KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAYVANSAL KAYNAKLI BİYOGAZ ÜRETİM TESİSLERİNDE ÜRETİLEN GÜBRENİN DEĞERLENDİRİLME METOTLARI VE FİZİBİLİTEYE OLAN ETKİSİNİN İRDELENMESİ

GÜLŞAH KAPLAN

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAYVANSAL KAYNAKLI BİYOGAZ ÜRETİM TESİSLERİNDE ÜRETİLEN GÜBRENİN DEĞERLENDİRİLME METOTLARI VE FİZİBİLİTEYE OLAN ETKİSİNİN İRDELENMESİ

GÜLŞAH KAPLAN

Dr. Volkan ÇOBAN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Dr. Selman ÇAĞMAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Ethem TOKLU
Jüri Üyesi, Düzce Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 23.01.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyada yenilenebilir enerji üretimi gün geçtikçe artmaktadır. Biyogaz ise gerek enerji üretimi gerek ise atıkların bertarafı ile çevresel sorunları çözüme ulaştırmasıyla önemli bir kaynaktır. Biyogaz üretimi sonrası üretilen gübre ise sıfır atık ilkesiyle doğaya ve tarıma katkı sağlamaktadır.

Biyogaz tesislerinin önemli çalışma parametrelerini ve tecrübelerini lisans hayatımdan beri bana aktaran, yardımlarını ve desteğini hiç esirgemeyen, değerli danışman hocam Volkan ÇOBAN'a; değerli emekleri ve destekleri için hocam Selman ÇAĞMAN'a; doğduğum günden beri sevgilerini hep hissettiren, bana ilk eğitimi veren sevgili annem Güldane KAPLAN'a, sevgili babam Niyazi KAPLAN'a, sevgili ablam Şerife KAPLAN GÜN'e ve her zaman hayatımı güzelleştiren biricik arkadaşlarıma bir teşekkürü borç bilirim.

Ocak-2020 Gülşah KAPLAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
TABLOLAR DİZİNİ iv
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 3
1.1. Biyogaz Nedir? 5
1.2. Hayvansal Atıkların Biyogaz Tesislerinde Değerlendirilmesi 6
1.3. Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Tesis Fizibilitesini Etkileyen Faktörler 8
1.4. Biyogaz Tesis Çıktısı Ürünün Gübre Olarak Değerlendirilmesi 8
1.4.1. Organik gübre üretimi 9
1.4.2. Organomineral gübre üretimi 12
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 13
3. MATERYAL VE YÖNTEM 17
3.1. Materyal 17
3.2. Hammadde Analizleri 18
3.3. Yöntem 18
3.3.1. Biyogaz tesis kapasitesi ve dizayn parametreleri 19
3.3.1.1. Buswell yöntemi ile kapasite tayini 22
3.3.1.2. Literatür verileri ile kapasite tayini 25
3.3.2. Biyogaz tesis yatırım maliyeti 27
3.3.3. Biyogaz tesisi işletme giderleri 28
3.3.4. Biyogaz tesisi gelirleri 28
3.3.5. Biyogaz tesis fizibilite hesapları 29
3.3.5.1. Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları 30
3.3.5.2. Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesapları 31
3.3.5.3. Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesapları 36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 42
4.1. Materyallerin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri 42
4.2. Hammadde Analiz Sonuçları 42
4.3. Biyogaz Tesis Kapasitesi Ve Dizayn Parametreleri 43
4.3.1. Buswell yöntemi ile kapasite tayini 43
4.3.2. Literatür verileri ile kapasite tayini 44
4.4. Biyogaz Tesisi, Organik Katı Gübre Ve Organomineral Gübre Üretim Tesisi Yatırım Maliyeti 44
4.4.1. Biyogaz tesisi, organik katı gübre ve organomineral gübre üretim tesisi işletme gelir ve giderleri 47

4.5.Biyogaz Tesis Fizibilite Hesapları 48
4.5.1. Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları 48
4.5.2. Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesapları 49
4.5.3. Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesapları 50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 51
KAYNAKLAR 53
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 56
ÖZGEÇMİŞ 57

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Hayvansal ve tarımsal atık kaynaklı lisanslı biyogaz tesisi sayısının yıllara göre artışı 3
Şekil 1.2. Deponi gazı kaynaklı lisanslı tesis sayısının yıllara göre artışı 4
Şekil 1.3. Hayvansal ve tarımsal atık kaynaklı lisanslı biyogaz tesislerinin kurulu gücünün yıllara göre artışı 4
Şekil 1.4. Deponi gazı kaynaklı lisanslı tesislerin kurulu gücünün yıllara göre artışı 4
Şekil 1.5. Biyogazın oluşum safhaları 5
Şekil 1.6. Hayvansal gübrenin doğadaki döngüsü 10
Şekil 3.1. Büyükbaş besi hayvan çiftliği 17
Şekil 3.2. Kanatlı hayvan yumurtacı tavuk çiftliği 18
Şekil 3.3. Biyogaz tesisi görünümü (3 MW) 22
Şekil 4.1. Biyogaz tesisi kütle denkliği 49
Şekil 4.2. Organik katı gübre kütle denkliği 50
Şekil 4.3. Organomineral katı gübre kütle denkliği 50

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Hayvansal atık karakterizasyonları 7
Tablo 1.2. Separatör sonrası üretilen katı ve sıvı gübrenin nütrient analizi 8
Tablo 3.1. Yumurtacı tavuk çiftliği elementer analiz 23
Tablo 3.2. Biyogaz tesisi yatırım maliyetleri genel tablo 27
Tablo 3.3. Biyogaz tesisi işletme giderleri 28
Tablo 3.4. Biyogaz tesisi giderleri detaylı tablo 31
Tablo 3.5. Biyogaz ve organik katı gübre tesisi giderleri detaylı tablo 33
Tablo 3.6. Biyogaz ve organomineral gübre tesisi giderleri detaylı tablo 37
Tablo 3.7. Separatör çıktısı katı gübre analizleri 38
Tablo 4.1. Biyogaz tesisi atığı 42
Tablo 4.2. Hammadde analizleri 43
Tablo 4.3. Tesis dizayn parametreleri 43
Tablo 4.4. Buswell yöntemi ile elektrik üretim kapasitesi 43
Tablo 4.5. Literatür verileri ile elektrik üretim kapasitesi 44
Tablo 4.6. Fizibilite çalışmaları 47
Tablo 4.7. Biyogaz ve gübre tesisi fizibilite hesapları 48
Tablo 4.8. Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları 48
Tablo 4.9. Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesapları 49
Tablo 4.10. Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesapları 50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: Karbon
°C	: Derece
CH_4	: Metan gazı
CO	: Karbon monoksit
CO_2	: Karbon di oksit
Da	: Dekar
DAP	: Di amonyum fosfat
H	: Hidrojen
H_2	: Hidrojen gazı
K	: Potasyum
Kg	: Kilogram
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt.saat
l	: Litre
m	: metre
m^3	: metreküp
MW	: Megawatt
N	: Azot
N_2	: Azot gazı
K_20	: Potasyum oksit
O	: Oksijen
P	: Fosfor
P_2O_5	: Fosfor penta oksit
s	: saniye
S	: Kükürt
%	: Yüzde
$	: Dolar
≅	: Yaklaşık

Kısaltmalar

AB	:Avrupa Birliği
CAPEX	:Capital Expenditure (Yatırım Maliyeti)
CHP	:Combined Heat Power (Birleşik Isı ve Güç)
CSTR	:Continuously Stirred Tank Reactor (Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör)
EN	:English Normal (İngiliz Normali)
ENH	:Enerji Nakil Hattı
FAVÖK	:Faiz, Amortisman ve Vergi Öncesi Kar
HRT	:Hydrolic Retantion Time (Hidrolik Bekleme Süresi)
IRR	:İç Getiri Oranı
KM	:Kuru Madde

NBD	:Net Bugünkü Değer
OPEX	:Operational Expenses (İşletme Maliyeti)
P&ID	:Borulama ve Enstrüman Diyagramı
pH	:Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)
PLC	:Programlanabilir Lojik Kontrol
PVC	:Poli Vinil Clorür
RO	:Ters Ozmoz
STP	:Standart Sıcaklık ve Basınç
TEP	:Ton Eş Değer Petrol
TOC	:Toplam Organik Karbon
TOM	:Toplam Organik Miktarı
TÜİK	:Türkiye Istatistik Kurumu
UKM	:Uçucu Kuru Madde
UNICEF	:Birleşmiş Milletler Uluslararası Çocuk Acil Yardım Fonu
USD	:Dolar
VS	:Volatile Solid (Uçucu Katı)
YEEP	:Yenilenebilir Enerji Eylem Planı
YEK	:Yenilenebilir Enerji Kanunu
YEKDEM	:Yenilenebilir Enerjileri Destekleme Mekanizması

HAYVANSAL KAYNAKLI BİYOGAZ ÜRETİM TESİSLERİNDE ÜRETİLEN GÜBRENİN DEĞERLENDİRİLME METOTLARI VE FİZİBİLİTEYE OLAN ETKİSİNİN İRDELENMESİ

ÖZET

Dünyada ve ülkemizde biyogaz tesislerinden enerji üretimi gün geçtikçe artmaktadır. Hayvansal kaynaklı hammadeden biyogaz üretimi sonrasında katı ve sıvı gübre olmak üzere çeşitli çıktılar elde edilmektedir. Bu tesislerde üretilen gübrenin tarımda değerlendirilmesi gerek yatırım fizibilitesine gerekse çevreye olan etkisinden dolayı önem arz etmektedir. Bu çalışmada mezofilik şartlarda çalışan 3 MW elektrik üretim kapasiteli bir yaş fermantasyon tesisinde üretilen katı gübrenin satılabilir forma dönüştürülebilmesi için gerekli proses tipleri incelenmiştir. Bu prosesler sonrasında üretilen gübre tiplerinin N, P, K değerleri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kapsamında enerji üretiminin yanı sıra gübre satışının tesis fizibilitesine olan etkileri ortaya konulmuştur. Yapılan hesaplamalar ışığında; yalnızca elektrik üretiminden gelir elde bir biyogaz tesisinin 5,76 yıl olan amortisman süresi, elektrik satışına ek katı organik gübre satışı ile 3,71 yıl organomineral gübre satışı ile 1,07 yıla indirgendiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Fermente Gübre, Organik Gübre, Organomineral Gübre, Yaş Fermantasyon.

A RESEARCH ON THE EVALUTION METHODS OF FERTILIZERS PRODUCED IN BIOGAS PLANTS AND THEİR EFFECTS ON FEASIBILITY

ABSTRACT

Energy production from biogas plants in the world and Turkey as well is increasing day by day. After the production of biogas from animal origin raw materials, various outputs such as solid and liquid fertilizer are obtained. The evaluation of fertilizer produced in these plants in agriculture is important because of its feasibility and impact on the environment. In this study, the types of processes required to convert the solid fertilizer produced in a wet fermentation plant with a capacity of 3 MW electricity production under mesophilic conditions into a salable form have been investigated. N, P, K values of fertilizer types produced after these processes have been analyzed. Within the scope of the results, the effects of sales of fertilizers as well as energy production on the feasibility of the plant have been determined. Within the light of these calculations, it has been determined that a biogas plant with a revenue of only 5.76 years from the production of electricity can be reduced to 1.07 years with the sale of additional organomineral fertilizer. Also, with the sale of solid organic fertilizers, the payback period was reduced to 3.71 years.

Keywords: Biogas, Fermented Fertilizer, Organic Fertilizer, Organomineral Fertilizer, Wet Fermentation.

GİRİŞ

Küreselleşen dünya ve sanayinin artışıyla birlikte enerji büyük bir ihtiyaç haline gelmiştir. 1800'lü yıllar sonrasında sanayi devrimiyle birlikte fosil yakıtlara olan ihtiyaç artmıştır. Fakat enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla birlikte bir sonuç daha meydana gelmiştir. Fosil yakıt rezervleri azalıp, sera gazı etkisi artmıştır. İnsanlık; ozon tabakasına verdiği zararları azaltmak ve tükeneceğini bildiği kaynağın alternatifini aramak maksadıyla yenilebilir enerjiye yönelmiştir. 1973 yılında yaşanan petrol krizi ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi bir kez daha anlaşılmıştır.

Türkiyede ise yenilenebilir enerji sektörü 2005 yılında çıkan 5346 sayılı Yenilenebilir enerji kanunu (YEK) ile altyapı oluşturmaya başlamıştır. Ayrıca 2011-2020 yıllarına yönelik, AB'ye uyum süreci kapsamında Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı (YEEP) yürürlüğe alınmıştır ("Vikipedi", 2019). 2011 yılında devlet bir hamle daha yaparak, YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması) ile yenilenebilir enerji santrallerine 10 yıl boyunca elektrik satışında, dolar kurundan alım garantisini getirmiştir. Elektrik alım garantisi santral tiplerine göre aşağıdaki gibidir:

- Hidroelektrik ve rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisleri için 7,3 USDcent/kWh,
- Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisleri için 10,5 USDcent/kWh,
- Biyokütle ve güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için ise 13,3 USDcent/kWh

Yapılan bu teşvik ile ülkemizde yenilenebilir enerji yatırımları 2011 yılından sonra ivmelenerek artmıştır. Yenilenebilir enerji; doğayı korumak ve sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla önem arz etmektedir. Rüzgâr, güneş, jeotermal, hidroelektrik ve biyokütle başlıca yenilenebilir enerji kaynaklarındandır.

Fosilleşmemiş C, H, O bağı içeren organik bileşiklere biyokütle denir. Hayvansal, tarımsal ve evsel biyokütle atıklarından aneaerobik şartlarda; %50 - %60 metan

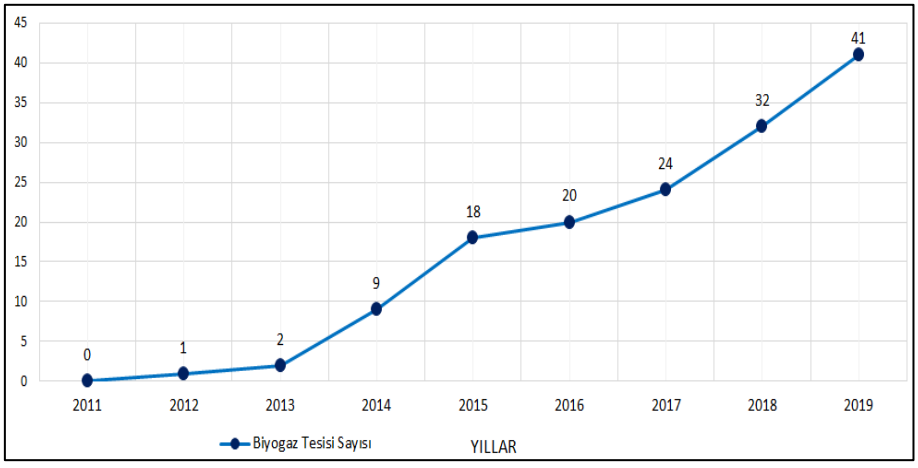
içeriğine sahip yanıcı bir gaz türü olan biyogaz elde edilmektedir. Biyogaz üretimi, çevre dostu olması nedeniyle; ülkemizde ve dünyada gün geçtikçe artmaktadır. Biyogazın ülkemizdeki tarihçesini incelediğimizde ise; ilk çalışmalar 1957'de Toprak ve Su araştırma enstitüsü ile başlayıp, 1960'larda devlet üretme çiftliklerinde pilot tesisler kurulmuştur. Fakat işletmesel açıdan sürdürülebilirlik sağlanmadığı için çalışmalar başarısız olarak kabul edilmiştir. Biyogaz çalışmaları 1982'lerde ülkede tekrardan gündeme gelmiştir. UNICEF'in teknik ve finansal yardımlarıyla DPT çalışmalarını sürdürmüştür. Yine aynı yılda Toprak Su Araştırma Enstitüsüne sağladığı kredi desteğiyle maksimum 50 m^3'lük kapasiteye sahip 1.000 adet tesis kurulmuştur. 2007 yılında hayvansal atığa dayalı ilk tesis ise; TÜBİTAK projesi olarak 330 kW kurulu gücünde Kocaeli'de kurulmaya başlanmış ve 2010 yılında işletmeye alınmıştır (Şenol, Elİbol, Açikel, & Şenol, 2017).

