

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAYVANSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ TESİSİNİN
GÜBRENİN SATIŞINA YÖNELİK RİSK VE DUYARLILIK
ANALİZİ

SÜMEYYE TUNA

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAYVANSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ TESİSİNİN
GÜBRENİN SATIŞINA YÖNELİK RİSK VE DUYARLILIK
ANALİZİ

SÜMEYYE TUNA

Dr. Öğr. Üyesi Volkan ÇOBAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi İsmet TIKIZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Rahman ÇALHAN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 09.02.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyada nüfus artışı ve buna bağlı sanayinin artması ile enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Doğayı korumak ve sürdürülebilirlik bakımından yenilenebilir enerji önem arz etmektedir. Biyokütleden biyogaz üretimi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Biyogaz sonrası üretilen gübre gerek doğa gerekse tarıma katkı sağlamaktadır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca tecrübelerini paylaşan ve bilgi birikimini benden esirgemeyen, bu çalışmanın yürütülmesi ve ilerlemesi konusunda bana danışmanlık ederek beni yönlendiren danışmanım Dr. Volkan ÇOBAN'a ve hayatımın her aşamasında maddi manevi desteklerini esirgemeyen sevgili annem Sakine TUNA'ya, babam Yılmaz TUNA'ya, abim Mustafa TUNA'ya ve kardeşim Sena TUNA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ocak-2021

Sümeyye TUNA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Biyogaz Tanımı ve Tarihçesi	4
1.2. Biyogaz Oluşumu	6
1.3. Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Üretimi.....	8
1.4. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler	9
1.4.1. Reaktör sıcaklığı.....	9
1.4.2. Hidrolik bekleme süresi	10
1.4.3. Organik yükleme hızı	11
1.4.4. pH	12
1.4.5. C/N oranı	12
1.4.6. Toksikite.....	13
1.5. Biyogazın Kullanım Alanları	13
1.5.1. Biyogazın ısıtmada kullanımı.....	14
1.5.2. Biyogazın aydınlatmada kullanımı.....	14
1.5.3. Biyogazın motorlarda kullanımı.....	15
1.6. Biyogaz Üretim Tesisi Bileşenleri	15
1.7. Biyogaz Oluşumu Sonrası Çıkan Atığın Gübre Olarak Değerlendirilmesi	17
2. MATERYAL METOD	19
2.1. Materyal.....	19
2.1.1. Biyogaz tesisinin fizibilitesini etkileyen faktörler	19
2.1.2. Hammadde analizleri.....	20
2.2.1.2. Literatür verilerine göre biyogaz tesis potansiyelinin bulunması.....	23
2.2.1.3. Biyogaz tesis tasarımına ilişkin teknik parametreler	24
2.2.1.4. Biyogaz tesisi kurulum maliyeti	24
2.2.1.5. Biyogaz tesisi işletme giderlerinin bulunması	27
2.2.1.6. Biyogaz tesis gelirlerinin çıkarılması	28
2.2.1.7. Biyogaz tesisi amortisman süreleri	28
2.2.2. Duyarlılık analizi.....	29
2.2.2.1. Amortisman süresi etkileri.....	30
2.2.2.2. Net bugünkü değer etkileri	30

2.2.3. Risk analizi	31
3. BULGULAR	33
3.1. Büyükbaş Hayvansal Atık Kapasitesi Tayini	33
3.2. Hammadde Analiz Sonuçları	34
3.3. Literatür Verileri ile Kapasite Tayini	35
3.4. Biyogaz Tesisi Dizayn Parametreleri	37
3.5. Biyogaz Tesisi Kurulum Maliyeti	38
3.6. Biyogaz Tesisi İşletme Giderleri	39
3.7. Biyogaz Tesisi İşletme Gelirleri	40
3.8. Biyogaz Tesisi Amortisman Süreleri Hesaplanması	40
3.8.1. Sadece elektrik satışı ile amortisman süresi hesaplanması	41
3.8.2. Gübre satışına yönelik amortisman süresi hesaplanması	42
3.9. Duyarlılık Analizi İncelemeleri	44
3.9.1. Amortisman süresi	44
3.9.2. Net bugünkü değer ve iç verimlilik	47
3.2. Risk Analizi Bulguları	52
4.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	58
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	63
ÖZGEÇMİŞ	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Biyogaz Oluşum Aşamaları	8
Şekil 1.2. Metanojik Bakterilerin Büyüme Hızlarının Sıcaklık ile Olan Değişimi.....	10
Şekil 3.1. İç Verimlilik Oranına Göre Faiz Aralığı.....	52



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Mezofilik Şartlarda Ortalama Hidrolik Bekleme Süresi.....	11
Tablo 2.1. Hayvan Türlerinin Günlük Atık Miktarları	21
Tablo 2.2. Büyükbaş Hayvan Çiftlik Detayları.....	22
Tablo 2.3. Olasılık İçin Kılavuz Tablosu	31
Tablo 2.4. Risk Analizi Yöntemi	32
Tablo 3.1. Baz Alınan Çiftliklerin Günlük Atık Miktarları	34
Tablo 3.2. Hammadde Analizi sonucu elde edilen UKM ve KM oranları	35
Tablo 3.3. Literatür verilerine göre elektrik üretim kapasitesi.....	36
Tablo 3.4. Biyogaz Tesisi Dizayn Parametreleri	37
Tablo 3.5. Biyogaz Tesisi Maliyet Bileşeni Fiyatlandırılması.....	38
Tablo 3.6. Biyogaz Tesis İşletme Giderleri	39
Tablo 3.7. Biyogaz Tesisi İçin Yıllık Net Elektrik Üretim.....	40
Tablo 3.8. Biyogaz Tesisi İşletme Gelirleri	40
Tablo 3.9. Sadece Elektrik Satışına Dayalı Biyogaz Tesisi Yatırım Maliyeti	41
Tablo 3.10. Sadece elektrik satışı ile amortisman süresi hesaplanması.....	42
Tablo 3.11. Elektrik ve Gübre Satışına Dayalı Biyogaz Tesisi Yatırım Maliyeti.....	43
Tablo 3.12. Gübre satışına bağlı amortisman süresi hesaplanması.....	44
Tablo 3.13. Elektrik fiyatının %10 artması durumunda duyarlılık analizi	44
Tablo 3.14. Elektrik fiyatının %10 azalması durumunda duyarlılık analizi	45
Tablo 3.15. Hammadde ve ürün dağıtım maliyeti %20 artması ile yapılan duyarlılık analizi.....	45
Tablo 3.16. Hammadde ve ürün dağıtım maliyeti %20 azalması ile yapılan duyarlılık analizi.....	46
Tablo 3.17. Kurulum maliyetinin %10 artması ile yapılan duyarlılık analizi.....	46
Tablo 3.18. Fizibilite Çalışması ile NBD Hesaplaması	47
Tablo 3.19. Elektrik Satış Fiyatının %10 Artması Durumunda NBD Etkisi	48
Tablo 3.20. Elektrik satış fiyatının %10 azalması durumunda NBD etkisi	49
Tablo 3.21. Hammadde ve Ürün dağıtım maliyetinin %10 artması durumunda NBD etkisi.....	50
Tablo 3.22. Hammadde ve Ürün dağıtım maliyetinin %10 azalması durumunda NBD etkisi.....	51
Tablo 3.23. Risk Analizi Değerlendirmeleri	53
Tablo 3.24. Risk-Durum Değerlendirmeleri	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

°C	: Derece
C	: Karbon
CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit
H ₂	: Hidrojen
H ₂ S	: Hidrojen Sülfür
K	: Potasyum
N	: Azot
P	: Fosfor
S	: Kükürt
\$: Dolar Sembolü

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BKM	: Bağlı Katı Madde
FAVÖK	: Faiz, Amortisman ve Vergi Öncesi Kar
FED	: Federal Reserve Board (Federal Rezerv Kurulu)
GHG	: Sera Gazı
HBS	: Hidrolik Bekleme Süresi
KA	: Kül Ağırlığı
km	: kilometre
KM	: Kuru Madde
kW	: Kilowatt
Kwh	: Kilowatt saat
Mj	: Megajoule
m	: metre
m ³	: metreküp
MW	: Megawatt
NBD	: Net Bugünkü Değer
OMM	: Organik Madde Miktarı
OYH	: Organik Yükleme Hızı
pH	: Power of Hydrogen (Hidrojen Gücü)
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrol
Ppm	: Parts Per Million (Milyonda Birlik Birim)
TKM	: Toplam katı madde
TUGİAD	: Türkiye Genç İş Adamları Derneği
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UKM	: Uçucu Kuru Madde

USD : United States Dollar (Amerikan Doları)
YEGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK : Yenilenebilir Enerji Kanunu
YEKDEM : Yenilenebilir Enerjileri Destekleme Mekanizması



HAYVANSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ TESİSİNİN GÜBRENİN SATIŞINA YÖNELİK RİSK VE DUYARLILIK ANALİZİ

ÖZET

Günümüzde artan enerji ihtiyacı nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır. Alternatif bir enerji kaynağı olarak biyokütleden enerji üretimi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer almaktadır. Biyogaz üretiminde, bu kaynaklara dayalı yatırım yapılmadan önce teknik ve mali fizibiliteler iyi analiz edilmelidir. Teknik ve mali fizibilitede girdilerin maliyetleri kadar üretilen ürünlerin satışı da büyük etki göstermektedir. Biyogaz tesislerinde elektrik üretimi en önemli gelir kaynağı gibi gözükmemektedir. Ancak eğer üretilen gübre satılabilir forma getirilirse bir gelir kaynağı olarak ele alınabilir. Bu çalışmada, hayvansal atıklara dayanan 1 MW kapasiteli bir biyogaz tesisi ele alınmış, oluşacak gübrenin satışının fizibilite üzerine olan etkileri incelenmiştir. Yatırım, elektrik üretiminin yanı sıra gübre satışına yönelik hazırlanmış ve bu yatırımın risk ve duyarlılık analizleri yapılmıştır. Satılabilir forma getirilen gübrenin satışı ile yapılan fizibilite raporunda amortisman süresi 4,82 yıl olarak hesaplanmıştır. Duyarlılık analizinde ise öngörülen elektrik satışının %10 artması durumunda amortisman süresi 4,39 yıl olarak hesaplanmıştır. Finansal fizibilite analizinde net bugünkü değer incelenmiştir. Projedeki gelir ve giderlerin değişmesi durumunda net bugünkü değer etkileri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Duyarlılık Analizi, Fermente Gübre, Net Bugünkü Değer, Risk Analizi.

RISK AND SENSITIVITY ANALYSIS OF BIOGAS PLANT'S MANURE SALES WELDED BY ANIMAL WASTE

ABSTRACT

Today, the tendency towards renewable energy sources is growing due to increasing energy need. As an alternative energy source, energy production from biomass is among the renewable energy sources. In biogas production, technical and financial feasibility should be analyzed well before investing on these resources. In technical and financial feasibility, the sales of the manufactured products have a great effect as well as the costs of the inputs. Electricity generation in biogas plants seems to be the most important source of income. However, if the produced fertilizer is put into a salable form, it can be considered as a source of income. In this study, a biogas plant with a capacity of 1 MW based on animal wastes was considered, and the effects of the sale of the fertilizer on the feasibility were examined. The investment was prepared for the sale of fertilizers as well as electricity generation and risk and sensitivity analysis of this investment were made. In the feasibility report made with the sale of the fertilizer which brought into a salable form, the amortization period was calculated as 4,82 years. In the sensitivity analysis, if the projected electricity sales increase by 10%, the depreciation period is calculated as 4,39 years. In the financial feasibility analysis, the net present value was examined. In case of changes in the income and expenses in the project, the net present value effects are shown.

Keywords: Biogas, Sensitivity Analysis, Fermented Fertilizer, Net Present Value, Risk Analysis.

GİRİŞ

Enerji, insanoglundun sosyal olarak geliŒebilmesi adına vazgeçilmeyen bir ihtiyaçtır. Artan nüfus, geliŒen sanayi, yaŒam standartlarının giderek yükselmesi nedeniyle enerji ihtiyacı da gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde yoğun olarak kullanılan doğalgaz, kömür, linyit, benzin gibi fosil yakıtların rezervleri tükenme durumundadır (Çolak ve diğ., 2008). Fosil yakıtlardan karşılanan enerji ihtiyacı, çevresel sorunlar da oluŒurmaya baŒlamıŒtır. Fosil yakıtlardan oluŒan zararlı gazlar; hava kirliliğine, iklim deęiŒikliğine, küresel ısınmaya neden olmakla birlikte insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemektedir. Artan nüfusla birlikte bu tehditler de paralel olarak artmaktadır (Khataee, 2009).

OluŒan tehditler ve rezervlerin tükenmesi, alternatif enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmıŒtır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gelecek nesillerin enerji güvenliği içinde önemli bir yerdedir. Sürdürülebilir enerji bu konuda devreye girmektedir. Hidroelektrik enerji, güneŒ enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle ve biyogaz enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarına büyük önem verilmeye baŒlanmıŒtır. 2005 yılında çıkan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK) ile elektrik enerjisi üretiminin yenilenebilir enerji kaynaklarından olması amaçlanmıŒtır. Yenilenebilir enerji kaynak kullanımını yaygınlaŒtırmak, kaynak çeŒitlilięinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması kanununun amaçları içinde yer almaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları bakımında ülkemiz oldukça zengindir. Devlet yerli ve milli enerji politikası kapsamında yenilenebilir enerji santrallerinin artmasını amaçlamaktadır. DıŒa bağımlılığımızı azaltmak ve yatırımcılar için cazip hale gelmesi için de Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Destekleme Mekanizması (YEKDEM) ile teŒvik vermektedir.

Nüfus artışıyla birlikte organik içerikli atıkların artması da söz konusu olmuştur. Artan organik içerikli bu atıklar bertaraf edilmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Organik atıkların hem bertaraf edilmesi hem de biyogaz üretiminde kullanılarak enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi biyogazın önemini arttırmıştır. Biyogaz enerjisinin kullanımı, ülke ekonomisi ve çevre kirliliği bakımından önem taşımaktadır. Biyogaz gıda ve hayvan atıklarına bağlı olarak sera gazı (GHG) emisyonu azaltan enerji kaynağıdır.

Birçok ülke kendine en uygun tarımsal ve hayvansal ürünleri belirler. Ve bu ürünlerden kendine alternatif enerji sağlamaktadır. Türkiye de potansiyeli uygun ülkeler arasındadır (TÜGİAD, 2004). Türkiye’de tarım ve hayvancılık, kırsal alanlar için önemli bir ekonomik kaynaktır ve Türkiye büyük bir hayvan nüfusuna sahiptir (Menekşe, 2019). Türkiye’nin hayvansal gübre potansiyeline baktığımızda; 2017 yılında 2016 yılına göre büyükbaş hayvan sayısı %13.2 artış göstermiştir (TUİK, 2018). Bu verilere bağlı olarak da organik gübre çıktımız artmaktadır. Gübre potansiyelinin artması biyogaz enerjisi için üretim potansiyelinin artmakta olduğunu göstermektedir. Hem potansiyelin artışı hem de YEKDEM ile elektrik üretimi alım garantisi biyogaz enerjisine yönelmemizde büyük etki göstermektedir. Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisleri için yapılan teşvik 10 yıl boyunca 13.3 UScent/kWh olarak belirlenmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogaz, biyokütleden enerji elde etme yöntemlerini kapsamaktadır. Biyogaz üretiminde kullanılan organik içerikli atıklar metotlarına göre farklılıklar göstermektedir. Bitkisel atıklara örnek olarak saman, mısır slajı, çimen atıkları, küspe atıkları vb. atıkları içerir. Hayvansal atıklar; küçükbaş hayvan gübresi, büyükbaş hayvan gübresi, kümes hayvanı gübresi olarak çeşitlendirilebilir. Orman atıkları ise yaprak, sap, yosun ve alglerdir (YGEM, 2020). Bu organik içerikli atıklar, kontrollü olarak aneorobik ortamda metan gazına dönüşerek temiz bir enerji elde edilir. Bu enerji, ısı ve elektrik üretimi olarak geri dönüşüm sağlamanın yanında tarımsal üretimde toprak verimliliğinin artması için kullanılan organik gübre oluşumu da sağlamaktadır. Fermantasyona uğrayan organik atık, prosesin sonunda değerli bir gübre olarak tarımsal üretimde ve toprak ıslahında kullanılmaktadır (Çetin ve Gür, 2011).

Biyogaz tesisleri inşa edilirken, tüm yatırım proje projelerinde olduğu gibi riskler ve belirsizlikler yer almaktadır. Yatırım projesi uygulamalarında, uygulama koşulları ve parametreler belirlenmelidir. En yüksek kârlılık oranında projeye karar verilmelidir. Bir yatırım projesi için oluşabilecek olumsuz dış faktörlerin etkisini değerlendirmek gerekir (Pikler, 2014).

