



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



BİYOĞAZ SİSTEMLERİNE BÖLGESEL VE MAKRO EKONOMİK YAKLAŞIM: TORBALI ÖRNEĞİ

Yüksek Lisans Tezi

Ezgi CANBAZ

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

İzmir
2023

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**BİYOĞAZ SİSTEMLERİNE BÖLGESEL
VE MAKRO EKONOMİK YAKLAŞIM:
TORBALI ÖRNEĞİ**

Ezgi CANBAZ

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERYAŞAR

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı
Enerji Teknolojisi Yüksek Lisans Programı

İzmir
2023



Ezgi CANBAZ tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Biyogaz Sistemlerine Bölgesel ve Makro Ekonomik Yaklaşım: Torbalı Örneği” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 03/02/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:**İmza**

Jüri Başkanı	: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERYAŞAR
Raportör Üye	: Prof. Dr. Günnur KOÇAR
Üye	: Prof. Dr. Ayten Ayşen KAYA
	Prof. Dr. Ceylan ZAFER
	Prof. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Biyogaz Sistemlerine Bölgesel ve Makro Ekonomik Yaklaşım: Torbalı Örneği” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

03 / 02 / 2023

İmzası

Ezgi CANBAZ



ÖZET**BİYOGAZ SİSTEMLERİNE BÖLGESEL VE MAKRO EKONOMİK
YAKLAŞIM: TORBALI ÖRNEĞİ**

CANBAZ, Ezgi

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ERYAŞAR

Şubat 2023, 79 sayfa

Biyogaz sistemleri hem enerji hem de fermente gübre sağlaması açısından önem taşımaktadır. Bu sistemlerin kurulması ile hem bölgede hem de ülkede ekonomik açıdan olumlu etkiler yaşanması beklenmektedir. Bu duruma ek olarak çevresel açıdan, istihdam açısından ve sağlık açısından da olumlu etkileri olacağı bilinmektedir. Bu bağlamda yapılmış olan bu tez çalışmasında biyogaz sistemlerine hem bölgesel hem de makroekonomik bakış açısıyla yaklaşılmıştır. İzmir'in Torbalı ilçesinde büyükbaş hayvan atıkları ile kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemleri için ekonomik, çevresel ve istihdam açısından analizler yapılmıştır. Burada biyogaz sistemleri; yerinde kurulum biyogaz sistemleri, köy tipi biyogaz sistemleri ve merkezi biyogaz sistemleri olacak şekilde üç farklı senaryo ele alınmıştır. Bu analizlerin bir sonucu olarak bölgede yaratacağı etkiler incelenmiş, ayrıca biyogaz sistemlerinin Torbalı ilçesinde kurulumundan kaynaklanabilecek maliyet analizleri, gelirler, karbondioksit emisyon hesaplamaları ve istihdam verileri elde edilmiştir. Bu verilerin sonuçları karşılaştırmalı bir yöntem olarak gösterilmiştir.

Anahtar sözcükler: Biyogaz sistemleri, Torbalı, makroekonomi

ABSTRACT**MACRO-ECONOMIC AND REGIONAL APPROACH TO BIOGAS
SYSTEMS: TORBALI EXAMPLE**

CANBAZ, Ezgi

MSc in Solar Energy Institute

Supervisor: Dr. Ahmet ERYAŞAR

February 2023, 79 pages

Biogas systems are essential in terms of providing both energy and fermented fertilizers. With the establishment of these systems, it is expected that there will be positive economic effects both in the Torbalı region and the country. In addition to this situation, it is known that it will have positive results in terms of environment, employment, and health. In this thesis, which was conducted in this context, biogas systems were approached from a regional and macroeconomic perspective. Economic, environmental, and employment analyses have been made for different biogas systems that can be established with bovine waste in the Torbalı district of İzmir. This thesis discusses the biogas systems in three different scenarios: on-site installation biogas systems, village-type biogas systems, and centralized biogas systems. As a result of these analyses, the effects to be created in the region were examined. Also, cost analyses, revenues, carbon dioxide emission calculations, and employment data that may arise from installing biogas systems in the Torbalı district are obtained.

Keywords: Biogas Systems, Torbalı, Macroeconomics



ÖNSÖZ

Yenilenebilir enerji kaynakları önemini her geçen gün arttırmaktadır. Bu gelişmeye yapılabilecek her katkının dünyanın daha yaşanabilir olması ve sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından önemi büyüktür. Bu amaçla yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alan biyogaz çalışmalarına bu tez çalışmasıyla bir katkı sağlamak istedim. Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemleri için hem ekonomik hem çevresel hem de istihdam açısından karşılaştırmalı olarak ele aldığım bu tez çalışmasında yardımlarını benden esirgemeyen ve bilgi birikimiyle beni yönlendiren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Eryaşar’a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

İZMİR

03/02/2023

Adı-Soyadı

Ezgi Canbaz



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	v
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	xi
ÖNSÖZ.....	xiii
İÇİNDEKİLER	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ	xxi
TABLolar DİZİNİ.....	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxxi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Biyogazın Tanımı ve Özellikleri	3
2.2 Biyogazın Oluşumu	5
2.2.1 Hidroliz	6
2.2.2 Asetik asit oluşumu	6
2.2.3 Metan oluşumu	6

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.3 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	7
2.4 Ölçeklerine göre Biyogaz Sistem Tipleri.....	10
2.5 Biyogazın Dünya ve Türkiye’deki Durumu.....	11
2.5.1 Biyogazın Dünyadaki Durumu	11
2.5.2 Biyogazın Türkiye’deki Durumu	12
2.6 Biyogaz Tesislerinin Kuruldukları Bölgelerde Yaratacağı Etkiler	13
2.7 Torbalı İlçesine Genel Bakış.....	14
2.7.1 Coğrafi yapı, iklimsel özellikler ve nüfus	14
2.7.2 Ekonomik yapı.....	16
2.7.3 Hayvancılık	16
2.7.3.1 Torbalı için sistem kapasitelerine göre büyükbaş hayvan sayısı dağılımı.	18
3. PROSEDÜR VE YÖNTEM	19
3.1 Prosedür	19
3.1.1 Bekletme süresi seçimi ve hesaplamaları.....	19
3.1.2 Reaktör seçimi ve boyutlandırılma hesaplamaları	19
3.1.3 Biyogaz Sistem Ekonomik Değerlendirmesi	20

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.3.1 İlk yatırım maliyeti	20
3.1.3.2 İşletme Giderleri	20
3.1.3.3 İşletme Gelirleri	21
3.1.3.4 Mali net bugünkü değer hesaplama yöntemi, geri ödeme ve iç karlılık oranı	21
3.2 Yöntem	22
3.2.1 Farklı Büyüklükteki Tesisler için Ekonomik Analiz	23
3.2.1.1 Küçük ölçekli sistemler için ekonomik analiz.....	23
3.2.1.2 Orta ölçekli sistemler için ekonomik analiz	28
3.2.1.3 Büyük ölçekli sistemler için ekonomik analiz.....	34
3.2.2 Torbalı ilçesine kurulabilecek farklı tipteki tesislerin istihdam etkileri	45
4. HESAPLAMALAR.....	46
4.1 Örnek Hesaplama.....	46
4.1.1 İlk yatırım maliyeti hesaplanması.....	46
4.1.2 Atık miktarı hesaplanması	46
4.1.3 Proses tasarımı	47
4.1.3.1 Ön dengeleme tankı boyutlandırması	47

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

4.1.3.2 Biyogaz reaktörü boyutlandırması	48
4.1.3.3 Reaktör yüklenecek katı madde miktarları	48
4.1.3.4 Günlük biyogaz üretiminin hesaplanması	49
4.1.4 Yıllık getiri hesabı.....	50
4.1.5 İşletme giderleri hesabı	51
4.1.6 Çevresel Etkiler.....	52
4.1.6.1 Atıklardan kaynaklanan mevcut emisyon hesaplaması	52
4.1.6.2 Enerji üretimi açısından giderilen emisyon hesaplaması	53
4.1.6.3 Biyogaz sistemlerinin kurulmasından kaynaklanan emisyonlar	53
4.1.6.4 Sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan emisyonlar	54
4.1.7 İstihdam Açısından Etkiler.....	54
5. BULGULAR.....	55
5.1 Torbalı’da Yerde Kurulum Yapılabilecek Sistemler	55
5.2 Torbalı’da Kurulabilecek Köy Tipi Sistemler	59
5.3 Torbalı’da Kurulabilecek Merkezi Biyogaz Sistemi	64
6. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	70

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

6.1 Torbalı’da Kurulabilecek Biyogaz Sistemlerinin Çevresel Etkisi.....	70
6.2 Torbalı’da Kurulabilecek Biyogaz Sistemlerinin İstihdama Etkisi	70
6.3 Torbalı’da Kurulabilecek Biyogaz Sistemleri Parasal Hacim Karşılaştırması	71
6.4 Torbalı’da Kurulabilecek Biyogaz Sistemi Geri Ödeme Süresi Karşılaştırması	71
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	75
TEŞEKKÜR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	83
EKLER	



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Hayvansal atıklar ve diğer organik atıkların sürdürülebilir döngüsünün şematik gösterimi	3
2.2 Biyogaz oluşum aşamaları.....	5
2.3 Biyogaz kurulu güç üretim kapasitesi 2010 -2018.....	12
2.4 Torbalı ilçesi coğrafi konumu	15
2.5 Torbalı ilçesinin mahalle ve köyleri	16



TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Biyogaz Kompozisyonu	4
2.2 1m ³ biyogazın farklı yakıt türlerine göre eşdeğeri	5
2.3 Biyogaz üretiminde kullanılabilecek hammaddeler, bu hammaddelerin biyogaz verimleri ve metan oranları	8
2.4 Biyogaz prosesi için kabul edilen gübre miktarı ve özelliklerinin hayvan türlerine göre dağılımı.....	9
2.5 2000-2018 yılları arası biyogaz üretiminin dünyadaki durumu	11
2.6 Torbalı ilçesindeki büyükbaş hayvanların işletme büyüklüklerine göre dağılımı	17
3.1 Sistem Büyüklüklerine Göre İlk Yatırım Maliyetleri	24
3.2 Küçük Ölçekli Potansiyel Sistemler için İlk Yatırım Maliyet Analizi (Torbalı).....	24
3.3 Küçük Ölçekli Potansiyel Sistemlerden Gelebilecek Getiriler	25
3.4 Küçük ölçekli Biyogaz Sistemlerinin yıl bazında ekonomik durumu	25
3.5 Hayvan Sayısına göre Küçük Ölçekli Biyogaz Sistemleri için Ekonomik Parametreler.....	25
3.6 Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri.....	26

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.7 Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Aslanlar mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri.....	27
3.8 Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Göllüce mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri.....	27
3.9 Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Kuşcuburun mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri.....	27
3.10 Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Özbey mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri.....	28
3.11 Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Subaşı mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri.....	28
3.12 Orta Ölçekli Sistemlerin İlk Yatırım Maliyetleri	29
3.13 Torbalı’da kurulabilecek orta ölçekli sistemlerin ilk yatırım maliyetleri..	30
3.14 Orta Ölçekli Biyogaz Sistemlerin Çıktıları	31
3.15 Torbalı’da kurulabilecek Orta Ölçekli Biyogaz Sistemlerin Çıktıları	32
3.16 Orta Ölçekli Biyogaz Sistemlerinin Yıl bazında Ekonomik Durumu.....	32
3.17 Torbalı’da kurulabilecek Orta Ölçekli Biyogaz Sistemlerinin Yıl bazında Ekonomik Durumu.....	33

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.18 Hayvan Sayısına göre Orta Ölçekli Biyogaz Sistemleri için Ekonomik Parametreler	33
3.19 Hayvan Sayısına göre Orta Ölçekli Biyogaz Sistemleri için Ekonomik Parametreler (Torbalı).....	34
3.20 Büyük ölçekli sistemlerin yerinde kurulum yapılması durumunda ilk yatırım maliyetleri.....	35
3.21 Torbalı’da büyük ölçekli sistemlerin yerinde kurulum yapılması durumunda ilk yatırım maliyetleri.....	35
3.22 Büyük ölçekli sistemlerin çıktıları.....	36
3.23 Torbalı’da yerinde kurulum yapılabilecek büyük ölçekli sistemlerin çıktıları.....	36
3.24 Büyük Ölçekli Sistemlerin atıkların bulunduğu yerde kurulması durumunda Ekonomik Parametreleri.....	37
3.25 Büyük Ölçekli Sistemlerin atıkların bulunduğu yerde kurulması durumunda Ekonomik Parametreleri (Torbalı).....	37
3.26 Atıkların 3-6 km yarıçaplı mesafeden taşınması durumunda büyük ölçekli sistemlerin ilk yatırım maliyetleri.....	38
3.27 Torbalı’da Atıkların 3-6 km yarıçaplı mesafeden taşınması durumunda büyük ölçekli sistemlerin ilk yatırım maliyetleri.....	39
3.28 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli biyogaz sistemlerin çıktıları	39

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.29 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli biyogaz sistemlerin çıktıları (Torbalı).....	40
3.30 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli sistemlerin yıllık gelir gider tablosu.....	40
3.31 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli sistemlerin yıllık gelir gider tablosu (Torbalı).....	41
3.32 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli sistemlerin Ekonomik Parametreleri.....	41
3.33 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli sistemlerin Ekonomik Parametreleri.....	42
3.34 Atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşındığı büyük ölçekli sistemlerin ilk yatırım maliyetleri.....	42
3.35 Atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşındığı büyük ölçekli sistemlerin çıktıları.....	43
3.36 Atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşındığı büyük ölçekli sistemlerin yıllık getirileri.....	44
3.37 Atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşındığı büyük ölçekli sistemlerin ekonomik parametreleri.....	44
4.1 1000 büyükbaş hayvanlı yerinde kurulum sistemi için tank boyutları....	48
4.2 1000 büyükbaş hayvanlı yerinde kurulum sistemi reaktörü için boyutlandırma.....	48

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Yerinde kurulum durumunda potansiyel sistemler için ilk yatırım maliyet analizi (Torbalı).....	55
5.2 Torbalı’da yerinde kurulum durumunda potansiyel sistemlerin ikame değerleri ve getirileri.....	56
5.3 Yerinde kurulum durumunda potansiyel sistemlerin yaratacağı istihdam (Torbalı).....	56
5.4 Torbalı da Yerinde Kurulum Yapılabilecek sistemler için Atıklardan kaynaklı emisyon değerleri.....	57
5.5 Torbalı da Yerinde Kurulum Yapılabilecek sistemler için kurulumda oluşacak yıllık emisyon miktarı.....	58
5.6 Torbalı’da yerinde kurulum durumunda potansiyel sistemlerin meydana getireceği CO ₂ emisyonları	59
5.7 Torbalı için Yerinde kurulum durumunda yıl bazındaki para hacmi.....	59
5.8 Torbalı’da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek köy tipi sistemler için başlangıç maliyetleri.....	60
5.9 1 yıl için Torbalı’da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek köy tipi sistem getirileri.....	61
5.10 Köy tipi kurulum durumunda potansiyel sistemlerin yaratacağı istihdam (Torbalı).....	61
5.11 Torbalı’da köy tipi sistemlerin kurulumundan kaynaklanan emisyon miktarları.....	63

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
5.12 Torbalı için köy tipi sistemlerin kurulmasıyla oluşacak CO ₂ emisyon giderimi.....	64
5.13 Torbalı için köy tipi biyogaz sistemlerin ekonomik etkileri.....	64
5.14 Torbalı’da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek merkezi sistem için başlangıç maliyetleri.....	65
5.15 1 yıl için Torbalı’da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek merkezi sistem getirisi.....	65
5.16 Merkezi kurulum durumunda potansiyel sistemlerin yaratacağı istihdam (Torbalı).....	66
5.17 Torbalı’da merkezi bir biyogaz sisteminin kurulu sırasında oluşacak CO ₂ emisyon değeri.....	67
5.18 Torbalı’da merkezi bir biyogaz sistemi kurulması durumunda oluşacak CO ₂ giderimi.....	68
5.19 Torbalı için Merkezi sistem kurulumu durumunda yıl bazındaki para hacmi.....	68
6.1 Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemlerinin çevresel açıdan etkilerinin karşılaştırılması.....	70
6.2 Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemlerinin istihdam açısından karşılaştırılması.....	71
6.3 Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemlerinin yıllık net parasal hacim açısından karşılaştırılması.....	71

TABLÖLAR DİZİNİ (devam)TabloSayfa

6.4	Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemlerinin yıllık net parasal hacim açısından karşılaştırılması.....	72
-----	---	----





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
S_d	Beslenen hammadde miktarı ($m^3/gün$)
V_d	Reaktör hacmi (m^3)
HBS	Hidrolik bekletme süresi (gün)
BKO	Karlılık Oranı (fraksiyon)
P	Projenin ömrü boyunca sağlayacağı kar miktarı (\$)
I	İlk yatırım maliyeti (\$)
NBD	Net bugünkü değer (\$)
$MNBD$	Mali Net Bugünkü Değer (\$)
B_t	t yılındaki nakit girişi (\$)
C_t	t yılındaki nakit çıkışı (\$)
n	Yıl
r	İskonto oranı (fraksiyon)
$GÖS$	Geri ödeme süresi (yıl)



1. GİRİŞ

Dünya nüfusu ve sanayileşmenin her geçen yıl hızla artması ile enerjiye olan ihtiyaç da sürekli olarak artmaktadır. Günümüzde en yaygın şekilde kullanılan fosil kökenli yakıtların bir gün tükenecek olması ve küresel ısınmanın getirdiği olumsuz etkiler ile sürekli olarak artan enerji ihtiyacı insanoğlunu farklı ve temiz enerji arayışlarına yöneltmiştir. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında olan biyogaz enerjisi son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir (Poyraz vd., 2020). Artan dünya nüfusunun bir sonucu olarak organik atıklarda da meydana gelen miktar artışı bu atıkların bertaraf edilme gereksinimini ortaya çıkarmıştır. Biyogazın bu organik atıkları bertaraf ederken aynı zamanda temiz enerji ürettiği olması biyogaz enerjisini gün geçtikçe daha önemli hale getirmektedir. Organik kökenli atıklardan enerji elde edilmesi konvansiyonel yakıt kullanımını azaltırken diğer yandan da bu yakıtların kullanımından kaynaklı çevresel olumsuz etkileri de ortadan kaldırmaktadır (Yağlı ve Koç, 2019). Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde bulunan biyogazın daha uygun fiyatta olup aynı zamanda da çevre dostu olmasıyla birlikte kırsal alanlarda kolaylıkla uygulanabilir olması, biyogazı daha da önemli hale getirmektedir (Karim et al., 2005).

Kırsal kesimde yaşamını devam ettiren ve geçimini genelde tarım ve hayvancılıktan karşılayan insanlar için biyogaz hem enerji hem de fermente gübre sağlamasından dolayı büyük önem taşımaktadır (Doruk ve Bozdeveci, 2017). Biyogaz sistemlerinin çevresel ve sağlık açısından avantajlarının yanında sadece kurulu çiftliklere değil, bölge ve ülke ekonomisine de katkısı vardır. Bu katkıları inceleyebilmek için kurulacak sistemlerin gerçekçi olması gerekmektedir. Bu bağlamda, bu çalışmada incelenmiş olan İzmir/Torbalı ilçesi gerek büyükbaş hayvan potansiyeli açısından gerekse birçok ilçeye olan yakınlığı açısından ön plana çıkmıştır. Dolayısı ile bu çalışma, İzmir/Torbalı ilçesine kurulacak olan hayvansal organik atık kökenli biyogaz sistemlerinin farklı senaryolar altında, önce ilçeye daha sonra bölge ve ülkeye yaratacağı hem mikro-ekonomik hem de makro-ekonomik etkileri incelemektir. Bu inceleme biyogaz sistemlerinin ilk kurulum maliyetleri, bakım ve onarımı, işletme sırasındaki kazançlarının hem bölgesel hem de ülke açısından sosyo-ekonomik etkileri içermektedir.

Literatürde, yapılan biyogaz fizibilite çalışmaları bulunmaktadır. Ancak biyogaz sistemleri çerçevesinde Torbalı ilçesini araştıran bir çalışma ise mevcut değildir.

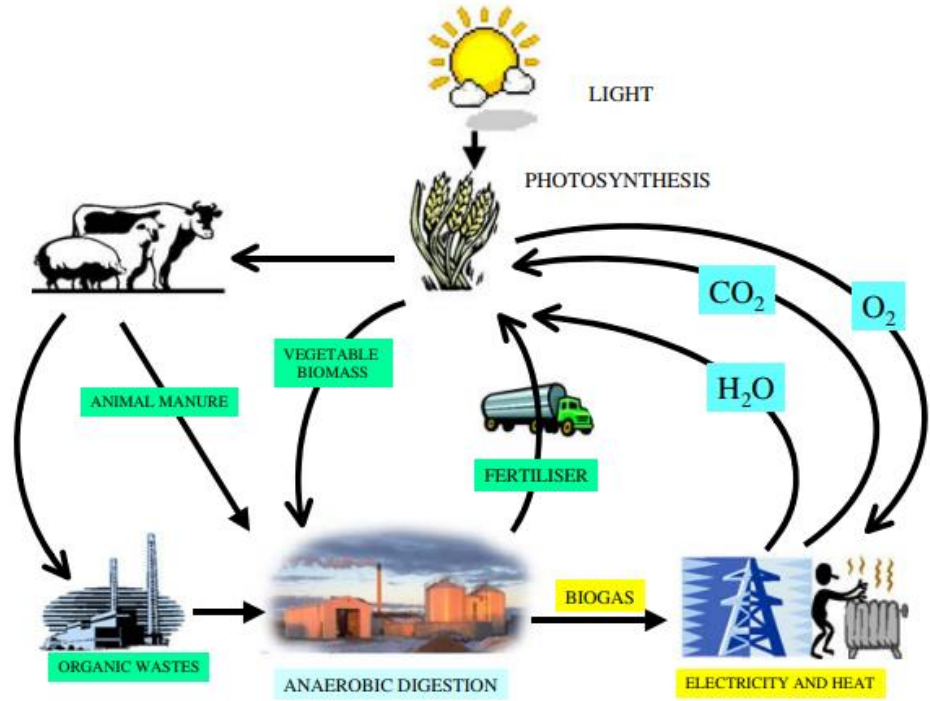
Bu yüksek lisans tez çalışması biyogaz sistemlerinin olası senaryolar altında bölgede ve çevresinde yaratacağı etkiyi hem ekonomik hem de sosyo-ekonomik yönden makro ekonomi bilgileri ışığında inceleyecektir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1 Biyogazın Tanımı ve Özellikleri

Günümüzde hayvancılık sektörünün ürettiği büyük miktarlardaki hayvansal organik atıklar iyi bir şekilde yönetilmezse çevre üzerinde potansiyel olumsuz etki yaparak, sürekli bir kirlilik riskini ortaya çıkarır. Şekil 2.1 de görüleceği üzere; sera gazı emisyonlarının oluşmasını önlemek için besinlerin ve organik maddelerin üretimden kullanıma kadar döngülerinin geri dönüşüme optimal düzeyde katılması gerekmektedir (Nielsen et al., 2009). Bu durumda anaerobik çürütme ile biyogaz üretimi oldukça önem kazanmaktadır.



Şekil 2.1 Hayvansal atıklar ve diğer organik atıkların sürdürülebilir döngüsünün şematik gösterimi (Nielsen et al., 2009)

Biyogaz hemen hemen her türlü organik atıktan üretilebilmekte olup , bunların içerisinde öncelikle tarım sektöründen olmak üzere genel olarak toplumun çeşitli organik atıklarından elde edilebilmektedir. Ancak en büyük biyogaz kaynağı sığır ve domuz üretim birimlerinin organik atıkları, kümes hayvanları, balık, kürk ve diğer hayvan gübreleridir (Nielsen et al., 2009).

Biyogaz, organik maddelerin oksijensiz ortamda bakteriler tarafından parçalanması ile ortaya çıkan gaz karışımı olup doğalgaza benzeyen renksiz ve

yanıcı bir gaz karışımıdır. Biyogaz enerjisi, mikro alglerden, hayvan gübrelerinden, tarımsal ve evsel katı atıklardan, gıda atıklarından, endüstriyel atıklardan, kümes hayvanlarının atıklarından, orman atıklarından ve çeşitli enerji bitkilerinden üretilebilir (Zabed et al., 2020). Doğada ise, örneğin bataklık ve deniz tabanlarında, sıvı gübre çukurları ve geviş getiren hayvanların içkembelerinde olağan bir durum olarak meydana gelir ve organik kütle bazı bakteriler tarafından parçalanarak biyogaza dönüştürülmüş olur (Karaca, 2017).

Biyogaz bileşiminde yüksek miktarda metan ve karbondioksit bulunmakla birlikte, azot, hidrojen, oksijen, hidrojen sülfür, amonyak içerdiği diğer gazlardır. Metan ve karbondioksit biyogazı oluşturan toplam gazın hacimsel olarak yaklaşık %98'ini oluşturur (Yağlı ve Koç, 2019). Biyogaz bileşimini sağlayan tüm gazlar ve bu gazların miktarları ise Tablo 2.1 de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Biyogaz Kompozisyonu

Bileşen	Simge	Miktar	Birim
Metan	CH ₄	40-75	%
Karbondioksit	CO ₂	15-60	%
Su Buharı	H ₂ O	1-5	%
Azot	N ₂	0-5	%
Oksijen	O ₂	<2	%
Hidrojen	H ₂	<1	%
Amonyak	NH ₃	0-500	ppm
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	0-5000	ppm

Yanıcı özelliği bulunan biyogaz aynı zamanda yüksek ısı değere de sahiptir. Biyogazın ısı değeri oluşturan temel unsur içeriğinde yüksek oranda bulunan metan gazıdır. 1m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 kcal'dir (Savaş, 2018). 1m³ biyogazın farklı yakıt türlerine göre eşdeğerleri ise Tablo 2.2. de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. de görüldüğü gibi 1m³ biyogaz 0,66 litre motorin, 0,75 litre benzin, 0,25 m³ propan, 0,43 m³ butan, 0,85 kg kömür, 0,62 litre gazyağı, 1,46 kg odun kömürü, 3,47 kg odun, 12,3 kg tezek ve 4,7 kWh elektrik enerjisine eşittir (Karagöz vd., 2018).