Biyokütle atıklarının biyogaz tesislerinde değerlendirilmesi; çevre dostu olup, temiz enerji üretimini desteklemektedir. Aynı zamanda enerjisi alınan biyokütle tarımsal alanlara olan katkısından dolayı doğaya geri döndürülmelidir. Biyogaz tesis çıktısı olan gübre ise ülkemizde organik açısından fakirleşmiş topraklarımız için büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada biyogaz tesisinden elde edilebilecek kazançlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elektrik ve gübre satışının tesisi fizibilitelerine olan etkileri ve üretim methodları ortaya konulmuştur.

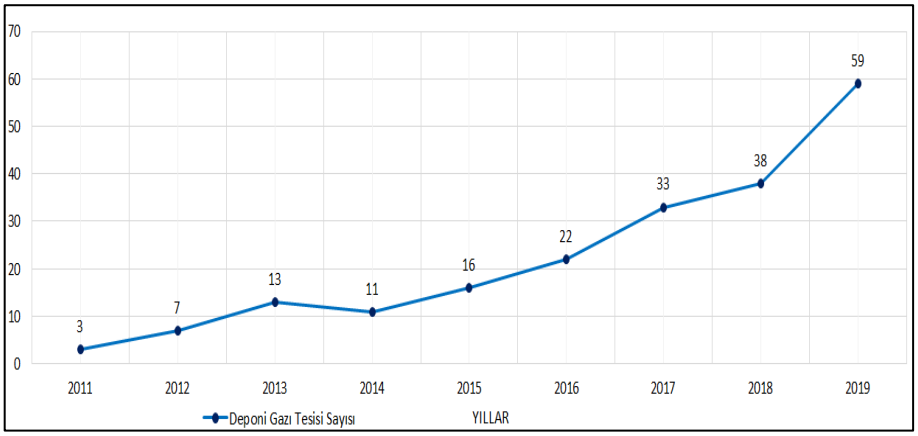
1. GENEL BİLGİLER

Türkiye'nin biyogaz üretim potansiyeli incelendiğinde; hayvansal atık miktarı 163.297.308 (ton/yıl), bitkisel atık miktarı 176.313.301 (ton/yıl), kentsel katı atık miktarı 31.331.836 (ton/yıl) 'dır. Atıkların toplam enerji değeri eş değeri ise; 44.228.795 (TEP/yıl)'dır ("Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası", 2019). Bu potansiyele rağmen 2019'da lisanslı hayvansal ve bitkisel atık kaynaklı biyogaz tesisi sayısı 41 olup, deponi gazından elektrik üretimi yapan tesis sayısı da 59'dur. Hayvansal atık kaynaklı lisanslı biyogaz tesisi kurulu gücü 203,4 MW, deponi gaz (evsel atıkların depolanmasıyla, anaerobik koşullarda elde edilen biyogaz) kaynaklı lisanslı tesislerin kurulu gücü ise 299,6 MW'tır ("EPDK, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu", 2019).

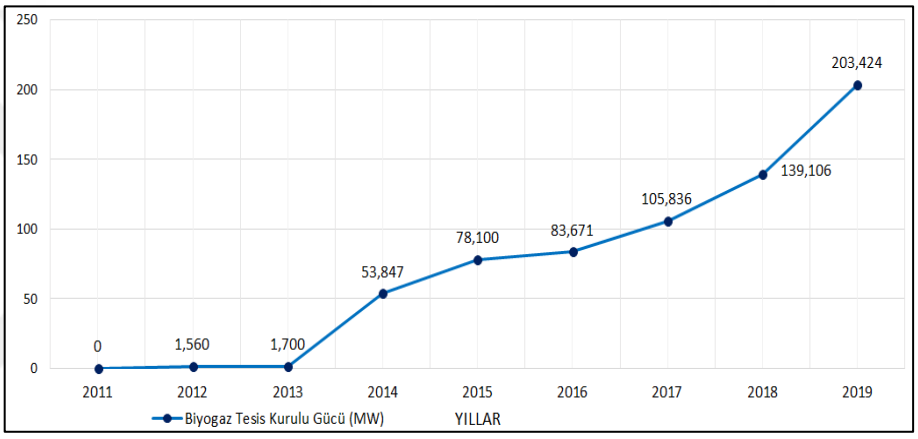
Şekil. 1.1. ve Şekil 1.2.'de Türkiyedeki hayvansal ve tarımsal atığa dayalı tesis sayısının yıllara bağlı olarak artışı verilmiştir. 2011'de YEKDEM teşviği ile artış gözlenmiştir. Şekil 1.3. ve Şekil 1.4.'te MW bazında artış incelenmiştir. Toplamda kurulu güç 2 alanda da 200 MW'ları aşmıştır.



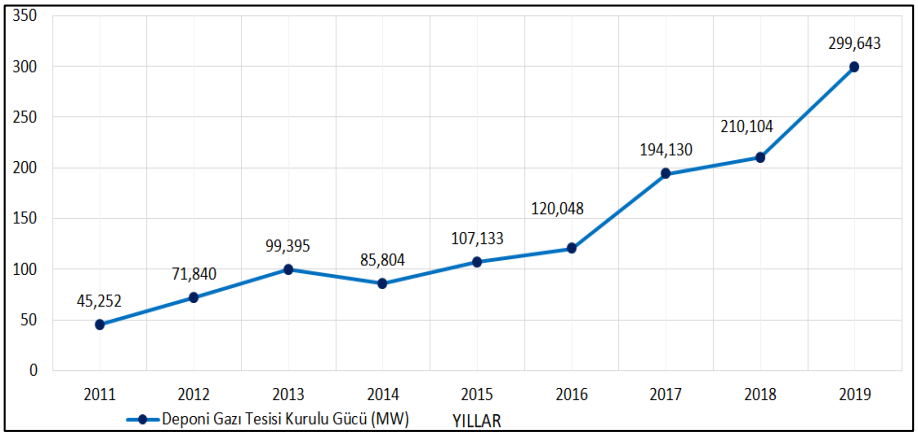
Şekil 1.1. Hayvansal ve tarımsal atık kaynaklı lisanslı biyogaz tesisi sayısının yıllara göre artışı



Şekil 1.2. Deponi gazı kaynaklı lisanslı tesis sayısının yıllara göre artışı



Şekil 1.3. Hayvansal ve tarımsal atık kaynaklı lisanslı biyogaz tesislerinin kurulu gücünün yıllara göre artışı



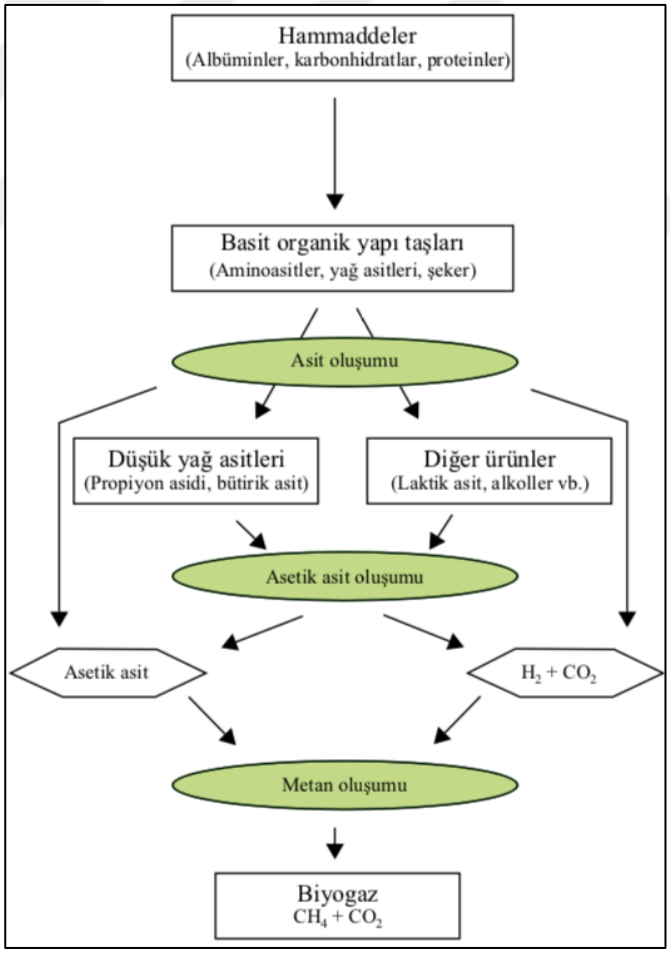
Şekil 1.4. Deponi gazı kaynaklı lisanslı tesislerin kurulu gücünün yıllara göre artışı

1.1. Biyogaz Nedir?

Fosilleşmemiş C, H, O bağı içeren organik bileşiklere biyokütle denir. Hayvansal, tarımsal ve evsel biyokütle atıklarından aneaerobik şartlarda; %55-70 metan (CH4), %30-45 karbondioksit (CO_2), %0-2 hidrojen sülfür (H_2S) ile çok az miktarda azot (N_2) ve hidrojen (H_2) içeriğine sahip yanıcı bir gaz türü olan biyogaz elde edilmektedir (Ardıç & Taner, 2019). Biyogaz üretimi çevre dostu olması nedeniyle; ülkemizde ve dünyada gün geçtikçe artmaktadır.

Biyogaz üretimi üç aşamadan oluşmaktadır (Bkz. Şekil. 1.5) (Nachwachsende, 2008).

- Hidroliz
- Asitojenez
- Metanogenez



Şekil 1.5. Biyogazın oluşum safhaları

Hidroliz aşamasında kompleks yapılar daha basit yapılara dönüşür. Örneğin; proteinler aminoasit formuna geçer. Asitojenez aşamasında ise; oluşan ara ürünler fermantasyon bakterileri ile yağ asitlerine, karbondioksite ve hidrojene ayrışır. Metanogenez fazında; yağ asitleri, metanogenesis bakteri ile CH_4 ve CO_2 üretimini gerçekleştirir. Çalışma sıcaklıklarına göre 3 tip bakteri çeşidi bulunmaktadır. Türkiye'deki çevre koşulları ve geviş getiren hayvanların midelerinde bulunmasından ötürü en çok mezofilik bakteri tipli prosesler tercih edilmektedir.

- Sakrofilik
- Mezofilik
- Termofilik

1.2. Hayvansal Atıkların Biyogaz Tesislerinde Değerlendirilmesi

Hayvansal atıklar hayvanların mide yapıları sebebiyle organik ürün açısından zengin ürünlerdir. Özellikle büyükbaş hayvan atığı ve kanatlı hayvan atıkları biyokütle olarak nitelendirilip, biyogaz tesislerinde hammadde olarak değerlendirilmektedir. Bir yaş fermantasyon tesisinde hayvansal atık aşağıdaki işlemlerden geçirilerek; biyogaz ve enerji üretimi gerçekleştirilir.

Çiftliklerden gelen hayvansal atık ön depoya alınır. Ön depoya alınan atık istenilen kuru madde oranına göre düzenlemeleri yapılır. Kuru maddesi ayarlanmış ürün üreteçlere (reaktörlere) yüklenilir. Uygun bekleme sürelerinde (HRT; Hydrolic retantion time) bakterilerin çoğalması sağlanılır. Metagenosiz bakterileri ile %55-%70 metan içeren biyogaz üretilir (Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, Kohli, & Rana, 2004). Biyogaz gaz şartlandırma ünitelerinden geçirilirek saflaştırılır ve kojenerasyon ünitesine gönderilir. Gaz motoru vasıtasıyla da elektrik üretimi gerçekleştirilir. Tablo 1.1'de çeşitli hayvan türlerinin kuru madde (KM), uçucu kuru madde (UKM) ve N, P, K değerlerine ilişkin oranlar verilmiştir (Nachwachsende, 2008).

Bir biyogaz tesisinin tasarımı, yapılması ve devreye alınması ne kadar kritik ise tesisin sürekli olarak çalıştırılması ve istenen biyogaz veriminin sağlanması da o denli zor ve hayati bir süreçtir. Zira fermantörde biyogaz üretimini sağlayan bakteriler canlı organizmalardır. Dolayısıyla hedeflenen biyogaz miktarını ve içeriğini sağlayabilmek

için üretim prosesine etkisi olan bazı parametrelere dikkat etmek gerekmektedir. Biyogaz tesislerinde biyogaz üretiminde aşağıdaki veriler etkilidir (Ilkiliç & Deviren, 2011).

- Hammadde miktarı
- Hammadde cinsi
- Kuru madde miktarı
- Karbon/azot (C/N) oranı
- Partikül büyüklüğü
- Ortam sıcaklığı
- Ortam asitliği (pH)
- Fermantasyon süresi
- Tesis tipi

Tablo 1.1. Hayvansal atık karakterizasyonları

Materyal		KM (%)	UKM (%)	N	NH4	P2O5	K2O
Sıvı sığır gübresi	Δ	6-11	75-82	2,6-6,7	1-4	0,5-3,3	5,5-10
	ø	10	80	3,5	bildirilmemiş	1,7	6,3
Sıvı domuz gübresi	Δ	4-7	75-86	6-18	3-17	2-10	3-7,5
	ø	6	80	3,6	bildirilmemiş	2,5	2,4
Sığır gübresi	Δ	20-25	68-76	1,1-3,4	0,22-2	1-1,5	2-5
	ø	25	80	4	bildirilmemiş	3,2	8,8
Kanatlı gübresi	ø	40	75	18,4	bildirilmemiş	14,3	13,5

ø : Ortalama değer aralığı

Δ: Ölçme değer aralığı

1.3. Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Tesis Fizibilitesini Etkileyen Faktörler

Hayvansal atık kaynaklı tesis fizibilitesini etkileyen faktörler göz önünde bulundurulurken değerlendirilmesi gereken 3 basamak vardır.

a) İlk yatırım bedeli

b) Gelirler

- Elektrik Satış Geliri

2019 Türkiye itibariyle YEKDEM teşviği ile belirlenen bedel 0.133 USD/kWh'tır.

- Gübre Satış Geliri

Net bir rakam devlet tarafından belirlenmemiştir. Şirketler gübrenin kalitesine ve pazar değerine göre satış rakamlarını belirlemektedir.

c) Giderler

Başlıca gider kalemleri şunlardır:

- Hammadde ve ham su giderleri
- Lojistik giderleri
- Personel giderleri
- Bakım giderleri
- Biyolojik destek giderleri
- İç tüketim
- Dağıtım bedeli
- Sistem kullanım bedeli

1.4. Biyogaz Tesis Çıktısı Ürünün Gübre Olarak Değerlendirilmesi

Yaş fermantasyon biyogaz tesislerinde hammadde 28- 45 gün reaktörlerde bekletilir. Bu süre sonunda ürün çıkışında separatör gibi ekipmanlarla katı ve sıvı faza ayrılır. Çıkan ürün gübre olarak tarımda değerlendirilmektedir. Üretilen gübre toprak açısından faydalı N, P, K ve organik madde miktarı olarak zengin bir üründür (Abebe, 2017). Seperatör sonrasındaki katı ve sıvı gübrenin beklenen analiz sonuçları Tablo 1.2.'de yer verilmiştir (Wendland, 2012).

Tablo 1.2. Separatör sonrası üretilen katı ve sıvı gübrenin nütrient analizi

	KM (%)	N ges. (g/kg^{-1})	NH_4 ((g/kg^{-1})	P_2O_5 (g/kg^{-1})	K_2O (g/kg^{-1})
Sıvı faz	5,7	4,9	3,1	2	5,4
Katı Faz	24,3	5,8	2,7	5	5,8

1.4.1. Organik gübre üretimi

Gübre toprağın kalitesini artırmak, bitkilerin büyümesi için ihtiyaçları karşılamak için kullanılan ilave kaynaklardır. Basit düzeyde incelersek üç tip gübre vardır. Bunlar:

- Organik Gübre
- Kimyevi Gübre
- Organomineral Gübre

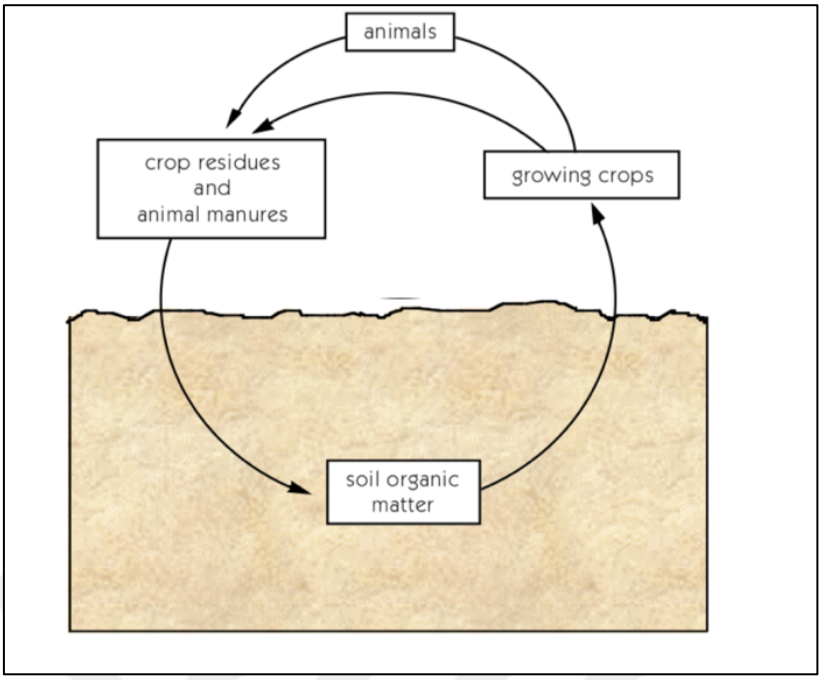
Yapı itibariyle incelendiğinde organik gübre doğadan elde dilen içeriğine kimyasal karışmamış gübre çeşitidir. Kimyasal gübre yapay yollarla üretilen toprağın N, P, K ihtiyacını oluşturmak için sağlanan gübre türüdür. Organomineral gübre ise organik ve kimyasal gübre kombinasyonundan oluşan bir gübre çeşitidir. Humik asit, fulvik asit ve N, P, K içermektedir.

