	1.958	2.447	22.049
2023	63.875	8.782.813	4.391.406	501	4.963	1.985	2.481	22.356
2024	64.751	8.903.263	4.451.631	508	5.031	2.012	2.515	22.662
2025	65.445	8.998.688	4.499.344	514	5.085	2.034	2.542	22.905
2026	66.467	9.139.213	4.569.606	522	5.164	2.066	2.582	23.263
2027	67.343	9.259.663	4.629.831	529	5.232	2.093	2.616	23.570
2028	68.365	9.400.188	4.700.094	537	5.312	2.125	2.656	23.927
2029	69.241	9.520.638	4.760.319	543	5.380	2.152	2.690	24.234
2030	70.080	9.636.000	4.818.000	550	5.445	2.178	2.723	24.528
2035	74.533	10.248.288	5.124.144	585	5.791	2.316	2.895	26.086
2040	79.169	10.885.738	5.442.869	621	6.151	2.460	3.076	27.709
2045	83.731	11.513.013	5.756.506	657	6.506	2.602	3.253	29.305
2050	88.366	12.150.325	6.075.162	693	6.861	2.744	3.430	30.928

Tablo 4.6.'da de görüleceği gibi proje kapsamında kurulacak olan biyometanizasyon tesisinde geri kazanılacak biyobozunur atık miktarı 2050 yılında 88.366 ton/yıl ile maksimum değerine ulaşmıştır. Ayrıca biyobozunur atıkların biyometanizasyon tesisinde parçalanması sonucu oluşan biyogazın kojeneratif enerji tesisinde yakılmasıyla elde edilen elektrik enerjisi yukarıdaki tabloda kW/saat birimiyle verilmiştir. Buradan hareketle proje süresi boyunca elde edilecek saatlik enerji

miktarı MW cinsinden hesaplanmış; 2018 yılında yaklaşık 1,85 MW/saat, 2030 yılında 2,2 MW/saat, 2050 yılında yaklaşık 2,75 MW/saat elektrik enerjisi elde edileceği hesaplanmıştır. Kojeneratif enerji santralinde oluşacak ısı enerjisinin kullanılmasına yönelik başlatılan çalışmada, düzenli depolama tesisine 4 km uzaklıkta bulunan Kütahya şehirlerarası otobüs terminalinin ısıtılması tasarlanmış olup gerekli alt yapı araştırmaları başlatılmıştır.

4.5. Biyogaz Tesisi Teknolojisine Yönelik Değerlendirme

Biyogaz tesisinin kapasitesi yanında hangi teknolojinin uygulanacağı da önemlidir. Evsel atıklara uygulanan anaerobik çürütme işlemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Tek Kademeli Sürekli Sistemler
 - Düşük Katı İçeriğine Sahip “Islak” Sistemler (Katı içeriği < % 15)
 - Yüksek Katı İçeriğine Sahip “Kuru” Sistemler (Katı İçeriği > % 15-20)
- İki Kademeli Sürekli Sistemler
 - Kuru-Islak
 - Islak-Islak
- Kesikli Sistemler
 - Tek Kademeli
 - İki Kademeli

4.5.1. Kuru ve ıslak sistemlerin karşılaştırılması

Biyogaz üretimi için hazırlanan besleme malzemesinin (feedstock) katı içeriği oranı önemli bir tasarım parametresidir. Bu bağlamda katı içeriği % 15’ten az olan besleme malzemesi kullanan sistemler “ıslak”, % 15-20’den daha fazla olanlar ise “kuru” olarak adlandırılır.

Anaerobik çürütme işleminde “ıslak” ve “kuru” sistemlerin farklı avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bunlar tablo 4.7.’de özetlenmiştir.

Tablo 4.7. Islak ve kuru anaerobik çürütme işlemlerinin karşılaştırılması

Anaerobik Çürütme Sistemi	Avantajları	Dezavantajları
Islak	- Daha eski bir sistem olduğu için bilgi birikimi daha fazladır. - Organiklerin ayrıştırılması daha kolaydır. - Homojen karışım biyo-çürütme ve gaz üretimini artırır. - Pompalar ve diğer karıştırma ekipmanlarına göre daha az enerji harcar. - Isı eşanjörü ve dekantör ile uyumlu çalışır.	- Büyük çürütücü tankları gerektirir. - Sistemde sirküle edilen su miktarı oldukça fazladır. - İşletilmesi kuru sistemlere göre daha karmaşık ve güçtür.
Kuru	- Kirlenici malzemeleri (kum, fiber vb.) tolere edebilir. - Islak sistemlere göre daha az karmaşıktır. - Daha az bakım gerektirir. - Daha az kritik ekipmanı vardır. - İşletme masrafları ıslak sistemlere göre daha azdır. - Daha kolay taşınabilir.	- Çürütücülerin doldurulması ve boşaltılması için özel ekipmanlar gerekir. - Tam karışım sağlanamayabilir. - Kesikli sistemlerde mikrobiyal etkinliğin her çalışmada yeniden başlatılması gerekir. - Çoğunlukla ıslak sistemlere göre daha az gaz üretimi gerçekleşir.

Anaerobik çürütme işleminde kullanılan organik malzeme son derece önemli olup uygulanacak teknoloji seçiminde bu malzemenin türü ve bileşiminin göz önünde bulundurulması gereklidir. Bilindiği üzere anaerobik çürütme işlemi hidroliz-fermentasyon (asit üretimi), asotejenez ve metan üretimi aşamalarında oluşur. Burada özellikle son aşamada metan üretimini gerçekleştiren bakteri grubu olan metanojenlerin verimi bir şekilde çalışması ve metan üretimi aşamasının başarılı bir şekilde gerçekleşmesi önemlidir. Bu, hem prosesin sekteye uğramaması (sistemde asit birikimi –ya da ekşime- olmaması), hem de sürecin sonunda ekonomik bir değeri olan metan gazının verimi bir şekilde üretimi (sistemin ekonomisi) açısından gereklidir. Dolayısıyla bir anaerobik çürütme işleminde ortam koşullarına (sıcaklık, pH, toksik ve inhibitör maddelerin varlığı vb.) son derece hassas olan metan bakterilerinin korunması, çoğalması ve işlevini başarılı bir şekilde sürdürmesi, anaerobik sistemlerde dikkat edilmesi gereken en önemli konudur. Bu bakımdan

anaerobik çürütme sistemlerinin seçiminde ve tasarımında bu bakteriler için sorun ya da risk oluşturabilecek tercihlerden olabildiğince kaçınmak gerekmektedir.

