

**TRA2/18/TD/001
PROJESİ**

**SARIKAMIŞ VE ARPAÇAY İLÇELERİNDE BİYOGAZ TESİSİNİN
KURULMASINA YÖNELİK ÖN ARAŞTIRMA RAPORU**

Ersis Enerji Mühendislik Müşavirlik İnşaat Ltd. Şti.

www.ersisenerji.com.tr

Mustafa Kemal Mah. 2140. Cad.

No:1/19 06520, Çankaya-Ankara

Tel: 0312 428 38 50

“Bu rapor Serhat Kalkınma Ajansı’nın desteklediği “TRA2/18/TD/001 Projesi” kapsamında hazırlanmıştır. İçerik ile ilgili tek sorumluluk Ersis Enerji Mühendislik Müşavirlik İnşaat Ltd. Şti.’ne aittir ve Serhat Kalkınma Ajansı’nın görüşlerini yansıtmaz.”

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	4
YÖNETİCİ ÖZETİ	5
1. GİRİŞ.....	9
2. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ DURUMU	10
2.1. MEVZUAT DEĞERLENDİRMELERİ.....	12
2.1.1. 5346 SAYILI YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ AMAÇLI KULLANIMINA İLİŞKİN KANUN.....	13
2.1.2. ÇEVRE MEVZUATI – ÇED SÜRECİ	14
2.1.3. 29498 SAYILI MEKANİK AYIRMA, BİYOKURUTMA VE BİYOMETANİZASYON TEBLİĞİ.....	14
2.2. TEŞVİK, HİBE VE DESTEKLER	15
3. BİYOGAZ.....	15
3.1. BİYOGAZ NEDİR?.....	15
3.2. BİYOGAZIN TARİHÇESİ	16
3.3. BİYOGAZDA KULLANILACAK HAMMADDE KAYNAKLARI VE VERİMLERİ.....	17
3.4. BİYOGAZIN ISIL DEĞERİ.....	19
3.5. BİYOGAZ ÜRETİMİ.....	20
3.6. BİYOGAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN ANA EKİPMANLAR.....	22
3.7. BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN TEMEL KRİTERLER	26
3.8. BİYOGAZ VE YAN ÜRÜNLERİN KULLANIM ALANLARI	29
3.9. KOJENERASYON	30
3.10. BİYOGAZIN DÜNYA GENELİNDE KULLANIMI	31
3.10.1. AVRUPA'DA BİYOGAZ ENERJİSİNDEN YARARLANMA DURUMU	31
3.10.2. TÜRKİYE'DE BİYOGAZ ENERJİSİNDEN YARARLANMA DURUMU.....	33
4. KARS İLİNE GENEL BAKIŞ.....	36
5. KARS İLİ HAYVANCILIK FAALİYETLERİ.....	38
6. SARIKAMIŞ İLÇESİ BİYOGAZ YATIRIMINA UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ	39
6.1. SARIKAMIŞ İLÇESİ HAYVANCILIK VERİLERİ.....	41
6.2. SARIKAMIŞ İLÇESİ ATIK PROJEKSİYONU.....	42
6.3. SARIKAMIŞ İLÇESİ ATIK ANALİZ SONUÇLARI.....	45
6.4. SARIKAMIŞ İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ KAPASİTE SEÇİMİ	45
6.5. SARIKAMIŞ İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ KONSEPT TASARIMI.....	47
6.5.1. BOYUTLANDIRMASI	47
6.5.2. ISI İHTİYACI	49

6.5.3.	İŞ AKIM ŞEMASI	50
6.6.	RİSK ANALİZİ	51
6.7.	SARIKAMIŞ İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ YER SEÇİMİ	52
6.8.	ATIK TOPLAMA STRATEJİSİ	53
6.9.	EKONOMİK MODEL ÇALIŞMASI (FAYDA-MALİYET ANALİZİ, PROJENİN YAPILABİLİRLİĞİ)	53
6.10.	PROSES TARİFİ	58
6.11.	TESİS ÖN TASARIM VE BOYUTLANDIRMASI	59
7.	ARPAÇAY İLÇESİ BİYOGAZ YATIRIMINA UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ	67
7.1.	ARPAÇAY İLÇESİ HAYVANCILIK VERİLERİ	69
7.2.	ARPAÇAY İLÇESİ ATIK PROJEKSİYONU	70
7.3.	ARPAÇAY İLÇESİ ATIK ANALİZ SONUÇLARI	72
7.4.	ARPAÇAY İLÇESİ BİYOGAZ POTANSİYELİ	73
7.5.	ARPAÇAY İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ KONSEPT TASARIMI	74
7.5.1.	BOYUTLANDIRMASI	74
7.5.2.	ISI İHTİYACI	76
7.5.3.	İŞ AKIM ŞEMASI	78
7.6.	RİSK ANALİZİ	79
7.7.	ARPAÇAY İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ YER SEÇİMİ	80
7.8.	ATIK TOPLAMA STRATEJİSİ	81
7.9.	EKONOMİK MODEL ÇALIŞMASI (FAYDA-MALİYET ANALİZİ, PROJENİN YAPILABİLİRLİĞİ)	82
7.10.	PROSES TARİFİ	87
7.11.	TESİS ÖN TASARIM VE BOYUTLANDIRMASI	88
8.	SONUÇLAR	97
9.	KAYNAKLAR	100
10.	EKLER	101

KISALTMALAR

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
B.B.	Büyükşehir Belediyesi
BMP	Biyokimyasal Metan Potansiyeli
C/N	Karbon/Azot
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPLY	Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği
FAVÖK	Faiz Amortisman ve Vergi Öncesi Kâr
KDV	Katma Değer Vergisi
KM	Kuru Madde
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
LUT	Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik
LUY	Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
PTD	Proje Tanıtım Dosyası
ROI	Yatırım Geri Dönüş Oranı
MTEP	Milyar Ton Eşdeğer Petrol
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UKM	Uçucu Kuru Madde
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
ppm	milyonda bir birime verilen isim (parts per million)
m/s	metre/saniye
m²	metrekare
m³	metreküp
lt	litre
kg	kilogram
kcal	kilokalori
km²	kilometrekare
\$	ABD Doları
\$_¢	ABD Dolar sent
MWe	Megavat (elektrik)
MW	Megavat
kWe	Kilovat (elektrik)
kW	Kilovat
kWh	Kilovatsaat
MWh	Megavatsaat
GWh	Gigavatsaat

YÖNETİCİ ÖZETİ

Bu rapor, Kars'ın Sarıkamış ve Arpaçay İlçelerinde Biyogaz Tesisinin Kurulmasına Yönelik Ön Araştırma niteliğinde olup, bu ilçelerdeki hayvancılık işletmelerinden kaynaklanan hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz ve eşdeğer elektrik enerjisi miktarının belirlenmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Bölgede bir biyogaz tesisi kurulursa; hayvansal atıklar değerlendirilip elektrik enerjisine çevrilerek milli ekonomiye katkı sağlanırken, aynı zamanda hayvancılık ve tarım faaliyetlerinin uluslararası standartlara sahip olmasına ve çevresel sorunların çözümüne de katkı sağlayacaktır. Bu amaçla:

- Her iki ilçede hayvansal atıklardan oluşan biyogaz ve metan miktarına dair kapasite analizi
- Atık projeksiyonu ve kimyasal içeriğinin analizi
- Biyogaz tesisleri ile ilgili ulusal mevzuat, teşvik, hibe ve destekler
- Kurulacak biyogaz tesisinin:
 - Boyutlandırılması
 - İş akım şeması
 - Fayda-maliyet analizleri (finansal, ekonomik, sosyal)
 - Risk analizleri
 - Beklenen Sonuçları/Çıktıları
 - Girdi ihtiyacı (insan gücü, organizasyon, teknik yardım, atık miktarı vb.)
 - Yatırım maliyeti
 - Yatırım sonrası gelir ve giderler
 - Mal veya hizmetlerin satış/pazarlama programı
 - Projenin yapılabilirliği ve sürdürülebilirliği

bilgilerinin elde edilmesi ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalar kapsamında Sarıkamış ve Arpaçay İlçe Tarım Müdürlükleri ile tesis kurulması öngörülen bölge çevresindeki ilçe merkezi, mahalle ve köyler ziyaret edilmiştir. 2017 TÜİK verilerine göre Sarıkamış'ta büyükbaş hayvan sayısı 59.915 iken Arpaçay'da büyükbaş hayvan sayısı 57.991'dir. Biyogaz tesisi kurulması planlanan bölge için atık alımı gerçekleştirilmesi planlanan bölgelerdeki büyükbaş hayvan kapasiteleri ise Sarıkamış için 15.700 iken Arpaçay için 8.200'dür. Biyogaz tesisi çıktılarından biri olabilecek atık ısının, bölgelerde yer alan Kütük Ev işletmelerinde değerlendirilerek bu işletmelerin ısı ihtiyacının karşılanması için Kütük Ev işletmelerine en yakın noktalardaki atık miktarları dikkate alınmıştır. Yatırım maliyetleri de göz önüne alınarak, Sarıkamış bölgesi için uygun santral gücü olarak 400 kW kapasite, Arpaçay bölgesi için uygun santral gücü olarak 250 kW kapasite seçilmiştir. Önerilen kapasitelerin yakalanması için, Sarıkamış'ta planlanan tesiste günlük yaklaşık 102,5 ton atık 3.548 m³/gün biyogaza (400 kW elektrik üretimi, 391.552 \$/yıl elektrik satış geliri) dönüştürülebilecekken, Arpaçay'da ise günde yaklaşık 54 ton atık 2.287 m³/gün biyogaza (250 kW elektrik üretimi, 244.720 \$/yıl elektrik satış geliri) dönüştürülebilir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda Sarıkamış ve Arpaçay ilçelerinde kurulacak tesisler için ekonomik model çalışması da hazırlanmıştır. Buna göre;

- Sarıkamış ilçesinde çalışılan bölgede 890 kW kapasiteli bir biyogaz tesisini çalıştırabilecek 83.220 ton/yıl atık mevcuttur. Uygulanabilir kapasite olarak 400 kW kapasiteli bir biyogaz tesisi önerilmiştir. Bu durumda 400 kW kapasiteli bir biyogaz tesisi kurulmak istendiğinde tesis yatırım bedeli 965.000 ABD Doları olacaktır. Kurulacak tesisin atık taşıma maliyeti, personel giderleri, idari giderleri, bakım ve onarım giderleri, sigorta giderleri gibi işletmesel giderleri hesaplandığında ise yıllık 193.867 ABD Doları toplam giderinin olacağı öngörülmüştür. 400 kW kapasiteli bir biyogaz tesisinin %8'lik iç tüketiminin çıkarılması sonucunda kalan satılabilir elektrik enerjisi yıllık 2.944.000 kWh olacaktır. Yenilenebilir Enerji Kanunu (YEK) kapsamında kW başına 13,3 ABD Dolar_ç'lik 10 yıl alım garantisi ile elde edilecek elektrik geliri yıllık 391.552 ABD Doları olacaktır. Gübre satışından yıllık 180.000 ABD Dolarının üzerinde gelir elde edilebileceği gibi, bölgedeki çiftçilerin desteklenmesi ve tarımsal faaliyetlere katkı sağlanması amacıyla bu gelirden vazgeçilecektir. Yapılan saha çalışmasında da, atık temin edecek köylülerin bu gübreyi geri almaları yönünde bir taleplerinin olduğu görülmüştür. Bu sebeple gübre satışı üzerinden bir gelir öngörülmemiştir. Tesis faaliyete geçtikten sonra ilerleyen yıllarda farklı bir gübre politikası belirlenebilecektir. Bu durumda biyogaz tesisinin geri ödeme süresi 4,9 yıl olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca, tesisin üreteceği satılabilir yıllık elektrik enerjisi olan 2.944.000 kWh ile yaklaşık 850 konutun elektrik ihtiyacı karşılanabilecektir.
- Arpaçay ilçesinde çalışılan bölgede 550 kW kapasiteli bir biyogaz tesisini çalıştırabilecek 43.400 ton/yıl atık mevcuttur. Uygulanabilir kapasite olarak 250 kW kapasiteli bir biyogaz tesisi önerilmiştir. Bu durumda 250 kW kapasiteli bir biyogaz tesisi kurulmak istendiğinde tesis yatırım bedeli 740.000 ABD Doları olacaktır. Kurulacak tesisin atık taşıma maliyeti, personel giderleri, idari giderleri, bakım ve onarım giderleri, ısıtma giderleri, sigorta giderleri gibi işletmesel giderleri hesaplandığında ise yıllık 141.075 ABD Doları toplam giderinin olacağı öngörülmüştür. 250 kW kapasiteli bir biyogaz tesisinin %8'lik iç tüketiminin çıkarılması sonucunda kalan satılabilir elektrik enerjisi yıllık 1.840.000 kWh olacaktır. YEK kapsamında kW başına 13,3 ABD Dolar_ç'lik 10 yıl alım garantisi ile elde edilecek elektrik geliri yıllık 244.720 ABD Doları olacaktır. Gübre satışından yıllık 150.000 ABD Dolarının üzerinde gelir elde edilebileceği gibi, bölgedeki çiftçilerin desteklenmesi ve tarımsal faaliyetlere katkı sağlanması amacıyla bu gelirden vazgeçilecektir. Yapılan saha çalışmasında da, atık temin edecek köylülerin bu gübreyi geri almaları yönünde bir taleplerinin olduğu görülmüştür. Bu sebeple gübre satışı üzerinden bir gelir öngörülmemiştir. Tesis faaliyete geçtikten sonra gübre politikası belirlenebilecektir. Bu durumda biyogaz tesisinin geri ödeme süresi 7,1 yıl olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca, tesisin üreteceği satılabilir yıllık elektrik enerjisi olan 1.840.000 kWh ile yaklaşık 510 konutun elektrik ihtiyacı karşılanabilecektir.

Rapora konu tesislerden Sarıkamış ilçesi için planlanan tesis, 25.11.2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak yürürlüğe giren Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliğinde; dışkı işleme kapasitesi Ek-I “Çevresel Etki Değerlendirmesi Uygulanacak Projeler Listesi”nde; Madde 17 “Günlük kapasitesi 100 ton ve üzeri hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklı dışkıların yakıldığı, geri kazanıldığı ve/veya bertaraf edildiği tesisler” Madde 11 “İnşaat yıkıntı ve hafriyat atıkları hariç olmak üzere alanı 10 hektardan büyük ve/veya hedef yılı da dâhil günlük 100 ton ve üzeri olan atıkların geri kazanıldığı, yakıldığı (oksitlenme yoluyla yakma, piroliz, gazlaştırma, plazma vb. termal işlemler) düzenli depolandığı ve/veya nihai bertarafının yapıldığı tesisler” sınıfında yer almaktadır. Rapora konu tesislerden Arpaçay ilçesi için planlanan tesis ise, Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği, Ek-II “Seçme ve Eleme Kriterleri Uygulanacak Projeler Listesi”nde; Madde 29 “Kapasitesi 1-100 ton/gün arasında olan, hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklı dışkıların yakıldığı, geri kazanıldığı ve/veya bertaraf edildiği tesisler” sınıfında yer almaktadır. Bunun yanı sıra, Arpaçay ilçesi için düşünülen tesis yerinin Çıldır Gölü yakınında bir bölgede olması sebebiyle 04.04.2014 tarihli ve 28962 sayılı Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği kapsamında da değerlendirilmelidir. Bu yönetmelik kapsamında göl kıyısından en az 5 km’lik tampon bölge içerisinde yönetmeliğin Ek-2 kapsamına giren “Metan gazının çıkarılması ve depolanması” neticesinde biyogaz tesisi için Ekosistem Değerlendirme Raporu hazırlanması ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından onaylanması gerekmektedir. Bununla birlikte Arpaçay Kütük Ev İşletmesi, bölge için turizm açısından önemli bir tesistir. Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği, koku probleminin yaşanabileceğini dikkate alarak tesis sınırının yerleşim alanlarına en yakın mesafesinin 250 metre olması gerekliliğini getirmiştir. Arpaçay için düşünülen biyogaz tesisinin koku problemi yaratmaması için, Arpaçay’da yer seçimi için önerilen alan tebliğde belirtilen bu sınırın 3 katı olan 750 m’nin üzerine çıkarılmıştır. Buna ek olarak tesiste koku problemine yönelik biyofiltre kullanılarak koku kaynağında engellenecektir. Bu sebeple kurulacak biyogaz tesisi, Arpaçay Kütük Ev işletmesi için koku açısından bir problem teşkil etmeyecektir. Sarıkamış ilçesinde kurulacak biyogaz tesisi için önerilen bölgenin Sarıkamış Kütük Ev İşletmesine olan uzaklığı ise 2 km’nin üzerindedir. Bu sebeple Sarıkamış’ta da koku açısından bir problem yaşanmayacaktır.

Elektrik piyasası mevzuatına göre¹, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik santrallerini desteklemek amacıyla oluşturulan mekanizma sayesinde, biyokütleyi yakıt olarak kullanan santrallerin, kurulduktan sonraki 10 yıl boyunca 133 ABD Doları/MWh sabit tarife fiyatı üzerinden elektrik satışı gerçekleştirmeleri garanti altına alınmaktadır. Yenilenebilir enerji olması nedeniyle EPDK ve ilgili mevzuatlar gereği TEİAŞ/TEDAŞ-EDAŞ bu tür tesislerde bağlantı önceliği vermektedir. Bununla birlikte planlanan tesisler 1 MW altı yenilenebilir enerji üretim tesisi olması sebebiyle elektrik üretim lisansına tabi değildir. Ancak, bağlantı koşulları gereği bağlanması gereken hattın bağlanabilirlik durumunun göz önüne alınması gerekmektedir. Bu kapsamda, biyogaz enerji santrali projeleri; Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği “Genel hükümler Madde 5, Proje onayı müşterek hükümler Madde 6, “Termik, katı-sıvı-gaz yakıtlı, buhar santraller” Madde 17 ” ile Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik (LUY) ve Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ (LUT) hükümlerine göre hazırlanmalıdır. TEİAŞ; bu Tebliğin yayımı tarihinden itibaren Yönetmelik ve bu

¹ 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik

Tebliğ kapsamında 4 üncü maddenin birinci fıkrasının (c) bendi çerçevesinde kurulacak, kurulu gücü 1000 kW_e'a kadar olan tesisler için, üretim tesislerinin bağlanacağı TEİAŞ'a ait her bir trafo merkezi için toplam bağlanabilir üretim tesisi gücünü belirleyerek ilgili dağıtım şirketi veya OSB dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiye bildirir. Ancak, biyogaz/biyokütle tesisleri bu kapsam dışında değerlendirilmekte, güneş ve rüzgar santralleri gibi bir kapasite sınırı uygulanmamaktadır. Bu da biyogaz yatırımı için önemli bir destek niteliğindedir.

Sarıkamış ve Arpaçay ilçeleri için yapılan çalışmalara ek olarak, bölgedeki mandıra potansiyeli de dikkate alınarak daha sonra gündeme gelebilecek bir çalışma için ön bilgi sağlaması açısından Kars OSB'de yer alan mandıralardan peynir altı suyu numunesi alınmış ve Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde analizleri yaptırılmıştır. Analiz sonuçları Ek-3'te verilmiş olup, biyogaz verimi açısından oldukça yüksek değerler gözlemlenmiştir. Peynir altı suyuna ait yapılan hesaplamalar doğrultusunda ise günlük 100 ton peynir altı suyunun üreteceği biyogazın, 540 kW elektrik üretimi sağlayabileceği belirlenmiştir. Ancak kuru madde oranının düşük olması sebebiyle, uygulanabilir bir biyogaz tesisi işletilmesi amacıyla günlük yaklaşık 50 ton büyükbaş hayvan atığı ile karıştırıldığı takdirde, yaklaşık 750 kW'lık bir biyogaz tesisi kurulabilecek kapasite yakalanabilir.

Gerek dünyada gerekse Türkiye'de bu tür tesislerin artarak çoğalması, kurulum ve işletme tecrübesi açısından avantajlı bir durum oluşturmakta, çevre için problem yaratan atık kaynaklarının bertarafına da önemli bir katkı sağlamaktadır.

1. GİRİŞ

Bu rapor, Serhat Kalkınma Ajansı'nın yürütmüş olduğu 2018 yılı Teknik Destek Programı 1. Dönemi kapsamında İl Özel İdaresi'nin faydalanıcısı olduğu "Sarıkamış ve Arpaçay İlçelerinde Biyogaz Tesisinin Kurulmasına Yönelik Ön Araştırma" başlıklı ve TRA2/18/TD/001 referans numaralı faaliyet kapsamında ERSİS Enerji Mühendislik Müşavirlik İnşaat Ltd. Şti. tarafından hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, Sarıkamış ve Arpaçay ilçelerindeki potansiyeller dikkate alınarak, tesisten çıkabilecek atık sıcak suyun Kütük Evlerde kullanılması amacıyla tesis yer seçimi Kütük ev işletmelerine yakın yapılarak civarındaki potansiyel hayvancılık faaliyetleri araştırılmıştır. Bu kapsam, yakın ilçe merkezleri ve köylerde, hayvan ve atık miktarları ile işletme koşulları yerinde inceleme yapılarak belirlenmiştir. Ayrıca, Sarıkamış için atık su arıtma tesisi, hayvan pazarı, mezbahane gibi diğer atık kaynakları da araştırılmıştır. Her iki ilçeden de alınan hayvan atığı numunelerinin analizleri yapılmıştır. Yapılan saha ziyaretleri kapsamında, raporun hazırlanmasının sebebi olan biyogaz tesisi kurulumuna yönelik ön verilerin toplanması amaçlanmıştır.

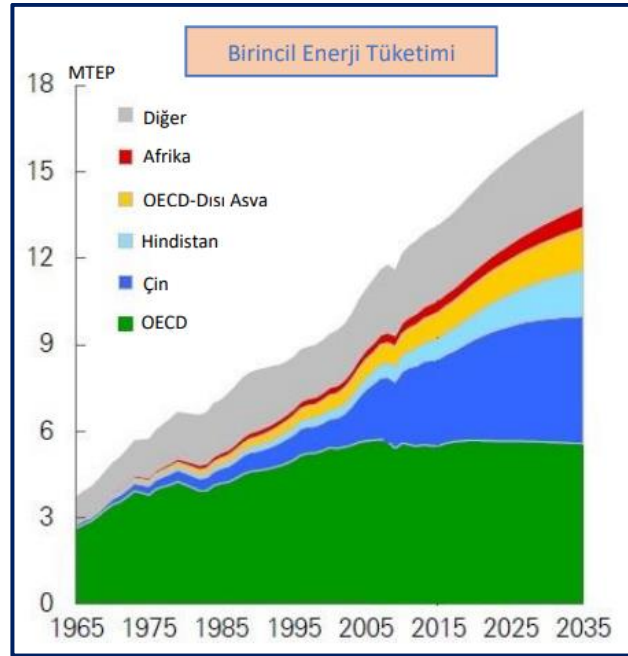
Raporda, işletme çevresindeki köylerde ve mahallelerdeki mevcut hayvancılık durumu ve biyogaz potansiyellerinin belirlenmesi gibi konu başlıklarına yer verilmiştir. Bu kapsamda sunulacak bilgiler aşağıda listelenmiştir:

- İlçelerdeki hayvancılık verilerinin değerlendirilmesi ve mevcut durum belirlenmesi
- Atık projeksiyonlarının yapılması
- Atık analiz sonuçlarının değerlendirilmesi
- Atık toplama stratejilerinin belirlenmesi
- Biyogaz potansiyelinin belirlenmesi
- Biyogaz tesisi konsept tasarımının yapılması
- Madde akış şemasının çizilmesi
- Ekonomik model çalışması, fayda-maliyet analizi, risk analizi ve beklenen sonuçları

Yukarıda belirtilen bilgiler ışığında projenin yapılabilirliği ve sürdürülebilirliği belirlenecektir.

2. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ DURUMU

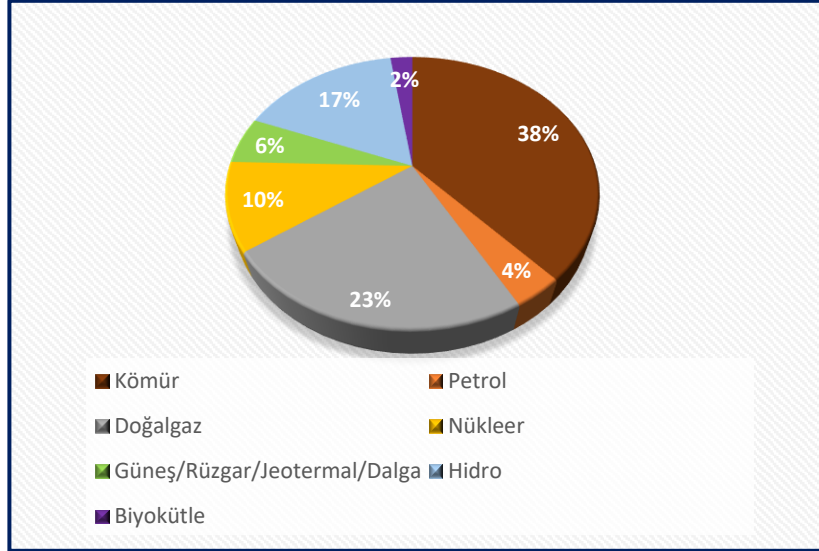
Gelişmekte olan ülkelerdeki kentsel gelişme, sanayileşme ve hızlı nüfus artışı ile doğru orantılı olarak enerji talebi de sürekli bir artış eğilimi göstermektedir. Bu bakımdan, enerji üretimi ve kullanımı, bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınmışlığının ya da kalkınma potansiyelinin doğrudan göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu kapsamda, endüstriyel gelişmelerin, yaşam standartlarındaki yükselişin ve artan nüfusun ihtiyaç duyduğu enerjinin yeterli ve güvenilir şekilde sağlanması önemli bir gerekliliktir. Dünya nüfusunun 2040 yılına geldiğimizde 1,6 milyarlık bir artış göstererek 9 milyar seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu durum, daha fazla insana enerji arzının sağlanması gerekeceği anlamına gelmektedir. Dünyada birincil enerji (fosil yakıt, hidrolik enerji, güneş enerjisi, biyokütle, jeotermal enerji gibi herhangi bir enerji dönüşümünden henüz geçmemiş enerji) arzının 1965 ve 2035 yılları arasındaki gelişimi Şekil 2.1'de verilmiştir. Görüldüğü üzere, dünyadaki birincil enerji tüketimi 1965-2015 yılları arasındaki 50 yıllık süre içerisinde 3 katını aşarak 14 MTEP'e ulaşmıştır. 2035 yılı için tahmin edilen değer ise 18 MTEP'e ulaşmasıdır.



Şekil 2.1. Dünya birincil enerji tüketimi [20]

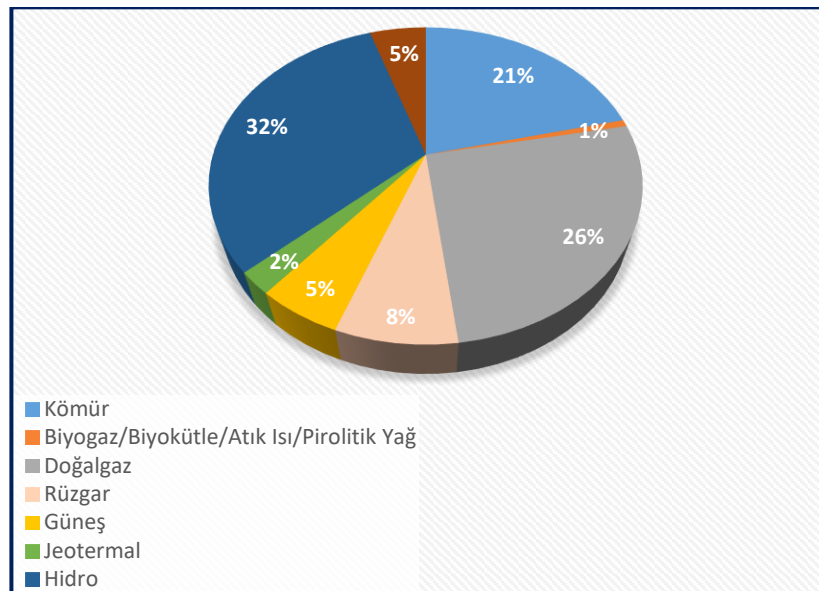
Uluslararası Enerji Ajansı'nın yapmış olduğu çalışmalara göre şu anda 14 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) olan dünya birincil enerji talebi (mevcut enerji tüketim hızı ve politikaları devam ettiği takdirde) önümüzdeki 20 yıl içerisinde %45 oranında bir artış ile 20,3 Milyar TEP seviyelerine ulaşacaktır. En fazla enerji tüketen ülkeler arasında ilk sırayı Çin, ikinci sırayı ABD, üçüncü sırayı ise Hindistan almaktadır. Türkiye ise 2015 yılı sonu itibarıyla 129,3 Milyon TEP birincil enerji tüketimi ile 19. sırada yer almaktadır.

Enerji arzındaki gelişmeye paralel olarak, elektrik üretimi ve enerji tüketiminde büyük bir artış meydana gelmektedir. 2016 yılı itibarı ile Dünya'daki elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı; %38'i kömür, %4'ü petrol, %23'ü doğalgaz, %10'u nükleer, %17'si hidrolik enerji, %6'sı Güneş/Rüzgar/Jeotermal/Dalga, %2'si ise Biyokütle şeklindedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Dünya'da elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı [20]

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2017 yılında bir önceki yıla göre %5,6 artarak 294,9 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %7,7 oranında artarak 295,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılı ilk yarısı sonu itibarı ile ise kurulu gücümüzün %32'si hidrolik enerji, %26'sı doğal gaz, %21'i kömür, %8'i rüzgâr, %5'i güneş, %1'i jeotermal, %1'i Biyogaz/Biyokütle/Atık Isı/Pirolitik Yağ ve %5'i ise diğer kaynaklardan elde edilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Türkiye'de elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı [13]

Türkiye’de ve Dünya’da sürekli olarak artan nüfusun ve gelişen sanayinin artan enerji ihtiyacı ve bu ihtiyacın günümüzde büyük ölçüde fosil kaynaklardan karşılandığı gerçeği; buna karşın fosil yakıt rezervlerinin kısıtlı oluşu, bu nedenle enerji fiyatlarında yaşanan artışlar, fosil kaynaklara dayalı enerji üretiminin çevresel ve sosyal etkilerinin etkin bir şekilde yönetimindeki teknik, idari ve finansal boyutlar ve ilgili tesislerin işletilmesinin doğal ve beşeri faktörlere bağlı olması, günümüz teknolojilerinin, enerji üretiminde yenilenebilir ve düşük karbon emisyonlu kaynakların kullanımına odaklanmasına neden olmaktadır.

Uluslararası kamuoyu, yakın ve orta gelecekte enerji üretiminde daha sürdürülebilir sistemlerin (örneğin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı sistemler) kullanılmasının önemine dikkat çekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik bir taraftan bilimsel ve teknolojik araştırma ve gelişmeler devam ederken, diğer taraftan dünyanın çeşitli kesimlerinde bu kapsamda gerekli politikalar oluşturulmaktadır. Örneğin, Avrupa Birliği, 2020 yılı itibarı ile enerji ihtiyacının %20’sini yenilenebilir kaynaklardan sağlamaya yönelik politika ve planlar geliştirmiştir.

Avrupa Birliği’ne aday ülke konumunda olan Türkiye de büyüyen ekonomisi ve artan nüfusu ile birlikte artan enerji talebinin temel olarak yenilenebilir enerjiye dayalı alternatif çözümlerle karşılanması sureti ile enerji bağımlılığından kaynaklanan risklerin önlenmesi ve sürdürülebilir bir enerji modelinin geliştirilmesi konusunda kararlılık göstermekte ve politikalar geliştirmektedir. Söz konusu kararlılık ve politikalar doğrultusunda Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin yüksekliğinden hareketle 2023 yılı için bu kaynaklara dayalı elektrik üretimine ilişkin oldukça iddialı hedefler belirlemiştir. Bu kaynakların daha fazla kullanımı ile birlikte 2023 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı en az %30’a yükselecektir.

2.1. MEVZUAT DEĞERLENDİRMELERİ

Kurulması planlanan Biyogaz Enerji Santrali’nden elde edilecek enerji yenilenebilir enerji kapsamında değerlendirilmektedir. Bu nedenle proje kapsamında dikkate alınması gereken en önemli mevzuat 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun’dur. Ayrıca enerjiye ilişkin yasal çerçeve Elektrik Piyasası Kanunu tarafından düzenlenmektedir. Tesislerin aynı zamanda birer atık bertaraf tesisi olması sebebiyle Çevre Mevzuatı da bağlayıcı konumdur. Biyogaz tesislerinin biyokütle kapsamında tabi olduğu, takip edilmesi gereken yasal mevzuatlar aşağıda listelenmiştir:

- Çevre Kanunu (No: 2872)
- Elektrik Piyasası Kanunu (No: 6446)
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanılmasına İlişkin Kanun (No: 5346)
- Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik (02.10.2013–28783)
- Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği (02.11.2013–28809)
- Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ (02.10.2013–28783)
- Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (14.03.1991–20814)

- Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (05.05.2007–26927)
- Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği (25.11.2014–29186)
- Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği (10.10.2015–29498)

Bunlara ek olarak EPDK kurul kararlarının ve ETKB duyurularının da takip edilmesi gerekmektedir. Planlanan tesisler 1 MW altı yenilenebilir enerji üretim tesisi olması sebebiyle elektrik üretim lisansına tabi değildir. Mevzuat gereği bağlantı koşulları açısından bağlanması gereken hattın bağlanabilirlik durumunun göz önüne alınması gerekmesine rağmen biyogaz/biyokütle tesisleri bu kapsam dışında değerlendirilmekte, güneş ve rüzgar santralleri gibi bir kapasite sınırı uygulanmamaktadır. Bu da biyogaz yatırımı için önemli bir mevzuatsal destektir.

2.1.1. 5346 SAYILI YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ AMAÇLI KULLANIMINA İLİŞKİN KANUN

Bu Kanun kapsamına giren yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle için uygulanacak fiyatlar Tablo 2.2.1’de, Yerli Katkı İlavesi fiyatlandırması Tablo 2.2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.1.1. YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim lisansı sahipleri için 10 yıl süre ile uygulanacak fiyatlar

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3

Tablo 2.1.2. YEK Belgeli üretim tesisleri için yerli katkı ilaveleri

II Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2,0
	5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7- Kojenerasyon sistemi	0,4

Mevcut mevzuat uyarınca, 2020 yılı sonuna kadar tamamlanacak yenilenebilir enerji santralleri için geçerli olacak YEKDEM tarifesi 133 ABD Dolar/MWh olarak 10 yıllık alım garantisiyle uygulanmaktadır. Buna ek olarak, tesis imalatının Tablo 2.1.2’de belirtilmiş olan yurt içinde imalatı gerçekleşecek kısımları için Yerli Katkı İlave tarifesi ise santral devreye girdikten itibaren 5 yıl süre ile uygulanmaktadır. Ancak teknoloji ve tedarik güvenilirliği açısından yurt dışı ağırlıklı kabul yapıldığı için yerli katkı ilave tarifesi dikkate alınmamıştır. 2020 yılı olarak belirlenen sürenin uzatılması yetkisi Bakanlar Kurulu uhdesinde olup, bugünlerde bu konuda özellikle biyokütle santralleri için süre uzatımı beklentisi bulunmaktadır.

2.1.2. ÇEVRE MEVZUATI – ÇED SÜRECİ

Projenin gerçekleşebilmesi için öncelikli mevzuat, “projenin yapılabilirliğini çevresel açıdan” irdeleyen ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından olumlu ve/veya olumsuz kararı verilen Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) sürecidir. Ülkemizde ÇED süreci, 25.11.2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren ÇED Yönetmeliği kapsamında yürütülmektedir.

ÇED Yönetmeliği’nde projelerin ÇED yükümlülükleri Ek-1 ve Ek-2 listesindeki faaliyetlere göre farklılık göstermektedir. Ek-1 Listesindeki projeler “ÇED Raporu” hazırlayıp Bakanlığa sunulmakta, Ek-2 Listesindeki projeler ise “Proje Tanıtım Dosyası” (PTD) hazırlanarak Valiliklere sunulmaktadır. Her 2 süreç arasındaki önemli bir fark da Ek-1 sürecinde Halkın Katılımı ve İDK Toplantısı yapılırken, Ek-2 sürecinde yapılmamasıdır. Takriben Ek-1 projelerinin ÇED süreci 6-8 ay, Ek-2 projelerinin süreci ise yaklaşık 2-3 ay sürmektedir.

ÇED Yönetmeliği kapsamında, Sarıkamış için planlanan biyogaz tesisi, ÇED Yönetmeliği Ek-1 (17-Günlük kapasitesi 100 ton ve üzeri hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklı dışkıların yakıldığı, geri kazanıldığı ve/veya bertaraf edildiği tesisler) kapsamına girecektir. Bu durumda Bakanlık seviyesinde ÇED raporu sunularak ÇED Olumlu görüşü alınması gerekecektir. Arpaçay için planlanan biyogaz tesisi ise Ek-2 kapsamında girecek (29- Kapasitesi 1-100 ton/gün arasında olan, hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklı dışkıların yakıldığı, geri kazanıldığı ve/veya bertaraf edildiği tesisler) ve PTD hazırlanarak Valilik aracılığıyla ÇED süreci nihai edilecektir.

2.1.3. 29498 SAYILI MEKANİK AYIRMA, BİYOKURUTMA VE BİYOMETANİZASYON TEBLİĞİ

Bu Tebliğ, biyobozunur atıkların, çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanmasına, düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilecek miktarının azaltılmasına, maddesel veya enerji geri kazanım tesisleri olan mekanik ayırma, biyokurutma ve biyometanizasyon tesislerinin teknik kriterlerine, biyometanizasyon tesislerinde elde edilen fermente ürünün kalite kriterlerine ilişkin usul ve esasları belirlemektedir. Bu Tebliğ, atık işleme tesislerinin genel özellikleri hakkında bilgi vermekle birlikte, ürün ve bakiye atık kullanımı ve özellikleri, sıvı ve katı fermente ürün kalitesi ve kullanımına ilişkin belirleyici maddeler içermektedir.

Tesis tasarımı yapılırken tebliğde belirtilen hususların dikkate alınması gerekmektedir. Bu tebliğin yanı sıra 29292 Sayılı “Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği” hükümleri de kurulacak bir biyogaz tesisi için bağlayıcı niteliktedir. Ancak, 29498 Sayılı Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon tebliği, doğrudan biyogaz özelinde geliştirilen bir mevzuat olduğu için daha ayrıntılı hükümleri mevcuttur.

2.2. TEŞVİK, HİBE VE DESTEKLER

Biyokütle kapsamında değerlendirilen biyogaz tesisleri için en büyük destek yukarıda açıklandığı gibi YEKDEM mekanizmasıdır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı mevzuatları kapsamında bir atık bertaraf tesisi olarak nitelendirilen biyogaz tesisi projeleri, Bakanlık ve İl Müdürlükleri tarafından izin süreçlerinin aşılmasında desteklenen önemli projelerdir. Bu konuda en büyük destek atık sağlama konusunda olup, biyogaz tesisinin devreye girmesi ile Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri yasal gücünü kullanarak atık tedarik sürecine katkı sağlamaktadır. Bu durum, atık tedariği ile ilgili yaşanabilecek sorunlar açısından önemli bir destek niteliğindedir.

Tarım ve Orman Bakanlığı ve Avrupa Birliği ortaklığı ile yürütülen Kırsal Kalkınma Programları çerçevesinde biyogaz tesisi özelinde yapılacak olan yatırımlar için dönemsel hibe ve destekler sağlanmaktadır. Projenin kamusal nitelikli olması ve sosyal ve çevre yönünden sağlayacağı faydalar nedeniyle Avrupa Birliği fonlarından destek alması mümkün olabilir. Bu amaçla ilgili kurumların başvuru esaslarına uygun olarak projenin tanıtılması ve başvurulması yararlı olacaktır.

Bu tür yatırımlar Yatırım Teşvik Belgesi kapsamında yapıldığından KDV, damga vergisi, gümrük vergisi gibi muafiyetlerden faydalanmaktadır.

Bunların yanı sıra, Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), Ziraat Bankası Sübvansiyonlu Kredi, Fransız Kalkınma Ajansı (FKA) Yenilenebilir Enerji Kredisi (Halkbank işbirliği ile) gibi bazı kurum ve kuruluşlar, yenilenebilir enerji projelerinin finanse edilebilmesi için destek mekanizmaları oluşturmaktadır.

3. BİYOGAZ

3.1. BİYOGAZ NEDİR?

Biyokütle kaynaklarından elde edilen bir biyoyakıt türü olan biyogaz, hayvansal ve bitkisel kökenli organik atıkların, oksijensiz (anaerobik) ortamda mikroorganizmalar tarafından biyolojik parçalanması (fermantasyon) sonucunda ortaya çıkan renksiz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan bir gaz karışımıdır. Biyogaz, bataklık gazı veya gübre gazı olarak da bilinmektedir. Biyogaz düşük sıcaklıklarda (-164°C) sıvılaştırılabilmektedir. Bileşiminde kükürtlü bileşiklerin bulunması sebebiyle kokusu çürük yumurta kokusuna benzetilmektedir. Yanma sırasında bu kokusunu kaybetmektedir.

3.2. BİYOGAZIN TARİHÇESİ

Biyogaz 2000-3000 yıl öncesinin eski Çin kayıtlarına kadar dayanmaktadır. İlk olarak Asurlular tarafından M.Ö. 1000 yıllarında kullanılmaya başlanan biyogaz 2000-3000 yıl öncesinin eski Çin kayıtlarında geçmektedir. Plinius (M.S. 23-79) bataklıkların üzerinde titreyerek yanmakta olan alevlerden bahsetmiştir. Jan Baptista Van Helmont (17. yüzyıl) organik maddelerin bozunarak yanıcı gazın üretildiğinden bahsetmekte, 1682 yılında ise Robert Boyle, hayvansal ve bitkisel atıkların çürümesi sonucunda gaz üretimi olduğunu belirtmektedir.

1884 yılında Pasteur, hayvan atıklarından biyogaz elde edebilmek amacıyla bazı çalışmalar yapmış ve at gübresiyle biyogaz elde edilebileceğini ve böylelikle sokak lambalarının yakılabileceğini belirtmiştir. İlk modern biyogaz reaktörü Bombay'da 1859 yılında işletilmeye başlanmış, ilk pratik uygulama ise İngiltere'nin Exeter şehrinde 1895 yılında yapılmıştır. Şehrin kanalizasyonunun toplandığı bir tesiste elde edilen biyogaz sokak lambalarını aydınlatmak için kullanılmıştır.

Biyogaz, 1973–1975 yılları arasında başlayan petrol sıkıntısı ve dünya çapında yükselen enerji fiyatları ile birlikte tekrar gündeme gelerek, gelişmiş ülkeler başta olmak üzere güney ülkeleri ve Doğu Asya ülkelerinde araştırma ve üretim amaçlı ülkelerin kendi koşullarına uygun biyogaz üreteçleri kurulmaya başlanmıştır. Sadece Almanya'da üç yıl içerisinde 58 adet tesis kurulmuş, aynı yıl Avrupa ülkelerindeki tesis sayısı ise 300'ü bulmuştur.

1985–1990 yılları arasında biyogaz tesisi yapımı yavaşlamasına rağmen, 1990 yılından itibaren özellikle Almanya'da enerji yasasındaki değişiklikler ve fermentasyon teknolojisinde gelişmeler ile birlikte, gaz motoru ve jeneratör ikilisinin kolay kullanımı sağlanmış, hidrojen sülfürün (H_2S) gaz içerisinden temizlenebilmesiyle birlikte biyogaz teknolojisinin tekrar kullanılmaya başlanmasına yardımcı olmuştur. 1900-1925 yılları arasında biyogaz dünyada yaygınlaşmaya başlamıştır. Dünya'da kurulu hayvan gübresinden biyogaz elde eden tesislerin % 80'i Çin'de, %10'u Hindistan, Nepal ve Tayvan'da ve geri kalanı diğer ülkelerde kurulmuştur. Hindistan'da toplam nüfusun % 70'inin, Çin'de ise % 80'inin kırsal kesimde yaşamasından dolayı her iki ülkede de kırsal kesim biyogaz sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Çin'de ilk biyogaz tesisi 1936'da, Hindistan'da ilk deneysel tesis 1946'da kurulmuştur. Fakat Hindistan'da bu çalışmaların başlangıcı 1939'a uzanmaktadır.

Biyogaz üretimi için Çin'de yoğun olarak domuz atıkları kullanılırken, Hindistan'da kırsal kesim ailelerinin % 59-80'inin kendi sığırlarına sahip olması sebebiyle önemli ölçüde sığır atıkları kullanılmaktadır. Hindistan'da 1974 yılından başlayan çiftlik tipi tesislerin kurulumunun ardından 1981 yılında başlatılan Ulusal Biyogaz Kalkınma Programına kadar yaklaşık 80 bin biyogaz tesisi mevcutken, 1991 yılında bu rakam 1,67 milyona, 1997 yılında ise 2,7 milyona ulaşmıştır. Bu rakam 1997 yılında 2,7 milyona ulaşmıştır. Ancak mevcut kurulu sistemlerin yaklaşık olarak 1/3'ü yetersiz atık, bakımsızlık ve atıkların ulaştırılmasındaki organizasyon eksiklikleri nedeniyle çalıştırılmamaktadır. Hindistan'da aile tipi biyogaz tesisi potansiyeli 12 milyon olarak tahmin edilmektedir. Çin'de ise çiftlik tipi reaktörlerle ilgili 1960'lı yıllarda yoğunlaşan çalışmalar, 1970'li yılların sonuna doğru orta ölçekli ve endüstriyel tip sistemlerin kurulmasıyla devam etmiştir.

3.3. BİYOGAZDA KULLANILACAK HAMMADDE KAYNAKLARI VE VERİMLERİ

Biyogaz üretiminde kullanılan hayvansal ve bitkisel kökenli atıklar tek başlarına kullanılabileceği gibi, biyogaz üretim sürecinin daha verimli ve sürdürülebilir olması için uygun oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Biyogaz üretiminde kullanılabilecek atık kaynakları aşağıda listelenmiştir.

- **Bitkisel Atıklar:** İnce kıyılmış sap, saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan artıklardır.
- **Hayvansal Atıklar:** Sığır, at, koyun, tavuk gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar, özellikle kırsal kesimler için önerilen biyogaz tesislerinde kullanılmaktadır.
- **Organik İçerikli Şehir ve Endüstri Atıkları:** Atık su arıtma tesisi çamurları; evsel katı atıklar; kağıt endüstrisi atıkları; deri ve tekstil endüstrisi atıkları; peynir altı suyu, zeytin küspesi, meyve posası gibi gıda endüstrisi atıkları çözünmüş organik madde derişimi yüksek atıklar olarak biyogaz üretiminde kullanılmaktadır.

Endüstri ve sanayide kullanılan çeşitli gazlar gibi biyogaz da kendine özgü bazı özelliklere sahiptir. Tipik bir biyogaz bileşimi Tablo 3.3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.3.1 Biyogaz Bileşimi [1]

Madde	Oran (%)
Metan (CH ₄)	50-70
Karbondiyoksit (CO ₂)	30-40
Hidrojen (H ₂)	5-10
Azot (N ₂)	1-2
Su buharı (H ₂ O)	0.3
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	eser miktarda

Biyogaz üretiminde kullanılan bazı atıkların biyogaz verim değerleri ve biyogazdaki metan içerikleri Tablo 3.3.2’de verilmiştir. Ayrıca farklı atık kaynaklarından elde edilen biyogazların özellikleri Tablo 3.3.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3.2’de verilen biyogaz verimleri, ilgili atık türünün 1 ton’u için elde edilebilecek hacimsel biyogaz miktarını (m³) göstermektedir. Ayrıca, metan oranı ise hacimsel olarak üretilen biyogaz miktarı içerisindeki metanın hacimsel oranını göstermektedir. Örneğin; sığır gübresinin verim aralığı 90-310 m³/ton arasında değişmektedir. Yani, 1 ton sığır gübresinden 90-310 m³ biyogaz elde edilebilir. Bu biyogazın %65’ini metan oluşturduğu için 1 ton sığır gübresinden elde edilecek metan ise 58-200 m³’tür. Biyogazdaki metan oranının dışında, oluşacak diğer gaz bileşenlerin oranları da Tablo 2.3.3’de verilmektedir. Bu değerler biyogazın metan dışındaki gazlardan temizlenmesi için ön bilgi sağlayabilecektir. CO₂ salınımları açısından önemli bir fark olmasa da özellikle H₂S açısından (biyogazdan temizlenme maliyetleri) hayvansal atıklar avantajlı görünmektedir. Azot açısından ise tarımsal atıkların kullanımı daha avantajlıdır.