Bitkilerin büyümesi için uygun toprağın teorikte %50'si katıdan %25'i havadan %25'i sudan oluşmaktadır. Toprak içerisindeki toplam organik miktarı (TOM) ise %5 seviyelerinde olmalıdır. Maalesef Türkiye'de 1990'dan itibaren süregelen kimyasal gübreleme ve yanlış tarım uygulamaları sonucunda toplam organik miktarı yüzde %3'ü geçen toprak miktarı %1 seviyelerine düşmüştür.

Türkiye'de organik kaynaklar değerlendirilerek; yılda 112 milyon ton gübre üretilebilir. Organik gübre üretiminde kullanılabilir hammaddeler ise; anız, hayvan gübresi, evsel atık, leonardit şeklinde sıralanabilmektedir (Sait, 2018).

Örneğin hayvan yemleri besin değeri yüksek ürünlerdir. Dolayısıyla yemlerdeki nütrient zenginliği hayvan gübresinde de bulunmaktadır. Hayvan gübresi ayrıca N, P, K elementleri dışında mikro düzeyde kalsiyum, magnezyum ve kükürt içermektedir. Şekil 1.6.'da hayvansal atığın doğadaki döngüsü verilmiştir.

Magdoff ve arkadaşlarının yaptığı 11 yıllık bir çalışmada 10 tonluk büyükbaş hayvan gübresi uygulamasında toprağın organik miktarının %4,3'ten %4,8'e çıktığı gözlemlenmiştir (Fred & Es, 2000).



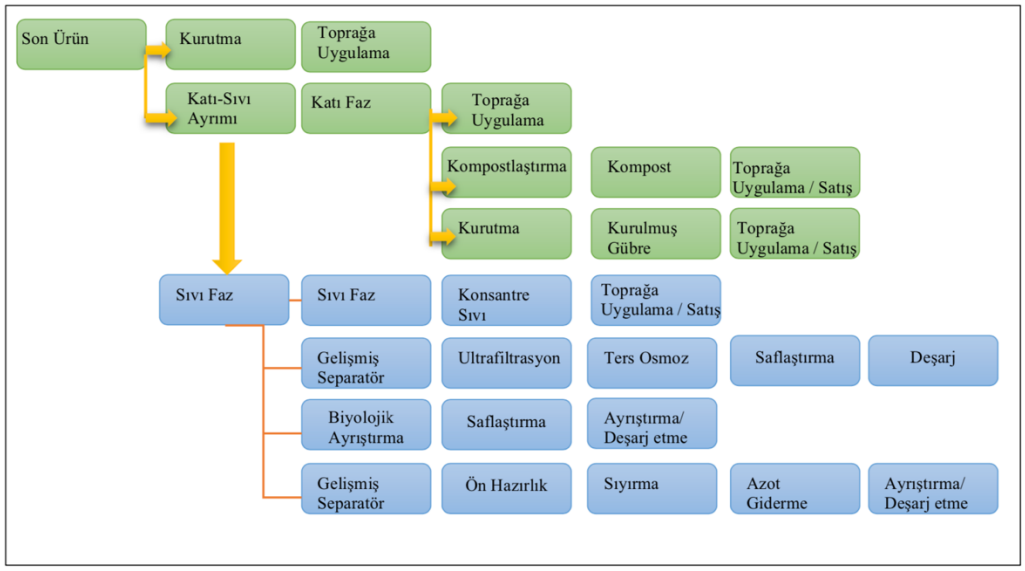
Şekil 1.6. Hayvansal gübrenin doğadaki döngüsü

Örneğin evsel atıklar kaynağında ayrıştırılırsa kompostlaştırılarak gübre olarak kullanabilmektedir. Günlük kişi başı 1-2 kg çöp üretilmektedir (Ayşe & Selim, 2009). Fatih Saltabaş ve arkadaşlarının İstanbul ilinde yaptığı bir çalışmada atık karakterizasyonu yapılmış olup, organik atık oranı %54,09 bulunmuştur (Soysal, 2009). Kişi başı günlük üretilen çöpten 0,54-1,08 kg arasında kompost gübre üretiminde kullanılabilir. TÜİK verilerine göre 2018 Türkiye nüfusu 82.003.882'dir. Bu durumda Türkiye'de günlük çöpe giden organik atık miktarı en az 44.282 tondur. Mevcut sistemlerde katı atık depolama merkezinde biyogaz üretilen atıklar kaynağında ayrıştırma yöntemiyle kompost olarak değerlendirilebilir. Organik atıkların %10'u gaz üretimine iletilirse, yaklaşık %50 kuru madde oranında günde 20.000 ton kompost gübre elde edilebilmektedir. Fakat ülkemizde atığın herhangi bir evsel ayrıştırma gerçekleştirilmeden toplanmasından ötürü gübrenin içeriğine kimyasal madde karışması olasıdır.

Hayvansal atıklar ise büyükbaş veya kanatlı hayvanların beslenme ve sindirim biçiminden ötürü organik madde içermektedir. Biyogaz tesislerinin hammaddesi ise organik atıklar (ağırlıklı olarak hayvansal atıklar ve enerji bitkileri) olmasından dolayı ancak belli bir kısmı gaza dönüşebilmektedir. Gaz üretiminden sonra separatörde ayrıştırılan gübre organik zenginliği sebebiyle toprağa faydalıdır.

Biyogaz tesis çıktısı gübrenin, Türkiye'de satışa sunulabilmesi için belirli proseslerden geçerek, işlenmesi gerekmektedir. Bu işlemler genel olarak patojenden arındırma ve kurutmaya yöneliktir.

2013 yılında Drogs ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada biyogaz tesisi çıktısı olan gübrenin katı ve sıvı kısmına ilişkin uygulanabilir prosesleri incelemişlerdir. Şekil 1.7'de belirtildiği gibi kompost katı gübrenin işlenmesinde önemli bir adımdır.



Şekil 1.7. Gübre prosesleri için seçenekler

Osman Yaldız ve Recep Külcü ise 2018'de Türkiye'de kompost üretim teknolojilerini incelemişlerdir (Drosg, Linke, Fuchs, & Madsen, 2015). Kompostu; organik atıkların aeorob koşullarda mikroorganizmalar tarafında ayrıştırma işlemi olarak tanımlamışlardır. Devamında ise; ülkemizdeki tarihçesine yer vermişler ve başlangıçta uygulanan yanlış bir teknikten bahsetmişlerdir. 1988 yılında ilk kez kompost üretim tesisleri faliyete geçmiş olup, ilk başlarda mikrobiyal faaliyetlere izin vermeden kurutma işlemi yapılmıştır. Bu durum maalesef kompostun zenginliğinin azalmasına sebebiyet vermiştir. Ayrıca ülkemizde yıllık 160 milyon ton hayvansal atık 12,8 milyon ton bitkisel atık olmasına rağmen 2009 yılında kompost olarak üretilen miktar 236.265 tondur. Faliyet gösteren üretim tesislerinin %66'sı karıştırmalı, %31'i kapalı sistem, %3'ü statik yığınlı sistemleri kullanmaktadır (Osman & Recep, 2018).

1.4.2. Organomineral gübre üretimi

Organomineral gübre; organik kaynaklı kompost gübreye ek takviye olarak N, P, K ve iz elementlerin ilavesiyle, toprak verimi açısından zenginleştirildiği gübre çeşitidir. Organomineral gübre içerisindeki organik maddeler ve onu zenginleştiren humik asit, fulvik asit toprak verimliliği açısından önem arz etmektedir. Sürdürülebilir tarım için önemli olan bu gübre çeşidi ile birlikte toprağın hava tutma oranı, yabani otlara karşı direnci, iz element seviyesi artmaktadır. pH ve mikro organizma seviyesi dengelenmektedir.

İçeriğinde organik madde bulunmayan kimyasal gübre uygulaması organik maddenin hızlı minerilazasyonuna sebebiyet vermektedir. Kimyasal gübreler toprağın biyolojik, fiziksel, kimyasal özelliklerini bozmaktadır. Toprakta TOC seviyesinin düşmesine sebebiyet vermektedir. Aynı zamanda toprağın pH'ını bozarak bozarak tuzluluğuk artırmaktadır. Tuzluluğun artmasıyla birlikte, iyonik toksitite gözlemlenmektedir.

Örneğin; Nevşehir'de 25 yıl boyunca yapılan yanlış gübreleme sonucunda toprağın pH'ı incelenmiştir ve asitliği 2 birim artırdığı tespit edilmiştir. Bu durum üretimi olumsuz etkilemiştir (Erhan & Selim, 2018).

Bir başka örnekte ise; Nihal Tamer ve Ayten Namlının 2007 ve 2008 yılında yaptığı çalışmada toprak kalitesinin buğday verimine olan etkileri incelenmiştir. Kimyasal gübre ve organik gübre bileşiminin, buğday çeşitlerindeki biyokütle artışı gözlemlenmiştir. İki yıl boyunca tohum kaplama + DAP (DiAmonyumFosfat) + yapraktan humik asit uygulanmıştır. 2007 yılında en düşük verimde 121,27 $kgda^{-1}$, yüksek verimde 213,42 $kgda^{-1}$ iken 2008 yılında en düşük verimde 256,1 $kgda^{-1}$, yüksek verimde 373,86 $kgda^{-1}$ buğday üretimi gerçekleşmiştir. Organomineral gübre bileşimi ile buğday üretiminde, ilk yıla göre 1,5-2 katı artış sağlanmıştır (Nihal & Ayten, 2018).

Dr. Nevzat Aslan'ın Gaziantep'te yaptığı çalışmada organomineral gübre uygulaması 25 yaşındaki antep fıstığı ağaçlarında 4 yıl süre ile gözlemlenmiştir. Uygulamada; küçükbaş hayvan gübresi ve 20-20-0, amonyum sülfat (%21 N), ve triplesuperfosfat (%44 P_2O_5) kullanılmıştır. 2011 yılında 102 kg/da ürün elde edilirken, 2015 yılında %40 verimle bu rakam 142,8 kg/da'a çıkmıştır (Nevzat, 2018).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Thomas Amon ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, mısır slajı ile büyükbaş hayvan gübresinin bitlikte kullanımı ile biyogaz üretim potansiyeli araştırılmıştır. Mezofilik şartlarda 1 l'lik üreteçlerde 60 gün süren denemeler yapılmıştır. Sadece büyükbaş hayvan gübresi denemelerinde en yüksek metan verimi olarak 166,3 Nl.CH_4/kg.VS değeri kayıt edilmiştir. Çalışmada ayrıca mısır slajının taze olarak kullanılmasının konserve edilmiş slaja göre biyogaz üretimini % 25 daha artırdığı bulunmuştur. Mısır slajı denemelerinde ise geç olgunlaşma mısır çeşitleri ile verim 312 ile 365 Nl.CH_4/kg.VS (süt olgunluğu) ve 268-264 Nl.CH_4/kg.VS (tam olgunluk) arasında değişmiştir (Thomas Amon vd., 2007).

I. Angelidaki ve B.K. Ahring, inatçı organik maddelerin bulunduğu büyükbaş hayvan gübresinin biyogaz potansiyelini arttırmaya yönelik çalışmışlardır. Mekanik ıslatarak yumuşatma (maserasyon), sürekli karıştırılan reaktör denemelerinde yaklaşık % 17'lik biyogaz potansiyelinin artmasına olanak sağladığı bulunmuıştur. Genel olarak lifler ne kadar küçükse, biyogaz potansiyeli o kadar yüksektir. Deneylerde 0,35 mm'den daha küçük lif boyutlarında biyogaz potansiyeli yaklaşık % 20 artış göstermiştir. Bu değer 2 mm boyutundaki liflerde yaklaşık % 16 dır. Liflerin kostik gibi bazlarla veya bazların bir kombinasyonuyla kimyasal olarak işlenmesi ayrıca metan potansiyelinin artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, maserasyon ve kimyasal arıtma kombinasyonu, metan potansiyelinin daha da artmasına neden olmamışıtır. 5-20 mm aralığında liflere sahip gübrede biyogaz potansiyelinin gözle görülür önemde bir farkı yoktur. Liflerin emisellülolitik veya selülolitik enzimlerle işlenmesi, metan potansiyelinde önemli bir artışa neden olmamıştır. Ancak, hemiselüloz bozundurucu bakteriler ile gübrenin liflerinin biyolojik arıtılmasının, gübrenin biyogaz potansiyelinde önemli bir artışa (yaklaşık olarak % 30) neden olmuştur (Angelidaki and Ahring B.K., 2015).

Budiyono, I N. Ve diğerleri büyükbaş hayvan gübresinin biyogaz üretim hızının kesikli sistemle kinetik modelinin çıkartılması üzerine çalışma yapmıştır. Aşı olarak

rumen sıvısının kullanıldığı deneylerde, sığır gübresi, rumen sıvısı ile anaerobik biyo-sindiriciye beslenmiştir. 400 ml'lik biyogaz üreteçlerinin kullanıldığı deneyler 38,5 ^{o}C'de sürdürülmüştür. Denemelerde rumen sıvısının aşı olarak kullanılmasının biyogaz üretim hızını 2 ila 3 kat artırdığı bulunmuştur. Rumen sıvısının kullanıldığı durumda biyogaz üretimi için minimum süre (λ) 3,89 ml / (gVS.day); 172,51 (ml / gVS); 7,25 gün iken kullanılmadığı durumda bu süreler 1,74 ml / (gVS.day); 73,81 (ml / gVS); 14,75 gün olarak kayıt edilmiştir (Budiyono, 2010).

Linlin Liu ve diğerleri büyükbaş hayvan gübresinin biyogaz üretimini arttırmak hedefiyle; buğday samanı, koyun gübresi ve tavuk gübresi birlikteliği çeşitli denemeler yapmıştır. Ayrıca manyetit ve zeolit ilavesinin etkilerini incelemişlerdir. Mezofilik şartlarda çeşitli gübre / saman oranlarında çalışılmıştır (3: 7, 5: 5 ve 7: 3). Sonuçlar, 3 g manyetit ve 1 g doğal zeo-lite ilavesi ile maksimum metan üretim artışının (L / kg VSadd) sırasıyla % 52,01 ve % 51,01 olduğunu göstermiştir. Çalışmada, 2,7 g magnetit ilavesiyle en iyi metan verimi elde edilmiştir. Zeolit için, en iyi ekleme dozu 1 g ve optimum gübre oranı % 63'tür. Nihayetinde ise manyetitin metan veriminde zeolitten daha fazla bir artışa neden olduğu saptanmıştır (Liu vd., 2015).

Th. Amon ve diğerleri hayvansal atıklara gliserin ilavesinin biyogaz potansiyeline olan etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuç süt verimine ve süt ineğinin diyetine bağlı olarak değişmekle beraber Thomas Amon ve diğerlerinin yaptığı çalışmaya benzer olarak, biyogaz potansiyeli 125 ila 166 Nl CH4 (kg VS) -1 arasında değişmiştir. % 6 gliserin takviyesinin, metan üretiminde yaklaşık olarak % 19,3 artışa neden olduğu saptanmıştır (Th Amon vd., 2006).