Kütahya İli toplanan evsel atıkların organik (ya da biyobozunur) kısımlarının anaerobik olarak çürütülmesi ve enerji ve kompost elde edilmesi amacıyla kurulacak olan Biyogaz Tesisi için, atık özellikleri, güncel teknoloji, işletme kolaylığı, enerji verimi ve katı ürün özellikleri ve avantajları göz önüne alınarak kuru anaerobik çürütme prosesine dayanan bir sistem önerilmiştir.

Tablo 4.8. Biyogaz tesisi parametreleri

Tesis Atık İşleme Kapasitesi (ton/yıl)	70.000
Hidrolik Bekleme Süresi (gün)	20
Karışımın Katı İçeriği (%)	35
Karışımın C/N oranı	15 ^a
Çalışma sıcaklığı (°C)	50-55
Tesis Kapasitesi (ton)	3800 ^b
Tesis Hacmi (m ³)	4000
Reaktör Sayısı	2
Reaktör hacmi (m ³)	2000
^a Gerekirse ek atık maddelerle 20-30 arasına ayarlanacaktır. Örneğin % 10 oranında saman ilave edilebilir.	
^b 190 ton/gün x 20 gün =3000 ton.	

Mevcut durumda Kütahya için kullanılacak malzeme evsel atığın biyo-bozunur bileşenlerinin bir karışımı olduğundan ve bu karışım, çoğu durumda biyolojik çürütme işlemini olumsuz etkileyebilecek toksik ya da biyolojik süreçleri engelleyici kimyasalları (inhibitör) içerdiğinden uygulanacak çürütücü sistemin seçiminde bu tür maddelerden daha az etkilenecek, daha kolay işletilebilecek ve daha az riskli sistemlerin öncelikle düşünülmesi faydalı olacaktır. Evsel katı atıkların organik biyo-

bozunur kısımlarının anaerobik olarak çürütülmesinde karşılaşılan sorunlar, tarafından tanımlanmıştır (Vandevivere et al. 2002). Bu sorunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Evsel atığın homojen olmayan doğal yapısı nedeniyle, çürütücü içinde oluşturduğu sulu karışım (bulamaç; ing. slurry) çürütme işlemi esnasında ayrışma ve köpük (ing. scum) tabakası oluşturma eğilimi gösterir. Oluşan bu tabaka ise hem bakterilerin bu organikleri parçalamasını engeller, hem de sistemdeki pompaların ve hatların tıkanmasına sebep olur.
- Karışık evsel atık, çürütücü içindeki çürüme reaksiyonlarını olumsuz etkileyebilecek toksik ve inhibitör kimyasalların yanı sıra çürütücü çıkışı sonrasında proseste yer alan ekipmanların tıkanma ve kırılmasına sebep olabilecek inert katıları ve safsızlıkları (impurity) içermektedir.
- Bu sorunların önlenmesi için, inert bütün katıların (taş, kum, toz, toprak, çakıl, seramik vb) çürütme işlemi öncesi ayrıştırılarak evsel atığın içinden uzaklaştırılması ve atıkların homojenize edilmesi gerekmektedir. Bunun için organik atık ayırma ve hazırlama işlemleri içeren ön-işlem tesisleri gerekir.
- Evsel katı içeriğindeki katı maddeler, henüz tam parçalanmadan (kısa devre-shortcircuit) borulara ulaşabilir. Dolayısıyla tasarım değişiklikleri yapılarak bakterilerin bu zor ayrışabilir malzemeler ile daha uzun süre temas etmeleri sağlanmaya çalışılmıştır.
- Evsel katı atıklar, daha önce de belirtildiği üzere çürüme reaksiyonlarını olumsuz etkileyebilecek toksik ve inhibitör kimyasalları içerir. Seyretilik bulamaçta bu maddeler reaktör boyunca kolaylıkla yayılır ve belirli konsantrasyonlarda bakteriler üzerinde şok etkisi yapar. Bu sorun kuru sistemlerde daha az etkilidir, zira düşük yayılma (difüzyon) hızı bakterileri korur (Vandevivere et al. 2002).

Yukarıda tanımlanan sorunlar ve kısıtlamalar nedeniyle Avrupa’da kuru sistemler giderek yaygınlaşmaktadır. Yüksek katı içeriğine sahip kuru sistemler, ıslak istemlere göre daha az gaz üretimi sağlamakla birlikte işletimi ve bakımı daha kolay ve daha az sorunlu ve risksiz bir alternatif sunmaktadırlar. 2011 yılı verilerine göre

Avrupa'daki kurulu tek kademeli çürütücü kapasitesinin % 60'tan fazlası kuru sistemlerdir (De Beare and Mattheuws, 2010).

Anaerobik çürütme sistemi tasarımında bertaraf edilecek olan atık türüne dikkat edilmelidir. Bu projede bertaraf edilecek atık türü karışık evsel atık olduğu için çürütücü performansı buna göre değerlendirilmelidir. Bilindiği üzere anaerobik çürütme işleminde iki temel amaç bulunmaktadır: biyobozunur atıkların bertarafını sağlamak ve proses sonunda ekonomik değeri olan ürünler elde etmektir. Temelde bir çürütücü dört ana proses içerir: atık ön işleme, çürütme (digestion), biyogaz iyileştirme ve çıkış ürünü (digestate) işleme.

Atık ön işleme ünitesine neden ihtiyaç olduğu önceki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır. Karışık evsel atık hem çürütücü içindeki çürüme reaksiyonlarını olumsuz etkileyebilecek toksik ve inhibitörleri hem de çürütücü çıkışı sonrasında proseste yer alan ekipmanların tıkanma ve kırılmasına sebep olabilecek inert katıları içermektedir. Özellikle anaerobik çürütme prosesinde sulu çamur var ise çürütücü giriş ve çıkışında bu ön ve son proses destek birimleri kullanılması kaçınılmazdır. Kuru sistemlerde sulu çamur içeren bir çürütücü ortamı oluşmaz. Dolayısıyla kuru sistemdeki düşük difüzyon-yayılma hızı bakterileri korur. Islak sistemdeki bu prosesten kaynaklanan kısıtlamalar nedeniyle bugün Avrupa'da kuru sistemler daha yaygındır. Kuru anaerobik çürütme sulandırma için su eklenmesi olmaksızın % 30-40 katı madde oranına sahip atık ortamının olduğu bir prosese sahiptir. Ancak kuru bir çürütücü ortamının olması ihtiyaç duyulan çürütücü reaktör (tünel şeklinde, plug-flow) sayısını artırmaktadır. Bu da ilk yatırım maliyetindeki inşaat kalemini artırmaktadır.