Tablo 3.3.2 Çeşitli atık kaynaklarından elde edilebilecek biyogaz verimleri ve biyogazdaki metan miktarları [1], [16]

Kaynak	Biyogaz verimi (m ³ /ton)	Metan oranı (Hacimce yüzdesi, %)
Sığır gübresi	90-310	65
Kanatlı gübresi	310-620	60
Buğday samanı	200-300	50-60
Çavdar samanı	200-300	59
Arpa samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten, Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze artıkları	330-360	Değişken
Ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80
Peynir altı suyu	30,4 (m ³ /m ³)	72-82

Tablo 2.3.3 Farklı atıklardan elde edilen biyogazların özellikleri [1]

Gaz Bileşeni	Biyogaz Kaynağı			Büyükbaş Hayvan Atığı
	Tarımsal Biyokütle	Arıtma Çamuru	Çöp Deponisi	
CH ₄ (%)	60-70	55-65	45-55	55-65
CO ₂ (%)	30-40	45-35	30-40	30-40
N (%)	<1	<1	5-15	5-10
H ₂ S (ppm)	10-2000	10-40	50-300	50-300

3.4. BİYOGAZIN ISIL DEĞERİ

Biyogaz, diğer gaz formunda bulunan enerji kaynaklarına göre daha düşük enerji içeriğine sahip bir gazdır. Havayla hızla karışabilen ve bu sebeple havadaki oranı düşen bir formdadır. Bu durum, ani patlama ve yanma riskini azaltmakla birlikte, tutuşma sıcaklığının yüksek olması da bu açıdan önemli bir avantaj olarak değerlendirilebilir. İçeriğindeki karbondioksit bileşimi sebebiyle yanma hızı (0,25 m/s) düşüktür. Yanma koşullarının sağlanması için hava içerisinde en az %5 oranında bulunması gerekir. 1 m³ biyogazın yanması için 5,7 m³ hava (soluduğumuz, atmosferik) gereklidir. İdeal bir yanma için bu oranın %20-30 olması gereklidir. Yandığı zaman LPG gazlarda olduğu gibi alev rengi mavi renktir.

Biyogazın ısı değeri bileşimindeki metan oranına bağlı olarak 4.100 – 6.000 kcal/m³ arasında değişir. Normal şartlar altında 1 m³ biyogazın etkili ısısı

- 0,66 litre motorin,
- 0,62 litre gaz yağı,
- 0,75 litre benzin,
- 1,46 kg kömür,
- 3,47 kg odun
- 12,3 kg tezek
- 4,70 kWh elektrik
- 0,43 kg bütan gazının sağladığı ısıya eşittir.

Biyogazın bazı yakıt türleri ile karşılaştırılması Tablo 3.4.1’de verilmiştir.

Tablo 3.4.1. Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması [1], [3], [5]

Yakıt türü	Birim enerji değeri (kcal)	Yanma verimi (%)	Kullanılabilir enerji (kcal)	Biyogaz enerji eşdeğeri
Biyogaz (m ³)	4.760	60	2.800	1
Elektrik (kWh)	860	70	600	4,70
Gazyağı (lt)	9.050	50	4.500	0,62
Bütan (kg)	10.950	60	6.500	0,43
Doğalgaz (m ³)	8.600	90	7.750	0,60
Propan (m ³)	19.050	90	17.100	0,25

Biyogaz, içerdiği metan bileşiminden dolayı doğalgaza benzer özelliklere sahiptir. Doğalgaz göre daha düşük enerji içeriğine sahip olmasına rağmen temiz bir gazdır. İçeriğindeki metan oranının az olması sebebiyle CO₂ salınımı daha düşük olmaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında Ülkemizde doğalgaz ithal edip döviz çıkışı yaşandığından, biyogaz sistemlerinin kullanılması ile cari açık azaltımına katkı sağlanacaktır. Biyogazın kalorifik değeri (enerji içeriği) daha düşük olduğu için yanma sistemleri farklılık göstermektedir. Biyogazın doğalgaz ile teknik özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 3.4.2’de verilmiştir.

Tablo 3.4.2. Biyogaz ve doğalgazın özelliklerinin karşılaştırılması [1]

	Doğalgaz	Biyogaz
Metan oranı (hac. %)	95-98	55-65
Moleküler ağırlığı (kg/molkg)	16,04	26,18
Yoğunluk (kg/m ³)	0,82	1,21
Isıl değer (kcal/m ³)	8.600	4.760
Maksimum tutuşma hızı (m/s)	0,39	0,25

3.5. BİYOGAZ ÜRETİMİ

Biyogaz prosesi anaerobik çürütme yöntemine dayanmaktadır. Anaerobik çürütme her türlü organik atığın enerji çevrim sürecinde kullanılabilen bir yöntemdir. Bütün bitkisel ve hayvansal kaynaklı organik maddeler bakteri olarak adlandırılan organizmalar tarafından çürütülerek bozunmaya uğrar. Bozunma havalı (oksijenli) ortamda gerçekleşirse aerobik bakteri adı verilen bazı bakteriler tarafından, havasız (oksijensiz) ortamda gerçekleşirse anaerobik bakteri adı verilen bazı bakteriler tarafından gerçekleşir. Anaerobik bozunma (çürüme), ölü bitkisel ve hayvansal maddelerin anaerobik bakteriler tarafından bozunmaya uğrayarak gaz parçacıkları çıkarması ile sonuçlanır. Bu kabarcıklar metan, karbondioksit ve hidrojen gazlarıdır. Anaerobik bozunma asit ve maten bakterileri başta olmak üzere farklı mikroorganizmaların da rol aldıkları karmaşık bir biyokimyasal süreçten oluşmaktadır. Anaerobik çürüme büyük hayvanların ve termitlerin sindirim sistemlerinde ve bataklık diplerinde doğal bir süreç olarak gözlemlenir. Bu sebeple biyogaz bataklık gazı olarak da bilinir [17].

Biyogaz üretimi için dört bileşenin olması gerekir;

1. Organik Madde
2. Bakteri
3. Anaerobik Ortam
4. Isı

1. Organik Madde: Metan üreten bakteri için gerekli besin maddesidir. Biyogaz üretimi için gerekli organik maddenin en önemli kaynağı hayvan çiftlikleri ve tarımsal alanlardır. Bunlara ilaveten çöp gibi atıklar ve arıtma tesisi çamuru gibi atıklar da biyogaz üretimi için gerekli organik maddenin kaynaklarıdır.

2. Bakteri: Anaerobik bakteri oksijensiz ortamda organik materyali ayrıştırır veya parçalar ve bir atık ürün olarak biyogazı üretir. Fermantasyon sırasında asit oluşturunca bakterilerle metan oluşturunca bakteriler karşılıklı yardımlaşma halinde yaşamaktadırlar. Asit oluşturan bakterilerin salgıladıkları enzimler, protein ve aminoasitlerinin amonyum tuzları haline dönüşmesini sağlar, metan oluşturan bakteriler azot ihtiyaçlarını bu tuzlardan temin etmektedirler. Metanojenik bakteriler kimyasal reaksiyonu büyük ölçüde etkilemektedirler. Eğer fermantasyonun içindeki bakteriler az ise gaz üretimi de az olur. Fermantasyonun içindeki kimyasal oluşum iki önemli aşamadan meydana gelmektedir. Birincisi bakteriler kompleks organik materyalleri parçalar

(çürütürler), ikincisi parçalanmış organik materyalle metanojenik mikroorganizma adı verilen çeşitli bakteriler üretirler.

3. Anaerobik Ortam: Bitkisel ve hayvansal atıkların içinde bulunan yağ, protein, karbonhidrat ve selüloz gibi maddeler anaerobik (havasız) şartlarda parçalanmaktadır. Parçalanmış olan bu maddeler metan bakterileri tarafından alınarak kullanılır. Bu bakteriler, yaşamları için gerekli olan enerjiyi üretirken oksijene ve karbondioksit ihtiyacı duyarlar.

4. Isı: Sıcaklığın biyolojik sistem üzerine büyük etkileri vardır. Metabolik hızda, iyonizasyon denklemlerinde ve besin maddelerinin çözünürlüğünde sıcaklık önemli bir parametredir.

Biyogaz üretiminin gerçekleştiği organik maddelerin anaerobik fermantasyonu (bozunma) üç temel aşamada gerçekleşir. Bu esnada prosesin bütününe bir olumsuzluğa meyden vermeyecek şekilde gelişmesi için tek tek bozunma aşamalarının birbirleri ile çok uyumlu olması gerekir. Her aşamada, aşamalarla aynı ismi taşıyan bakteri grupları görev almaktadır. İlk aşama olan **“hidroliz”** esnasında hammaddenin kompleks yapıları (örneğin karbonhidratlar, albuminler, yağlar) daha basit organik yapılara (örneğin aminoasitler, şeker, yağ asitleri) dönüştürülür. Buna katılan hidrolitik bakteriler, malzemeyi biyokimyasal olarak parçalayan enzimleri serbest bırakırlar. Oluşan ara ürünler **“asidojeniz aşaması”**nda fermente edici (asit oluşturan) bakteriler tarafından düşük yağ asitlerine, karbondioksit ve amonyakla ayrıştırılır. **Asetojenez**, yani **“asit oluşumu”** aşamasında bu ürünler asetojen bakteriler tarafından biyogazın öncül maddelerine (asetik asit, hidrojen ve karbondioksit) dönüştürülür. Biyogaz oluşumunun son aşaması olan **“metanojeniz (metan oluşumu)”**de, oluşan tüm asitler, hidrojen ve karbondioksit, anaerobik metanojen bakteriler tarafından ayrıştırılarak metana dönüştürülür. Anaerobik fermantasyonun aşamaları Şekil 3.5.1’de görülmektedir.

Yukarıda özetlendiği gibi anaerobik fermantasyonun gerçekleştiği bu dört aşama aşağıdaki gibidir:

- 1) Hidroliz
- 2) Asidojeniz
- 3) Asetik asidin oluşumu (asetojenez)
- 4) Metanın oluşumu (metanojeniz)

1) Hidroliz

Çoğu durumda biyokütle olarak adlandırılan organik atıklar büyük organik polimerlerden oluşur. Anaerobik çürütücülerde bakterilerin maddenin sahip olduğu enerjiye ulaşması için bu dizilerin öncelikle daha ufak ögelere parçalanması gerekir. Bu ögeler ya da şeker gibi monomerler diğer bakteriler tarafından kolaylıkla kullanılabilir. Bu dizileri parçalama ve daha ufak moleküllerin çözelti içinde bozunması sürecine hidroliz denir. Dolayısıyla moleküler ağırlığı yüksek olan bu polimerik bileşenlerin hidrolizi, anaerobik çürümeye gerekli ilk aşamadır. Hidroliz yoluyla karmaşık organik moleküller basit şekerlere, amino asitlere ve yağ asitlerine parçalanır.

2) Asidojeniz

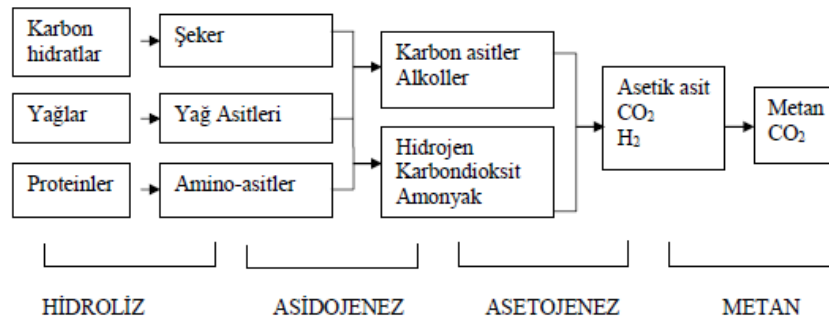
Biyolojik Asidojeniz süreci, kalan bileşenlerin asidojenik (fermente edici) bakteriler tarafından parçalandığı aşamadır. Bu aşamada uçucu yağ asitleri ile birlikte, amonyak, karbondioksit ve hidrojen sülfür de oluşur. Asidojeniz süreci sütun kesilme şekliyle benzerdir.

3) Asetik Asidin Oluşumu (Asetojenez)

Bu aşamada, ikinci aşama sonucunda açığa çıkan ve uçucu yağ asitlerini asetik aside dönüştüren asetojenik (asit oluşturan) bakteri grupları devreye girer ve asidojenez aşamasında oluşan basit moleküller, karbondioksit ve hidrojenin yanı sıra büyük ölçüde asetik asit meydana getirmek üzere asetojenik bakteriler tarafından parçalanır.

4) Metanın Oluşumu (Metanojenez)

Anaerobik çürümenin son aşaması biyolojik Metan Oluşum (Metanojenez) sürecidir. Bu aşamada, metanojenler (metanojenik bakteriler) önceki aşamalarda oluşan ara ürünleri kullanarak bunları metan (CH_4), karbondioksit (CO_2) ve suya (H_2O) dönüştürür. Sistemden yayılan biyogazın büyük bir bölümünü bu bileşenler oluşturur.



Şekil 3.5.1. Biyogaz Üretim Süreci

Anaerobik fermentasyonun son aşamasında devreye giren ve metan oluşumunu sağlayan metan bakterileri, fermentasyon ortamının sıcaklığına göre üç gruba ayrılır. Bunlar;

- 1) Sakrofilik (Psychophilic) Bakteriler : Optimum faaliyet sıcaklığı 5 - 25 °C,
- 2) Mezofilik (Mesophilic) Bakteriler : Optimum faaliyet sıcaklığı 25 - 38 °C,
- 3) Termofilik (Thermophilic) Bakteriler : Optimum faaliyet sıcaklığı 50 – 60 °C,

Sakrofilik bakteriler deniz ve göl diplerindeki tortullar ile bataklıklarda, termofilik bakteriler ise yüksek sıcaklıklardaki volkanik ve jeotermal bataklıklar içerisinde yaşamaktadırlar. Mezofilik bakteriler ise hayvan gübresi içerisinde hali hazırda bulunan ve yaşayan bakterilerdir.

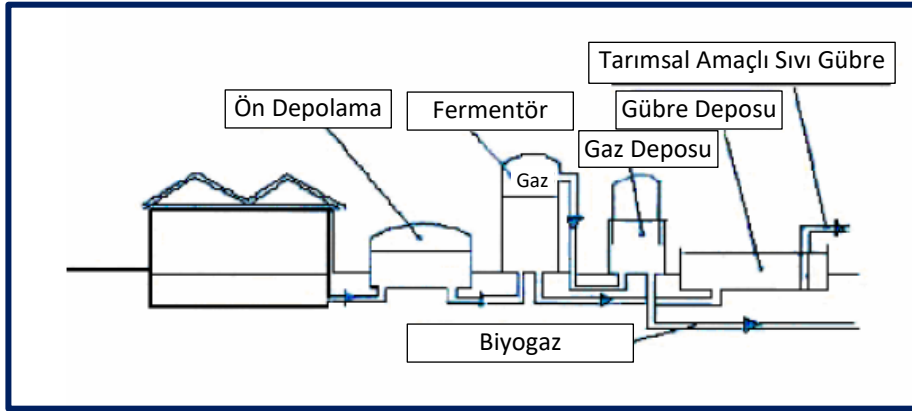
3.6. BİYOGAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN ANA EKİPMANLAR

Modern bir biyogaz tesisinde üç ana organ yer almaktadır. Bunlar:

Fermentör - Sindireç (Organik maddenin doldurulduğu tank depo): Hammadde beslemesinin yapılarak fermentasyon işleminin (anaerobik bozunma, çürüme) gerçekleştiği tanklardır. Beslenen hammadde belirli bir sıcaklıkta, belirli bir süre bu tanklarda tutularak gaz üretimi bu tanklarda gerçekleşmektedir. Hava almayacak şekilde tasarlanan ve içerisinde bir karıştırıcı olan bu tankın içerisine ayrıca bir ısıtıcı yerleştirilmelidir. Biyogazın üretilmesi için fermentör içerisindeki organik madde bulamacının sıcaklığı 35°C'den az olmamalıdır. Fermentör sıcaklığı

düştükçe bakteri aktivitesinin azalmasına bağlı olarak, gaz üretimi de düşmektedir. Ayrıca yine içeriye hava almayacak şekilde fermentöre bir organik madde giriş ve çıkış ağızı yerleştirilmelidir.

Gaz deposu: Büyük kapasiteli tesislerde oluşan biyogazı, bir yerde toplamak ve gaz basıncının sabit kalmasını sağlamak için kullanılan depo kısmıdır. Fermentör üzerinden alınan gaz bir boru ile bu depoya taşınarak buradan kullanıma gönderilir. Kullanım fazlası depoda kalır. Şekil 3.6.1 ve Şekil 3.6.2’de bir biyogaz tesisi ve akış şeması görülmektedir.



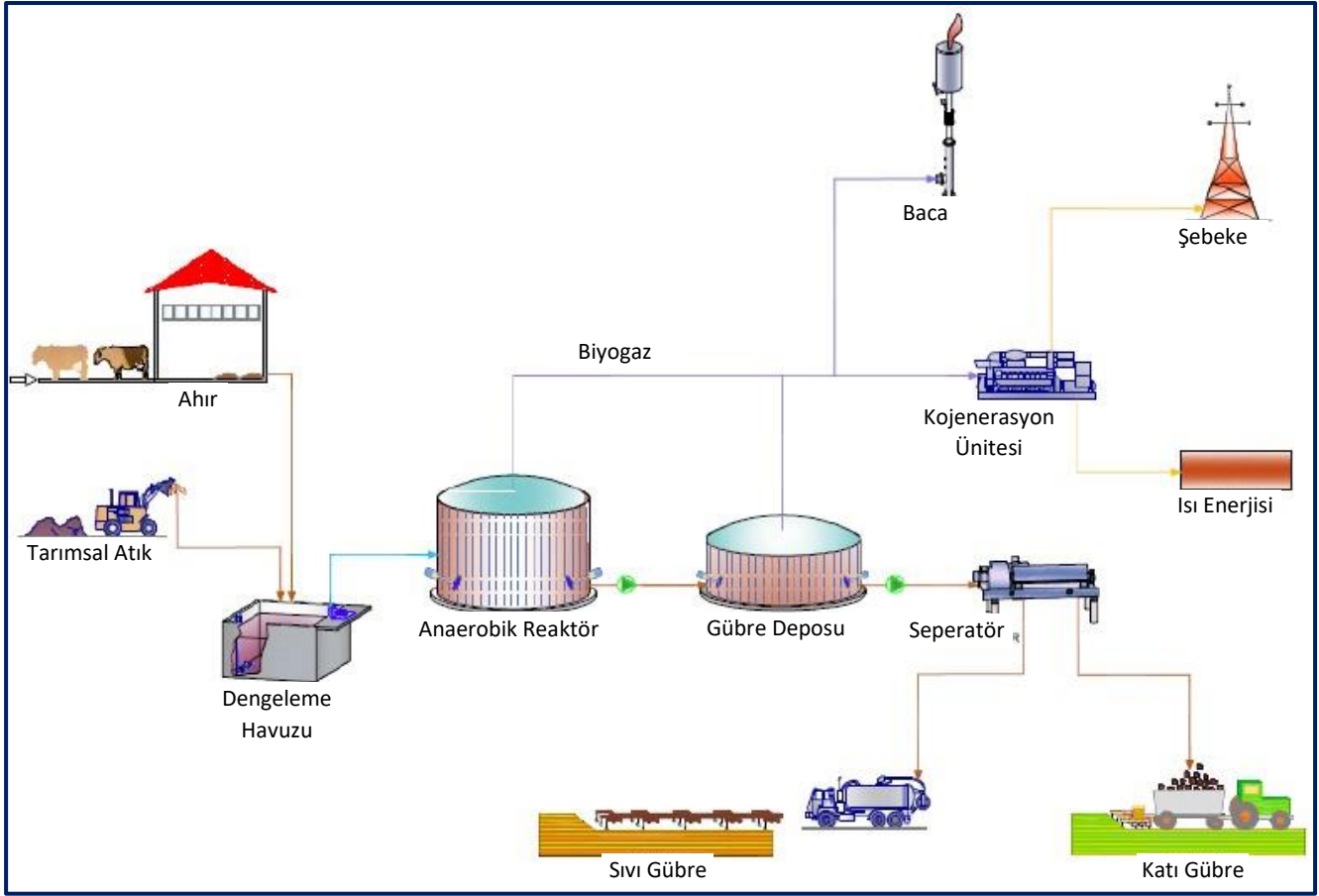
Şekil 3.6.1. Modern bir biyogaz tesisi [1]

Gübre (organik madde) deposu: Biyogaz üretiminde karbon-azot oranı önemli bir faktördür. Bu oran 20:1 – 30:1 arasında olabilir. Örneğin sığır gübresi 25:1 olan oranı ile gaz üretimi için ideal olarak düşünülür. Fermentöre alınacak organik maddenin kuru madde içeriğinin kolay karışma ve muamelesi için başlangıç maddesinin % 8-10’u arasında olmalıdır. Örneğin sığır gübresi % 10’luk katı içeriği ile istenen konsantrasyonu sağlamak için bire bir oranında su ile karıştırılması yeterli olur. Bu madde fermentasyon süresi sonunda fermentörden aynı şekilde çıkacaktır. Akışkan durumuna gelmiş olan bulamaç halindeki bu gübrenin depolanması için havuz şeklinde yapılmış bir gübre deposuna ihtiyaç vardır. Bu depo biyogaz üretimi sonrasında arta kalan hammaddenin katı ve/veya sıvı olarak depolandığı depodur.

Bu anlatılan üç ana organın yanı sıra bir biyogaz üretim sistemi aşağıdaki bileşenlerden oluşur;

- Atık hazırlama ya da kabul ünitesi (dengeleme havuzu): Hammaddenin fermentöre yüklenmeden önce tesiste depolandığı ve farklı materyallerin (sığır gübresi, tavuk gübresi, peynir altı suyu vb. gibi) kuru madde oranına göre karışımının yapıldığı ön kabul deposudur. Artık burada kuru madde içeriğine bağlı olarak gereken su ile karıştırılarak bulamaç haline getirilir.
- Anaerobik reaktör (fermentör): İstenen kuru madde oranında hazırlandıktan sonra biyogaz üretimi için yollanan hammadde burada bakteriler tarafından çürütülerek biyogaz üretimi yapılan tanklardır.
- Kojenerasyon ünitesi: Biyogazın saflaştırıldıktan sonra elektrik ve ısıya dönüşümünü sağlayan ünedir.
- Seperatör: Fermentör sonrasında hammadde seperatör yardımıyla katı ve sıvı olmak üzere iki forma ayrıştırılır.
- Gaz boruları/valfleri ve bağlantı ekipmanları: Biyogazın taşınması için gerekli genellikle paslanmaz malzemeden yapılan borulama ve bunların ekipmanlarıdır.

- Isıtma sistemleri: Fermentörü optimum biyogaz üretimi için belli bir sıcaklıkta tutmak ısıtma sistemiyle mümkün olmaktadır.

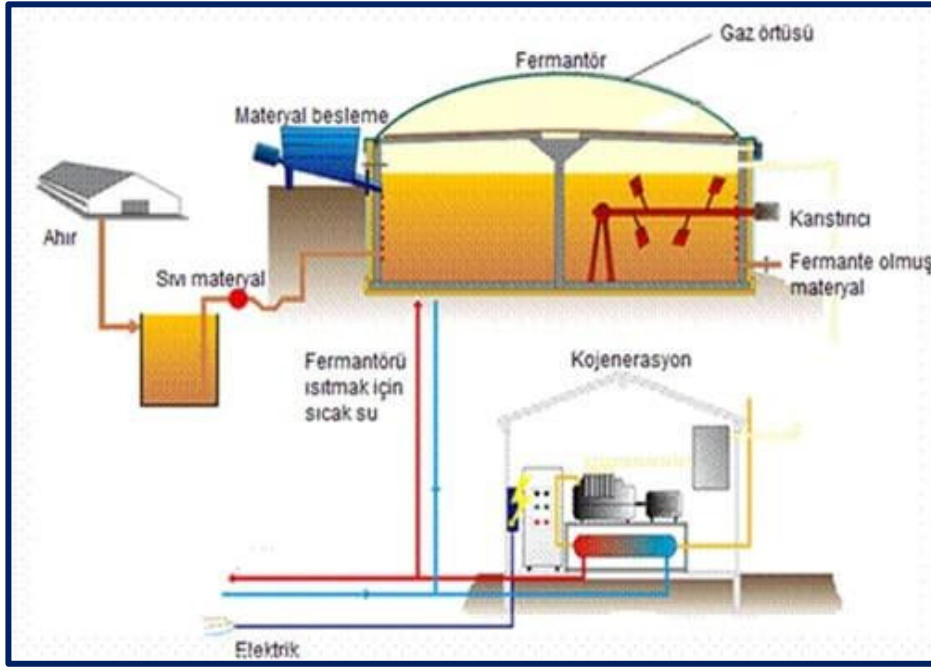


Şekil 3.6.2. Elektrik üretimine yönelik modern bir biyogaz tesisi akış şeması [4]

Karıştırıcılar biyogaz üretiminde çok önemli bir rolü üstlenirler. Bunlar,

- Metanojenlerin ürettiği metabolitlerin dağıtılması,
- Taze hammaddenin bakteri popülasyonuna homojen olarak karışması,
- Çökelmelere ve heterojeniteye engel olunması,
- Sıcaklık dağılımının homojen olması,
- Bakteri popülasyonlarının fermentör içinde iyice dağılması,
- Fermentör içinde heterojen ölü bölgeleri oluşturmaması şeklindedir.