L.M. Safley ve P.W.Westerman yapmış oldukları çalışmada, Lagün tipi biyogaz tesislerinin verimlerini incelemişlerdir. Çeşitli lagün tipleri ile yürütülen çalışmada biyogaz verimlerinin çok değşiken olduğu belirlenmiştir. Biyogaz üretiminin lagün sıcaklığından çok etkilendiği bulunmuştur. Lagün tipi reaktörlerin (<0,06 kg VS m^{-3}) değeri ile biyogaz veriminin çok düşük olduğu ve üretim hızı ve etkinliği açısından güvenilir bir enerji kaynağı değerlendirme yöntemi olmadığı saptanmıştır (Safley, 1988).

K.J. Chae ve diğerlerinin yapmış olduğu başka bir çalışmada ise sıcaklık değişimlerinin biyogaz üretimine olan etkileri incelenmiştir. 25, 30 ve 35 oC sıcaklıklarda, besleme hacmi/çürütücü hacmi sırasıyla % 5, 10, 20 ve 40 olan denemeler sürdürülmüştür. 30 ° C'lik bir sıcaklıkta, metan verimi 35 °C' ye kıyasla sadece % 3 azalırken, 25 °C' de % 17,4 oranında bir azalma gözlenmiştir. Metan üretim miktarı , sırasıyla 25, 30 ve 35 ° C'de 327, 389 ve 403 mL CH_4 / g VSeklenen olarak bulunmuştur. Ayrıca, biyogazın metan içeriği, artan sıcaklıklarda artmıştır. Sıcaklık, 35 ° C'den 30 ° C'ye ve tekrar 30 ° C'den 32 ° C'ye yükseldiğinde, biyogaz üretim oranının düşmesine neden olmuştur. Bu durum fermantasyonda sıcaklık değişimlerinin etkisinin olduğu anlamına gelmiştir. Ancak, gaz üretimi kontrol reaktörünün değerine hızla geri dönmüştür. Bu durum sıcaklık değişimlerinin üreteç performansı için kalıcı bir hasar neden olmadığı sonucunu ortaya koymuştur (Chae, Jang, Yim, & Kim, 2008).

Emmanuel K.Yiridoe ve arkadaşları çiftliklerde biyogaz üretiminin fizibilitesi üzerine çalışmışlardır. Yapılan çalışmada ekstra tariflerin olmaması durumunda çifktliklerde biyogazdan enerji üretiminin sürdürülebilir olmayacağı yönündendir. Küçük ölçekli hayvancılık işletmelerinde (yaklaşık olarak 500 inek kapasiteli) normal elektrik fiyatlarına ek olarak yıllık 15.000 Dolar ek getiri sağlanamaması durumunda biyogaz yatırımının fizible olmadığı sonucuna varılmıştır (Yiridoe, Gordon, & Brown, 2009).

Solomie A. Gebrezgabher ve arkadaşları Anaerobik çürütmenin ekonomik analizini Hollanda'da bir yeşil enerji biyogaz tesisi örneğinden yola çıkarak yapmışlardır. Çalışmada biyogaz tesislerinin kilit endişelerinden birinin, nispeten büyük miktarda digestatın ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde bertaraf edilmesi olduğu vurgulanmıştır. Makale, belirli bir biyogaz tesisinin net bugünkü değer (NBD) ve iç getiri oranı (IRR) kavramlarına dayalı ekonomik performansını analiz etmektedir. Sübvansiyon senaryosu hariç, tüm senaryoların ekonomik değerlendirmeleri pozitif NBD göstermektedir. En yüksek NBD ve IRR değerleri yeşil gübre senaryosu olarak ters osmoz (RO) altında gözlenmiştir. Bulgulara göre RO sonucu üretilen sıvı gübrenin, sadece bitki için kazançlı olmadığını, aynı zamanda konsantrelerin uzun mesafe taşımacılığının çevresel yükünü azalttığınıda göstermektedir. Çalışma aynı zamanda, RO' a dayalı yüksek yatırım ve işletme maliyetlerinin, sübvansiyonlar sağlanmadıkça, çiftlik kaynaklı atıkların ve diğer ortak

sübstratların biyogaz üretim fizibilitesini sınırladığı sonucuna da varmıştır (Gebrezgabher, Meuwissen, Prins, & Lansink, 2010).

R. K. Dereli ve arkadaşlarının, Türkiye'de organize bir hayvan çiftçileri birliği tarafından üretilen gübreyi işleyen merkezi bir biyogaz tesisinin uygulanabilirliği konulu çalışmasında 35.000 sığır sahip bir tesis incelenmiştir. 10.000 büyükbaş hayvandan gelen gübreye ek olarak mısır silaj yüklemesinin hem biyometan üretimi hem de sistemin fizibilitesi üzerindeki etkisi de değerlendirilmiştir. Sonuç olarak mısır slajı ilavesinin tesis geri ödeme süresini 11 yıldan 7 yıla düşürebildiği sonucuna varılmıştır (Dereli, Yangin-Gomec, Ozabali, & Ozturk, 2012).

Murphy ve arkadaşlarının İrlanda da yapmış oldukları çalışmada çöp alanlarında üretilecek biyogazın saflaştırılıp araçlarda kullanılması durumu incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre belediysel çöplerin, çöp depolama sahasına getirilmesi için üretilen biyogazın sadece % 53'ünün kullanıldığı sonucuna varılmıştır. Şantiyedeki elektrik talebini karşılamak için CHP üretimi ile birlikte yakıt taşımacılığı üretiminin en uygun çözüm olduğu belirtilmiştir (Murphy, McKeogh, & Kiely, 2004).

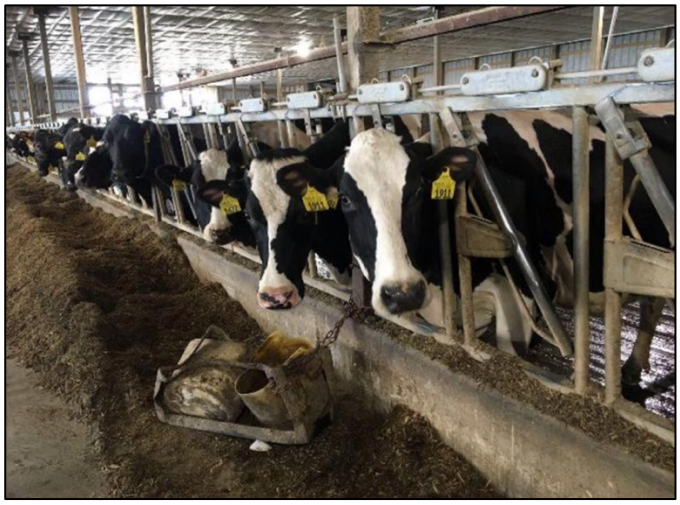
Milan Koszel ve Edmund Lorencowicz'in birlikte sürdürdükleri çalışmada biyogaz çıktısı katı gübre incelenmiştir. Bir tarımsal biyogaz tesisinden elde edilen son ürün, makro element ve ağır metallerin içeriği açısından test edilmiştir. Topraktaki makro elementlerin içeriği de digestat uygulamasından önce ve sonra olarak incelenmiştir. Testler yonca yetiştiriciliğinde yapılmıştır. Analiz sonuçları yonca yapraklarında makro element içeriğinde artış olduğunu göstermektedir. Böylelikle biyogaz çıktısı son ürünün gübre olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir (Koszel & Lorencowicz, 2015).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Biyogaz tesisinin hammaddesi büyükbaş (besi) ve kanatlı hayvan (yumurtacı tavuk) olarak belirlenmiştir. Besi çiftlikleri et üretimi amacıyla kurulmuş olan tesislerdir. Hayvanların kilosuna bağlı olarak 6-10 ay arasında sığırlar beslenip, büyütülür ve et üretimi amacıyla kesimi yapılır. Sürekli bir döngü hakimdir. Hayvanların kilosu ortalama 350 kg civarındadır. Yaklaşık olarak kilolalarının %10'u kadar günlük atık üretimi gerçekleştirirler. Çektirme sistemleri veya ilkel yöntemlerle atıklar gübre havuzunda toplanmaktadır. Yumurtacı tavuk çiftlikleri ise yumurta üretimi amacıyla kurulmuş çiftliklerdir. Günlük olarak atıkları altlıklar yardımı ile toplanmaktadır.

Biyogaz tesisleri bakteriyel faliyetlerin devamı için günlük beslenmektedir. Bu nedenle mezofilik şartlarda üretim yapan bu tesisin günlük 345 ton büyükbaş 260 ton kanatlı hayvan toplamda 605 ton atık işlendiği kabul edilmiştir. Gaz üretimini gerçekleştirmiş olan işlenmiş atık, materyal olarak baz alınarak fizibiliteleri ortaya konmuştur. Şekil 3.1.'de ve şekil 3.2.'de büyükbaş besi hayvan çiftliği ve kanatlı hayvan çiftliğine örnek görseller verilmiştir.



Şekil 3.1. Büyükbaş besi hayvan çiftliği



Şekil 3.2. Kanatlı hayvan yumurtacı tavuk çiftliği

3.2. Hammadde Analizleri

Çalışma yapılırken biyokütle üzerinden kuru madde, uçucu kuru madde ve C, H, O, S, analizleri yapılmıştır. N, P, K analizleri literatüre göre alınmıştır. Örnek alınan numuneler bekletilmemiş ve kurumamış olup, 5 farklı noktadan alınarak homojenize edilmiştir.

Kuru madde analizi; hammaddenin içeriğindeki su hariç kısımı belirlemek amacıyla yapılır. Uçucu kuru madde analizi ise; kuru maddenin içeriğindeki organik miktarını belirlemek amacıyla yapılır. Organik miktar ise gaz üretim potansiyelini belirlemekte önemlidir.

3.3.Yöntem

Uçucu kuru madde analizi SM- 2540 B, kuru madde analizi SM 2540 D standardına göre yapılmıştır (SM, 1999). Elementer analizler ise (C, H, O, S) ASTM D 5373 standardına göre yapılmıştır. N, P, K analizleri ise; Toplam N, mikro Kjeldhal'in metoduna göre; Fosfor, amonyum molibdat mavisi yöntemi ile; Potasyum EDTA titrasyonu alev fotometresinde Ca ve Mg ile belirlenmiştir (Ubi, Ubi, Akpan-Idiok, & Okweche, 2016).

Toplam fosfor pentaoksit (P_2O_5), gübrelerin ve piyasa gözetimi ve denetimi yönetmeliği EK-3 madde 3.1.6 EN 15959 methoduna göre; suda çözünür

potasyumoksit (K_2O) gübrelerin ve piyasa gözetimi ve denetimi yönetmeliği EK-3 madde 4.1 EN 15477 ICP/AAS methoduyla akredite bir laboratuvarda analiz edilmiştir.

Kuru madde analizi etüv cihazında 105 °C bekletilmektedir. Giriş ve çıkışta numuneler tartılır. Girişteki kütleden buharlaşan kütle çıkartılarak kuru madde kütlesine ulaşılmaktadır.

Uçucu kuru madde analizi kül fırında 550 °C'de yaklaşık 1 gün bekletilerek yapılmaktadır. Kuru madde içeriğindeki organik ve inorganik miktar belirlenmektedir. Kül fırınına giren öncesinden etüvde bekletilmiş ürün girişte ve çıkışta tartılmaktadır. Girişteki ürün ağırlığından çıkış ürün ağırlığı çıkarılarak, uçucu kuru madde miktarına gidilmektedir (Çoban, 2014).

3.3.1. Biyogaz tesis kapasitesi ve dizayn parametreleri

Bu çalışmada yaş fermantasyon biyogaz tesisi kapasitesi 3 MW olarak belirlenmiştir. Fizibilitede söz konusu olan biyogaz tesisi kapasitesi belirlenirken iki farklı method ile hesaplanmıştır. Literatür ve Buswell yöntemi ile kapasite tayin edilmiştir. Literatüre göre 3.131 kW hesaplanırken, Buswell yöntemi ile 3.452 kW elektrik üretim kapasitesi hesaplanmıştır. Atığa ve kapasiteye göre de tesis dizayn parametreleri belirlenmiştir. İlk aşamada elektrik üretim kapasitesi belirlenirken, ikinci aşamada biyogaz üretimi önemli bir unsur olan için inşai hacimler belirlenmiştir.

Reaktör boyutları 33 metre çap, 9 metre yüksekliğinde olması planlanmıştır. 8 metre yükseklik etkin hacim olup, son 1 metre gaz deposu ve güvenlik açısından boş bırakılacaktır. Reaktör hacmi 6.838 m^3, ön depo hacmi 2.010 m^3, lagün hacmi 20.000 m^3 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.3.'te örnek bir biyogaz tesisi çizimine yer verilmiştir.

3.1 ve 3.2 denkliği ile reaktör hacmi ve hidrolik bozunma süresi bulunmuştur.

$$\text{Reaktör hacmi } (m^3) = (\pi \times r^2 x h) \times \frac{8}{9} \qquad (3.1)$$

$$= (3{,}14 \times 16{,}5^2 \times 9^2) \times \frac{8}{9}$$

$$= 6.838\ m^3$$

$$\text{Hidrolik bozunma süresi} = \frac{\text{Toplam hacim}}{\text{Günlük besleme miktarı}} \quad (3.2)$$

$$= \frac{27.355}{805}$$

= 33,9 gün

Tesis bileşenleri aşağıdaki gibidir.

- Ön Depo
- Sıvı Fermante Lagün
- Katı Ara Ürün Deposu
- Besleme Ünitesi
- Reaktör
- Karıştırıcı
- Membran (Gaz Deposu)
- Membran fanı
- Kontrollü Isıtma Sistemi
- Alçak Yüksek Basınç Kontrolü
- Dahili Desülfirizasyon Ünitesi
- Gaz Şartlandırma
- Chiller
- Blower
- Harici Desülfirizasyon Ünitesi
- Nem Tutucu Kolon
- Kondens Kuyusu
- Kojenerasyon Seti
- Gaz Motoru
- Hava Fanı
- Radyatör
- Eşanjör
- Pompalar
- Motor Soğutma Suyu Sistemi
- Motor Yağlama Sistemi

- İlk devreye alma kazanı
- Kompresör
- Flare (Gaz Yakma Bacası)
- Egzoz Sistemi

➢ Elektrik

- Step-up Trafo ve OG Sistemi
- Ölçü Kontrol Hücreleri ve Yedekli Çift Yönlü Sayaç
- Topraklama Sistemi
- Kompanzasyon Sistemi
- Senkronizasyon Sistemi
- İç ve Dış Aydınlatma
- Paratoner

➢ Otomasyon

- PLC ve analizörler

➢ Borulama

- Manüel ve otomatik vanalar, Merkezi Pompa Sistemi

➢ İdari Bina

- Pano Odası
- Laboratuvar
- Ofisler
- Yemekhane
- Bakım Atölyesi
- Soyunma Odası/Tuvalet

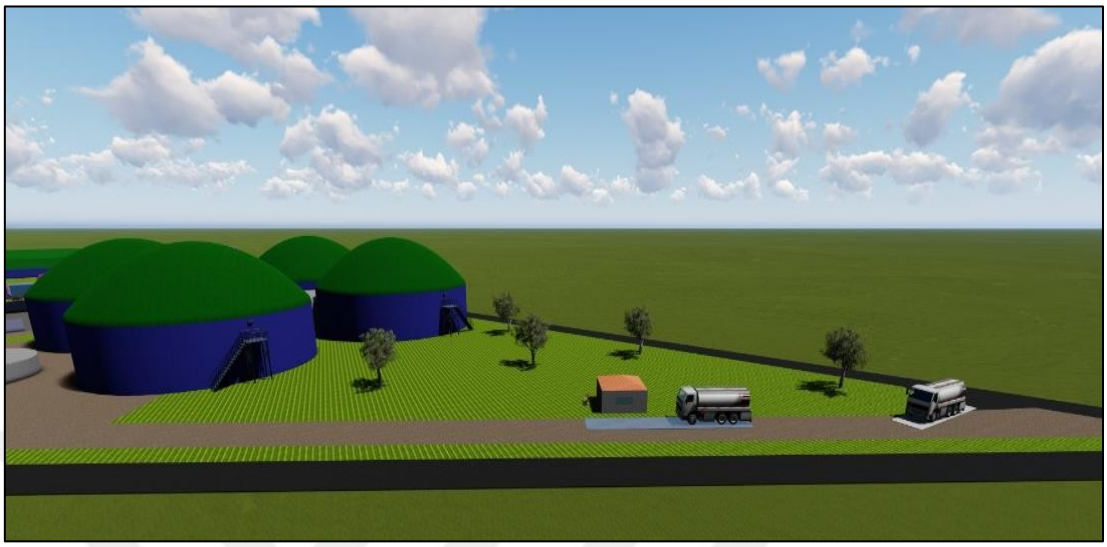
➢ Gübre Tesisi

- Separatör
- Kompost Ünitesi
- Kurutma Ünitesi
- Homojanizatör
- Granilatör
- Paketleme

➢ Yangın Önleme Sistemi

➢ Kantar

- Güvenlik
- Tekerlek Yıkama Ünitesi



Şekil 3.3. Biyogaz tesisi görünümü (3 MW)

3.3.1.1. Buswell yöntemi ile kapasite tayini

Buswell yöntemi kullanılarak biyogaz içerisindeki CH_4 ve CO_2 oranları tespit edilmiştir. Biyokütleden elde edilecek CH_4 ve CO_2 oranı 3.3 ve 3.4 denkliği ile bulunmuştur.