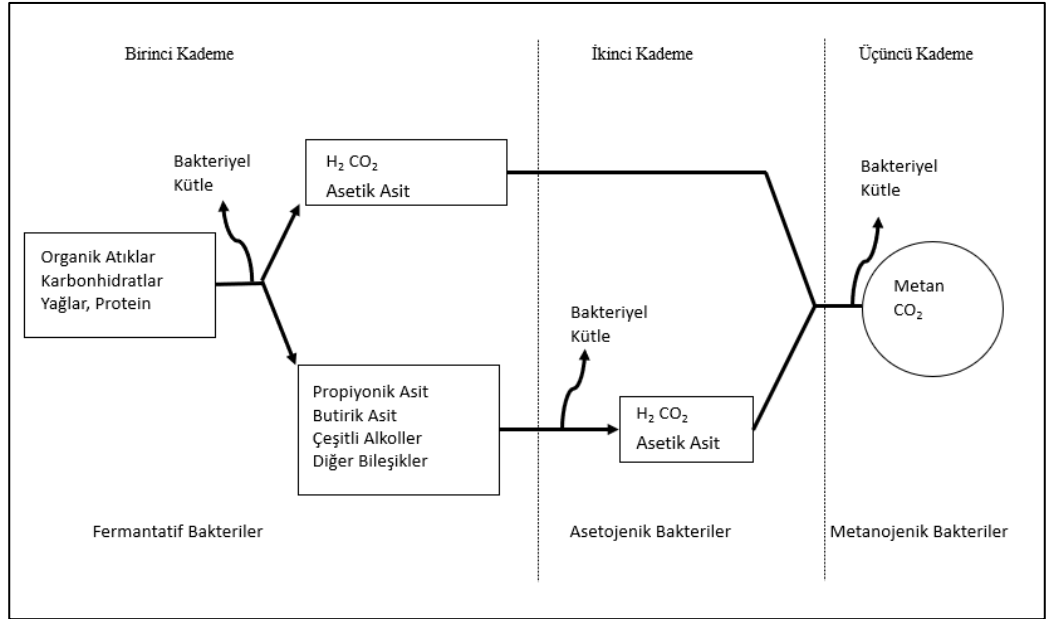
Tablo 2.2 1m³ biyogazın farklı yakıt türlerine göre eşdeğeri

Enerji Kaynağı	Eşdeğeri	Birimi
Motorin	0,66	lt
Benzin	0,75	lt
Propan	0,25	m ³
Bütan	0,43	m ³
Kömür	0,85	kg
Gazyağı	0,62	lt
Odun Kömürü	1,46	kg
Odun Kömürü	3,47	kg
Tezek	12,3	kg
Elektrik Enerjisi	4,7	kWh

Biyogaz üretiminin bir sonucu olarak elde edilen fermente gübre bu sürecin birinci ürünü olup, tüm tarımsal alanlarda kullanılabilmektedir ayrıca biyogaz ise; elektrik ve ısı elde etmede kullanılabileceği gibi aynı zamanda içten yanmalı motorlarda yakıt olarak da kullanılabilmektedir (İZKA, 2020).

2.2 Biyogazın Oluşumu

Organik atıkların anaerobik ortamda çürütücü bakteriler tarafından sindirilmesi Şekil 2.2 de görüldüğü üzere üç aşamada gerçekleşir. Bu aşamalar sırasıyla hidroliz, asetik asit oluşumu ve metan oluşumdur. Tüm bu aşamalarda biyogaz oluşumunu gerçekleştiren fermentatif bakteriler, asetojenik bakteriler, metanojenik bakteriler bulunmaktadır (Özbaşer ve Erdem, 2013).



Şekil 2.2 Biyogaz oluşum aşamaları (Öztürk, 2005)

2.2.1 Hidroliz

Biyogaz oluşumunun ilk aşaması olan hidroliz aşamasında, kompleks yapılı organik maddeler olan karbonhidrat, yağ ve proteinlerin fermentatif bakteriler tarafından parçalanarak daha küçük ve basit yapıdaki moleküllere dönüştürülmesi işlemi gerçekleşir (Gülen ve Çeşmeli, 2012). Bu aşamada karbonhidratlar glikoz, pentoz ve heksoza; proteinler polipeptid ve aminoasitlere, yağlar ise alkol, asit ve hidrojene dönüşür (İlgar, 2016). Bu birinci aşamaya uçucu yağ asitlerinin oluşum aşaması da denir. Çünkü burada kullanılan organik maddelerin çoğunu uçucu yağ asitleri oluşturur (Gülen ve Çeşmeli, 2012). Ayrıca, bu aşamada organik hammaddelerin çoğunluğu artık suda kolayca çözünme durumuna gelmektedir (Korkmaz vd., 2012).

2.2.2 Asetik asit oluşumu

Biyogaz oluşumunun ikinci safhası olan asetik asidin oluşum aşamasında, artık çözünür durumda olan organik moleküller, asetojenik bakteriler tarafından çok karbonlu uçucu yağ asitlerine (Valerik Asit, Propiyonik Asit, Bütirik Asit ve Asetik Asit), karbonhidratlar etanol, H_2 ve karbondioksite, aminoasitler süksinik asit ve hidrojene, yağ asitleri ise Asetat ve H_2 'ye dönüştürülürler (İlgar, 2016).

2.2.3 Metan oluşumu

Biyogaz oluşum aşamalarının sonuncusu olan metan oluşumu aşamasında metanojik bakteriler devreye girer ve CO_2 ve H_2 'yi kullanarak metan ve suyu ortaya çıkarırlar. Bir diğer metan oluşturan bakteri grubu ise; ikinci aşamada meydana gelen asetik asidi kullanarak metan ve karbondioksit meydana getirirler ve üretilen tüm metan miktarının %70 i bu ikinci yolla ortaya çıkmaktadır (Gülen ve Çeşmeli, 2012).

Anaerobik ortamda metan oluşturan bakterilerin ihtiyaç duydukları besin azot ve karbondur. Bu bakteriler karbonu enerji kaynağı gibi kullanırken, azotu ise yeni hücre oluşumu için bir yapı malzemesi gibi kullanırlar (Korkmaz vd., 2012). Bu metanojik bakteriler yavaş büyürler ve nispeten dış etkenlere karşı hassastırlar. Eğer bu bakterilerinin aktivitesi engellenirse ya da ölürlerse anaerobik çürütme devam etmez ve proses başarısızlıkla sonuçlanır (Deng et al., 2020).

2.3 Biyogaz Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Biyogaz üretiminde kullanılan organik atıklar en temel şekilde üç başlık altında incelenebilmektedir. Bunlar; hayvansal kaynaklı, bitkisel kaynaklı ve organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklarıdır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıkları, kümes hayvanları atıkları gibi atık türleri hayvansal kaynaklı atıklara örnektir. Bunun yanı sıra mısır, şeker pancarı, saman gibi organik içerikli atıklar bitkisel kaynaklı hammaddeleri oluşturmaktadır. Bira sektöründe kullanılan yulaf artıkları, meşrubat üretiminde kullanılan zeytin ve meyve posaları ve ayrıca meyve, sebze atıkları gibi diğer atıklar ise gıda sektörü atıklarına örnek olabilmektedir. Arıtma çamuru ve gliserin ise endüstriyel kaynaklı atık türleridir (Eryaşar vd., 2016). Dünya üzerindeki tüm ülkeler endüstriyel alanda, tarım ve hayvancılık alanında çeşitli üretimler yaparlar ve doğal olarak büyük çaplı atıklar meydana gelir. Biyogaz üretimi ve kullanımı bu üretimlerden kaynaklanan ve atıl bırakılması durumunda tabiata zarar verebilecek olan tüm bu organik atıkların ortadan kaldırılmasını sağlarken diğer yandan da yenilenebilir enerji üretimini sağlamaktadır (Deviren vd., 2017). Tablo 2.3'te biyogaz üretiminde kullanılabilecek çeşitli hammaddeler bu hammaddelerin verimleri ve metan oranları gösterilmektedir (İlgar, 2016).

Ülkemizde çeşitli organik kaynaklardan elde edilebilecek toplam enerji miktarı yaklaşık olarak 12,8 milyon ton petrole eşdeğer gelmektedir. Bunun 1,5 milyon ton petrole eşdeğer gelen kısmı hayvansal kökenli atıklardan, 5,9 milyon ton petrole eşdeğer gelen kısmı orman ve sanayi kökenli atıklar, 5,4 milyon ton petrole eşdeğer gelen kısmı ise tarımsal kökenli atıklardan oluşmaktadır. Bu da ülkemizde enerji kullanımının yaklaşık %40'ının organik kökenli kaynaklardan elde edilebileceği anlamına gelmektedir (Çağlayan ve Koçer, 2014).

Biyogaz üretiminde tüm dünyada en çok kullanılan hayvansal kaynaklı organik atık büyükbaş hayvanlara aittir. Bunun en önemli sebebi günlük atık miktarının diğer hayvansal kaynaklı atıklara oranla çok daha fazla olmasıdır. Ayrıca yapılan araştırmalara göre et sığırtı atıklarındaki katı madde oranının , süt sığırtı atıklarındaki katı madde oranına göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu durum süt sığırtı gübrelerinin içindeki su ve lif miktarı yüksekliğinin daha düşük seviyede metan elde edilmesine neden olmasıdır (Marañón et al., 2012). Tablo 2.4'te ise bu bilgiler ışığında hayvan türüne göre biyogaz prosesi için kabul edilen gübre miktarı ve özellikleri verilmiştir (Ekinci vd., 2010).

Tablo 2.3 Biyogaz üretiminde kullanılabilecek hammaddeler, bu hammaddelerin biyogaz verimleri ve metan oranları

KAYNAK	BİYOGAZ VERİMİ (LİTRE/KG)	METAN ORANI (HACİM %'Sİ)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Çavdar Samanı	200-300	59
Arpa Samanı	290-310	59
Mısır Saplari ve Artıkları	380-460	59
Keten ve Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze Artıkları	330-360	Değişken
Ziraat Artıkları	310-430	60-70
Yer Fıstığı Kabuğu	365	-
Dökülmüş Ağaç Yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık Su Çamuru	310-800	65-80

Hayvansal kaynaklı atıklar yüksek oranda azot ve fosfor içerdiği gibi bunun yanı sıra antibiyotik ve büyüme hormonu gibi doğada besin dengesizliğine, çevresel kirliliğe ve sonuç olarak insan sağlığına olumsuz etki edebilecek maddeleri içerebilir.

Tüm bu sebepler göstermektedir ki hayvan gübresinin bertaraf edilmesinden anaerobik çürütme yolu ile bu atıklardan biyogaz elde edilmesi; hem sürdürülebilir bir enerji kaynağı sağlanmasında hem kokusuz kaliteli gübre sağlanmasında hem de zararlı mikroorganizmaların azaltılmasında oldukça önemlidir (Seyhan ve Badem, 2020).

Tablo 2.4 Biyogaz prosesi için kabul edilen gübre miktarı ve özelliklerinin hayvan türlerine göre dağılımı

Hayvan Türü	Hayvan Başına ortalama Günlük Gübre Üretimi	Katı Madde Oranı (KM)	Yaş Gübredeki Uçucu Katı madde oranı (UKM)	Katı Maddedeki (KM) Uçucu Katı Madde Oranı (UKM)	Metan Üretimi
	kg/gün-Hayvan	%	%	%	m ³ CH ₄ /kg-UKM
Süt Sığırtı	43	13,95	11,63	83,36	0,18
Et Sığırtı	29	14,66	12,41	84,65	0,33
Buzağı (Genç Yavru)	2,48	8,39	3,71	44,23	0,33
Koyun	2,4	27,5	23	83,63	0,3
Keçi	2,05	31,71	23,17	73,06	0,3
At	20,4	29,41	19,61	66,67	0,3
Et Tavuğu	0,19	25,88	20	77,27	0,35
Yumurta Tavuğu	0,13	25	18,75	75	0,35
Hindi	0,38	25,53	19,36	75,83	0,35
Ördek ve Kaz	0,33	28,18	17,27	61,28	0,35

Biyogaz üretiminde dikkat edilmesi gerekenler:

- Fermantörde ışık ve hava olmamalı tamamen anaerobik şartlar geçerli olmalıdır.
- Deterjan bulaşmış atıklar kesinlikle tankın içine alınmamalıdır.
- Bakteri oluşumu için tankın içinde yeterli oranda azot olmalıdır.
- Tankın ph değeri 7 ile 7,6 arasında olmalıdır.
- Tank içinin sıcaklığı 35°C ya da 56°C de sabit tutulmalıdır.
- Antibiyotik verilmiş hiçbir hayvansal organik atık tank içine alınmamalıdır.

- Metan bakterileri için substratta (S) sirke asidi cinsinden organik asit konsantrasyonu 500-1500 mg/litre oranlarında olmalıdır.
- Fermantördeki su oranı en az %50, en çok %90 olmalıdır.
- Metan bakterileri için gerekli olan organik atık miktarı tankın içinde bulunmalıdır. (Baştan Töke, 2020)

2.4 Ölçeklerine göre biyogaz sistem tipleri

Ölçeklerine göre biyogaz tesislerini üç ana başlıkta toplamak mümkündür .

- Küçük Ölçekli Biyogaz Sistemler
- Orta Ölçekli Biyogaz Sistemleri
- Büyük Ölçekli Biyogaz Sistemleri

Hayvan sayısı kapasitesine göre 3 ile 25 arasında büyükbaş hayvan sayısına sahip sistemler küçük ölçekli, 50 ile 200 arasında hayvan sayısına sahip sistemler orta ölçekli, 250 büyükbaş hayvan sayısından büyük olan sistemler ise büyük ölçekli sistemler olarak adlandırılmaktadır.

Biyogaz sistemlerinde küçük ölçekli biyogaz tesisleri geleneksel tipte olup uzun süredir kullanılan en eski biyogaz tesisleridir. Bu tipteki tesisler genellikle karmaşık yapıli sistemler olmayıp, direkt atıktan gaz oluşturma ilkesine dayanan emek yoğun sistemlerdir.

Küçük ölçekli sistemler, 50 büyükbaşın altında hayvan kapasitesine sahip sistemler olduklarından orta ve büyük ölçekli sistemlere nazaran kullanımı çok daha basit ve oldukça verimli sistemlerdir. Ayrıca ilk yatırım maliyetlerinin de düşük olması sebebi ile yatırımcı açısından ilgi çekicidir (İZKA, 2020).

Günümüzde dünyada aktif olarak var olan küçük ölçekli biyogaz tesislerinin yaklaşık 42 milyonla oldukça büyük bir kısmı Çin'de (IRENA, 2017), Çin'den sonra 4,9 milyonla en fazla paya sahip Hindistan'da (REN21, 2018) olmak üzere toplamda 50 milyona yakın tesis bulunmaktadır.

Bu biyogaz tesislerinden elde edilen biyogaz çoğunlukla yemek pişirmek ve ısınmak için odun ve kömürün yerine kullanılır (İZKA, 2020).

Küçük ölçekli biyogaz sistemlerinin yanı sıra tüm dünyada orta ölçekli ve merkezi sistem biyogaz tesisleri de kullanılmaktadır. Örneğin Çin’de toplam 110.448 biyogaz tesisinden 6972’si büyük ölçekli sistemlerden oluşmaktadır. Ayrıca Avrupa’da; Almanya (10.971 adet) başta olmak üzere, birçok ülkede (toplam 14.613 adet) çeşitli büyüklüklerde biyogaz tesisleri bulunmaktadır (EBA, 2018).

2.5 Biyogazın Dünya ve Türkiye’deki Durumu

2.5.1 Biyogazın dünyadaki durumu

Günümüzde, tüm dünyada Çin, Hindistan, Almanya başta olmak üzere toplamda yaklaşık 132.000 biyogaz tesisi bulunmaktadır (İZKA, 2020). Dünya Biyoenerji Birliğinin 2020 de hazırlamış olduğu rapora göre, dünya genelinde 2018 yılında 1,36 EJ eşdeğer enerji içeriğinde olan 59,3 milyar m³ biyogaz üretilmiştir (WBA, 2020).

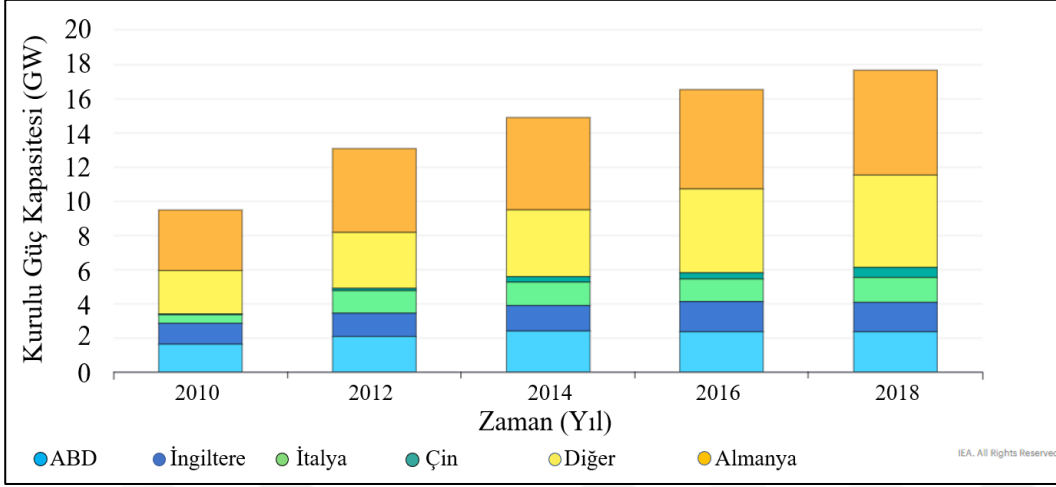
Tablo 2.5 2000-2018 yılları arası biyogaz üretiminin dünyadaki durumu

Yıl	Biyogaz (milyar m ³)	Biyogaz (EJ)
2000	12,4	0,29
2005	22	0,51
2010	37,1	0,85
2015	56	1,29
2016	56,6	1,3
2017	57,7	1,33
2018	59,3	1,36

Tablo 2.5’te 2000-2018 yılları arasında m³ ve EJ cinsinden küresel biyogaz üretimleri gösterilmiştir. Biyogaz sektörü 2000-2018 yılları arasında %9 büyümeye yaşamıştır (WBA, 2020).

Bugün çoğu Almanya, Amerika Birleşik Devletleri ve Birleşik Krallık’ da olmak üzere, dünya genelinde biyogazla çalışan yaklaşık 18 GW kurulu güç üretim kapasitesi bulunmaktadır. Şekil 2.3’te görüldüğü üzere; tüm dünyada 2010-2018 yılları arasında GW kurulu güç kapasitesi her yıl yaklaşık %4 artmış olup, son yıllarda özellikle Çin ve Türkiye gibi ülkelerde gelişme devam ederken, Amerika

ve bazı Avrupa ülkelerinde bu hız politik sebeplerden dolayı yavaşlama görülmüştür (IEA, 2020).



Şekil 2.3 Biyogaz kurulu güç üretim kapasitesi, 2010-2018 (IEA, 2020)

Şu anda dünya çapında yaklaşık 3,5 milyon ton petrol eşdeğeri biyometan üretilmektedir. Üretimin büyük çoğunluğu Avrupa ve Kuzey Amerika pazarında gerçekleşirken, İsveç ve Danimarka gibi ülkelerin toplam gaz satışlarındaki payının %10'undan fazlası biyogaz/biyometan satışından oluşmaktadır. Ayrıca 2015'ten bu yana Çin, Hindistan ve Brezilya'daki iyileştirilmiş biyogaz tesis sayısının üç katına çıkmasıyla Avrupa ve Kuzey Amerika'daki üretimi hızlıca yakalamak üzeredir (IEA, 2020). Tüm dünyada doğrudan ya da dolaylı olarak biyogaz sektörünün 344.000 insana istihdam yarattığı düşünülmektedir. (REN21, 2018)

Hayvansal atıklardan biyogaz elde etme sürecinde tüm dünyadaki 1,5 milyar büyükbaş (sığır) hayvan, 1 milyar domuz, 22 milyar kümes hayvanı ve 0,2 milyar mandadan sağlanacak olan biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi söz konusu olduğunda, tüm bu atıklardan toplam 250 ile 370 milyar m³ biyometan ya da 2600 ile 3700 TWh elektrik üretilebileceği hesaplanmıştır. Bu atıklardan elde edilebilecek toplam biyogaz enerjisiyle 330 ile 490 milyon insanın elektrik ihtiyacının giderebileceği öngörülmüştür. (Worldbank, 2014)

2.5.2 Biyogazın Türkiye'deki durumu

Türkiye her ne kadar hayvansal atıklardan biyogaz elde etmede yetersiz kalmış olsa da biyogaz potansiyeli açısından dünyada önemli ülkelerden biri halindedir (Seyhan ve Badem, 2020). Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) verilerine göre Türkiye'deki toplam büyükbaş hayvan (sığır ve manda) sayısı 2019 yılı itibarıyla 17,872,331 iken toplam küçükbaş hayvan (koyun ve keçi) sayısı

48,481,479'a ulaşmıştır (TÜİK, 2020). Son yıllarda ülkemizde hem ekonomik sürdürülebilirlik hem de biyogaz üretim teknolojilerinin olgunlaşması açısından önemli adımlar atılmıştır. 2015 yılı itibarıyla Türkiye'nin kurulu güç kapasitesi 73,14 GW olmuştur (Kilickaplan vd., 2017). Biyokütle enerjisi açısından ele aldığımızda ise kurulu güç 344,7 MW'tır. Oranladığımızda ise, Türkiye'nin biyokütle kurulu gücü, toplam kurulu gücün %0,47 sini oluşturmaktadır. Ayrıca 2016 yılı verilerine göre 70 biyogaz tesisi varken ve bu tesislerin yalnızca 15 tanesi hammadde olarak hayvan atığı kullanırken, 2020 yılına geldiğimizde ise bu tesis sayısı 82 ye yükselmiştir (Seyhan ve Badem, 2020). Türkiye'de hayvancılık gelişmiş olup, doğal olarak hayvan gübresinden biyogaz elde edilmesinde yüksek potansiyele sahiptir. Hayvan gübresinden biyogaz potansiyelini inceleyecek olursak %68 büyükbaş, %5 küçükbaş ve %27 kümes hayvanlarından oluşmaktadır (Avcioglu ve Türker, 2012).

Türkiye'nin biyogaz potansiyelini araştırma çalışmalarının yanında il bazında hayvan sayılarını içeren ve özellikle potansiyeli olan şehirler için ayrı ayrı yapılmış çalışmalar da mevcuttur (Yağlı ve Koç, 2019).

2.6. Biyogaz Tesislerinin Kuruldukları Bölgelerde Yaratacağı Etkiler

Biyogaz tesisleri bir bölgede kurulduğunda o bölgede çeşitli etkiler yaratmaktadır. Bu etkileri temel olarak dört başlık altında ele almak mümkündür. Bunlar; çevresel, ekonomik, sosyal ve sağlık açısından yaratacağı etkilerdir.

İlk olarak bir biyogaz tesisinin kurulduğu bölgede yaratacağı ekonomik etkiyi inceleyecek olursak; bölgede istihdam yaratacağından işsizlik azalacaktır. Ayrıca işsizlik azalacağı için gelir düzeyinde de bir iyileşme söz konusu olacaktır. Özellikle kırsal kesimlerde kurulacak olan biyogaz tesisleri bu bölgelerde gelir düzeyini artıracığı için aileler toplam ekonomiye daha fazla katkıda bulunacaklardır. Ayrıca biyogaz üretiminden elde edilen fermente gübrenin pazarlanması ve endüstriyel kalkınma için ivme yaratması da ekonomik etkiler arasında yer almaktadır.

Biyogaz tesislerinin kurulduğu bölgelerde yaratacağı ikinci etki sosyal etkilerdir. Gelir düzeyinin artmasına bağlı olarak yaşanacak olan yaşam

standartlarındaki iyileşmeler sosyal yaşamı da olumlu etkileyecektir. Ayrıca kırsal kesimde yaşayan kadınların yaşam kalitesini artırmaya yardımcı olacak, ev yaşamının da iyileşmesine katkı sağlayacaktır. Tüm bu sosyal etkilerin yanı sıra zaman tasarrufunun sağlanmasına dolaylı olarak etki edecektir.

Biyogaz tesisleri kuruldukları bölgelerde çevresel açıdan da birçok katkı sağlamaktadır. Öncelikle biyokütle enerjisi üretiminde CO₂ emisyonu sıfır olarak kabul görmektedir. Bunun sebebi biyoyakıtların kullanımı ile salınan karbondioksitin fotosentez oluşumu için bitkiler tarafından tekrar kullanılmasıdır. Sadece bu sebeple bile çevreci bir enerji üretimi sağlandığı ortadadır.