Yapılan çalışmada bir bölge baz alınmıştır. Bu bölgedeki hayvansal atıkların değerlendirilmesi, hayvansal atıkların sebebiyet verdiği çevre sorunlarının çözülmesi, uluslararası standartlar düzeyinde tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin sürdürülebilir olması, hayvansal atıklardan enerji üretimi yapılması amaçlanmıştır. Hayvansal atık kaynaklı biyogaz tesisi kurulabilmesi için detaylı bir fizibilite yapılmalıdır. Çalışmanın yapılacağı bölgedeki biyogaz tesisinde; tesis kapasitesi, tesis işletme maliyetleri, tesis kurulum maliyetlerinin ve tesis gelirinin ne olacağı belirlenerek fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Teknik ve mali fizibiliteler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Biyogaz tesisinde elektrik üretimi önemli bir gelir kaynağı olarak görülür. Fakat gübre de satılabilir forma getirildiğinde iyi bir gelir kaynağıdır. Kurulacak biyogaz tesisinde, elektrik üretimi ile birlikte gübre de gelir kaynağı olarak görüldüğünde, bu çalışma için yapılan fizibilite üzerindeki etkileri göreceğiz. Çalışmanın asıl amacı ise yapılan fizibilite çalışmalarını ele alarak, kurulacak biyogaz tesisinde duyarlılık ve risk analizlerinin yapılmasıdır. Biyogaz tesisinde dış etkilere karşı olabilecek etkenler belirlenmiştir. Belirlenen etkenler üzerinde amortisman süresi, net bugünkü değer ve iç kârlılık oranları çıkarılmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Biyogaz Tanımı ve Tarihçesi

Biyogaz, organik atıkların oksijensiz (anaerobik) ortamda biyokimyasal reaksiyon ve mikrobiyolojik faaliyet sonucu kontrollü olarak çürütülmesi ile elde edilen bir gazdır. Kısaca, biyokütlenin bakteriyel bozunma süreçlerini anaerobik ortamda gerçekleştirerek oluşturduğu gaz, biyogazdır. Biyogaz havadan %20 daha hafif, ısıl değeri 20 MJ/m³' dür. Biyogazın içerisinde %40-75 metan (CH₄), %25-60 karbondioksit (CO₂), %2 hidrojen sülfür (H₂S) ve azot bulunur (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2002). Biyogazın bileşiminde bulunan metan gazı, biyogaza yanıcı etkiyi veren bileşendir. Biyogazın bileşimi; atık türüne, biyogaz tesisinin işletme şartlarına, sindirim süresine bağlı olarak, üretimi için; anaerobik ortam, uygun ısı değeri, bakteriler ve organik madde bileşenlerinin sağlanması gerekir (House, 2007).

Biyogazın keşfi, 17. yüzyılda Plinius tarafından bataklıklarda fark edilmiş ve bataklık gazı olarak isimlendirilmiştir. Jan Baptista Van Helmont, 17. yüzyılda organik maddelerin bozunmasıyla yanıcı bir gaz üretildiğini belirtmiştir. 1682 yılında Robert Boyle, bitkisel ve hayvansal atıkların çürütülmesi ile gaz üretimi oluştuğunu belirtmiştir (Stafford & Hughes, 1981). 1776 yılında ise Alessandra Volta, organik maddelerin bozunma hızı ile yanıcı gaz miktarı arasındaki ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Gazın belirli konsantrasyonlarının hava ile patlayıcı bir karışım oluşturabileceği sonucuna varmıştır. 1804-1820 yıllarında Dalton, Henry ve Davy, metanın kimyasal bileşimini belirlemişlerdir. Başka bir adım atarak çürüten inek gübresinden metan üretebileceğini göstermiştir (Marchaim, 1992). 1800'lü yılların sonlarına doğru Bechamp, metan üreten sorumlu organizmayı tanımlayabildiğinde daha fazla ilerleme sağlamıştır. Organizmanın geldiği "bakteri kültürünün" karıştırıldığını, fermantasyon ürünlerinin substrata bağlı olduğunu keşfetti. Bu zamana kadar sürecin tek bir türün çalışmasıyla gerçekleştiği varsayılmıştı. 1876'da kanalizasyon çamurunda bulunan asetattan metan ve 1876'da

kanalizasyon çamurunda bulunan asetattan metan ve karbondioksite dönüşüm keşfedildi. 1884 yılında Pasteur, hayvansal atıklardan biyogaz eldesi konusunda araştırmalar üzerine çalışarak, biyogaz üretiminde atların gübresinin kullanılabilceği ve biyogazla sokak lambası yakılmasını öneren ilk kişi oldu. 1895 yılında İngiltere’de sokakları aydınlatmak için gaz üretimini optimize etme yöntemleri çalışılıp araştırıldı. Lağım çukurundan elde edilen gazın ışıklandırılmada kullanılabilceği anlaşıldı ve biyogaz, aydınlatmada kullanılması ile ticari bir değer kazanmış oldu (Jenengi, 1981). 1900’lü yıllardan sonra dünyada, bilimin gelişmesi doğrultusunda ve mikrobiyoloji konularının arttırılması ile anaerobik bakteriler ve özellikleri bulunup metan üretimi teşvik edilmiştir (Sözer ve diğ., 2006). 1920’lerin sonlarına doğru Buswell anaerobik sindirim çalışmalarına başladı. Anaerobik sindirimde nitrojenin rolü, reaksiyonun stokiyometrisi, çiftlik atıklarından enerji üretimi ve prosesin endüstriyel atıklar için kullanımı gibi konuları açıklayarak uygulamalı tarafa geçmiş oldu (Buswell ve diğ., 1936). 1930 yılından sonra anaerobik bakteriler ve metan üretimini etkileyen etkenlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar arttırıldı. Baker 1956 yılında temel biyokimya çalışmaları yapmıştır. Baker yaptığı biyokimya çalışmalarında, metan bakterileri hakkındaki bilgileri arttırarak katkı sağlamıştır (Marchaim, 1992). 1960’lı yıllarda Hindistan koşullarına uygun olarak biyogaz üretiminin geliştirilmesi amacı ile ‘Gobar Gaz Araştırma Enstitüsü’ kurulmuştur. Biyogaz tesislerini geliştirerek basit yöntemlerle gaz elde edilmesinin yanında fermente gübrenin de tarımda kullanılabilceğini ortaya koymuştur (Tüzüm, 2003). 1970 yıllarında ise biyogaz teknolojisine ilgi arttı. Bunun sebebi ise 1970 yıllarında yaşanan petrol ve enerji krizi oldu. Gelişmiş ülkelerde araştırma ve üretim amaçlı kendi koşullarına uygun üreteçleri kullanmaya başladı. Doğu Asya ve güney ülkeleri de gelişmiş ülkelerin önderliğinde çalışmaları sürdürdü. 1970-1980 arası yapılan birçok biyogaz tesisi, tasarımın yetersizliği ve yanlış olmasından dolayı işletilemedi. 1985-1990 yılları arasında biyogaz tesis yapımı yavaşladı. 1990 yılından sonra Almanya enerji yasasında bazı değişiklikler yaptı. Fermantasyon teknolojisini geliştirmeler, jeneratör ve gaz motoru ekipmanlarının kolay kullanımı, H₂S’in gaz içerisinde temizlenebilmesi ile teknolojinin tekrar kullanılmaya başlamasına olanak sağlamış oldu (Buğutekin, 2007). Biyogazın dünyada yaygınlaşması 1900’lü yılların ilk çeyreğinde başlamıştır. Biyogaz teknolojisi günümüzde enerji üretiminin yanı sıra çevre koruma açısından da büyük öneme sahiptir.

Biyogaz konusunda gelişmiş ülkeler başta olmak üzere büyük gelişmeler göstermektedir (Taşyürek ve diğ., 2010). Biyogaz, popüler bir enerji kaynağı olmaya başlanmış ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. 2003 yılında ABD'deki doğalgaz tüketiminin yaklaşık %6'sı çöp gazından kullanılmıştır. Science and Children dergisinin 2008 yılında yaptığı bir araştırmaya göre, inek gübresinden elde edilen metan gazı üretimi 100 milyar KW/saat enerji sağlayabilecektir (Cuellar ve diğ., 2008). 2010 yılında Solomie A. Gebrezgabher ve arkadaşları biyogaz tesisleri için ekonomik analizlerini yapmıştır. Biyogaz tesislerinde hammadde olarak kullanılan gübre ve diğer organik atıklar içerisinde bulunan çeşitli zararlı mikroorganizmaların bertaraf edilmesini çevresel ve ekonomik açıdan vurgulamıştır. Net bugünkü değer ve iç getiri oranı ekonomik açıdan incelemiştir. Fizibilitiyi sınırlayan etkenlerin yeşil gübre senaryosu altında incelemiştir (Gebrezgabher ve diğ., 2010). Federica Cucchiella ve Indian de D' Amoda biyometan bitkilerinin finansal fizibilitiyini değerlendirdiler. Matematiksel bir model oluşturarak net bugünkü değer ve iskontolu geri ödeme süresini gösterdiler. Kritik değişkenler üzerinde duyarlılık analizi yapmışlardır (Cucchiella ve diğ., 2016).

1.2. Biyogaz Oluşumu

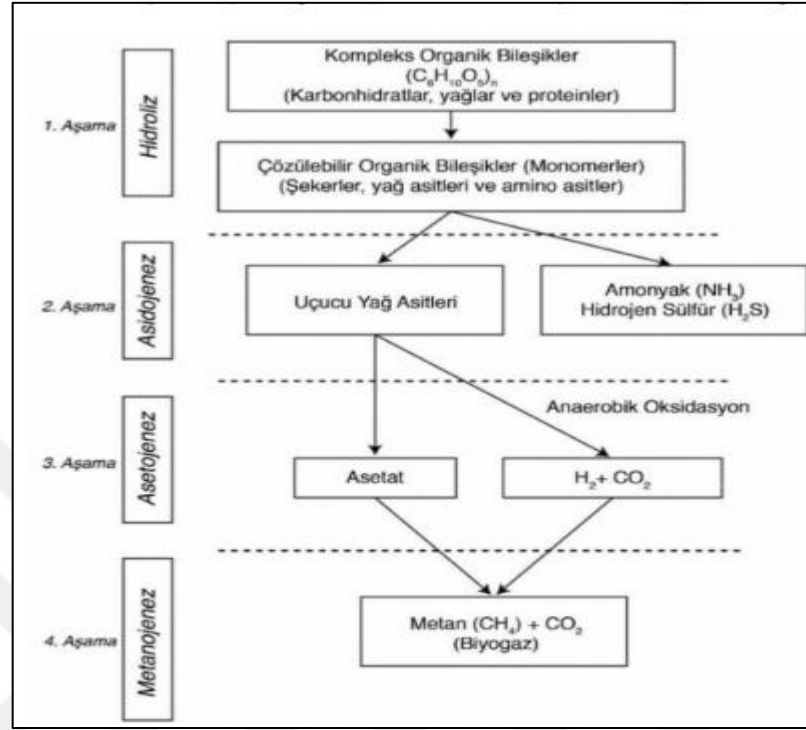
Hayvan gübresinin içinde bulunan organik maddeler, oksijensiz fermantasyona, yani anaerobik şartlara tabi tutularak mikroorganizmalar tarafından sindirilir. Bu mikroorganizmalar çeşitli mikrobiyolojik bakterileri içine almaktadır. Hayvansal gübrenin içinde yer alan organik maddelerin bu şartlarda sindirilmesi sonucunda ise metan gazı ve karbondioksit (CO₂) üretimi gerçekleşir. Mikroorganizmalar tarafından sindirilerek oluşan metan üretimi 3 kademeyle gerçekleşmektedir (Richard E. Speece, 1996). Bunlar; hidroliz, asit oluşumu ve metan oluşumu evrelerini sırasıyla takip eden kademelerdir.

İlk kademe hidroliz kademesidir. Biyokütlenin mikrobiyolojik yapısı kompleks organik polimerlerdir. Hidroliz aşaması, hidroliz bakterileri tarafından gerçekleşmektedir. Hidroliz bakterileri; uzun zincirli kompleks karbonhidratları, proteinleri, yağları ve lipidleri kısa zincirli yapıya dönüştürmektedir. İçerisinde bazı lifli maddeler ise çözünür

hale dönüştürülemez dönüştürülemeyen bu lifli maddeler ise bioreaktörde biriktirilebilir. Su ve inorganik maddelerde herhangi bir değişime uğramadan reaktörden çıkabilir. Uzun zincirli polisakkaritler monosakkaritlere, proteinler peptidlere ve aminoasitlere dönüşür. Bu işlem sırasında organik moleküller organik asitlere dönüştürülürken işlem esnasında hidrojen ve karbondioksit gazları açığa çıkar. İlk işlem sırasında çoğu organik atıklar suda çözünebilir hale gelmektedir (İlkılıç ve diğ., 2011). Hidroliz aşamasında yağların biyolojik parçalanma hızı çok daha yavaş gerçekleşmektedir. Bu sebepten dolayı hidroliz aşamasındaki anaerobik işlemlerin biyolojik olarak parçalanma hızını yağlar belirlemektedir.

İkinci aşama, asit oluşumu aşamasıdır. Hidroliz aşamasından sonra çözülmüş halde olan organik maddeler, asit oluşturan bakteriler tarafından uçucu yağ asitlerine, hidrojen (H_2) ve karbondioksit (CO_2)'e dönüşümü sağlanır. Uçucu yağ asitlerinin dışında bu aşamada kullanılan asit oluşturan bakteriler, organik bileşikler, daha düşük moleküle sahip alkollere, organik asitlere, aminoasitlere, karbondioksite, hidrojen sülfüre dönüştürürler. Asetik asit gibi uçucu yağ asitleri büyüebilmesi ve çoğalabilmesi için oksijen ve karbona ihtiyaçları vardır. Bu bakterilerde çözeltideki bağlı halde oksijeni kullanarak metan oluşturan bakteriler için anaerobik şartlar oluştururlar. Asit üretim hızı metan üretim hızına göre büyük olduğundan, organik madde içerisinde ani artan konsantrasyon asit üretiminin artmasına neden olur. Artan asit üretimiyle birlikte pH düşer ve pH'ın düşmesi metan bakterileri üzerinde inhibasyon etkisine sebep olur.

Metan oluşumu aşamasında; metan oluşturan bakteriler asetik asitleri parçalar ve hidrojen ile karbondioksit sentezi sonucu biyogaza dönüşümü sağlanır. Anaerobik şartlarda üretilen metanın %30'luk kısmı hidrojen gazı ile karbondioksit gazından, %70'lik kısmı ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır. Uçucu organik asitleri çözünen organik bileşiklerin tümü biyogaza dönüşmez ve bu organik maddeler arıtılmadan deşarj olur (Lusk, 1998). Anaerobik arıtımda hız sınırlayıcı safha metan oluşumu aşamasıdır. Şekil 1.1.'de biyogaz oluşum aşamaları gösterilmiştir (Korres ve Ark, 2013).



Şekil 1.1. Biyogaz Oluşum Aşamaları

1.3. Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Üretimi

Hayvansal atıklar, biyolojik olarak artımdan geçtikten sonra biyogaz üretimi için potansiyel bir enerji olarak görülmektedir. Çiftlik sayılarının artması, hayvansal atıkların artmasını da beraberinde getirmiştir. Hayvansal atıkların bertaraf edilmesinde, direk olarak tarım alanlarına verilmesi toprağın stabilitesini değiştirmekte ve zarar verecek emisyonların oluşmasına olanak sağlamaktadır. Bu atıkların depolama koşulları uygun olmadığında yani gelişigüzel olarak depolanması ciddi koku problemlerine neden olmaktadır.

Hayvan gübresinden meydana gelen koku probleminin önüne geçilmesinde etkili metotlardan biri anaerobik olarak arıtılmasıdır. Hayvansal atıklar koku problemleriyle hava kirliliğini de beraberinde getirir. Ve bunun yanında su kirliliğine ve sağlık problemlerine de yol açmaktadır (Dalkılıç ve diğ., 2013). Hayvansal atıklı biyogaz tesislerinin kurulması bu sorunların da ortadan kalkmasına olanak sağlamaktadır.

1.4. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Hayvansal atık kaynaklı bir biyogaz üretim tesisinde, üretimi etkileyen kriterler bulunmaktadır. Hayvan cinsi, hayvan sayısı ve gübrenin toplanma şekli kurulacak biyogaz tesisinin boyutlandırılmasını etkilemektedir. Hayvan gübresindeki katı madde miktarı bioreaktöre verilebilmesi için %5'ten büyük olmamalıdır. Hayvan gübresi hayvan cinsine bağlı olarak değişik oranlarda su ile karıştırılarak bioreaktöre verilir. Reaktör içindeki akışkanlıkta sağlanmış olur (Öztürk, 2005).

Anaerobik fermantasyon sürecinde mikroorganizmaların işlevlerini yerine getirebilmeleri için uygun ortam ve şartların sağlanması gerekmektedir. Mikrobiyolojik bakterilerin etkileneceği her etken biyogaz üretimini de etkilemektedir (Kılıç, 2011). Hayvan gübresinden anaerobik şartlar altında gerçekleşen biyogaz üretiminde; reaktör sıcaklığı, hidrolik bekleme süresi, organik yükleme hızı, karbon azot oranı (C/N), katı madde konsantrasyonu önemli kriterlerdir.

1.4.1. Reaktör sıcaklığı

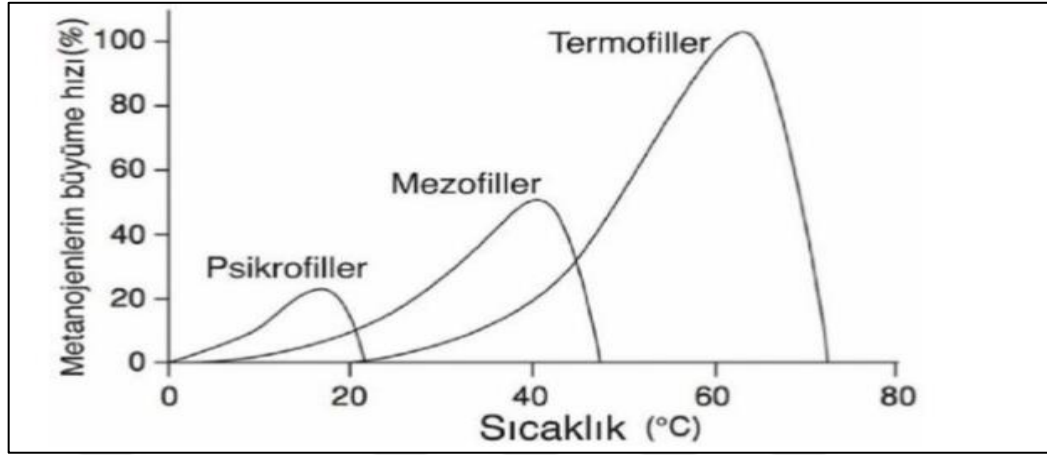
Biyolojik sistemde sıcaklığın etkisi büyüktür. Mikroorganizmaların büyümesi ve biokimyasal reaksiyonların gerçekleşmesi sıcaklığın artması ile artar. Yani metan üreten bakterilerin miktarının artması sıcaklık ile artar. Sıcaklığın artması fermantasyon süresinin kısalmasını sağlar (Rajeshwari, ve diğ., 2000). Her farklı sıcaklık ortamında farklı bakteri türleri görev alır. Bio reaktör içerisinde sıcaklık aralıklarının korunması gerekir. Anaerobik fermantasyon ile metan üreten bakterilerin sıcaklık bölgeleri:

“Psikofilik fermantasyon sıcaklık aralığı, < 20°C altındaki sıcaklık değerleri

Mezofilik fermantasyon sıcaklık aralığı, 20°C- 40°C arasındaki sıcaklık değerlerini

Termofilik fermantasyon sıcaklık ise, >40°C üzerindeki sıcaklık değerleri arasında gerçekleşir.” (El-Halwagi, 1999)

Şekil 1.2.'de metan bakterilerinin sıcaklığa bağlı büyüme oranları verilmiştir (Khanal, 2008). Biyogaz üretim sisteminde genelde mezofilik fermantasyon tercih edilmektedir. Mezofilik bölge için optimum sıcaklık 35°C-37 °C'dir.