$C_cH_hO_oN_nS_s+1/4(4c-h-2o+3n+2s)\ H_2O \rightarrow 1/8\ (4c-h+2o+3n+2s)\ CO_2+1/8(4c+h-2o-3n-2s)\ CH_4 + nNH_3+ sH_2S$

Örnek oluşturması için Yumurtacı tavuk çiftliği hayvansal atık numune bilgileri kullanılarak Buswell denklemine göre hesaplama yapılmıştır (Bkz. Tablo 3.1.). Bu işlemler iki çiftlik için de tekrarlanmıştır.

Biyokütleden elde edilecek CH_4 oranı = $\frac{1}{8}(4c+h-2o-3n-2s)$ (3.3)

$$= \frac{1}{8}[\ (4\times3{,}53) + (3{,}97) - (2\times1{,}75) - (3\times0{,}33) - (2\times0{,}01)\ ]$$

$$= 1{,}70$$

Tablo 3.1. Yumurtacı tavuk çiftliği elementer analiz

	Elementer Analiz (%)	Atom ağırlığı (gr/mol)	Molekül Bileşenleri
C	42,3	12	3,53
N	4,55	14	0,33
H	3,97	1	3,97
S	0,3	32	0,01
O	27,97	16	1,75

Biyokütleden elde edilecek CO_2 oranı = $\frac{1}{8}(4c\text{-}h+2o+3n+2s)$ (3.4)

$= \frac{1}{8}[\ (4\times3,53) - (3,97) + (2\times1,75) + (3\times0,33) + (2\times0,01)\ ]$

$= 1,83$

Biyogaz Bileşenleri:

- %48,16 CH_4
- %51,84 CO_2

Yumurtacı Tavuk Çiftliği Hayvansal Atık Bilgileri:

- Günlük atık (ton): 260
- Kuru Madde Oranı: %26
- Uçucu Kuru Madde Oranı: %75

260.000 kg (260) hayvansal atıktaki;

- Nem içeriği= 192.400 kg
- Kuru madde = 67.600 kg KM (%26 KM)
- Uçucu kuru madde = 50.700 kg UKM (%75 UKM)

3.5 denkliği kullanılarak UKM içerisindeki C miktarı bulunmuştur.

UKM içinde karbon (C) miktarı = UKM (kg) × (C oranı %) (3.5)

50.700 kg UKM içerisindeki C (kg) = 50.700 × (42,3 / 100)

= 21,45 kg C

3.6 denkliği kullanılarak biyogaza dönüşen C oranı bulunmuştur.

Karbonun %60'ı biyogaza dönüşürse;

Biyogaza dönüşen C miktarı (kg) =

= UKM'de C (kg) × Karbonun dönüşme oranı (3.6)

Biyogaza dönüşen C miktarı (kg) = 21,45 x (60/100)

= 12,87 kg C

Buswell denkleminden, %48,16 CH_4 oranı ve %51,84 CO_2 oranı bulunmuştur.

3.7 denkliği kullanılarakmetan içerisindeki C kütlesi bulunmuştur.

Metan içeriğindeki karbon kütlesi (CH_4 -C) (kg) =

= Biyogaza dönüşen C miktari (kg) × Metan oranı (3.7)

Metan içeriğindeki karbon kütlesi (CH_4 -C) = 12,87x 0,4816

= 6,20 kg C

3.8 denkliği kullanılarak metan kütlesi hesaplanmıştır.

Metan kütlesi (kg) =

=Metan içeriğindeki karbon kütlesi × Metan ağırlığı/C ağırlığı (3.8)

Metan kütlesi (CH_4) = 6,20 x (16/12)

= 8,26 kg CH_4

3.9 denkliği kullanılarak CH_4 hacmi hesaplanmıştır.

- 1 mol gaz STP = 22,4 Litre
- 16 g CH_4= 22,4 Litre

$$CH_4 \text{ miktarı } (m^3) = \frac{CH_4 \text{ ağırlığı (kg)}}{CH_4 \text{ molekül ağırlığı (kg)}} \times 1 \text{ mol } CH_4 \text{ (litre)} \quad (3.9)$$

CH_4 miktarı (kg) = 8.260 /16 x 22.4

= 11.566 m^3 CH_4

1 m^3 CH_4 = 10 kWh

Yumurtacı Tavuk Çiftliği için Elektrik Üretim Kapasitesi

3.10 denkliği kullanılarak elektrik üretim kapasitesine ulaşılır.

$$\frac{CH_4 \text{ miktarı } (m^3) \times \text{Metan enerji içeriği (kW)} \times \text{Gaz motoru verimi}}{\text{Saat}} = \quad (3.10)$$

$$= \frac{(11.566\ m^3 CH_4) \times (10\ kWh/m^3 CH_4) \times 0{,}4}{24} = 1.92\ kWh$$

Buswell yöntemi kullanılarak 2 çiftlik için de elektrik üretim kapasiteleri tespit edilmiştir.

3.3.1.2. Literatür verileri ile kapasite tayini

Literatür verileri ile elektrik üretim kapasitesi hesaplanmıştır.

Yumurtacı tavuk gübresi uçucu kuru madde miktarı 3.11 denkliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Uçucu kuru madde miktarı } \left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}\right)$$

$$= \text{Toplam gübre miktarı } \left({}^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right) \times \text{Kuru madde oranı}$$

(%) × Uçucu kuru madde oranı (3.11)

Biyogaz üretim miktarı 3.12 denkliği ile hesaplanmıştır.

Biyogaz üretim miktarı $\left(m^3/_{saat}\right)$ =

$$= \frac{\text{UKM miktarı } (\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}) \times \text{Biyogaz birim potansiyeli}(\frac{m^3}{\text{ton.UKM}})}{24\ (^{saat}/_{gün})} \quad (3.12)$$

Toplam biyogaz üretim kapasitesi 3.13 denkliği ile hesaplanmıştır.

Biyogaz tesis kapasitesi(kW)

= Biyogaz üretim miktarı $\left(m^3/_{saat}\right)$ × Metan oranı(%)

× Metan birim enerji içeriği(kW/m^3) × Kojenerasyon elektrik verimi(%) (3.13)

Kabuller;

Büyükbaş hayvan gübresi biyogaz potansiyeli = 380 $(\frac{m^3}{\text{ton.UKM}})$

(Cu vd., 2015).

Yumurtacı tavuk gübresi biyogaz potansiyeli = 500 $(\frac{m^3}{\text{ton.UKM}})$

(Sciences, 2019).

Biyogaz içerisindeki metan oranı = %55

(Buczkowski, Iglin, Cichosz, Piechota, & Iglin, 2012).

Tablo 4.5'te literatür hesaplamasına göre günlük üretilen metan miktarı ve elektrik üretim kapasitesi (kWh) görülmektedir.

Örnek oluşturmak amacıyla yumurtacı tavuk çiftliği için hesaplama yapılmıştır.

Yumurtacı tavuk çiftliği için Günlük Atık (ton) = 260

Uçucu kuru madde miktarı $\left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}\right) = 260\left(^{ton}/_{gün}\right) \times 0{,}112 \times 0{,}84$

$= 50{,}70$

$$\text{Biyogaz üretim miktarı } \left(m^3/_{saat}\right) = \frac{50{,}70\left(\frac{ton.UKM}{gün}\right) \times 500\ (\frac{m^3}{ton.UKM})}{24(\,^{saat}/_{gün})}$$

$$= 1056{,}25$$

$$\text{Biyogaz üretim miktarı } \left(m^3/_{saat}\right) = 1.056{,}25$$

$$\text{Biyogaz tesis kapasitesi (kW) } 1.056{,}25\ \left(m^3/_{saat}\right) \times 0{,}55 \times 10(kW/m^3) \times 0{,}4$$

Tavuk Çiftliği Elektrik Üretim Kapasitesi (kW) = 2.323

Besi çiftliği için de aynı hesaplamalar yapılmıştır.

3.3.2. Biyogaz tesis yatırım maliyeti

Buswell yöntemi kullanılarak 2 çiftlik için de elektrik üretim kapasiteleri tespit edilmiştir. Biyogaz tesislerinde maliyeti ana kalemler bazında 6 şekilde inceleyebiliriz (Bkz. Tablo 3.2.).

İnşaat bazında ön ve son depo, reaktörler maliyetleri oluştururken, diğer büyük maliyetler de mekanik kısımlarda ortaya çıkmaktadır. Özellikle; kojenerasyon ünitesi, besleme ünitesi, gaz depolama ve şartlandırma önemli ve bir o kadar da maliyetli ünitelerdir. Biyogaz tesisleri yapı itibariyle yaşayan canlı bir proses olduğu için otomasyon sistemlerini zorunlu kılmaktadır. Otomasyon sistemleri düzenli besleme ve gerekli ortam koşullarını oluşturmada kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca iş sağlığı ve güvenliği açısından gerekli sistemlerdir.

Elektrik kalemini ise; genel olarak trafolar, panolar, kablolar ve aydınlatma sistemleri oluşturmaktadır.

Tablo 3.2. Biyogaz Tesisi Yatırım Maliyetleri Genel Tablo

No.	Biyogaz Tesis Maliyetini Oluşturan Ana Kalemler
1.	Projelendirme
2.	İnşaat
3.	Mekanik
4.	Otomasyon ve Enstrümantasyon
5.	Elektrik
6.	Lojistik araçları (Kamyon, kepçe, loader)

3.3.3. Biyogaz tesisi işletme giderleri

Biyogaz tesisi işletme giderleri 16 madde ile Tablo 3.3'te incelenmiştir. Genel olarak en büyük gider kalemleri kojenerasyon bakımı ve lojistik giderleridir.

Gaz motoru satınalımlarında mutlaka bakım anlaşmaları da yapılmadır. İkinci unsur olan hammadde toplama ve dağıtma maliyetini azaltmak için de tesis mümkün olduğu kadar atık kaynağına yakın olmalıdır.

Tablo 3.3. Biyogaz tesisi işletme giderleri

No.	İşletme giderleri
1.	Lojistik maliyeti
2.	Kuru madde oranına göre hammadde maliyeti (Varsa)
3.	Ham su maliyeti
4.	Personel maliyeti
5.	Kojenerasyon bakım maliyeti
6.	Genel bakım maliyeti
7.	Biyolojik destek ürün maliyeti
8.	Start-up maliyeti
9.	5 yıllık ara bakım maliyeti
10.	Sistem kullanım bedeli ilk 5 yıl
11.	Sistem kullanım bedeli son 5 yıl
12.	Dağıtım bedeli
13.	Yıllık lisans bedeli (İlk 8 yıl ödenmez.)
14.	Sigorta
15.	İdari ofis giderleri
16.	Ruhsatlandırma ve lisans bedelleri

3.3.4. Biyogaz tesisi gelirleri

Biyogaz tesisinin en önemli gelir kaynağı elektrik satışıdır. Türkiye'de Yenilenebilir Enerjileri Destekleme Mekanizması ile 0,133 Dolar/kWh ile 10 yıl süre boyunca devlet biyogaz tesislerinin ürettiği elektriğe alım garantisi vermektedir.

İkinci en önemli gelir kaynağı ise gübredir. Tesis çıktısı olan gübre belli proseslerden geçirilerek katı gübre veya organomineral gübre olarak satılabilmektedir. İşlenen ürüne ve kalitesine göre ürünün fiyatı değişmektedir.

Üçüncü ve dördüncü gelir kaynakları ise; ısı ve karbon satışıdır. Örneğin; bir biyogaz tesisine yakın sera veya konutlar var ise egzoz gazından elde edilen ısının satışı yapılabilmektedir. Karbon satışı ise ülkemizde henüz yer bulamamış bir gelir türüdür. Bu sebepten ötürü fizibilitelere eklenmemektedir.

3.3.5. Biyogaz tesis fizibilite hesapları

Tesis fizibilitesi hesaplanırken amortisman (geri ödeme süresi) dikkate alınır (Oates & N, 2001). Denklem 3.14 ile favök, denklem 3.15 ile amortisman gideri, denklem 3.16 ile faaliyetten doğan nakit akım, denklem 3.18 ile amortisman süresi hesaplanmıştır.

Amortisman süresi şu şekilde hesaplanır:

- Yatırım bedeli (CAPEX)
- Gelirler
- Giderler (OPEX)

Favök (USD) = Gelirler-Giderler (3.14)

Amortisman Gideri (USD)= Yatırım maliyeti ÷20 Yıl (3.15)

Vergi (USD) = Favök − (Amortisman gideri)× Gelir vergisi oranı (3.16)

Faliyetten doğan nakit akım (USD) = Favök − Vergi (3.17)

Amortisman süresi(yıl)=
= (Yatırım bedeli) / (Faliyetten doğan nakit akım) (3.18)

31/12/1960 tarihli 193 numaralı Gelir vergisi Kanuna göre vergi oranı %20 olarak belirlenmiştir.
Bu çalışmada tesis elektrik üretim kapasitesi 3 MW olarak belirlenmiştir.

Elektrik üretim kurulu gücüne göre; 3 şekilde fizibiliteleri incelenmiştir ve yatırım geri ödeme süreleri hesaplanmıştır.

- Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları
- Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesapları
- Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesapları

3.3.5.1. Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları

Sadece elektrik satışı ile tesis amortisman süresi hesaplanmıştır. 3 MW kapasiteli bir biyogaz tesisinin yılda 8.000 saat çalışarak ve yüzde %10 iç tüketim ile yılda 21.600.000 kWh elektrik üretebileceği saptanmıştır. Tesis yatırım maliyeti toplamda 7.470.000 USD olacaktır. Yıllık elektrik geliri 2.693.250 USD iken, giderler de ilk yıl gideri ise 1.022.915 USD olarak hesaplanmıştır. Giderler Tablo 3.4.'te detaylı olarak incelenmiştir.

Yıllık elektrik geliri (USD)=Kurulu güç (kWh) x Çalışma saati x Net üretim oranı (%)

x Birim kazanç ($/kWh) (3.19)

3.19 denkliği ile yıllık elektrik gelir miktarı hesaplanmıştır.

= 3.000 (kWh) × 7.500 × 0,90 × 0,133 ($/kWh)

= 2.693.250 USD

3.16 denkliği ile FAVÖK hesaplanmıştır;

Favök (USD) = 2.693.250 - 1.022.915

= 1.670.335 (USD)

3.17 denkliği ile amortisman gideri hesaplanmıştır.

Amortisman gideri (USD) = 7.470.000 ÷ 20

= 373.500 (USD)

3.18 denkliği ile vergi miktarı hesaplanmıştır.

Vergi (USD) = 1.670.335-(373.500 × 0,2)

= 373.500 (USD)

3.19 denkliği ile faliyetten doğan nakit akım hesaplanmıştır;

Faliyetten doğan nakit akım (USD) = 670.335 − 373.500

= 1.410.968 (USD)

İlk devreye alma maliyeti ve 5 yıllık ara bakım maliyeti 10 yıla bölünerek ortalama bir değer alınmıştır. Amortisman süresi; 10 yıllık faliyetten doğan nakit akım ortalamasına göre hesaplanmıştır.