Biyogaz karbondioksit emisyonlarının önlenmesine yardımcı olacağı gibi, bölgede yaşayan ve tarımla uğraşan halkın, kullanılacak olan fermente gübre sayesinde toprak verimliliğinin artmasına da yardımcı olacaktır. Böylece dolaylı olarak kaliteli gıdaya ulaşım sağlanmış olacaktır. Tüm bunların yanı sıra hayvansal atıkların oluşturacağı çevre kirliliği de önlenmiş olacaktır.

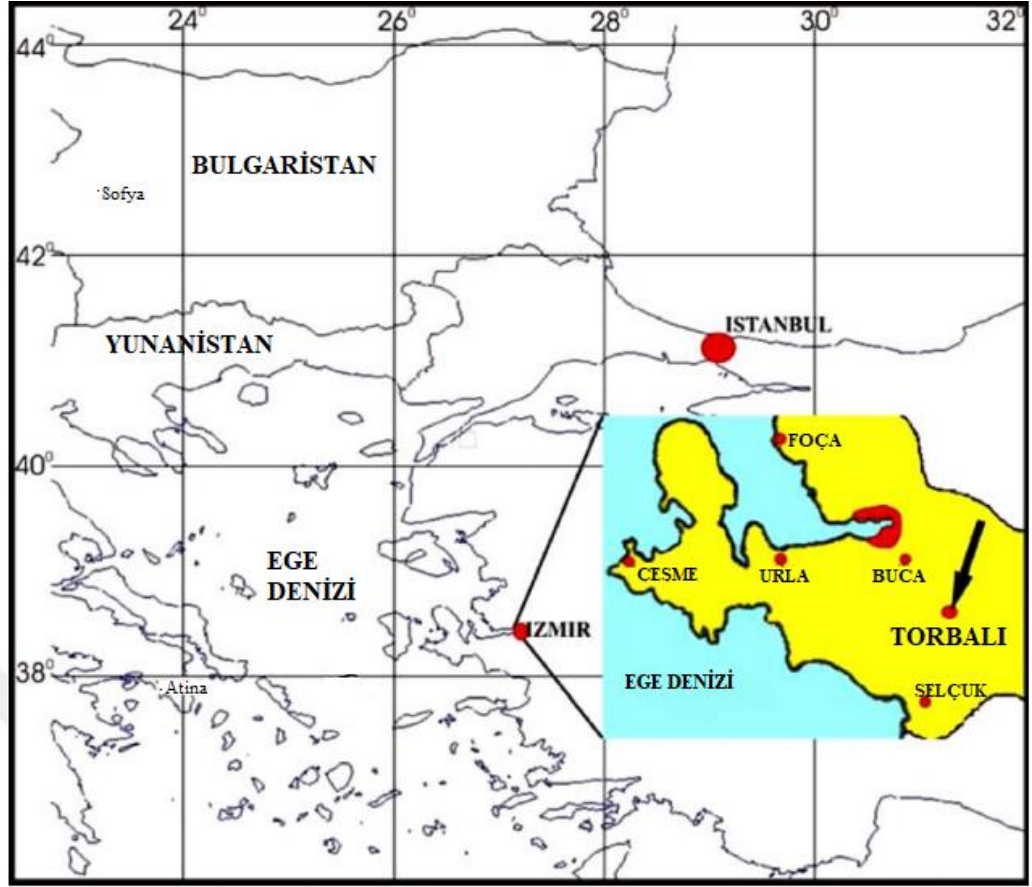
Açıktaki beklenen hayvansal atıklar bir süre sonra bölgede yaşayan kişilerin sağlık problemleri ile karşı karşıya kalmalarına sebep olabilmektedir. Bu nedenle biyogaz tesislerinin kuruldukları bölgelerde yaratacağı en önemli etkilerden bir diğeri ise bu bölgelerde yaşayan insanların sağlıklarının ve hijyen koşullarının iyileştirilmesine yardımcı olmasıdır (Canbaz ve Eryaşar, 2021).

2.7 Torbalı İlçesine Genel Bakış

2.7.1 Coğrafi yapı, iklimsel özellikler ve nüfus

Torbalı ilçesi İzmir'in güneydoğusunda yer almaktadır. Şehir merkezine 45 km uzaklıkta olan bu ilçenin kuzeyinde Kemalpaşa, doğusunda Tire ve Bayındır ilçeleri bulunmaktadır. Yüz ölçümü olarak ise 565 km²'lik bir alanda yer almaktadır. (İzmir Valiliği, 2021). Akdeniz ikliminin hâkim olduğu Torbalı ilçesinde kışlar ılık ve yağışlı, yazlar sıcak ve kurak geçer. Ayrıca Torbalı'nın 2020 yılı verilerine göre toplam nüfusu 194.285'tir (Torbalı Kaymakamlığı, 2021).

Şekil 2.4'te Torbalı ilçesinin haritadaki yeri ve konumu gösterilmiştir (Kurucu ve Chiristina, 2008).



Şekil 2.4 Torbalı ilçesi coğrafi konumu

Torbalı ilçesinin mahalle ve köy haritası ise Şekil 2.5'te ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir (Atlasbig, 2022).

erkek, 18.820'si ise dişilerden oluşmaktadır. TÜRKVET bilgi sisteminden elde edilmiş olan bilgiler, işletme sayılarıyla birlikte işletme başına düşen hayvan sayılarını kapsamaktadır. İşletme başına düşen hayvan sayıları ise 1-5, 6-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-100, 101-200, 201-500, 500 ve üzeri olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Bu veriler ışığında büyükbaş hayvan sayılarının işletme sayılarına göre, köy ve mahallelere dağılımı EK A-1'de ayrıntılarıyla gösterilmiştir (TÜRKVET, 2020). Buna göre; 1-5 hayvan kapasiteli işletme sayısı 268 adettir. Buna göre, Torbalı ilçesinde 1-5 hayvan kapasiteli işletmelerin daha fazla olduğu görülmektedir. 50 ve daha az büyükbaş hayvan kapasitesine sahip işletmelerin ise, toplam işletme sayısına oranla daha fazla sayıda olduğu görülmektedir.

Tüm büyükbaş hayvan sayılarına ve işletme sayılarına ek olarak EK A-2'de dişi büyükbaş hayvan sayıları ve işletmelere dağılımı gösterilmiştir. TÜRKVET bilgi sisteminden alınmış olan erkek büyükbaş hayvan sayıları ve bu hayvanların işletmelere göre dağılımı EK A-3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.6 Torbalı ilçesindeki büyükbaş hayvanların işletme büyüklüklerine göre dağılımı

	İşletme Büyüklükleri	Büyükbaş Hayvan Sayısı
	1-5	731
	6-10	1.293
	11-20	2.108
	21-30	1.757
	31-40	1.404
	41-50	1340
	51-100	4.864
	101-200	4.313
	201-500	5.222
	>500	9.905
Toplam	843	32.932

Tablo 2.6'da ise; tüm Torbalı ilçesi için hayvan sayılarının işletme büyüklüklerine göre dağılımı gösterilmiştir. Burada, 50 ve üzeri büyükbaş hayvan sayısına sahip işletmelerin en fazla paya sahip olduğu görülmektedir.

2.7.3.1 Torbalı için sistem kapasitelerine göre büyükbaş hayvan sayısı dağılımı

Bu bölümde, Torbalı ilçesinde yerinde kurulum, köy tipi ve merkezi biyogaz sistemleri için büyükbaş hayvan kapasitesine göre mevcut potansiyel, bu tesislerin kurulabilecekleri olası mahallelere göre incelenmiştir.

Buna göre; Torbalı ilçesinde yerinde kurulum için uygun potansiyel sistem sayıları, sistem büyüklükleri, mahallelere göre EK A-4'te gösterilmiştir. Buna göre, 50 ve daha az büyükbaş hayvan sayısına sahip sistemlerin, toplam sistem sayısında yüksek bir orana sahip olduğu görülmektedir (İZKA, 2020).

Torbalı ilçesindeki Köy tipi sistemler için yapılan incelemeler de EK A-5'te detaylı olarak gösterilmiştir.

3. PROSEDÜR VE YÖNTEM

3.1 Prosedür

Yukarıda belirtilmiş olan temel bilgiler ışığında; Torbalı ilçesinde kurulacak olan olası farklı tipteki biyogaz sistemleri için ilk yatırım maliyeti hesaplamaları, bekletme süresi seçimi ve hesaplamaları, reaktör seçim ve boyutlandırılma hesaplamaları, olası işletme gelir ve giderleri dikkate alınmıştır.

3.1.1 Bekletme süresi seçimi ve hesaplamaları

Bekletme süresi seçimi organik atıkların reaktörde bekleme süresini kapsamaktadır. Bu süre çürütücü bakterilerin fermentasyonu tamamlaması için gerekli olan süre olup, ekonomik açıdan maliyetlerin artmasına sebep olmayacak noktada, yani biyogaz çıkışının azalması anında işlem sonlandırılır.

Biyogaz üretiminde bekletme süresi seçimi iki ana maddeye göre belirlenir. Bunlardan biri kullanılacak olan organik atıklar, bir diğeri ise reaktörün sıcaklığıdır.

Mezofilik sıcaklıkta (20 ile 40 derece aralığındaki sıcaklıklarda sığır gübresi için bekletme süresi ortalama 35-45 gün arasında olup yapılan çalışmalar biyogaz üretiminde 40. günden sonra azalma izlendiği yönündedir. (Savaş, 2018).

3.1.2 Reaktör seçimi ve boyutlandırılma hesaplamaları

Reaktör seçimi ve boyutlandırılması (ön dengeleme havuzu, reaktör hacmi, sıvı gübre depolama havuzu) ekonomik analiz için oldukça önemli bir parametredir. Reaktör seçimini etkileyen en önemli parametreler bekletme süresi ve organik atık miktarıdır. Burada esas alınan reaktörün iç hacmidir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$Vd = Sd \cdot HBS \quad (1)$$

Vd : Reaktör hacmi (m^3),

Sd : Beslenen hammadde miktarı ($m^3/gün$)

HBS : Hidrolik bekletme süresi (gün)'dür (Avcıoğlu., 2010).

3.1.3 Biyogaz Sistemi Ekonomik Değerlendirmesi

Biyogaz tesis maliyetlerine genel olarak bakacak olursak ilk yatırım maliyetleri, işletme giderleri olarak iki ana başlıktan söz etmemiz mümkündür. Ayrıca gelirler de, prosesin bir sonucu olarak ortaya çıkan organik gübre satışından elde edilen gelir, üretilen elektriğin satışından elde edilen gelir ve kojenerasyon ünitesinden elde edilen ısıнын, ısınma amaçlı kullanılması olarak genel başlıklar halinde ele alınmaktadır (Kaya vd., 2015).

3.1.3.1. İlk yatırım maliyeti

Biyogaz tesislerinin kurulum maliyetleri, tesisin yapısının tasarımı, inşaatı, ekipmanların kurulumu, tesisin bağlantısının yapılması gibi birçok faktörden etkilenir. Örneğin, tesisin yapısının tasarımı, tesisin büyüklüğü, kapasitesi, işletme amaçları gibi faktörleri dikkate alarak yapılır ve bu süreç maliyetleri etkileyebilir. Aynı şekilde, tesisin inşaatı, tesisin yapılacağı yerin koşulları, zemini, iklim şartları gibi faktörleri de dikkate alarak yapılır ve bu da maliyetleri etkileyebilir. Ekipmanların kurulumu ve tesisin bağlantısı da tesisin kurulum maliyetlerini etkileyen faktörlerdir. Örneğin, tesisin çalıştırılması için gerekli olan ekipmanların çeşidine ve kalitesine göre maliyetler değişebilir. Aynı şekilde, tesisin bağlantısının yapılması, tesisin elektrik, su, gaz gibi ihtiyaçlarının karşılanmasını içerir ve bu da maliyetleri etkileyebilir.

Özetle, bir biyogaz tesisindeki ilk yatırım maliyetleri, tesisin kurulması için planlanan yerdeki zeminin hazırlanması, inşaat, mekanik ve tesiste kullanılacak araç ve aletlerin temini, projelendirme maliyetleri, ayrıca teknik ve yasal olarak alınması gereken izin ve belgeler, finans sağlanması için yapılacak araştırmalar ve tesiste üretilen elektriğin satılması için yapılacak araştırmalar olarak sınıflandırılmaktadır (Kaya vd., 2015).

3.1.3.2. İşletme giderleri

İşletme giderleri projenin büyüklüğüne göre değişiklik gösterebilmektedir. İşletme giderleri; hammadde temini, personel giderleri, kojenerasyon ünitesinin bakım ve onarımı, genel giderler, biyolojik destek, ilk devreye alma ve ara bakımlar

olarak sınıflandırılmaktadır (Kaya vd., 2015). Yatırım maliyetlerinin yansira işletme giderlerinde en önemli üç gider, içsel elektrik tüketimi, bakım-onarım giderleri ve personel giderleridir.

3.1.3.3. İşletme gelirleri

Bir biyogaz tesisinin başlıca gelir kaynakları, üretilen elektriğin satışından elde edilen gelir, fermente gübrenin satışından elde edilen gelir, üretilen ısıdan elde edilen gelir ve karbon sertifikasından elde edilen gelirlerdir. Tüm bunlara ek olarak, işlem sonucunda elde edilen sıvı gübrenin satışının sağlanması da işletmeye gelir sağlamaktadır (Kaya vd., 2015).

3.1.3.4. Mali net bugünkü değer hesaplama yöntemi, geri ödeme süresi ve iç karlılık oranı

Mali Net bugünkü değer hesaplama yönteminde işletme gelir ve giderlerinde belirlenmiş olan veriler kullanılmaktadır. Projenin ekonomik ömrü ve indirgeme oranı hesaplamaya dahil edilmektedir. Buna göre formül şu şekildedir;

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

Formülü ile hesaplanır. Burada B_t = t yılındaki nakit girişi , C_t = t yılındaki nakit çıkışı, $n = 1,2,3, \dots n$ yıl, r = iskonto oranı. Eğer $NBD > 0$ ise proje yatırım için uygun olarak kabul edilmektedir. $NBD = 0$ olursa yıllık getirilerin işletme ve yatırım maliyetlerini anca karşıladığı anlaşılmaktadır (Gedik vd., 2005).

Geri ödeme süresi şu şekilde hesaplanır;

$$GÖS = \frac{(Proje Yatırım Tutarı - Hurda Değ.)}{(Yıllık Ort.Net Kar + Yıllık Amortisman Payları)} \quad (3)$$

Geri ödeme süresi; yatırım yapılacak proje için ilk yatırım miktarının ne kadar sürede geri alınabileceğini değerlendirmede kullanılır. Geri ödeme süreleri projenin karlılığını değil projenin likiditesini gösterir (Gedik vd., 2005).

Karlılık oranı hesaplanırken en basit şekilde yatırım yapılacak projenin ömrü boyunca sağlayacağı kar miktarının (P), ilk yatırım maliyetlerine (I) oranı olarak bilinmektedir (Gedik vd., 2005).

$$BKO = P/I \quad (4)$$

3.2 Yöntem

Bu tez çalışmasında, yöntem olarak Torbalı ilçesinde kurulabilecek farklı senaryolardaki biyogaz sistemleri için yapılan ekonomik analizler incelenmiş, ayrıca bu ekonomik analizler ile sosyo ekonomik ve çevresel etkiler araştırılmıştır.

Ekonomik analizler yapılırken yapılan ilk yatırım maliyetleri, yıllık getiri ve karlılık oranları, bölgede yaratacağı istihdam ve makro ekonomik etkileri dikkate alınmıştır. Biyogaz sistemleri için ekonomik açıdan yapılan analizlerde özellikle fermente gübrenin satışından elde edilen getiriler oldukça önem arz etmektedir. Fermente gübrenin ortalama %4 katı madde içermekte olduğu bilinmektedir. Ayrıca fermente gübrenin azot yönünden zengin içeriğe sahip olması açısından kurulacak olan biyogaz tesisinde bu gübrenin kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır.

Ekonomik açıdan bir diğer önemli unsur ısı enerjisidir. Isı enerjisinden yaz aylarında oldukça az faydalanılmaktadır. Bu nedenle biyogaz tesis yapısı, özellikle yaz aylarında atıl duruma gelen ısı enerjisini sera, ürün kurutma, sıcak su, bölgesel ısıtmada kullanmak üzere tasarlanmalıdır. Böylece dolaylı olarak yatırımın geri ödeme süresi kısılacak ve biyogaz yatırımı daha elverişli hale gelecektir.

Elektrik üretiminden sağlanan gelir hesabı yapılırken YEKDEM tarafından belirlenmiş olan fiyatlandırma esas alınmıştır (54 TL kuruş/kWh).

İstihdam açısından etkiler incelenirken biyogaz sektöründeki bilgi eksikliği ve nitelikli eleman sayısı azlığı göz önünde bulundurulmuştur. Ülkemizde 1 MWe gücündeki bir tesiste ortalama 15-20 kişinin çalışmasına ihtiyaç varken, Avrupa'da 1-3 kişinin çalışması yeterlidir. Ayrıca, çarpan etkisi ülkemiz için 3 olarak dikkate alınmıştır.

Çevresel açıdan karbondioksit emisyonlarının tespiti önem arz etmektedir. Torbalı ilçesi için büyükbaş hayvan işletmelerinden dolayı oluşan emisyonlar IPCC ve UNFCCC kriterleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Bu işletmelerde en önemli emisyon kaynağı bilindiği üzere metan gazıdır. Bu emisyonda en büyük payı enterik bazlı emisyon kaynağı ve ikinci olarak gübre yönetiminden kaynaklı

emisyonlar yer almaktadır. En önemli kısım ise bu emisyonların azaltılmasıdır. Hesaplamalarda; süt sığırı işletmeciliğinde yıllık 23kg metan gazı, erkek büyükbaş için 11 kg metan gazı değeri kullanılmıştır. Ayrıca metan gazının karbondioksit göre 21 kat daha fazla emisyon değeri olduğu göz önüne alınmıştır (İZKA, 2020).

Emisyon hesaplamalarında ısı değeri için karşılaştırmada kömür ikamesi dikkate alınmıştır. Fosil yakıt karşılığı olarak kömürün yakılması ile oluşacak emisyon değeri 2,87 kgCO₂/ kg dır. Türkiye’de %29,9 oranında doğal gaz ve %37,4 oranında kömürden elektrik üretimi yapılmaktadır. Böylece elektrik çevrim verim oranı 0.4 ve buna bağlı olarak karbondioksit emisyonu 475 gram/kWh olmaktadır. Biyogaz sistemlerinin kurulması sırasında oluşan karbondioksit emisyon miktarlarını hesaplamak çok zor olmakla birlikte literatürde bu konuyu aydınlatmak çalışmaları netlik taşımamaktadır. Bu nedenle büyük ölçekli olmayan biyogaz sistemleri için, 1m³/gün üretim değeri için 275 kg karbondioksit emisyonu olduğu kabul edilmiştir. Büyük kapasiteli olarak kabul edilen tesislerin kurulumunda oluşan emisyon ise; 263 kg karbondioksittir (1 kWe kurulu güç için). Ayrıca bu sistemlerin tamamının ömrünün 20 yıl olduğu baz alınarak hesaplamalara eklenmiştir. Ölçeklerine göre biyogaz tesislerinin çevresel açıdan etkileri belirtilmiş olan bu emisyon verileri ışığında aşağıda incelenmiştir (İZKA, 2020).

3.2.1 Farklı Büyüklükteki Tesisler için Ekonomik Analiz

3.2.1.1 Küçük ölçekli sistemler için ekonomik analiz

Biyogaz tesislerinin organik atıkların mevcut olduğu işletmelerin yakınında kurulması durumunda zaten işletmeler tarafından yok edilmesi gereken atıkların enerjiye çevrilmesi de kolaylaşmaktadır. Küçük ölçekli biyogaz sistemlerinin yaygınlaşması durumunda biyogaz üretimi ve işleyişi ile ilgili bilgi birikimi ve bu konudaki insan becerileri gelişeceğinden daha büyük ölçekli tesislerin kurulma olasılığı artacaktır (İZKA, 2020).

Küçük ölçekli biyogaz sistemlerinde; maliyetlerin düşürülmesi amacı ile diğer sistemlerde kullanılan bazı sistemler kullanılmamaktadır. Böylece sistem getirisinin maliyeti karşılama süresi düşmekte ve proje ekonomik hale gelmektedir. Bu nedenle, bu sistemler daha çok ısı amaçlı olup; genellikle evlerde, ocaklarda pişirme ve sıcak su amaçlı kullanım için uygundur (İZKA, 2020).

Küçük ölçekli biyogaz sistemleri için Ege Üniversitesi’nde BESTMER tarafından 3, 5, 10 ve 25 adet büyükbaş hayvan atığı için dört ayrı seçenekte dizayn edilen kompartıman tipi biyogaz reaktöründe atıklar kullanıcı tarafından reaktöre

atılmaktadır. Bu sistemlerde reaktör hacimleri 3 büyükbaş kapasiteli için 5m³, 5 büyükbaş kapasiteli için 10 m³, 10 büyükbaş kapasiteli için 20 m³ ve 25 büyükbaş kapasiteli için 50 m³ olarak belirlenmiştir. Bu tip biyogaz sistemlerinin en büyük maliyeti reaktörlerdir (İZKA, 2020).

- Küçük Ölçekli Biyogaz Sistemleri İçin Maliyet Kalemleri (İZKA, 2020);
 1. İnşaat giderleri
 2. Biyogaz Reaktörü (DN 32 PPRC)
 3. Tanklar (CTP)
 4. Borular ve vanalar (1" gaz vanası)
 5. Reaktörün ısıtılması (rezistans (on-off termostat))
 6. Tesisat ve montaj (2 adet teknik eleman)
 7. Nakliye
 8. Beklenmeyen giderler (%5)

Bu kalemler çerçevesinde hesaplamalar sonucunda Torbalı ilçesinde kurulabilecek küçük ölçekli biyogaz sistemleri için ilk yatırım maliyetleri Tablo 3.1'de belirtilmiştir (İZKA, 2020).

Tablo 3.1 Sistem Büyüklüklerine Göre İlk Yatırım Maliyetleri

Sistem Boyutu	İlk Yatırım Maaliyeti (USD)
3 Büyükbaş Kapasiteli	1800
5 Büyükbaş Kapasiteli	2620
10 Büyükbaş Kapasiteli	5080
25 Büyükbaş Kapasiteli	9800

Belirtilmiş olan veriler çerçevesinde Torbalı ilçesinde kurulabilecek olan küçük ölçekli biyogaz sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2 Küçük Ölçekli Potansiyel Sistemler için İlk Yatırım Maliyet Analizi (Torbalı)

Sistem Büyüklüğü	Sistem Sayısı (Adet)	Birim Maliyet (USD)	Toplam Maliyet (USD)
3 Büyükbaş Kapasiteli	189	1.800	340.200
5 Büyükbaş Kapasiteli	114	2.620	298.680
10 Büyükbaş Kapasiteli	254	5.080	1.290.320
25 Büyükbaş Kapasiteli	100	9.800	980.000
TOPLAM			2.909.200

Ayrıca küçük ölçekli potansiyel sistemlerden gelebilecek getiriler de Tablo 3.3 de gösterilmiştir.

Tablo 3.3 Küçük Ölçekli Potansiyel Sistemlerden Gelebilecek Getiriler

Sistem Büyüklüğü	Isı Enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Kömür İkamesi (ton/yıl)	D.gaz İkamesi (m ³ /yıl)	12 kg Tüp LPG İkamesi (adet/yıl)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Sıvı Gübre Üretimi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
3 Büyükbaş Kapasiteli	6.060,3	1,3	735	46	—	49	2,57
5 Büyükbaş Kapasiteli	10.100,5	2,16	1.224	77	—	82	4,28
10 Büyükbaş Kapasiteli	20.201	4,33	2.449	153	—	164	8,55
25 Büyükbaş Kapasiteli	50.502.769	10,82	6.122	383	—	411	21,39

Reaktör ısıtması için kullanılacak olan enerji giderlerini içeren yıllık işletme giderleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Bu ısıtma ihtiyacı kurulacak olan bölgenin sıcaklığına göre değişiklik gösterebilir.

Tablo 3.4 Küçük Ölçekli Biyogaz Sistemlerinin Yıl bazında Ekonomik Durumu

Sistem Büyüklüğü	Yıllık Getiri (USD/yıl)	İşletme Gideri (USD/yıl)	Net Gelir (USD/yıl)
3 Büyükbaş Kapasiteli	560	121	439
5 Büyükbaş Kapasiteli	935	204	731
10 Büyükbaş Kapasiteli	1.869	390	1.479
25 Büyükbaş Kapasiteli	4.672	953	3.719

İşletme gelir ve gider verilerinden yararlanarak mali net bugünkü değer (MNBD), geri ödeme süreleri ve iç karlılık oranı hesaplanmış olup Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Bu veriler ışığında tasarlanacak olan bir proje %10 indirgenme oranı ile yapılmalıdır (İZKA, 2020).

Tablo 3.5. Hayvan Sayısına göre Küçük Ölçekli Biyogaz Sistemleri için Ekonomik Parametreler

Sistem Büyüklüğü	MNBD (USD)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	İç Karlılık Oranı (%)
3 Büyükbaş Kapasiteli	1.761	5,54	24
5 Büyükbaş Kapasiteli	3.276	4,66	27
10 Büyükbaş Kapasiteli	6.829	4,42	28
25 Büyükbaş Kapasiteli	19.875	3,21	37

TÜRKVET bilgi sisteminden alınan veriler ışığında Torbalı ilçesinde 3 büyükbaş kapasiteli işletme sayısı 189,5 büyükbaş kapasiteli işletme sayısı 114, 10 büyükbaş kapasiteli işletme sayısı 254,25 büyükbaş kapasiteli işletme sayısı 100 adet olduğu bilinmektedir.