Evsel katı atıkların anaerobik çürütme işlemi için su ilavesi ile sulu çamur haline gelmesi (daha teknik bir ifade ile toplam katı madde oranının %15-%25 olduğu bir

çamur şekline dönüşmesi), anaerobik çürütücünün performansını doğrudan etkiler. Bunun nedeni performansın doğrudan bağlı olduğu toplam katı madde, sıcaklık ve pH parametrelerinin bu tür değişimden fazlasıyla etkilenmesidir. Öte yandan katı madde oranının % 15-% 25 oranına gelmesi için içeriye verilen su miktarı gerekli olan çürütücü hacmini; bu da artan hacim nedeniyle karıştırmayı sağlamak için gerekli çürütücü içi makine ekipmanı (karıştırıcı) artırmaktadır. Bu katı madde oranı

çürütücü çıkışında % 10-15 değerine iner. Dolayısıyla çürütücü çıkışından da çamur oluşumu söz konusudur. Bu çamurun çürütücüden uzaklaştırılabilmesi için pompalar, borulama, vanalar gibi mekanik bir donanım gerekmektedir. Bu sistemlerde karşılaşılan tıkanma sorunları nedeniyle daha yüksek tahrik gücüne sahip pompalar ya da vakum emişli sistemler uygulanmaktadır. Ancak bu önlemler tıkanmaları kısmen önlese de yüksek enerji tüketimine sebep olmaktadır. Karşılaşılan bu sorunlar, evsel atıkların anaerobik olarak çürütülmesi uygulamalarında yüksek katı madde sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır. Yüksek katı madde içeren sistemler evsel atıklara yönelik anaerobik çürütme proseslerinin ekonomik performansını artırmıştır. Yüksek katı madde oranı içeren çürütücü tasarımları % 30'dan daha büyük toplam katı madde içeriği ile işletilir. Bu tasarımlar iç ya da dış karıştırma ihtiyacını, biyogaz kullanımı ya da mekanik karıştırıcı ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Yapılan çalışmalar genel olarak yüksek katı madde içeren anaerobik çürütme sistemlerinin yeterli performansa sahip olduğunu göstermektedir. Çürütücü içindeki biyolojik reaksiyon süresince ve çürütücü çıkışında % 30 üzerinde katı madde oranını sağlayan sistemler kuru tip anaerobik çürütme sistemleridir. Bu nedenle kuru tip anaerobik çürütme sistemlerinde çürütücü çıkışında girişteki organik atık bileşimine yakın bir atık içeriği elde edilir. Sistemde çamur elde edilmediği için susuzlaştırma ihtiyacı yoktur (Nayono, 2010).

4.5.2. Tek kademeli ve iki kademeli sistemlerin karşılaştırılması

Tek kademeli sistemlerde tüm anaerobik çürütme işlemi tek bir reaktörde gerçekleştirilirken iki kademeli sistemlerde metan üretimi fazı ile diğer fazlar (hidroliz ve fermentasyon) ayrı reaktörlerde gerçekleştirilir. Çok kademeli sistemler anaerobik çürütme işlemindeki farklı biyokimyasal proseslerin (çürütme aşamaları) farklı optimum koşullara sahip olmasının avantajlarından faydalanmak için tasarlanmışlardır. Çürütmenin her aşamasının farklı reaktörlerde optimum koşullarda gerçekleştirilmesiyle toplam çürütme veriminin artırılması planlanmıştır. Bu sistemler genellikle iki kademeli olup hidroliz ve diğer fermentasyon-asidifikasyon reaksiyonları birinci kademede, metan üretimi ise ikinci kademede gerçekleştirilir. İlk şamadaki reaksiyon hızı kompleks karbonhidratların hidrolizi tarafından belirlenirken ikinci aşamadaki metan üretimi hızı ise mikrobiyal büyüme kinetikleri tarafından belirlenir. Metan üretimini gerçekleştiren metanojenik archaea

mikroorganizmaları pH=7-8.5 aralığını tercih ederken ait üreten bakteriler daha düşük pH değerlerinde çalışırlar. İki kademeli sistemlerin en büyük avantajı, farklı biyokimyasal reaksiyonların farklı reaktörlerde gerçekleştirilmesi nedeniyle proses esnekliği sağlamalarıdır, ancak bu esneklik ek reaktör ihtiyacı, malzeme hazırlama ve proses kontrol sistemleri gerektirdiğinden sistemin toplam maliyetini ve daha avantajlı olmaktadır.

Öte yandan son yıllarda yüksek hızlarda çalışan tek-kademeli sistemler kurulmuş ve verimli bir şekilde çalıştıkları gözlenmiştir. Düşük maliyet (yatırım ve işletme maliyeti bakımından) ve daha basit yapısı nedeniyle tek kademeli sistemler evsel atıkların anaerobik olarak çürütülmesinde daha çok tercih edilmektedir. Tek aşamalı karmaşıklığını artırmaktadır. Bu bakımdan iki aşamalı sistemlerde sürekli sistemler yerine kesikli ya da sıralı-kesikli sistemlerin kullanımı sistemler genel olarak tasarımı, inşası ve işletilmesi kolay sistemler olup daha düşük maliyete sahiptirler. 2014 yılı itibarıyla Avrupa'da kurulu anaerobik çürütme sistemlerinin % 93'ü tek kademelidir.