Tablo 3.4. Biyogaz tesisi giderleri

Giderler	Miktar	Birim	Birim tutar	Birim	Toplam tutar
Lojistik maliyeti	605	ton/gün	1,00	$/ton	220.825
Ham su maliyeti	200	ton/gün	0,40	$/ton	29.200
Personel maliyeti	9	kişi	8.190	$/ay.kişi	98.280
Kojen bakım maliyeti	22.500.000	kWh	0,0150	$/kWh	337.500
Genel bakım maliyeti	22.500.000	kWh	0,0075	$/kWh	168.750
Biyolojik destek maliyeti	22.500.000	kWh	0,0020	$/kWh	45.000
İlk devreye alma maliyeti	2	2 kez/10 yıl	20.000,00	$/adet	4.000
5 yıllık ara bakım maliyeti	2	2 kez/10 yıl	10.000,00	$/adet	2.000
Sistem kullanım bedeli ilk 5 yıl	22.500.000	kWh	0,0019	$/kWh	41.625
Dağıtım bedeli	22.500.000	kWh	0,2166	$.cent/kWh	48.735
Sigorta	3.000	kW.kapasite	5,00	$/kW.kapasite.yıl	15.000
Tesis ofis giderleri	3.000	kW.kapasite	4,00	$/kW.kapasite.yıl	12.000
Toplam					1.022.915

3.3.5.2. Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesapları

Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile 3 MW biyogaz ve gübre tesisinin amortisman süresi hesaplanmıştır. 805 ton hammadde ile beslenen biyogaz tesisinde katı ve sıvı gübre miktarına ilişkin hesaplara aşağıda yer verilmiştir. Yapılan hesaplara göre 3 MW kapasiteli bir biyogaz tesisinin yılda 8.000 saat çalışarak ve yüzde %25 iç tüketim ile yılda 16.875.000 kWh elektrik ve 61,8 ton/gün katı organik gübre üretebileceği saptanmıştır. Tesis yatırım maliyeti toplamda 11.178.000 USD olacaktır.

İlk yıl elektrik ve gübre geliri 4.500.075 USD iken, giderler de ilk yıl gideri ise 1.107.965 USD olarak hesaplanmıştır. Giderler Tablo 3.5.'te detaylı olarak verilmiştir. Pazar araştırmasına göre gübrenin tonunun 100 USD'den satılacağı kabul edilmiştir.

3.16 denkliği ile FAVÖK hesaplanmıştır;

Favök (USD) = 4.500.075 - 1.107.965

= 3.392.110 (USD)

3.17 denkliği ile amortisman gideri hesaplanmıştır;

Amortisman gideri (USD) = 11.178.000 ÷ 20

= 558.900 (USD)

3.18 denkliği ile vergi miktarı hesaplanmıştır;

Vergi (USD) = 3.392.110- (558.900× 0,2)

= 566.642 (USD)

3.19 denkliği ile faliyetten doğan nakit akım hesaplanmıştır;

Faliyetten doğan nakit akım (USD) = 3.392.110 − 566.642

= 2.825.468 (USD)

İlk devreye alma maliyeti ve 5 yıllık ara bakım maliyeti 10 yıla bölünerek ortalama bir değer alınmıştır. Amortisman süresi; 10 yıllık faliyetten doğan nakit akım ortalanmasına göre hesaplanmıştır. Denklem 3.20 ile uçucu kuru madde miktarı, denklem 3.21 ile biyogaz üretim miktarı hesaplanmıştır.

Aşağıda katı ve sıvı gübre miktarlarının hesabına yer verilmiştir.

Separatörden elde edilen katı gübre miktarı:

$$\text{Uçucu kuru madde miktarı}\left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}\right) = \text{Toplam gübre miktarı}\left({}^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

× Kuru madde oranı (%) × Uçucu kuru madde oranı (3.20)

Tablo 3.5. Biyogaz ve organik katı gübre tesisi giderleri

Giderler	Miktar	Birim	Birim tutar	Birim	Toplam tutar
Lojistik maliyeti	605	ton/gün	1,00	$/ton	220.825
Ham su maliyeti	200	ton/gün	0,40	$/ton	29.200
Personel maliyeti	12	kişi	10.590	$/ay.kişi	127.080
Kojen bakım maliyeti	22.500.000	kWh	0,0150	$/kWh	337.500
Genel bakım maliyeti	22.500.000	kWh	0,0100	$/kWh	225.000
Biyolojik destek maliyeti	22.500.000	kWh	0,00	$/kWh	45.000
İlk devreye alma maliyeti	2	2 kez/10 yıl	20.000,00	$/adet	4.000
5 yıllık ara bakım maliyeti	2	2 kez/10 yıl	10.000,0000	$/adet	2.000
Sistem kullanım bedeli ilk 5 yıl	22.500.000	kWh	0,0019	$/kWh	41.625
Dağıtım bedeli	22.500.000	kWh	0,22	$.cent/kWh	48.735
Sigorta	3.000	kW.kapasite	5,00	$/kW.kapasite.yıl	15.000
Tesis ofis giderleri	3.000	kW.kapasite	4,00	$/kW.kapasite.yıl	12.000
Toplam					1.107.965

Biyogaz üretim miktarı $\left(m^3/_{saat}\right)$ (%)

$$= \text{Uçucu kuru madde miktarı } \left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}\right) \times \text{Biyogaz potansiyeli}\left(\frac{m^3}{\text{ton.UKM}}\right) \quad (3.21)$$

Kabuller:

- Büyükbaş hayvan gübresi biyogaz potansiyeli = 380 $\left(\frac{m^3}{\text{ton.UKM}}\right)$
- Kanatlı hayvan gübresi biyogaz potansiyeli = 500 $\left(\frac{m^3}{\text{ton.UKM}}\right)$
- Sıvı gübre kuru madde oranı = 0,05 (Bkz. Tablo. 1.2.).
- Katı gübre kuru madde oranı = 0,24 (Bkz. Tablo. 1.2.).
- Biyogazın yoğunluğu = 1,25 kg/m^3

Uçucu kuru madde miktarı $\left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}}\right) = 82{,}38$

Biyogaz üretim miktarı $\left(m^3/_{\text{gün}}\right) = 20.564$

Denklem 3.22 kullanılarak biyogaz üretim miktarı hesaplanmıştır.

Biyogaz üretim miktarı $\left({}^{kg}/_{gün}\right)$ =

=Biyogaz üretim miktarı $\left({}^{m^3}/_{gün}\right)$ × yoğunluk $\left({}^{kg}/_{m^3}\right)$ (3.22)

Biyogaz üretim miktarı $\left({}^{kg}/_{gün}\right)$ = 20.564 $\left({}^{m^3}/_{gün}\right)$ × 1,25 $\left({}^{kg}/_{m^3}\right)$

= 25.705,78 $\left({}^{kg}/_{gün}\right)$

=25,7 $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$

Denklem 3.23 kullanılarak separatöre giden atık hesaplanmıştır.

Seperatöre giden atık miktarı $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$ =

Reaktörlere beslenen atık $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$ - biyogaz üretim miktarı $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$ (3.23)

=805 $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$ - 25,7 $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$

Bu hesaplama ile reaktörlerde üretilen biyogazın kütlesi bulunarak seperatöre giden atık miktarı belirlenmiştir. Kütle denkliği yapılarak, iki bilinmeyenli denklem ile katı ve sıvı fazı belirlenmiştir. (Bkz. Denklem 3.24 ve 3.25)

Katı Faz = A

Sıvı Faz = B

A + B= 779,3 $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$ (3.24)

(Katı gübre KM oranı)×A+(Sıvı gübre KM oranı)×B=

= Biyogaz üretimi sonrasında kalan kuru madde miktarı $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$ (3.25)

Biyogaz üretimi sonrasında kalan kuru madde miktarı $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$ =

Reaktörlere beslenen KM $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$ − biyogaz üretim miktarı $\left({}^{ton}/_{gün}\right)$ (3.26)

Denklem 3.26 ile separatöre giden atığın kuru madde miktarı hesaplanmıştır;

$$=106{,}24\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right) - 25{,}7\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

$$=80{,}54\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

Denklem 3.24 ve 3.25 ile iki bilinmeyenli denklik kurulmuştur;

$$0{,}24A + 0{,}05B\ = 80{,}54\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

$$A + B = 779{,}3\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

$$A = 218{,}85 \text{ katı faz}\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

$$B = 560{,}46 \text{ sıvı faz}\left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

Separatör sonrasında %24 kuru madde ile 218,85 ton/gün katı faz elde edilmiştir. Katı faz paketlenebilir gübre üretim prosesinde; önce komposta, sonrasında ise kurutma ünitesine gönderilmektedir. Kompostta %55 kuru madde oranına çıkarken, kurutma esnasında da %85 kuru madde oranına çıkması hedeflenmektedir. %85 kuru madde oranındaki katı organik gübre paketlenerek, satışa sunulmaktadır.

Denklem 3.27 ile kompostta üretilen gübre miktarı 3.28 ile kurutmada üretilen gübre miktarı bulunmuştur.

Kompostta üretilen gübre miktarı $\left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right) =$

$$= \frac{\text{Separatör KM oranı (\%)} \times \text{Katı faz}\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)}{\text{Kompost KM oranı (\%)}} \qquad (3.27)$$

$$= \frac{24\ (\%) \times 218{,}84\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)}{55\ (\%)}$$

$$= 95{,}5\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

Kurutmada üretilen gübre miktarı $\left({}^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right) =$

$$= \frac{\text{Kompost KM oranı (\%)} \times \text{Kompost sonrası katı faz} \left({}^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)}{\text{Kurutma KM oranı (\%)}} \quad (3.28)$$

$$= \frac{55\ (\%) \times 95{,}5\ \left({}^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)}{85\ (\%)}$$

$$= 61{,}8 \left({}^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

3.3.5.3. Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesapları

Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile 3 MW biyogaz ve gübre tesisinin amortisman süresi hesaplanmıştır. 805 ton hammadde ile beslenen biyogaz tesisinde organomineral gübre miktarı hesaplanmıştır ve hesaplara göre biyogaz tesisine ilave olarak organomineral gübre tesisi eklenmiştir. Yapılan hesaplara göre 3 MW kapasiteli bir biyogaz tesisinin yılda 8.000 saat çalışarak ve yüzde %40 iç tüketim ile yılda 14.400.000 kWh elektrik ve 137,86 ton/gün (10,25) organomineral gübre üretebileceği saptanmıştır. Tesis yatırım maliyeti toplamda 20.566.700 USD olacaktır. İlk yıl elektrik ve gübre geliri 33.112.918 USD iken, giderler de ilk yıl gideri ise 13.725.059 USD olarak hesaplanmıştır. Giderler Tablo 3.6.'da detaylı olarak verilmiştir. Pazar araştırmasına göre gübrenin tonunun 620 USD'den satılacağı kabul edilmiştir.

3.16 denkliği ile Favök hesaplanmıştır.

Favök = 33.112.918 - 13.725.059

= 19.268.159

3.17 denkliği ile amortisman gideri hesaplanmıştır.

Amortisman gideri = 20.566.700 ÷ 20

= 1.028.335

3.18 denkliği ile vergi miktarı hesaplanmıştır.

Vergi = 19.268.159- (1.028.335× 0,2)

= 3.654.857,8

3.19 denkliği ile faliyetten doğan nakit akım hesaplanmıştır.

Faliyetten doğan nakit akım = 19.268.159 – 3.654.857,8

= 15.613.301

İlk devreye alma maliyeti ve 5 yıllık ara bakım maliyeti 10 yıla bölünerek ortalama bir değer alınmıştır. Amortisman süresi; 10 yıllık faliyetten doğan nakit akım ortalanmasına göre hesaplanmıştır.

Tablo 3.6. Biyogaz ve organomineral gübre tesisi giderleri

Giderler	Miktar	Birim	Birim tutar	Birim	Toplam tutar
Lojistik maliyeti	605	ton/gün	1,00	$/ton	220.825
Ham su maliyeti	200	ton/gün	0,40	$/ton	29.200
Personel maliyeti	12	kişi	10.590	$/ay.kişi	127.080
Kojen bakım maliyeti	22.500.000	kWh	0,0150	$/kWh	337.500
Genel bakım maliyeti	22.500.000	kWh	0,0200	$/kWh	450.000
Biyolojik destek maliyeti	22.500.000	kWh	0,0020	$/kWh	45.000
İlk devreye alma maliyeti	2	2 kez/10 yıl	20.000,00	$/adet	4.000
5 yıllık ara bakım maliyeti	2	2 kez/10 yıl	10.000,00	$/adet	2.000
Sistem kullanım bedeli ilk 5 yıl	22.500.000	kWh	0,0019	$/kWh	41.625
Dağıtım bedeli	22.500.000	kWh	0,2166	$.cent/kWh	48.735
Sigorta	3.000	kW.kapasite	5,00	$/kW.kapasite.yıl	15.000
DAP bedeli	72		520,00	$/ton	12.392.094
Tesis ofis giderleri	3.000	kW.kapasite	4,00	$/kW.kapasite.yıl	12.000
Toplam					13.725.059

Organomineral gübre için N, P, K değerleri dikkate alınırken mezofilik şartlarda kanatlı hayvan ve büyükbaş hayvan atıklarını işleyen bir tesisin separatör çıktısı olan katı gübrenin analizleri dikkate alınmıştır. Gübre analizleri akredite bir laboratuvar tarafından yapılmıştır (Bkz. Tablo 3.7.). Gübre derecesi N: P_2O_5:K_2O olarak ifade edilmektedir.

Tablo 3.7. Separatör çıktısı katı gübre analizleri

Analiz parametreleri	Analiz sonuçları (%)
Kuru madde	24
N	1,62
P_2O_5	0,31
K_2O	0,45

Organomineral (10, 25, 0) gübre hesapları:

Kurutmada ve kompost ile üretilen gübre miktarı $\left(^{ton}/_{gün}\right)$ =

$$= \frac{\text{Separatör KM oranı (\%)} \times \text{Separatör sonrası katı faz } \left(^{ton}/_{gün}\right)}{\text{Kurutma KM oranı (\%)}} \quad (3.29)$$

Denklem 3.29 ile kurutma sonrasında üretilen gübre miktarı bulunmuştur.

$$= \frac{24\ (\%) \times 218{,}85\ \left(^{ton}/_{gün}\right)}{80\ (\%)}$$

$$=65{,}65\ \left(^{ton}/_{gün}\right)$$

Kompost ve kurutma prosesinden geçen gübreye homojenizatörde DAP (Diamonyum fosfat) eklenerek istenilen N ve P değeri sağlanmıştır. İlk aşamada Tablo 3.7. dikkate alınarak gübre içeriğindeki N ve P değerleri hesaplanmıştır.

Denklem 3.30 ile kuru madde içerisindeki N miktarı bulunmuştur.

Kuru madde içerisindeki N $\left(^{ton}/_{gün}\right)$ =

$$= \text{Kurutma sonrası gübre } \left(^{ton}/_{gün}\right) \times \text{Kuru madde (\%)} \times \text{N (\%)} \quad (3.30)$$

$$= 65{,}65\ \left(^{ton}/_{gün}\right) \times 0{,}8 \times 0{,}0162$$

$$= 0{,}85\ \text{N}\ \left(^{ton}/_{gün}\right)$$

Denklem 3.31 ile %80 KM içeriğine sahip gübrede N oranı bulunmuştur.

%80 KM'li gübre içerisinde N oranı $(^{W}/_{W})$ =

$$= \frac{\text{Kuru madde içerisindeki N } \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)}{\text{\%80 KM'li gübre } \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)} \times 100 \quad (3.31)$$

$$= \frac{0{,}85 \ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)}{65{,}65 \ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)} \times 100$$

= %1,13 N

10, 25 gübre eldesi için; Diamonyum Fosfat (DAP) ilavesi yapılacaktır. DAP içeriğinde %18 N, %46 P_2O_5 bulunmaktadır. Aşağıdaki iki bilinmeyenli denklem ile ne kadar DAP ekleneceği hesaplanmıştır.

Denklem 3.32 ile DAP Kurutulan gübre oranı bulunmuştur.

X = Kurutulan gübre

Y= DAP

%80 KM'li gübre içerisinde N oranı $(^{W}/_{W})$ × X + DAP N oranı $(^{W}/_{W})$ =

$$= (X+Y) \times \text{Üretilecek gübrede istenilen azot oranı } (^{W}/_{W}) \quad (3.32)$$

$$= \frac{1{,}13X}{100} + \frac{18Y}{100} = \frac{10(X+Y)}{100}$$

Y = 1,10X

Denklem 3.33 ile ilave edilecek DAP miktarı bulunmuştur.

$$\text{İlave Edilecek DAP } \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right) = \frac{Y}{X} \times \text{Kurutulan gübre} \quad (3.33)$$

= 1.10×65,65

$$= 72{,}215 \ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)$$

Denklem 3.34 ile toplamda üretilecek gübre miktarı bulunmuştur.