Mezofilik ve termofilik sıcaklıkların çevresel olarak sağlanamadığı, özellikle sıcaklığın korunması gereken biyogaz tesislerinde ısı transfer elemanları büyük önem taşırlar. Şekil 3.6.3'te biyogaz üretim prosesi üzerinde bu elemanların gösterimi özetlenmiştir.



Şekil 3.6.3. Biyogaz üretim prosesi [3]

Elde edilen biyogazın kalorifik değerinin artırılması ve korozif (aşındırıcı) özelliğinin giderilmesinde, çevre-insan sağlığı üzerindeki potansiyel zararlarının azaltılması oldukça önemlidir. Ayrıca biyogaz bileşimindeki korozif etkili olan hidrojen sülfürün temizlenmesi istenir. Bunun için ya hidrojen sülfür demiroksit ile absorblanır ya da hava ilavesi ile mikrobiyal desülfürizasyon yapılır. İkinci işlemde bir hava pompası ile % 4 hava enjekte edilerek, hidrojen sülfür bakteriler tarafından elementel kükürte dönüştürülerek çöktürülür. Biyogaz içindeki olası su moleküllerinin tutulmasında ise silika jel, alümina veya moleküler elekler kullanılır.

Bu modern ileri teknoloji uygulamalarının dışında uzun yıllardır kullanılan sistemler de mevcuttur. Kırsal kesimler için önerilen ve kısıtlı yerel imkanlarla yapılabilmektedir. Bu tür sistemler çok değişik tipte olup genel olarak üç kısımda tanımlanmaktadır;

- 1) Hareketli kubbeli veya Çin tipi biyogaz tesisleri
- 2) Sabit kubbeli veya Hint tipi biyogaz tesisleri
- 3) Balonlu veya Tayvan tipi biyogaz tesisleri

Toprak altına gömülen ve tuğla-beton bir yapıdan oluşan bu tip biyogaz tesisleri fermentörün iyi izolasyonunun sağlanması durumunda kırsal kesimler için ideal bir biyogaz tesisidir.

Birçok ülkede biyogaz tesisleri planlanan amaca göre farklı teknolojiler kullanılarak inşa edilmektedir. Biyogaz tesisleri aile tipi (6-12 m³ kapasiteli), çiftlik tipi (50, 100, 150 m³ kapasiteli), köy tipi (100, 200 m³ kapasiteli) tesisler olarak ele alınabileceği gibi başta Almanya olmak üzere ABD, Danimarka, İsviçre gibi pek çok ülkede 1.000-10.000 m³ kapasiteli sanayi tipi biyogaz tesisleri işletilmektedir.

Aile tipi, 6-12 m³ kapasiteli sabit kubbeli biyogaz tesisleri, Çin'de çok yaygın biçimde kullanılmakta ve bu tip tesislerde oluşan biyogaz, tesis içinde (kubbe bölümünde) toplanmakta ayrı bir gaz depolama tankı kullanılmamaktadır. Ancak bu durum biyogazın kullanımı sırasında gaz basıncının düşmesine neden olmakta, dolayısıyla gaz basıncı sabit kalmamaktadır. Yeterli gaz basıncını sağlamak üzere Çin tipi tesisler genellikle kullanım yerlerine yakın kurulmaktadır. Büyük kapasiteli tesislerde oluşan biyogaz, tesisten ayrı veya tesis içinde sabit olmayan bir yerde toplanmakta (gaz depolama tankı) ve gaz basıncının sabit kalması sağlanabilmektedir. Bu tip biyogaz tesislerine en çok Hindistan'da rastlanmaktadır.

Aile tipi biyogaz tesisleri dışındaki diğer tesislerin çoğunda biyogazın oluştuğu ortamın (fermentör) ısıtılması optimum biyogaz üretimi için gerekli olmaktadır.

Anaerobik fermentasyon, fermentörün yeni materyalle beslenme biçimine göre de çeşitlenmektedir. Bu açıdan anaerobik fermentasyonu 3 grupta incelemek mümkündür.

1. Sürekli fermentasyon: Bu fermentasyon biçiminde organik madde fermentöre her gün belirli miktarlarda verilir ve aynı oranlarda fermante olmuş materyal günlük olarak fermentörden alınır. Bu fermentasyon şeklinde gaz üretimi sürekli olur.

2. Beslemeli kesikli fermentasyon: Burada fermentör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulur ve geri kalan hacim fermentasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanır. Belirli fermentasyon süresi sonunda fermentör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulur.

3. Kesikli fermentasyon: Burada fermentör başlangıçta organik madde ile tamamen doldurulur, fermentasyon süresi sonunda fermentör boşaltılarak yeniden doldurulur.

3.7. BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN TEMEL KRİTERLER

Bir biyogaz tesisi tasarımı yapılırken öncelikle kullanılacak olan atıkların cinsi, potansiyeli, üretildikleri ortamdaki özellikleri, nasıl depolandıkları gibi hususlar belirlenmelidir. Bu aşamadan sonra tesisin tasarımı yapıp projelendirme, yapım ve devreye alma işlemleri sırasıyla hayata geçirilebilir. Bir biyogaz tesisinin tasarımı, yapılması ve devreye alınması kadar, tesisin sürekli olarak çalıştırılması ve istenen biyogaz veriminin sağlanması da önemli bir süreçtir. Tesisin çalıştırılması için, atık toplama tekniği ve planlaması büyük önem taşımaktadır. Fermentörde biyogaz üretimini sağlayan bakteriler canlı organizmalardır. Dolayısıyla hedeflenen biyogaz miktarını ve içeriğini sağlayabilmek için üretim prosesine etkisi olan bazı parametrelere dikkat etmek gerekmektedir. Biyogaz tesislerinde biyogaz üretiminde aşağıdaki veriler etkilidir:

Katı Madde İçeriği

Biyogaz üretiminde kullanılan hammaddenin kuru madde içeriği önemli bir parametredir. Aneorobik çürütmede organik atıkların kuru madde içeriği, oluşan biyogazın içerisindeki metan yüzdesini büyük oranda etkilemektedir. Düşük katı oranlarında havasız ortam koşullarını sağlamak zorlaşırken, yüksek katı derişiminde bakteriyel etkinliğin yavaşlaması nedeni ile biyogaz üretim hızı düşmektedir. Kullanılan hammaddenin kuru madde içeriğindeki artış, metanojenlerin aktivitesini kademeli olarak yavaşlatır ve sonuç olarak biyogazın kalitesi düşer. Biyogaz tesislerinde katı madde oranının % 7-12 civarında olması önerilmektedir. Bu sebeple hayvan atığı kullanan biyogaz tesislerinde hayvan atıkları ön depolama tankına alınarak sulandırılmakta ve fermentörlere yarı sıvı halde verilmektedir.

Sistemin pH Derecesi

Biyogaz üretiminde pH derecesinin, reaksiyon hızı ve diğer parametrelere önemli bir etkisi vardır. Anaerobik çürütme için ideal pH 6-8 arasındadır. Asit üreten bakteriler metan üreten bakterilerden daha hızlı çoğaldıklarından asit üretimi sistemde artarak metan üreten bakterilerin aktivitesini düşürebilir. Bu sebeple sistemin pH'sı sürekli kontrol altında tutulmalıdır.

Normal fermentasyon sırasında karışımın pH değeri değişmez ve 7 civarında seyreder. Ancak ani sıcaklık değişimi, fazla besleme veya bazı zehirli maddeler sistemin asit dengesini bozar. Eğer asit oranı artmaya başlarsa pH değeri düşer ve metan üretimi de durur. Böylece üretilen gazın CO₂ oranı artar ve gazın yanmasında sarımtırak bir alev görülür. Böyle bir durumda dengeyi eski haline döndürmek için;

- a) Metan üretici bakterilerin üretilen asidi kullanıp azaltmaları için besleme bir müddet durdurulmalıdır.
- b) pH değerinin düşmeye devam etmesi halinde sisteme nötralizasyon için alkali maddeler ilave edilmelidir.

Sıcaklık

Organik atıkların anaerobik bozundurulmasıyla gaz üretiminde, sıcaklığın çok önemli bir rolü vardır. Genel bir kural olarak sıcaklığın 30-35°C olması istenir (mezofilik bakteriler için, mezofilik koşulların sağlanmasında). Isıtmalı olmayan tesislerde özellikle kış aylarında sıcaklığın bu derecelere ulaşması mümkün olmaz. Sıcaklığın 10 derece altına düşmesi üretimi durdurabilmektedir.

Sıcaklık değiştikçe fermentasyonu sağlayan bakteri tipleri de değişmektedir. Bu yüzden reaktörlerin sıcaklığı mümkün olduğu kadar sabit tutulmalıdır.

Fermentasyon, bakterilerin çalışma sıcaklıkları ve bölgesel coğrafi koşullara bağlı olarak 3 değişik sıcaklık aralığında incelenebilir:

- 1) Termofilik fermentasyon: Termofilik bakteriler açısından ideal sıcaklık 47-55°C arasındadır. Termofilik bakteriler sıcaklık değişikliklerine çok hassastırlar. Bu sıcaklığın sağlanması için gereken ısıtma gideri fazladır.
- 2) Mezofilik fermentasyon: Mezofilik bakteriler açısından ideal sıcaklık 35-38°C arasındadır. Genel olarak biyogaz tesislerinde kullanılan yöntem mezofilik fermentasyondur.
- 3) Doğal çevre sıcaklığında fermentasyon: Yazın 22-26°C arasında değişebilecek reaktör sıcaklıklarında günlük gaz üretimi reaktör hacminin 0.3 katına çıkabilir. 13-15°C arasında ise günlük üretim, reaktör hacminin 0.1 katına çıkabilir. Ancak çoğu kez bu sayı daha düşüktür. Bu fermentasyon türünde sakrofilik bakteriler görev almaktadır.

Biyogaz tesislerinde ısı kontrolünün sağlanması amacıyla güneş enerjisinden yararlanılabileceği gibi en pratik ve en yaygın kullanılan sistem, tesisin içine yerleştirilen serpantinlerin (sıcak su boruları) kullanılmasıdır. Bu sistemde su, tesis tarafından sağlanan biyogaz ile ısıtılarak veya elektrik üretim amaçlı motorların (kojenerasyon) atık ısısı sirkülasyon pompası ile tesis içine yerleştirilen serpantinler içinde dolaştırılarak ısıtma sağlanmaktadır.

Alıkonma Süresi (Bekletme Süresi)

Aneorobik sistemlerde organik maddelerin reaktörde kaldığı süredir. Organik maddenin bileşimine ve sıcaklığa bağlıdır. Alıkonma süresinin artması organik maddenin parçalanma hızını artırmaktadır. Ancak en uygun alıkonma (bekletme) süresi belirlenmelidir. Uçucu madde bekletme süresi ve hidrolik bekletme süresi olmak üzere iki türlü kullanımı vardır. Uçucu madde bekletme süresi (UAS), sistemdeki mikroorganizmaların uçucu maddeyi dönüştürmek için kullandıkları süredir ve sistemdeki uçucu madde kütlesinin, sistemden çıkan uçucu maddenin kütsel hızına oranıdır. Anaerobik sistemlerde 2-6 gün arasında değişmektedir.

Hidrolik bekleme süresi (HBS), atık içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tarif edilir. Reaktör içindeki bazı organik maddeler tam olarak biyokimyasal reaksiyona girdiğinde zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen hidrolik bekleme süresi içinde besi maddelerinin %70-80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek giderildiği kabul edilir. Biyogaz tesislerinde işletme sıcaklığına bağlı olarak hidrolik bekleme süresi (HBS) 20 ile 120 gün arasında değişir. Tropikal bölgelerde HBS 40-50 gündür. Çin'in soğuk bölgelerinde bu süre takriben 100 gündür. Sürekli beslemeli sistemlerde, bakterilerin reaktörlerden kaçmasını önlemek ve bakterilerin iki katına çıkmasını temin için HBS süresi daha uzun seçilebilir. HBS süresinin düşürülmesi, çürütülecek malzemeye bağlı olarak değişir. Mezofilik şartlarda ortalama HBS sığır gübresinde 12-30 gün, saman yataklı sığır gübresinde 18-36 gün, bitki ile karıştırılmış sığır gübresinde 50-80 gün ve tavuk gübresinde 20-40 gün arasındadır. Hidrolik bekleme süresi yeterli olmazsa reaktörden bakteriler daha hızlı kaçır ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar. Bu da biyogaz üretiminin düşmesine neden olur. Fermantasyon tam olarak gerçekleşmez. Bu problem, tarımsal biyogaz tesislerinde nadiren gerçekleşir. Yüksek sıcaklıkta biyokimyasal reaksiyonların daha kısa sürede gerçekleşmesi sebebiyle reaktör sıcaklığı arttıkça hidrolik bekletme süresi düşer.

Karıştırma

Reaktör içindeki atık ile su karışımından meydana gelen sıvının sürekli veya belli aralıklarla karıştırılması gereklidir. Karıştırma, oluşan gazın sıvı üzerinde meydana gelen köpüğü geçip yüzeye çıkmasını sağladığı gibi sıvıdaki malzemelerin dibe çökmesini önlemekte ve bakterilerin organik maddelerle homojen bir şekilde temas etmesini sağlamaktadır. Bunun sonucunda ise gaz üretimi % 10-15 artabilmektedir. Ayrıca, bakterilerin organik maddelerle homojen bir şekilde karışmasını sağlamak için organik yükleme hızının ayarlanması gerektiği gibi, reçeteye uygun atık karışım oranlarının belirlenmesi ve günlük besleme miktarının bu doğrultuda ayarlanması gereklidir.

C/N Oranı

Biyogaz üretiminde hammaddenin karbon azot (C/N) oranı çok önemlidir. Organik materyalin C/N oranı mikroorganizmalar tarafından açığa çıkarılan CO₂ gazına oranla ne kadar azotun mineralize olacağını gösterir. Biyolojik bozunma için belirleyici olan, organik malzeme içindeki toplam karbonun toplam azota oranı olan bu oran fazla yüksekse (fazla C ve az N), yetersiz metabolizma nedeniyle mevcut karbon tümüyle dönüştürülemez, bundan ötürü de mümkün olan azami metan verimliliğine ulaşılamaz. Aksi durumda da azot fazlalığı aşırı amonyak (NH₃) oluşumuna neden olur, bu da çok düşük konsantrasyonlarda bile bakterilerin büyümesini engeller ve hatta bütün mikroorganizma popülasyonunun tümüyle çökmesine neden olabilir.

Bu nedenle iyi işleyen bir proses için C/N oranı 10 ila 30 aralığında bulunmalıdır [14]. Sığır atığı için bu oran 24 iken, koyun atığı için 19, tavuk için 10, saman için 90 civarındadır [1]. Karbonun ve azotun yanında fosfor ve sülfür de gerekli mikro besin maddeleridir.

Metan fermentasyonu sıvı ortamda gerçekleştiği için kullanılacak hammaddenin sıvı olması, %4-12 oranında kuru madde içermesi ekonomik bir faktördür. Katı atıklardan metan elde etmek için bu atıkların belli ölçüde kesilmesi, ufalanması ve sulandırılıp karıştırılması gerekeceğinden zaten sıvı olan diğer atıklara oranla ek bir mali külfet demektir.

Zararlı Maddeler

Gaz üretiminde bir problem olursa, bunun çeşitli nedenleri olabilir. Hammadde ile birlikte sisteme giren zararlı maddeler proses ilerleyişini geciktirebilir. Bunlar belirli koşullarda çok düşük miktarlarda dahi fermentasyon performansını düşüren ya da toksik konsantrasyonda fermentasyon prosesini durduran maddelerdir. Burada materyal ilavesiyle fermentöre giren ve ara ürün olarak bozunma aşamalarında oluşan zararlı maddeler arasında ayırım yapılması gerekir. Bir fermentörün beslenmesi sırasında aşırı materyal eklenmesinin de fermentasyon prosesini durdurabileceği dikkate alınmalıdır, çünkü her materyalin içindeki farklı bileşikler bakteriler üzerine olumsuz etki yapabilir. Bu özellikle antibiyotikler, dezenfektanlar, çözücü maddeler, herbisitler, tuzlar veya ağır metaller gibi, çok düşük miktarlarda bile bozunma prosesini durdurabilecek bileşenler için geçerlidir. Antibiyotik girişi genellikle çiftlik gübresi veya hayvani yağlar yoluyla gerçekleşir, fakat her antibiyotiğin engelleyici etkisi çok farklı olabilir. Bu sebeple hayvanların antibiyotik kullanımı takibi iyi yapılmalı, bu dönemlerde antibiyotik kullanımı olan atıklar tesise alınmamalıdır.

3.8. BİYOGAZ VE YAN ÜRÜNLERİN KULLANIM ALANLARI

Biyogazın Enerji Amaçlı Kullanılması

Biyogaz tıpkı doğalgaz gibi uygun gaz motorlarında yakılarak jeneratör vasıtasıyla elektrik üretmekte, motorun ceket suyu, soğutma suyu ve egzoz gazından elde edilen ısı ile hem biyogaz sisteminin ısı ihtiyacı karşılanmakta, hem de atık ısı ile ısınma amaçlı kullanılmaktadır (Kojenerasyon). Bu sayede hem elektrik üretimi doğalgazı ikame eden yenilenebilir kaynak kullanılarak üretilmekte, hem de atık ısı kullanılarak termal verim %90'lara ulaşmaktadır.

Biyogazın Isıtmada Kullanımı

Biyogaz içeriğindeki metan gazı bileşiminden dolayı yanıcı bir gazdır. Tıpkı doğalgaz gibi hava ile karıştığı zaman tam yanma gerçekleşir. Doğrudan ısıtma amacıyla gaz yakıtlarla çalışan ocak, fırın, termosifon ve şofben gibi aletler biyogazla çalıştırılarak kullanılabilir. Biyogaz, gerekli teknik ayarlamaların yapılması ile sıvılaştırılmış petrol gazı ile çalışan sobalarda da kolaylıkla kullanılabilirdiği gibi kalorifer sistemlerinde de kullanılabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus bünyesinde bulunan hidrojen sülfür gazının yanmadan ortama yayılmasını önlemek üzere bir baca sistemi gerekli olmasıdır.

Yan Ürün Değerlendirme İmkanları

Biyogaz üretimi sonucu katı ve sıvı formda fermente organik gübre elde edilmektedir. Elde edilen gübre tarımsal alanlarda kullanılabilir.

3.9. KOJENERASYON

Kojenerasyon, enerjinin daha verimli kullanılması amacıyla elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesini sağlayan teknolojidir. Basit çevrimle çalışan bir gaz türbini ya da motor, kullandığı enerjinin %35-45 kadarını elektriğe çevirebilir. Bu sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması ise sistemden dışarıya çıkan ısı enerjisinin büyük bir bölümünü de kullanılabilir enerjiye dönüştürerek toplam enerji girdisinin %85-95 oranında değerlendirilmesini sağlayabilir. Bu tekniğe kombine ısı-güç sistemleri ya da "kojenerasyon" denir.

Bir kojenerasyon prosesini oluşturan başlıca ekipmanları aşağıdaki şekildedir;

- Gaz Kompresörü
- Yanma Hücresi/Odası
- Gaz Türbini/Gaz Motoru
- Jeneratör/Alternatör
- Atık Isı Kazanı

Basınçlı hava ve yakıt (dizel, doğal gaz, biyogaz, çöpgazı) kompresör aracılığıyla yanma hücresine gönderilir. Yanma ürünü olan sıcak gazlar, gaz türbinine gelerek rotasyonel hareketi sağlar. Bu sayede mekanik enerji, jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilir. Buraya kadar olan işlemler, geleneksel elektrik üretiminde (basit çevrim santrallerinde) kullanılan adımlardır. Bu aşamadan itibaren ise, kojenerasyon teknolojisi başlamaktadır. Önceki adımda yanma ürünü sıcak egzoz gazları, atık ısı kazanına gelir ve buhar üretiminde kullanılır. Böylece oluşan buharın bir kısmı, ısıtma ve sıcak su ihtiyaçlarında ve endüstriyel uygulamalarda proses buharı olarak kullanılabilir.

Biyogaz motorlu kojenerasyon sistemi, biyogazın içten yanmalı motorda yakılarak kullanılabilir ısının ve motora entegre jeneratörde elektrik enerjisinin eş zamanlı olarak üretilmesidir. Biyogaz motorlu kojenerasyon tesislerinde elektriksel verimlilik %38-42, ısı verimlilik %42-48, toplam verimlilik ise %80-90 arasında değişmektedir. Jeneratörde alçak gerilimde üretilen elektrik enerjisi bir transformatör aracılığıyla orta gerilim seviyesine yükseltilir ve ulusal şebekeye bağlanır.

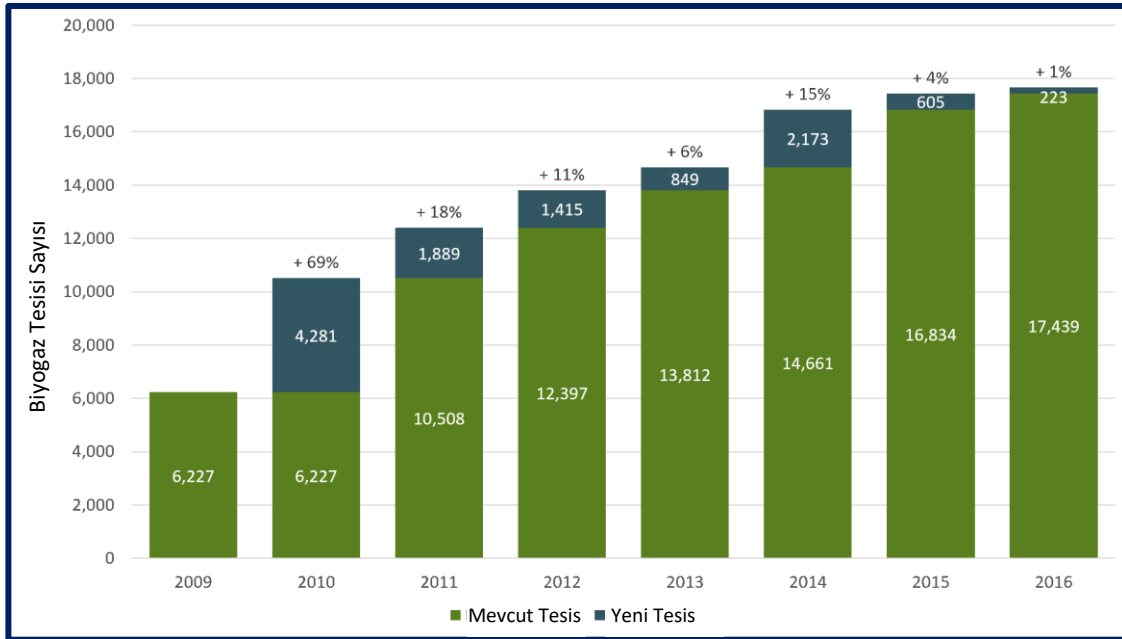
Biyogaz motorlu kojenerasyon tesislerinin çalışma prensibi oldukça basit ve yaratıcıdır. Organik madde girdisinin fermentasyonu sonucunda biyogaz üretilir ve toplanır. Üretilen bu biyogaz hidrojen sülfürden arındırılarak (desülfürizasyon) motorda yanmaya elverişli hale gelir. Bu gaz motorlarda yakılarak elektrik ve ısı enerjisi üretilir. Üretilen elektrik enerjisinin bir kısmı tesis içerisinde iç ihtiyaç için tüketilirken büyük çoğunluğu ulusal şebeye satılır. Isı enerjisi ise fermentörleri sabit bir sıcaklıkta tutmak için kullanılır. Kullanılmayan fazla ısı enerjisi kalması durumunda, çevrede bulunan komşu tesislerde ısıtma amacıyla kullanılabileceği gibi, sera ısıtması gibi amaçlarla da kullanılabilir.