4.5.3. Sürekli ve kesikli sistemlerin karşılaştırılması

Sürekli çalışan proseslerde reaktöre düzenli aralıklarla atık beslenir ve sistemin sürekli aynı koşullarda ve hızda çalışması beklenir. Bu tür reaktörlerde reaktör içinde minimum % 20 katı içeriği olması gereklidir. Sürekli çalışan kuru anaerobik çürütme işlemlerine örnek olarak hepsi özel şirketlerce geliştirilmiş olan Valorga Prosesi, Kompogas Prosesi ve Dranco Prosesi verilebilir. Kesikli sistemlerde ise atık beslemesi yapıldıktan sonra prosesin sona ermesi beklenir ve yeniden atık beslemesi yapılır. Kesikli sistemler daha küçük ve daha az atık besleme kapasitesine sahip sistemler olmaları nedeniyle evsel organik katı atıkların anaerobik olarak çürütülmesi uygulamalarında sürekli sistemlere nazaran daha az kullanılmaktadırlar. Kesikli sistemlerin özellikle lignin-selüloz ağırlıklı biyokütlenin işlenmesinde daha verimli oldukları gözlenmektedir. Biyokütle katı içeriği % 30-40 civarlarında olabilir ve çürütme gaz-sızdırmaz bir reaktörde gerçekleştirilir. Ek olarak proses kontrolü daha kolaydır ve bu bakımdan gelişmekte olan ülkeler için daha kullanışlı sistemlerdir. Ancak yükleme kesikli yapıldığı için iyi bir karıştırma sağlanması ve reaktörün açılıp kapanması sırasında patlama olasılığına karşı güvenlik önlemleri gereklidir.

Reaktörün açılması sırasında biyogaz kaybı ve reaktör yüksekliklerinin sınırlı olması da diğer dezavantajlarıdır. Bu sorunların üstesinden gelmek için sıralı-kesikli sistemler (SEBAC) geliştirilmiştir. Kesikli sistemlerde reaktörde toplanan süzüntü suları fermentasyonu artırmak için üstten reaktöre beslenir. Bu da tabandaki deliklerde tıkanmalara yol açabilmektedir. Bir diğer sorun da kesikli sistemlerde biyogaz üretim hızı ve kalitesinin değişken ve kararsız olmasıdır. Alan olarak da sürekli sistemlere göre daha büyük alan gereksinimi söz konusudur. Bu tür sorunlar yüzünden kesikli sistemler yaygın olarak kullanılmamaktadır.

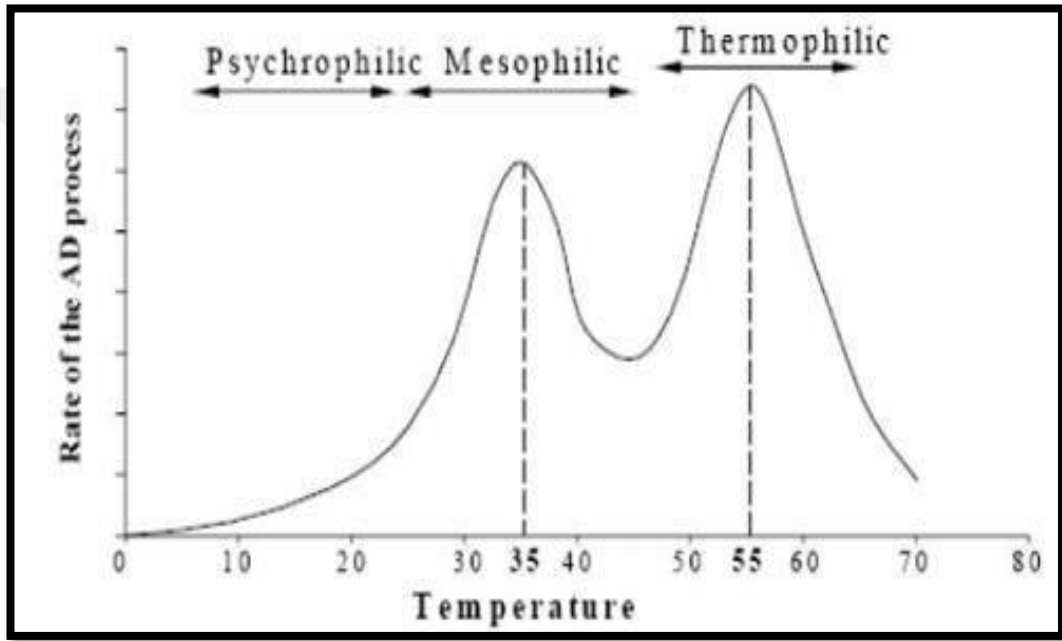
Sürekli çürütme işleminde ise atık reaktöre sürekli olarak beslenir ve aynı şekilde ürünler de reaktörden sürekli olarak alınır. Bu bakımdan reaktördeki biyokimyasal reaksiyonların ve biyogaz üretiminin de sabit bir hızda gerçekleşmesi beklenir. Tam ölçekli tek kademeli ve sürekli anaerobik çürütme sistemleri 2006 yılı itibarıyla Avrupa'daki biyobozunur atık ve arıtma çamurları için uygulanan toplam anaerobik çürütme kapasitesinin % 87'sini kapsamaktadır. Anaerobik çürütücülere sabit hızda sürekli besleme yapılması alan ihtiyacını azaltmakta ve işletme maliyetlerini de kesikli sistemlerle rekabet edebilir düzeylere çekmektedir. Bu da daha yüksek yatırım maliyetine rağmen özellikle arazi fiyatlarının yüksek olduğu bölgelerde sürekli sistemleri daha avantajlı kılmaktadır. Ancak sürekli sistemlerde özellikle işletme açısından belirli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Atık beslemenin sabit hızda pompalarla yapılmasından dolayı sürekli sistemlerde pompa performansı kritik öneme sahiptir. Ek olarak sürekli sistemlerde atıkların yüksek akışkanlığı ve homojenize edilmeleri gerektiği için daha çok düşük katı içeriğine sahip atıklar için kullanılmaktadırlar. Yüksek katı içeriği ile çalışan sistemlerde atığın taşınması ve işlenmesi işleri akışkanlığı düşük (viskoz) akışlar için tasarlanmış taşıyıcı bantlar, vidalı konveyörler ve güçlü pompalar kullanılmasını gerektirir. Bu tür ekipman da oldukça pahalı olduğundan maliyeti artırır.

Kesikli ve sürekli sistemlerin sahip olduğu sorunların en aza indirilmesi için son yıllarda yarı sürekli sistemler geliştirilmiştir. Yarı-sürekli çürütücüler belirli zaman aralıklarıyla, örneğin günlük olarak (daha sık da olabilir), beslenirler ve ürünler de eş zamanlı olarak alınır. Yarı-sürekli sistemlerin biyogaz üretimi de daha iyi ve düzenlidir. Burada kullanılan sürekli-yarı-sürekli ayrımı da çoğunlukla nesnel

ölçütlere dayanmaz, zira çoğu sürekli sistemde besleme sürekli değil belirli zaman aralıklarıyla (örneğin günde bir ya da iki kez) yapılmaktadır.