Şekil 1.2. Metanojik Bakterilerin Büyüme Hızlarının Sıcaklık ile Olan Değişimi

Biyogaz üretiminde, sıcaklık değişimleri oldukça önemlidir. Sıcaklık, biyogaz üretimini doğrudan etkilediği için kontrolü zorunludur. Termofilik şartlarda çalışan biyogaz tesisinin daha fazla hassasiyet ile sıcaklık kontrolü yapılması gerekmektedir. Çünkü termofilik şartlarda bakteriler sıcaklık değişimlerine karşı daha fazla duyarlıdır. Fermantasyonu etkilemeyecek sıcaklık aralıkları:

“Psikofilik fermantasyon $\pm 2^\circ\text{C}/\text{h}$,

Mezofilik fermantasyon $\pm 1^\circ\text{C}/\text{h}$,

Termofilik fermantasyon $\pm 0,5^\circ\text{C}/\text{h}$ aralıklarındadır.” (Marchaim, 1992)

1.4.2. Hidrolik bekleme süresi

Gübre içinde bulunan organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülerek biyogaz üretebilmesi için geçen süre zarfına, hidrolik bekleme süresi (HBS) adı verilmektedir. Bekleme süresinin belirlenebilmesi için tüm faktörler göz önünde bulunmalıdır. Bekleme süresi, aynı çürütücüye giren maddenin değişmesi ile gündün güne ve sıcaklığın değişmesi ile değişebilir (Ostrem, 2004). Organik atıkların sistem içerisinde kalma süreci, toplam reaktör hacminin günlük besleme miktarına oranlayarak elde edilmektedir. Denklem 1.1’de verilmektedir,

$$\text{HBS} = (\text{Reaktör Hacmi}) / (\text{Günlük Debi}) = m^3 / (m^3/\text{gün}) \quad (1.1)$$

HBS: Hidrolik Bekletme Süresi

Hidrolik bekletme süresi içinde seçilen besi maddelerinin %70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek bertaraf olduğu kabul edilir. Biyogaz üretim tesislerinde işletmenin sıcaklığına bağlı olarak hidrolik besleme süresi 20 ile 120 gün arasında değişiklik gösterir.

Hayvan atıklarında HBS'ni etkileyen en önemli basamak hidroliz kademesidir. Karbonhidratlar ve yağlar daha kolay hidrolize olurken selülozlar daha zor hidrolize olurlar. Mezofolik şartlar altında bazı hayvansal gübrelerin alıkonma süreleri Tablo 1.1.'de verilmektedir (Öztürk, 2005).

Tablo 1.1. Mezofilik Şartlarda Ortalama Hidrolik Bekleme Süresi

Sıvı Sığır Gübresi	12-30 gün
Saman Yataklı Sığır Gübresi	18-36 gün
Sıvı Domuz Gübresi	10-25 gün
Bitki ile Karıştırılmış Sığır Gübresi	50-80 gün
Sıvı Tavuk Gübresi	20-40 gün

1.4.3. Organik yükleme hızı

Biyogazın fermente edilmesi sırasında organik maddenin kuru madde içeriği birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Organik madde içerisinde su ve katı bulundurmaktadır. Organik madde oksijensiz ortamda yakıldıktan sonra geriye kalan kısım, organik kısımdır. Organik madde kurutulup suyu uzaklaştırdıktan sonra geriye kalan toplam katı madde (TKM) olarak tanımlanır. Tavuk gübresi ortalama %22, sığır gübresi %10, koyun gübresi %24 katı madde içermektedir (İlkılıç ve diğ., 2011). Hayvan gübresi içinde uçucu madde miktarı,

$$OMM = \left[\frac{TKM(g) - KA(g)}{TKM(g)} \right] * 100 \quad (1.2)$$

OMM: Organik Madde Miktarı

TKM: Toplam katı madde miktarı

KA: Kül ağırlığı

TKM'nin bakteriler tarafından sindirilen kısmına uçucu kuru madde (UKM), sindirilemeyen kısmını bağlı katı madde (BKM) denir. Gaz üretim potansiyeli organik maddenin TKM yüzdesi tarafından belirlenir.

Organik atık yükleme hızı, bio reaktörlere birim hacim (m³) olarak bir günde beslenen ham uçucu katı madde miktarıdır. Anaerobik arıtma için organik arıtma hızı (kg/m³/gün),

$$OYH = \frac{\text{Gübredeki Uçucu Madde Konstrasyonu}}{HBS} = \frac{1}{HBS} \times C_1 \quad (1.3)$$

C_1 =Uçucu Madde Konstrasyonu

Anaerobik arıtma sırasında optimum organik yükleme hızı korunmalıdır. Bioreaktör içinde asit birikmesini ve Ph'ın düşmesini önlemek için organik yükleme hızı yüksek olmamalıdır. Ph'ın düşmesi metonojik bakterileri olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Gaz üretim hızı da buna bağlı olarak düşer.

1.4.4. pH

Her enzim belli bir optimum pH aralığında aktivite gösterdiğinden dolayı mikroorganizmalar enzim aktivitelerinde pH'ın etkisi önemlidir. Anaerobik fermantasyon sırasından birçok farklı mikroorganizma bulunmasından dolayı, her bir bakteri gruplarının en iyi şekilde gelişimini sağlayabilmesi için pH değerinin korunması gerekir (Mutlu, 2003). Biyogaz üretimde uygun pH aralığı 6.8-7.5 arasındadır. Bioreaktör içinde pH 6.7 altına düşmesiyle metan oluşturucu bakteriler toksit etkiye maruz kalır. Asit oluşturucu bakterilerin artması durumunda pH düşer ve pH'ın düşmesi ile birlikte metan üreten bakterilerin aktivitesinin düşmesine neden olur. Böyle durumlarda reaktöre organik madde beslemesi kesilir.

1.4.5. C/N oranı

Anaerobik fermantasyonda sırasında işlev gören mikroorganizmaların çoğalmaları için ihtiyaç duydukları besinleri yeterli olmalıdır. Her bir tür mikroorganizma için karbon ve azot kaynağına ihtiyaç vardır. Organik madde içinde karbonun en iyi kaynağı karbonhidratlar iken, azotun en iyi kaynağı protein, nitrat ve amonyaktır (Eryaşar, 2007).

Biyogaz oluşumun karbon etkin rol oynarken, azot anaerobik bakterilerin gelişimi ve çoğalması için önemlidir. Organik atıklar içinde karbon, hidrojen ve azot içerir. Metan bakterilerin metabolik etkinleri karbon/azot oranı ile değiştiği için biyogaz oluşumunu C/N oranı önemli bir şekilde etkilemektedir. Biyogaz üretimi için kullanılacak atığa uygun değerler C/N oranı olmalıdır. C/N oranı 23/1'den büyük olduğunda optimum çürüme için uygun değilken, 10/1'den küçük olduğunda ise bakteriler üzerinde engelleyici etki yapmaktadır (Öztürk, 2005).

1.4.6. Toksikite

Ağır metaller, mineral iyonlar ve deterjanlar anaerobik arıtmada bakterilerin gelişimi üzerinde olumsuz etki yaparlar. Bu maddelerin bioreaktör için girmesi üretimi yavaşlatır veya durdurabilir. Az miktarda mineral iyonlar (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt) bakterilerin büyümesini geliştirirken ağır metaller toksik etki yapmaktadır. Bu maddelerin hayvan gübresine karışması önlenmesi, metan üretimi kapasitesi için önemlidir.

1.5. Biyogazın Kullanım Alanları

Hayvansal organik atıklı maddeler doğrudan doğruya yakılarak ısı olarak kullanılmakta veya tarımda gübre olarak kullanılmaktadır. Hayvansal atıklardan ısı üretiminde verim maksimum düzeyde alınamadığı gibi yakılan hayvansal atıklar da gübre olarak kullanılamamaktadır. Biyogaz üretiminde oluşan gübrenin toprakta kullanılması sonucunda araştırmalarda; pancarda %25, buğdayda %16 verim artışı olduğu görülmüştür. Yani biyogaz sonucu oluşan gübrenin toprakta kullanılmasında %20 civarlarında bir artış olduğu söylenebilmektedir (Alçıçek, 1994).

Biyogaz üretim tesisinin kurulu olduğu alanda kombine ısı ve elektrik enerjisi santrali sayesinde üretilen elektrik ve ısı, kurulduğu tesis için ısı ve elektrik ihtiyacını giderebilir veya yakın çevrelerde ısıtma şebekelerine satılabilir. Biyogazın kalitesini doğalgaz kalitesine getirerek doğalgaz şebekelerine dahil edilebilir. Biyogazı sıkıştırılarak motorlu araçlarda biyoyakıt olarak da kullanılabilir (WBA, 2013).

Biyogazın bileşimindeki metan ve karbondioksit içeriği hangi enerji kaynağı olarak kullanılacağını belirlemektedir. Biyogazın ısı değeri, içerisinde bulunan metanın yüzdelik oranına bağlıdır. Ve karbondioksitin ısı değere bir katkısı yoktur. Bu sebepten yanma sonucu açığa çıkan enerjinin bir kısmı CO₂'in ısı kapasitesine bağlı olarak CO₂'in ısınma ısısı olarak kaybolmaktadır. %99 CH₄ içeren biyogazın ısı değeri 37MJ/m³ iken %65 CH₄ içeren biyogazın ısı değeri 24,0 MJ/m³ olarak değişmektedir. Bu özelliğe bağlı olarak biyogazın içerisindeki metan içeriğine göre kullanım alanları değişmektedir (Hinds, 2003).

1.5.1. Biyogazın ısıtmada kullanımı

Bileşiminde bulunan metan (CH₄) sayesinde biyogaz yanıcı özelliğe sahip bir gazdır. Biyogaz, yaklaşık olarak 1/7 oranında hava ile karıştığı zaman tam yanma gerçekleşir. Gaz yakıtlarıyla çalışan fırın ve ocaklarda ısıtma amacıyla kullanılabilmesinin yanında şofben ve termosifonlarda biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir. Biyogaz, sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobaların meme uçlarında ayarlaması yapılarak kullanılabilir. Sobalarda kullanıldığında ise biyogazın yapısında bulunan hidrojen sülfür (H₂S) yanmadan ortama yayılmasını önlemek için bir baca sistemi kurulması gerekmektedir (YGEM, 2020).

1.5.2. Biyogazın aydınlatmada kullanımı

Biyogaz, doğrudan yanma ile aydınlatma sağlamanın yanında elektrik enerjisine dönüştürülerek de aydınlatma kullanılabilir. Sıvılaştırılmış petrol gazlarıyla çalışan lambalar biyogazın doğrudan aydınlatmasına örnektir. Bu sistemde aydınlatma alevinin artması için amyant ve cam fanus kullanılmaktadır. Cam fanus ışığı sabitler ve bunu yanında çıkan ısıyı geri vererek alevin fazla olmasını sağlar (YGEM, 2020).

1.5.3. Biyogazın motorlarda kullanımı

Biyogazın motorlu taşıtlarda kullanılabilmesi için biyogazın bileşimindeki metan oranının %96-97'ye kadar yükseltilmesi gerekmektedir. Bileşiminde bulunan H₂S'in ppm

değerinin 17'nin altına düşürülmesi gerekmektedir. İçeriğinde metan oranı %97 olan 1m³ biyogaz, yaklaşık olarak 1 litre benzine eşdeğer enerjiye sahiptir (Eyidoğan, 2008).

Biyogaz, benzinle çalışan motorlarda herhangi bir katkı maddesine gerek kalmadan doğrudan kullanılmasının yanında içerisinde bulunan metan gazı saflaştırılarak da kullanılabilir. Dizel motorlarda kullanılmasında belirli oranda (%18-20) motorin ile karıştırılması gerekir (YGEM, 2020).

1.6. Biyogaz Üretim Tesisi Bileşenleri

Biyogaz tesisine üretim işlemlerine tabi tutulmak için gelen atıklar, farklı ünitelerde farklı işlemler uygulanarak gaz oluşumu sağlanır. Genel olarak bakıldığında bir biyogaz tesisinde, atık hazırlama ünitesi, fermantör (reaktör), depolama, otomasyon, karıştırıcılar, separatör, ısıtma sistemleri, pompalar, gaz boruları ve bağlantı ekipmanları, kojenarasyon ünitesi, desülfürizasyon ünitesi, biyogübre üretim bölümlerinden ve ekipmanlardan meydana gelmektedir.

Atık hazırlama ünitesi, atıkların fermantör içerisindeki anaerobik ortama yüklenip parçalanmadan önce, farklı maddelerin kuru madde oranına göre karışımın homojen olarak hal almasını sağlayan depolama alanıdır. Hammadde istenilen kuru madde oranında hazırlandıktan sonra fermantöre yollanır. Fermantör, içerisindeki bakteriler tarafından hammaddeyi çürüterek biyogaz üretiminin gerçekleştiği depodur. Biyogaz tesislerinde, tesis kapasitesi, hidrolik bekleme süresine bağlı olarak fermantörlerin büyüklükleri ve sayıları değişmektedir. Sanayi tipi fermantörler beton veya çelikten inşa edilir. Bu tesislerde genellikle fermantör içerisinde oluşan gazın depolanması için, fermantör üzerine yerleştirilen özelliği elastik olan gaz deposu kullanılır. Fermantörün içinde buraya gelen hammaddenin iyi bir şekilde fermante olabilmesi için karıştırıcılar yerleştirilir. Fermantör sıcaklığını istenilen değerde tutmak için ise ısıtıcılar yerleştirilir ve hava alması engellenecek şekilde tasarlanır.

Gaz deposu, biyogaz üretim kapasitesinin yüksek olduğu tesislerde gaz basıncının sabit kalmasını sağlayabilmek için biyogazın bir yerde toplanmasını sağlayan depolama alanıdır. Tankın üzerinde biriken gaz bir boruyla bu depoya alınarak, kullanıma buradan

gönderilir. Fazla olan gaz ise burada depolanmaktadır. Fermantör içerisindeki hammaddenin bakteriler tarafından homojen olarak parçalanması ve reaktör tankının içerisinde çökme oluşmasını engellemek için karıştırıcılar kullanılmaktadır. Fermantör içerisindeki sıcaklığı da dengede tutmaktadır. Fermantör sonrasında ortaya çıkan gübre, katı ve sıvı olarak separatör yardımıyla ayrışmaktadır.

Kojenerasyon ünitesi, biyogazın saflaştırılmasından sonra elektrik ve ısıya dönüşümünü sağlayan kısımdır. Fermantörden çıkan biyogazın içeriğinde %50-60 CH₄, %30-40 CO₂, 500-2500 ppm H₂S ve az miktarda diğer gazlar ve nem bulunmaktadır. Biyogaz bileşimindeki H₂S, nem ile birleşerek gaz motoru, boru hatları gibi mekanik parçalarda korozyon etkisi yaratır. Bu yüzden biyogaz gaz motorunda kullanılmadan önce bileşiminde bulunan H₂S ve nem ayrıştırılır. Ayrıştırılan biyogaz gaz motorlarında kullanılarak ısı ve elektrik üretimi sağlanır. Üretilen ısının bir kısmı fermantör içerisinde, ısıya ihtiyaç duyan materyallerin ısıtılması için kullanılır. Geriye kalan kısım ise konut veya tesis içinde ısıtma amaçlı kullanılabilir. Üretilen elektriğin çoğunluğu elektrik şebekelerine verilirken kalan kısmı ise tesisteki ekipmanların çalışması için kullanılarak değerlendirilir.

Biyogazın içerisindeki ortalama %1 H₂S bulunması durumunda metaller üzerinde aşındırıcı etkiye sahip olmasından dolayı motor ve borularda korozyon etkisine neden olmaktadır. Biyogaz içeriğindeki H₂S gazının ayrıştırılması ve kullanılacak duruma getirilmesi desülfürizasyon ünitesinde gerçekleşir.

Gaz boruları ve bağlantı ekipmanları biyogazın taşınması için gerekli olan ekipmanlardır. Genellikle paslanmaz malzemeden yapılan borulama ekipmanlarıdır. Pompalar ise hammaddenin üniteler arasında transferini sağlayan ekipmanlardır.

Biyogaz üretim tesislerinde ortam sıcaklığı, C/N oranı, pH değeri değerinin metan oluşumundaki etkileri oldukça önemlidir. Bu sebepten dolayı üretim tesisinde proseslerin izlenmesi, devreye alınmasını ve güvenli üretim olması açısından otomasyon sistemi kullanılarak tek merkezde kontrol edilmesi sağlanır.

1.7. Biyogaz Oluşumu Sonrası Çıkan Atığın Gübre Olarak Değerlendirilmesi

Hayvan gübresinin üzerinde herhangi bir işlem uygulanmadan doğaya salınması durumunda, yaratmış olduğu kirlilik çok yüksek seviyelerdedir. İşlem görmemiş hayvan gübresinin toprağa verilmesi durumunda, toprağın tuzluluk oranını artmış olur. Gübrenin içinde bulunan zararlı maddeler ekilen toprağa karışarak yeraltı sularının kirlenmesine neden olur.