Yalnızca İzmir ilinin Torbalı ilçesi için yapılmış olan bu hesaplama neticesinde 2,909 milyon/\$ genişliğindeki bir pazar hacmi taşınamayan az miktardaki atıkların değerlendirilmesinin önemini anlatmaktadır.

Bu bağlamda Torbalı ilçesinde organik atıkların üretildiği yerlerde kurulabilecek olan küçük ölçekli biyogaz sistemlerinin ekonomik analizleri yapılmış olup aşağıda tablolar halinde belirtilmiştir.

Torbalı'da 3, 5, 10 ve 25 büyükbaş hayvan kapasiteli işletmelerin toplam sayısı 657 adettir. Bu kapasitedeki işletmelerin en yoğun olduğu mahalleler sırasıyla Aslanlar, Göllüce, Kuşcuburun, Özbey ve Subaşı'dır. Aşağıdaki Tablo 3.6'da gösterildiği üzere Torbalı'da küçük ölçekli sistem kurulumunda büyükbaş hayvanlardan elde edilebilecek her bir birim için ısı enerjisi üretimi, toplam ısı enerjisi üretimi, birim sistem için mali net bugünkü değer, toplam mali net bugünkü değer ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

Tablo 3.6. Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri

TORBALI (TOPLAM)						
Hayvan S. (B.baş)	Sistem Sayısı	Birim sistem için Isı enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Toplam Isı Enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Birim Sistem için Mali Net Bugünkü Değer (\$)	Mali Net Bugünkü Değerlerin Toplamı (\$)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
3	189	6.060.332	1.145.402.748	1.761	332.829	5,54
5	114	10.100.554	1.151.463.156	3.276	373.464	4,66
10	254	20.201.108	5.131.081.432	6.829	1.734.566	4,42
25	100	50.502.769	5.050.276.900	19.875	1.987.500	3,21
Toplam	657	86.864.763	12.478.224.236	31.741	4.428.359	-

Torbalı geneli haricinde sistem yoğunlukları göz önünde bulundurularak sırasıyla Aslanlar, Göllüce, Kuşcuburun, Özbey ve Subaşı için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış ve aşağıda gösterilmiştir (Tablo 3.7, Tablo 3.8, Tablo 3.9, Tablo 3.10, Tablo 3.11).

Tablo 3.7. Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Aslanlar mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri

TORBALI (ASLANLAR)						
Hayvan S. (B.baş)	Sistem Sayısı	Birim sistem için Isı enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Toplam Isı Enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Birim Sistem için Mali Net Bugünkü Değer (\$)	Mali Net Bugünkü Değerlerin Toplamı (\$)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
3	23	6.060.332	139.387.636	1.761	40.503	5,54
5	11	10.100.554	111.106.094	3.276	36.036	4,66
10	0	20.201.108	0	6.829	0	-
25	10	50.502.769	505.027.690	19.875	198.750	3,21
Toplam	44	86.864.763	755.521.420	31.741	275.289	-

Tablo 3.8. Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Göllüce mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri

TORBALI (GÖLLÜCE)						
Hayvan S. (Büyükbaş)	Sistem Sayısı	Birim sistem için Isı enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Toplam Isı Enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Birim Sistem için Mali Net Bugünkü Değer (\$)	Mali Net Bugünkü Değerlerin Toplamı	Geri Ödeme Süresi (yıl)
3	17	6.060.332	103.025.644	1.761	29.937	5,54
5	0	10.100.554	0	3.276	0	-
10	12	20.201.108	242.413.296	6.829	81.948	4,42
25	1	50.502.769	50.502.769	19.875	19.875	3,21
Toplam	30	86.864.763	395.941.709	31.741	131.760	-

Tablo 3.9. Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Kuşçuburun mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri

TORBALI (KUŞÇUBURUN)						
Hayvan S. (Büyükbaş)	Sistem Sayısı	Birim sistem için Isı enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Toplam Isı Enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Birim Sistem için Mali Net Bugünkü Değer (\$)	Mali Net Bugünkü Değerlerin Toplamı (\$)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
3	13	6.060.332	78.784.316	1.761	22.893	5,54
5	3	10.100.554	30.301.662	3.276	9.828	4,66
10	4	20.201.108	80.804.432	6.829	27.316	4,42
25	6	50.502.769	303.016.614	19.875	119.250	3,21
Toplam	26	86.864.763	492.907.024	31.741	179.287	-

Tablo 3.10. Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Özbey mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri

TORBALI (ÖZBEY)						
Hayvan S. (Büyükbaş)	Sistem Sayısı	Birim sistem için Isı enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Toplam Isı Enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Birim Sistem için Mali Net Bugünkü Değer (\$)	Mali Net Bugünkü Değerlerin Toplamı (\$)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
3	16	6.060.332	96.965.312	1.761	28.176	5,54
5	0	10.100.554	0	3.276	0	-
10	10	20.201.108	202.011.080	6.829	68.290	4,42
25	0	50.502.769	0	19.875	0	-
Toplam	26	86.864.763	298.976.392	31.741	96.466	-

Tablo 3.11. Hayvan sayısına göre Torbalı ilçesinin Subaşı mahallesinde kurulacak olan küçük ölçekli sistemlerden elde edilebilecek olan ısı enerjisi üretimi, mali değerler ve geri ödeme süreleri

TORBALI (SUBAŞI)						
Hayvan S. (Büyükbaş)	Sistem Sayısı	Birim sistem için Isı enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Toplam Isı Enerjisi Üretimi (kcal/yıl)	Birim Sistem için Mali Net Bugünkü Değer (\$)	Mali Net Bugünkü Değerlerin Toplamı (\$)	Geri Ödeme Süresi (yıl)
3	12	6.060.332	72.723.984	1.761	21.132	5,54
5	5	10.100.554	50.502.770	3.276	16.380	4,66
10	7	20.201.108	141.407.756	6.829	47.803	4,42
25	1	50.502.769	50.502.769	19.875	19.875	3,21
Toplam	25	86.864.763	315.137.279	31.741	105.190	-

Küçük ölçekli sistemler için yapılmış olan ekonomik analiz sonucunda 647 adet küçük ölçekli sistemin toplam ısı enerjisi üretimi 12.478.224.236 kcal/yıl dır. Ayrıca toplam mali net bugünkü değerleri 4.428.359 dolardır.

Torbalı ilçesinde kurulabilecek olan küçük ölçekli sistemlerin istihdama etkisi oldukça az olduğundan istihdam verileri ve çevresel açıdan etkileri hesaplamalara katılmamıştır. Yalnızca kurulum maliyetleri ve işletme gelir ve giderleri göz önünde bulundurularak hesaplamaların sonuçları yukarıda belirtilmiştir.

3.2.1.2 Orta ölçekli sistemler için ekonomik analiz

Orta ölçekli sistemler kurulurken ortaya çıkan maliyet kalemleri aşağıda kategorize edilmiş ve gösterilmiştir. (Eryasar, 2019)

1. İnşaat giderleri (20-25 cm kalınlığında 100 ile 250 m² alana sahip hasır demir ile güçlendirilmiş kaide)
2. Reaktör (CTP)

3. Tanklar (Besleme, Boşaltma tankı) (CTP)
4. Kabin (CTP)
5. Kombi (yoğuşmalı ya da elektrikli)
6. Biyogaz depolama ve şartlandırma üniteleri (CTP)
7. Karıştırıcılar (mekanik tanka montajlı) ve pompalar (Kauçuk veya Monopomp)
8. Reaktör için ısıtma sistemi (reaktör içerisine döşenmiş AISI 316 esnek boru bağlantı ve ekipmanları)
9. Otomasyon ve elektrik işleri
10. Boru, fittings ve vanalar (taşıma hatları plastik malzemelerden oluşmaktadır.)
11. Kojenerasyon ünitesi (10 kWe-30kWe)
12. Tesisat ve montaj
13. Yalıtım sistemi (minimum 10 cm taş yünü üzeri alüminyum sac kaplı)
14. Nakliye işleri
15. Öngörülemeyen giderler (%5)
16. Müteahhit karı (%10)

Orta ölçekli sistemler kurulurken 50,100,150,200 adet büyükbaştan oluşan sistemler dikkate alınmaktadır. Yukarıda belirtilen kalemler çerçevesinde orta ölçekli sistemler için ilk yatırım maliyetleri Tablo 3.12’de gösterilmiştir.

Torbalı ilçesinde kurulabilecek orta ölçekli biyogaz sistemleri için ekonomik analiz yapılırken de 50,100,150,200 adet büyükbaştan oluşan sistemler dikkate alınmıştır.

Tablo 3.12 Orta Ölçekli Sistemlerin İlk Yatırım Maliyetleri

Hayvan Sayısı (büyükbaş)	İlk Yatırım Maliyetleri
50	55.081
75	65.177
100	85.054
150	105.507
200	137.890

Bu analizlerin sonucunda Torbalı ilçesinde kurulabilecek orta ölçekli biyogaz sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri Tablo 3.13’te gösterilmiştir.

Tablo 3.13 Torbalı’da kurulabilecek Orta Ölçekli Sistemlerin ilk yatırım maliyetleri

Hayvan Sayısı (büyükbaş)	Sistem Sayısı (adet)	Birim Başına İlk Yatırım Maliyeti (\$)	Toplam Maliyet (\$)
50	72	55.081	3.965.832
75	48	65.177	3.128.496
100	10	85.054	850.540
150	25	105.507	2.637.675
200	6	137.890	827.340

Orta ölçekli sistemlerin birincil çıktısı elektrik üretimidir. Daha sonra ise ısı üretimi ve proses sonucu ortaya çıkan fermente gübre çıktısı oluşmaktadır. Bu açıklamalar ışığında orta ölçekli biyogaz sistemlerinin parasal karşılıkları aşağıda maddeler halinde gösterilmektedir.

1. Elektrik Üretiminden Elde Edilebilecek Parasal Getiri

Sistemin elektrik üretiminden elde edilecek getiri hesaplanırken sistemin küçük ölçekli kojenerasyon ünitesine sahip olacağı ve bu kojenerasyon ünitesinin oluşabilecek arıza, bakım gibi nedenlerle kesintiye de uğrayabileceği hesaplamalara dahil edilmiş ve 1 yıl içerisinde toplam 8200 saat olarak hesaplanmıştır. Ayrıca üretilen elektriğin satışı için daha önce belirtilmiş olan 54 Türk lirası kurus/kWh değeri ile hesaplama yapılmıştır. Bu değer 05/10/2022 Dolar/TL paritesi ile çevrilerek 0,0289 \$ sent / kWh olarak hesaplanmıştır (İZKA, 2020).

2. Isı Üretiminden Elde Edilebilecek Parasal Getiri

Kojenaratörden gelen ısı enerjisi reaktör sıcaklığını arttırmak amacıyla reaktöre yönlendirilir. Isının bir kısmı reaktör tarafından kullanıldıktan sonra kalan ısı miktarı, işletmede bulunan ortak kullanım alanlarını ısıtılmasında kullanılabilir. Burada referans yakıt olarak kömür (7.000 kcal/kg ısı değere sahip ithal kömür) kullanılmıştır (İZKA, 2020).

3. Fermente Gübre Satışından Elde Edilebilecek Parasal Getiri

Biyogaz prosesi sonucunda açığa çıkan azot yönünden oldukça zengin olan organik fermente gübre Avrupa ülkelerine satılabilmektedir. Fakat Türkiye’de fermente gübre satışı henüz gelişen bir alan değildir. O nedenle fermente gübrenin getirisini belirlemek için yapılan hesaplamalarda 16,5 \$/m³ gübre değeri belirlenmiştir. Ancak Pazar oluşmamasından ve fermente gübrenin faydalarının

yeterince anlatılamamasından kaynaklanan problemler neticesinde elde edilen gübrenin sadece 5'te birinin parasal anlamda dönüştürülebilmesi öngörülmüş olup hesaplamalara dahil edilmiştir (İZKA, 2020)

Tüm bu bahsedilen veriler ışığında orta ölçekli sistemlerin çıktıları Tablo 3.14'te gösterilmiştir (Eryasar, 2019).

Tablo 3.14 Orta Ölçekli Biyogaz Sistemlerin Çıktıları

Sistem Büyüklüğü (büyükbaş kapasiteli)	Isı Enerjisi Üretimi (Kcal/yıl)	Kömür İkamesi (ton/yıl)	Doğalgaz İkamesi (m ³ /yıl)	12 kg'lık Tüp İkamesi (adet/yıl)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Sıvı Gübre Üretimi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
50	63.901.463	13,69	7.746	484	35.954	821	46,33
75	95.852.194	20,54	11.618	726	53.930	1.232	71,59
100	127.802.925	27,39	15.491	968	71.907	1.643	85,55
150	191.704.388	41,08	23.237	1.452	107.861	2.464	128,32
200	255.605.850	54,77	30.983	1.936	143.814	3.285	171,08

Orta ölçekli sistem çıktıları göz önüne alınarak Torbalı'da kurulabilecek orta ölçekli sistemlerin çıktıları ise Tablo 3.15'te gösterilmiştir.

Tam manasıyla bir ekonomik analiz yapabilmek için işletmenin giderlerini de hesaba katmak gerekmektedir. Bu ekonomik analiz için ise içsel elektrik tüketimi, bakım ve onarım giderleri ve ayrıca personel harcamalarını bilmek gerekmektedir (Eryasar, 2019). Biyogaz sistemlerinin elektrik tüketimini genellikle pompa, kombi ve karıştırıcılar oluşturmaktadır. Bu ekipmanların elektrik tüketiminin sistemin kendi ürettiği elektrikten karşılanacağı düşünülmektedir. Tesis içinde bulunan kojenerasyon ünitesi, içten yanmalı gaz motorları gibi elektromekanik cihazların rutin bakımları ve olası bir sorunla karşılaşıldığında onarımlarının yapılmasında oluşabilecek olası maliyetler için istatistiki verilerden faydalanılmaktadır. Kojenerasyon ünitesinin rutin bakımlarından kaynaklanan giderler, üretilen her birim kWh için 1,22 sent olarak alınmakta ve yıl bazında değer bu fiyata göre hesaplanmaktadır. Ayrıca tüm ekipmanlar için ilk yapılan yatırımdaki harcamalarındaki bakım ve onarım gider oranı 0,02 dir. Personel harcamaları kalemini işletmenin kendi kaynakları ile çözeceği varsayılmaktadır (Eryasar, 2019).

Tablo 3.15 Torbalı’da kurulabilecek Orta Ölçekli Biyogaz Sistemlerin Çıktıları

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasitesi)	Sistem Sayısı (adet)	Toplam Isı Enerjisi Üretimi (Kcal/yıl)	Toplam Kömür İkamesi (ton/yıl)	Toplam Doğalgaz İkamesi (m ³ /yıl)	Toplam 12 kg'lık Tüp İkamesi (adet/yıl)	Toplam Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Toplam Sıvı Gübre Üretimi (ton/yıl)	Toplam Gübre İkamesi (ton/yıl)
50	72	4.600.905.336	985,68	557.712	34.848	2.588.688	59.112	3.335,76
75	48	4.600.905.312	985,92	557.664	34.848	2.588.640	59.136	3.436,32
100	10	1.278.029.250	273,9	154.910	9.680	719.070	16.430	855,5
150	25	4.792.609.700	1.027	580.925	36.300	2.696.525	61.600	3.208
200	6	1.533.635.100	328,62	185.898	11.616	862.884	19.710	1.026,48

Tablo 3.16’da orta ölçekli biyogaz sistemleri için yıllık getiri, işletme giderleri ve net gelir miktarları verilmiştir. Burada görüldüğü üzere sistem kapasitesi büyüdükçe yıllık getiri ve net gelir kaleminde artış gerçekleşmektedir.

Tablo 3.16 Orta Ölçekli Biyogaz Sistemlerinin Yıl bazında Ekonomik Durumu

Sistem Büyüklüğü	YILLIK GETİRİ (USD/YIL)	İŞLETME GİDERİ (USD/YIL)	NET GELİR (USD/YIL)
50 Büyükbaş kapasiteli	9.821	1.790	8.031
75 Büyükbaş kapasiteli	14.731	2.110	12.621
100 Büyükbaş kapasiteli	19.641	2.528	17.113
150 Büyükbaş kapasiteli	29.462	3.171	26.291
200 Büyükbaş kapasiteli	39.282	4.034	35.248

Tablo 3.17’de, Tablo 3.16’daki verilerden faydalanılarak Torbalı’da kurulabilecek orta ölçekli biyogaz sistemleri için yıllık gelir /gider değerleri hesaplanmıştır. Burada görüleceği üzere kurulabilecek sistem sayılarına bağlı olarak toplam net gelir değişkenlik göstermektedir.

Tablo 3.17 Torbalı’da kurulabilecek Orta Ölçekli Biyogaz Sistemlerinin Yıl bazında Ekonomik Durumu

Sistem Büyüklüğü	Sistem Sayısı	BİR SİSTEM İÇİN YILLIK GETİRİ (USD/YIL)	TOPLAM YILLIK GETİRİ (USD/YIL)	BİR SİSTEM İÇİN İŞLETME GİDERİ (USD/YIL)	TOPLAM İŞLETME GİDERİ (USD/YIL)	BİR SİSTEM İÇİN NET GELİR (USD/YIL)	TOPLAM NET GELİR (USD/YIL)
50 Büyükbaş kapasiteli	72	9.821	35.355.600	1.790	6.444.000	8.031	28.911.600
75 Büyükbaş kapasiteli	48	14.731	53.031.600	2.110	7.596.000	12.621	45.435.600
100 Büyükbaş kapasiteli	10	19.641	19.641.000	2.528	2.528.000	17.113	17.113.000
150 Büyükbaş kapasiteli	25	29.462	110.482.500	3.171	11.891.250	26.291	98.591.250
200 Büyükbaş kapasiteli	6	39.282	47.138.400	4.034	4.840.800	35.248	42.297.600

Hayvan sayısına göre orta ölçekli biyogaz sistemleri için ekonomik parametreler Tablo 3.18’ de görülmektedir (Eryasar, 2019).

Tablo 3.18 Hayvan Sayısına göre Orta Ölçekli Biyogaz Sistemleri için Ekonomik Parametreler

Sistem Büyüklüğü	MNBD (USD)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL)	İÇ KARLILIK ORANI (%)
50 Büyükbaş kapasiteli	12.083	12,15	13,4
75 Büyükbaş kapasiteli	38.430	7,63	18,7
100 Büyükbaş kapasiteli	55.126	7,22	19,5
150 Büyükbaş kapasiteli	107.566	5,4	24,6
200 Büyükbaş kapasiteli	147.451	5,21	25,2

Tablo 3.19; sistem büyüklüğü artıkça sistemin geri ödeme süresinin düşmekte ve iç karlılık oranının artmakta olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.19 Hayvan Sayısına göre Orta Ölçekli Biyogaz Sistemleri için Ekonomik Parametreler (Torbali)

Sistem Büyüklüğü (büyükbaş kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Mali Net Bugünkü Değerlerin Toplamı (USD)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL)	İÇ KARLILIK ORANI (%)
50	72	869.976	12,5	13,4
75	48	1.844.640	7,63	18,7
100	10	551.260	7,22	19,5
150	25	2.689.150	5,4	24,6
200	6	884.706	5,21	25,2

Küçük ölçekli biyogaz sistemlerinde geri ödeme süreleri daha kısadır. Bunun sebebi otomasyon sistemlerinin ve elektrik üretiminin olmamasından kaynaklanmaktadır. Orta ölçekli biyogaz sistemlerinin küçük ölçekli biyogaz sistemlerine göre avantajı elde edilen biyogazın tamamının değerlendirilebilir olmasıdır (Eryasar, 2019)

3.2.1.3 Büyük ölçekli sistemler için ekonomik analiz

Büyük ölçekli biyogaz sistemlerinden bahsederken analizleri üçe ayırarak yapmak doğru olacaktır. Bunlardan ilki atığın bulunduğu yerde biyogaz üretimi yapabilecek büyük ölçekli sistemler, ikincisi atığın çevre çiftliklerden getirildiği ve atık taşıma yarıçapının 3-6 km uzaklıkta olduğu sistemler, üçüncüsü ise çevre ilçe ve mahallelerden taşınması yoluyla yapılabilir, atık taşıma yarıçapının 15-30 km'yi bulduğu büyük ölçekli biyogaz sistemleridir (Eryasar, 2019) .

Tip 1 olarak nitelendirebileceğimiz yerinde kurulum yapacak büyük ölçekli biyogaz sistemleri dört ünitelerden oluşmaktadır.

1. Biyogaz üretim üniteleri (gübre havuzu, ön dengeleme havuzu, biyogaz reaktörü, fermente gübre depolama havuzu)
2. Biyogaz arıtma ve şartlandırma üniteleri (biyogaz deposu, köpük tutucu, kondens tutucu, biyogaz yakma bacası)
3. Enerji ünitesi (kojenerasyon ünitesi)
4. Kimyasal hazırlama ve dozlama üniteleri ($FeCl_3$ dozaj ünitesi)

Proses sonucu kojenerasyon ünitesinde elde edilen biyogaz elektrik ve ısı üretmektedir. Elde edilen elektrik enerjisi şebekeye verilirken ısı enerjisinin ise bir kısmı reaktörü ısıtmada kullanılmakta, bir kısmı da işletmenin gereksinimlerini karşılamak için sevk edilmektedir. (Eryasar, 2019)

Tablo 3.20 Büyük ölçekli sistemlerin yerinde kurulum yapılması durumunda ilk yatırım maliyetleri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	İlk yatırım maliyeti (\$)
250	194.010
300	220.051
350	245.977
400	271.788
450	297.486
500	323.072
750	449.364
1.000	573.042
1.500	813.171
2.000	1.044.700
2.500	1.268.870
3.000	1.486.920
4.000	1.909.622
5.000	2.322.728

Tablo 3.20; büyük ölçekli sistemlerin yerinde kurulum yapılması durumunda ilk yatırım maliyetlerini göstermektedir (Eryasar, 2019). Sistem büyüklüğü arttıkça, ilk yatırım maliyetlerinde de bir artış olduğu görülmektedir. Tip 1 olarak adlandırdığımız yerinde kurulum yapabilecek büyük ölçekli biyogaz sistemlerinin ilk çıktısı elektrik üretimidir.

Tablo 3.21 Torbalı’da büyük ölçekli sistemlerin yerinde kurulum yapılması durumunda ilk yatırım maliyetleri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (Adet)	Birim Maliyet (USD)	Toplam Maliyet (USD)
250	4	194.010	776.040
300	6	220.051	1.320.306
350	3	245.977	737.931
400	3	271.788	815.364
500	1	323.072	323.072
750	2	449.364	898.728
1.000	5	573.042	2.865.210
1.500	1	813.171	813.171
2.000	1	1.044.700	1.044.700

İkinci çıktı olarak ısı üretimi ve ayrıca azot yönünden zengin olan fermente gübre çıktısı mevcuttur. Böylece Tablo 3.20’den hareketle, Torbalı’da yerinde kurulum yapılması durumunda büyük ölçekli sistemlerin ilk yatırım miktarları Tablo 3.21’de gösterilmiştir.

Büyük ölçekli sistemlerin enerji çıktıları bakımından konvansiyonel ürünler ile karşılaştırması Tablo 3.22’de gösterilmiştir (Eryasar, 2019).

Tablo 3.22 Büyük ölçekli sistemlerin çıktıları

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Isı Enerjisi Üretimi (Kcal/yıl)	Kömür İkamesi (ton/yıl)	Doğalgaz İkamesi (m ³ /yıl)	12 kg'lık Tüp İkamesi (adet/yıl)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Sıvı Gübre Üretimi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
250	319.507.313	68,47	38.728	2.421	179.768	4.106	213,83
300	371.040.750	79,51	44.975	2.811	230.103	4.928	256,57
350	432.880.875	92,76	52.470	3.279	268.453	5.749	299
400	494.721.000	106,01	59.966	3.748	306.804	6.570	342
450	556.561.125	119,26	67.462	4.216	366.726	7.391	385
500	618.401.250	132,51	74.958	4.685	419.458	8.213	427,5
750	850.301.719	182,21	103.067	6.442	629.188	12.319	641,5
1.000	1.133.735.625	242,94	137.423	8.589	1.006.700	16.425	855
1.500	1.700.603.438	364,42	206.134	12.883	1.330.282	24.638	1.342,00
2.000	2.185.017.750	468,22	264.851	16.553	1.869.585	32.850	1.853,86
2.500	2.679.738.750	574,23	324.817	20.301	2.396.904	41.063	2.281,57
3.000	3.215.686.500	689,08	389.780	24.361	2.876.285	49.275	3.066,50
4.000	4.287.582.000	918,77	519.707	32.482	4.026.799	65.700	3.922,00
5.000	5.359.477.500	1.148,46	649.634	40.602	5.153.344	82.125	4.777,50

Tablo 3.22’de yerinde kurulum yapılabilecek büyük ölçekli sistemlerin çıktıları gösterilmiştir. Bu verilere göre Torbalı’da yerinde kurulum yapılabilecek büyük ölçekli sistemlerin çıktıları Tablo 3.23 deki gibidir.