4.5.4. Mezofilik ve termofilik sistemlerin karşılaştırılması

Anaerobik çürütücüler reaktör içinde çalışılan sıcaklığa göre mezofilik (35-40 °C) ya da termofilik (50-55 °C) olarak çalıştırılabilirler. Genel anlamda biyolojik faaliyetlerin hızları sıcaklık arttıkça arttığından termofilik reaktörlerde reaksiyon hızları hızları ve biyogaz üretimi daha yüksek olur.



Şekil 4.4. Sıcaklığın anaerobik çürütme hızına etkisi (Zeshan, 2012).

Her iki reaktör türünde de reaktörün ısıtılması gerekir, ancak belirli ılıman iklimli bölgelerde mezofilik reaktörler herhangi bir ısıtma ihtiyacı olmadan da çalışabilmektedirler. Daha düşük sıcaklıklarda çalışması işletme maliyeti bakımından mezofilik reaktörleri daha öne çıkarmaktadır. 2014 yılı itibarıyla Avrupa'da kurulu kapasitenin % 67'sini mezofilik reaktörler oluşturmaktadır. Özellikle atıksu, hayvan atıkları ve arıtma çamuru uygulamalarında mezofilik reaktörler yaygındır. Ancak termofilik çürütme de özellikle evsel katı atıkların organik kısımlarının çürütülmesinde önemli bir yer (% 30-40) tutmaktadır ve son yıllarda bu oran giderek artmaktadır. Özellikle kuru anaerobik çürütme sistemlerinde ısı ihtiyacı görece daha küçük bir öneme sahiptir, zira aynı teknoloji kullanıldığında biyogaz üretimi

mezofilik reaktörlere göre % 30-50 daha fazla olmaktadır. Termofilik sıcaklıklarda uzun yıllar kararlı bir şekilde çalışan büyük ölçekli çürütücü tesisleri mevcuttur.

Tüm bu bilgiler ışığında ve Kütahya İli ve benzer şehirlerde toplanan evsel atıkların organik kısımlarının anaerobik ortamda çürütülmesi ve metan gazı üretilmesi için seçilecek teknolojinin, büyük oranda atık bileşimi ve çürütme işlemi öncesi yapılacak ayrıştırma- temizleme çalışmalarına göre belirlenmesi en sağlıklı yol olacaktır. Biyolojik olarak kolaylıkla parçalanacak organik atıkların (hayvan atıkları, tarımsal atıklar, park-bahçe atıkları vb.) ayrı toplanması ya da bu tür atıkların ön- işlemlerde karışık toplanan evsel atıklardan başarılı bir şekilde ayrıştırılması (diğer atıklarla karıştırılmadan, çürütme işlemini olumsuz etkileyecek toksik ve inhibitör kimyasallardan ve diğer safsızlıklardan arındırılması vb.) durumunda çürütücü seçimi metan verimi bazında ıslak ya da kuru olarak belirlenebilir. Ancak, dünyadaki benzer uygulamalarda gözlemlendiği ve ülkemiz için de beklendiği gibi, çürütme işlemine tabi tutulacak atıkların ayrı toplanmak yerine diğer atıklarla birlikte toplanması ve sonrasında karışımdan ön işlemlerle kabaca ayrıştırılması durumunda, çürütücü türü seçiminin, gaz üretimi verimi yerine, bakım ve işletim kolaylığı, sorunsuzluk ve toksik inhibitör kimyasalların biyolojik çürütme işlemi üzerinde oluşturduğu risklerden kaçınma üzerinden yapılması daha doğru olacaktır.

4.6. Performans Değerlendirmesi

Anaerobik çürütme sistemlerinin Avrupa'da evsel atık için uygulamaya başlanmasının nedeni, Avrupa ülkelerinin evsel atıkların gömülerek bertaraf edildikleri düzenli depolama alanlarına kabul miktarlarına getirdiği kısıtlamalar, gömme işlemi öncesi evsel atığın stabilize edilerek gelecekteki olumsuz çevresel etkilerini ortadan kaldırmak ve enerjiye getirilen teşviklerdir. Dolayısıyla çürütme prosesi için kurulan tesislerde öncelikle evsel atıkların organik kısımlarının sürekli bir çalışma ile bertarafının sağlanması gereklidir. Sürekli çalışma şartlarının sağlanamadığı bir çürütücüden sürekli bir biyogaz üretimi ve dolayısıyla elektrik üretimi sağlamak mümkün değildir.

Çürütücü performansı aslında büyük ölçüde seçilen çürütücü konfigürasyonuna ve bertaraf edilen evsel atıktan elde edilen organik fraksiyonun bileşimine bağlıdır. Mevcut evsel atık bertarafı yapılan çürütücülerin performansı hakkında literatürdeki

pek çok rapor mevcut olup bu raporlarda verim çoğunlukla evsel atığın ıslak ağırlığı başına verilmektedir. Büyük ölçekli tesislerde tipik biyogaz verimi 0.10-0.15 m³/ıslak-kg'dır. Ancak bertaraf edilen organik kısmın bileşimi ve buna bağlı olarak biyogaz bileşimi, evsel atığın içeriğine, nasıl ve hangi bölgeden toplandığına, uygulanan mekanik ayrıştırma niteliğine ve daha pek çok kritere göre farklılık gösterir. Biyogazdaki metan içeriği hacimce %50-%70 arasında değişebilmektedir. Bu ise, enerji potansiyelini doğru bir şekilde tahmin etmek için oldukça geniş bir aralıktır. Öte yandan metan verimi, enerji verimliliği açısından biyogaz veriminden daha kullanılabilir bir veridir. Biyogaz verimliliği doğrudan atığın içeriğine ve çürütücü ortamına bağlıdır. Evsel atığın nem içeriği ve çürüyebilme özelliği ise içerdiği kağıt, çim, tahta ve lignoselülozik malzeme miktarına göre geniş bir aralıkta farklılık göstermektedir. Bundan dolayı bilimsel literatürde ıslak ağırlık yerine atık içeriğindeki organik maddeyi gösteren uçucu katı maddelerin kuru ağırlığı başına metan verimi üzerinden hesaplamalar yapmak daha sağlıklıdır. Bu bakımdan farklı evsel atıkları işleyen sistemler karşılaştırılırken göz önünde bulundurulması gereken en önemli nokta atık bileşimindeki farklılıklar olmalıdır. Bu farklılıklar biyogaz verimliliğini ve biyogazın metan içeriğini de değiştirecektir. Sonuç olarak enerji üretimi doğrudan biyogazın metan içeriğine bağlıdır. Şekil 3.3.'de farklı çürütücü türlerinin biyogaz verimi ve elektrik üretimi karşılaştırılması görülebilir. Burada da görüldüğü üzere biyogaz üretim verimi ıslak çürütücülerde daha yüksek iken elektrik üretimi, biyogazdaki yüksek metan içeriği nedeniyle kuru-sürekli çürütücülerde daha yüksek olabilmektedir.