3.10. BİYOGAZIN DÜNYA GENELİNDE KULLANIMI

Biyogaz üretimine küresel anlamda baktığımız zaman birçok ülke mevcut metan potansiyelini verimli ve en ucuz maliyetle temin etme yolunu seçmektedir. Hindistan, Çin, Pakistan ve Kore Cumhuriyeti gibi Güneydoğu Asya ülkelerinde biyogazdan yaygın bir şekilde faydalanılmaktadır. Çin’de 7 milyon civarında biyogaz tesisi vardır. Yıllık enerji ihtiyacının %10’unu biyogazdan sağlamaktadır. Hindistan, biyogaz teknolojisinde öncü ülkelerdendir ve bu konudaki çalışmalara 1930’lu yıllarda başlamıştır. Ülkede çeşitli boyutlarda 2,3 milyon biyogaz tesisi bulunmaktadır. Pakistan’da 20 bin civarında biyogaz tesisi bulunmaktadır. Tayland’da 1980 yılında yapılan planlama ile 106’sı köy tipi ve 60 bini aile tipi olmak üzere biyogaz tesislerinin kurulması kararlaştırılmış ve bu karar büyük ölçüde uygulamaya geçirilmiştir. Dünyadaki kurulu tesislerin % 80’i Çin’de, %10’u Hindistan, Nepal ve Tayland’da bulunmaktadır. Avrupa’nın hayvan gübresi ile elde ettiği biyogaz tesisi sayısına bakıldığında 10.000’i aşan tesis ile Almanya en fazla üretim yapan ülke konumundadır. Almanya’yı 1.500’ün üzerinde tesis ile İtalya takip etmektedir.

3.10.1. AVRUPA’DA BİYOGAZ ENERJİSİNDEN YARARLANMA DURUMU

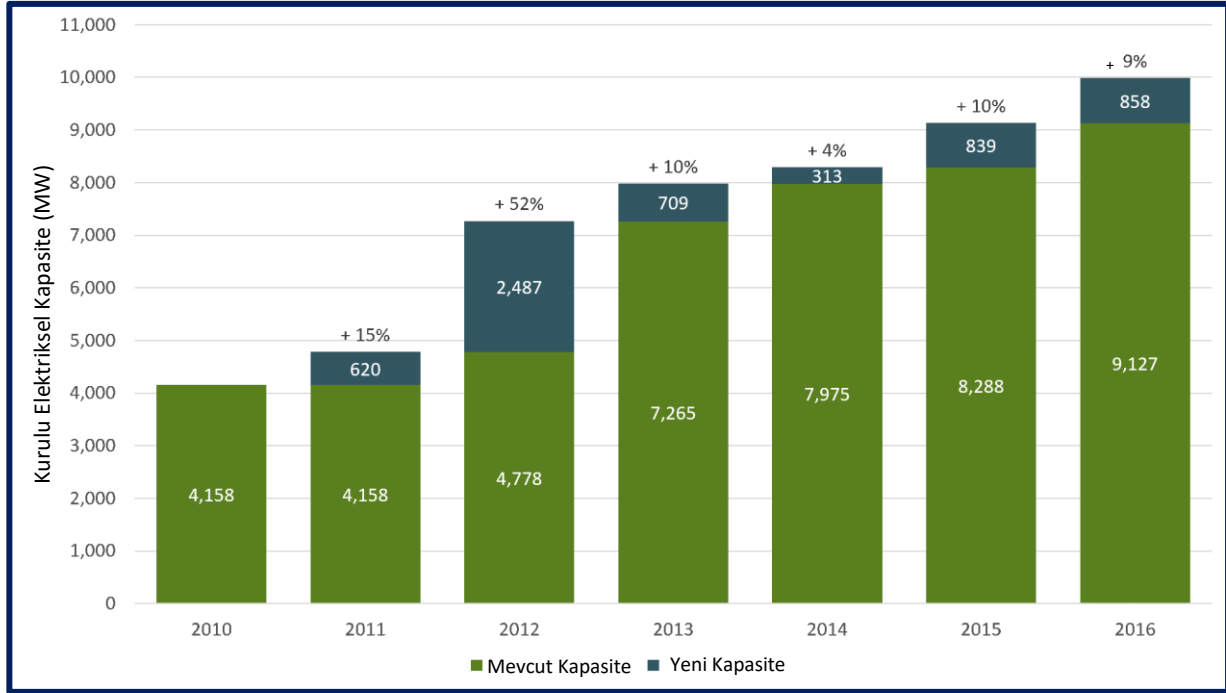
Şekil 2.8.1 ‘de verilen grafikte Avrupa’daki biyogaz santrallerinin sayısı ve yıllık artışları verilmiştir. Görüldüğü gibi 2010-2015 yılları arasında büyük artış yaşanmıştır.



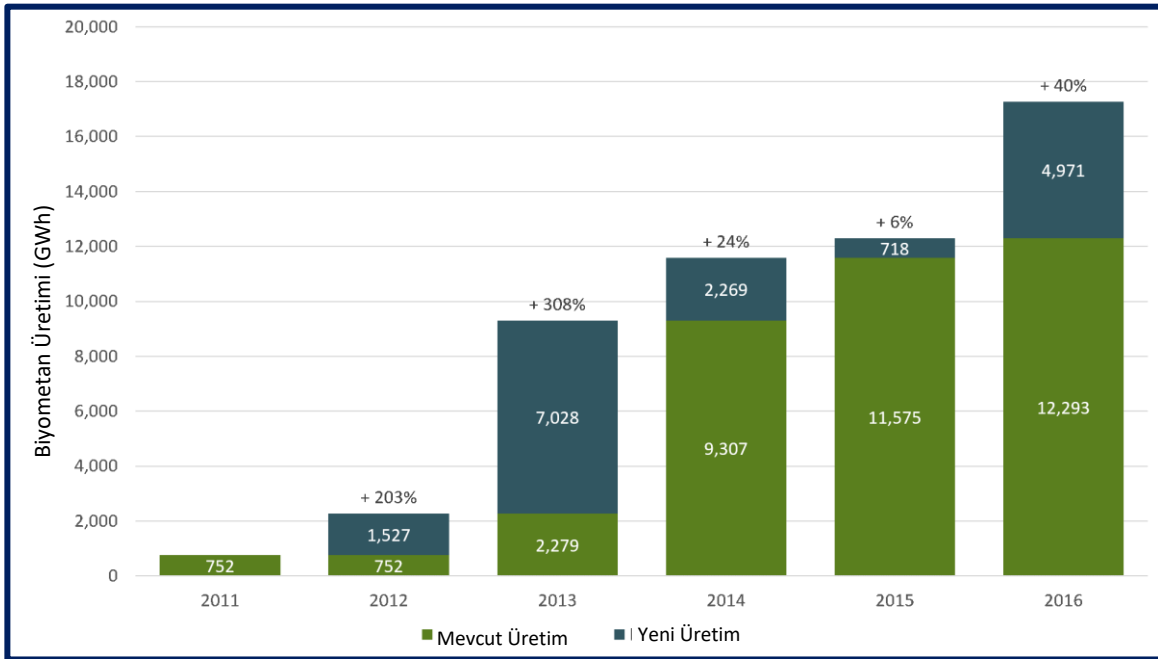
Şekil 3.10.1. Avrupa’daki biyogaz santrallerinin sayısı [4]

Şekil 3.10.2’de Avrupa’daki biyogaz santrallerinin kurulu güç grafiği verilmiş olup, 2010-2015 yılları arasında kapasite ikiye katlanmıştır. Şekil 3.10.3’te ise Avrupa’daki yıllık biyometan üretimleri verilmiştir. Belli yıllarda birkaç katlık artışlar oluşarak önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı durumuna gelmiştir. Avrupa Birliği’nin 2020 yılı hedefleri kapsamında yürüttüğü “yenilenebilir enerjinin AB’nin enerji tüketimi içerisindeki payını en az %20’ye çıkarma” politikası

ile elektrik üretimini destekleyen teşvik mekanizmaları oluşturulmuştur. Diğer taraftan atıkların bertarafının sağlanması amacıyla yapılan çevresel regülasyonlar ve yaptırımlar, son yıllarda görülen bu artış üzerinde önemli bir etken olmuştur.

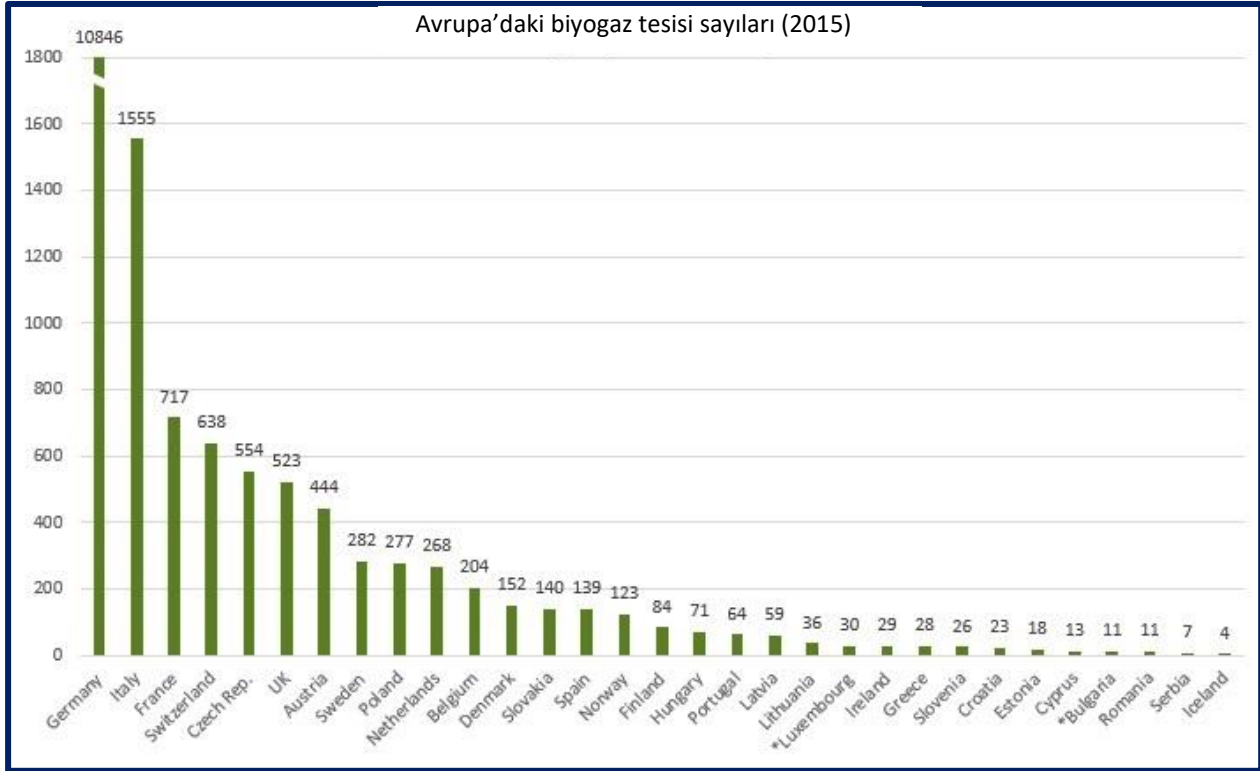


Şekil 3.10.2. Avrupa'daki biyogaz santrallerinin kurulu gücü [4]



Şekil 3.10.3. Avrupa'daki yıllık biyometan üretimi [4]

Şekil 3.10.4’de verilen grafikte 2015 yılına ait bilgiler ışığında Avrupa’daki biyogaz santrallerinin Avrupa’daki ülkelere göre dağılımı verilmiştir. Almanya bu alanda açık ara önde bulunmaktadır.

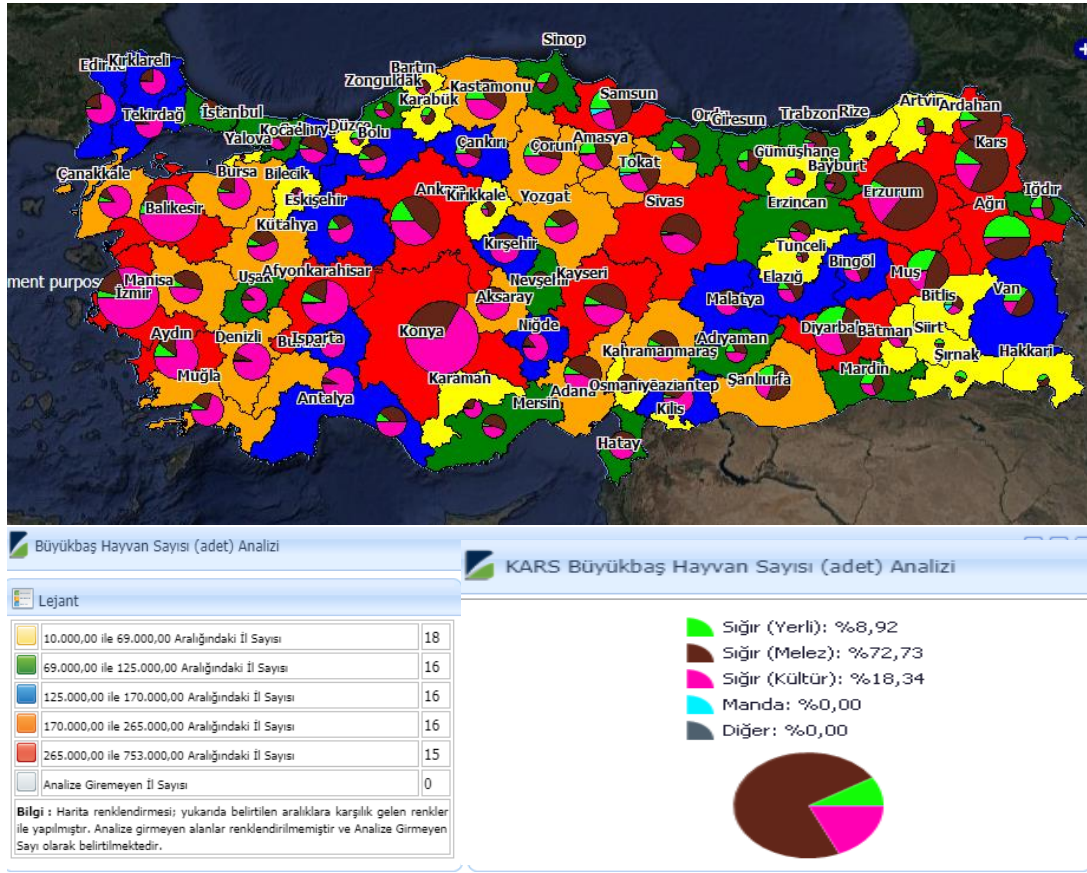


Şekil 3.10.4. Avrupa’daki biyogaz santrallerinin Avrupa ülkelerine göre dağılımı [4]

3.10.2. TÜRKİYE’DE BİYOGAZ ENERJİSİNDEN YARARLANMA DURUMU

Ülkemizde bulunan 390 MW_e Kurulu güce sahip, yıllık 1.839 GWh’lik elektrik üretimi yapan 73 adet Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı ve Piroolitik Yağ Enerji Santrali bulunmaktadır. Bu tesislerden 31 tanesi Biyogaz Tesisi olup 65,51 MW toplam kurulu güce sahip, 24 tanesi ise Çöp Gazı Tesisi olup toplam 151,28 MW toplam kurulu güce sahiptir. Tablo 3.10.1’de hayvansal kaynaklı atıklarla işletilen 16 adet biyogaz tesisinin listesi verilmiş olup toplam kurulu gücü 49,45 MW olmakla birlikte her geçen gün hızla artmaktadır. Tablo 3.10.2’de ülkemizde bulunan hayvansal kaynaklı tesis dışındaki biyogaz, biyokütle, atık ısı ve piroolitik yağ enerji santrallerinin listesi verilmiş olup toplam kurulu gücü 343,2 MW’tır. Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücü 87.138,7 MW olup, biyogaz santrallerinin toplam kurulu güç içerisindeki payı %0,1’dir [12].

Türkiye’nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyar ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretililecek biyogaz miktarının 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir [13]. Şekil 3.10.5’deki Türkiye’deki büyükbaş hayvan varlığı haritası, TÜİK ve YEGM kayıtlarına dayanmakta olup 14 milyonu aşan Türkiye toplam büyükbaş hayvan varlığı ile yılda 12 Milyar kWh elektrik enerjisi üretilileceği potansiyel olarak değerlendirilmektedir. TÜİK Verilerine göre Kars İli’ndeki büyükbaş hayvan sayısı 500.000 civarındadır.



Şekil 3.10.5. Türkiye büyükbaş hayvan varlığı haritası [3]

Tablo 3.10.1. Türkiye’de bulunan hayvansal kaynaklı biyogaz enerji santralleri [5]

No	SANTRAL ADI	İL	FİRMA ADI	KURULU GÜÇ (MW)
1	Bağdaş Gübre Fabrikası Biyogaz Santrali	Balıkesir	Bağdaş Gübre Fabrikası	9,92
2	Aksaray OSB Gübre Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	Sütaş Süt Enfaş Enerji	6,4
3	Avdan Biyogaz Tesisi	Samsun	Avdan Enerji	6
4	Ovacık Biyogaz Enerji Santrali	Kırklareli	Işit Biyokütle	4,8
5	Afyon Biyogaz Enerji Santrali	Afyonkarahisar	Afyon Enerji	4,02
6	Gönen Biyogaz Tesisi	Balıkesir	Gönen Yenilenebilir Enerji	3,62
7	Senkron Efeler Biyogaz Santrali	Aydın	Senkron Grup	2,4
8	Karacabey Biyogaz Tesisi	Bursa	Sütaş Süt Enfaş Enerji	2,13
9	Bandırma Edincik Biyogaz Santrali	Balıkesir	Telko Enerji	2,13
10	Eses Enerji Biyogaz Santrali	Eskişehir	Eskişehir B,B,	2,04
11	Polatlı Biyogaz Tesisi	Ankara	Polres Elektrik Üretim	1,47
12	Karaman Biyogaz Tesisi	Karaman	Karaman Yenilenebilir Enerji	1,41
13	Ekim Grup Gübre Gazı	Konya	Ekim Grup Elektrik	1,2
14	Sigma Suluova Biyogaz Tesisi	Amasya	Sigma Elektrik Üretim	1
15	Beypazarı Biyogaz Tesisi	Ankara	Derin Enerji Üretim	0,79
16	Cargill Tarım Bursa Bioenerji Santrali	Bursa	Cargill Tarım	0,12
	Toplam			49,45

Tablo 3.10.2. Türkiye’de bulunan hayvansal kaynaklı tesis dışındaki biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji santralleri [5]

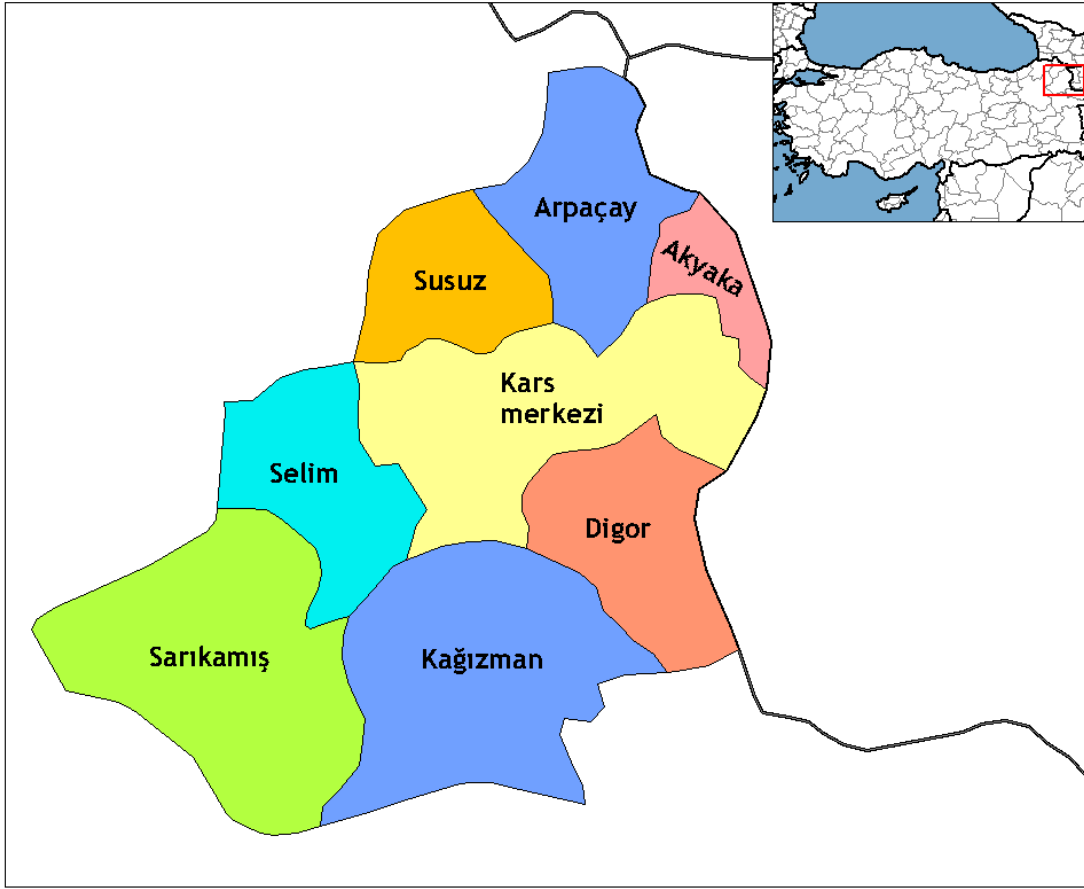
No	SANTRAL ADI	İL	FİRMA ADI	KURULU GÜÇ (MW)
1	Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	34,00
2	Toros Tarım Samsun Atık Isı Santrali	Samsun	Toros Tarım	31,00
3	Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	31,00
4	Çadırtepe Biyokütle Santrali	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	23,00
5	Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	ITC Katı Atık Enerji	16,00
6	Akçansa Çimento Atık Isı Santrali Elektrik	Çanakkale	Enerjisa	15,00
7	Kömürücüda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	14,00
8	Eti Alüminyum Atık Isı Elektrik Santrali	Konya	Cengiz Enerji	13,00
9	Eti Maden Bandırma Atık Isı Santrali	Balıkesir	Eti Maden	12,00
10	ITC-KA Sincan Biyokütle Gazlaştırma Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	11,00
11	Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	ITC Katı Atık Enerji	9,8
12	Çimsa Atık Isı Santrali	Mersin	Enerjisa Elektrik	9,56
13	Batıçim Atık Isı Santrali	İzmir	Batıçim Batı Anadolu	9
14	Prokom Pirolitik Yağ ve Pirolitik Gaz Tesisi	Erzincan	Prokom Madencilik	7,04
15	Şanlıurfa Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	Full Force Enerji	6,24
16	Eman Enerji Mersin Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Mersin B,B,	6,02
17	Modern Biyokütle Enerji Santrali	Tekirdağ	Eren Enerji	6
18	Trakya Yenişehir Cam Atık Isı Santrali	Bursa	Trakya Yenişehir Cam	6
19	Kayseri Çöplüğü Biyogaz Elektrik Santrali	Kayseri	Her Enerji	5,78
20	Konya Aslım Çöplüğü Elektrik Üretim Santrali	Konya	ITC Katı Atık Enerji	5,66
21	Gaziantep Çöp Gazı	Gaziantep	CEV Enerji	5,66
22	Batisöke Söke Çimento Atık Isı Elektrik Santrali	Aydın	Batisöke Söke Çimento	5,34
23	Kocaeli Çöplüğü Biyogaz Santrali	Kocaeli	Ortadoğu Enerji	5,09
24	Hasdal	İstanbul	İstanbul B,B,	4,02
25	Belka Çöp Gazı	Ankara	Ankara B,B,	3,2
26	ITC-KA Elazığ Çöp Gazı Santrali	Elazığ	ITC-KA Enerji	2,83
27	İskenderun Çöp Gazı Elektrik Üretim Tesisi	Hatay	Novtek Enerji	2,83
28	Trabzon Rize Çöp Gazı Santrali	Trabzon	Mustafa Madoğlu Holding	2,83
29	Sivas Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Sivas	Novtek Enerji	2,82
30	Konya Atıksu Biyogaz Santrali	Konya	Konya B,B,	2,44
31	Malatya BŞB Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Malatya	Malatya B,B,	2,4
32	Arel Enerji Biyokütle Tesisi	Afyonkarahisar	Arel Enerji	2,4
33	Manavgat Çöp Gazı Santrali	Antalya	Arel Enerji	2,4
34	Mauri Maya Bandırma Biyogaz Santrali	Balıkesir	Mauri Maya	2,33
35	Tokat Çöpgazı Elektrik Üretim	Tokat	Tokat Bel,	2,3
36	Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Santrali	Mersin	Mersin B,B,	1,9
37	Albe Biyogaz Santrali	Ankara	Era Grup	1,81
38	GASKİ Atıksu Biyogaz Elektrik Santrali	Gaziantep	Gaziantep B,B,	1,66
39	Karma Gıda Biyogaz Santrali	Sakarya	Karma Gıda	1,49
40	Aksaray Çöp Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	ITC Katı Atık Enerji	1,42

No	SANTRAL ADI	İL	FİRMA ADI	KURULU GÜÇ (MW)
41	Pamukova Katı Atık Biyogaz Santrali	Sakarya	Biosun Pamukova	1,4
42	Eman Enerji Silifke Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Mersin B,B,	1,2
43	Uşak Çöpgazı Enerji Santrali	Uşak	Uşak Belediyesi	1,2
44	Amasya Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Amasya	Boğazköy Enerji Elektrik Üretim	1,2
45	Bolu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bolu	CEV Enerji	1,13
46	Kırıkkale Çöp Gazı Enerji Santrali	Kırıkkale	Mustafa Modoğlu Holding	1
47	Kemerburgaz Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ekolojik Enerji	0,98
48	Hayat Biyokütle Elektrik Üretim Sanayi	Kocaeli	Hayat Enerji	0,96
49	Eman Enerji Karaman Biyokütle Enerji Santrali	Kahramanmaraş	Eman Enerji	0,95
50	Adana Batı Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana B,B,	0,8
51	Adana Doğu Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana B,B,	0,8
52	Frito Lay Gıda Biyogaz Santrali	Kocaeli	Frito Lay Gıda	0,7
53	Frito Lay Gıda Kojenerasyon Santrali	Mersin		0,66
54	Kumkısıç Çöplüğü Biyogaz Santrali	Denizli	Bereket Enerji	0,64
55	Sezer Bio Enerji	Antalya	Kalemirler Enerji	0,5
56	Denizli Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Elektrik Üretim Santrali	Denizli	Denizli B,B,	0,48
57	Solaklar İyaydaş Çöp Gazı	Kocaeli	Kocaeli B,B,	0,33
	Toplam			343,20

4. KARS İLİNE GENEL BAKIŞ

Kars, Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeydoğu kesimlerinde yer almaktadır. Ülke yüz ölçümüne oranı, %1,2 olup yüz ölçümü 10.127 km² 'dir. 1.768 m rakıma sahip Kars ilinde 8 ilçe, 10 Belediye, 382 Köy ve 55 Mahalle bulunmaktadır. Kars ili sınırları içerisindeki ilçeler Kars Merkez, Akkaya, Arpaçay, Digor, Kağızman, Sarıkamış, Selim ve Susuz'dur. Matematik konumu 40° 25' 0" Kuzey enlemleri ile 43° 4' 59" Doğu boylamları arasındadır. Kars'ın komşu illeri; Ardahan, Erzurum, Ağrı, Iğdır'dır.