Tablo 3.23 Torbalı’da yerinde kurulum yapılabilecek büyük ölçekli sistemlerin çıktıları

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı	Toplam Isı Enerjisi Üretimi (Kcal/yıl)	Toplam Kömür İkamesi (ton/yıl)	Toplam Doğalgaz İkamesi (m ³ /yıl)	Toplam 12 kg'lık Tüp İkamesi (adet/yıl)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Sıvı Gübre Üretimi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
250	4	1.278.029.252	273,88	154.912	9.684	719.072	16.424	855,32
300	6	2.226.244.500	477,06	269.850	16.866	1.380.618	29.568	1.539,42
350	3	1.298.642.625	278,28	157.410	9.837	805.359	17.247	897
400	3	1.484.163.000	318,03	179.898	11.244	920.412	19.710	1.026
500	1	618.401.250	132,51	74.958	4.685	419.458	8.213	427,5
750	2	1.700.603.438	364,42	206.134	12.884	1.258.376	24.638	1.283
1.000	5	5.668.678.125	1214,7	687.115	42.945	5.033.500	82.125	4.275
1.500	1	1.700.603.438	364,42	206.134	12.883	1.330.282	24.380	1.342
2.000	1	2.185.017.750	468,22	264.851	16.553	1.869.585	32.850	1.853,86

Büyük ölçekli sistemlerin yerinde kurulması durumunda ekonomik parametreleri Tablo 3.24’te gösterilmiştir (Eryasar, 2019).

Tablo 3.24 Büyük Ölçekli Sistemlerin atıkların bulunduğu yerde kurulması durumunda Ekonomik Parametreleri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	MNBD (USD)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL)	İÇ KARLILIK ORANI (%)
250	115.943	7,54	18,8
300	152.708	6,92	20,1
350	201.482	6,24	21,9
400	260.568	5,62	23,7
450	301.943	5,41	24,5
500	343.438	5,23	25,1
750	482.506	5,19	25,3
1.000	697.768	4,75	27,2
1.500	1.049.571	4,56	28,2
2.000	1.549.835	4,1	30,7
2.500	2.057.929	3,83	32,5
3.000	2.433.220	3,81	32,7
4.000	3.476.683	3,51	35,1
5.000	4.530.355	3,22	36,8

Yukarıda gösterilmiş olan veriler neticesinde Torbalı’da büyük ölçekli sistemlerin yerinde kurulması durumunda oluşan ekonomik analiz Tablo 3.25’te gösterilmiştir.

Tablo 3.25 Büyük Ölçekli Sistemlerin atıkların bulunduğu yerde kurulması durumunda Ekonomik Parametreleri (Torbalı)

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Mali Net Bugünkü Değerlerin Toplamı (USD)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL)	İÇ KARLILIK ORANI (%)
250	4	610.832	7,54	18,8
300	6	201.482	6,92	20,1
350	3	260.568	6,24	21,9
400	3	301.943	5,62	23,7
500	1	343.438	5,23	25,1
750	2	482.506	5,19	25,3
1.000	5	697.768	4,75	27,2
1.500	1	1.049.571	4,56	28,2
2.000	1	1.549.835	4,1	30,7

Tablodan da anlaşılacağı üzere büyükbaş hayvan sayısı attıkça geri ödeme süresi kısalmakta ve iç karlılık oranı da artmaktadır. Buradaki en önemli konulardan birisi fermente gübrenin gerekli mevzuatlarla garanti altına alınması gerekliliğidir. Ayrıca proses sonucu elde edilen ısının yaz aylarında da etkin bir şekilde kullanıma dönüştürülmesi önemlidir. Aksi takdirde yapılmış olan bu hesaplamalarda geri ödeme süreleri iki katına kadar çıkabilir (Eryasar, 2019)

Büyük ölçekli sistemlerde Tip 2 olarak adlandırabileceğimiz atıkların 3-6 km yarıçaplı mesafeden getirilmesi ile işletilen sistemler mevcuttur. Bu durumda yerinde kurulum yapılan büyük ölçekli sistemlerde olmayan atıkları taşıma maliyeti ve besleme, boşaltma tanklarının büyümesi, ayrıca atık ısının 3 km ye kadar dağıtımının yapılmasının bir sonucu olarak maliyetler artış göstermektedir.

Bu durumda Tip 2 biyogaz sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri aşağıdaki Tablo 3.26’da gösterilmiştir.

Tablo 3.26 Atıkların 3-6 km yarıçaplı mesafeden taşınması durumunda büyük ölçekli sistemlerin ilk yatırım maliyetleri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	İlk yatırım maliyeti (\$)
1.000	675.552
1.500	956.456
2.000	1.221.473
2.500	1.474.677
3.000	1.718.467
3.500	1.954.427
4.000	2.183.685
4.500	2.407.084
5.000	2.625.277
6.000	3.048.041
7.000	3.455.147
8.000	3.848.848
10.000	4.807.866
13.000	5.664.188
16.000	6.660.650
18.000	7.294.984
20.000	7.908.495
27.000	9.918.783
33.000	11.503.730

Yapılmış olan hesaplamalarda vidanjörlerin 20 ton atık taşıma kapasiteli olduğu, atıkları 4 km mesafeden taşıdığı ve 100 km de 33 litre motorin tükettiği varsayılmıştır. Motorin fiyatı litre başına 1,105 dolar olarak hesaplamalara dahil edilmiştir (Eryasar, 2019)

Tablo 3.27 Torbalı’da Atıkların 3-6 km yarıçaplı mesafeden taşınması durumunda büyük ölçekli sistemlerin ilk yatırım maliyetleri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	İlk yatırım maliyeti (\$)
1.000	3	2.026.656
1.500	3	2.869.368
2.000	1	1.221.473
2.500	1	1.474.677
3.000	1	1.718.467
5.000	1	2.625.277

Bu durumda Torbalı’da atıkların 3-6 km yarıçaplı mesafeden taşındığı varsayımı ile kurulabilecek büyük ölçekli biyogaz sistemleri için ilk yatırım maliyetleri Tablo 3.27’de gösterilmiştir.

Tablo 3.28’de verilmiş olan verilerden yararlanılarak Torbalı’da atıkların 3-6 km yarıçaplı mesafeden taşınması durumunda elde edilen biyogaz sistemlerinin çıktıları Tablo 3.29’da gösterilmiştir (Eryasar, 2019).

Tablo 3.28 Atıkların 3-6 km’den taşındığı büyük ölçekli biyogaz sistemlerin çıktıları

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Isı Enerjisi Üretimi (Kcal/yıl)	Kömür İkamesi (ton/yıl)	Doğalgaz İkamesi (m ³ /yıl)	12 kg'lık Tüp İkamesi (adet/yıl)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Sıvı Gübre Üretimi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
1.000	1.133.735.625	242,94	137.423	8.589	1.006.700	16.424	855
1.500	1.700.603.438	364,42	206.134	12.883	1.330.282	24.638	1.342,00
2.000	2.185.017.750	468,22	264.851	16.553	1.869.585	32.850	1.853,86
2.500	2.679.738.750	574,23	324.817	20.301	2.396.904	41.063	2.281,57
3.000	3.215.686.500	689,08	389.780	24.361	2.876.285	49.275	3.066,50
3.500	3.751.634.250	803,92	454.744	28.421	3.523.449	57.488	3.494,00
4.000	4.287.582.000	918,77	519.707	32.482	4.026.799	65.700	3.922,00
4.500	4.823.529.750	1.033,61	584.670	36.542	4.530.149	73.913	4.412,25
5.000	5.359.477.500	1.148,46	649.634	40.602	5.153.344	82.125	4.777,50
6.000	6.555.053.250	1.404,65	794.552	49.659	6.040.198	98.550	5.132,83
7.000	7.647.562.125	1.638,76	926.977	57.936	7.046.898	114.975	5.988,31
8.000	8.575.164.000	1.837,54	1.039.414	64.963	8.053.598	131.400	7.562,00
10.000	10.718.955.000	2.296,92	1.299.267	81.204	10.066.997	164.250	9.388,00
13.000	13.398.693.750	2.871,15	1.624.084	101.505	14.021.889	213.525	12.621,00
16.000	16.490.700.000	3.533,72	1.998.873	124.930	17.257.709	262.800	15.021,00
18.000	18.552.037.500	3.975,44	2.248.732	140.546	19.414.923	295.650	18.065,00
20.000	20.613.375.000	4.417,15	2.498.591	156.162	21.572.137	328.500	17.609,50
27.000	28.384.617.375	6.082,42	3.440.560	215.035	29.122.384	443.475	25.598,00
33.000	34.012.068.750	7.288,30	4.122.675	257.667	35.594.025	542.025	36.230,00

Tablo 3.29 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli biyogaz sistemlerin çıktıları (Torbalı)

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Isı Enerjisi Üretimi (Kcal/yıl)	Kömür İkamesi (ton/yıl)	Doğalgaz İkamesi (m ³ /yıl)	12 kg'lık Tüp İkamesi (adet/yıl)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Sıvı Gübre Üretimi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
1.000	3	1.133.735.625	728,82	137.423	25.767	3.020.100	49.272	2.565
1.500	3	5.101.810.314	1.093,26	618.402	38.649	3.990.846	73.914	4.026
2.000	1	2.185.017.750	468,22	264.851	16.553	2.396.904	32.850	1.854
2.500	1	2.679.738.750	574,23	324.817	20.301	2.396.904	41.063	1.854
3.000	1	3.215.686.500	689,08	389.780	24.361	2.876.285	49.275	3.067
5.000	1	5.359.477.500	1.148,46	649.634	40.602	5.153.344	82.125	4.778

Tüm bu veriler ışığında Tip 2 olarak adlandırdığımız büyük sistemlerin yıllık gelir gider tablosu aşağıdaki Tablo 3.30'te gösterilmiştir (Eryasar, 2019).

Tablo 3.30 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli sistemlerin yıllık gelir gider tablosu

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	YILLIK GETİRİ (\$/YIL)	İŞLETME GİDERİ (\$/YIL)	NET GELİR (\$/YIL)
1.000	234.663	89.642	145.021
1.500	351.995	139.326	212.669
2.000	469.327	170.691	298.636
2.500	586.659	201.821	384.838
3.000	703.990	250.762	453.228
3.500	821.322	281.547	539.775
4.000	938.654	312.198	626.456
4.500	1.055.986	342.731	713.255
5.000	1.173.317	373.160	800.157
6.000	1.407.981	433.747	974.234
7.000	1.642.644	512.020	1.130.624
8.000	1.877.308	572.025	1.305.283
10.000	2.346.635	695.467	1.651.168
13.000	3.050.625	886.987	2.163.638
16.000	3.754.616	1.063.309	2.691.307
18.000	4.223.943	1.198.258	3.025.685
20.000	4.693.269	1.314.790	3.378.479
27.000	6.335.914	1.755.912	4.580.002
33.000	7.743.895	2.118.397	5.625.498

Tablo 3.30'daki verilerden hareketle Torbalı'da atıkların 3-6 km yarıçaplı mesafeden taşınması ile elde edilebilecek yıllık gelir ve net gelir tablosu Tablo 3.31'de gösterilmiştir.

Tablo 3.31 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli sistemlerin yıllık gelir gider tablosu (Torbalı)

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	YILLIK GETİRİ (\$/YIL)	İŞLETME GİDERİ (\$/YIL)	NET GELİR (\$/YIL)
1.000	3	703.989	268.926	435.063
1.500	3	1.055.985	417.978	638.007
2.000	1	469.327	170.691	298.636
2.500	1	586.659	201.821	384.838
3.000	1	703.990	250.762	453.228
5.000	1	1.173.317	373.160	800.157

Mali net bugünkü değerleri geri ödeme süreleri ve iç karlılık bilgileri Tablo 3.32’de gösterilmiştir.

Tablo 3.32 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli sistemlerin Ekonomik Parametreleri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	MNBD (\$)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL)	İÇ KARLILIK ORANI (%)
1.000	508.270	6,59	20,9
1.500	776.473	6,27	21,8
2.000	1.200.890	5,53	24,1
2.500	1.637.875	5,07	25,8
3.000	1.945.563	5,00	26,1
3.500	2.400.894	4,72	27,4
4.000	2.863.355	4,50	28,4
4.500	3.332.049	4,33	29,4
5.000	3.806.281	4,17	30,3
6.000	4.769.239	3,93	31,8
7.000	5.609.542	3,83	32,6
8.000	6.603.419	3,67	33,8
10.000	8.408.594	3,62	34,2
13.000	11.596.442	3,19	38,1
16.000	14.774.510	2,98	40,3
18.000	16.785.798	2,89	41,4
20.000	18.958.552	2,80	42,6
27.000	26.430.319	2,57	46,1
33.000	33.081.182	2,41	48,8

Tablo 3.32’te görüleceği üzere büyük ölçekli sistemlerde geri ödeme süreleri oldukça düşmektedir. Sistem daha da büyüdükçe geri ödeme süreleri daha da azalacaktır. Torbalı’da atıkların 3-6 km yarıçaplı mesafeden taşındığı varsayımı ile kurulabilecek sistemlerin mali net bugünkü değerleri toplamı Tablo 3.33’te gösterilmiştir.

Tablo 3.33 Atıkların 3-6 km'den taşındığı büyük ölçekli sistemlerin Ekonomik Parametreleri (Torbalı)

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Mali Net Bugünkü Değerler Toplamı (\$)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL)	İÇ KARLILIK ORANI (%)
1.000	3	1.524.810	6,59	20,9
1.500	3	2.329.419	6,27	21,8
2.000	1	1.200.890	5,53	24,1
2.500	1	1.637.875	5,07	25,8
3.000	1	1.945.563	5,00	26,1
5.000	1	3.806.281	4,17	30,3

Büyük ölçekli sistemlerde Tip 3 olarak adlandırabileceğimiz atıkların yarıçapı 20-30 km olan yerlerden getirildiği sistemler mevcuttur.

Tablo 3.34 Atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşındığı büyük ölçekli sistemlerin ilk yatırım maliyetleri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	İlk yatırım maliyeti (\$)
8.000	3.848.848
10.000	4.807.866
12.000	5.318.297
13.000	5.664.188
16.000	6.660.650
18.000	7.294.984
24.000	9.081.026
25.000	9.363.972
27.000	9.918.783
30.000	10.725.306
37.000	12.502.281
60.000	17.561.691
67.000	18.919.214
75.000	20.387.172
119.000	27.210.777

İlk yatırım maliyetleri Tip 2 olarak adlandırdığımız diğer büyük ölçekli sistemler ile aynı olan bu sistemlerde tek büyük maliyet farkı taşıma mesafesinden kaynaklanmaktadır.

Bu durumda atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşındığı bir sistem kurulmak istendiğinde ilk yatırım maliyetleri Tablo 3.34'teki gibi olacaktır (Eryasar, 2019). Yukarıdaki ilk yatırım maliyetleri hesaplamalarına ekonomik

yönden avantajlı olmadığı için 8000 büyükbaş hayvan bulunan sistemlerden daha düşük olan sistemler hesaplamalara dahil edilmemiştir (Eryasar, 2019).

Torbalı ilçesi için atıkların 20 km yarıçaplı mesafeden taşınabileceği 1 adet sistem kurulabilir olarak görülmektedir. Bu sistemlerin çıktıları Tablo 3.35'te gösterilmiştir. Bu durumda 27.000 büyükbaş hayvan kapasiteli bir sistemin ilk yatırım maliyeti 9.918.783 \$ olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca Tablo 3.35'te 27.000 büyükbaş kapasiteli bir adet sistemin bir yılda üreteceği enerji eşdeğeri; 28.384.617.375 kcal ısı enerjisi, 6.082,42 ton kömür, 3.440.560 m³ doğalgaz, 215.035 adet 12 kg'lık tüp, 29.122.384 kWh elektrik, 443.475 ton sıvı gübre, 25.598 ton gübre'dir.

Tablo 3.35 Atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşındığı büyük ölçekli sistemlerin çıktıları

Sistem Büyükklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Isı Enerjisi Üretimi (Kcal/yıl)	Kömür İkamesi (ton/yıl)	Doğalgaz İkamesi (m ³ /yıl)	12 kg'lık Tüp İkamesi (adet/yıl)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Sıvı Gübre Üretimi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
8.000	8.575.164.000	1.837,54	1.039.414	64.963	8.053.598	131.400	7.562,00
10.000	10.718.955.000	2.296,92	1.299.267	81.204	10.066.997	164.250	9.388,00
12.000	12.368.025.000	2.650,29	1.499.155	93.697	12.943.282	197.100	10.266,00
13.000	13.398.693.750	2.871,15	1.624.084	101.505	14.021.889	213.525	12.621,00
16.000	16.490.700.000	3.533,72	1.998.873	124.930	17.257.709	262.800	15.021,00
18.000	18.552.037.500	3.975,44	2.248.732	140.546	19.414.923	295.650	18.065,00
24.000	24.736.050.000	5.300,58	2.998.309	187.394	25.886.564	394.200	21.131,40
25.000	26.282.053.125	5.631,87	3.185.703	199.106	26.965.171	410.625	23.887,00
27.000	28.384.617.375	6.082,42	3.440.560	215.035	29.122.384	443.475	25.598,00
30.000	31.538.463.750	6.758,24	3.822.844	238.928	32.358.205	492.750	28.164,00
37.000	38.897.438.625	8.335,17	4.714.841	294.678	39.908.453	607.725	34.152,00
60.000	61.840.125.000	13.251,46	7.495.773	468.486	64.716.410	985.500	57.328,00
67.000	69.054.806.250	14.797,46	8.370.280	523.142	72.266.658	1.100.475	64.093,00
75.000	78.846.159.375	16.895,61	9.557.110	597.319	80.895.512	1.231.875	66.660,00
119.000	122.649.581.250	26.282,05	14.866.616	929.163	128.354.213	1.954.575	114.801,00

Tablo 3.36 'de atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşınması durumunda ortaya çıkacak olan yıllık getirileri gösterilmiştir.

Tablo 3.36'te görüldüğü üzere 27.000 büyükbaş kapasiteli bir merkezi biyogaz sistemi kurulumunda beklenen yıllık getiri 6.335.914 dolar net gelir ise bir yılda 4.580.001 dolardır.

Tüm bu veriler ışığında atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşınması durumunda oluşacak ekonomik analiz sonuçları ise Tablo 3.37'de gösterilmiştir. Buna göre, yatırım açısından büyük sistemlerin oldukça avantajlı olduğu görülmektedir. Bu hesaplamaların tamamında fermente gübrenin %20 sinin satışının yapılabildiği ve proses sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisinin tamamının değerlendirildiği varsayılmıştır (Eryasar, 2019).

Tablo 3.36 Atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşındığı büyük ölçekli sistemlerin yıllık getirileri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	YILLIK GETİRİ (\$/YIL)	İŞLETME GİDERİ (\$/YIL)	NET GELİR (\$/YIL)
8.000	1.877.308	572.025	1.305.283
10.000	2.346.635	695.467	1.651.168
12.000	2.815.962	827.938	1.988.024
13.000	3.050.625	886.987	2.163.639
16.000	3.754.616	1.063.309	2.691.307
18.000	4.223.943	1.198.258	3.025.685
24.000	5.631.923	1.564.764	4.067.159
25.000	5.866.587	1.622.554	4.244.033
27.000	6.335.914	1.755.912	4.580.001
30.000	7.039.904	1.946.436	5.093.468
37.000	8.682.549	2.364.892	6.317.656
60.000	14.079.808	3.707.093	10.372.715
67.000	15.722.453	4.117.161	11.605.292
75.000	17.599.761	4.599.568	13.000.193
119.000	27.924.953	7.071.803	20.853.150

Tablo 3.37 Atıkların 20-30 km yarıçaplı mesafeden taşındığı büyük ölçekli sistemlerin ekonomik parametreleri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	MNBD (\$)	GERİ ÖDEME SÜRESİ (YIL)	İÇ KARLILIK ORANI (%)
8.000	6.603.419	3,67	33,8
10.000	8.408.595	3,62	34,2
12.000	10.551.700	3,27	37,3
13.000	11.596.442	3,19	38,1
16.000	14.774.510	2,98	40,3
18.000	16.785.798	2,89	41,4
24.000	23.222.720	2,66	44,7
25.000	24.334.428	2,62	45,2
27.000	26.430.318	2,57	46,1
30.000	29.671.147	2,49	47,4
37.000	37.530.443	2,32	50,5
60.000	64.315.528	1,94	59,0
67.000	72.621.072	1,87	61,3
75.000	82.082.543	1,79	63,7
119.000	136.658.040	1,05	76,6

3.2.2 Torbalı ilçesine kurulabilecek farklı tipteki tesislerin istihdam etkileri

Bir biyogaz tesisi kurmak istediğiniz için size yardımcı olmaya çalışırım. İstihdam maliyetleri, bir işletme ya da projenin çalışanlarının maaşları ve benzeri giderleri içerir. Bu maliyetler, bir işletmenin faaliyetine göre değişebilir ve genellikle bir işletmenin en yüksek giderlerinden biridir. Bir biyogaz tesisi kuruluşu için istihdam maliyetleri, tesisin büyüklüğüne, çalışan sayısına ve çalışanların eğitim düzeyine göre değişebilir. Örneğin, daha büyük bir tesis için daha fazla çalışan gerektiğinden, istihdam maliyetleri daha yüksek olabilir. Aynı şekilde, daha eğitilmiş çalışanların maaşları da daha yüksek olabilir. Bir biyogaz tesisi kuruluşunun istihdam maliyetlerini daha da azaltmak için, otomatikleştirilmiş sistemler kullanılabilir. Bu, çalışan sayısını azaltırken, işletme maliyetlerini de azaltabilir. Ancak, bu çözüm genellikle yüksek başlangıç maliyetleri gerektirdiğinden, tesisin büyüklüğü ve ölçeğine göre uygun olmayabilir. Sonuç olarak, bir biyogaz tesisi kuruluşunun istihdam maliyetleri, tesisin büyüklüğü, çalışan sayısı ve çalışanların eğitim düzeyine göre değişebilir. Bu maliyetleri azaltmak için otomatikleştirilmiş sistemler kullanılabilir, ancak bu çözüm genellikle yüksek başlangıç maliyetleri gerektirir. Biyogaz tesislerinin kurulumu, tesisin büyüklüğüne ve amaçlarına göre değişebilir. Örneğin, küçük ölçekli bir tesis yalnızca birkaç bina için enerji üretirken, büyük ölçekli bir tesis ağırlıklı olarak enerji üretimi amaçlı olabilir. Tesisin kurulumu, tesisin yapısının tasarımı, inşaatı, ekipmanların kurulumu, tesisin bağlantısının yapılması gibi birçok aşamadan oluşur. Biyogaz tesislerinin işletme ve bakım/onarım işlemleri, tesisin işleyişini sürdürebilmesi ve verimini maksimize etmek amacıyla yapılır. Bu işlemler, tesisin ekipmanlarının bakımının yapılması, tesisin işletme parametrelerinin izlenmesi, atık maddelerin sürekli olarak tesisin içine alınması ve biyogaz üretiminin izlenmesi gibi faaliyetleri içerir. Ayrıca, tesisin bakım/onarım işlemleri, tesisin ekipmanlarının arıza durumlarında onarımının yapılmasını içerir. Biyogaz tesislerinin kurulumu, işletme ve bakım/onarım işlemlerinde çalışanların sayısı, tesisin büyüklüğüne ve işletme şekline göre değişebilir. Örneğin, küçük ölçekli bir tesisin işletme ve bakım/onarım işlemlerini yürütebilmek için yalnızca birkaç çalışan gerekebilirken, büyük ölçekli bir tesisin işletme ve bakım/onarım işlemlerini yürütebilmek için daha fazla çalışan gerekebilir.

4. HESAPLAMALAR

Bu çalışmada İzmir'in Torbalı ilçesi için mevcut büyükbaş hayvan potansiyeli göz önüne alınarak, Yerinde kurulum, Köy tipi ve Merkezi sistem olmak üzere farklı sistemleri içeren 3 farklı senaryo uygulanmıştır. Bu senaryolar uygulanırken; ilk yatırım maliyetleri, sistemlerin yıllık getirileri, bu sistemlerin çevresel açıdan etkileri ve istihdama olan katkısı gibi konular incelenmiştir. Hesaplamaların net olarak anlaşılması açısından Torbalı'da yerinde kurulum yapılabilecek 1.000 büyükbaş kapasiteli bir adet sistem örnek olarak verilmiştir. Torbalı için diğer tüm hesaplamalar sonuçlar kısmında gösterilmiştir.

4.1 Örnek Hesaplama

Bu bölümde Torbalı ilçesinde farklı büyükbaş hayvan sayılarına göre Yerinde Kurulum yapılması durumunda elektrik, ısı, gübre gibi satışı yapılarak gelir elde edilebilecek parametrelerin bir analizi yapılmıştır. 3 – 2.000 adet aralığında 18 farklı büyükbaş hayvan kapasiteli senaryo için yerinde kurulum potansiyelleri incelenmiştir. Yapılan hesaplamalar 1.000 Büyükbaş hayvan kapasiteli sistemler baz alınarak yapılmıştır. Diğer senaryolardan elde edilen veriler Sonuçlar bölümünde gösterilecektir.

4.1.1 İlk yatırım maliyeti hesaplanması

İZKA (2020) raporundan elde edilmiş olan verilerden hareketle 1000 büyükbaş hayvan kapasitesine sahip yerinde kurulum yapılabilecek 1 sistemin ilk yatırım maliyeti 573.042 TL olmaktadır.

4.1.2 Atık miktarı hesaplanması

Torbalı ilçesinde 1000 büyükbaş hayvan kapasiteli “Yerinde Kurulum” yapılabilecek 5 adet sistem potansiyeli mevcuttur. Burada, bir büyükbaş hayvanın bir günde oluşturacağı atık 30 kg olacak şekilde hesaplanmıştır. Bu durumda bir gün için toplam atık aşağıdaki şekilde bulunur.

$$1.000 \text{ (büyükbaş)} \times 30 \text{ kg} = 30.000 \text{ kg} = 30 \text{ ton (1 gün için)}$$

Bu miktarın yaklaşık olarak %15'i katı formdadır. Bu durumda;

$$\text{Katı Madde Miktarı} = 30 \text{ ton/gün} \times 0,15 = 4,5 \text{ ton/gün}$$

olmaktadır.