Biyogaz oluşumu sonrasında fermantörden çıkan çamurlar toplama ünitesine iletilir. Toplama ünitesindeki çamurlar iki şekilde değerlendirilebilir. Sulu olan kısım tarımda sıvı gübre olarak değerlendirilirken koyu olan kısmı ise separatörle susuzlaştırılarak biyogübre olarak değerlendirilebilir.

Besleme için kullanılan organik atık içerisinde bulunan karbon, hidrojen ve oksijen anaerobik metan ve karbondioksit olarak kaybedilmektedir. Fakat içerisinde bulunan diğer besinler kendini korur. Hammaddenin besleyici yapısı ve mineraller değişikliğe uğramaz. Biyogaz sonrası oluşan gübrenin içerisinde ağır metaller yer almaz. Potasyum, bitki beslenmesi için temel öneme sahip makro bir elementtir. Bitkilerde su dengesini, enzimleri aktive eder. Magnezyum bitkilerdeki temel rolü klorofil partiküllerinde bulunması ve böylece fotosentezi etkilemesidir. Fosfor eksikliği ise bitki büyümesini engeller, kalite ve verimini düşürür. Bu makro elementler anaerobik fermantasyon sonucu çıkan gübrede bulunmaktadır. Fermantasyon sonucu elde edilen organik gübrenin asıl en büyük özelliği patojen mikroorganizmaların büyük bir kısmının yok olmasıdır. Organik gübre bitkilere olumlu şekilde etki eden bir madde olarak çıkmaktadır (Koszel ve diğ., 2015). Reaktörden çıktıktan sonra içerisinde Azot (N), Fosfor (P), Potasyum (K) ve birçok element bulunan atık, toprak iyileştiricisi olarak kullanılabilir. Bu atıklar kurutulduğu takdirde hayvan yemlerine katkı maddesi olarak da kullanılabilir.

Biyogaz tesisinde çıktı olan ham sıvı gübre, ilk olarak dekantörde susuzlaştırılmakta ve yaklaşık %30 Katı Madde oranı elde edilmektedir. Gübre susuzlaştırma işlemi sonrasında kurutma ünitesine alınarak kojenerasyon sisteminden gelen atık ısısı ortamında mekanik karıştırma yoluyla kurutulmaktadır. Kurutma sistemleri yardımı ile %80-%95 arasında

KM oranı elde edilmektedir. Daha sonra katı gübre peletleme makinası vasıtasıyla peletler haline getirilir. uvallanarak satışa hazır hale gelir. Bu işlemlerden sonra azot, fosfor ve potasyum oranlarını dengelemek için bazı işlemlerde uygulanabilir.



2. MATERYAL METOD

2.1. Materyal

2.1.1. Biyogaz tesisinin fizibilitesini etkileyen faktörler

Biyogaz üretim santrali yatırım öncesinde detaylı fizibilite çalışması yapılarak, yatırımın belirlenmesi, hammadde temin durumları gibi hususların analiz edilip kesinleştirilmesi gerekir.

Biyogaz üretim tesisi yatırımı öncesinde fizibilite çalışması içinde; pazar araştırması, teknik inceleme ve değerlendirme yapılır. Daha sonra ise finansal analiz yapılır. Kurulacak tesiste yapılan fizibilite çalışması ile ihtiyaç duyulan hammadde miktarı ve hammaddeyi temin edebilme durumu, sabit yatırım tutarı, işletme için ihtiyaç olan sermaye, üretilmesi öngörülen enerji miktarı, üretilecek organik gübre miktarları, enerji ve gübre satışından elde edilecek gelir miktarı belirtilir. Belirtilen bu parametreler ile yatırımın karlılığı ve geri ödeme süresi belirlenir. Tüm bu parametreler fizibilite çalışmasında yapılarak yatırımın gerçekleşmesi durumunda planlama bu şekilde yapılır.

Proje tasarım giderleri, ilk yatırım maliyeti ve işletme giderleri biyogaz tesisinde maliyet oluşturan başlıca giderlerdir. Biyogaz tesis kurulumunda beklenen ana gelirler elektrik üretimi ve proses sonucunda elde edilen organik gübrenin satılmasıdır. Kojenerasyon sistemi ile elde edilen atık ısının gübre kurutma ve reaktör ısıtma işlemlerinin yanında ayrıca gelir olarak değerlendirilebilmektedir.

Kurulacak biyogaz üretim tesisi sistemi için inşaat ve mekanik aksam ilk yatırım maliyetleri tesisin temel giderleridir. Sahanın hazır hale getirilmesi, zemin kazı ve dolgu, inşaat, mekanik ve projelendirme çalışmaları maliyet giderleri olarak değerlendirilir.

Teknik, yasal ve planlama için alınacak izinler, finansal faaliyetler, üretilecek elektriğin satışı için yapılan çalışmalar biyogaz tesisi kurma projesinin, proje geliştirme giderleri

olarak gösterilebilir. Bir biyogaz üretim tesisi için işletme giderleri farklı materyallere bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Atık olarak farklı hayvan cinslerinin kullanılması, atık biriminin farklı olması kapasiteyi etkiler ve bunula birlikte tasarım kriterleri de değişiklik göstermektedir (Yaldız ve Sözer, 2005). Biyogaz tesisi kurulacak bölgedeki yerel koşulların da işletme giderleri üzerinde etkisi bulunmaktadır. Genele olarak ele aldığımızda maliyet bileşenleri hammadde, personel, kojenerasyon ünitesi bakımı, genel bakım masrafları, biyolojik destek olarak söylenebilir.

Biyogaz üretim tesisinde biyogaz bir ara ürün niteliğindedir. Biyogaz tesisinde üretilen ürünler elektrik enerjisi, ısı enerjisi, katı ve sıvı gübrenin satışı ve karbon sertifikasından beklenen gelirlerdir.

2.1.2. Hammadde analizleri

Yapılan çalışmada, hammadde analizleri yapılmadan önce 14 çiftlikten alacağımız hayvan türleri çeşitliliği ve çiftlik değerlendirmeleri yapılmıştır.

Ziyaretlerimiz sonucunda temin edilen numunelerde, her çiftlikte farklı hayvan türleri olduğu ve farklı atık miktarları oluşturduğu saptanmıştır.

Belirlenen çiftliklerde farklı hayvan türleri için numuneler alınmıştır. Kullanılan hammadde büyükbaş hayvan gübresi olacaktır.

Alınan numuneler, daha iyi bir sonuç elde etmek ve numunenin kuruluşunun değişmemesi için, bekletme olmadan ilgili laboratuvara ulaştırılmıştır.

Laboratuvar içinde yapılan çalışmada, toplanan numunelerden aynı yapıda olan hayvan türleri homojen olarak karıştırılmış ve kompozit numune elde edilmiştir.

Laboratuvar ortamında yapılan çalışmada; kuru madde, madde analizi SM-2540 D standardına, uçucu kuru madde analizi SM- 2540 B standardına göre gerçekleştirilmiştir.

2.2. Metod

2.2.1. Fizibilite hesapları

2.2.1.1. Baz alınan bölgedeki hayvancılık gerçek verilerin incelenmesi

Baz alınan bölgede yapılan çalışmada ilçe sınırında hayvancılık faaliyeti yürüten tüm işletmeler incelenmiştir. TÜİK'ten alınan verilerle aktif işletmeler karşılaştırılmıştır. İşletmelerdeki hayvan adetleri kayıt altına alınmıştır. Çalışma yapılacak bölgenin etrafında 14 büyükbaş hayvan çiftliği belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar kapsamında ilçede kanatlı hayvan çiftliği bulunamamıştır. Biyogaz tesisine günlük olarak beslenen hayvansal atık kaynağı üretimin devamlılığını sağlamaktadır.

İşletmeler incelenirken;

- Hayvan Kapasitesi,
 - Konumu,
 - Gübrenin işletme dışına nasıl çıkarıldığı,
 - Gübrenin dış ortamda nerede depolandığı,
 - Büyükbaş kapasitesinin 50 hayvan ve üzeri olduğu ahırların sayısı,
- gibi hususlara dikkat edilmiştir.

Büyükbaş hayvan türlerine göre çiftliklerin atık kapasiteleri değerlendirilmiştir. Tablo 2.1 de yapılan araştırmalara göre büyükbaş hayvan türlerinin günlük atık miktarları verilmiştir.

Tablo 2.1. Hayvan Türlerinin Günlük Atık Miktarları

Büyükbaş Hayvan Türü	Günlük Atık Miktarı (kg)
Buzağı	0
Düve	35
Tosun	25
İnek	50

Denklem 2.1 kullanılarak her çiftlikten alınacak büyükbaş hayvan atık miktarı ayrı ayrı hesaplanmıştır;

Toplam Atık Miktarı=

Adet×Buzağı Atık Miktarı(kg)+Adet×Düve Atık Miktarı(kg)

+Adet×Tosun Atık Miktarı(kg)+Adet×İnek Atık Miktarı (kg) (2.1)

Biyogaz tesisine günlük olarak beslenen hayvansal atık kaynağı üretimin devamlılığını sağlamaktadır. Çiftliklerin atık kapasiteleri hesaplanırken büyükbaş hayvan türlerine göre değerlendirmeler yapılmıştır. Tablo 2.2’te baz alınan bölgede hayvan türlerine göre belirlenen günlük toplam oluşan atık miktarı ve çiftlik detayları bilgileri verilmiştir.

Tablo 2.2. Büyükbaş Hayvan Çiftlik Detayları

	Çiftlik	Çektirme Sistemi var mı?	Çiftlik Türü	Yağmur Suyu Karışıyor mu?
1	A ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
2	B ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
3	C ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
4	D ÇİFTLİĞİ	Hayır	Yarı Açık	Evet
5	E ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
6	F ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Hayır
7	G ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
8	H ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
9	I ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
10	İ ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
11	J ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Hayır
12	K ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
13	L ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet
14	M ÇİFTLİĞİ	Evet	Yarı Açık	Evet

2.2.1.2. Literatür verilerine göre biyogaz tesis potansiyelinin bulunması

Belirlenen bölgede yapılan çalışmada, hayvansal atık kaynağı alınabilecek çiftlikler belirlendi. Yapılan bu bölgedeki çalışmada 14 çiftlik ele alınmıştır. Belirlenen çiftliklerden alınabilecek hayvansal atıkların günlük atık miktarları. Bu atıkların yapıları, kuru madde ve uçucu kuru madde oranlarına göre değişiklik göstermektedir.

Literatür verileri ele alınarak elektrik üretim kapasitesi hesaplanmıştır.

Büyükbaş hayvan gübresi uçucu kuru madde miktarı 2.2 denkliği ile hesaplanmıştır;

$$\begin{aligned} & \text{Uçucu kuru madde miktarı} \left(\frac{\text{ton} \times \text{UKM}}{\text{gün}} \right) \\ & = \text{Toplam gübre miktarı} \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) \times \text{Kuru madde oranı} (\%) \times \\ & \text{Uçucu kuru madde oranı} (\%) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Biyogaz üretim miktarı 2.3 denkliği kurularak hesaplanmıştır;

$$\begin{aligned} & \text{Biyogaz Üretim Miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) (\%) \\ & = \frac{\text{Uçucu kuru madde miktarı} \left(\frac{\text{ton} \times \text{UKM}}{\text{gün}} \right) \times \text{Biyogaz potansiyeli} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ton} \times \text{UKM}} \right)}{24 \left(\frac{\text{saat}}{\text{gün}} \right)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Toplam biyogaz üretim kapasitesi 2.4 denkliği kurularak hesaplanmıştır;

Biyogaz Tesis Kapasitesi(kW)

$$\begin{aligned} & = \text{Biyogaz üretim miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) \times \text{Metan oranı} (\%) \times \\ & \text{Metan birim enerji içeriği} \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^3} \right) \times \text{Kojenerasyon elektrik verimi} (\%) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Kabuller;

$$\text{Büyükbaş hayvan gübresi biyogaz potansiyeli} = 400 \frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}}$$

Biyogaz içerisindeki metan oranı= %55 (Buczowski ve diğ., 2012).

Literatür verilerine göre, 14 çiftlik için ayrı ayrı ele alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

2.2.1.3. Biyogaz tesis tasarımına ilişkin teknik parametreler

Biyogaz üretiminin gerçekleşmesinde farklı teknik yöntemler ele alınabilir. Biyogaz, materyalin kuruluşu, proses ısısı, besleme türü gibi kriterlere göre sınıflandırılır. Kurulacak yaş fermantasyon biyogaz tesis kapasitesi literatür hesaplama yöntemi ile hesaplanmıştır. Biyogaz tesis kapasitesine ve beslenen atık türüne göre teknik dizayn parametreleri belirlenmiştir.

Kurulacak biyogaz tesisi için fermantör boyutları ve etkin hacmin ne kadar olacağı belirlenmiştir. Denklem 2.5’de fermantör hacmi hesaplaması, denklem 2.6’da ise hidrolik bozunma süresi hesaplaması gösterilmiştir (Öztürk, 2005);

$$\text{Fermantör hacmi (m}^3\text{)} = (\pi \times r^2 \times h) \quad (2.5)$$

$$\text{Hidrolik bozunma süresi} = \frac{\text{Toplam hacim}}{\text{Günlük besleme miktarı}} \quad (2.6)$$

2.2.1.4. Biyogaz tesisi kurulum maliyeti

Tasarlanacak biyogaz üretim tesisinde fizibilite çalışması yapılırken maliyet bileşenleri belirlenmiştir. Belirlenen biyogaz tesisi yatırımı maliyet bileşenleri şu şekildedir:

- Mühendislik
- Ön Depo Sıvı
- Merkezi Sıvı Dağıtım
- Hidroliz Reaktörü
- Besleme Sistemi
- Reaktör
- Hijyenizasyon Tankı

- Gaz Şartlandırma
- Gaz Motoru
- Destek Ekipmanı
- Proses Kontrol Cihazı
- Otomasyon
- İşçilik
- Merdiven ve Korkuluk
- Borulama
- Sarf Malzeme
- Merkezi Sıvı Dağıtım
- Isı Dağıtım Hattı

Mühendislik hizmetleri içinde fizibilite çalışmaları, mekanik projeler, mimari projeler, statik projeler, otomasyon projeleri ve elektrik projeleri yer almaktadır. Ön depo sıvı maliyeti bileşenleri, dengeleme havuz ölçer, dengeleme havuz karıştırıcısı, pnömatik vana olarak belirlenmiştir. Hidroliz reaktörü maliyetinin içinde, fermantör ısı dağıtım kollektörü sst, fermantör temizlik manhole sst, fermantör manhole boru bağlantılı sst, fermantör gaz alma plakası sst, fermantör gözetleme cam manhole sst, yüksek/alçak basınç relief valve sst, fermantör relief valve manhole sst, fermantör ana plaka sst, fermantör içi ısıtma borusu yer almaktadır. Besleme sistemi maliyetinin içinde, parçalayıcı ve besleme bunkerleri bulunmaktadır. Reaktörün içinde, reaktör karıştırıcısı, reaktör rözetleme camı, reaktör membran fanı, reaktör desox fanı, reaktör membran, reaktör desülfürüzyon ağı, fermantör ısı dağıtım kollektörü sst, fermantör temizlik manhole sst, fermantör manhole boru bağlantılı sst, fermantör gaz alma plakası sst, fermantör gözetleme cam manhole sst, yüksek/alçak basınç relief valve sst, membran montaj aparatı sst, fermantör relief valve manhole sst, fermantör ana plaka sst, turuncu kuşaklar, fermantör içi ısıtma borusu maliyetleri bulunmaktadır. Gaz şartlandırma maliyeti, nem tutucu, soğuk su chiller ve gaz blower maliyetlerini bulundurmaktadır. Flare-gaz yakma bacası, ilk devreye alma kömür kazanı ve sirkülasyon hattı ve pompası, ilk devreye alma fuel-oil kazanı ve sirkülasyon hattı, seperatör, yangın hattı, yangın dolabı, su depose, hidrafor, hava kompresörü destek ekip maliyeti olarak alınmıştır. Proses

kontrol cihazları; debimetre, akış, basınç, seviye, sıcaklık ölçüm aletleri, biyogaz analizörü, gaz motoru destek ekipmanları; radyatör, eşanjör, pompalar, vanalar, paratoner, gaz motoru bacası ve susturucu olarak belirlenmiştir. Step-up trafo ve OG sistemi, ölçü kontrol hücreleri ve yedekli çift yönlü sayaç, topraklama sistemi, kompanzasyon sistemi, senkronizasyon sistemi, iç ve dış aydınlatma sistemi, paratöner elektrik maliyeti bileşenleridir. Ayrıca otomasyon içinde PLC sistemi kullanılmıştır.

Cooney'in 2007 yılındaki çalışmasında yatırım maliyeti ekipman, mühendislik ve inşaat olarak hesaplanırken kütle-hacim üretim oranına göre işletme maliyetleri de değişmektedir. İşletme maliyetlerini hammadde, yardımcı tesisler işçilik ve tüketimler belirlemektedir (Heinzle ve diğ., 2007). Bir tesis kurulum maliyetinin %61'ini ekipmanlar oluştururken %29'u işçilik maliyetidir. %10'u mühendislik ve süpervizör maliyetidir (Chang ve diğ., 2011).