329 km'lik Türkiye – Ermenistan sınırının 164 m'sini Kars – Ermenistan sınırı oluşturmaktadır. Kars ili topraklarının kullanımlarına göre dağılımı; %40'ı çayır ve mera, %34'ü tarıma elverişli topraklar, %22'si tarım dışı arazi, %4'ü ise ormanlık ve fundalık şeklindedir. 2017 yılı TÜİK verilerine göre Kars İli nüfusu 287.654'tür. Coğrafi özellikleri ve yükseltisi sebebiyle Kars İli'nde karasal iklim hakimdir. Büyük bir plato özelliği gösteren il coğrafyasında genel olarak bitki örtüsü bozkır görünümündedir. Sarıkamış ilçesinde çam ormanları bulunmaktadır. Kağızman ilçesinde bağ ve bahçecilik yapılmaktadır. Kars, Doğu Anadolu Bölgesi'nin en soğuk bölgesinde yer alır. Kışları uzun ve sert, yazları ılımlı hatta serince geçer. Karlı kaplı gün sayısı 120'den büyük olup yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 133 gündür. 2014-2018 yılları arasında gözlenen yıllık ortalama sıcaklık 6°C değerindedir. Kış aylarında sıcaklık ortalama değerleri -6 ile -9°C aralığında, ortalama en düşük sıcaklık ise -14°C civarında olup, bu tür biyogaz tesisleri açısından ısıtma ihtiyacını artırmaktadır. Kars İli'ne ait sıcaklık verileri Tablo 4.1'de paylaşılmıştır.



Şekil 4.1. Kars İli ve İlçeleri

Tablo 4.1. Kars İli Sıcaklık Verileri (2014-2018) [21]

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	-2,62	0,26	7,76	14,04	18,1	23,02	28,08
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-13,72	-13,52	-3,68	-0,38	5,12	7,9	11,08
Ortalama Sıcaklık (°C)	-8,6	-6,66	1,58	6,52	11,1	15,04	19,04
	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık	
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	28,98	24,56	14,6	7,5	-0,775	13,425	
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	11,6	7,7	2,05	-5,125	-13,45	-0,4	
Ortalama Sıcaklık (°C)	19,58	15,6	7,575	0,275	-6,05	6	

5. KARS İLİ HAYVANCILIK FAALİYETLERİ

Doğu Anadolu Bölgesi genelinde olduğu gibi, Kars İli'nde de iklim ve yer şekillerinin etkisiyle tarım ve hayvancılık temel ekonomik geçim kaynağıdır. Kars İli, sahip olduğu geniş mera ve çayır vasıflı alanlarıyla hayvancılık sektörü için elverişli şartlara sahiptir. Kars İli yaklaşık 10.000 km² yüz ölçümüyle Türkiye yüz ölçümü içerisinde %1,2'lik paya sahiptir. Kars İli toprakları %40 çayır ve mera, %34 tarıma elverişli topraklar, %22 tarım dışı arazi ve %4 ormanlık ve fundalık alanlardan oluşmaktadır.

Sahip olduğu önemli hayvan yoğunluğuna rağmen, il genelinde besicilik ve et sektörü gelişmemiştir. Kars ilinde genel itibarıyla süt sığırcılığı faaliyetleri gelişmiştir. Kars Organize Sanayi Bölgesi, ilçe merkezleri ve köylerde faaliyet gösteren küçük ve orta ölçekli birçok mandıra bulunmaktadır. Şehrin sembolleri arasında yer alan Kars Kaşarı, Serhat Kalkınma Ajansı'nın girişimleriyle Türk Patent Enstitüsü tarafından 2016 yılında tescillenmiştir. Kaşar ve gravyer peyniri ile tereyağ üretiminin yaygın olması sebebiyle il genelinde süt ürünleri sanayisi diğer sektörlerle göre daha gelişmiş seviyededir. Kars Organize Sanayi Bölgesi'nde 23 adet mandıra bulunmaktadır. Bunun yanı sıra ilçe ve köylerde de mandıralar bulunmaktadır. Bölgedeki mandıra potansiyeli dikkate alınarak daha sonra gündeme gelebilecek bir çalışma için ön bilgi sağlaması açısından Kars OSB'de yer alan mandıralardan peynir altı suyu numunesi alınmış ve Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde analizleri yaptırılmıştır. Peynir altı suyuna ait analizler Ek-3'te verilmiş olup, peynir altı suyu için örnek bir kapasite hesaplaması ise Ek-2'de sunulmuştur.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine bakıldığında (Tablo 5.1), 2017 yılında Kars ilinde 467.327 büyükbaş hayvan varlığı söz konusudur. Bunun yanında, raporu konu alan Sarıkamış ve Arpaçay ilçelerine bakıldığında ise, Sarıkamış ilçesi büyükbaş hayvan sayısı 59.915 adet iken Arpaçay ilçesi büyükbaş hayvan sayısı 57.991 adettir. TÜİK verilerine dayanarak Kars İli, Türkiye'de sığır yoğunluğu bakımından 5. sırada yer almaktadır.

Tablo 5.1. Kars, Arpaçay ve Sarıkamış büyükbaş hayvan istatistikleri [2]

	Kars İli (adet)	Sarıkamış İlçesi (adet)	Arpaçay İlçesi (adet)
Sığır (Yerli)	32.245	5.650	3.680
Sığır (Kültür)	100.474	11.342	5.766
Sığır (Melez)	334.605	42.923	48.545
Toplam	467.324	59.915	57.991

Raporun ilerleyen bölümlerinde, saha çalışması sırasında ziyaret edilen Sarıkamış ve Arpaçay İlçe Tarım ve Orman Müdürlükleri verileri ile ziyaret edilen köylerdeki mevcut durum verileri paylaşılmıştır. Kars iline ait hayvan sayıları ve atık miktarlarına ilişkin veriler Tablo 5.2'de paylaşılmıştır.

Tablo 5.2. Kars ili hayvan ve toplanabilecek atık verileri [9]

	Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Toplanabilecek Atık Miktarı (ton/yıl)
Merkez	108.780	316.470
Akyaka	32.217	94.927
Arpaçay	57.159	163.939
Diğor	40.796	117.783
Kağızman	37.111	113.128
Sarıkamış	60.826	179.673
Selim	67.395	200.621
Susuz	38.291	108.711
Toplam	442.575	1.295.252

Kars İli'nde hayvancılık faaliyetleri yıl içindeki iki ana dönemde incelenmektedir. Kış dönemi olarak adlandırılan ve kasım ayı ortası-nisan ayı ortası olan süreci kapsayan 150 günlük 1. dönemde hayvanlar ahırlarda tutulurken, nisan ayı ortası-kasım ayı ortası arasındaki süreci kapsayan 210 günlük 2. dönemde hayvanlar gündüzleri mera ve çayırda, geceleri ise ahır veya ahır çevrelerinde geçirmektedir. Ayrıca, il genelinde 2. dönem içerisinde bölgesel olarak değişkenlik gösteren yayla kullanımı da söz konusu olmaktadır. Bu sebeple yapılacak atık projeksiyonu ve kapasite belirlemesi sırasında bu 2 dönemin ayrı değerlendirmeye alınması gerekmektedir.

Yapılan saha çalışması sırasında edinilen bilgiler, odaklanılan bölgelerde küçükbaş ve kümes hayvanı varlıklarının ticari ölçekte olmadığı yönündedir. Bu sebeple rapora konu olan çalışma kapsamında Kars İli için sadece büyükbaş hayvan verileri değerlendirmeye alınmıştır.

6. SARIKAMIŞ İLÇESİ BİYOGAZ YATIRIMINA UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Serhat Kalkınma Ajansı ve Kars Valiliği işbirliğiyle yapılan, Kars İl Özel İdaresi'nin işletmecisi olduğu, Sarıkamış Kayak Merkezi girişine yapılan Sarıkamış Kütük Ev, 2017 yılında hizmete açılmıştır. Biyogaz tesisi çıktılarından biri olabilecek atık ısının Sarıkamış Kütük Ev işletmesinde değerlendirilerek bu işletmenin ısı ihtiyacının karşılanması gerekçesiyle, yapılan çalışmada, Sarıkamış Kütük Ev civarındaki potansiyel hayvancılık faaliyetleri araştırılmıştır. Bu kapsamda Sarıkamış ilçe merkezine ait mahalle ve çevre köylerde, hayvan ve atık miktarları ile işletme koşulları bire bir ziyaret yapılarak belirlenmiştir. Yapılan saha ziyareti kapsamında 2 adet mahalle, 6 adet köy ziyaret edilmiştir. Sarıkamış Kütük Ev ve çevresinde yer alan köyleri gösterir uydu görüntüsü Şekil 6.1'de, Kütük Ev işletmesinin fotoğrafı Şekil 6.2'de verilmiştir. Ayrıca, Sarıkamış ilçesine bağlı Yukarı Sarıkamış mahallesinden alınan büyükbaş hayvan atığı numunesinin Biyokimyasal Metan Potansiyeli (BMP) analizleri yapılmıştır. Yapılan saha ziyaretleri kapsamında, raporun hazırlanmasının nedeni olan biyogaz tesisi kurulumuna yönelik ön verilerin toplanması amaçlanmıştır.



Şekil 6.1. Sarıkamış Kütük Ev ve çevre köyleri gösterir uydu görüntüsü



Şekil 6.2. Sarıkamış Kütük Ev

6.1. SARIKAMIŞ İLÇESİ HAYVANCILIK VERİLERİ

Saha çalışmaları kapsamında Sarıkamış İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü ziyaret edilerek ilçe merkezine bağlı mahalleler ile civar köylere ait hayvancılık verileri toparlanmıştır. Sarıkamış İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden edinilen büyükbaş hayvan verileri Tablo 6.1.1'de paylaşılmıştır.

Tablo 6.1.1. Sarıkamış İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü büyükbaş hayvan sayıları

	Toplam Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)
Merkez	(7.000)
Yukarı Sarıkamış Mahallesi	3.000
İstasyon Mahallesi	1.000
Kazım Karabekir Mahallesi	1.500
Tepe, Erenler ve Yeni Mahalleleri	1.500
Alisofu	2.000
Hamamlı	1.000
Yağbasan	2.000
Asboğa	800
Yenigazi	2.000
Yayıklı	3.000
Çatak	1.500
Toplam	19.300

Yapılan saha çalışmasında merkeze bağlı Yukarı Sarıkamış ve İstasyon Mahalleleri ile Alisofu, Hamamlı, Yağbasan, Bozat, Yenigazi ve Çatak Köyleri ziyaret edilerek mevcut büyükbaş hayvan varlığı tespit edilmiştir. Saha çalışması sırasında edinilen mevcut büyükbaş hayvan sayıları Tablo 6.1.2'de verilmiştir. Ziyaret edilen köy ve mahallelerde edinilen mevcut veriler ile Sarıkamış İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden elde edilen sayılar arasındaki farkların nedeninin olası dönemsel hayvan sevkیاتları ve hayvan doğumları gibi nedenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Tablo 6.1.2. Saha çalışmasında edinilen mevcut büyükbaş hayvan sayıları

	Toplam Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	İşletme (Ahrır) Sayısı (adet)	Sarıkamış Merkeze Uzaklık (km)
Merkez			
Yukarı Sarıkamış Mahallesi	5.000	500	2
İstasyon Mahallesi	1.000	250	1,5
Kazım Karabekir Mahallesi	1.000	200	1
Alisofu	1.800	35	8
Hamamlı	600	30	10
Yağbasan	1.000	45	6,5
Bozat	1.000	40	10
Yenigazi	2.700	100	13
Çatak	1.600	55	11
Toplam	15.700		

Yapılan saha çalışması sırasında edinilen bilgiler, odaklanılan bölgelerde küçükbaş hayvan varlığının bulunmadığı, kümes hayvanı varlığının ise ticari ölçekte olmadığı yönündedir.

6.2. SARIKAMIŞ İLÇESİ ATIK PROJEKSİYONU

Biyogaz tesislerinin projelendirmesi sırasında öncelikle kapasitenin tespiti gerekmektedir. Bunun için de tesiste, sadece hayvan gübresi kullanılacaksa, mevcut günlük ortaya çıkan atık (gübre) miktarı ve atığın katı madde ve organik katı madde gibi temel analizleri belirlenmelidir. Bu sebeple atık projeksiyonunun dikkatli yapılması önem taşımaktadır.

Atık miktarlarının hesabında büyükbaş hayvanlar için 29 kg/gün atık miktarı esas alınabilecek bir değerdir [18]. Ancak bölgede hayvancılık faaliyetlerinin 2 dönem olarak farklılık göstermesi sebebiyle oluşacak atık miktarına kapasite faktörü eklenmiştir. Saha çalışması kapsamında Sarıkamış ilçesinde ziyaret edilen köylerde 1. dönem atık miktarlarının sabit alınabileceği, ancak 2. dönemde hayvanların gündüzleri mera ve çayırda olmaları sebebiyle, bu dönemde toplanabilecek atık miktarlarının düşeceği anlaşılmıştır. 2. dönemde hayvanların sadece geceleri ahırlarda kalması sebebiyle kapasite faktörü 0,5 olarak alınmıştır. Bu bilgilerden yola çıkarak, Sarıkamış ilçesinde seçilen köylerden toplanabilecek atık miktarları 1. Dönem için Tablo 6.2.1’de, 2. Dönem için Tablo 6.2.2’de verilmiştir. Bu bilgilere dayanarak olası bir biyogaz tesisine toplanabilecek atık miktarı 1. Dönem için 68.295 ton/yıl, 2. Dönem için 47.807 ton/yıl olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.2.1. Sarıkamış ilçesi potansiyel atık miktarları (1. Dönem)

	1. Dönem (Kasım-Nisan)			
	Toplam Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Günlük Atık Miktarı (ton)	Toplanabilir Günlük Atık Miktarı (ton)	Dönem Atık Toplamı (ton)
Merkez				
Yukarı Sarıkamış Mahallesi	5.000	145	145	21.750
İstasyon Mahallesi	1.000	29	29	4.350
Kazım Karabekir Mahallesi	1.000	29	29	4.350
Alisofu	1.800	52	52	7.830
Hamamlı	600	17	17	2.610
Yağbasan	1.000	29	29	4.350
Bozat	1.000	29	29	4.350
Yenigazi	2.700	78	78	11.745
Çatak	1.600	46	46	6.960
Toplam		455	455	68.295

Tablo 6.2.2. Sarıkamış ilçesi potansiyel atık miktarları (2. Dönem)

	2. Dönem (Nisan-Kasım)				
	Toplam Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Günlük Atık Miktarı (ton)	Kapasite Faktörü	Toplanabilir Günlük Atık Miktarı (ton)	Dönem Atık Toplamı (ton)
Merkez					
Yukarı Sarıkamış Mahallesi	5.000	145	0,5	73	15.225
İstasyon Mahallesi	1.000	29	0,5	15	3.045
Kazım Karabekir Mahallesi	1.000	29	0,5	15	3.045
Alisofu	1.800	52	0,5	26	5.481
Hamamlı	600	17	0,5	9	1.827
Yağbasan	1.000	29	0,5	15	3.045
Bozat	1.000	29	0,5	15	3.045
Yenigazi	2.700	78	0,5	39	8.222
Çatak	1.600	46	0,5	23	4.872
Toplam		455		228	47.807

Sarıkamış ilçesinde ziyaret edilen 2 mahalle ve 6 köyden atık alınabileceği ve kurulması değerlendirilen biyogaz tesisine girdi sağlayabileceği düşünülmüştür. Biyogaz tesisine hammadde olacak bu mahalle ve köylerin atıkları tek bir alanda bulunmadıkları için her mahalle ve köy özelinde belirli bir atık toplama stratejisinin geliştirilmesi gerekecektir. Mevcut durumda toplanan atıklar öbikleme usulüyle ahır ve çevresinde depolanmakta veya doğrudan kanalizasyon şebekesine verilmektedir. Öbikleme usulü ile biriktirilen atıklar ise belirli bir kapasitenin üzerine çıktığında mahalle ve köy çevresinde bulunan tarla, orman ve boş arazilere dökülerek çevre kirliliğine yol açarak bertarafı sağlanmaktadır (bknz. Şekil E.1.1-Şekil E.1.4).

Ayrıca, Sarıkamış'ta bulunan atık su arıtma tesisi, mezbahane ve hayvan pazarının atıklarının da kurulacak biyogaz tesisine girdi sağlayabileceği belirlenmiştir. Atık su arıtma tesisinin yıllık çamur üretimi 50 ton/yıl olarak belirtilmiştir. Mezbahanenin günlük ortalama 7 büyükbaş hayvan kesim kapasitesine sahiptir. İlçede kurulan hayvan pazarı, Kurban Bayramı'na denk gelen dönemde 1500 kapasiteye sahip olmakla birlikte, yıl boyu haftada bir toplanmak üzere 150 hayvan kapasitesine sahiptir. Bu atık kaynaklarından elde edilebilecek atık miktarı, Tablo 6.2.1'de belirtilen atık miktarının %5'inden daha az olmakla birlikte hem bu atıkların temizlik ve bertarafı, hem de biyogaz verimine sağlayacağı katkı açısından değerlendirilmesi uygun görülmektedir.

Saha çalışması sırasında ziyaret edilen mahalle ve köylerde, ahırların bir kısmının taştan veya kerpiçten yapılmış, toprak damlı, düzenli ısıtması, havalandırması, su gideri ve beton zemini olmayan ilkel barınaklardan oluştuğu görülmüştür. Ancak, son dönemde artan hibe, destek ve teşvikler sayesinde endüstriyel tipte küçük işletmelerin artmakta olduğu görülmüştür. Endüstriyel tipte çalışacak bir biyogaz tesisine yabancı madde girişinin engellenmesi ve işletme

sırasında atık toplama kolaylığının sağlanması amacıyla, mahalle ve köylerde belirlenen alanlarda, 4-10 adet ahırın atığını biriktirebileceği beton atık (gübre) çukurlarının yapılması ve bu alanlarda biriktirilmesi gerekmektedir. Biriktirilen atıkların toplanması yükleyici (Şekil 6.2.1) yardımıyla, taşınması ise tozuma ve koku yönünden çevreyi kirletmeyecek şekilde üzeri kapanabilir, sızdırmaz kamyonlar ile yapılmalıdır (Şekil 6.2.2). Modern tesis olarak adlandırılacak tesislerde ise bu atık çukurlarının bulunduğu görülmüştür.



Şekil 6.2.1. Atık yüklemede kullanılabilecek örnek bir araç



Şekil 6.2.2. Atık taşımada kullanılabilecek örnek bir araç

6.3. SARIKAMIŞ İLÇESİ ATIK ANALİZ SONUÇLARI

Sarıkemiş ilçesinden alınan atık numunelerine, Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde BMP analizleri yaptırılarak verim değerlerinin bölgeyi doğru şekilde yansıtmayı hedeflenmiştir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 6.3.1'de gösterilmiştir. Ayrıntılı analiz raporu Ek-3'te verilmiştir. Büyükbaş hayvan atığı numuneleri ile yapılan deneyler 41 gün sürmüştür. Gaz üretimi ilk 30 günlük sürede kümülatif olarak artış göstermiş, 30. günden sonra ise biyogaz üretiminde ciddi bir değişiklik olmamıştır. Sonuç olarak 30 günlük süreçte büyükbaş hayvan atığının içerisindeki organik maddelerin tamamına yakını tüketilerek başarılı bir şekilde metan üretimi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6.3.1 Sarıkemiş ilçesine ait atık numunesi Analiz sonuçları

	Kuru Madde Oranı (%)	Uçucu Kuru Madde Oranı (%)	Biyogaz Verimi (L biyogaz/kg UKM)	Biyogaz Verimi (m ³ biyogaz/ton ıslak madde)	Metan İçeriği (%)
Sarıkemiş İlçesi Büyükbaş Hayvan Atığı	20.68	55.06	304	34,6	66

Literatürde yer alan sığır gübresi biyogaz verim değeri 90-310 m³/ton arasında değişmektedir. Tablo 6.3.1'de verilen Sarıkemiş Atık Analizinin biyogaz verim değeri (304 m³/ton) literatürde verilen aralıkta olup oldukça yüksek değerde gözlenmiştir.

6.4. SARIKAMIŞ İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ KAPASİTE SEÇİMİ

Sarıkemiş ilçesinde ziyaret edilen 2 mahalle ve 6 köyden atık alınabileceği ve kurulması planlanan biyogaz tesisine girdi sağlayabileceği belirlenmiştir. Ziyaret edilen işletmelerden 1. Dönem içerisinde günlük çıkacak atık miktarlarında herhangi bir işletmesel kayıp olmayacağı varsayılmıştır. 2. Dönem içerisinde ise hayvancılık faaliyetlerinin gündüz mera ve çayırık alanlarda yapılması sebebiyle 0,5 kapasite faktörü ile atıkların toplanabileceği varsayılmıştır. Tablo 6.3.1'de görüldüğü üzere, alınan atık numunelerinin kuru madde (KM) oranı % 20,68, uçucu kuru madde (UKM) oranı % 55,06 olarak analiz edilmiştir. Atık numunelerinin KM oranları, içerisindeki su miktarının çıkarılmasından sonra, numune içerisindeki katı madde miktarının ne kadar olduğunu ifade eden değerdir. UKM oranları ise atık içerisinde biyogaza dönüştürülebilecek organik madde miktarını (organik yükü) ifade eden değerlerdir. Tesis kapasitesi belirlenirken bu veriler göz önüne alınsa da, bu rapor sonrası çıkacak sonuç doğrultusunda karar verilecek olan biyogaz tesisi planlaması için farklı dönemlerde alınan ve homojenize edilmiş atıkların analizlerinin yapılarak ayrıntılı bir fizibilite raporunda incelenmesi gerekmektedir.