Sonuç olarak çürütücünün enerji verimliliği bir tesisin finansal performansı için diğer tüm verimliliklerden çok daha önemlidir (biyogaz-metan gazı-enerji). Burada tesisin öncelikle kararlı koşullar altında çalıştırılması (gerek işletme koşullarının sürekliliğinin sağlanması, gerekse -sürekli ya da yarı-sürekli- sabit bir atık besleme hızı elde edilmesi) son derece önemlidir. Tesis sürekli çalıştıramadığında anlık biyogaz ya da metan gazı ya da enerji üretimi finansal olarak yatırımın sürdürülebilirliğini sağlayamayacaktır. Bu bakımdan tesise sürekli olarak uygun atık miktarının gelmesi gereklidir. Aksi halde biyogaz ya da metan gazı üretim hızı kendi başına kullanılabilir değildir. Çünkü biyogaz ve metan gazı oluşumu tamamen sistemin organik atık bertaraf-yükleme hızına bağlıdır. Mevcut endüstriyel

ölçekli/evsel atıktan elde edilmiş organik fraksiyonun işlendiği farklı atık akışlı (farklı toplam katı madde oranı içeren) çürütücü performanslarını karşılaştırmak belirli zorluklar içermektedir çünkü firmalar çoğunlukla performans verilerini gizleme eğilimindedir. Görüldüğü gibi finansal analiz için biyogaz üretimi-metan gazı içeriği-enerji üretimi ilişkisi ve farklı çürütücü tiplerindeki değerleri de mutlaka yatırım için bilinmelidir.

Özetlenirse anaerobik çürütme prosesinde seçilen çürütücü tipine göre evsel atıktan elde edilen organik fraksiyon başına biyogaz oluşum hızı farklılık göstermektedir. Genel olarak biyogaz üretimi farklı çürütücülerde şu şekildedir:

- Klasik tank tipi ıslak çürütücü: 100-150 m³ /ton-evsel atık kaynaklı organik fraksiyon atığı,
- Yatay tünel tipi yarı kuru çürütücü: 110-130 m³ /ton-evsel atık kaynaklı organik fraksiyon atığı,
- Tünel tipi kuru çürütücü: 80-90 m³ /ton-evsel atık kaynaklı organik fraksiyon atığı,

Ancak yukarıda anlatıldığı üzere biyogaz üretimi enerji hesaplamaları için tek başına yeterli değildir. Biyogazın içerdiği metan oranı enerji üretiminde doğrudan ilişkili faktördür. Evsel atık kaynaklı organik fraksiyon atığı işeyen anaerobik çürütme prosesinde çürütücü tipine göre metan oluşum aralığı da şu şekildedir:

- Yatay tünel yarı kuru çürütücü: % 55-% 65
- Tünel tipi kuru: % 50-% 55

Yukarıdaki aralıklarda metan gazı içeren biyogazdan elde edilecek enerji miktarı verimi üzerindeki diğer bir faktör ise gaz motoru verimidir. Bu da gaz motoru markalarına göre değişmekle birlikte ortalama verim oranı % 35 - % 40'tır.

Anaerobik çürütme sistemlerinin önemli bir değer performans kriteri ise çürütücü çıkış ürünün kalitesidir. Çıkış ürünü operasyonel olarak ne kadar kolay ve az maliyetle iyileştirilebilir ve satılabilir hale getirilirse çürütücünün ekonomik performansı da o kadar yüksek olacaktır. Çıkış ürünün kolay iyileştirilebilir hale gelmesi ve kompost olarak değerlendirilebilmesinin en önemli kriteri içerdiği katı

madde oranıdır. Çürütme işleminde çürüme ortamı tasarım değerlerinin sağlanabilmesi ve çürütücü içinde oluşan sulu çamur şeklindeki yapının deşarjının sağlanabilmesi için su ilavesi yapılan çürütücü tiplerinde (örneğin ıslak ya da yarı-kuru sistemlerde) çıkış ürünü katı madde oranı % 10-15'dir. Bu da çamur kıvamında bir malzeme demektir. Bu tip çürütücülerde karşılaşılan işletme güçlüklerinden birisi çamur kıvamındaki malzemenin çürütücüden deşarjı ve susuzlaştırma ünitesine transferidir. Sürekli bir deşarj olmadığı için belli aralıklarla açılıp kapatılan hatlarda katılaşmalar olmaktadır. Bu katılaşmalar zamanla sistemdeki boru, pompa ve enstrümanların tıkanmasına, korozyon nedeniyle aşınmasına ve kırılmasına neden olmaktadır. Üstelik bu durumlar çürütücü girişinde inert katıların uzaklaştırıldığı düşünüldüğünde dahi ortaya çıkabilmektedir. Katı madde oranı % 10-15 olan çıkış ürünün kompost işlemi öncesi susuzlaştırılması şarttır. Susuzlaştırmadan çıkan ürünün katı madde oranı %30 oranına çekilerek kompost işlemine alınabilir.

Çürütücü tasarımında sulu ortam oluşturmada çıkış katı madde oranı giriş katı madde oranı $\%30 \pm 5$ olan kuru tip tasarımlarda ise çıkış ürünü her hangi bir prosese tabi tutulmaksızın direk olarak kompost işlemine alınabilir.

Kompostlama işleminde kaliteli bir kompost elde edilmesi için çıkış ürününün belirli strüktür malzemeleri (tahta parçaları vb.) ile karıştırılması gerekir. Islak ya da yarı-kuru sistemlerde susuzlaştırma sonrasında çıkış malzemesine metreküp başına 2-3 m³ strüktür ilavesi gereklidir. Kuru çürütücü sistemlerinde ise çıkış malzemesi 2-3 metreküp çıkış ürünü başına 1 m³ strüktür gerekmektedir. Yani strüktür malzeme kullanım oranı ıslak ya da yarı-kuru sistemlerde yaklaşık 6 kat daha fazladır.