Toplam Üretilecek gübre miktarı $\left(^{ton}/_{gün}\right)$ =

$$=\text{DAP}\left(^{ton}/_{gün}\right)+\text{Kurutulan Gübre}\left(^{ton}/_{gün}\right) \quad (3.34)$$

= 72,215 +65,65

$= 137{,}86\left(^{ton}/_{gün}\right)$

Denklem 3.35 ile kuru madde içerisindeki P_2O_5 miktarı bulunmuştur.

P_2O_5 oranın hesabı:

Kuru madde içerisindeki $P_2O_5\left(^{ton}/_{gün}\right)$ =

$$=\text{Kurutma sonrası gübre}\left(^{ton}/_{gün}\right)\times\text{Kuru madde (\%)}\times P_2O_5\,(\%) \quad (3.35)$$

$= 65{,}65\left(^{ton}/_{gün}\right)\times 0{,}8\times 0{,}31$

$= 0{,}163\ P_2O_5\left(^{ton}/_{gün}\right)$

Denklem 3.36 ile DAP içerisindeki içerisindeki P_2O_5 miktarı bulunmuştur.

$$\text{DAP içerisinde } P_2O_5 \text{ miktarı}\left(^{ton}/_{gün}\right)=\text{DAP}\left(^{ton}/_{gün}\right)\times P_2O_5\,(\%) \quad (3.36)$$

$= 72{,}215\times 0{,}46$

$= 33{,}21\left(^{ton}/_{gün}\right)$

Denklem 3.37 ile organomineral gübre içerisindeki içerisindeki P_2O_5 oranı bulunmuştur.

Organomineral gübre içerisinde oranı P_2O_5 $\left(^{W}/_{W}\right)$ =

$$=\frac{\text{DAP içerisindeki } P_2O_5\left(^{ton}/_{gün}\right)+\text{Gübre içerisinde } P_2O_5\left(^{ton}/_{gün}\right)}{\text{Toplam gübre}\left(^{ton}/_{gün}\right)}\times 100 \quad (3.37)$$

$$= \frac{33{,}21\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right) + 0{,}163\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)}{137{,}86\ \left(^{\text{ton}}/_{\text{gün}}\right)} \times 100$$

$= \%24{,}21\ P_2O_5$

$\cong \%25$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Materyallerin Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Bu çalışmada iki tip materyal kullanılmıştır. Bunlar:

- Büyükbaş besi hayvanı atığı
- Kanatlı hayvan yumurtacı tavuk atığı

İki atıkta günlük olarak toplanmaktadır. Tablo 4.1.'de detaylı olarak verilmiştir. İçeriğinde organik bileşikler bulunmaktadır. Beslenme biçimlerinden ötürü tavuk atığının pH'ı besi hayvanından fazladır (Nahm, 2003). Besi hayvanı, tavuğun ve gerekli suyun ilavesiyle reaktörde pH'ın 7 olması beklenmektedir. Ayrıca hammadde hayvansal kaynaklı bir atık olduğu için ağır metaller bulunmamaktadır. Oldukça nem içeren atıkların kuru maddeleri %11,4 ve %26 olarak tespit edilmiştir. Reaktör içerisinde homojen karışımın sağlanması için de 200 ton su ilave edilerek toplamda günde 805 ton besleme yapılmıştır. Böylece reaktör içerisindeki kuru madde oranı %13'e indirgenmiştir.

Tablo 4.1. Biyogaz tesisi atığı

No	Atık tipi	Günlük atık (ton)
1	Besi atığı	345
2	Yumurtacı tavuk atığı	260

4.2. Hammadde Analiz Sonuçları

Hammaddenin biyogaz üretim potansiyeli incelenirken kuru madde, uçucu kuru madde, C, H, O, S, N elementer analizi yapılmıştır. Separatör çıktısı katı faz ise belirli proseslerden geçerek gübre elde edildiği için kuru madde, N, P_2O_5, K_2O değerleri analiz edilmiştir. Tablo 4.2'de detayları bulunmaktadır.

Tablo 4.2. Hammadde analizleri

No	Atık tipi	KM (%)	UKM (%)	C (%)	N (%)	H (%)	S (%)	O (%)
1	Besi atığı	11,2	84	41,1	2,63	4,79	0,4	26,87
2	Yumurtacı tavuk atığı	26	75	42,3	4,55	3,97	0,3	27,97

4.3. Biyogaz Tesis Kapasitesi Ve Dizayn Parametreleri

Yapılan hesaplamalar ışığında biyogaz tesisinin kapasitesi 3 MW olarak belirlenmiştir. Güç ünitesi kapsamında 2 adet 1.500 kWel gaz motoru kullanılacaktır. Mezofilik şartlarda gaz üretimi yapılacak olup, sürekli karıştırmalı (CSDR) tip 4 adet reaktör kullanılacaktır. Tablo 4.3.'de tesis dizayn parametlerine yer verilmiştir.

Tablo 4.3. Tesis dizayn parametreleri

Yaş fermantasyon	
Kojenerasyon kapasitesi (kWh)	2 x 1.500
Elektriksel verim (%)	40%
Fermantör hacmi (m^3)	4 x 6.838
İlk depo hacmi (m^3)	2 x 1.005
Lagün hacmi (m^3)	20.000
Katı son ürün depo alanı (m^2)	1260
Hidrolik bozunma süresi	34 gün

4.3.1. Buswell yöntemi ile kapasite tayini

Buswell yöntemi ile hayvansal atıklardan ne kadar enerji üretileceği hesaplanmıştır. Yumurtacı tavuk çiftliği için yapılan hesaplamalar, besi çiftliği için de yenilenmiştir.

Besi çiftliği için elektrik üretim kapasitesi 1.320,75 kW olarak belirlenmiştir. Toplam elektrik üretim kapasitesi 3.245,57 kW'tır (Bkz. Tablo 4.4.).

Tablo 4.4. Buswell yöntemi ile elektrik üretim kapasitesi

No	Çiftlik tipi	Günlük atık (ton)	CH_4 miktarı	CO_2 miktarı	CH_4 oranı (%)	CO_2 oranı (%)	Elektrik üretim kapasitesi (kwh)
1	Besi çiftliği	345,00	1,82	1,61	53,08	46,92	1.320,75
2	Yumurtacı tavuk çiftliği	260,00	1,70	1,83	48,16	51,84	1.927,82
						Toplam	3.248,57

4.3.2. Literatür verileri ile kapasite tayini

Literatür verileri ile hayvansal atıklardan ne kadar enerji üretileceği hesaplanmıştır. Yumurtacı tavuk çiftliği için yapılan hesaplamalar, besi çiftliği için de yenilenmiştir. Besi çiftliği için elektrik üretim kapasitesi 1.103,69 kW olarak belirlenmiştir. Toplam elektrik üretim kapasitesi 3.427,44 kW'tır (Bkz. Tablo 4.5.).

Tablo 4.5. Literatür verileri ile elektrik üretim kapasitesi

No	Çiftlikler	Günlük atık (ton)	KM (ton)	UKM (ton)	Metan üretimi (m3/gün)	Elektrik üretim kapasitesi (kWh)
1	Besi atığı	345,00	38,64	31,68	6.622,12	1.103,69
2	Yumurtacı tavuk atığı	260,00	67,60	50,70	13.942,50	2.323,75
	Toplam	605,00	106,24	82,38	20.564,62	3.427,44

4.4. Biyogaz Tesisi, Organik Katı Gübre ve Organomineral Gübre Üretim Tesisi Yatırım Maliyeti

3 MW kapasiteli bir biyogaz tesisi için yatırım maliyeti 7.200.000 USD olarak belirlenmiştir. Kamyon, vidanjör, loader maliyetinin ise 270.000 USD olacağı ön görülmüştür. Toplam rakam bu durumda 7.470.000 USD'dir. Organik gübre üretim tesisi için bu maliyet 11.178.000 USD iken, organomineral gübre tesisi için 20.566.700 USD olacaktır. Aşağıda bölümler halinde yatırım maliyetlerine yer verilmiştir.

- Projelendirme
- Saha/ atık kapasite değerlendirilmesi
- Akış diyagramları ve kütle-denge diyagramlarının oluşturulması
- PI&D diyagramı tasarımı
- Borulama çizimleri
- Mekanik çizimler
- Elektromekanik çizimler
- Mimari ve Statik çizimler

- Ekipman ve enstrümantasyon listesinin oluşturulması

➢ İnşaat

- Hafriyat
- Yollar
- Ön depolar ve besleme sistemleri
- Reaktörler
- Trafo merkezi
- Mekanik oda
- İdari bina
- Son depo

➢ Elektrik

- Gerilim trafolu kesici hücresi
- Akım ve gerilim ölçü hücresi
- Sigorta yük ayırıcılı trafo koruma hücresi
- Gerilim trafosu hücresi
- Gerilim trafolu kesici hücresi
- Yük ayırıcılı giriş çıkış hücresi
- Kesicili giriş-çıkış/trafo koruma hücresi
- Sigorta yük ayırıcılı trafo koruma hücresi
- Servis trafo
- Tüketim trafo
- Step-up trafo
- Alçak gerilim, orta gerilim panolar
- Kablolar, tavalar
- ENH
- Topraklama
- İç/dış aydınlatma

➢ Otomasyon

- Fermantasyon sistem kontrolü
- Analizör (5 nokta dan ölçüm alabilen, CH_4, CO_2, O2, CO ve H_2 ölçebilen)
- Dolum seviyeleri, sıcaklık, gaz basıncı, besleme miktarları, performans verileri gibi, Ölçüm değerlerinin toplanması, işlenmesi ve raporlanması,

- Arıza, ikaz, işletim ve durum mesajlarının gösterilmesi ve kaydedilmesi,
- Önemli makine parçalarının ve güvenlik donanımlarının denetlenmesi,
- Belirlenmiş olan tesis parçalarında frekans konvertörleri üzerinden devir kontrolü,
- Tesis parçalarının dokunmatik panelden komut girilerek kumanda edilmesi,
- Önemli tesis parçalarının manüel olarak kumanda edilmesi,
- Arıza ve ikaz mesajlarının dokunmatik panelde gösterilmesi,
- Elektrikli tahriklerin, pompaların ve karıştırma düzeneklerinin kumandası
- Kumanda panosu,
- Biyogaz tesisinin "kumanda edilmesi ve gözetlenmesi" için şalter, mesaj lambası, acil kapatma, ana şalter,vs. gibi kumanda elemanları,
- Yazılım (Software) kullanım lisansı, Emb-PC bilgisayar modülü, endüstriyel ethernet switch,
- Biyogaz tesisinin gereksinimlerine göre programlanmış yazılım

➢ Mekanik

- Borulamalar (Paslanmaz, polietilen, PVC)
- Besleme ünitesi (Premix, bunker, merkezi pompa)
- Pompalar
- Karıştırıcılar
- Booster ünitesi (Blower, fan)
- Gaz depolama ünitesi (membran, file)
- Vanalar
- Sıcaklık, basınç, seviye transmitterleri
- Vanalar (Bıçaklı, kelebek, küresel)
- Gaz şartlandırma sistemi (Chiller, kondenser, dahili ve harici desülfürizasyon ünitesi)
- Separatör
- Flare

➢ Güç ünitesi

- Gaz motoru
- Eşanjör
- Radyatör
- Baca, atış ağzı

- Pompalar
- Vanalar (Üç yollu oransal vana, emniyet vanası)
- Motor jeneratör kontrol sistemi

➢ Lojistik

- Kamyon
- Vidanjör
- Loader

➢ Organik katı gübre tesisi

- Kompost
- Kurutma
- Paketleme

➢ Organomineral katı gübre tesisi

- Kompost
- Homojenizatör
- Granülatör
- Kurutma
- Paketleme

4.4.1. Biyogaz tesisi, organik katı gübre ve organomineral gübre üretim tesisi işletme gelir ve giderleri

Biyogaz tesisi, organik katı gübre ve organomineral gübre üretim tesisi işletme gelir ve giderlerine Tablo 4.6.'da yer verilmiştir.

Tablo 4.6. Fizibilite çalışmaları

Tesis tipi	Gelirler (USD)	Giderler (USD)
Biyogaz tesisi	2.693.250	1.022.915
Biyogaz + organik katı gübre tesisi	4.500.075	1.107.965
Biyogaz + organomineral gübre tesisi	33.112.918	13.725.059

4.5. Biyogaz Tesis Fizibilite Hesapları

Biyogaz tesisi fizibilite hesapları 3 farklı duruma göre incelenmiştir.

- Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları
- Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesapları
- Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesapları

Yatırım bedeli en düşük sadece biyogaz tesisi olurken, en yüksek yatırım bedeli biyogaz ve organomineral tesisine aittir. Buna rağmen en hızlı geri ödeme süresi biyogaz ve organomineral tesisinin olup, amortisman süresi 1.07 yıl olarak tespit edilmiştir. Tablo 4.7.'de biyogaz ve gübre tesisi gelir ve giderlerine yer verilmiştir.

Tablo 4.7. Biyogaz ve gübre tesisi fizibilite hesapları

Tesis tipi	Yatırım bedeli (USD)	Amortisman süresi (yıl)
Biyogaz tesisi	7.470.000	5,76
Biyogaz + organik katı gübre tesisi	11.178.000	3,71
Biyogaz + organomineral gübre tesisi	20.566.700	1,07

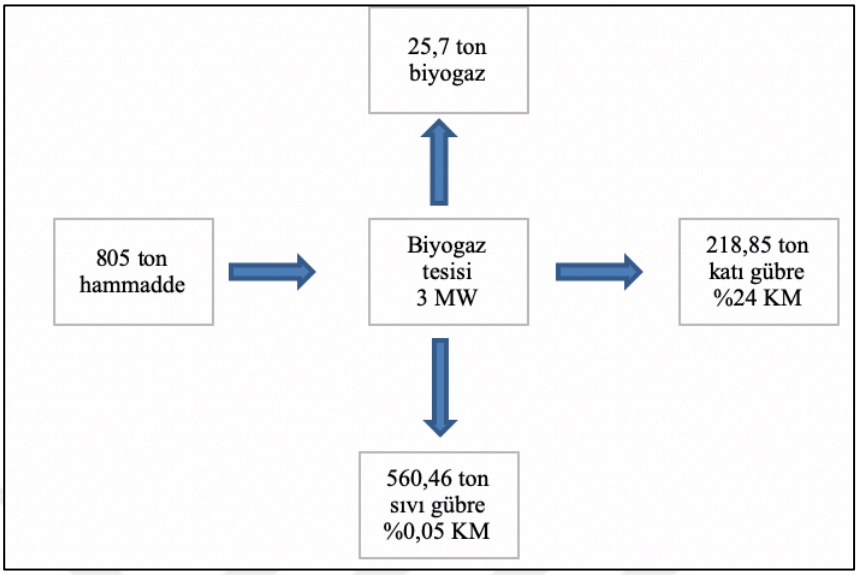
4.5.1. Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları

Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesaplamaları yapıldığında yatırım maliyeti 7.470.000,00 USD, giderler ilk yıl 1.097.505,12 USD, gelir 2.625.918,75 USD ve geri ödeme süresi 5,76 yıl olarak belirlenmiştir. Tablo 4.8.'de sadece elektrik satışı ile fizibilite hesaplarına yer verilmiştir.

Tablo 4.8. Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları

3 MW Biyogaz tesisi fizibilitesi	$ / yıl
Yatırım maliyeti (CAPEX)	7.470.000,00
Giderler (OPEX)	1.097.505,12
Gelirler	2.625.918,75
Faaliyetten doğan nakit akım	1.297.430,90
Amortisman Süresi (yıl)	5,76

Şekil 4.1.'de ise biyogaz tesisi kütle denkliğine yer verilmiştir.