Reaktör içinde bulunan atıkların “Toplam Katı Dizayn Değeri” %10 olarak alınmıştır. Bu durum, atıkların sulandırılmasını gerekli kılmaktadır. Ahırlarda kullanılan yıkama suyu ile bu gereksinim azalacaktır. Gerekli koşullarda, ön dengeleme havuzuna su ilave edilerek, katı madde miktarının %10 seviyesinde tutulması amaçlanmıştır. Bu durumda, eklenecek en yüksek su miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\text{Su Miktarı} = (4,5 \text{ ton/gün} \div 0,10) - 30 \text{ ton/gün} = 15 \text{ ton/gün}$$

1000 hayvan kapasiteli yerinde kurulum yapılan bir sistemde, 1 reaktöre beslenecek olan günlük hacimsel atık miktarı ise;

$$\text{Kullanılacak Hacimsel Atık Miktarı} = 30 \text{ m}^3/\text{gün} + 15 \text{ m}^3/\text{gün} = 45 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Olur. Burada, su yoğunluğu 1.000 kg/m^3 olarak alınmıştır. Uçucu katı madde miktarı ise, IZKA (2020) raporundaki verilerle uyumlu olarak %83 olarak alınmıştır. Bu durumda, kullanılabilir Uçucu katı madde miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Uçucu Katı Madde Miktarı} = 4,5 \text{ ton/gün} \times 0,83 = 3,735 \text{ ton/gün}$$

4.1.3 Proses tasarımı

4.1.3.1 Ön dengeleme tankı boyutlandırması

Ön dengeleme tankı boyutlandırması yapılırken günlük bazda reaktöre beslenmesi planlanan atık miktarı hesaba katılmalıdır. İşlevsel anlamda bir sorun yaşanmaması adına kullanılabilir havuz hacmi 1 günde reaktöre beslenmesi planlanan organik atık miktarının 2 katı olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu durumda Ön dengeleme tankı hacmi aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\text{Kullanılabilir Ön Dengeleme Tankı Hacmi} = 2 \times 45 \text{ m}^3 = 90 \text{ m}^3$$

1000 büyükbaş hayvan kapasiteli yerinde kurulum sistemi için 1 adet ön dengeleme tankı yeterli olacaktır. Burada, hava boşluğu için bir hacim bırakmak gerekli olduğundan, kullanılabilir tank yüksekliğine 0.5 metre ilave hava boşluğu yüksekliği konulmuştur. Elde edilen ön dengeleme tankı boyutları Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 1000 büyükbaş hayvanlı yerinde kurulum sistemi için tank boyutları

Tank Çapı (m)	7
Tank Yüksekliği (m)	3,51
Toplam Hacim (m ³)	135
Kullanılabilir Havuz Yüksekliği (m)	3,01
Kullanılabilir Hacim (m ³)	90

4.1.3.2 Biyogaz reaktörü boyutlandırması

Bir Biyogaz reaktörü boyutlandırılırken dikkat edilmesi gereken en önemli parametrelerden biri biyokütlenin bekleme zamanının saptanmasıdır. U.K. giderimi değerinin yaklaşık olarak %88 olduğu gün sayısı ile bu süre tahmin edilmektedir (IZKA, 2020). Tesis büyükbaş hayvan atığı ile çalıştığı için, bekletme süresi ortalama değer olan 35 gün olarak alınmıştır. Daha önce hesaplanmış olan, bir günde oluşabilecek toplam atık hacmi kullanılarak, reaktör için tasarlanması gereken toplam hacim aşağıdaki şekilde olmaktadır.

$$\text{Reaktör H.} = 45 \text{ m}^3/\text{gün} \cdot 35 (\text{gün}) = 1.575 \text{ m}^3$$

1.000 büyükbaş hayvan kapasiteli bir yerinde kurulum sisteminde 1 adet reaktör yeterli olacaktır. Ancak, daha büyük sistemlerde, daha fazla sayıda reaktör kullanılması mümkündür. Buna göre, elde edilen toplam reaktör hacmi, reaktör sayısına bölünerek birim reaktör hacmi saptanmalıdır. Ayrıca, ön dengeleme tankı boyutlandırılmasında olduğu gibi, yine sıvı seviyesinin üzerinde 1 metre kadar boşluk bırakılması gereklidir. Bu durumda 1000 büyükbaş hayvan içeren bir yerinde kurulum sistemi için kullanılacak reaktör boyutları Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 1000 büyükbaş hayvanlı yerinde kurulum sistemi reaktörü için boyutlandırma

Reaktör Çapı (m)	10
Reaktör Yüksekliği (m)	6,01
Toplam Reaktör Hacim (m ³)	471,78
Kullanılabilir Reaktör Yüksekliği (m)	5,01
Kullanılabilir Reaktör Hacmi (m ³)	393,75

4.1.3.3 Reaktöre yüklenecek katı madde miktarları

Torbalı ilçesinde kurulacak olan 1000 büyükbaş hayvan kapasiteli bir yerinde kurulum biyogaz sistemi için birim hacim başına katı madde yükleme ve uçucu katı madde yükleme değerleri sırasıyla aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\text{Katı Madde Yükleme} = 4.500 \text{ kg/gün} \div 1.575 \text{ m}^3 = 2,85 \text{ kg/m}^3.\text{gün}$$

$$\text{Uçucu Katı Madde Yükleme} = 3.735 \text{ kg/gün} \div 1.575 \text{ m}^3 = 2,37 \text{ kg/m}^3.\text{gün}$$

4.1.3.4 Günlük biyogaz üretiminin hesaplanması

1000 büyükbaş kapasiteli yerinde kurulum biyogaz sistemi için beklenen günlük biyogaz üretimi, 35 günlük bekletme süresinde giderilen uçucu katı madde miktarının bir fonksiyonudur. IZKA (2020) raporunda İzmir ili için yapılan çalışmada 35. Günde %90 giderimin sağlandığı ve uçucu katı madde veriminin %55 olduğu hesaplanmıştır. Bu çalışmada da aynı değerler kullanılmıştır. Giderilen uçucu katı madde giderimi (UKMG) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{UKMG} = 3.735 \text{ kg/gün} \cdot 0,55 = 2.054,25 \text{ kg/gün}$$

1 kg uçucu katı madde başına 0,25 m³ metan oluşumu meydana gelmektedir. Bu durumda, günlük metan üretimi şu şekilde olur.

$$\text{Metan Üretimi} = 2.054,25 \text{ kg/gün} \times 0,25 \text{ m}^3/\text{kg} = 513,56 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Toplam biyogaz içerisindeki metan gazının oranı %55 olarak kabul edilmektedir (IZKA, 2020). Bu durumda, günlük biyogaz üretimi aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{Biyogaz Üretimi} = 513,56 \text{ m}^3/\text{gün} \div 0,55 = 933,75 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Reaktörü ısıtmak için 186,75 m³/gün miktarında biyogaz kullanılmaktadır. Toplam miktardan reaktörü ısıtmak için kullanılan miktar düşüldüğünde, 747 m³/gün gaz kalmaktadır. Günlük Biyogaz üretiminin ısı karşılığı ise;

$$747 \text{ m}^3/\text{gün} \times 5.020 \text{ kcal/m}^3 = 3.749.940 \text{ kcal}$$

olarak bulunur. %55 metan içeriğine sahip biyogazın alt ısı değeri yaklaşık olarak 21 MJ/m³ (5.020 kcal/m³ – 5,837 kWh/m³) olduğu bilinmektedir (IZKA, 2020). Kojenerasyon ünitesinin elektrik çevrim verimi %35 ve termal verim %45 alınır.

$$3.749.940 \text{ kcal} \times 860 \text{ kWh/kcal} = 4.360,39 \text{ kWh}$$

$$\text{Üretilen Elektrik Enerjisi} = 4.360,39 \text{ kWh} \times 0,35 = 1.526,13 \text{ kWh/gün}$$

Sistem içerisinde bulunan kojenerasyon ünitesinin 24 saat çalışacağı varsayımı ile kurulu güç hesabı şu şekilde bulunur.

$$\text{Jeneratör Gücü} = 1.526,13 \text{ kWh} \div 24 \text{ saat} = 63,58 \text{ kWe}$$

Bu durumda, termal enerji üretimi ise;

$$\text{Termal Enerji Üretimi} = 933,75 \text{ m}^3/\text{gün} \times 5.020 \text{ kcal/m}^3 \times 0,45 = 1.687.473 \text{ kcal/gün}$$

olarak hesaplanır. Bu veriler kullanılarak termal güç hesabı aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\text{Termal Güç} = 1.687.473 \text{ kcal} \div 24 \text{ saat} = 70.311,38 \text{ kcal/saat} = 81.75 \text{ kW}$$

4.1.4 Yıllık getiri hesabı

Biyogaz üretimi sonucu elde edilen yıllık getiriler elektriğin satışından, ısı enerjisinin kullanımından ve proses sonucu ortaya çıkan fermente gübrenin satışından elde edilen getiriler olarak üç kalemden incelenmektedir. Bu durumda ilk olarak bahsetmemiz gereken en önemli getiri üretilen elektriğin satılması durumunda elde edilecek elektrik üretimi getirisi.

Elektrik üretiminden sağlanan gelir hesabı yapılırken YEKDEM tarafından belirlenmiş olan fiyatlandırma esas alınmıştır (54 TL kurş/kWh). Bu değer 05/10/2022 Dolar/TL paritesi ile çevrilerek 0,0289 \$ sent / kWh olarak hesaplanmıştır.

Böylece 1000 büyükbaş kapasiteli bir yerinde kurulum biyogaz sisteminin elektrik satışından elde edilecek günlük getirisi 873,76 TL (46,73 dolar/sent) olmaktadır. Yıllık olarak ise bu değer 318.922,4 TL (17.056,45 \$) olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada \$/TL kuru 18,7 olarak alınmıştır.

Üretilen ısı enerjisi; reaktörlerin ısıtılması, sıcak su hazırlama ve mahal ısıtma amacıyla tesis içerisinde kullanılmakta ve bu kullanımlar sonrasında kalan ısı enerjisinin satışı yapılmaktadır. Torbalı ilçesinde kurulması olası sistemlerin tümünde ısı enerjisi tesisi içerisinde değerlendirilebilir, ancak elde edilen miktarın yetersizliği dolayısı ile satışı mümkün değildir.

1000 büyükbaş kapasiteli bir yerinde kurulum biyogaz sistemi için üretilen fermente gübre miktarından elde edilecek parasal getiri hesaplanırken %4 katı madde içeren fermente gübrenin tamamının katı fraksiyonu ele alınmıştır. Fermente gübrenin kimyasal gübre karşılığı hesaba katılarak, 2022 yılı itibarıyla piyasada satılan 50 kg kompoze gübrenin ortalama satış fiyatı 400 TL olarak belirlenmiştir. 1 adet 1000 büyükbaş hayvan kapasiteli yerinde kurulum biyogaz sisteminden yılda

855 ton fermente gübre elde edilmektedir (IZKA, 2020). Böylece fermente gübre kaleminden elde edilen yıllık getiri 6,840,000 TL olarak hesaplanmıştır. Bu gelir kalemi toplam getiriler içerisinde önemli bir yer tutmaktadır.

4.1.5 İşletme giderleri hesabı

İlk yatırım maliyeti , yıllık getirileri hesaplarının sonuçları bulunmuştur. Ancak sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan giderler de mevcuttur. Bu giderlerin başında sistem içindeki elektrik gideri, bakım, onarımlar ve personel harcamaları yer almaktadır. Bu giderlerin hesaplanması mümkündür.

İşsel elektrik tüketimi içinde sistemde kullanılan pompalar, karıştırıcılar, kompresörler gibi elektrikle çalışan tüm ekipmanlar yer almaktadır. Bu ekipmanlar için gereken tüm elektriğin sistemin kendi üreteceği elektrikten karşılanacağı varsayılmış olup 0,133 dolar sent/kWh satış fiyatı maliyet kalemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle büyük ölçekli sistemlerde işsel elektrik tüketimi %15-20 seviyesindedir ve bu oran sistem büyüdükçe düşmektedir. Bu varsayım ile işletme giderleri hesabı yapılmıştır.

Bir diğer önemli gider bakım-onarım giderleridir. Bu gider kalemi içerisinde her bir kWh için 1,22 \$ sent gider ortaya çıkmaktadır (Eryasar, 2019).

Üçüncü ve son önemli gider kalemi ise çalışan personel giderleridir. Bu hesaplanırken; sistem tam otomasyona sahip bir sistem ise ortalama 1-3 mühendis, 1-15 tekniker ve yardımcı eleman olarak düşünülebilir. Sistemlerin giderleri hesaplanırken ülkemizde mühendisin 1.000 dolar/ay teknikerin 750 dolar/ay ve yardımcı personelin 500 dolar/ay aldığı varsayılmıştır.

Bu veriler ile 1.000 büyükbaş hayvan kapasitesine sahip 1 adet biyogaz sistemi kurulması durumunda işletme giderleri 77.199 \$/yıl olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylece yıllık getirisi 234.664 \$/yıl olan 1.000 büyükbaş hayvan kapasitesine sahip biyogaz sistemlerinin net getirisi 1 yılda 157.465 \$/yıl olarak bulunmaktadır.

Buradan hareketle 1.000 büyükbaş hayvan kapasitesine sahip biyogaz sistemlerinin mali net bugünkü değeri 697.768 \$/yıl, geri ödeme süresi 4,75 yıl , iç karlılık oranı ise %27,2 olarak bulunacaktır (Eryasar, 2019)

4.1.6 Çevresel etkiler

Biyogaz sistemleri için çevresel etkiler araştırılırken öncelikle bilinmesi gereken en önemli parametrenin organik atıklı sistemler olması durumudur. Ayrıca biyokütle enerjisi kullanımında karbondioksit emisyonlarının olmadığı kabulü ile işlemler yapılmaktadır. Bunun sebebi biyoyakıt kullanımı sebebiyle açığa çıkan CO₂'nin zaten bitkiler tarafından fotosentezde kullanıldığı varsayımdır. Bir diğer önemli parametre ise; hayvansal atıkların biyokütle enerjisinde kullanılmasıyla zaten atıl bir şekilde bekletilecek olan bu atıklardan açığa çıkacak olan sera gazı etkisi yaratan metan gazının oluşmamasıdır.

Çevresel etkiler incelenirken emisyon giderimler 4 başlık altında incelenmektedir.

- Sistemlerin kurulmaması durumunda açığa çıkacak olan emisyonlar
- Sistemlerden elde edilecek olan ısı ve elektrik enerjisinin konvansiyonel yakıtlardan ya da şebekeden elde edilmesinden kaynaklanan emisyonlar
- Sistemlerin kurulmasından kaynaklanan emisyonlar
- Sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan emisyonlar

Kurulması planlanan biyogaz sistemlerinden emisyon dönüşümü hesaplamasında ilk iki madde pozitif olarak değerlendirilirken son iki madde ise negatif olarak değerlendirmeye katılmıştır (İZKA, 2020).

4.1.6.1 Atıklardan kaynaklanan mevcut emisyon hesaplaması

Daha önce de bahsedildiği üzere, oluşan emisyonlar IPCC ve UNFCCC kriterleri göz önüne alınarak incelenmiştir. Burada en önemli emisyon kaynağı metan gazıdır. Burada hayvancılık ve gübre yönetimi açısından 1 yılda 1 adet süt sığırından 23 kg metan, 1 erkek büyükbaştan ise 11 kg metan değeri hesaplamalara dahil edilmiştir. Ayrıca; 1 birim metan 'ın meydana getirdiği emisyon miktarının, ortalama 21 birim karbondioksit emisyon miktarına denk geldiği bilinmektedir (İZKA, 2020). Böylece 1000 büyükbaş kapasiteli bir yerinde kurulum sistemi için burada kullanılacak süt sığırı ve erkek büyükbaş hayvanların adetleri incelemelere dahil edilmektedir. 1000 büyükbaş hayvanın hepsinin dişi olduğu varsayımı ile oluşabilecek maksimum emisyon değeri hesaplaması aşağıdaki gibidir.

CH₄ emisyonu;

$$1000 \text{ (dişi büyükbaş sayısı)} \cdot 23 \text{ kg CH}_4/\text{yıl} =$$

$$23.000 \text{ kg CH}_4/\text{yıl}$$

$$\text{TOPLAM} = 23 \text{ ton CH}_4/\text{yıl} = 1,095 \text{ ton - CO}_2/\text{yıl}$$

Olarak bulunmuştur.

4.1.6.2 Enerji üretimi açısından giderilen emisyon hesaplaması

Bu başlık altında biyogaz sistemlerinden elde edilen enerjinin konvansiyonel yakıtlardan karşılanması veya şebekeden elde edilmesi durumundaki emisyon değerleri incelenmiştir. Biyogazdan elde edilen ısı enerjisi için konvansiyonel yakıtlardan kömür ele alınmıştır. Kömürün yakılmasından kaynaklanan karbondioksit emisyonu bir yılda 2,87 kgCO₂/kg dır. Türkiye’de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın resmî sitesinden elde edilen bilgiler ışığında elektrik üretiminin %29,9’u doğalgazdan elde edilirken %37,4 lük kısmını kömür karşılamaktadır. Elektrik çevrim veriminin ise %40 olduğu bilindiğine göre karbondioksit emisyonu 475 gram/kWh olarak karşımıza çıkmaktadır (İZKA, 2020).

$$1.618,074 \text{ kWh} \times 0.475 \text{ kg/kWh} = 768.58 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}$$

Bu hesaplama göre elde edilen ısı enerjisi 3.975.840 kcal/yıl’dır. 1 kg kömürün ısı değeri 6.275 kcal’dır. Kullanılacak kömür miktarı 0,6336 ton/yıl olarak karşımıza çıkmaktadır. Kömürün yakılmasıyla ortaya çıkacak CO₂ emisyonu 2,87 ton CO₂/ton olduğunda göre, ısı enerjisi açığa çıkmasından kaynaklanan CO₂ emisyonu değeri 1,8184 ton CO₂/ton olarak hesaplanır.

Toplam CO₂ emisyon değeri ise; elektrik ve ısı enerjilerinden kaynaklanan CO₂ emisyon değerlerinin toplamı, 2.587 ton CO₂/ton olarak hesaplanır.

4.1.6.3 Biyogaz sistemlerinin kurulmasından kaynaklanan emisyonlar

Hesaplaması en zor olan emisyon kalemi sistemlerin kurulumundan kaynaklanan emisyonlardır. Bu konu ile ilgili çalışmalar literatürde “*Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi*” olarak çalışmalarda yerini almaktadır. Bu nedenle bu başlık altında hesaplamalar yapılırken büyük ölçekli sistemler haricinde kalan sistemlerde, bir günde üretilen 1 m³ biyogaz için yaklaşık 275 kg karbondioksit emisyon değeri ile hesaplanmıştır. Sistem ömrü için ise 20 yıl baz alınmış ve bu değer hesaplamalara dahil edilmiştir. Büyük ölçekli sistemler için ise her 1 kWe

kurulu güç için 263 kg karbondioksit olarak kabul edilmiş ve yine sistem ömrü 20 yıl olarak baz alınmıştır.

Böylece 1000 büyükbaş kapasiteli bir yerinde kurulum biyogaz sisteminin kurulması sırasında açığa çıkacak olan karbondioksit emisyonu yıllık 17,73 ton olarak karşımıza çıkmaktadır.

4.1.6.4 Sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan emisyonlar

Sistemlerin işletilmesi sırasında karbondioksit, metan ve nitröz oksit emisyonları açığa çıkmaktadır. Köy tipi ve ilçe merkezli sistemlerinde atıkların taşınmasından kaynaklanan emisyonlar için her km başına 900 gr karbondioksit emisyonu verisi dikkate alınacaktır. Yerinde kurulum gerçekleştirilen sistemlerde bu durum hesaplamalara dahil edilmeyecektir. Atıkların işletilmesi sırasında oluşan emisyon hesaplamalarında üretilen metan gazının %1-14 yüzdesi değerinde bir değer baz alınmıştır. Ayrıca burada %8 kayıp değeri hesaplamalara dahil edilmiştir. Böylece 1000 büyükbaş kapasitesine sahip baz değer için günlük üretilen biyogaz miktarı 990 m³ tür. Yıllık olarak ise bu değer 365.350 m³ olarak karşımıza çıkar. Toplam biyogaz miktarının içinde %55 oranında metan gazı bulunduğuna göre 1000 büyükbaş hayvanın 1 yılda ürettiği metan miktarı 198.742 m³ olarak karşımıza çıkmaktadır. Metan emisyonunu bulmak için bu değer 0,8 ile çarpıldığında 158,99 m³CH₄ / yıl = 114,47 kgCH₄/yıl olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu veride atıkların bulunduğu yerde kurulum sağlanmıştır. Köy tipi ve ilçe merkezli sistemler için her bir km başına 900 gr karbondioksit eklenecektir.

4.1.7 İstihdam Açısından Etkiler

Kurulacak olan sistemlerin en önemli faydalarından biri istihdam açısından yaratacağı olumlu etkilerdir. Avrupa'ya kıyasla Türkiye'de biyogaz sistemlerinin kurulumundan kaynaklanan istihdam etkisi nitelikli işgücünün ve bilgi birikiminin az olmasından dolayı daha fazladır. 1 MWe gücündeki bir sistemde Türkiye'de 15-20 kişi istihdam edilirken Avrupa'da bu sayı 3 kişiyi geçmemektedir. Bu durum Türkiye'de istihdam yaratma açısından olumlu bir etki olarak ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde çarpan etkisi 3 olarak alınmakta olup, her bir kişiye iş olanağı yaratılması için 15.600 \$ değerinde bir para hacmi gerekmektedir (İZKA, 2020).

5. BULGULAR

5.1 Torbalı'da Yerinde Kurulum Yapılabilecek Sistemler

Torbalı ilçesinde kurulabilecek biyogaz tesislerinin yerinde kurulması durumunda, işletmelerin zaten yok etmek zorunda olduğu organik atıklarının bir değere dönüşecektir. Ayrıca biyogaz sistem kurulumu ve işletilmesi ile ilgili yetenekli eleman sayısı ve bilgi birikimi de aratacak böylece büyük ölçekli biyogaz sistemleri için gerekli zemin de sağlanmış olacaktır.

Tablo 5.1'de Torbalı'da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek ve sistemin atıkların olduğu yerde kurulması durumunda oluşabilecek potansiyel maliyetler gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Yerinde kurulum durumunda potansiyel sistemler için ilk yatırım maliyet analizi (Torbalı)

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (Adet)	Birim Maliyet (\$)	Toplam Maliyet (\$)
3	189	1.800	340.200
5	114	2.620	298.680
10	254	5.080	1.290.320
25	100	9.800	980.000
50	72	55.081	3.965.832
75	48	65.177	3.128.496
100	10	85.054	850.540
150	25	105.507	2.637.675
200	6	137.890	827.340
250	4	194.010	776.040
300	6	220.051	1.320.306
350	3	245.977	737.931
400	3	271.788	815.364
500	1	323.072	323.072
750	2	449.364	898.728
1.000	5	573.042	2.865.210
1.500	1	813.171	813.171
2.000	1	1.044.700	1.044.700
Toplam	844		23.913.605

Örnek hesaplama kısmında gösterilmiş olan veriler ışığında Torbalı'da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırılabilir yerinde kurulum yapılabilecek sistemlerin yıllık getirileri Tablo 5.2 deki gibidir.

Tablo 5.2 Torbalı’da yerinde kurulum durumunda potansiyel sistemlerin ikame değerleri ve getirileri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Isı Üretimi (kcal/yıl)	Kömür İkamesi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
3	189	315.841,97	776.068.833	245,688	485,725
5	114	317.513,09	780.175.017	246,228	487,924
10	254	1.414.882,88	3.476.569.374	1.099,828	2.171,699
25	100	1.392.601,26	3.421.820.250	1.082,001	2.139,003
50	72	2.005.345,82	4.927.421.160	985,676	3.335,751
75	48	2.005.345,82	4.927.421.160	985,912	3.436,327
100	10	557.040,51	1.368.728.100	273,907	855,488
150	25	2.088.901,90	5.132.730.375	1.027,007	3.208,006
200	6	668.448,61	1.642.473.720	328,631	1.026,479
250	4	557.040,51	1.368.728.100	273,878	855,313
300	6	1.002.672,91	2.463.710.580	477,062	1.539,433
350	3	584.92,53	1.437.164.505	278,282	897,000
400	3	668.448,61	1.642.473.720	318,000	1.026,000
500	1	278.520,25	684.364.050	132,500	427,500
750	2	835.560,76	2.053.092.150	364,462	1.283,077
1.000	5	2.785.202,53	6.843.640.500	1.214,583	4.275,000
1.500	1	835.560,76	2.053.092.150	364,385	1.342,000
2.000	1	1.114.081,01	2.737.456.200	468,000	1.854,000
Toplam		19.427.902	47.737.129.944	10.166	30.646
Parasal Karşılık (TL)		10.491.067		54.750.162	114.615.013
Parasal Karşılık (\$)		561.020		2.927.816	6.129.145
Toplam Parasal Karşılık TL		179.856.242			
Toplam Parasal Karşılık \$		9.617.981			

Örnek hesaplamadaki verilerden faydalanılarak Torbalı ilçesinde yerinde kurulum yapılabilecek sistemlerin istihdama olan etkileri Tablo 5.3’te gösterilmiştir. Bu verilere göre Torbalı’da yerinde kurulum yapılması durumunda toplamda 390 kişi istihdam edilebilecektir.