Seçilen maliyet bileşenleri, daha önceden gerçekleştirilmiş projelerde kullanılan maliyet bileşenlerinin bugüne tanımlanması ile bulunabilir. Fakat ekipmanlar için geçmişte alınan fiyatın değeri enflasyon nedeni ile değişmektedir. Verilerin günün fiyatına uyarlanması ya da eskalasyonu sağlanmalıdır (Özkan, 1998). Kullanılan ekipmanın bugünkü güncel maliyetinin bulunması denklem 2.7'de gösterilmiştir (Peters ve diğ., 1991):

$$\text{Bugünkü maliyet} = (\text{Eski maliyet}) \frac{(\text{Güncel maliyet gösterge değeri})}{(\text{Eski maliyet gösterge değeri})} \quad (2.7)$$

Lang çalışmalarında, bir tesisin proses tasarımına dayalı sabit sermaye yatırım tahmini için lang faktörü yöntemi kullanmıştır. Lang faktörü yönteminde makina-teçhizat maliyetlerinin toplamı belli bir faktörle çarpılarak bulunur. Denklem 2.8'de Lang faktörü yöntemi gösterilmiştir. Lang faktörü proses türüne bağlı olarak değişmektedir (Lang, 1947);

$$Y_{ss} = f_{La} \sum Y_{MJ} \quad (2.8)$$

Y_{ss} = Yatırım maliyeti

f_{La} =Lang faktörü

$Y_{MJ}='j'$ Makine-teçhizatın teslimat maliyeti

2.2.1.5. Biyogaz tesisi işletme giderlerinin bulunması

Projemiz kapsamında kurulacak biyogaz üretim tesisi işletme giderleri;

- Hammadde ve ürün dağıtım maliyeti
- Personel maliyeti
- Kojen bakım maliyeti
- Genel bakım maliyeti
- 5 yıllık ara bakım maliyeti
- Biyolojik destek maliyeti
- Tesis ofis giderleri

olarak belirlenmiştir.

Hammadde ve ürün dağıtım maliyetinde, hammaddenin tesise gelişi ve sıvı gübrenin bertarafı için lojistik maliyeti mevcuttur. Tesis hammaddeye yakın ve biyogaz üretimi sonucunda çıkan sıvı gübre dağıtımını maksimum 20 km'de bertaraf edilirse hammadde ve ürün dağıtım maliyeti büyük oranda azalmaktadır (Özaydın, 2020).

Tesisin işletilebilmesi için 1 yönetici ve 7 işçi olacağı düşünülmektedir. Çalışanların ulaşım ve yemek maliyetinin yanında ayrıca kıdem tazminatı da personel maliyet içinde yer almaktadır.

Kojenerasyon bakım maliyetinde, piyasadaki gaz motorlarından alınan tekliflere göre kojenerasyon maliyeti 0.015 kwh/\$ olarak alınmıştır. Kojenerasyon bakım maliyeti en yüksek giderlerdendir. Genelde kojen tesislerinde gaz motorunun yıllık bakım giderinin yarısı kadar genel bakım maliyeti olması düşünülmektedir. 5 yıllık ara bakımda reaktörler boşaltılarak temizlenir. 5 yıllık ara bakım maliyeti fiyatlandırılması da bunun üzerine yapılmıştır. Tesisin start-up evresinde aşı bulunması veya biyogaz optimizasyonu için biyolojik destek ürünleri kullanılır. Biyolojik destek maliyeti içinde biyolojik destek ürünleri ve aşı bulunması yer almaktadır.

2.2.1.6. Biyogaz tesis gelirlerinin çıkarılması

Biyogaz tesisinin işletilmesi sırasında girdi olarak büyükbaş hayvan gübresi kullanılacak, çıktı olarak elektrik, ısı, katı gübre eldesi sağlanacaktır. Kojenerasyon ünitesinin bir yıllık çalışma saati 8.760 saattir. Fakat çalışma saati, sistem bakım ve arızalar nedeniyle yıllık 8.200 saat olarak alınmıştır. İç tüketim oranı %10 olup net elektrik üretimi ona göre hesaplanmıştır. Denklem 2.9’da yıllık net elektrik geliri gösterilmiştir. Elektrik satışı 5346 no.lu Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun gereğince elektrik satış bedeli 13,3 \$cent/kWh olarak kanunla belirlenmiştir (YEGM, 2017). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması biyogaz tesislerine 10 yıl süre ile 13,3 \$cent/kWh ‘den alım garantisi vermektedir;

$$\begin{aligned} \text{Yıllık elektrik geliri(USD)} &= \text{Kurulu güç(kWh)} \times \text{Çalışma saati} \times \text{Net üretim oranı} \\ &\times \text{Birim gelir miktarı}(\$/\text{kWh}) \end{aligned} \quad (2.9)$$

2.2.1.7. Biyogaz tesisi amortisman süreleri

Proje kapsamındaki biyogaz tesisi fizibilite hesaplaması yapılırken amortisman süreleri dikkate alınır (Oates ve diğ., 2001). Aşağıdaki parametreler belirlendikten sonra geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

- Kurulum maliyeti
- İşletme giderleri
- İşletme gelirleri

Denklem 2.10’da favök, denklem 2.11’de amortisman gideri, denklem 2.12’de vergi değeri, denklem 2.13’te faaliyetten doğan nakit akım, denklem 2.14’de ise amortisman süresi hesaplaması gösterilmiştir (Kaplan, 2020);

$$\text{Favök(USD)} = \text{Gelirler} - \text{Giderler} \quad (2.10)$$

$$\text{Amortisman Gideri(USD)} = \text{Yatırım maliyeti} / (20 \text{ yıl}) \quad (2.11)$$

$$\text{Vergi} = (\text{Favök} - \text{Amortisman gideri}) \times (\text{Gelir vergisi oranı}) \quad (2.12)$$

$$\text{Faliyetten doğan nakit akım(USD)}=\text{Favök-Vergi} \quad (2.13)$$

$$\text{Amortisman süresi(yıl)}=\text{Toplam Maliyet}/(\text{Faaliyetten doğan nakit akım}) \quad (2.14)$$

Amortisman süresi hesaplanırken %100 öz sermaye kullanılıp, Favök, vergi, faaliyetten doğan nakit akım parametreleri de göz önünde bulundurulmuştur. Gelir vergisi oranı, 31/12/1960 tarihli 193 numaralı Gelir Vergisi Kanuna göre %20 olarak belirlenmiştir.

Amortisman süreleri;

- Sadece elektrik satışı gerçekleştirilerek oluşun amortisman süresi
- Elektrik satışı ve organik katı gübre satışının birlikte olduğu amortisman süresi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Amortisman süresi; 10 yıllık faaliyetten doğan nakit akım ortalamasına bakılarak hesaplanmıştır.

2.2.2. Duyarlılık analizi

Tüm yatırım projeleri veri eksikliğinde belirsizlik gibi risklere maruz kalmaktadır. Duyarlılık analizini, biyogaz tesisi yatırım projesi üzerinde kullanarak değişkenlerin değişebilirliği hesaplanmıştır. Biyogaz tesis projesi yapılmadan önce uygulama koşulları ve parametreleri değerlendirilip yüksek karlılığı elde etmek için belirsizlik faktörleri göz önünde bulundurulmuştur. Proje kapsamındaki tesis için belirsizlik gösteren parametreler belirlenmiştir. Belirlenen parametrelerin ise uygun dağılımla nasıl değişebileceği gösterilmiştir. Biyogaz tesisi yatırım projesinde parametrelerin değişmesi piyasa koşullarının değişmesi gibi dış riskler, müşteri ihtiyaçları, hükümet düzenlemeleri olabilen etkenler ele alınmıştır. Enerji kaynaklarından alınan hammadde kaynakları, malzeme fiyatları üzerindeki değişimlerden de etkilenebilmektedir.

Duyarlılık Analizi, analistin “eğer olursa” sorusuna cevap bulmasını sağlar (Pike-Neale, 1999). Ne kârlılık oranını etkileyen tahmin hatalarının elimine edilmesi ne de kaynak sağlayan projelerin seçimindeki risklerin göz ardı edilmesi mümkün değildir. Kârın duyarlılık ölçümü, riskin hangi alanlarda bulunduğunun ortaya çıkarılmasında yardımcı olur (House, 1968).

2.2.2.1. Amortisman süresi etkileri

Yatırım projelerini değerlendirme yöntemlerinden biri olan duyarlılık analizi bir analiz yöntemi olup etkiyi tahmin etmek için kullanılan bir hesaplama yöntemidir (Kalinichenko ve diğ., 2016). Yapılan bu çalışmadaki duyarlılık analizinde, değişen parametrelerin kurulacak biyogaz tesisinin amortisman süresi üzerindeki değişimleri hesaplanmıştır. Projenin geri ödeme süresi kısalığı, ileride sağlanabilecek olanakların artmasına ve nakit girişleri yükselmesini sağlayacaktır.

2.2.2.2. Net bugünkü değer etkileri

Bir yatırımın net bugünkü değeri, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı para girişinin önceden belirlen bir iskonto oranı üzerinden bugünde indirgenmiş değerleri toplamı ile yatırımın gerektirdiği para çıkışının belirli iskonto oranı üzerinden bugünkü değeri toplamı arasındaki farktır. Bu fark pozitif ise proje kabul edilmektedir. İskonto oranı, FED faiz oranına göre 2019 ve 2020 ortalamasına bakılarak %1,5 alınmıştır. Denklem 2.15'te net bugünkü değer formülü gösterilmiştir (Uçkun ve diğ., 2006);

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (2.15)$$

B_t =Gelirler

C_t =Giderler

r =İskonto oranı

t =yıl

Projedeki riskin gelir ve giderlerdeki değişimi ile nasıl etkilendiğini belirlemede kullanılan diğer bir yöntem indirgenmiş net nakit akım analizi yapılmasıdır. Duyarlılık analizi yapılarak, projedeki gelir ve giderlerin değişmesi durumunda net bugünkü değer etkileri gösterilmiştir. Diğer değişkenlerin sabit tutulması ile ele alınan temel bir değişkenin en olabilecek değeri üzerinde değişik varsayımlara göre proje üzerindeki etkisi incelenmiştir. Diğer değişkenler içinde aynı işlemler yapılmıştır (Sariaslan, 1997).

Değişkenlerin her biri temel değişkenin altında ve üstünde belli oranlar belirlenip diğer değişkenleri sabit tutarak NBD'ler hesaplanmıştır.

Net bugünkü değer üzerinden iç verimlilik oranı hesaplaması yapılmıştır. İç verimlilik oranı 'Yatırım yapacağımız ortamdaki bankaların verdiği faiz oranlarının ne olması halinde yatırım yapmamız karlı olur?' sorusuna verilen cevaptır. Bugünkü değerlerinin toplamı proje yatırım maliyetinden büyük olacak şekilde faiz oranları arttırılmıştır. Net bugünkü değerinin eksi olması halindeki faiz oranı bulunup, hangi faiz oranları arasında karlı olacağı saptanmıştır.

2.2.3. Risk analizi

Kurulacak biyogaz üretim tesisi için risk analizi yapılmıştır. Risk analizi ile öncelikli olarak bir olayın gerçekleşme ihtimali ile gerçekleşmesi durumunda sonucunun derecelendirilerek ölçülmesiyle yapılmıştır. Risk Analizi, olasılığın ve şiddetin bileşkesinden hesaplanır. Tablo 2.3.'de olasılık derecelerine göre açıklamalarda bulunulmuştur.

Tablo 2.3. Olasılık İçin Kılavuz Tablosu

Olasılık Derecesi	Olasılık	Açıklama
5	Çok Yüksek	Sürekli veya yenilenen ihtimaller
4	Yüksek	Sık rastlanan ihtimaller
3	Orta	Mümkün ya da olma olasılığı olan ihtimaller
2	Küçük	Normal şartlar altında meydana gelmeyen
1	Çok Küçük	Gerçekleşmesi beklenen ama yine de mümkün olmayan ihtimaller

Projede başarısızlığa yol açabilecek maddeler listelenerek risk analizi yapılmıştır. Tablo 2.4.'de risk analizi yöntemi verilmiştir. Oluşabilecek riskler bu tablo yöntemi kullanılarak derecelendirilmiştir (Ünlü, 2014). Olabilirliği yüksek olan değer 5, olabilirliği az olan değer 1 ile gösterilmiştir. Olabilirliğin gerçekleşebilmesi sonucunda, sonucu yüksek risk taşıyan değer 5, az risk taşıyan değer ise 1 ile gösterilmiştir. Skorda ise bize belirlenen

olayların hangisinin daha riskli olduğu gösterilmiştir (Özkılıç, 2005). Tehlikelerden dolayı meydana gelen sonuçların belirlenmesi bu sonuçların her birinin ayrı ayrı olma olasılığının saptanması, önlenmesi veya en aza indirgenmesi gerekmektedir.

Tablo 2.4. Risk Analizi Yöntemi

	OLASILIK/ŞİDDET				
OLASILIK	ÇOK CİDDİ 5	CİDDİ 4	ORTA 3	HAFİF 2	ÇOK HAFİF 1
ÇOK YÜKSEK 5	YÜKSEK 25	YÜKSEK 20	YÜKSEK 15	ORTA 10	DÜŞÜK 5
YÜKSEK 4	YÜKSEK 20	YÜKSEK 16	ORTA 12	ORTA 8	DÜŞÜK 4
ORTA 3	YÜKSEK 15	ORTA 12	ORTA 9	DÜŞÜK 6	DÜŞÜK 3
KÜÇÜK 2	ORTA 10	ORTA 8	DÜŞÜK 6	DÜŞÜK 4	DÜŞÜK 2
ÇOK KÜÇÜK 1	DÜŞÜK 5	DÜŞÜK 4	DÜŞÜK 3	DÜŞÜK 2	DÜŞÜK 1

Oluşacak risk olasılık ve şiddetin çarpılmasıyla bulunmaktadır. Eşitlik 2.16'da gösterilmiştir;

$$R=O \times \text{Ş} \quad (2.16)$$

Risk=Olasılık×Şiddet

3. BULGULAR

Biyogaz tesisi kurulacak bölgede, ilk olarak çalışmada nasıl bir yol izleneceği belirlenmiştir. Materyal olarak büyükbaş hayvan atığı ele alınmıştır. Ve bölgenin etrafında 14 büyükbaş hayvan çiftliği belirlenmiştir. Çalışmada yapılan fizibilite hesapları, yöntemlere göre belirlenmiş, belirlenen yöntemlerde kurulacak biyogaz tesisinin duyarlılığı ölçülmüştür. Risk analizleri proje aşamasında belirlenmiştir.

3.1. Büyükbaş Hayvansal Atık Kapasitesi Tayini

İncelemeler sonucunda baz alınan bölgede türlerine göre, 2.272 buzağı, 1.479 düve, 1.420 tosun, 5.469 inek olmak üzere toplam 10.640 büyükbaş hayvan bulunmaktadır.

İncelenen 14 çiftlikten günlük alınabilecek atık miktarları, denklem 2.1'e göre ayrı ayrı hesaplanmıştır Toplam günlük hayvansal atık kapasitesi, her çiftlikten alınan günlük atık miktarları hesaplandıktan sonra toplanarak bulunmuştur. Büyükbaş hayvan türlerine göre oluşan toplam atık miktarı; 51,765 ton/gün düve, 35,5 ton/gün tosun, 273,45 ton/gün inek olmak üzere 360,73 ton günlük büyükbaş hayvansal atık kapasitesine sahiptir. Tablo 3.1.'de her çiftlik için hesaplanan günlük atık miktarları gösterilmiştir.

Denklem 2.1'e göre A çiftliği atık miktarı hesaplanmıştır;

$$\text{Toplam Atık Miktarı}=50 \times 0 + 70 \times 35 + 150 \times 25 + 230 \times 50$$

$$=17700 \text{ kg}$$

Denklem 2.1'e göre D çiftliği için atık miktarı hesaplanmıştır;

$$\text{Toplam Atık Miktar}=150 \times 0 + 100 \times 35 + 0 \times 25 + 400 \times 50$$

$$=23500 \text{ (kg)}$$

Tablo 3.1. Baz Alınan Çiftliklerin Günlük Atık Miktarları

Çiftlik	Buzağı (Adet)	Düve (Adet)	Tosun (Adet)	İnek (Adet)	Toplam	Günlük Atık (ton)
A ÇİFTLİĞİ	50	70	150	230	500	17,7
B ÇİFTLİĞİ	70	0	300	0	370	7,5
C ÇİFTLİĞİ	300	165	440	423	1.328	37,93
D ÇİFTLİĞİ	150	100	0	400	650	23,5
E ÇİFTLİĞİ	463	0	0	964	1.427	48,2
F ÇİFTLİĞİ	25	0	0	25	50	1,25
G ÇİFTLİĞİ	100	35	40	355	530	19,98
H ÇİFTLİĞİ	25	25	0	50	100	3,38
I ÇİFTLİĞİ	220	250	0	530	1.000	35,25
İ ÇİFTLİĞİ	400	250	250	600	1.500	45
J ÇİFTLİĞİ	253	254	0	490	997	33,39
K ÇİFTLİĞİ	50	0	240	370	660	24,5
L ÇİFTLİĞİ	66	30	0	229	325	12,5
M ÇİFTLİĞİ	100	300	0	803	1.203	50,65
Toplam	2.272	1.479	1.420	5.469	10.640	360,73

Kurulacak biyogaz tesisine, 14 çiftlikten alınan gübrenin taşınması gerekmektedir. Gübre, ahırlardan bir vidanjör yardımı ile alınıp kurulması planlanan biyogaz tesisine taşınacaktır. Ahırlarda gübrenin depolanmasını sağlayacak betonarme gübre havuzu gerekmektedir. Çiftlik ziyaretleri sonucunda 12 çiftliğin gübre havuzu bulunduğu tespit edilmiştir. Diğer 2 çiftlikte ise gübre depolanması toprak çukur içerisine yapılmıştır. Separatör sonrası ayrılan sıvı gübrenin taşınması için vidanjör kullanılacaktır.