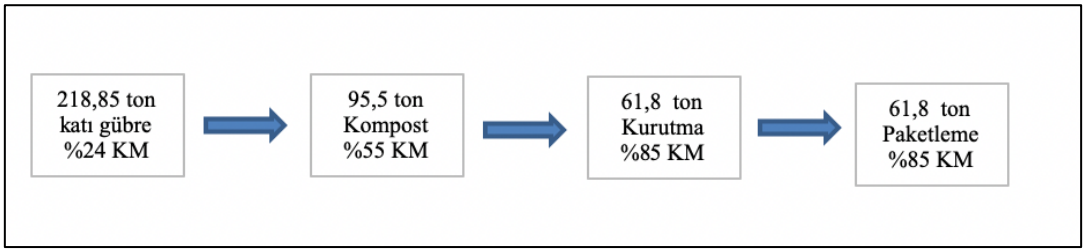
Şekil 4.1. Biyogaz tesisi kütle denkliği

4.5.2. Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesapları

Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesaplamaları yapıldığında yatırım maliyeti 11.178.000 USD, giderler ilk yıl 1.149.308,59 USD, gelirler 4.774.172,88 USD ve geri ödeme süresi 3,71 yıl olarak belirlenmiştir. Tablo 4.9.'da elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesaplarına yer verilmiştir. Şekil 4.2.'de ise organik katı gübre tesisi kütle denkliğine yer verilmiştir.

Tablo 4.9. Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesapları

Biyogaz + organik katı gübre tesisi fizibilitesi	$ / yıl
Yatırım Maliyeti (CAPEX)	11.178.000,00
Giderler (OPEX)	1.149.308,59
Gelirler	4.774.172,88
Faaliyetten Doğan Nakit Akım	3.011.671,43
Amortisman Süresi (yıl)	3,71



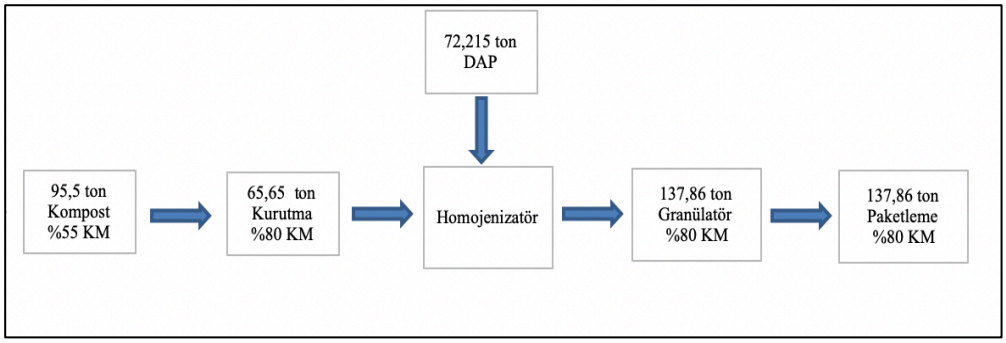
Şekil 4.2. Organik katı gübre kütle denkliği

4.5.3. Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesapları

Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesaplamaları yapıldığında yatırım maliyeti 20.566.700 USD, giderler ilk yıl 13.791.377,59 USD, gelirler 37.515.299,89 USD ve geri ödeme süresi 1,07 yıl olarak belirlenmiştir. Tablo 4.10.'da elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesaplarına yer verilmiştir. Şekil 4.3.'te ise organomineral katı gübre tesisi kütle denkliğine yer verilmiştir.

Tablo 4.10. Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesapları

3 MW Biyogaz tesisi fizibilitesi	$ / yıl
Yatırım maliyeti (CAPEX)	20.566.700,00
Giderler (OPEX)	13.791.377,59
Gelirler	37.515.299,89
Faaliyetten doğan nakit akım	19.184.804,84
Amortisman süresi (yıl)	1,07



Şekil 4.3. Organomineral katı gübre kütle denkliği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fosil yakıtların azalması ve çevreyi kirletmesi insanlığı yenilenebilir enerjiye yöneltmiştir. Yenilenebilir enerjinin önemli bir türü olan biyogaz ise; biyokütle atıklarını enerjiye dönüştürerek gelecek nesillere daha güzel bir dünya bırakmamız için bizlere araç olmuştur. Bu çalışma ile bir biyogaz tesisinden enerjinin yanı sıra gübre de üretibileceği ortaya konmuştur.

Tezde 3 MW kurulu güce sahip, hayvansal atık kaynaklı biyogaz üretim tesislerinde gübrenin değerlendirilme methodları ve fizibiliteye olan etkisi incelenmiştir. 3 Çeşit ekonomik analiz yapılmıştır. Bunlar;

- Sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları
- Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile fizibilite hesapları
- Elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile fizibilite hesapları

Sadece elektrik satışı ile geri ödeme süresi 5,76 yıl, elektrik satışı ve organik katı gübre satışı ile geri ödeme süresi 3,71 yıl, elektrik satışı ve organomineral katı gübre satışı ile geri ödeme süresinin 1,07 yıl olduğu ortaya konmuştur.

Yaş fermantasyon ve 3 MW biyogaz tesisinde; hammadde olarak kanatlı hayvan çiftliği atığı ve büyükbaş hayvan çiftliği atığı olmak üzere 2 tip atık kullanılmıştır. Günlük 805 ton hammadde ile tesisin anaerobik koşullarda günlük 25,7 ton biyogaz üreteceği saptanmıştır. Mevcutta devlet alım garantisi bulunan bu tesisler için en önemli gelir kalemi elektriktir. Fakat işlenen hammadde sonrasında ortaya çıkan gübre ise toprak uygulamalarında toprağı zenginleştirmektedir. Bu gübre çeşitli proseslerden geçirilerek üretilmektedir. Tez de ise; katı organik ve katı organomineral gübrenin üretim aşamaları ve kütle denklikleri incelenmiştir. Biyogaz tesisine ilave kurulacak, katı organik gübre tesisi ile günde 61,8 ton gübre; organomineral tesisi ile 137,86 ton gübre üretilebilmektedir. Gübre satışları ile birlikte tesis geri ödeme süreleri önemli ölçüde azalmıştır. Katı organik gübre prosesinin ilk yatırım maliyeti organomineral gübre tesisinin ilk yatırım maliyetinin neredeyse yarısı kadardır. Fakat gelirler

incelendiğinde ise; organomineral gübre tesisi yaklaşık 9 kat fazla gelir elde etmektedir. Bunun sebebi organomineral gübrenin organik ve bitki gelişiminde önem arz eden N ve P_2O_5 içeriğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada kimyasal ilavesi olarak DAP kullanılmıştır. Fakat tesis çıktısı olan sıvı gübre belirli proseslerden geçirilerek de N ilave olarak kullanılabilmektedir. Sıvı gübre dekarbonizasyon ve strippping proseslerinde işlenerek N oranı yüksek konsantre sıvı gübre üretilebilmektedir. Böylece ilave edilen DAP miktarı azaltılabilir. Fakat ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyeti artacaktır.

Sonuç olarak bu çalışma ile birlikte Türkiye'deki organik atıkların değerlendirilmesi, toprağa geri kazandırılması ve enerji tüketiminde dışa bağımlılığının azaltılması maksadıyla biyogaz tesis sayısının artırılması önemi vurgulanmıştır. Biyogaz tesislerinin çıktısı olan organik gübrenin tarımsal arazilerde değerlendirilmesi gerekmektedir. Hayvancılık ve tarımın arasında biyogaz tesisinin bir köprü görevi oluşturması beklenmektedir. Organomineral ve organik gübre pazarının yaygınlaşması ve sıfır atık politikalarıyla birlikte; kimyasal gübrelerin kullanımının git gide azalması, toprağın ve tarımın faydasına olacaktır.

Fosil yakıtların tükenme sürecine girdiği şu günlerde hayvan atıklarının enerji potansiyelinden yararlanılmalıdır. Gelişen teknolojiler ile hayvan atıklarının çevreye olan etkilerini minimum düzeye indirilirken enerji elde etmek, hayvansal ve tarımsal atıklarının gübre özellikleri değerlendirilmelidir. Sürdürülebilir kalkınma, tarımsal faaliyetlerin devamlılığı ve geleneksel enerji kaynaklarının sebep olduğu emisyonların azaltılması adına hayvansal gübrelerin ve tarımsal atıkların değerlendirileceği biyogaz tesislerinin sayısı artırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Abebe M. A., Characterization of Sludge from a Biogas Reactor for the Application Bio-Fertilizer, *International Journal of Scientific Engineering and Science,* 2017, **1**(3), 12–16.

Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Bodiroza V., Pötsch E. and Zollitsch W., Optimising Methane Yield from Anaerobic Digestion of Manure: Effects of Dairy Systems and Glycerine Supplementation, *International Congress Series*, **1293**, 217–220, 2006.

Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mayer K. And Gruber L., Biogas Production From Maize and Dairy Cattle Manure-Influence of Biomass Composition on the Methane Yield. *Agriculturel Ecosystems and Environment,* 2007, **118**(1–4), 173–182.

Angelidaki and Ahring B.K., Methods for Increasing the Biogas Potential from Recalcitrant Organic Matter Contained in Manure, *Water Science and Technology*, 2015, **2**(8), 189.

Ardıç İ. ve Taner F., Biyokütleden Biyogaz Üretimi I: Anaerobik Arıtımın Temelleri, http://www.biyogazder.org/makaleler/mak11.pdf, (Ziyaret tarihi:10 Aralık 2019).

Ayşe Ç. ve Selim K., Türkiye' de Yerel Yönetimlerin Çevreye Yönelik Politikalar: Konya Selçuklu Belediyesi SELKAP Örneği, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* 2009, **22**, 118-130.

Buczkowski R., Iglin A., Cichosz M., Piechota G. and Iglin B., Agricultural Biogas Plants in Poland: Investment Process, Economical and Environmental Aspects, Biogas Potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 2012, **16**, 4890–4900.

Budiyono I. N., Widiasa S., Johari S. and Sunarso, The Kinetic of Biogas Production Rate from Cattle Manure in Batch Mode, International *Journal of Chemical and Biological Engineering,* 2010, **3**(1), 39–44.

Chae K. J., Jang A., Yim S. K. & Kim I. S., The Effects of Digestion Temperature and Temperature Shock on the Biogas Yields From the Mesophilic Anaerobic Digestion of Swine Manure, *Bioresource Technology*, 2008, **99**(1), 1–6.

Çoban V., Anaerobik Reaktörlerde Tavuk Gübresinin Maksimum Besleme Oranının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 379728.

Cu T. T. T., Nguyen T. X., Triolo J. M., Pedersen L., Le V. D., Le P. D. and Sommer S. G., Biogas Production from Vietnamese Animal Manure, Plant Residues and Organic Waste: Influence of Biomass Composition on Methane Yield, 2015, **28**(2), 280–289.

Dereli R. K., Yangin-Gomec C., Ozabali A. and Ozturk I., The Feasibility of a Centralized Biogas Plant Treating the Manure Produced by an Organized Animal Farmers Union in Turkey, *Water Science and Technology*, 2012, **66**(3), 556–563.

Drosg B., Linke B., Fuchs W. and Madsen M., Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing Table of Contents Nutrient Recovery by Biogas Digestate Processing, *IEA Bioenergy*, British Library, 2015.

EPDK, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, Elektrik Piyasası YEKDEM Listesi, https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-72/elektrikyekdem, (Ziyaret tarihi:12 Aralık 2019).

Erhan A., Selim K., Kimyasal Gübre Yerine Kullanabilecek Doğal Toprak Katkı Materyalleri ile Tarımsal Üretim Olasılıkları, *Organomineral Gübre Çalıştayı*, İstanbul, 69-80, Mayıs 2018.

Fred M., Es V. H., *Agriculture Network Building Soils for Better Crops Series*, Second Edition, Sustainable Agriculture Network, Beltsville, 2000.

Gebrezgabher S. A., Meuwissen M. P. M., Prins B. A. M. and Lansink A. G. J. M. O., Economic Analysis of Anaerobic Digestion-A Case of Green Power Biogas Plant in the Netherlands. NJAS- *Wageningen Journal of Life Sciences*, 2010, **57**(2), 109–115.

Ilkiliç C., Deviren H., Production of Biogas and Factors of Affecting The Production, *International Advanced Technologies Symposium,* Elâzığ, 16-18 Mayıs 2011.

Koszel M., Lorencowicz E., Agricultural Use of Biogas Digestate as a Replacement Fertilizers. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2015, **7**, 119–124.

Liu L., Zhang T., Wan H., Chen Y., Wang X., Yang G., Ren G., Anaerobic Co-Digestion of Animal Manure and Wheat Straw for Optimized Biogas Production by the Addition of Magnetite and Zeolite. *Energy Conversion and Management*, 2015, **97**, 132–139.

Murphy J. D., McKeogh E., Kiely G., Technical Economic Environmental Analysis of Biogas Utilisation, *Applied Energy*, 2004, **77**(4), 407–427.

Nachwachsende F., *Biyogaz Kılavuzu: Üretimden Kullanıma*, 5.Baskı, Gülzow, 2010.

Nahm K. H., Evaluation of the Nitrogen Content in Poultry Manure, *World's Poultry Science Journal*, 2003, **59**, 712–714.

Nevzat A., Organomineral Gübre Kullanımının AntepfıstığI Verimi ve Toprağın Fiksasyon Kapasitesi Üzerine Etkisi, *Organomineral Gübre Çalıştayı*, İstanbul, 192-205, Mayıs 2018.

Nihal T., Ayten N., Organik ve Organomineral Gübrelerin Toprağın Enzim Aktivitesi ile Buğday Verimi Üzerine Etkisi, *Organomineral Gübre Çalıştayı*, İstanbul, 81-96, Mayıs 2018.

Oates W. E., N R., Environmental Economics, *Journal of Environmental Economics and Management*, 2001, **2**, 1019-1026.

Osman Y., Recep K. (2018). Türkiye'de Kompost Üretim Teknoljileri ve Yasal Faliyetler, *Organomineral Gübre Çalıştayı*, İstanbul, 141-155, Mayıs 2018.

Safley L. M., Biogas Production from Anaerobic Lagoons*, Biological Wastes,* 1988, **23**, 181–193.

Sait G., Türkiye Topraklarının Organik Madde Durumu, Organik Madde Kaynaklarımız ve Kullanımı, *Organomineral Gübre Çalıştayı*, İstanbul, 12-16, Mayıs 2018.

Zuhal A., Energy Recovery from Animal Manure: Biogas Potential of Burdur, Turkey, *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Enginnering,* 2019, **20**(2), 161–170.

Şenol H., Elibol E. A., Açikel Ü., Şenol M., Biyogaz Üretimi İçin Ankara' nın Başlıca Organik Atık Kaynakları, *BEU Journal of Science*, 2017, **6**(2), 15–28.

SM A., Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, *American Water Works Association, Water Environment Federation*, 1999.

Saltabaş F., Soysal Y., Yıldız Ş., Balahorli V., Evsel Katı Atık Termal Bertaraf Yöntemleri ve İstanbul'a Uygulanabilirliği, *Türkiye Katı Atık Birliği Sempozyumu,* İstanbul, 15-17 Haziran 2009.

Ubi W., Ubi G. M., Akpan-Idiok A U., Okweche T., Nutrient Dynamics in Vegetative Propagules of Pineapple (Ananas Comosus) Cultivar as İnfluenced by Post N: P: K Fertilizer Application in Southern Nigeria. *International Journal of Academic Research and Development*, 2016, **1**(7), 2455–4197.

Vikipedi, https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyogaz, (Ziyaret tarihi: 10 Ocak 2019)

Wendland M., Biogasgärreste Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. *Arbeitsgemeinschaft Landtechnik*, 2012, (**1**), 15.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası, http://bepa.yegm.gov.tr, (Ziyaret tarihi: 10 Aralık 2019).

Yiridoe E. K., Gordon R., Brown B. B., Nonmarket Cobenefits and Economic Feasibility of on-Farm Biogas Energy Production, *Energy Policy*, 2009, **37**(3), 1170–1179.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Kaplan G., Çoban V., Çağman S., Hayvansal Kaynaklı Biyogaz Üretim Tesislerinde Üretilen Gübrenin Değerlendirilme Methodları ve Fizibiliteye Olan Etkisinin İrdelenmesi, *Imascon Bahar Kongresi*, Kocaeli, 798-801, 26-28 Nisan 2019.

ÖZGEÇMİŞ

22 Haziran 1994'te Kırıkkkale'de doğdu. İlk ve orta eğitimini orada tamamladı. 2008 yılında Alanya Türkler İ.M.K.B Anadolu Öğretmen lisesine başladı. 2012 yılında eğitimini tamamladı. 2013 Yılında Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümüne başladı. 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında çalışma hayatına ve yüksek lisansa başladı. 2017 Haziran Ekosmart Enerji'de başladığı çalışma hayatına 2017 Kasım'da Renesco Enerji ile devam etti. Renesco Enerjide 1,5 yıl iş geliştirme mühendisi ünvanı ile çalıştı. Şu anda kariyerine Vega Global'de genel koordinatör olarak devam etmektedir.