Tablo 5.3 Yerinde kurulum durumunda potansiyel sistemlerin yaratacağı istihdam (Torbalı)

İstihdam Etkisi	Torbalı (kişi)
DOĞRUDAN	
Kurulum	15
İşletme	53
Bakım Onarım	34
DOLAYLI	
İlk yatırım	191
İşletme	97
TOPLAM	390

Torbalı da yerinde kurulum yapılabilecek sistemlerin çevreye olan etkilerinin hesaplanması oldukça önemlidir. Burada kurulabilecek olan sistemler için örnek hesaplamada da gösterilmiş olan 4 farklı emisyon değeri oluşacaktır.

TÜRKVET bilgi sisteminden alınmış olan veriler neticesinde toplam 18.820 süt sığırları ve 14.117 adet erkek büyükbaş olduğu bilinmektedir.

Emisyon hesaplamalarında yerinde kurulum yapılabilecek sistemler için İlk olarak atıklardan kaynaklanan emisyon değerleri hesaplanmış ve Tablo 5.4'te gösterilmiştir.

Tablo 5.4 Torbalı da Yerinde Kurulum Yapılabilecek sistemler için Atıklardan kaynaklı emisyon değerleri

Süt Sığırları Sayısı	Erkek Büyükbaş Sayısı	Süt Sığırları Başına CH ₄ Emisyon Değeri (kgCH ₄ /yıl)	Erkek Büyükbaş Başına CH ₄ Emisyon Değeri (kgCH ₄ /yıl)	Süt Sığırları Toplam CH ₄ Emisyon Değeri (kgCH ₄ /yıl)	Erkek Büyükbaş Toplam CH ₄ Emisyon Değeri (kgCH ₄ /yıl)	Toplam CH ₄ Emisyon Değeri (tonCH ₄ /yıl)	Toplam CO ₂ Emisyon Değeri (tonCO ₂ /yıl)
18.820	14.117	23	11	432.860	155.287	588,147	28,007

Buna göre, atıklardan kaynaklanan toplam karbondioksit emisyonu 1 yılda yaklaşık 28 ton CO₂/yıl dır. İkinci emisyon hesaplaması enerji üretimi yönünden giderilen emisyonları içermektedir. Burada yine örnek hesaplamada verilmiş olan bilgiler kullanılmıştır.

Torbalı'da yerinde kurulum durumunda potansiyel sistemlerin üretebileceği enerjinin (elektrik + ısı) konvansiyonel yakıtlardan karşılanması durumunda toplam karbondioksit emisyonu 31.061,81 ton CO₂/yıl olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu değer 9.228,25 ton CO₂/yıl kısmını elektrik üretiminden kaynaklı emisyon değeri oluştururken 21.833,55 ton CO₂/yıl kısmını ise ısı enerjisi oluşturmaktadır.

Emisyon hesaplamalarında bir diğer kalem ise sistemlerin kurulumundan kaynaklanan emisyon değerleridir. Daha önce örnek hesaplamada bu değer hesaplanmasının oldukça zor olduğuna değinilmişti. Böylece Torbalı'da atıkların bulunduğu yerde sistem kurulumu yapılması durumunda ortaya çıkacak karbondioksit emisyonları Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5 Torbalı da Yerinde Kurulum Yapılabilecek sistemler için kurulumda oluşacak yıllık emisyon miktarı

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Günlük Biyogaz üretimi (m ³ /gün)	Jeneratör Gücü (kWe)	1 kWe için CO ₂ değeri (ton)	Sistem kurulumundan kaynaklanan emisyon değeri (yıllık)	Yıllık CO ₂ emisyonu (ton/yıl)
3	189	529,436	0,190	0,275	0,052	8,76
5	114	532,237	0,317	0,275	0,087	8,81
10	254	2.371,725	0,635	0,275	0,174	39,29
25	100	2.334,375	1,589	0,275	0,437	38,6
50	72	3.361,500	3,179	0,275	0,874	55,69
75	48	3.361,500	4,769	0,275	1,311	55,69
100	10	933,750	6,358	0,275	1,748	15,46
150	25	3.501,562	9,538	0,275	2,623	58
200	6	1.120,500	12,717	0,275	3,497	18,51
250	4	933,750	15,897	0,263	4,180	1,154
300	6	1.680,750	19,076	0,263	5,017	2,1
350	3	980,437	22,256	0,263	5,853	1,3
400	3	1.120,500	25,435	0,263	6,689	1,65
500	1	466,875	31,794	0,263	8,361	0,66
750	2	1.400,625	47,691	0,263	12,542	2,2
1.000	5	4.668,750	63,589	0,263	16,723	8,33
1.500	1	1.400,625	95,383	0,263	25,085	2,5
2.000	1	1.867,500	127,178	0,263	33,447	3,3
Toplam	844				128,710	322,004

Buna göre, yerinde kurulum yapılabilecek sistemlerin kurulumu aşamasında ortaya çıkacak toplam karbondioksit emisyonu 322 ton olarak belirlenmiştir.

Dördüncü ve son emisyon hesaplaması sistemlerin işleyişinden kaynaklanan emisyonlardır. Burada yerinde kurulum yapıldığı için sisteme atık taşımadan kaynaklanan emisyonlar oluşmamaktadır.

Torbalı'da TÜRKVET bilgi sisteminden alınmış olan toplam (erkek + dişi) hayvan sayısı 32.937 adettir. 1 yıl süresince oluşan atıklar kullanılarak ortaya çıkacak biyogaz 2.468.030 m³ olarak hesaplanmıştır. Metan miktarının %55 olarak belirlediğimizde ise yıllık metan üretimi, 1.357.416 m³ olarak karşımıza çıkmaktadır. Buradan hareketle yerinde kurulum yapılması durumunda Torbalı için toplam 1.596,32 ton/CO₂ yıl karbondioksit emisyonu ortaya çıkmaktadır. Böylece çevresel etkilerin daha net görülebilmesi açısından Torbalı'da yerinde kurulum yapılması durumunda ulaşılan emisyon değerleri bir özet niteliğinde gösterilmiştir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6 Torbalı’da yerinde kurulum durumunda potansiyel sistemlerin meydana getireceği CO₂ emisyonları

Atıklardan kaynaklanan emisyon giderim değeri (ton CO ₂ /yıl)	28
Elektrik ve ısı enerjisi üretimi ile azaltılan emisyon değerleri (ton CO ₂ /yıl)	31.061,81
Sistemlerin kurulmasından kaynaklanan emisyon değerleri (ton CO ₂ /yıl)	322,004
Sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan emisyon değerleri (ton CO ₂ /yıl)	1.596,32
Net Toplam (ton CO₂/yıl)	29.171,49

Böylece Torbalı’da yerinde kurulum yapılabilecek sistemler için ekonomik etkiler Tablo 5.7’de yıllık net parasal hacim olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 5.7 Torbalı için Yerinde kurulum durumunda yıl bazındaki para hacmi

İlk yatırım maliyeti (\$)	23.913.605
Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	19.427.902
Parasal Hacim (\$/yıl)	561.020
Isı Enerjisi Üretimi (milyon kcal/yıl)	47.737
Parasal Hacim (\$/yıl)	2.927.816
Fermente Gübre Üretimi (ton/yıl)	30.646
Parasal Hacim (\$/yıl)	6.129.145
İstihdam Yaratımı (kişi)	390
Parasal Hacim (\$/yıl)	6.084.000
Emisyon Azaltımı (ton CO ₂ /yıl)	29.171,49
Parasal Hacim (\$/yıl)	291.714,9
Toplam Yıllık Parasal Hacim (\$/YIL)	15.993.696

Yerinde kurulumun gerçekleşmesi durumunda istihdam edilen her kişi için yıllık değer 15.600 \$/yıl olarak kabul edilmiştir. Ayrıca emisyon azaltımından kaynaklanan kazanç her 1 ton için 10 dolar olarak hesaplamalara dahil edilmiştir (İZKA, 2020). Böylece bu değer her yıl ekonominin parasal olarak genişlemesini sağlayacaktır. Buna göre, Torbalı’da yerinde kurulum yapılabilecek sistemler için yıllık net parasal hacim 15.993.696 \$/yıl dır.

Torbalı’da yerinde kurulum yapılabilecek biyogaz sistemleri için yapılmış olan hesaplamalar göstermektedir ki; bu sistemlerin mali net bugünkü değerleri toplamı 15.216.199 \$, ortalama geri ödeme süreleri 5,88 yıl ve ortalama iç karlılık oranları %23,02 dir.

5.2 Torbalı’da Kurulabilecek Köy Tipi Sistemler

Torbalı’da kurulabilecek köy tipi sistemler için alt sınır olarak 1000 büyükbaş hayvansal atık kapasiteli sistemler hesaba katılmıştır. Torbalı’da bu şekilde 10 adet köy tipi sistem kurulabileceği tespit edilmiştir. Ancak bölüm 2’de de gösterildiği

üzere Atalan ve Çaybaşı mahallelerinde atıkların tek işletmede toplanması sebebi ile köy tipi sistem kurulumu gerçekleştirilememektedir. (İZKA, 2020). Böylece kurulabilecek sistem sayısı 8 adet olarak netleştirilmiştir.

Burada hesaplamalar, Ayrencılar, Naime ve Taşkesik mahallerinde 1000 büyükbaş hayvan atığı ile çalıştırabilecek 1'er adet 125 kWe gücünde toplamda 3 adet sistem, Karakuyu, Pancar ve Yazıbaşı'nda kurulabilecek 1500 hayvan atığı ile çalıştırılabilir 1'er adet 185kWe gücünde toplamda 3 adet sistem, Merkezde 250 kWe gücünde 1 adet 2000 büyükbaş hayvan atığı kapasiteli sistem ve Tulum'da 310 kWe gücünde 1 adet 2500 büyükbaş hayvan atığı kapasiteli sistem olacak şekilde yapılmıştır.

Torbalı'da kurulabilecek köy tipi biyogaz sistemleri için organik atıkların çevre çiftliklerden 1-3 km mesafeden taşınacağı öngörüsü söz konusudur. Böylece yerinde kurulum yapılacak sistemlere göre ilk yatırım maliyetleri ve atığın çevresel etkileri değişiklik gösterecektir.

Bu durumda Torbalı'da kurulumu gerçekleştirilebilecek köy tipi sistemlerin ilk yatırım maliyetleri Tablo 5.8'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8 Torbalı'da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek köy tipi sistemler için başlangıç maliyetleri

Sistem Büyükklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet))	Toplam İlk yatırım maliyeti (\$)
1.000	3	2.026.656
1.500	3	2.869.368
2.000	1	1.221.473
2.500	1	1.474.677
TOPLAM	8	7.592.174

Örnek hesaplamada gösterilen hesaplama yöntemleri kullanılarak Tablo 5.9'da Torbalı'da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek biyogaz sistemlerinin yıllık getirileri gösterilmiştir.

Tablo 5.9 1 yıl için Torbalı’da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek köy tipi sistem getirileri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Isı Enerjisi Üretimi (Kcal/yıl)	Kömür İkamesi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
1.000	3	3.020.100	3.401.206.875	728,82	2.565
1.500	3	3.990.846	5.101.810.314	1.093,26	4.026
2.000	1	1.869.585	2.185.017.750	468,22	1.853,86
2.500	1	2.396.904	2.679.738.750	574,23	2.281,57
TOPLAM	8	11.277.435	13.367.773.689	2.864,53	10.726,43
Parasal Karşılık (TL)		6.089.814,9		15.427.212,77	40.116.848,2
Parasal Karşılık (\$)		325.658,55		824.984,64	2.145.286
Toplam Parasal Karşılık (\$)		3.295.929,19			

Buna göre, Torbalı’da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırılabilir sistemlerin toplam parasal karşılığı 3.295.929,19 \$ olarak hesaplanmıştır.

Torbalı’da köy tipi sistemlerin kurulması durumunda sistemlerin bulunduğu bölgede istihdam açısından da etkiler yaşanacaktır. Yapılmış olan araştırmada Torbalı’da köy tipi sistemlerin kurulması ile 132 kişi istihdama katılabilecektir. Yerinde kurulum yapılabilecek sistemlere göre köy tipi sistemlerin ölçeği büyüdüğünden kurulum ve bakım onarım için sağlanan istihdam sayısı daha düşük gerçekleşmektedir.

Tablo 5.10 Köy tipi kurulum durumunda potansiyel sistemlerin yaratacağı istihdam (Torbalı)

İstihdam	Torbalı (kişi)
DOĞRUDAN	
Kurulum	8
İşletme	24
Bakım Onarım	17
DOLAYLI	
İlk Yatırım	44
İşletme	39
TOPLAM	132

Ancak sistemin işletilmesinden kaynaklanan istihdam sayısı ise toplam istihdam içindeki payını artırmıştır. Köy tipi sistemlerinde istihdamda bir düşüş yaşansa da kurulacak olan kooperatiflerle ile sürdürülebilirliğin artış gözlemlenecektir (Tablo 5.10). Torbalı’da kurulabilecek sistemler için çevresel

etkiler araştırıldığında yaratacağı emisyon değerleri 4 farklı şekilde incelenmiş ve aşağıda gösterilmiştir.

Öncelikle atıklardan kaynaklı emisyon değerleri incelenecek olursa köy tipi sistemlerin kurulumunda bu değer yerinde kurulum senaryosuyla aynı çıkacaktır. Dolayısı ile köy tipi sistemlerde atıklardan kaynaklanan CO₂ azaltımı bir yılda yaklaşık 28 ton CO₂/yıl dır.

Enerji üretimi yönünden emisyon azaltımı incelendiğinde yerinde kurulum senaryosunda izlenen yol izlenmekte ve aynı kabuller ile hesaplama yapılmaktadır.

Torbalı’da köy tipi sistemlerin kurulması ile bir yılda üretilmesi planlanan elektrik üretimi 11.277.435 kWh şeklinde hesaplanmıştır. Bu enerji konvansiyonel yöntemlerle kullanılırsa CO₂ emisyon değeri;

$$11.277.435 \text{ kWh} \cdot 0,475 \text{ kg/kWh} = 5.356.781 \text{ kg/CO}_2\text{/yıl} \\ = 5.357 \text{ ton/CO}_2 \text{ yıl}$$

olarak karşımıza çıkmaktadır. Aynı hesaplama yöntemi ile yıllık bazda biyogaz sistemlerinden elde edilebilecek ısı enerjinin karşılığında yakılması gereken kömür miktarı 2.864,53 ton’dur. CO₂ emisyon değeri ’de aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$2.864,63 \text{ ton} \cdot 2,87 \text{ ton/CO}_2\text{/ton} = \\ 8.221,49 \text{ ton/CO}_2\text{/ton dur.}$$

Böylece Torbalı ilçesi için enerji üretimi yönünden giderilen toplam emisyon değeri;

$$5.357 \text{ ton/CO}_2 \text{ yıl} + 8.221,49 \text{ ton/CO}_2\text{/yıl} = \\ 13.578,49 \text{ ton CO}_2\text{/yıl olarak bulunmuştur.}$$

Biyogaz sistemlerin kurulması sırasında oluşan emisyon değerlerini hesapladığımızda ; yine yerinde kurulum için kullanılan hesaplama yöntemi ile aynı yöntem kullanılmıştır. Burada günlük üretilen 1 m³ biyogaz için küçük ve orta ölçekli sistemlerde 275 kg CO₂ emisyonunu kurulum aşamasında salındığı varsayılmış . Bu değer büyük ölçekli sistemlerde 263 CO₂ emisyonu olarak dikkate alınmıştır. Böylece Torbalı’da kurulabilecek köy tipi sistemlerin kurulumdan kaynaklanan emisyon değerleri Tablo 5.11’de gösterildiği gibidir.

Tablo 5.11 Torbalı’da köy tipi sistemlerin kurulumundan kaynaklan emisyonlar

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Günlük Üretilen Biyogaz miktarı (m ³ /gün)	Jeneratör Gücü (kWe)	1 kWe için CO ₂ değeri (ton)	Sistem kurulumundan kaynaklanan emisyon değeri (ton/yıllık)	Yıllık CO ₂ emisyonu (ton/yıl)
1.000	3	2.801,25	190,77	0,263	50,17	5
1.500	3	4.201,875	286,14	0,263	75,25	7
2.000	1	1.867,5	127,17	0,263	33,44	3
2.500	1	2.334,375	158,97	0,263	41,80	4
TOPLAM		11.205				19

Buna göre, Torbalı’da kurulabilecek biyogaz sistemlerinin kurulmasından kaynaklanan yıllık emisyon değer toplam 19 ton CO₂ dir.

Dördüncü olarak ele alınan emisyon değeri ise sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan emisyon değeridir. Bu değer için üretilen metan miktarının %8 kayıp miktarı hesaplamalara dahil edilmiştir. Ayrıca atık taşımadan kaynaklı km başına 900 kg/CO₂ de bu hesaplamalara katılmıştır. Ortalama 4 km’den atıkların taşınacağı varsayılmıştır. Biyogaz içeriğindeki metan oranı %55 olarak kabul edilmiştir.

Torbalı’da kurulabilecek köy tipi biyogaz sistemlerinin işletilmesinden kaynaklanan emisyon değerleri hesaplanırken yerinde kurulum senaryosunda hesaplanmış olan işleştikten kaynaklı emisyon değeri ile aynı çıkacaktır. Bu değer 1.596,32 ton/CO₂ dur. Atıkların 4 km yarıçaplı mesafeden taşınacağı varsayımı ile bu sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan emisyon değeri;

$$\text{CO}_2 \text{ emisyonu} = 44.600 \text{ km/yıl} \cdot 0,9 \text{ kg/CO}_2/\text{km} =$$

40,14 ton CO₂/yıl olarak bulunur.

Bu durumda Torbalı’da kurulabilecek köy tipi sistemlerin işletilmesinden kaynaklı emisyon değeri;

$$\text{Toplam} = 1.636,46 \text{ ton CO}_2/\text{yıl} \text{ olarak karşımıza çıkmaktadır.}$$

Böylece Torbalı’da kurulabilecek köy tipi sistemlerin çevresel etkilerinin bir özeti olarak Tablo 5.12’de tüm emisyon değerleri verilmiştir.

Tablo 5.12 Torbalı için köy tipi sistemlerin kurulmasıyla oluşacak CO₂ emisyon giderimi

Atıklardan kaynaklanan emisyon giderimi (ton CO ₂ /yıl)	28
Elektrik ve ısı enerjisi üretimi ile azaltılan emisyon giderimi (ton CO ₂ /yıl)	13.578,49
Sistemlerin kurulmasından kaynaklanan emisyon değerleri (ton CO ₂ /yıl)	19
Sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan emisyon değerleri (ton CO ₂ /yıl)	1.632,46
NET TOPLAM (ton CO₂/yıl)	11.955,03

Buna göre, Torbalı’da köy tipi sistemlerin kurulması durumunda giderilen net toplam CO₂ emisyonu 11.955,03 ton CO₂/yıl dır. Yapılmış olan hesaplamaların bir sonucu olarak Torbalı’da kurulabilecek köy tipi sistemlerin ekonomik etkileri Tablo 5.13’te gösterilmiştir.

Torbalı’da kurulabilecek köy tipi sistemler için yıllık net parasal hacim 5.474.679,49 \$/yıl olarak bulunmuştur.

Torbalı’da kurulabilecek köy tipi biyogaz sistemlerinin ekonomik analizlerinin bir sonucu olarak mali net bugünkü değerleri toplamı 12.444.838 \$, sistemlerin ortalama geri ödeme süresi 5,43 yıl ve sistemlerin ortalama iç karlılık oranı ise %24,8 olarak bulunmuştur.

Tablo 5.13 Torbalı için köy tipi biyogaz sistemlerin ekonomik etkileri

İlk yatırım maliyeti (\$)	7.592.174
Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	11.277.435
Parasal Hacim (\$/yıl)	325.658,55
Isı Enerjisi Üretimi (milyon kcal/yıl)	13.368
Parasal Hacim (\$/yıl)	824.984,64
Fermente Gübre Üretimi (ton/yıl)	10.726,43
Parasal Hacim (\$/yıl)	2.145.286
İstihdam Yaratımı (kişi)	132
Parasal Hacim (\$/yıl)	2.059.200
Emisyon Azaltımı (ton CO ₂ /yıl)	11.955,03
Parasal Hacim (\$/yıl)	119.550,3
Toplam Yıllık Parasal Hacim (\$/yıl)	5.474.679,49

5.3 Torbalı’da Kurulabilecek Merkezi Biyogaz Sistemi

Yapılmış olan araştırmaya göre Torbalı ilçesinde 50 büyükbaş ve üzerinde hayvan sayısına sahip işletmelerden toplanarak kurulabilecek merkezi biyogaz sistemi 1 adet olarak bulunmuştur. Bu sistem 3,375 MWe kapasiteli yani 27.000

büyükbaş hayvan atığı ile işletilebilecek bir sistemdir. Sisteme taşınacak organik atıkların 20 km yarıçaplı mesafeden taşınacağı öngörülmüştür.

Merkezi sistemleri kurarken gerekli olan depolama membranları, otomasyon sistemleri, kojenerasyon motorin gibi ekipmanların alımı gerekecektir. Bu ekipmanların sağlanması için yurt dışından alımlar gerekebilmektedir. Ülkemizde üretilebilmesi için gerekli sanayi çalışmaları yapılmakta olup dışa bağımlılık azaltılmaya çalışılmaktadır.

Buna göre Torbalı ilçesinde kurulabilecek merkezi sistemin Tablo 5.14'te de gösterildiği üzere ilk yatırım maliyeti 9.918.783 \$ olacaktır.

Tablo 5.14 Torbalı'da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek merkezi sistem için başlangıç maliyetleri

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Toplam Hayvan Kapasitesi (adet)	İlk Yatırım Maliyeti (\$)
27.000	1	27.000	9.918.783

Buna göre, ilk yatırım maliyeti sistem kapasitesinin büyümüş olmasından dolayı Torbalı'da yerinde kurulum yapılabilecek sistemlerin ilk yatırım maliyetlerine oranla yaklaşık %60 gerilemiştir.

Tablo 5.15'te Torbalı'da kurulabilecek 3,375 MWe kapasiteli sistemin yıllık üretebileceği çıktıları ve parasal getirileri gösterilmiştir.

Tablo 5.15 1 yıl için Torbalı'da büyükbaş hayvan atıkları ile çalıştırabilecek merkezi sistem getirisi

Sistem Büyüklüğü (Büyükbaş Kapasiteli)	Sistem Sayısı (adet)	Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	Isı Üretimi (kcal/yıl)	Kömür İkamesi (ton/yıl)	Gübre İkamesi (ton/yıl)
27.000	1	29.122.384	28.384.617.375	6.082,42	25.598
Parasal Karşılık (TL)		15.726.087		32.755.219	95.736.520
Parasal Karşılık (\$)		840.967		1.751.616	5.119.600
TOPLAM (\$)		7.712.183			

Torbalı'da kurulabilecek merkezi sistem biyogaz sisteminin yıllık toplam getiri 7.712.183 \$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.16'da Torbalı'da kurulabilecek merkezi sistemin bölgede yaratacağı istihdama olan etkisi gösterilmektedir. Sistem boyutunun 3,375 MWe kadar çıkmasının bir sonucu olarak sistemde kullanılan ekipmanlar ve otomasyon ürünlerde artış yaşanmıştır. Buna bağlı olarak istihdam açısından bir gerileme söz

konusudur. Ayrıca ilk yatırım maliyetlerinin ve yerlilik oranlarının da düşük olması sebebi ile dolaylı istihdam da azalma görülmektedir.

Tablo 5.16 Merkezi kurulum durumunda potansiyel sistemlerin yaratacağı istihdam (Torbalı)

İstihdam Etkisi	Torbalı (kişi)
DOĞRUDAN	
Kurulum	5
İşletme	9
Bakım Onarım	11
DOLAYLI	
İlk yatırım	44
İşletme	29
TOPLAM	98

Torbalı’da kurulabilecek merkezi biyogaz sisteminin çevresel açıdan incelenmesinde ilk olarak atıklardan kaynaklanan emisyon giderimini incelemek doğru olacaktır. Bu değer yerinde kurulma senaryosunda ortaya çıkan değer ile eşit olacaktır. Bu durumda atıklardan kaynaklanan emisyon giderimi ;

$$\text{Toplam} = 28 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$$

olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji giderimi yönünden olan emisyon tespiti için elektrik ve ısı üretimi için olan emisyon değerlerine bakmak gerekir.

Torbalı’da merkezi biyogaz sisteminin kurulması ile üretilebilecek elektrik miktarı; 29.122.384 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Bu miktar konvansiyonel sistemlerden kullanılacak olursa, CO₂ emisyon değeri;

$$29.122.384 \text{ kWh/yıl} \cdot 0,475 \text{ kg/kWh} = 13.833.132,4 \text{ kg CO}_2/\text{yıl}$$

$$= 13.833 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$$

şeklinde olur. Aynı şekilde ısı miktarı konvansiyonel sistemlerden (kömür) üretilcek olursa kullanılması gereken miktar; 6.082,42 ton/yıl olur. Böylece CO₂ emisyonu;

$$6.082,42 \text{ ton/yıl} \cdot 2,87 \text{ ton CO}_2/\text{ton} = 17.456,54 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$$

olarak bulunmuştur. Torbalı için toplam CO₂ emisyonu ise;

$$13.833 \text{ ton CO}_2/\text{yıl} + 17.456,54 \text{ ton CO}_2/\text{yıl} = 31.289,54 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$$

olarak hesaplanır.

Üçüncü olarak biyogaz sistemlerin kurulmasından kaynaklanan emisyonlara baktığımızda, Torbalı’da kurulabilecek merkezi biyogaz sistemi için günlük üretilen biyogaz miktarı baz alınmıştır. Bu durumda kurulum sırasında oluşacak emisyon değerleri Tablo 5.17’de gösterilmiştir.