3.2. Hammadde Analiz Sonuçları

Biyogaz üretim tesisi kurulacak bölgede, araştırmalar sonucu belirlenen 14 çiftlikten büyükbaş hayvan atığı numunesi alınmıştır. Alınan numuneler incelenmek üzere laboratuvara gönderilmiştir. Biyogaz üretim potansiyeli incelenirken kuru madde ve

uçucu kuru madde analizleri yapılmıştır. Tablo 3.2.'de her çiftlikten alınan numuneler ile kuru madde ve uçucu kuru madde oranları gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Hammadde Analizi sonucu elde edilen UKM ve KM oranları

NO	Çiftlik Adı	Kuru Madde (%)	Uçucu Kuru Madde (%)
1	A ÇİFTLİĞİ	9,45	79,84
2	B ÇİFTLİĞİ	10,99	84,12
3	C ÇİFTLİĞİ	9,45	76,01
4	D ÇİFTLİĞİ	15,62	81,78
5	E ÇİFTLİĞİ	8,19	80,81
6	F ÇİFTLİĞİ	8,19	80,81
7	G ÇİFTLİĞİ	8,19	80,81
8	H ÇİFTLİĞİ	8,19	80,81
9	I ÇİFTLİĞİ	8,19	80,81
10	İ ÇİFTLİĞİ	9,45	79,84
11	J ÇİFTLİĞİ	9,59	83,54
12	K ÇİFTLİĞİ	8,19	80,81
13	L ÇİFTLİĞİ	9,45	79,84
14	M ÇİFTLİĞİ	8,19	80,81

3.3. Literatür Verileri ile Kapasite Tayini

Hesaplanan literatür verileri ile büyükbaş hayvan atıklarından ne kadar enerji üretilebileceği bulunmuştur. Her çiftlik için aynı metot kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar ile toplam elektrik üretim kapasitesi 1076,22 kW olarak belirlenmiştir. Tablo 3.3.'de literatür verilerine göre her çiftlik için ayrı ayrı bulunan elektrik üretim kapasiteleri gösterilmiştir.

L çiftliği örnek alınarak hesaplama yapılmıştır. Hesaplama yapılırken, denklem 2.2, 2.3 ve 2.4 kullanılmıştır. L çiftliği günlük atık miktarı 12,5 ton olarak belirlenmiştir;

$$\text{Uçucu kuru madde miktarı} \left(\frac{\text{ton} \times \text{UKM}}{\text{gün}} \right) = 12,5 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) \times 0,0945 \times 0,7 = 0,94311$$

$$\text{Biyogaz Üretim Miktarı (m}^3\text{/saat)} = \frac{0,9431 \left(\frac{\text{ton} \times \text{UKM}}{\text{gün}} \right) \times 400 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ton} \times \text{UKM}} \right)}{24 \left(\frac{\text{saat}}{\text{gün}} \right)} = 15,718$$

$$\text{Biyogaz Tesis Kapasitesi (kW)} = 15,718 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) \times 0,6 \times 10 \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^3} \right) \times 0,4 = 37,72$$

Sadece L çiftliği için denklemler kurulup işlemler yapıldığında biyogaz üretim miktarı 15,718 m³/saat olarak bulunup, biyogaz tesis kapasite miktarı 37,72 “kW” olarak bulunmuştur.

Tablo 3.3. Literatür verilerine göre elektrik üretim kapasitesi

NO	Çiftlik Adı	Günlük Atık (ton)	Kuru Madde	Uçucu Kuru Madde	Günlük Üretilen Metan (m ³ /gün)	Elektrik Üretim Kapasitesi (kWh)
1	A ÇİFTLİĞİ	17,7	9,45	79,84	320,51	53,42
2	B ÇİFTLİĞİ	7,5	10,99	84,12	166,41	27,73
3	C ÇİFTLİĞİ	37,93	9,45	76,01	653,79	108,97
4	D ÇİFTLİĞİ	23,5	15,62	81,78	720,46	120,08
5	E ÇİFTLİĞİ	48,2	8,19	80,81	765,61	127,6
6	F ÇİFTLİĞİ	1,25	8,19	80,81	19,86	3,31
7	G ÇİFTLİĞİ	19,98	8,19	80,81	317,28	52,88
8	H ÇİFTLİĞİ	3,38	8,19	80,81	53,61	8,93
9	I ÇİFTLİĞİ	35,25	8,19	80,81	559,91	93,32
10	İ ÇİFTLİĞİ	45	9,45	79,84	814,84	135,8
11	J ÇİFTLİĞİ	33,39	9,59	83,54	642,01	107
12	K ÇİFTLİĞİ	24,5	8,19	80,81	389,15	65,38
13	L ÇİFTLİĞİ	12,5	9,45	79,84	226,34	37,72
14	M ÇİFTLİĞİ	50,65	8,19	80,81	804,52	134,08
	BÜYÜKBAŞ TOPLAM	360,73			6454,3	1076,22

3.4. Biyogaz Tesisi Dizayn Parametreleri

Literatür verileriyle yapılan hesaplama sonucunda biyogaz üretim tesisinin 1 MW kapasiteye sahip olması belirlenmiştir. Biyogaz tesisine günlük 360 ton büyükbaş atık kabulü yapılmaktadır. Dizayna ait parametrelerden biri, gaz üretiminin mezofilik şartlarda yapılacak olmasıdır. Sürekli karıştırmalı 2 adet fermantör kullanılacaktır. Kurulacak biyogaz tesisinin fermantör boyutlarının 9 metre yüksekliğinde, 30 metre çapında olması planlanmıştır. Etkin hacmin 8 metre yüksekliğinde olup 1 metre güvenlik açısından boş bırakılacaktır. Fermantör hacmi 5.652 m³, ön depo hacmi 615 m³, lagün hacmi 10.000 m³ olarak belirlenmiştir. Tablo 3.4.'de tesis dizayn parametrelerine ait bilgiler verilmiştir.

Aşağıda 2.5. denkleği ile reaktör hacmi, 2.6. denkleği ile hidrolik bozunma süresi bulunmuştur;

$$=(3,14 \times 15^2 \times 9) \times \frac{8}{9} = 5.652 \text{ m}^3$$

$$\frac{11.304}{560}$$

$$=31,4 \text{ gün}$$

Tablo 3.4. Biyogaz Tesisi Dizayn Parametreleri

Yaş Fermantasyon	
Bakteri Çeşidi	Mezofilik
Hidrolik Bozunma Süresi	31 gün
Kojenerasyon Kapasitesi (kWh)	1.000
Elektriksel Verim (%)	40%
Fermantör Hacmi (m ³)	2 x 5.652
Ön Depo Hacmi (m ³)	615
Lagün Hacmi (m ³)	10.000

3.5. Biyogaz Tesisi Kurulum Maliyeti

Üretim kapasitesi 1 MW olan biyogaz tesisi kurulum maliyeti için yapılan anket sonucunda fiyatlandırma yapılmıştır. Biyogaz tesisi için yatırım maliyeti 2.450.000 \$ olarak hesaplanmıştır. Maliyet bileşenlerinin büyük oranını gaz motoru ve inşaat oluşturmaktadır. Tablo 3.5.'de biyogaz tesisi için maliyet bileşenlerinin fiyatlandırılması verilmiştir.

Tablo 3.5. Biyogaz Tesisi Maliyet Bileşeni Fiyatlandırılması

MALİYET BİLEŞENLERİ	FİYAT (\$)
Mühendislik	138.000,00
Ön Depo Sıvı	13.000,00
Merkezi Sıvı Dağıtım	9.000,00
Hidroliz Reaktörü	19.000,00
Besleme Sistemi	105.000,00
Reaktör	150.000,00
Hijyenizasyon Tankı	150.000,00
Gaz Şartlandırma	38.000,00
Gaz Motoru	480.000,00
Destek ekipmanı	135.000,00
Proses Kontrol Cihazı	26.000,00
Otomasyon	83.000,00
İşçilik	68.000,00
Merdiven ve Korkuluk	19.000,00
Borulama	28.000,00
Sarf Malzeme	24.000,00
Merkezi Sıvı Dağıtım	20.000,00
Isı Dağıtım Hattı	10.000,00
Gaz Motoru destek ekipmanı	125.000,00
Elektrik	180.000,00
İnşaat	630.000,00
TOPLAM	2.450.000,00

3.6. Biyogaz Tesisi İşletme Giderleri

Tablo 3.6.'da biyogaz tesisine ait işletme giderleri ayrıntı bir şekilde gösterilmiştir. 1 MW kapasiteli biyogaz tesisi için işletme gideri 435.328,08 USD olarak bulunmuştur.

Tablo 3.6. Biyogaz Tesis İşletme Giderleri

Giderler	Miktar	Birim	Birim tutar	Birim	Toplam Tutar
Hammadde ve ürün dağıtım maliyeti	360	ton/gün	1	\$/ton	131.400
Personel maliyeti					78.480
Kojen bakım maliyeti	7.380.000	kWh	0,015	\$/kWh	110.700
Genel bakım maliyeti	7.380.000	kWh	0,0075	\$/kWh	55.350
Biyolojik destek maliyeti	7.380.000	kWh	0,002	\$/kWh	14.760
İlk devreye alma maliyeti**	2	2 kez/10 yıl	20.000	\$/adet	4.000
5 yıllık ara bakım maliyeti***	2	2 kez/10 yıl	10.000	\$/adet	2.000
Sistem kullanım bedeli ilk 5 yıl	7.380.000	kWh	0,00185	\$/kWh	13.653
Sistem kullanım bedeli son 5 yıl	7.380.000	kWh	0,0037	\$/kWh	0
Dağıtım bedeli	7.380.000	kWh	0,2166	\$/cent/kwh	15.985
Sigorta	1.000	kW.kapasite	5	\$/kW.kapasite.yıl	5.000
Tesis ofis giderleri	1.000	kW.kapasite	4	\$/kW.kapasite.yıl	4.000
GİDERLER					435.328

3.7. Biyogaz Tesisi İşletme Gelirleri

Tesis işletme geliri aşağıdaki gibi 2 farklı şekilde ele alınmıştır:

- Sadece elektrik üretimi
- Elektrik üretimi ve katı gübre satışı

Tablo 3.7.'de tesis kapasitesi yıllık çalışma süresi ve yıllık net elektrik üretimi gösterilmiştir. Sadece elektrik üretimini gelir olarak aldığımızda, yıllık elde ettiğimiz gelir 981.540 USD olarak hesaplanmıştır. Katı gübre satışından yıllık elde ettiğimiz gelir ise 365.000 USD olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.8.'de elektrik üretimi ve katı gübre satışı ile olan gelir ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 3.7. Biyogaz Tesisi İçin Yıllık Net Elektrik Üretim

Tesis Kapasitesi	1000 kWh
Yıllık Çalışma Süresi	8.200 saat
Yıllık Net Elektrik Üretimi	7.380.000 kWh

Tablo 3.8. Biyogaz Tesisi İşletme Gelirleri

Gelirler	Miktar	Birim	Birim tutar	Birim	Toplam Tutar
Elektrik satış geliri	7.380.000	kWh/yıl	0,133	\$/kWh	981.540
Katı gübre satış geliri	10	ton / gün	100	\$/ton	365.000
TOPLAM					1.346.540

3.8. Biyogaz Tesisi Amortisman Süreleri Hesaplanması

Biyogaz tesisi amortisman süresi hesaplaması 2 farklı şekilde ele alınmıştır.

- Sadece elektrik satışı olan biyogaz tesisi için amortisman süresi hesaplaması
- Elektrik satışı ve organik katı gübre satışı olan biyogaz tesisi için amortisman süresi hesaplaması

3.8.1. Sadece elektrik satışı ile amortisman süresi hesaplanması

1 MW kapasiteli biyogaz tesisi yıllık çalışma süresi 8.200 saattir. İç tüketim oranı %10 olup yıllık net elektrik üretimi 7.380.000 kWh'dır. Biyogaz tesis yatırım maliyeti 2.450.000 USD, hammadde ve ürün dağıtım maliyeti ise 90.000 USD olup toplam yatırım maliyeti 2.540.000 USD olarak belirlenmiştir. Tablo 3.9.'da sadece elektrik satışı olan biyogaz tesisinde toplam yatırım maliyeti fiyatlandırmaları verilmiştir. Yıllık elektrik geliri 981.540 USD olup, ilk yıl gideri 435.328,08 USD olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.10.'da sadece elektrik satışı ile oluşan amortisman süresi gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Sadece Elektrik Satışına Dayalı Biyogaz Tesisi Yatırım Maliyeti

	Miktar	Birim fiyat	Toplam
Biyogaz tesisi kurulum maliyeti		2.450.000 \$/MWhel	2.450.0000 \$
Gübre tesisi yatırım maliyeti	0 ton/gün	0 \$/ton	-
Vidanjör/Kamyon/Loader	3 adet	30.000 \$/adet	90.000.000 \$
Yatırım Maliyeti			2.540.000 \$

2.9 denkliği kullanılarak yıllık elektrik gelir miktarı hesaplanmıştır;

$$1000 \text{ (kWh)} \times 8.200 \times 0,90 \times 0,133 \text{ (\$/kwh)} = 981.540 \text{ (USD)}$$

2.10 denkliği kullanılarak FAVÖK hesaplaması yapılmıştır;

$$\text{Favök} = 981.540 - 435.328,08$$

$$= 546.211,92 \text{ (USD)}$$

2.11 denkliği kullanılarak amortisman gideri hesaplaması yapılmıştır;

$$\text{Amortisman Gideri} = 2.540.000 \div 20 = 127.000 \text{ (USD)}$$

2.12 denkliği kullanılarak vergi miktarı hesaplanmıştır;

$$\text{Vergi (USD)} = (546.211,92 - 127.000) \times 0,2 =$$

83.842,38 (USD)

2.13 denklığı kullanılarak faaliyetten doğan nakit akım hesaplaması yapılmıştır;

Faliyetten doğan nakit akım = 546.211,92 - 83.842,38

=462.369,54 (USD)

Tablo 3.10. Sadece elektrik satışı ile amortisman süresi hesaplanması

1 MW Biyogaz Tesisi Amortisman Süresi	\$/ yıl
Yatırım maliyet	2.540.000,00
Giderler	435.328,08
Gelirler	981.540,00
Faliyetten doğan nakit akım	462.369,54
Amortisman süresi	6,21

3.8.2. Gübre satışına yönelik amortisman süresi hesaplanması

1 MW kapasiteli biyogaz tesisi aynı şekilde çalışma süresi 8.200 saat olup yıllık net elektrik üretimi 7.380.000 kwh'dır. İç tüketim oranı %10 olan biyogaz üretim tesisinin yıllık elektrik geliri 2.6 denklığı kullanılarak 981.540 USD olarak bulunmuştur. Yapılan fiyat araştırmasına göre 1 ton gübrenin 110 USD fiyat ile satılacağı kabul edilmiştir. Elektrik ve gübre üretimi olan biyogaz tesisi için kurulum maliyeti 2.450.000 USD, gübre tesisi yatırım maliyeti 1.100.000 USD, hammadde ve ürün dağıtım maliyeti ise 90.000,00 USD olarak belirlenmiştir. Toplam yatırım maliyeti 3.640.000,00 \$ olarak bulunmuştur. Tablo 3.11.'de elektrik ve gübre üretimi olan biyogaz tesisi için toplam yatırım maliyeti ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Yıllık elektrik ve gübre satışı geliri 1.346.540,00 USD olup, ilk yıl gideri 435.328,08 USD olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.12.'de elektrik satışı ve gübre satışı yapılan biyogaz tesisi için amortisman süresi gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Elektrik ve Gübre Satışına Dayalı Biyogaz Tesisi Yatırım Maliyeti

	Miktar	Birim fiyat	Toplam
Biyogaz tesisi kurulum maliyeti		2.450.000 \$/kWhel	2.450.0000 \$
Gübre tesisi yatırım maliyeti	10 ton/gün	110.000 \$/ton	1.100.000 \$
Vidanjör/Kamyon/Loader	3 adet	30.000 \$/adet	90.000.000 \$
Yatırım Maliyeti			3.640.000 \$

2.10 denkliği kullanılarak FAVÖK hesaplaması yapılmıştır;

$$\text{Favök}=1.346.540-435.328,08$$

$$=911.211,92 \text{ (USD)}$$

2.11 denkliği kullanılarak amortisman gideri hesaplaması yapılmıştır;

$$\text{Amortisman Gideri}=3.640.000\div 20$$

$$=182.000 \text{ (USD)}$$

2.12 denkliği kullanılarak vergi miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{Vergi}=(911.211,92-182.000)\times 0,2$$

$$=145.842,38 \text{ (USD)}$$

2.13 denkliği kullanılarak faaliyetten doğan nakit akım hesaplaması yapılmıştır.

$$\text{Faaliyetten doğan nakit akım}=911.211,92-145.842,38$$

$$=765.369,54 \text{ (USD)}$$

Tablo 3.12. Gübre satışına bağlı amortisman süresi hesaplanması

1 MW Biyogaz Tesisi Amortisman Süresi	\$/ yıl
Yatırım maliyet	3.640.000,00
Giderler	435.328,08
Gelirler	1.346.540,00
Faaliyetten doğan nakit akım	765.369,54
Amortisman süresi	4,82

3.9. Duyarlılık Analizi İncelemeleri

3.9.1. Amortisman süresi

Biyogaz tesisi için fizibilite yapıldığında, yıllık net elektrik üretim miktarı 7.380.000 kwh olup, elektrik satışı 5346 no.lu Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun gereğince elektrik satış bedeli 13,3 \$cent/kWh olarak alındığında, yıllık elektrik geliri 981.540 USD olmaktadır (YEGM,2017). Katı gübre satışı ile yıllık toplam gelir 1.346.540 USD olarak hesaplanmıştır. Elektrik fiyatında %10 artış olması durumunda, yani elektrik üretiminin 13,3 \$cent/kWh yerine 14,63 \$cent/kWh satılması ile yıllık elektrik geliri 1.077.480 USD olmaktadır. Katı gübre satışı ile yıllık toplam gelir 1.442.480 USD olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.13.'te elektrik fiyatı parametresinin %10 artması ile biyogaz tesisinin amortisman süresi gösterilmiştir.

Tablo 3.13. Elektrik fiyatının %10 artması durumunda duyarlılık analizi

1 MW Biyogaz Tesisi Amortisman Süresi	\$/ yıl
Yatırım maliyet	3.640.000,00
Giderler	435.328,08
Gelirler	1.442.480
Faliyetten doğan nakit akım	842.121,54
Amortisman süresi	4,39

Biyogaz tesisinin fizibilite hesaplarına göre, elektrik fiyatında %10 azalma olması durumunda, yani elektrik üretiminin 13,3 \$cent/kWh yerine 11.69 \$cent/kWh satılması ile yıllık elektrik geliri 878.220 USD olmaktadır. Katı gübre satışı ile yıllık toplam gelir

1.243.220 USD olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.14.'te elektrik fiyatı parametresinin %10 azalması ile biyogaz tesisinin amortisman süresi gösterilmiştir.