Tüm bu bilgiler ışığında ülkemizdeki şehirlerde toplanan evsel atıkların organik kısımlarının anaerobik ortamda çürütülmesi ve metan gazı üretilmesi için seçilecek teknolojinin, büyük oranda atık bileşimi ve çürütme işlemi öncesi yapılacak ayrıştırma-temizleme çalışmalarına göre belirlenmesi en sağlıklı yol olacaktır. Biyolojik olarak kolaylıkla parçalanacak organik atıkların (hayvan atıkları, tarımsal atıklar, park bahçe atıkları vb.) ayrı toplanması ya da bu tür atıkların ön-işlemlerle karışık toplanan evsel atıklardan başarılı bir şekilde ayrıştırılması (diğer atıklarla karıştırılmadan, çürütme işlemini olumsuz etkileyecek toksik ve inhibitör kimyasallardan ve diğer safsızlıklardan arındırılması vb.) durumunda çürütücü

seçimi metan verimi bazında ıslak ya da kuru olarak belirlenebilir. Ancak, dünyadaki benzer uygulamalarda gözlendiği ve ülkemiz için de beklenebileceği gibi, çürütme işlemine tabi tutulacak atıkların ayrı toplanmak yerine diğer atıklarla birlikte toplanması ve sonrasında karışımdan ön işlemlerle kabaca ayrıştırılması durumunda, çürütücü türü seçiminin, gaz üretimi verimi yerine, bakım ve işletim kolaylığı, sorunsuzluk ve toksik ve inhibitör kimyasalların biyolojik çürütme işlemi üzerinde oluşturacağı risklerden kaçınma üzerinden yapılması daha doğru olacaktır.

Bu bağlamda kurulması planlanan 90.000 ton/yıl kapasiteli Biyogaz Tesisinin, atık toplama sürecindeki zorluklar da göz önüne alınarak ilk etapta iki adet 35.000 ton/yıl kapasitede kurulması ve modüler ve kapasite artırımına imkan verecek şekilde tasarlanması uygun görülmektedir. Kurulacak olan söz konusu kapasiteye sahip bir Biyogaz Tesisinin Kütahya'nın ilk etapta 10 yıllık biyobozunur atık bertarafı ihtiyacını karşılayacaktır.

Biyogaz üretimi ile sağlanacak kojeneratif enerji tesisinde ilk etapta 70.000 ton/yıl kapasitede kurulacak olan bir biyogaz tesisinden sağlanacak olan maksimum enerji yaklaşık 4 MW'lık bir çıkış değerine sahip olabilecektir.

Tesiste ilk aşamada atıkların karışık olarak gelip organik kısmın ve diğer geri dönüştürülebilir atıkların ön işlemler ile ayrıştırılacağı düşünülmektedir. Biyogaz tesisi kapasitesine paralel olarak 162.000 ton/yıl kapasitede bir ayrıştırma tesisinin, bölgenin 10 yıllık ihtiyacını fazlasıyla karşılayabileceği düşünülmektedir. Bu kapsamda, geri dönüştürülebilir nitelikteki atıkların ve organik atıkların kaynağında ayrı toplanması için gerekli planlamanın yapılması gerekmektedir. Bu planlama yapılırsa tesise gelen karışık evsel atık miktarı azalacağından sonraki yıllar için yeni bir katı atık ön ayrıştırma tesisinin yapılma ihtiyacı ortaya çıkmayacaktır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kütahya 2. Sınıf Düzenli Depolama tesisi; Kütahya merkez ve KÜKAB'a üye olan 27 ilçesinden toplanan evsel nitelikli organik atıkların ayrıştırılarak enerji ve kompost elde edilmesinde, ayrıştırılan ambalaj, kâğıt ve metallerin ekonomiye geri kazandırılmasında ve nihai ürünün düzenli depolanıp bertaraf edilmesinde faaliyet gösterir. Kütahya İli için kurulması planlanan biyogaz tesisinin ilk etapta 70.000 ton/yıl kapasitede modüler ve kapasite artırımına imkân verecek şekilde tasarlanması uygun görülmektedir. Kurulacak olan söz konusu kapasiteye sahip bir biyogaz tesisinin Kütahya'nın ilk etapta 10 yıllık biyobozunur atık bertarafı ihtiyacını karşılayacağı tasarlanmıştır. Teknik şartnamede yer aldığı şekilde 162.000 ton/yıl kapasitede bir ayrıştırma tesisi Kütahya'nın 29 yıllık ihtiyacını fazlasıyla karşılayacaktır. Organik atıkların kaynağında ayrı toplanması için gerekli planlamaların yapılması gerekmektedir. Avrupa'da işletilmekte olan biyogaz tesislerinin büyük bir bölümü kuru sistemlerden oluşmakta olup, kuru tip sistemlerin avantajları göz önünde bulundurulduğunda Kütahya İli için kuru tip anaerobik çürütme prosesi tasarlanmıştır. İşletilmesine başlayacak biyogaz tesisinden maksimum elde edilecek elektrik enerjisi 2050 yılında yaklaşık 2.75 MW'lık bir çıkış değerine sahip olacaktır.

KAYNAKLAR

Björnssoon L., Intensification of the Biogas Process by Improved Process Monitoring and Biomass Retention, Doctoral Dissertation, Lund University Department of Biotechnology, İsveç, 2000, 91-7874-075-4.

Dewil R., Appels R., Baeyens J., Degreve J., Peroxidation Enhances The Biogas Production in the Anaerobic Digestion of Biosolids, *Journal of Hazardous Materials*, 2007, **146**(3), 577–581.

De Baere L., Mattheeuws B., Anaerobic digestion of MSW in Europe, *BioCycle*, 2010, **51**(2), 24-26.

Elango D., Pulikesi M., Baskaralingam P., Ramamurthi V., Sivanesan S., Production of Biogas from Municipal Solid Waste with Domestic Sewage, *Journal of Hazardous Materials*, 2006, **141**(1), 301–304.

Gökçay C., Duran M., Demirer G., *Anaerobik Biyoteknoloji Teorik Altyapı ve Uygulamalar Eğitim Semineri Notları*, 2001.

Haandel A.C.V., Lettinga G., *Anaerobic Sewage Treatment*, 5ed., Chichester, England, 1994.