Bölgede hayvancılık faaliyetlerinin 2 dönem olarak inelenmesi sonucunda her iki dönem için de kapasite belirlenmesi yapılmıştır. Tablo 6.2.1 ve 6.2.2’de verilen bilgiler ışığında 1. Dönemde 455 ton/gün toplanabilir büyükbaş hayvan atığı, 2. Dönemde ise 228 ton/gün toplanabilir büyükbaş hayvan atığı potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu atığın tamamının kullanılması durumunda 1.776 kW kapasiteli bir biyogaz tesisin kurulması mümkün görülmektedir. Ancak, 2. Dönemde toplanabilir atık miktarının düşmesi sebebiyle bu kapasite 890 kW_e seviyesine düşmektedir. Bu kapasitelerin belirlenmesine yönelik hesaplamalar aşağıdaki gibidir;

$$\text{Günlük UKM miktarı} \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) = \text{Günlük Atık Miktarı} \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) \times \text{KM oranı} (\%) \times \text{UKM oranı} (\%)$$

$$\text{Günlük Biyogaz Üretimi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) = \frac{\text{UKM miktarı} \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) \times \text{Biyogaz Verimi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}} \right)}{24 \left(\frac{\text{saat}}{\text{gün}} \right)}$$

Tesisin Üreteceği Elektrik Enerjisi (kW) =

$$\text{Biyogaz Üretim Miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) \times \text{Metan Oranı} (\%) \times \text{Metan Birim Enerjisi} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) \times \text{Kojen. Motor Verimi} (\%)$$

1.Dönem için Biyoqaz Kapasitesi:

$$\text{Günlük UKM miktarı} \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) = 455 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) \times 0,2068 \times 0,5506 = 51,81$$

$$\text{Günlük Biyogaz Üretimi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) = \frac{51,81 \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) \times 304 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}} \right)}{24 \left(\frac{\text{saat}}{\text{gün}} \right)} = 656,3$$

$$\text{Tesisin Üreteceği Elektrik Enerjisi (kW)} = 656,3 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) \times 0,66 \times 10 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) \times 0,41 = \mathbf{1.776}$$

2.Dönem için Biyoqaz Kapasitesi:

$$\text{Günlük UKM miktarı} \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) = 228 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) \times 0,2068 \times 0,5506 = 25,96$$

$$\text{Günlük Biyogaz Üretimi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) = \frac{25,96 \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) \times 304 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}} \right)}{24 \left(\frac{\text{saat}}{\text{gün}} \right)} = 328,8$$

$$\text{Tesisin Üreteceği Elektrik Enerjisi (kW)} = 328,8 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) \times 0,66 \times 10 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) \times 0,41 = \mathbf{890}$$

Mevcut bilgiler ışığında, Sarıkamış ilçesi için çalışılan mahalle ve köylerdeki atıkların kullanılması durumunda kurulacak bir biyogaz tesisinin 1. Dönem olarak adlandırılan Kasım-Nisan ayları arasındaki 150 günlük dönemde 1.776 kW_e kapasitede çalışabileceği görülmektedir. 2. Dönem olarak adlandırılan Nisan-Kasım ayları arasındaki 210 günlük dönemde ise tesis kapasitesinin 890 kW_e kapasitesinde çalışabileceği görülmüştür. Hayvancılık faaliyetlerinin 2 dönem halinde yapılması, toplanabilir atık miktarını ciddi şekilde etkileyerek potansiyel kapasiteyi ciddi şekilde etkilemektedir.

Uygulanabilir bir biyogaz tesisi kurulması amacıyla Sarıkamış ilçesi için 400 kW_e (+427 kW_{th}) kapasiteli bir biyogaz tesisi düşünülebilir. Bu kapasitenin yakalanabilmesi için tesise girecek günlük atık miktarı 102,5 ton olacaktır. Bu durumda 1. Dönemde Yukarı Sarıkamış Mahallesi ile Alisofu, Hamamlı ve Bozat köylerinden toplanabilecek atık miktarı 243 ton/gün, 2. Dönemde ise 123 ton/gün olmaktadır. Bu 4 yerleşim biriminden atık alınması tesisin öngörülen kapasitede çalışması için fazlasıyla yeterlidir. Atıkların alım miktarları ile ilgili ayrıntılı dağılımlar, çiftçiler ile yapılacak sözleşmelere bağlı değişkenlik gösterebileceği için tesisin işletmeye alınma aşamasında netleştirilmesi planlanmıştır.

6.5. SARIKAMIŞ İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ KONSEPT TASARIMI

6.5.1. BOYUTLANDIRMASI

400 kWe kapasiteli bir biyogaz tesisi için 102,5 ton günlük atık girdisine ihtiyaç duyulacaktır. Yapılan analizlerde, tesise alınacak bu atığın kuru madde oranı %20,68 olarak bulunmuştur. Ancak fermentöre eklenmesi gereken atık miktarının kuru madde içeriği %10 olmalıdır [1]. Bu sebeple tesise su eklenerek kuru madde oranı %10'a düşürülecektir. Tesise eklenmesi gereken günlük su miktarı aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Elde edilmek istenen KM oranı} = \frac{\text{Atık içerisindeki kuru madde miktarı (ton)}}{\text{Günlük atık miktarı (ton)} + \text{Günlük su miktarı(ton)}}$$

$$0,1 = \frac{102,5 \times 0,2068}{102,5 + \text{Günlük su miktarı}}$$

Yukarıdaki hesaplama doğrultusunda tesise gerekli günlük su ihtiyacı 109,5 ton (109,5 m³) olarak hesaplanmaktadır. Tesis işletmeye alındıktan sonra çıkacak sıvı gübrenin analizleri yapılarak su ihtiyacının belirli bir kısmı, çıkan sıvı gübrenin geri besleme yapılması ile karşılanabilecektir. Böylelikle temiz su ihtiyacı azalacaktır. Temiz su ihtiyacının sahada açılacak sondaj kuyusundan karşılanacağı öngörülmüştür.

Fermentörlere günlük 102,5 ton atık girişi, 109,5 ton su girişi olmak üzere 212 ton/gün hammadde girişi olacaktır. Yapılan çalışma kapsamında büyükbaş hayvan atığının fermentör içerisinde bekleme süresi 32 gün olarak belirlenmiştir [18]. Bu durumda, biyogaz tesisi için gerekli olan fermentörlerin etkin hacimleri toplamı 6.784 m³ olacaktır. Bu hacim doğrultusunda boyutlandırma yapılarak Sarıkamış ilçesi için kurulacak 400 kW_e kapasiteli bir biyogaz tesisinin bileşenleri Tablo 6.5.1’de verilmiştir. Belirlenen kapasite ve senaryo için kurulacak olan tesisin ana üniteleri ve boyutlarını içeren bilgiler Tablo 6.5.2’de paylaşılmıştır.

Tablo 6.5.1. Sarıkamış ilçesi biyogaz tesisi bileşenleri

Kullanılacak Hammadde	Büyükbaş hayvan atığı
Hammadde Miktarı (ton/gün)	102,5
Kuru madde oranı	20,68
Uçucu kuru madde oranı	55,06
Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	1.181.486
Kojenerasyon ünitesi kapasitesi	400 kW _e 427 kW _{th} Elektrik verimi: %41 Termal verimi: %44 Çalışma süresi > 8.000 saat

Tesiste yıllık 1.181.486 m³ biyogaz üretimi gerçekleşecektir. Biyogazın enerji olarak kullanılabilirliği öncelikle içerisindeki metan oranına bağlıdır. Üretilen bu biyogaz toplamda %85 çevrim verimine sahip (%41 elektrik verimi, %44 termal verim) gaz motorunda yakılacak ve 827 kW toplam üretim (400 kW_e ve 427 kW_{th}) gerçekleştirecektir. Bu değerlerin kısaca sağlaması aşağıda verilmiştir.

Biyogaz üretimi: 1.181.48 m³

Biyogazdaki metan oranı: %66 (Ek-3)

Metanın enerji eşdeğeri: 10 kWh [23]

Motorun toplam verimi: %85

Çalışma süresi: 8000 saat

$$N = \frac{1.181.486 \times 0,66 \times 10 \times 0,85}{8000} = 828 \text{ kW}$$

Ayrıca, Sarıkamış’ta bulunan atık su arıtma tesisi, mezbahane ve hayvan pazarının atıklarının da kurulacak biyogaz tesisine girdi sağlayabileceği değerlendirmeye alınmış olup, miktarsal katkısının toplam hammadde girdisinin %5’inden daha az olmasına rağmen hem bu atıkların temizlik ve bertarafı, hem de biyogaz verimine sağlayacağı katkı açısından değerlendirilmesi uygun görülebilir.

Tablo 6.5.2. Sarıkamış ilçesi biyogaz tesisi ana ünite ve boyutları

Ana Üniteler	Adet x Boyut
Ön Depolama Tankı	1 x 600 m ³
Atık Besleme Sistemi	1 x 80 m ³
Fermentör Tankı	2 x 3640 m ³
Hijyenizasyon Ünitesi	2 x 50 m ³
Seperatör Ünitesi	1 x 100 m ³
Lagün	1 x 5.000 m ³
Kojenerasyon Ünitesi	1 x 400 kW _e (+427 kW _{th})
Tesis İçin Gerekli Alan	15.000 m ²

6.5.2. ISI İHTİYACI

Kurulacak biyogaz tesisi için belirlenen 400 kW_e elektriksel güç çıktısının yanı sıra 427 kW_{th} ısı çıkışı olacaktır. Bu ısı öncelikli olarak fermentörleri ısıtmak için kullanılacaktır. Bu kapsamda fermentörlerin ısı ihtiyaçlarının hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Q = Gerekli ısı miktarı (kJ); m = Isıtılacak madde miktarı (kg); C_p = Özgül ısı (kJ/kg.°C);

T₁ = Hava sıcaklığı (°C); T₂ = Fermentör sıcaklığı (°C)

Daha önce hesaplandığı üzere, tesise girecek günlük hammadde 212 ton/gün olacak ve fermentörlerdeki hammadde miktarı 6.784 ton olacaktır. Büyükbaş hayvan atığının özgül ısı 2,6 kJ/kg°C olarak alınmıştır [19]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre Aralık-Şubat ayları arasında (2014-2018 yılları arasında) minimum sıcaklıklar ortalaması -10°C ile -14°C derece arasında değişmektedir. Bu durumda -14°C'ye göre ısı (T₁) miktarı hesaplaması yapılmıştır. Mezofilik çalışma aralığı için fermentörlerin sıcaklığının 35°C (T₂) olması gerekmektedir. Bu durumda fermentörlerin ihtiyacı olan ısı miktarı (Q);

$$Q = 6.784.000 \text{ kg} \times 2,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (35^\circ\text{C} - (-14^\circ\text{C}))$$

$$Q = 864.281.600 \text{ kJ olarak hesaplanmıştır.}$$

Bu ısıyı sağlayacak güç (N) ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

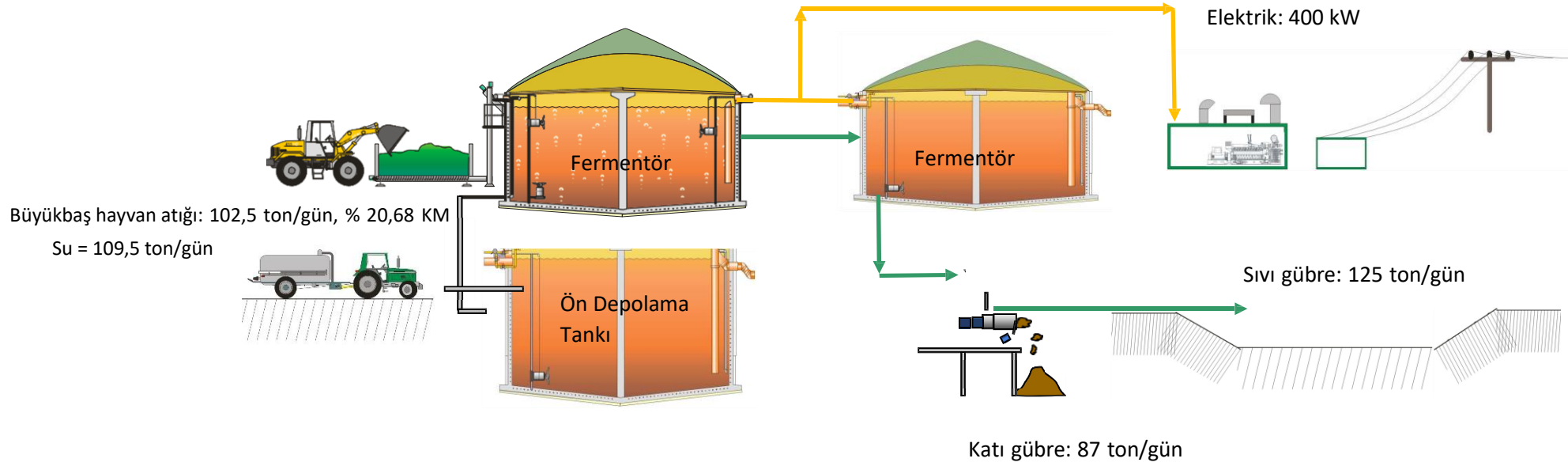
$$N = Q / t$$

Tesis 24 saat çalışacağı için fermentörler 24 saat boyunca ısıtmaya ihtiyaç duyacaktır. Bu durumda t, 24 saat olarak alınmalıdır.

$$N = \frac{864.281.600 \text{ kJ}}{24 \text{ saat} \times 60 \text{ dakika} \times 60 \text{ saniye}} = 10.003 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 10.003 \text{ kW}$$

Tesis için gerekli ısı güç günlük 10.003 kW olmaktadır. Motordan 427 kW ısı çıktısı olacaktır. 24 saatte bu ısı 10.248 kW olacaktır. Bu durumda motordan çıkacak ısı sadece fermentörleri ısıtmak için yeterli olacak ve geriye atık ısı kalmayacaktır.

6.5.3. İŞ AKIM ŞEMASI



Şekil 6.5.1. Biyogaz Tesisi İş Akım Şeması

6.6. RİSK ANALİZİ

Bu tür bir tesisin en temel riski, atıkların sürekliliği ve biyogaz verim değeridir. Büyük tek bir çiftlik yerine dağınık ve profesyonelce yönetilmeyen çok sayıda küçük işletmeden atıkların uygun şekilde toplanması, taşınması, tesise teslimi, önemli bir lojistik yönetimi gerektirmektedir. Atıkların verim kaybı yaşamaması için, mümkün olduğunca beklemeden (Şimdiye kadarki tesis tecrübelerimize dayanarak 7 gün bekleme kabul edilebilir bir süredir. Bu sürenin üzerine çıkılması durumunda biyogaz veriminde düşüş yaşanabilecektir.) toparlanarak tesise getirilmesi gerekmektedir. Ahırların ilkel koşullarda işletilmesinden dolayı atıklara karışabilecek yabancı maddelerin kaynağında önlenmesi gereklidir. Ayrıca işletmelerin küçük ölçekte olması ve modern olarak tabir edilen büyük çiftlik sayılarının az olması, atık toplama ve tesis işletme açısından potansiyel bir risk oluşturduğundan toplanabilir atık miktarının azalmasına ve hedeflenen atık miktarının tamamının toplanamamasına neden olabilir. Tesisten çıkacak gübre çiftçilere tarım arazilerinde kullanılmak üzere tekrar verilebileceğinden çiftçilerin gönüllü olarak atık vermesini teşvik edecek ve uygun gübre (patojenlerden arındırılmış) kullanılarak tarımsal üretime katkı sağlayacaktır. Bu gübrenin satılması halinde ise elde edilecek gelir artı bir kazanç yaratacaktır. Finansal riskler de bu tür yatırımlar için önemli bir konu olup gerek yatırım finansman bütçesinin temini, gerekse işletme giderlerinin karşılanması önemli bir finansal yönetim gerektirmektedir. Bir kamu ve sosyal proje olarak bu projede ise bu riskin etkisi daha az öngörülmektedir.

Halkın Tesis Hakkında Görüşleri

Saha ziyaretleri sırasında gezilen köy ve mahallelerde muhtarlar ve köylüler ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan görüşmelerde kurulacak biyogaz tesisi yatırımı konusunda olumlu izlenimler edinilmiştir. Bölgede eskiden tezek yapımında kullanılan büyükbaş hayvan atıklarının, günümüzde bu amaçla kullanılmadığı belirtilmiştir. Özellikle Yukarı Sarıkamış Mahallesinin, Sarıkamış ilçe merkezine yakın olması atık bertarafı açısından büyük problem teşkil etmektedir. Bu mahallede atık, mahalle çevresinde ciddi problem yarattığı kadar, kanalizasyon sistemine de kaçak deşarjların yapılması yüzünden bölgede büyük bir problem yaratmaktadır. Bölge halkı aynı zamanda bu sorundan şikayetçidir. Bu sebeple kurulacak biyogaz tesisi konusunda olumlu görüşler paylaşılmıştır. Atık temini konusunda herhangi bir olumsuz görüşle karşılaşılmamıştır. Ayrıca, tesisten çıkacak gübrenin atık sahipleriyle tekrar paylaşılacağı gibi bir sosyal proje gündeme gelmiştir. Tesisten çıkan gübrenin atık sahipleriyle paylaşılması durumunda bölgedeki çiftçilerin desteklenmesi, tarımsal faaliyetlerin gelişmesi ve tarımsal alanlarda kaliteli gübre kullanımının yaygınlaşması projenin önemli bir çıktısı olacaktır. Saha çalışmasında edinilen izlenimler doğrultusunda atık temininin herhangi bir bedel ödenmeden sağlanacağı belirlenmiştir.

6.7. SARIKAMIŞ İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ YER SEÇİMİ

Arazi seçimi yapılırken atık toplanacak olan mahalle ve köylere mümkün olduğunca optimum bir noktada tesis kurulması, atık toplama maliyeti ve planlaması açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple arazi seçimi için önerilen bölge Şekil 6.7.1’de gösterilmiştir. Sarıkamış ilçesinde yer alan kayak merkezi sebebiyle bölge turistik öneme sahiptir. Biyogaz tesisinin bir miktar da olsa koku problemine yol açabileceği düşünüldüğünde, merkezden ve kayak turizmi bölgesinden uzaklaşmak uygun olacaktır. Bu sebeple Arazi Seçim Bölgesi olarak işaretlenmiş alan uygun bölge olarak düşünülebilir. Yapılacak olan yer seçiminde dikkat edilmesi gereken konu başlıkları şu şekildedir:

- Ulaşım kolaylığı
- Çevre ile etkileşim
- Yerleşim yerlerine mesafe
- İletim hatlarına mesafe
- Tarım arazisi varlığı ve arazi vasfı
- Atık kaynaklarına mesafe
- Bölgedeki sanayi faaliyetleri
- Topoğrafik özellikler

Bununla birlikte, Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği, koku probleminin yaşanabileceğini dikkate alarak tesis sınırının yerleşim alanlarına en yakın mesafesinin 250 metre olması gerekliliğini getirmiştir. Bu açıdan bakıldığında bölge çevresinde 1 km’lik bir bant içerisinde yerleşim yeri bulunmamaktadır. Bu sebeple koku açısından bir problem yaşanmayacaktır.



Şekil 6.7.1. Sarıkamış ilçesi tesis yer seçimi için önerilen alanlar

Şekil 6.7.1’de verilen öneride Arazi Seçim Bölgesi’nin atık alımı planlanan köy ve mahallelere uzaklığı, Yukarı Sarıkamış Mahallesi için 8,5 km; Alisofu için 4,5 km; Bozat için 7,5 km ve Hamamlı için 7,5 km olarak belirlenmiştir.

Kurulacak biyogaz tesisinden atık ısı çıkışı olmayacağı ve bunun Kütük Ev işletmesinde değerlendirilmesinin söz konusu olmayacağı için Kütük Ev işletmesine yakınlık bir kriter olmaktan çıkarılmıştır.

6.8. ATIK TOPLAMA STRATEJİSİ

Önerilen 400 kW_e kapasitesinin yakalanabilmesi için tesise girecek günlük atık miktarı 102,5 ton olacaktır. Bu sebeple biyogaz tesisine sürekli olarak büyükbaş hayvan atığının taşınması söz konusu olacaktır. Atıklar köylerden bir kamyon yardımıyla alınıp Arazi Seçim Bölgesi civarında kurulacak olan biyogaz tesisine taşınacaktır. Dolayısıyla köylerde atıkların depolanmasını sağlayacak her 4-5 işletmenin atığını alabilecek betonarme gübre havuzları yapılması gerekmektedir. Atıklar 20 ton kapasiteli kamyonlar ile toplanacaktır. Kamyonların tam kapasitede atık taşınması için atıkların köylerden toplanma süresi, 1 ile 3 gün olarak belirlenmiştir.

Atıklar, Yukarı Sarıkamış Mahallesi ile Alisofu, Hamamlı ve Bozat köylerinden toplanacaktır. Arazi Seçim Bölgesi'nin atık alımı planlanan bu köy ve mahallelere uzaklığı Yukarı Sarıkamış Mahallesi için 8,5 km; Alisofu için 4,5 km; Bozat için 7,5 km ve Hamamlı için 7,5 km olarak belirlenmiştir. Atıkların alım miktarları ile ilgili ayrıntılı dağılımlar, çiftçiler ile yapılacak sözleşmelere bağlı değişkenlik gösterebileceği için tesisin işletmeye alınma aşamasında netleştirilmesi planlanmıştır. Bu sebeple köylerin mesafeleri ortalaması alınarak 7 km atık taşıma mesafesi olarak belirlenmiştir.

6.9. EKONOMİK MODEL ÇALIŞMASI (FAYDA-MALİYET ANALİZİ, PROJENİN YAPILABİLİRLİĞİ)

Projeye ilişkin çeşitli verilerin toplanmasının ardından, biyogaz özelinde geliştirilen ekonomik model kullanılmıştır. Birçok senaryo için çalıştırılan ekonomik model programının referans olarak seçilen senaryo için girdi seti varsayımları aşağıda açıklanmıştır.

Tablo 6.9.1. Seçilen Senaryo Ekonomik Model Kabulleri ve Sonuçları

Varsayımlar	Birim	Değer
Çalışma süresi	saat/yıl	8.000
İç Tüketim	%	8
Elektrik Üretim Verileri		
Brüt Kurulu Kapasite	kWe	400
İç Tüketim	kWe	32
Net Kurulu Kapasite	kWe	368
Yıllık Satılabilir Elektrik Üretimi	MWh/yıl	2.944
Yatırım Bedeli	\$	965.000
İşletme Bedeli	\$/yıl	193.867
Öz Kaynak	%	100
İlk 10 yıl Elektrik Satış Fiyatı (YEKDEM)	\$/kWh	13,3
Ekonomik Model Sonuçları		
Geri Ödeme Süresi	yıl	4,9
FAVÖK*	\$/yıl	197.685

Bu özet tablosunda temel varsayımlar ve ekonomik model sonuçları verilmekle beraber her önemli parametre aşağıda daha detaylı olarak ele alınmaktadır.

Daha önce Bölüm 6.4’de atık dağılımı konusunda yapılan çalışma sonucunda 400 kWe brüt elektrik gücü kapasitesi biyogaz projesi için fizibilitenin ana senaryosu olarak seçilmişti. Bu sebeple, bu bölümde sunulan ekonomik model analizi 400 kWe elektrik gücü için gerçekleştirilmiştir. Başlangıç noktası olan bu girdiden elektrik üretimiyle ilgili diğer parametreler hesaplanmıştır. Bu amaçla yapılan varsayımlar ve sonuçlar Tablo 6.9.2’de verilmiştir.

Tablo 6.9.2. Elektrik Gücü ve Yıllık Üretim – Brüt/Net

Varsayımlar	
Çalışma süresi (saat/yıl)	8.000
İç Tüketim	8%
Elektrik Üretim Verileri	
Brüt Kurulu Kapasite (kWe)	400
İç Tüketim (kWe)	32
Net Kurulu Kapasite (kWe)	368
Yıllık Satılabilir Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	2.944.000

Tesisin kurulu kapasitesinden (400 kWe), iç tüketimin (%8 = 32 kWe) düşülmesiyle, tesisin satılabilir net elektrik gücüne (368 kWe) ulaşılmaktadır. Bu gücün, bir yılda tesisin tam kapasite çalışmasına karşılık gelen yıllık çalışma süresi (8.000 saat/yıl, 22,3 saat/gün) ile çarpılması sonucunda, tesisin bir yılda üreteceği satılabilir elektrik enerjisi (2.944.000 kWh) elde edilmektedir.