Tablo 3.14. Elektrik fiyatının %10 azalması durumunda duyarlılık analizi

1 MW Biyogaz Tesisi Amortisman Süresi	\$/ yıl
Yatırım maliyet	3.640.000,00
Giderler	435.328,08
Gelirler	1.243.220
Faaliyetten doğan nakit akım	682.713,54
Amortisman süresi	5,4

Biyogaz tesisine günlük 360 ton hammadde girmektedir. Alınan tekliflere göre ürün dağıtım maliyeti ton başına 1 USD kabul edilmiştir. Biyogaz tesisi için fizibilite hesaplamasında, hammadde ve ürün dağıtım maliyeti yıllık 131.400 USD hesaplanmıştır. Ürün dağıtım maliyetinde %20 artış olması durumunda, yani ton başına 1,2 USD kabul edilirse maliyet yıllık 157.680 USD olmaktadır. Bu parametrenin değişmesi ile biyogaz tesisi giderleri 435.328,08 USD yerine 461.608,08 USD olmaktadır. Tablo 3.15.'de hammadde ve ürün dağıtım maliyeti parametresinin %20 artması ile hesaplanan amortisman süresi gösterilmiştir.

Tablo 3.15. Hammadde ve ürün dağıtım maliyeti %20 artması ile yapılan duyarlılık analizi

1 MW Biyogaz Tesisi Amortisman Süresi	\$/ yıl
Yatırım maliyet	3.640.000,00
Giderler	461.608,08
Gelirler	1.346.540,00
Faaliyetten doğan nakit akım	884.931,92
Amortisman süresi	4,98

Biyogaz tesisinde yapılan fizibiliteye göre, ürün dağıtım maliyetinde %20 azalma olması durumunda, yani ton başına 0,8 USD kabul edilirse maliyet yıllık 105.120 USD olmaktadır. Bu parametrenin değişmesi ile biyogaz tesisi giderleri 435.328,08 USD yerine

409.048,08 USD olmaktadır. Tablo 3.16.'da hammadde ve ürün dağıtım maliyeti parametresinin %20 azalması ile hesaplanan amortisman süresi gösterilmiştir.

Tablo 3.16. Hammadde ve ürün dağıtım maliyeti %20 azalması ile yapılan duyarlılık analizi

1 MW Biyogaz Tesisi Amortisman Süresi	\$/ yıl
Yatırım maliyet	3.640.000,00
Giderler	409.048,08
Gelirler	1.346.540,00
Faaliyetten doğan nakit akım	937.491,92
Amortisman süresi	4,67

Biyogaz tesisi kurulum maliyeti için yapılan anket sonucunda fiyatlandırma yapılmıştır. Biyogaz tesisi için yatırımındaki kurulum maliyeti 2.450.000 USD olarak hesaplanmıştır. Maliyet bileşenlerinde yapılan fiyatlandırma, 1 MW kapasiteli biyogaz tesisinin kurulumunun yıl olarak değişmesi durumunda fiyat artış ve azalış olarak değişiklik gösterebilmektedir. Biyogaz tesisinin kurulum maliyetinin %10 artması durumunda fiyat 2.695.000 USD olmaktadır. Değişen kurulum maliyetinden dolayı yatırım maliyeti 3.640.000 USD'den 3.885.000 USD'ye çıkmaktadır. Kurulum maliyetindeki artış nedeniyle biyogaz tesisi için belirlenen amortisman süresi tablo 3.17.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.17. Kurulum maliyetinin %10 artması ile yapılan duyarlılık analizi

1 MW Biyogaz Tesisi Amortisman Süresi	\$/ yıl
Yatırım maliyet	3.885.000,00
Giderler	435.328,08
Gelirler	1.346.540
Faaliyetten doğan nakit akım	767.819,54
Amortisman süresi	5,13

3.9.2. Net bugünkü değer ve iç verimlilik

Kurulacak biyogaz tesisinde, yapılan fizibilite hesaplarına göre ilk yıl geliri 1.346.540 USD iken ilk yıl gideri 435.328,08 USD bulunmuştur. Belirlenen iskonto oranında indirgenmiş gelir ve indirgenmiş gider hesaplanmıştır. Tablo 3.18.'de net bugünkü değer hesaplaması gösterilmiştir. Yapılan işlemler sonucunda net bugünkü değer 8.288.766,75 USD olarak bulunmuştur.

Tablo 3.18. Fizibilite Çalışması ile NBD Hesaplaması

Yıllar	Gelir (\$)	Gider (\$)	Iskonto (%)	Indirgenmiş gelir (\$)	Indirgenmiş gider (\$)
1	1.346.540,00	422.188,08	1,5	1.326.640,39	415.948,85
2	1.357.490,00	428.360,28	1,5	1.317.663,62	415.792,94
3	1.368.768,50	434.717,65	1,5	1.308.976,58	415.727,87
4	1.380.385,36	441.265,73	1,5	1.300.577,31	415.753,61
5	1.269.658,22	448.010,26	1,5	1.178.573,35	415.870,15
6	1.404.675,04	468.610,13	1,5	1.284.634,59	428.563,73
7	1.417.369,09	475.765,40	1,5	1.277.087,52	428.677,37
8	1.430.443,96	483.135,33	1,5	1.269.821,02	428.884,61
9	1.443.911,08	505.726,36	1,5	1.262.833,43	442.304,35
10	1.335.089,71	513.545,11	1,5	1.150.403,06	442.505,00
Toplam	13.754.330,95	4.621.324,33		12.677.210,86	4.250.028,48
NBD					8.427.182,38

Biyogaz tesisinde, elektrik satış fiyatında %10 artması durumunda biyogaz NBD ilk yıl gelir 1.442.480 USD, ilk yıl gideri 435.328,08 USD olmaktadır. Yapılan işlemler sonucunda net bugünkü değer 9.152.077,43 USD olarak bulunmuştur. Tablo 3.19.'da elektrik satış fiyatının artması durumunda yıllara göre hesaplanan indirgenmiş gelir ve indirgenmiş gider fiyatları gösterilmiştir.

Tablo 3.19. Elektrik Satış Fiyatının %10 Artması Durumunda NBD Etkisi

Yıllar	Gelir (\$)	Gider (\$)	Iskonto (%)	Indirgenmiş gelir (\$)	Indirgenmiş gider (\$)
1	1.346.540	422.188,08	1,5	1.326.640,39	415.948,85
2	1.357.490	428.360,28	1,5	1.317.663,62	415.792,94
3	1.368.768,50	434.717,65	1,5	1.308.976,58	415.727,87
4	1.380.385,36	441.265,73	1,5	1.300.577,31	415.753,61
5	1.269.658,22	448.010,26	1,5	1.178.573,35	415.870,15
6	1.404.675,04	468.610,13	1,5	1.284.634,59	428.563,73
7	1.417.369,09	475.765,40	1,5	1.277.087,52	428.677,37
8	1.430.443,96	483.135,33	1,5	1.269.821,02	428.884,61
9	1.443.911,08	505.726,36	1,5	1.262.833,43	442.304,35
10	1.335.089,71	513.545,11	1,5	1.150.403,06	442.505,00
Toplam	13.754.330,95	4.621.324,33		12.677.210,86	4.250.028,48
NBD					8.427.182,38

Biyogaz tesisinde elektrik satış fiyatının %10 azalması durumunda ilk yıl gelir 1.243.220 USD, ilk yıl gideri 435.328,08 USD olmaktadır. Yapılan işlemler sonucunda Net bugünkü değer 7.359.047,56 USD olarak bulunmuştur. Tablo 3.20.'de elektrik satış fiyatının azalması durumunda yıllara göre hesaplanan indirgenmiş gelir ve indirgenmiş gider fiyatları gösterilmiştir.

Tablo 3.20. Elektrik satış fiyatının %10 azalması durumunda NBD etkisi

Yıllar	Gelir (\$)	Gider (\$)	Iskonto (%)	Indirgenmiş gelir (\$)	Indirgenmiş gider (\$)
1	1.346.540	422.188,08	1,5	1.326.640,39	415.948,85
2	1.357.490	428.360,28	1,5	1.317.663,62	415.792,94
3	1.368.768,50	434.717,65	1,5	1.308.976,58	415.727,87
4	1.380.385,36	441.265,73	1,5	1.300.577,31	415.753,61
5	1.269.658,22	448.010,26	1,5	1.178.573,35	415.870,15
6	1.404.675,04	468.610,13	1,5	1.284.634,59	428.563,73
7	1.417.369,09	475.765,40	1,5	1.277.087,52	428.677,37
8	1.430.443,96	483.135,33	1,5	1.269.821,02	428.884,61
9	1.443.911,08	505.726,36	1,5	1.262.833,43	442.304,35
10	1.335.089,71	513.545,11	1,5	1.150.403,06	442.505,00
Toplam	13.754.330,95	4.621.324,33		12.677.210,86	4.250.028,48
NBD					8.427.182,38

Biyogaz tesisi için fizibilite hesaplamasında hammadde ve ürün dağıtım maliyeti yıllık ilk yıl için 131.400 USD olarak hesaplanmıştır. Ürün dağıtım maliyetinde %10 artış olması durumunda maliyet yıllık 144.540 USD olmaktadır. Toplam yıllık tesisi gideri ise 448.468,08 USD olarak belirlenmiştir. Biyogaz tesis giderin bu şekilde artması durumunda net bugünkü değer üzerinde etkisi Tablo 3.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.21. Hammadde ve Ürün dağıtım maliyetinin %10 artması durumunda NBD etkisi

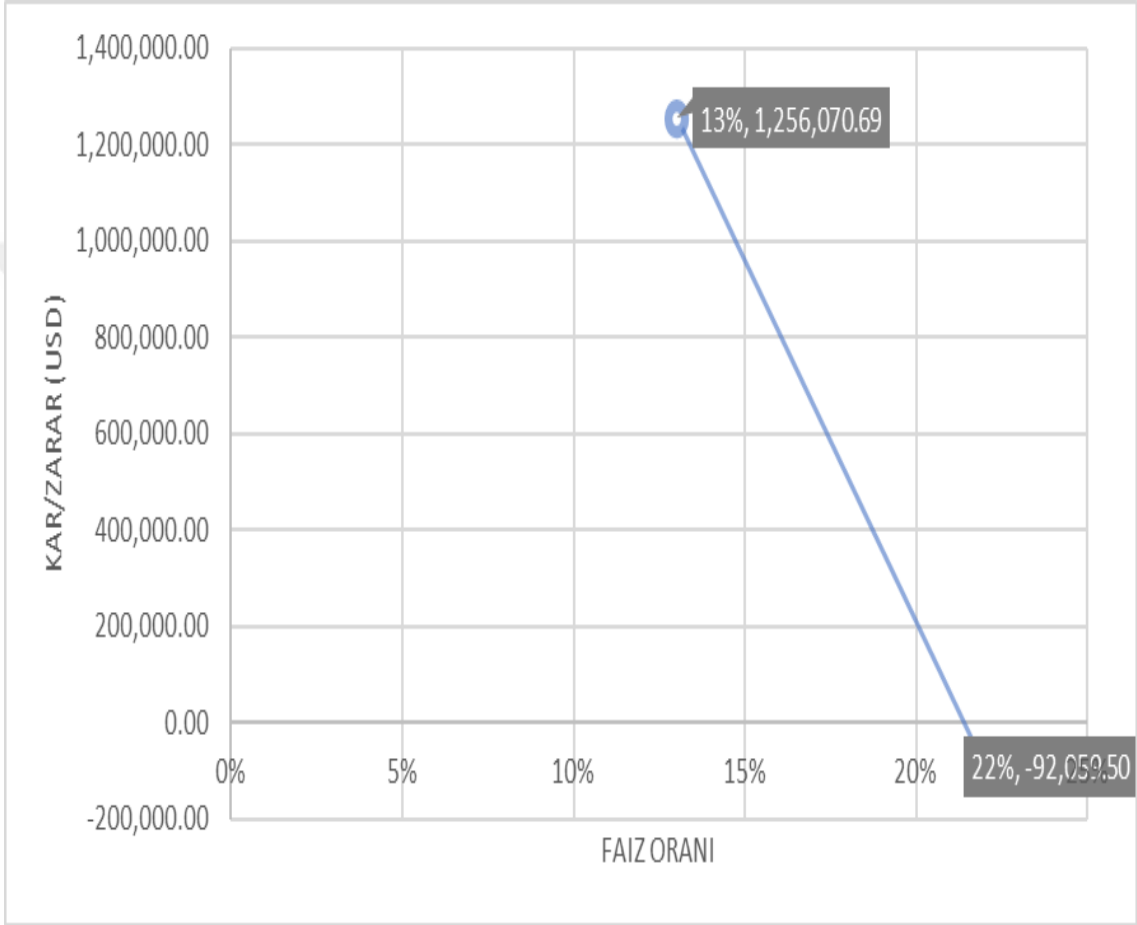
Yıllar	Gelir (\$)	Gider (\$)	Iskonto (%)	İndirgenmiş gelir (\$)	İndirgenmiş gider (\$)
1	1.346.540	422.188,08	1,5	1.326.640,39	415.948,85
2	1.357.490	428.360,28	1,5	1.317.663,62	415.792,94
3	1.368.768,50	434.717,65	1,5	1.308.976,58	415.727,87
4	1.380.385,36	441.265,73	1,5	1.300.577,31	415.753,61
5	1.269.658,22	448.010,26	1,5	1.178.573,35	415.870,15
6	1.404.675,04	468.610,13	1,5	1.284.634,59	428.563,73
7	1.417.369,09	475.765,40	1,5	1.277.087,52	428.677,37
8	1.430.443,96	483.135,33	1,5	1.269.821,02	428.884,61
9	1.443.911,08	505.726,36	1,5	1.262.833,43	442.304,35
10	1.335.089,71	513.545,11	1,5	1.150.403,06	442.505,00
Toplam	13.754.330,95	4.621.324,33		12.677.210,86	4.250.028,48
NBD					8.427.182,38

Biyogaz tesisi için fizibilite hesaplamasında hammadde ve ürün dağıtım maliyetinde %10 azalış olması durumunda maliyet yıllık 118.260 USD olmaktadır. Toplam yıllık tesisi gideri ise 422.188,08 USD olarak belirlenmiştir. Biyogaz tesis giderin bu şekilde azalması durumunda net bugünkü değer üzerinde etkisi Tablo 3.22.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.22. Hammadde ve Ürün dağıtım maliyetinin %10 azalması durumunda NBD etkisi

Yıllar	Gelir (\$)	Gider (\$)	Iskonto (%)	İndirgenmiş gelir (\$)	İndirgenmiş gider (\$)
1	1.346.540	422.188,08	1,5	1.326.640,39	415.948,85
2	1.357.490	428.360,28	1,5	1.317.663,62	415.792,94
3	1.368.768,50	434.717,65	1,5	1.308.976,58	415.727,87
4	1.380.385,36	441.265,73	1,5	1.300.577,31	415.753,61
5	1.269.658,22	448.010,26	1,5	1.178.573,35	415.870,15
6	1.404.675,04	468.610,13	1,5	1.284.634,59	428.563,73
7	1.417.369,09	475.765,40	1,5	1.277.087,52	428.677,37
8	1.430.443,96	483.135,33	1,5	1.269.821,02	428.884,61
9	1.443.911,08	505.726,36	1,5	1.262.833,43	442.304,35
10	1.335.089,71	513.545,11	1,5	1.150.403,06	442.505,00
Toplam	13.754.330,95	4.621.324,33		12.677.210,86	4.250.028,48
NBD					8.427.182,38

Şekil 3.1.'de iç verimlilik oranına göre projenin karlı olduğu ve zarara geçtiği durumlardaki faiz oranı arası gösterilmiştir. TÜİK'ten alınan verilere göre son 3 yılın faiz oranı ortalaması olarak %13 alınmıştır.



Şekil 3.1. İç Verimlilik Oranına Göre Faiz Aralığı

3.2. Risk Analizi Bulguları

Biyogaz yatırım projesinde, her yatırım projesinde olduğu gibi farklı risk unsurları yer almaktadır. Projeyi incelediğimizde oluşabilecek risklere karşı değerlendirme yapılmıştır. Olası sonuçlarının derecesi, oluşabilecek riskin büyüklüğü ile alakalıdır. Tablo 3.23.'de risk analizi değerlendirmeleri yapılmıştır. Tablo 3.24.'de ise risklere karşı durum değerlendirmeleri yapılmıştır.

Tablo 3.23. Risk Analizi Değerlendirmeleri

OLAYLAR	OLASILIK	SONUÇ	SKOR
Hammadde Bulunamaması	3	5	25
Bakterilerin İnhibe Edilmesi	4	5	20
Gaz Motorunda Arıza Yaşanması	3	5	15
Bakım Fiyatlarının Artması	3	4	12
Gaz Şartlandırma Ünitesinde Arıza Yaşanması	3	4	12
Elektrik Fiyatlarının Azalması	2	3	6
Membranın Yırılması	1	5	5
Gübre Fiyatlarının Azalması	2	2	4
Çalışanların İşten Ayrılması	2	2	4

Hammadde bulunamaması büyük bir risktir. Biyogaz tesisinin çalışabilir olması için sürekli besleme yapılmalıdır. Şekil 2.1.'deki risk tablosu kullanılarak hammadde bulunamama olasılığı 3, hammadde bulunamama sonucunda 5 değeri alınmıştır.

Reaktöre içerisindeki bakteriler, metan üretimini desteklemektedir. Dolayısıyla biyogaz üretimini direkt olarak etkiler. Bakterilerin inhibe edilme olasılığı 4, bakterilerin inhibe edilmesindeki sonuç ise 5 olarak alınmıştır.

Gaz motorunda elektrik üretimi gerçekleştiği için biyogaz tesislerinde önemi büyüktür. Arıza yaşanması sonucunda yüksek risk taşıyarak enerji santralinde oluşturabileceği sonuç 5, bu durumda olma olasılığı ise 3 olarak alınmıştır.

Bakım fiyatlarının arttırılması, biyogaz yatırım projesine etkisindeki sonucu 4, bakım fiyatlarının artması durumunun olma olasılığı ise 3 olarak alınmıştır.