Hartmann H., Angelidaki I., Ahring B. K., Co-digestion of The Organic Fraction Municipal Waste With Other Waste Types, *Biomethanization of The Organic Fraction Municipal Waste*, DOI:10.2166/9781780402994.

İleri R., *Çevre Biyoteknolojisi*, 1. baskı, Değişim yayınları, Adapazarı, 2000.

Juanga J.P., Optimizing Dry Anaerobic Digestion of Organic Fraction of Municipal Solid Waste, Master Thesis, Tribhuvan University, Asian Institute of Technology School of Environment, Thailand, 2005.

Kaya P., Yerel Yönetimlerde Katı Atık Yönetiminin Maliyet Analizi: Türkiye Geneli Ve İstanbul İli Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2013, 331925.

Lastella G., Testa C., Cornacchia G., Notornicola M., Voltasio F., Sharma V. K., Anaerobic Digestion of Semi – Solid Organic Waste: Biogas Production and Its Purification, *Energy Conversion and Management*, 2002, **43**(1), 63–75.

McCarthy, P.L., One hundred years of anaerobic digestion, anaerobic Digestion, Doktora Tezi, Lund University, Department of Biotechnology, İsveç, 2004.

Metcalf., Eddy., *Wastewater Engineering*, 4rd ed., Mc Graw Hill, New York, 2003.

Nayono S., Anaerobic Digestion Of Organic Solid Waste For Energy Production, Doctoral Thesis, Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Ingenieurbiologie und Biotechnologie, Karlsruhe, 2009.

Ostrem K., Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating The Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, *Science and Education*, 2004, **3**(3), 79-83.

Öztürk M., *Gübresinden Biyogaz Üretimi*, 1st ed., Çevre ve Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara, 2005.

Öztürk İ., *Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları*, 2nd ed., Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 1999.

Parawira W., Read J. S., Mattiasson B., Björnsson L., 2007. Energy Production from Agricultural Residues: High Methane Yields in Pilot-Scale Two-Stage Anaerobic Digestion, *Biomass & Bioenergy*, 2007, **32**(1), 44-50.

Park, C., Lee, C., Kim, S., Chen, Y., Chase, H. A., Upgrading of Anaerobic Digestion by Incorporating Two Different Hydrolysis Processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2005, **100**(2), 164–167.

Rapport J., Zhang R., Jenkins B., Williams R., Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste, *Department off Biological and Agricultural Engineering University of California*, UCID-011, 1-3, 2008.

Sayar Ş., Sakarya İli Entegre Atık Yönetimi Ve Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2012, 318360.

Schmidt J. E., Mladenovska Z., Lange M. ve Ahring B. K., Acetate Conversion in Anaerobic Biogas Reactors: Traditional and Molecular Tools for Studying this Important Group of Anaerobic Microorganisms, *Biodegradation*, 2000, **11**(6) 359–364.

Sorensen B., *Renewable Energy*, 5rd ed., Academic Press, Danimarka, 2004.

Sosnowski P., Wiecezorek A., Ledakowicz S., Anaerobic Co- digestion of Sewage Sludge and Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, *Advances in Environmental Research*, 2003, **7**(3), 609–616.

Şengül M., Yerel Düzeyde Çevre Yönetimi ve Belediyeler, *Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi*, 1999, **8**(3), 91-102.

URL-1:<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100326-13.htm>, (Ziyaret Tarihi: 16.09.2018).

URL-2:<https://cygm.csb.gov.tr/biyobozunur-atik-yonetimi-yonetmeligi-taslagi-goruse-acilmistir.-duyuru-21408>, (Ziyaret Tarihi: 13.12.2018).

URL-3:<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.20235&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=%C3%87evresel%20Etki>, (Ziyaret Tarihi: 12.01.2019).

URL-4:<http://www.sdergi.hacettepe.edu.tr/makaleler/Atik-Cesitleri-Yonetimi-GeriDonusumVeTuketici.pdf>. (Ziyaret tarihi:3 Haziran 2019).

URL-5:<https://webdosya.csb.gov.tr/db/antalya/editordosya/Kat-AtikKarakterizasyonu-ve-Kat-Atk-Bertaraf-Tesisleri-kitapcigi.pdf>, (Ziyaret Tarihi: 16.09.2018).

URL-6:<http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>, (Ziyaret Tarihi: 2.12.2018.)

URL-7: <http://www.cevre.org.tr/tr/yayinlar>, (3 Haziran 2019).

URL-8:<http://www.Waterleau.com/en/tecnologies/new/energy/biotim-dry-anaerobic-digestion> (Ziyaret tarihi: 20.11.2018).

Üzeyir M., Ambalaj Atıkları İçerisinde Atık Kâğıtların Türkiye'de Değerlendirilmesi (Erzurum İl Örneği), Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2014, 361220.

Vandevivere P, Baere L. De and Verstraete W. Biochemical Processes, Editors: William A. W., P.Aarne V., *Solid Waste Engineering*, 2nd ed., Cengage Learning, Stanford, 314-325, 2002.

Vavılın, V. A., Angelıdaki, I., Anaerobic Degradation of Solid Material: Importance of Initiation Centers for Methanogenesis, Mixing Intensity, and 2D Distributed Model, *Biotechnology and Bioengineer*, 2005, **89**(1), 113–122.

Verma, S., Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes, Columbia University, Department of Earth & Environmental Engineering, Colombia, 2002.

Yılmaz A., Bozkurt Y., Türkiye’de Kentsel Katı Atık Yönetimi Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (KÜKAB) Örneği, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2010, **15**(1), 11-28.

Zeshan., Dry Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste and Digestate Management Strategies, Asian Institute of Technology, School of Environment Resources and Development, Thailand, 2012.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Çelik S., Imascon Congress. Kütahya İli Evsel Biyobozunur Atıkların Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi Kocaeli 23-25 Kasım 2018.



ÖZGEÇMİŞ

Semih Çelik 1988’de Kütahya’da doğdu. Lise öğrenimini Özel Yüksel Lisesi’nde tamamladı. 2008 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2014 yılında mezun oldu. 2016 yılı içinde Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde Kütahya İli biyobozunur atıklarının biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi konusunda çalışmaları bulunmaktadır. Ayrıca 2014-2017 tarihleri arasında İSKİ Çatalca bölgesi atıksu arıtma tesislerinde işletme sorumlusu olarak çalışmış, 2017 aralık ayı itibariyle Kütahya Katı Atık Birliğinde çalışmaya başlamış olup, görevini halen sürdürmektedir.