Tablo 5.17 Torbalı’da merkezi bir biyogaz sisteminin kurulu sırasında oluşacak CO₂ emisyon değeri

Toplam Hayvan Kapasitesi (adet)	Biyogaz üretimi (m ³ /gün)	Jeneratör Gücü (kWe)	1 kWe için CO ₂ değeri (ton)	Sistem kurulumundan kaynaklanan emisyon değeri (ton)	Yıllık CO ₂ Emisyonu (ton/yıl)
27.000	26.730	1.820,334	0,263	478,74	44

Biyogaz sisteminin kurulmasından kaynaklanan emisyon değeri 44 ton CO₂ dir. Bu sistemin 20 yıl boyunca işletileceği öngörülmüştür. Torbalı ilçesinde merkezi biyogaz sisteminin işletilmesinden kaynaklanan CO₂ emisyon değerini incelediğimizde yine üretilen metan miktarının %8 kayıp değeri hesaplara katılmış olup atıkların taşınması planlanan her km içim 900 gr CO₂ salınımı yaptığı varsayılmıştır. Biyogaz içindeki metan oranının %55 olduğu kabulü ve atıkların 20 km yarıçaplı mesafeden getirileceği kabulü ile hesaplamaların sonucu şu şekildedir;

Atık taşımadan kaynaklanan CO₂ emisyonu;

$$233.600 \text{ km/yıl} \cdot 0,9 \text{ kg CO}_2/\text{yıl} = 210.240 \text{ kg CO}_2/\text{yıl} \\ = 210,24 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$$

Atıkların taşınmasından kaynaklanan bu CO₂ emisyon değerine yıllık üretilen metan miktarını eklediğimizde;

$$\text{Toplam} = 300,50 \text{ ton CO}_2/\text{yıl} + 210,24 \text{ ton CO}_2/\text{yıl} \\ = 510,74 \text{ ton CO}_2/\text{yıl}$$

Her bir emisyon hesaplamasından yola çıkılarak Tablo 5.18’de Torbalı’da merkezi biyogaz sistemi kurulmasında gerçekleşecek tüm emisyon değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.19’da görüldüğü üzere; Torbalı’da kurulabilecek bir adet 27.000 büyükbaş kapasiteli merkezi biyogaz sistemi bir yılda 30.763,26 tonCO₂/yıl emisyonunu gidermektedir. Bu senaryo için ekonomik etkileri incelediğimizde Tablo 5.19 ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5.18 Torbalı’da merkezi bir biyogaz sistemi kurulması durumunda oluşacak CO₂ giderimi

Atıklardan kaynaklanan emisyon giderimi (ton CO ₂ /yıl)	28
Elektrik ve ısı enerjisi üretimi ile azaltılan emisyon giderimi (ton CO ₂ /yıl)	31.290
Sistemlerin kurulmasından kaynaklanan emisyon değerleri (ton CO ₂ /yıl)	44
Sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan emisyon değerleri (ton CO ₂ /yıl)	510,74
NET TOPLAM (ton CO₂/yıl)	30.763,26

Buna göre, Torbalı’da kurulabilecek merkezi biyogaz sisteminin toplam yıllık net parasal hacim 9.548.615,6 \$/yıl olarak ortaya çıkmaktadır.

Parasal hacme ek olarak yapılmış olan hesaplamada mali net bugünkü değeri 36.430.318 \$, sistemin geri ödeme süresi 2,57 yıl ve iç karlılık oranı ise % 46,1 olarak bulunmuştur.

Tablo 5.19 Torbalı için Merkezi sistem kurulumu durumunda yıl bazındaki para hacmi

İlk yatırım maliyeti (\$)	9.918.783
Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	29.122.384
Parasal Hacim (\$/yıl)	840.967
Isı Enerjisi Üretimi (milyon kcal/yıl)	28.385
Parasal Hacim (\$/yıl)	1.751.616
Fermente Gübre Üretimi (ton/yıl)	25.598
Parasal Hacim (\$/yıl)	5.119.600
İstihdam Yaratımı (kişi)	98
Parasal Hacim (\$/yıl)	1.528.800
Emisyon Azaltımı (tonCO ₂ /yıl)	30.763,26
Parasal Hacim (\$/yıl)	307.632,6
Toplam Yıllık Parasal Hacim (\$/yıl)	9.548.615,6

Tüm yapılmış olan hesaplamalara ek olarak belirtilmelidir ki ülkemiz biyogaz üretiminde kullanılan ekipmanlar, makineler ve teçhizatların çoğunluğu yurt dışından sağlanmaktadır. Bu konuda dışa bağımlılığı azaltmak adına biyogaz üretimi yaparken yerli üretim ekipmanların kullanımına özen gösterilmelidir. Torbalı’da kurulabilecek biyogaz sistemleri için yerli üretim ürünlerin kullanılabilmesi yani biyogaz üretiminde yerlilik oranının artırılabilmesi tespit edilmiştir.

Torbalı’da kurulumu gerçekleştirilecek farklı tipteki biyogaz sistemleri için kullanılması olası ekipmanların teminini İzmir’de karşılayabilecek firmalar EK B-1’de gösterilmiştir.

NACE kodu gruplandırmasına göre Torbalı ilçesinde kurulması planlanan farklı tipteki biyogaz sistemlerinde kullanılmak üzere ekipman temini sağlayabilecek İzmir’de kurulmuş olan firma sayısı toplamda 8.310 adet olduğu görülmektedir (Kalkınma Ajansı, 2012).



6. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemlerinin tüm hesaplamaları yapılmış olup karşılaştırmalı bir sonuç olarak aşağıda değerlendirilmiştir.

6.1 Torbalı’da Kurulabilecek Biyogaz Sistemlerinin Çevresel Etkisi

Tüm senaryolardaki CO₂ emisyonları Tablo 6.1’de karşılaştırılmıştır. Buna göre; Torbalı’da kurulabilecek sistemler arasında emisyonların azaltılması açısından en avantajlı sistemin merkezi biyogaz sistemi olduğu görülmektedir.

Tablo 6.1 Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemlerinin çevresel açıdan etkilerinin karşılaştırılması

TORBALI	YERİNDE KURULUM SENARYOSU (SENARYO-1)	KÖY TİPİ KURULUM SENARYOSU (SENARYO-2)	MERKEZİ SİSTEM SENARYOSU (SENARYO-3)
Atıklardan kaynaklanan emisyon giderimi (ton CO ₂ /yıl)	28	28	28
Elektrik ve ısı enerjisi üretimi ile azaltılan emisyon giderimi (ton CO ₂ /yıl)	31.062	13.578,49	31.290
Sistemlerin kurulmasından kaynaklanan emisyon değerleri (ton CO ₂ /yıl)	(-) 322,004	(-) 19	(-) 44
Sistemlerin işletilmesinden kaynaklanan emisyon değerleri (ton CO ₂ /yıl)	(-) 1.596,32	(-) 1.632,46	(-) 510,74
NET TOPLAM (ton CO₂/yıl)	29.171,49	11.955,03	30.763,26

6.2 Torbalı’da Kurulabilecek Biyogaz Sistemlerinin İstihdama Etkisi

İstihdam açısından değerlendirme yapılırken merkezi sistemlerin otomasyonlu ekipmanlarla çalıştığı unutulmamalıdır. Bu ekipmanları kullanan nitelikli işgücü artarken istihdam edilen kişi sayısında yerinde kurulum ve köy tipi sistemlere göre gerileme olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 6.2 Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemlerinin istihdam açısından karşılaştırılması

TORBALI	YERİNDE KURULUM SENARYOSU (SENARYO-1)	KÖY TİPİ KURULUM SENARYOSU (SENARYO-2)	MERKEZİ SİSTEM SENARYOSU (SENARYO-3)
İSTİHDAM (KİŞİ)	390	132	98

6.3 Torbalı’da Kurulabilecek Biyogaz Sistemlerinin Parasal Hacim Karşılaştırılması

Yıllık net parasal hacim yönünden tüm senaryoları karşılaştırdığımızda özellikle merkezi biyogaz sisteminin ilk yatırım maliyetini kısa sürede yakaladığını görmekteyiz. Yıllık Köy tipi sistem senaryosu incelendiğinde, net para hacminin başlangıç maliyetlerine oranının %72 olduğunu görmekteyiz. Yıllık net parasal hacminin ilk yatırım maliyetlerine oranının en az olduğu sistemler ise yerinde kurulum sistemleri olarak karşımıza çıkmaktadır . Bu oran %66 olduğu Tablo 6.3’te görülmektedir.

Tablo 6.3 Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemlerinin yıllık net parasal hacim açısından karşılaştırılması

TORBALI	YERİNDE KURULUM SENARYOSU (SENARYO-1)	KÖY TİPİ KURULUM SENARYOSU (SENARYO-2)	MERKEZİ SİSTEM SENARYOSU (SENARYO-3)
İLK YATIRIM MALİYETİ (\$)	23.913.605	7.592.174	9.918.783
YILLIK NET PARASAL HACİM (\$)	15.993.696	5.474.679,49	9.548.615,60

6.4 Torbalı’da Kurulabilecek Biyogaz Sistemlerinin Geri Ödeme Süresi Karşılaştırması

Farklı sistem tiplerine göre Torbalı’da kurulabilecek sistemlerin net bugünkü değer, geri ödeme süreleri ve iç karlılık oranları incelendiğinde en karlı sistemin

merkezi biyogaz sistemi olduğu görülmektedir (Tablo 6.4). Diğer sistemler için ortalama değer hesaplamalara dahil edilmiştir.

Biyogaz sistemleri yenilenebilir ve sürdürülebilir sistemler içindedir yıllardır üzerinde çalışmalar yapılmış olan sistemlerdir. Biyogaz sistemlerinin yaygınlaşmasını sağlamak için ekonomik ve teknolojik yönden ilerlemenin kaydedilmesi önemlidir. Anaerobik fermentasyon ile bilgi birikimi ve tecrübelerinin artırılması biyogaz sistemlerinin yaygınlaşması açısından son derece önemlidir. Bu konudaki bilgi birikiminin yalnızca akademik düzeyde ve uygulamadan kopuk kalmaması için teşvikler ve eğitimler artırılmalıdır.

Tablo 6.4 Torbalı’da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemlerinin yıllık net parasal hacim açısından karşılaştırılması

TORBALI	Mali Net Bugünkü Değer Toplamı (\$)	Geri Ödeme Süresi (yıl)	İç Karlılık Oranı (%)
YERİNDE KURULUM SENARYOSU (SENARYO-1)	15.216.199	5,88	23,02
KÖY TİPİ KURULUM SENARYOSU (SENARYO-2)	12.444.838	5,43	24,8
MERKEZİ SİSTEM SENARYOSU (SENARYO-3)	36.430.318	2,57	46,1

Yapılmış olan çalışmalar yalnızca biyogaz hesaplamaları olarak kalmamalıdır. Aynı zamanda ekonomik analizlerle bölgede ve ülkede yaratacağı etkiler farklı çalışmalarla incelenmelidir. Ayrıca çevresel açıdan ve yaratacağı istihdam açısından değerlendirmeler daha fazla yapılmalıdır. Bu çalışmaların daha fazla yapılması yatırımcıların daha net bir bakış açısıyla biyogaz sistemlerine katkıda bulunmasını sağlayacak ve toplamda yenilenebilir enerji üretimi her geçen yıl daha da artacaktır. Yapılmış olan ekonomik analizlerde elektrik enerjisinin yanında ısı enerjisinin de değerlendirilmesine özellikle dikkat edilmelidir. Ayrıca fermente gübrenin tarımsal faaliyetlerde kullanılmasının yaygınlaştırılması büyük bir önem taşımaktadır. Isı enerjisinin ve fermente gübrenin dikkate alınmadığı yatırımlar atıl kalabilmekte veya kapasitelerinin altında işletilmektedir. Bu nedenle hazırlanacak projelerde nitelikli insan kaynağının artırılması ve biyogaz üretim sistemlerinin yapısına uygun çok disiplinli araştırmaların yapılması önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında Torbalı için büyükbaş hayvan atıklarıyla kurulabilecek birbirinden farklı biyogaz sistemlerinin ekonomik etkiler, çevresel etkileri ve

yaratacağı istihdam açısından etkileri belirtilmiş ve analizleri yapılmıştır. Yapılmış olan analizlerin doğru sonuçlar verebilmesi için Torbalı'da bulunan büyükbaş hayvansal atık dağılımları sistem büyüklüklerine göre incelenmiştir. En başta incelenmiş olan Torbalı'da kurulabilecek küçük ölçekli sistemlerin önem taşıdığını burada vurgulamak gerekmektedir. Taşınması mümkün olmayan az miktardaki atıkların küçük ölçekli sistemlere değerlendirilmesi ve geri kazanılması oldukça önemlidir. 50 büyükbaş hayvan atığından daha az miktardaki atıkları toplamak olduğundan büyük ölçekli sistemlerde küçük miktardaki atıkların kullanılabilme imkânı pek mümkün olmamaktadır. Kurulabilecek sistemler içinde yer alan köy tipi sistemler için analizler yapılmıştır. Ancak bu analizlere eklenmesi gereken ve parasallaştırılamayan etkiler de mevcuttur. Belirtilmelidir ki, köy tipi olarak tasarlanan bir biyogaz sisteminin kurulmasında o köyde yaşayan halkın yardımlaşma ve kooperatifleşme oranı artmaktadır. Ayrıca kapalı bir sistemde atıklar işlendiği için köyde atıl bir şekilde biriken büyükbaş hayvan atıkları kokusuz bir şekilde değerlendirilmiş olmaktadır. Kurulabilecek sistemlerin en büyüğü merkezi biyogaz sisteminin en önemli farklarından biri elde edilecek fermente gübre kullanım oranını artırılmasıdır. Sistemler tüm çıktıların aktif olarak kazanca çevrilebilmesi neticesinde bu sistemler daha ekonomik hale gelip yaygınlaşabilmektedir. Biyogaz sistemleri, yalnızca bir ülkenin enerji dengesini iyileştirmekle kalmaz aynı zamanda tüm dünyayı ilgilendiren bir sorun olan iklim değişikliği ve küresel ısınma ile mücadeleye de önemli katkılar sağlayabilmektedir. Ayrıca, doğal kaynakların ve çevrenin korunmasında da önemli bir rol oynar. Tüm bu nedenlerden biyogaz sistemlerini farklı ilçe ve bölgelere kurmak önce o ilçeyi daha sonra bölge ve ülkeyi kalkındıracağı gibi tüm dünyada bu sistemlerin yaygınlaşması karbon emisyonunun da azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın bir sonucu olarak belirtilmelidir ki; kurulabilecek olan biyogaz sistemleri öncelikle Torbalı'da yaşayan insanların daha iyi şartlarda yaşamalarına olanak sağlayacaktır. Hava kirliliği azalacak ayrıca yakacak olarak kömür ve odun kullanılmasından kaynaklanan sağlık sorunları azalacaktır. Biyogaz sistemleri Torbalı ilçesinde istihdam yaratacağından bu bölgede işsizlik azalacaktır. İstihdamın artması ile genç nüfusun kentlere olan göçü azalacak ve bu durum bölgesel kalkınmaya olumlu bir şekilde yansıtacaktır. Ayrıca, bu bölgede yaşayanların yetenekleri gelişecektir. Dolayısı ile böyle çalışmaların artması önem teşkil etmektedir.

Sonuç olarak Torbalı'da kurulabilecek farklı tipteki biyogaz sistemleri için yapılmış olan bu tez çalışmasında örnek teşkil edebilecek sonuçlar bulunmuştur. Bu çalışmaya ek olarak Torbalı'da biyogaz potansiyeli teknolojiye ve ekonomiye bağlı

olarak gelişebilecektir. Çünkü böyle bir durumda yalnızca büyükbaş hayvan atıklarıyla değil aynı zamanda bitkisel atıklar ve kanatlı hayvanların atıklarının katılmasıyla karlılık düzeyinde artış yaşanabilecektir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Atlasbig (2021)**, <https://www.atlasbig.com/tr/izmir-torbalinin-mahalleleri>, Erişim Tarihi: 25.12.2021
- Avcioğlu, A. O., & Türker, U. (2012)**. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), 1557-1561.
- Baştan Töke, L. (2020)**. Kompost ve biyogaz tesislerinde veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü (Master's thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- ÇAĞLAYAN, G., & KOÇER, N. (2014)**. MUŞ İLİNDE HAYVAN POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLEREK BİYOGAZ ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 215-220.
- Deng, L., Liu, Y., & Wang, W. (2020)**. Biogas Plant. In *Biogas Technology* (pp. 109-156). Springer, Singapore. (sf.24)
- Deviren, H., İLKILIÇ, C., & AYDIN, S. (2017)**. Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller ve Biyogazın Kullanım Alanları. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2/2), 79-89.
- DORUK, İ., & BOZDEVECİ, A. (2017)**. Denizli ilinin kırsal kesimlerinde hayvansal kaynaklı atıklardan biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(3), 181-186.
- EBA, EBA Statistical report 2018 | European Biogas Association**, Erişim Tarihi: 23.05.2021
- Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yıldız, O., Ertekin, C., & Ozturk, H. H. (2010)**. The prospective of potential biogas plants that can utilize animal manure in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 28(3), 187-205.
- Eryasar A., (2019)**, “Konya ili Sığırcılık (Et ve Süt) İşletmeleri Atıklarına Bağlı Biyogaz Potansiyeli” (yayımlanmamış).
- Eryasar, A., Yılmaz, M., Korkmaz, H. (2016)**. Küçük ölçekli Biyogaz Tesisleri Hakkında Araştırma, Planlama ve Fizibilite Çalışmalarının Yapılması

Projesi. <https://www.serka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/kucuk-olcekli-biyogaz-tesisleri-hakkinda-fizibilite-calismasipdf-son.pdf>, 05.05.2021

Gedik, T., Akyüz, K. C., & Akyüz, İ. (2005). YATIRIM PROJELERİNİN HAZIRLANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ (İç Karlılık Oranı ve Net Bugünkü Değer Yöntemlerinin İncelenmesi). *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 7(7), 51-61.

Global Bioenergy Statics, 2020;

<https://www.worldbioenergy.org/uploads/201210%20WBA%20GBS%2020.pdf>, Erişim Tarihi: 19.05.2021

Gülen, J., & ÇEŞMELİ, Ç. (2012). Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 65-84.

Günnur KOÇAR, Ahmet ERYAŞAR, Özben ERSÖZ, Şefik ARICI, Alper DURMUŞ; “Biyogaz Teknolojileri”, İzmir, 2010 ISBN: 978-605-61108-0-1

Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource technology*, 100(22), 5478-5484. (şekil 2.1)

IEA, World Outlook Special Report, 2020 An introduction to biogas and biomethane – Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth – Analysis - IEA, 18.05.2021

ILGAR, R. (2016). HAYVAN VARLIĞINA GÖRE ÇANAKKALE BİYOGAZ POTANSİYELİNİN TESPİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA-A STUDY FOR DETERMINATION OF BIOGAS POTENTIAL in ÇANAKKALE, ASSETS BY ANIMALS. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21(35), 89-106.

IRENA, Biogas Domestic Cooking, 2017, Biogas for domestic cooking: Technology brief (irena.org), Erişim Tarihi: 21.05.2021

İzmir Kalkınma Ajansı, “İzmir İli Yenilenebilir Enerji Sektör Analizi” <https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/12-yenilenebilir-enerji-sekto-r-analizi.pdf> (Erişim Tarihi: 24.12.2021)

- İzmir Kalkınma Ajansı**, İzmir’de Biyogaz ve Organik Gübre Üretimi Potansiyeli, 2020, https://izka.org.tr/wp-content/uploads/2021/04/biyogaz_raporu_v5.pdf, Erişim Tarihi: 21.12.2022
- İzmir Valiliği Resmi İnternet Sitesi**, <http://www.izmir.gov.tr/torbalı>, Erişim Tarihi: 24.12.2021
- KARACA, C.** (2017). Hatay ilinin hayvansal gübre kaynağından üretilebilir biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(1), 34-39.
- KARAGÖZ, M., ÇİFTÇİ, B., DENİZ, E., & BİNARK, A. K.** (2018). KARABÜK İLİNDE HAYVANSAL ATIKTAN BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ VE ÖRNEK BİYOGAZ TESİSİ KURULUMU.
- Karim, K., Hoffmann, R., Klasson, K. T., & Al-Dahhan, M. H.** (2005). Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing. Water research, 39(15), 3597-3606.
- KAYA, D., ÇOBAN, V., ÇAĞMAN, S., EYİDOĞAN, M.,** “*Osmaniye İlinde Hayvansal Biyogaz ve Enerji Potansiyelinin Araştırılmasına Yönelik Fizibilite Raporu*”, Nisan 2015; osmaniye-belediyesi-biyogaz-fizibilite-raporu.pdf (dogaka.gov.tr) Erişim Tarihi: 23.11.2021.
- Kilickaplan, A., Bogdanov, D., Peker, O., Caldera, U., Aghahosseini, A., & Breyer, C.** (2017). An energy transition pathway for Turkey to achieve 100% renewable energy powered electricity, desalination and non-energetic industrial gas demand sectors by 2050. Solar Energy, 158, 218-235.
- Korkmaz, Y., Aykanat, S., & Çil, A.** (2012). Organik Atıklardan biyogaz ve enerji üretimi. *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 1, 489-497.
- Kurucu, Y., & Chiristina, N. K.** (2008). Monitoring the impacts of urbanization and industrialization on the agricultural land and environment of the Torbali, Izmir region, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 136(1), 289-297.
- Marañón, E., Castrillón, L., Quiroga, G., Fernández-Nava, Y., Gómez, L., & García, M. M.** (2012). Co-digestion of cattle manure with food waste and

sludge to increase biogas production. Waste management, 32(10), 1821-1825.

Öçal, F. (2015). Biyogaz enerjisi üretimi ve Eskişehir İli için uygulama (Master's thesis, ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü).

ÖZBAŞER, F. T., & ERDEM, E.; BİYOGAZ ÜRETİMİ VE KULLANIMI Derleme. Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi, 53(2), 115-124.

Öztürk, M. (2005). Hayvan gübresinden biyogaz üretimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 5, 8-18.

POYRAZ, H. N., ELDEN, G., & Gamze, G. E. N. Ç. Kayseri İli İçin Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin ve Maliyetinin Araştırılması. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(3), 1175-1185.

REN21, GSR 2018 Report, 403 Forbidden (ren21.net) , Erişim Tarihi:21.05.2021

Savaş, A. Ö. (2018). Organik atıkların kullanıldığı 1000 başlık bir biyogaz tesisinin projelendirilerek imalat ve üretim maliyet analizlerinin belirlenmesi (Master's thesis, Bursa Uludağ Üniversitesi).

Selimoğlu, G., 2008, “Büyükbaş Hayvan Dışkısından Biyogaz Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Kimya Anabilim Dalı, Ankara, 18-25 s.

SEYHAN, A. K., & BADEM, A. Erzincan ili hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik biyogaz tesisi senaryoları. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(1), 245-256.

Torbalı Kaymakamlığı Resmi İnternet Sitesi, <http://www.torballi.gov.tr/cografi-yapi-iklim-ve-nufus>, Erişim Tarihi: 24.12.2021

TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, Hayvancılık İstatistikleri TÜİK - Veri Portalı (tuik.gov.tr), Erişim Tarihi : 20.05.2021

TURKVET, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı - Veri Portalı (www.tarimorman.gov.tr), Erişim Tarihi : 20.11.2022

Worldbank, Electric Power Consumption Electric power consumption (kWh per capita) | Data (worldbank.org) , Erişim Tarihi:21.05.2021

YAĞLI, H., & Yıldız, K. O. Ç. (2019). Hayvan gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Adana ili örnek hesaplama. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(3), 35-48.

Zabed, H. M., Akter, S., Yun, J., Zhang, G., Zhang, Y., & Qi, X. (2020). Biogas from microalgae: Technologies, challenges and opportunities. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 117, 109503.





TEŞEKKÜR

Bu çalışmada araştırılan konuyu öneren, çalışma süresince beni yönlendiren ve ayrıca yardımlarını benden esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Eryaşar'a; Tezin sonuçlanması aşamasındaki katkı ve desteklerinden dolayı Prof. Dr. Günnur Koçar ve Prof. Dr. Ceylan Zafer'e; değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Ayten Ayşen Kaya ve Prof. Dr. Nurdan Büyükkamacı'ya teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca, tüm öğrenim hayatım boyunca büyük bir özveri ile her zaman yanımda olan sevgili aileme ve benden desteğini ve sevgisini hiçbir zaman esirgemeyen, yüksek lisans yapmam için beni teşvik eden değerli eşim Celal Hakan Canbaz 'a emeklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

03/02/2023

İmzası

Ezgi Canbaz



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Ezgi Canbaz

Mezun Olduğu Lise: Kemalpaşa Pakmaya Ülkü Hızal Anadolu Lisesi

Mezun Olduğu Üniversite: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü

Yayınlar:

Canbaz, C. H., Aydın, H., Canbaz, E., Akbarov, I., Aksahan, F., Hussain, A., ... & Temizel, C. (2021, October). A Comprehensive Review and Status of Renewable Resources and Oil and Gas. In *82nd EAGE Annual Conference & Exhibition* (Vol. 2021, No. 1, pp. 1-77). European Association of Geoscientists & Engineers.

Canbaz, E., Eryasar, A., (2021). Türkiye ve Dünya Geneline Biyogaz Sistemlerinin Kırsal Kalkınmaya Etkisi. *ISPEC 8th International Conference on Agriculture, Animal Sciences and Rural development*, 24-25 December, 2021, Bingöl, Turkey, pp, 447-462.

EKLER