Gaz şartlandırma ünitesinde arıza yaşanması durumunda oluşabilecek sonuç 4, gaz şartlandırma ünitesinde arıza yaşanma olasılığı ise 3 olarak alınmıştır.

Elektrik fiyatlarının azalmasının biyogaz tesisi için sonucu 3, elektrik fiyatlarının azalma olasılığı ise 2 olarak alınmıştır.

Biyogaz tesisinde membran yırtılmasının olasılığı düşük olduğu için 1, fakat yırtılması sonucunda ise 5 değerini almaktadır.

Gübre fiyatlarının azalması olasılığı 2, sonucunda ise 2 değerini almaktadır.

Tesis içinde çalışanların işten ayrılması da risk unsuru olarak bakıldığında olasılığı 2, sonucunda ise 2 değerini almaktadır.

Tablo 3.24. Risk-Durum Değerlendirmeleri

Risk Değerlendirilmesi	Durum
Hammadde bulunamaması riski	Biyogaz tesisi için hammadde bulunamaması durumunda biyogaz santralinin kapanma ihtimali vardır. Bu yüzden risk teşkil etmektedir.
Elektrik Satış Riski	Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması biyogaz tesislerine 10 yıl boyunca alım garantisi vermektedir. Bu yüzden risk teşkil etmemektedir.
Sıvı Gübre Dağıtım Riski	Sıvı gübre çıktısı miktar olarak fazla olduğundan bertaraf etme koşulları her zaman planlandığı gibi gitmeyebilir. Bu durum öngörülemediği için risk teşkil etmektedir.
Gaz Motorunda Arıza Yaşanması Riski	Gaz motorunda elektrik üretimi gerçekleştiği için biyogaz tesisleri için önemi büyüktür. Gaz motorunda arıza yaşanması durumu risk teşkil etmektedir.
Bakterilerin İnhibe Edilmesi	Reaktör içerisindeki bakteriler metan üretimini desteklemektedir. Biyogaz üretimini direkt olarak etkiler. Reaktör içerisinde bakterilerin inhibe edilmesi risk teşkil etmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nüfusun artması, sanayinin gelişmesi yaşam kalitesinin artmasıyla birlikte enerjiye olan ihtiyacımız gün geçtikçe artmaktadır. Fosil yakıtlardan karşılanan enerji ihtiyacı çevresel sorunlar yaratmaktadır. Fosil yakıtların azalmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogaza yönelim artmıştır. Biyogaz, biyokütleden enerji üretimini kapsamaktadır. Yapılan bu çalışmada atık türü olarak büyükbaş hayvan gübresi kullanılmıştır.

Tezde, 1 MW üretim kapasitesine sahip olan biyogaz üretim tesisinde, enerjinin yanında gübre de üretilebileceği ele alınmıştır. 1 MW kapasiteli biyogaz tesisi için fizibilite hesapları yapılmıştır. Yapılan fizibilite hesapları 2 çeşit analiz ile ele alınarak ilk olarak sadece elektrik satışı ile fizibilite hesapları, daha sonra ise elektrik ve organik gübre satışı ile fizibilite hesaplarıdır.

Yapılan fizibilite hesaplarında amortisman süreleri hesaplanmıştır. Amortisman sürelerini etkileyen etkenler ise kurulum maliyeti, işletme maliyeti ve işletme giderleridir. Bu parametreler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Sadece elektrik satışı ile amortisman süresi 6,21 yıl, elektrik satışı ve organik gübre satışı ile amortisman süresi 4,82 yıl olarak bulunmuştur. Biyogaz tesisi için gelir kaleminin artması amortisman süresini düşürmüştür.

Yapılan fizibilite hesaplarına dayanılarak kurulacak biyogaz tesisi için risk analizi yapılmıştır. Risk incelemesi yapılırken tehlike tespitinde mali, biyolojik, inşaat, ekonomik gibi çeşitli faktörler ele alınmıştır. Biyogaz yatırım projesinin riski olası sonuçlarının derecesi ile ilgilidir. Sonuçlar ne derece büyük olursa riskte o kadar fazla olmaktadır. Riski etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler ele alınarak biyogaz tesisi için en riskli olabilecek etkenler belirlenmiştir. Risklerin önlemlerini alma sıralaması, yapılan risk analizi ile belirlenmiştir. Kurulacak tesis için olumsuz olaylar karşısında iyileştirme yapmak risk analizinin yapılması ile kolaylaşır. Risk analizi belirlemede çok yüksek olan

risklerin iyi değerlendirme yapılması gerekir. Yüksek risklerin ortadan kaldırılması ya da kaldırılamıyor ise kabul edilebilir bir seviyeye indirilmesi gerekmektedir. Çok düşük riskler göz ardı edilebilir. Belirlenen yüksek risklerde durum ortadan kaldırılamıyor ise tesis için mali zararlar görülmesine sebebiyet verebilir.

Biyogaz tesisi için yapılan duyarlılık analizi, ilk olarak projenin amortisman süresi ile ilişkilendirilmiştir. Yatırım yapmak istediğimiz biyogaz üretim tesisinde değişen bir parametre olduğunda, amortisman süresini ne şekilde etkilediğini göstermektedir. Projenin amortisman süresinin kısalığı, daha sonra sağlanacak imkanların artmasını, nakit akım girişlerinin yükselmesine imkan sağlayacaktır. Duyarlılık analizine göre değişen parametreler ile oluşan amortisman süreleri şu şekildedir;

- Elektrik satış fiyatının %10 artması ile oluşan amortisman süresi 4,39 yıl
- Elektrik satış fiyatının %10 azalması ile oluşan amortisman süresi 5,4 yıl
- Hammadde ve ürün dağıtım maliyetinin %20 artması ile oluşan amortisman süresi 4,98 yıl
- Hammadde ve ürün dağıtım maliyetinin %20 azalması ile oluşan amortisman süresi 4,67 yıl
- Kurulum maliyetinin %10 artması ile oluşan amortisman süresi 5,13 yıl

Biyogaz tesisi için yapılan diğer bir duyarlılık analizi ise projedeki gelir ve giderlerdeki değişim ile indirgenmiş net nakit akım analizi yapılarak net bugünkü değer üzerindeki etkisidir. Net bugünkü değer etkileri ile biyogaz tesisine yapılan yatırımın, 10 yıl sonra kazandıracığı maddi gelirin bize şu an ne şekilde etki edeceğini görmekteyiz. Yatırımın bize dönüş oranı ne kadar yüksek ise yatırımımız o kadar karlı olmaktadır. Net bugünkü değerinde yüksek değerinin seçilmesi gerekmektedir.

Kurulacak biyogaz tesisinde net bugünkü değer 8.288.766,75 USD olarak bulunmuştur. Gelir ve giderler içerisinde seçilen parametreler aynı oranda arttırılıp azaltılmıştır. Gelir ve giderlerdeki bu değişimin net bugünkü değer üzerinde etkileri şu şekildedir.

- Elektrik satış fiyatının %10 artması durumunda NBD 9.152.077,43 USD
- Elektrik satış fiyatının %10 azalması durumunda NBD 7.359.047,56 USD

- Hammadde ve Ürün dağıtım maliyetinin %10 artması durumunda NBD 8.150.351,12 USD
- Hammadde ve Ürün dağıtım maliyetinin %10 azalması durumunda NBD 8.427.182,38 USD

Biyogaz fizibilitesinde gelirlerin arttırılıp giderlerin azaltılması ile net bugünkü değerde artmaktadır. Proje yatırım maliyeti 3.640.000 USD olup yukarıdaki değiştirilen parametrelerin net bugünkü değerine baktığımızda biyogaz yatırımı her durumda kârlı olmaktadır.

Biyogaz tesisi için yapılan iç karlılık oranı hesabında faiz oranı %13 olarak alınmıştır. Faiz oranları tek tek yükseltildiğinde en son %22 olması halinde yatırım zarar etmektedir.

Bir biyogaz tesisi yatırımının gerçekleşebilmesi için yatırım kararının en etkili bir şekilde verilmesi gerekmektedir. Finansal açıdan uygunluğu kontrol edilmelidir. Önceden oluşabilecek riskler değerlendirilmeli ve duyarlılık analizleri yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Alçıçek A., Demirulus H., Çiftlik Gübrelerinin Biyogaz Teknolojisinde Kullanılması, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 1994, **13**(1), 2-3.

Buczowski 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.

Buğutekin A., Atıklardan Biyogaz Üretimini İncelenmesi, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 177994.

Buswell A.M., W.D. Hatfield, (eds.) *Anaerobic Fermentations*, State of Illinois, Dept. of Registration and Education, Div. of the State Water Survey, Urbana, IL, Bull. No. 32, 1-193, 1936.

Çanka Kılıç F., Biyogaz, Önemi, Genel Durumu ve Türkiye'deki Yeri, *Mühendis ve Makine*, 2011, **52**(617), 94-106.

Çetin Ü., Gür K., Çeşitli Organik Atıkların Toprağın Bazı Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkisi, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2011, **25**(3), 9-16.

Çetinkaya M., Karaosmanoğlu F., Biyogaz ve Türkiye İçin Seçenekler, *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 26-28 Mayıs 2004.

Chang J., Kisamore J. L., Development and Assessment of a College Preparatory Session for Hmong Student, University Oklahoma-Tulsa, https://www.researchgate.net/publication/329281246_Development_and_assessment_of_a_college_preparatory_session_for_Hmong_students, (Ziyaret Tarihi: 18 Ocak 2020).

Çolak İ., Bayındır R., & Demirtaş M., Türkiye'nin Enerji Geleceği, *Tünav Bilim Dergisi*, 2008, **1**(2), 36-44.

Cuellar A. D., Webber M. E., Cow power: The Energy and Emissions Benefits of Converting Manure to Biogas, *Environmental Research Letters*, 2008, **3**(3)

Dalkılıç K., Uğurlu A., Biogas Production from Chicken Manure, *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 2013, **10**(1), 14-19.

El-Halwagi M. M., *Biogas Technology, Transfer, and Diffusion: Proceedings of the International Conference Held at the National Research Centre*, Elsevier Applied Science Publishers : Sole Distributor In The USA And Canada, Elsevier Pub. Co, London, 1999.

Eryaşar, A., Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması, Doktora Tezi, Fen bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2007, 223003.

Eyidoğan M., Biyogazın Saflaştırılması ve Motorlu Taşıtlarda Yakıt Olarak Kullanılması, *Makine ve Mühendis*, 2008, **584**(49), 18-24.

Heinzle E., Biwer A. P., Cooney C. L., *Development of Sustainable Bioprocesses: Modeling and Assessment*, John Wiley & Sons, USA, 2007.

Hinds P., Minnesota's Potential for Electricity Production Using Manure Biogas Resources, *Minnesota Department of Commerce State Energy Office*, 2003.

House H., Eng, P., Alternative Energy Sources–Biogas Production. *In Proceedings of the London Swine Conference-today's Challenges-tomorrow's Opportunities*, London, Ontario, 2007 April

İlkılıç C., Deviren H., Biyogaz Oluşumu ve Biyogaz Saflaştırma Yöntemleri, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Türkiye, 150-155, 16-18 Mayıs 2011.

Jenangi L., Short Historical Background on Anaerobic Degestion, *Producing Methane Gas from Effluent*, Adelaide University Diploma in Agricultural Production, Australia, 1981.

Kalinichenko A., Havrysh V., Perebyynis V., Evaluation of Biogas Production and Usage Potential, *Ecological Chemistry and Engineering S*, 2016, **23**(3), 387-400.

Kaplan G., Hayvansal Kaynaklı Biyogaz Üretim Tesislerinde Üretilen Gübrenin Değerlendirilme Methodları ve Fizibiliteye Olan Etkisinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2020, 629786.

Khanal S., Biohydrogen Production: Fundamentals, Challenges, and Operation Strategies for Enhanced Yield, *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications*. USA, 161-187, 2008.

Khataee A., Application of Central Composite Design for the Optimization of Photo-destruction of a Textile Dye Using UV/S2O82-process, *Polish Journal of Chemical Technology*, (2009), **11**(4), 38-45.

Korres N. E., Kiely P. O., Jonathan S. W., Benzie J. A. H., *Bioenergy Anaerobic by Digestion and Wastes: Using Agricultural Biomass and Organic Wastes*, New York, 2013.

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

LANG H. J., Engineering Approach to Preliminary Cost Estimates, *Chemical Engineering*, 1947, **54**(9), 130-133.

Lusk P., *Methane Recovery from Animal Manures the Current Opportunities Casebook*, Washington DC, 1998.

Marchaim U., Biogas Processes for Sustainable Development, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 11-12, 1992.

Menekşe Z. K., Technical- Economic-Environmental Feasibility Analysis of Farm Based Manure and biogas Production in Turkey Based On Defferent Lıvesrock And Red Meat / Milk Demand Scenarios, Gebze Technical University, Gebze Technical University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Gebze, 2019, 581471.

Mutlu S. F., Müh, K., Biyogazın Kırsal Kesimde Kullanımı ve Tasarım Temelleri, *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 2003, 27, 39-41.

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

Ostrem K., Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating the Organic Fraction of Municipal Solid Waste, MS Thesis, Department of Earth and Environmental Engineering, Columbia University, New York, 2004.

Özaydın M., Çoban V., Çağman S., Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Tesisinin Lojistik Maliyetinin Fizibiliteye Etkisi Ve Türkiye Projeksiyonu, *Imascon Bahar Kongresi*, Kocaeli, 698 -705, 26-28 Nisan 2019

Özkan F., Kimyasal Proses ve Tesislerde Maliyet Analizi İçin Bir Veri Tabanı ve Kullanıcı Programı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998, 79104

Özkılıç Ö., Risk Değerlendirmesi Kavramı, *TİSK Yayınları İşveren Dergisi*, Ankara, Haziran 2005.

Öztürk M., Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, 2005, Ankara

Peters M. S., Timmerhaus K. D., West R. E., Cost Estimation, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, McGraw-Hill, New York, 150-215, 1991.

Pike, Richard, Neala, Bill, *Corporate Finance and Investment Decisions and Strategies*, Third Edition, Prentice Hall Inc, New York, 1999.

Pikler B. V., Sustainable Investment Decision Making for Biogas Plants in Hungary and the Utility Cost Reduction Measure. – In: Voszka, É. and Kiss, G. D. (eds.) *Crisis Management and the Changing Role of the State, Szeged: University of Szeged Doctoral School in Economics*, 2014, 157-170.

Rajeshwari K. V., Balakrishnan M., Kansal A., Lata K., Kishore V. V. N. , State-of-the-art of Anaerobic Digestion Technology for Industrial Wastewater Treatment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2000, **4**(2), 135-156.

Sarıaslan H., *Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi*, Turhan Kitabevi, 3. Baskı, Ankara, 1997.

Sözer S., Yıldız, O., Sığır Gübresi ve Peynir Altı Suyu Karışımlarından Biyogaz Üretimi Üzerine Bir Araştırma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2006, **19**(2), 179-183.

Speece R. E., Oxygen Supplementation by U-Tube to the Tombigbee River, *Water Science and Technology*, 1996, **34**(12), 83-90.

Stafford D. A., Hughes, D. E., Energy from the Biomass, 3. *International Conference on Future Energy Concepts*, London, UK, 1981.

Taşyürek M., Acaroğlu M., Kahraman A., The Effects of Storage Conditions on Viscosity of Biodiesel, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2010, **32**(7), 645-656.

TÜGİAD, <https://tugiad.org.tr/faaliyet-raporlari?year=2014> (Ziyaret Tarihi: 20 Aralık 2019).

TUİK, <http://www.tuik.gov.tr/Start.do>, (Ziyaret Tarihi: 12 Nisan 2019).

Uçkun N., Girginer N., Yatırım Projeleri Riskinin Belirlenmesinde Duyarlılık Analizi: Özel Bir Sağlık Kuruluşu Yatırım Projesi Üzerinde Örnek Bir Uygulama, *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 2006, (32), 1-11.

Ünlü B., ÇMO İstanbul Şubesi, LPG İstasyonlarındaki İş Sağlığı ve Güvenliği Sorumlu Müdür Eğitimi Notları, 2014.

URL-1: <http://www.bioenergyconnect.net/index.php>, (Ziyaret tarihi: 24 Haziran 2020).

URL-2: <http://www.altacaenerji.com/biyogaz/ana-bilesenler/>, (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2020).

URL-3: <https://www.etaekipman.com/urunler/biyolojik-desulfurizasyon-sistemi>, (Ziyaret tarihi: 23 Kasım 2020).

URL-4:

https://www.serka.gov.tr/assets/upload/dosyalar/ardahan_biyogaz_nihai_fizibilite_raporu_kasim2013.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Eylül 2020).

URL-5: <https://fizibiliteraporu.com/biyogaz-enerji-uretim-tesisi-yatirim-fizibilitesi/> (Ziyaret Tarihi: 12 Temmuz 2020).

URL-6: <https://tr.investing.com/central-banks/> (Ziyaret Tarihi: 10 Aralık 2020).

World Bioenergy Association, “WBA fact sheet: BIOGAS – An Important Renewable Energy Source,” 2013.

Yaldız O., Sözer S., Farklı Büyüklükteki Biyogaz Tesislerinde Sabit Yatırım ve Enerji Üretimi Maliyet Hesabı, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2005, **1**(3), 213-220.

YEGM, www.yegm.gov.tr, (Ziyaret Tarihi: 21 Mart 2019).

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası, <http://bepa.yegm.gov.tr>, (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2019).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Tuna S., Çoban V., Çağman S., Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Tesisinin Gübre Satışına Yönelik Risk ve Duyarlılık Analizi, *Imascon Bahar Kongresi*, Kocaeli, 725-731, 26-28 Nisan 2019



ÖZGEÇMİŞ

Aydın Atatürk Anadolu Lisesi'nde, lise öğrenimini tamamladı. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında eğitimine Kocaeli Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans ile devam etti. Çalışma hayatına 2019 yılında Energy Pool Turkey'de Enerji Ticareti Departmanında başladı. Şu anda Enerji Ticaret Uzmanı pozisyonunda görev yapmaya devam etmektedir.