Bu aşamada yapılan ekonomik model çalışmasında, tesisin iç tüketimi ve yıllık çalışma süresi belirlenirken, uzun yıllar ortalaması olacak değerler seçilmiştir. Dolayısıyla, tesisin yıllar geçtikçe yaşayacağı performans kaybı ve sonrasında yıllık ve daha uzun döngülü büyük bakımlarla sağlanacak performans geri dönüşü gibi etkiler her yıl için ayrı olarak dikkate alınmamıştır. Bu sebeple, yıllara göre çalışma süreleri ve iç tüketim değerleri sabit alınmış, sonucunda bu veriler ve bunlar gibi birçok verinin yıllık değerleri bir kez hesaplanmış ve ekonomik model analizlerinde kullanılmıştır.

Satılabilir elektrik enerjisinin belirlenmesi sonucunda, tesisin yıllık elektrik geliri de kolaylıkla hesaplanmaktadır. Buna ilişkin girdi verileri, varsayımlar ve sonuçlar Tablo 6.9.3’te verilmiştir. Tesisten çıkacak katı ve sıvı gübre yıllık yaklaşık 31.755 ton ve 45.625 ton olacak olup, satılması durumunda elde edilecek yıllık gelir toplamı 180.000 ABD Dolarının üzerinde olacaktır. Tesisten çıkacak gübrenin, bölgedeki çiftçilerle paylaşarak tarımsal faaliyetlerin desteklenmesi öngörüldüğünden bu gelir dikkate alınmamıştır. Tesisten bir atık ısı çıkışı olmayacağı için bu konuda herhangi bir tasarruf sağlanamayacaktır.

Tablo 6.9.3. Elektrik Gelirleri

Varsayımlar	
İlk 10 yıl Elektrik Satış Fiyatı (\$_¢/kWh)	13,3
Elektrik Üretimi ve Gelirler	
Yıllık Satılabilir Elektrik Üretimi (MWh/yıl)	2.944
İlk 10 yıl Elektrik Satış Geliri (\$/yıl)	391.552

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik santrallerini desteklemek amacıyla oluşturulan mekanizma sayesinde, biyokütleyi yakıt olarak kullanan santrallerin, kurulduktan sonraki 10 yıl boyunca sabit tarife fiyatı 133 ABD Dolar/MWh üzerinden elektrik satışı gerçekleştirmeleri garanti altına alınmaktadır. Ancak, bu 10 yıllık sürenin dolması ardından, üretilen elektrik serbest piyasa koşullarında sunulan satış yöntemlerinden faydalanarak piyasadaki fiyatlardan satılacaktır. Bu, projenin sürdürülebilirliği açısından en temel desteklerden birisidir. Bu sayede ilk 10 yıllık dönemde, proje kendini amorti ettiği için ekonomik analizler ilk 10 yıl özelinde incelenmiştir.

Elektrik satışı için birim bedellerin belirlenmesi ardından, bu fiyatların yıllık satılabilir elektrik üretimi 2.944 MWh/yıl ile çarpılmasıyla; ilk 10 yıl boyunca her yıl için elektrik satış cirosu 391.552 ABD Doları olarak hesaplanmıştır.

Tesis gelirlerinin hesaplanması ardından kurulması planlanan bir biyogaz tesisin işletme maliyetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu masraf kalemleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

- İşletme personeli giderleri
400 kWe gücündeki tesisin toplam 10 personelle (1 mühendis, 4 teknisyen, 4 işçi ve 1 bekçi) işletileceği ve bir personelin ortalama maliyetinin 800 ABD Dolar/ay olacağı öngörülmüştür.
- Bakım ve Onarım giderleri
İşletme sırasında bakım ve onarım giderlerinin en önemli maliyet kalemini kojenerasyon ünitesi bakım ve onarım giderleri oluşturmaktadır. Gaz motorlarının çalışma saati üzerinden yapılan hesaplama ile bu kalem 43.000 ABD Dolar/yıl olarak hesaplanmıştır. Biyogaz sistemi ile ilgili yedek parça, makine ve teçhizat bakımı ile ilgili diğer bakım giderleri kalemi ile birlikte toplam bakım ve onarım maliyetinin 58.000 ABD Dolar/yıl olacağı öngörülmüştür.
- Genel idari giderler
Tesisin işletmesi sırasında oluşabilecek çeşitli idari masraflar ve beklenmeyen tali giderler için; üretilecek her kWh elektrik başına 0,06 ABD Doları_¢ birim maliyet belirlenmiştir.
- Sigorta giderleri
Tesisin yıllık olarak sigorta masrafının 25.000 ABD Dolar/yıl olacağı öngörülmüştür.
- Atık taşıma giderleri
Tesele getirilecek atık miktarı yıllık 37.413 ton (102,5 ton/gün üzerinden) olacaktır. Atık taşıyacak kamyonlar 20 ton kapasitelidir. Bu durumda yıllık yapılacak sefer sayısı 1871 adet olacaktır. Atık taşıma mesafesi olarak belirlenen ortalama değer 7 km'dir. Kamyon,

yapacağı 1 seferde 1 gidiş ve 1 geliş olmak üzere 14 km yol katedilecektir. Bu durumda yıllık katedilecek mesafe 26.194 km olacaktır. Atık taşıma maliyeti km başına 0,5 ABD Doları_ø olarak öngörülmüştür. Bu durumda yıllık atık taşıma maliyeti 13.097 ABD Doları olarak hesaplanmıştır. Her tesis için bir adet taşıyıcı kamyon ve yükleyici yatırım bedelleri içinde öngörülmüştür.

Saha çalışmasında edinilen izlenimler doğrultusunda atık temininin herhangi bir bedel ödenmeden sağlanacağı belirlenmiştir. Bu sebeple atık için bir gider öngörülmemiştir.

Bu açıklamalar ışığında, 400 kWe kapasitede tesis için hesaplanan işletme maliyetleri Tablo 6.9.4'te verilmiştir.

Tablo 6.9.4. İşletme Maliyetleri

Gider Kalemleri	\$/yıl
İşletme personeli	96.000
Bakım ve onarım	58.000
Genel idari giderler	1.770
Sigorta giderleri	25.000
Atık taşıma giderleri	13.097
TOPLAM	193.867

İşletme maliyetlerinin belirlenmesi ardından ilk etapta FAVÖK hesabının yapılması mümkündür. Yıllık elektrik satış gelirinden yıllık işletme giderinin çıkartılmasıyla ilk 10 yıllık FAVÖK değerleri belirlenmiştir.

Tablo 6.9.5. FAVÖK değerleri

	\$/yıl
İlk 10 yıl Elektrik Satış Geliri	391.552
İşletme maliyeti	193.867
FAVÖK (İlk 10 yıl)	197.685

Tablo 6.9.5'te görüldüğü gibi ilk 10 yılda yenilenebilir enerji tarife desteğiyle oluşan FAVÖK ile ilk 10 yılda biriktirilecek kâr, tesis ömründe (25 yıl ekonomik ömür) elde edilecek kâr içinde önemli bir paya sahiptir ve bu süreçte kârlılığın sekteye uğramaması daha da fazla önem taşımaktadır. Tesisin ekonomik ömrü 25 yıl olarak planlanmıştır. Uygun ekonomik şartlar altında, tesis ekipmanlarında gerekli revizyonların yapılması ile birlikte tesis ömrü uzayabilecektir.

Ekonomik model çalışmasının diğer önemli girdilerinden biri de yatırım maliyetinin dökümü olmaktadır. Henüz bütçesel olan yaklaşımlara dayanarak yatırım maliyeti öngörülmüş olup, projenin finansmanının %100 özsermaye ile karşılanacağı varsayılmıştır.

Tablo 6.9.6'da gösterildiği gibi inşaat işleri yapım bedeli 215.000 ABD Doları, biyogaz tesisi tasarım, proje, mühendislik, ekipman temin ve montaj işleri bedeli 395.000 ABD Doları, kojenerasyon sistemi bedeli 290.000 ABD Doları olmaktadır. Bu toplamın dışında izin ve onay süreçleri, proje geliştirme, kontrollük, genel proje yönetim giderleri ve bilinmeyen giderler için 65.000 ABD Doları gider öngörülmüştür. Bu durumda, KDV hariç toplam yatırım bedeli 965.000 ABD Doları değerine ulaşmaktadır. Kurulacak biyogaz tesisi için alınacak olan yatırım teşvik

belgesi ile yurt içi ve yurt dışından temin edilecek olan makine ve teçhizatlar için KDV ve gümrük muafiyeti olacağı gibi, inşaat kapsamında herhangi bir muafiyet bulunmayacaktır.

Tablo 6.9.6. Yatırım Maliyeti

No	Ünite	İnşaat İşleri (\$)	Mühendislik, Ekipman Temin ve Montaj İşleri(\$)
1	Atık Kabul Ve Hazırlama	10.000	20.000
2	Anaerobik Çürütme Sistemi	120.000	170.000
3	Gaz Temizleme, Gaz Şartlandırma ve Gaz Depolama Sistemi	20.000	45.000
5	Hijyenizasyon Ünitesi ve Susuzlaştırma Sistemi	20.000	25.000
6	Çürütme Sonrası Depolama Sistemi (Lagün)	25.000	20.000
7	Tesis Kontrol Ve Otomasyon	10.000	35.000
8	Diğer Üniteler	5.000	15.000
9	Çevre Düzenleme	5.000	15.000
10	Enerji Üretim Sistemi (Kojenerasyon Tesisi)	-	290.000
11	Kamyon ve Yükleyici	-	50.000
12	Diğer Giderler (İzin, Onay, Kontrollük, Danışmanlık, Genel Yönetim ve Geliştirme Giderleri)	-	65.000
Toplam		215.000	750.000
Tesis Yatırım Bedeli (\$) (KDV Hariç)		965.000	

Bu verilere göre ilk 10 yıldaki FAVÖK'ün toplam yatırım bedeline bölünmesi yoluyla bulunan Yatırım Geri Dönüş Oranı (ROI) %20,5 olarak hesaplanmaktadır. Türkiye'de bir enerji yatırımı için yapılabilir seviyede kârlılık işareti olan bu değer, aynı zamanda satış gelirinin 10 yıl boyunca garanti altında olması sebebiyle risk içeriği açısından da ilave bir olumlu yönü bulunmaktadır.

Yukarıda verilen bilgileri özetlemek gerekirse, projenin yatırım döneminde, İdare'nin kendi kaynaklarından projeye aktarması gereken sermaye yaklaşık 965.000 ABD Doları olarak öngörülmekte, işletmenin ilk 4 yılda elde ettiği yaklaşık net nakit girdileriyle 5.yılın başında bu sermaye tamamen geri alınmış olmaktadır.

Yukarıda yapılan bu ekonomik model analizi, ana varsayımlarda olabilecek değişikliklerle daha farklı sonuçlara ulaşabilecektir. Yapılan saha çalışmasında edinilen izlenimler ve köylülerin talepleri doğrultusunda tesisten çıkan gübrenin atık veren köylülere geri verileceği varsayılmış ve yapılan değerlendirmede çıkan bu gübre için satış geliri öngörülmemiştir. Tesisten atık ısı çıkışı olmayacağı için atık ısının kullanımı ile ilgili maliyetler ve değerlendirmeler dikkate alınmamıştır.

6.10. PROSES TARİFİ

Prosesin girdisi, yani proste kullanılacak hammadde, köylerden toparlanacak büyükbaş hayvan atıklarıdır. Bu atıklar tesise üzeri kapatılmış, sızdırmaz özelliklere sahip bir kamyon ile taşınacaktır. Sarıkamış ilçesine bağlı Yukarı Sarıkamış Mahallesi ile Alisofu, Hamamlı ve Bozat köylerinden atık toplanması planlanmaktadır. Bu 4 yerleşim biriminden atık alınması tesisin öngörülen kapasitede çalışması için fazlasıyla yeterlidir. Atıkların alım miktarları ile ilgili ayrıntılı dağılımlar, çiftçiler ile yapılacak sözleşmelere bağlı değişkenlik göstereceği için tesisin işletmeye alınma aşamasında netleştirilecektir. Tesise günlük 102,5 ton büyükbaş hayvan atığı getirilecektir. Kamyon, tesise girdiğinde kantarda tartıldıktan sonra hammadde türü, kaynağı ve araç bilgileri kayıt altına alındıktan sonra dezenfeksiyon ünitesine geçecektir. Bu üniteye özel kimyasal katkı suyla duşlama yöntemi ile dezenfeksiyon yapılacaktır. Bu sayede atıkların getirildiği köylerdeki bakteri veya hastalıkların tesise girişi engellenmiş olacaktır. Getirdiği atığı atık kabul ünitesine boşaltan kamyon tesisten çıkarken ve atık almaya giderken tekrar dezenfeksiyon ünitesinden geçerek tesisten herhangi bir bakteri ve hastalığın atık alınacak köylere taşınmasına engel olunacaktır.

Atık kabul birimi olarak adlandırılan bölüm ön depolama tankları (mixing tanklar) ve atık besleme sisteminden oluşmaktadır. Atıklar kuru madde oranları %10 olacak şekilde ön depolama tanklarında sulandırılarak bulamaç haline geleceklerdir. Ön depolama tanklarından günlük 102,5 ton bulamaç fermentörlere pompalanacaktır. Fermantasyon işlemi bu fermentörler içerisinde gerçekleşecektir. Aynı oranda fermente olmuş ürün (102,5 ton) ise günlük olarak fermentörlerden alınacaktır. Bu fermantasyon şeklindeki üretim sürekli fermantasyondur. Ancak, tesis ilk devreye alınacağı sırada ise fermentörlerin tamamı başlangıçta doldurulacaktır. Biyogaz çıkışının sürekli hale gelip prosesin oturmasından sonra (yaklaşık 32-45 günlük süre) sürekli besleme sistemine geçilecek ve yıl boyunca aralıksız işletme devam edecektir. Fermentörlerin içerisine beslenen atıklar, anaerobik bakteriler tarafından biyolojik olarak parçalanacak ve biyogaz üretimini bu fermentörler içerisinde gerçekleştireceklerdir. Fermentörler su deposu şeklinde tasarlanmış beton tanklardır. Üzeri iki kat membran ile örtülür. Üretilen biyogaz tankın tepesinde birikecek ve membranların şişmesini sağlayacaktır. Fermentörlerin üzerindeki bu alan biyogaz deposu olarak kullanılacaktır. Fermentörlerde günlük 1.181.486 m³ biyogaz üretimi olacaktır. Hayvan gübresinde hali hazırda mezofilik bakterilerin bulunmasından yola çıkılarak fermentörler mezofilik şartlarda (35°C) çalıştırılacaktır.

Fermentörlerin tepesinde biriken biyogaz, gaz temizleme ünitesine gönderilerek içerisindeki su buharı ve hidrojen sülfür (H₂S) gazından temizlenerek motorlarda yanmaya elverişli bir gaz haline gelecektir. Temizlenen biyogaz kojenerasyon ünitesine gönderilecek ve gaz motorlarından yakılarak 400 kW_e elektrik üretimi (%41 elektrik verimi) ve 427 kW_{th} ısı üretimi (%44 termal verim) sağlayacaktır. Bölgenin sıcaklık ortalamasının oldukça düşük olması sebebiyle çıkan ısının tamamı mezofilik şartları korumak için fermentörleri ısıtmada kullanılacaktır. İlk devreye alma sırasında ise harici bir ısıtma sistemi kullanılacaktır. Kömür kazanı veya mozotlu bir hotmobil ısı cihazı ile, biyogaz üretimi istenilen seviyeye çıkıp motorlarda ısı ve elektrik üretimi gerçekleşene kadar harici ısıtma kullanılacaktır. Üretilen 400 kW_e elektrik enerjisinin 32 kW_e'i iç ihtiyaç için kullanılacak, 368 kW_e'i ise ulusal şebekeye satılacaktır. Fermentörlerden alınacak fermente olmuş ürün ise önce hijyenizasyon ünitesine, oradan sonra da susuzlaştırma işlemi için seperatöre

gönderilecektir. Seperatörden çıkan katı gübre (katı fermente ürün-87 ton/gün) bir depolama alanında depolanacak, sıvı gübre (sıvı fermente ürün-125 ton/gün) ise depolanmak üzere lagüne gönderilecektir. Tesisten çıkacak bu gübre bölgedeki çiftçilerin desteklenmesi, tarımsal faaliyetlerin gelişmesi ve tarımsal alanlarda kaliteli gübre kullanımının yaygınlaşması amacıyla çiftçilere verilecektir. Susuzlaştırma işleminin gerçekleştiği separatör kısmında proses süresince oluşacak kokuyu önlemek için biyofiltre olacaktır ve ortamda oluşabilecek koku probleminin önüne geçilecektir.

6.11. TESİS ÖN TASARIM VE BOYUTLANDIRMASI

Tesis ön tasarım ve boyutlandırması ile ilgili temel ön bilgiler bu bölümde verilmekle birlikte, esasen bu konu projelendirme aşamasında detaylandırılmalıdır. Tesis tam karıştırmalı, ısıtmalı, sürekli ve mezofilik sıcaklık bölgesinde çalışacak ıslak çürütme (wetdigestion) biyogaz teknolojisi kullanılacaktır. Kurulacak tesis tam otomasyonlu olup uzaktan erişim sistemiyle de takip edilebilecektir. Bu teknoloji şu an hem işletme kolaylığı hem de verimlilik açısından dünyada en çok tercih edilen proses olarak tarım ve hayvancılık ağırlıklı atıkların işlendiği biyogaz tesislerinde tercih edilmektedir.

Kurulacak biyogaz tesisi kapasitesi 400 kWe kurulu gücünde olacaktır. Tesise gelecek olan organik içerikli atıkların anaerobik ortamda, biyolojik olarak parçalanması sağlanacaktır. Organik içerikli atıkların biyolojik olarak parçalanması esnasında açığa çıkacak olan biyogaz ise kojenerasyon ünitesinde elektrik ve sıcak su üretimi için kullanılacaktır. Kurulacak kojenerasyon tesisi termal gücü ise yaklaşık 427 kW_{th} olacak şekilde tasarlanacaktır.

Biyogaz tesisi, 400 kW_e kurulu güç için 2 fermentör tankı (çürütücü) üzerinden işletilecektir.

Her bir çürütücü yaklaşık 10,5 m iç yarı çapında 10,5 metre yüksekliğinde olup 3640 m³ toplam ve 3.400 m³ çalışma hacmi değerinde olması planlanmaktadır. Fermentörlerde gerçekleşecek toplam alıkonma süresi (bekletme süresi) 32 gün civarında olacaktır.

Tesise gelen hayvansal atıklardan kuru madde oranı %10'un altında olanlar doğrudan ön depolama tankına, kuru madde oranı %10'un üzerinde olan atıklar ise atık besleme sistemine alınacaktır. Ön depolama tankı 600 m³ kapasiteli bir adet beton tanktan oluşacaktır. Katı atık besleme sistemi ise ön depolama tankına bağlı olacak ve 80 m³ atık besleme kapasitesine sahip olacaktır. Ön depolama tankında homojenize edilen atıklar günlük olarak pompalama sistemi üzerinden fermentörlere alınacaktır. Fermentörlerde çürütülmüş ve digestate (özüt) formuna dönüşmüş fermente ürün ayrıştırılmak üzere seperatör ünitesine (susuzlaştırma ünitesi) gönderilecektir. Tesis sürekli çalışacak olduğundan hacimsel akış dengesinde bir sorun çıkmaması için bu işlemler eş zamanlı olarak yürütülmelidir.

Tesis mezofilik sıcaklık bölgesinde işletilecektir. Mezofilik sıcaklık bölgesinde işletilirken ısıtma grubundan sağlanacak sıcak su girişi yaklaşık 60-70 C° olacaktır. Isıtma sistemi olarak fermentör içi ısıtma sistemi kullanılacaktır. Fermentörlerde üretilen gaz geçici bir süre çift membran şişme çatılarda depolandıktan sonra bir blower sistemi sayesinde hızlandırılarak kojenerasyon ünitesine gönderilecektir.

Biyogaz içerisindeki hidrojen sülfid (H_2S) biyolojik iç desülfürizasyon sayesinde 150 ppm ve alt seviyesine indirilecektir. Ayrıca biyogaz hattındaki yoğunlaşma yolu ve kondens toplama sistemleri sayesinde kaba suyu alınan doymuş gaz, bir soğutma ünitesinden geçirilerek $+8^{\circ}C$ 'de doyum noktasına kadar nemden uzaklaştırılacaktır. Bu sayede biyogazın içerisindeki nem istenilen seviyeye indirilecektir. Üretilen kondens suyu bir hat ile iki noktadan toplanıp besleme hazırlama tankına alınacaktır.

Gaz motorlarına beslenen biyogazın yapısındaki enerji yaklaşık %41 verimle elektrik, yaklaşık % 44 verimle ısı enerjisiye dönüştürülecektir. Üretilen elektriğin tamamı şebekeye verilirken tesisin ihtiyacı olan kısım (%8) üretilen elektrikten karşılanacaktır. Kullanılacak olan gaz motoru toplam verimi % 85 civarında olacaktır.

Tesis yan çıktıları olarak fermente katı ve sıvı ürün ile birlikte atık ısı da üretecektir (bu atık ısı tesiste fermentörleri ısıtmak için kullanılacaktır). Üretilen katı fermente ürünün büyük bir kısmı atığın sağlandığı atık sahiplerine verilecektir. Üretilen sıvı fermente ürün ise susuzlaştırmadan sonra; N,P,K desteği olarak yine bölgedeki tarım çiftçilerine verilebilecektir. Böylelikle bölgedeki tarımsal faaliyetlerin artması sağlanacaktır.

Planlanan tesis kapsamında;

- Atık Kabul ve Hazırlama Sistemi (Atık Besleme Sistemi ve Ön Depolama Tankı)
- Anaerobik Fermantasyon Sistemi (Fermantasyon Tankları)
- Enerji Üretim Sistemi (Kojenerasyon Ünitesi)

kurulacak olup, tesiste yer alacak ünitelere ait detaylı açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Atık Kabul ve Hazırlama Sistemi:

Tesise gelen kamyonlar dezenfeksiyon ünitesinden geçerek tekerlek ve araç yıkaması yoluyla dezenfekte edilecektir. Araç hijyen ünitesinde boşaltma işlemi gerçekleşmiş olan araçlar dezenfekte edildikten sonra atık almak üzere diğer köylere yeni sefer yapabilecektir. Tesise taşınacak atıkların uygun koşullarda (kapalı ve sızdırmaz araçlarla) getirilmesi sağlanmalıdır.

Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliğinin Üçüncü Bölüm 10-3 ve 10-9. Maddesi “Atıklar, çevresel risk oluşturmayacak şekilde tesise kabul edilir ve atıkların işlendiğinin takip edilmesi için gerekli kontrol sistemleri kurulur.” ve “Tesise kabul edilen atığın kaynağı, kodu, miktarı, tesise erişim şekli gibi bilgileri içeren veri kayıt sistemi oluşturulur.” hükümlerine uyulacaktır. Kantarın üzerinden geçen araçlar tartılarak tesise gelen atık miktarı takip edilmelidir. Kurulacak kantar kapasitesi 40 ton olacaktır. Her gün tesise gelen atık miktarı ve türü kontrol odasındaki kayıt sisteminde kayıt altına alınacaktır. Sisteme beslenen atığın günlük miktar ve içeriğinin homojen olmaması gaz verimini ve biyolojik süreci olumsuz etkilemesi nedeniyle engellenmesi gereken bir durumdur. Bu nedenle gelen atığın miktar ve türünün kayıt altına alınması önemlidir.

Kuru madde miktarına göre yapılacak olan atığın kabulünden sonra doğrudan veya atık besleme sistemi üzerinden ön depolama tankına alınan atık, burada 1-2 gün bekletilebilecektir. Ön depolama tankının hacmi $600 m^3$, atık besleme sisteminin kapasitesi ise $80 m^3/gün$ olacaktır.

Betonarme ve sızdırmaz yapıda olan ön depolama tankı menhollerle giriş sağlayacak şekilde üzeri kapatılacak olup kötü kokulu havanın filtre edildiği bir biyofiltreye sahip olacaktır.

Tesis tasarımı Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliğinin Üçüncü Bölüm 10-5. Maddesi “*Üretim öncesi, atıkların en az bir gün süre ile biriktirilebileceği büyüklükte atık kabul birimi yapılır*” hükmüne uygun yapılacaktır.

Aynı tebliğin Üçüncü Bölüm 10-6. Maddesi “*Atık kabul birimleri meteorolojik olayların etkilerine karşı üzeri kalıcı yapı malzemesi ile kapalı olarak inşa edilir. Atık kabul birimi tabanı, sızdırmazlığı sağlayacak şekilde en az 30 cm kalınlığında, C30 beton ve tutuşmaz malzemeden yapılır. Tabanda atığın yer altı suyu, kanalizasyon veya yer üstü suyuyla temas etmesini veya sızmasını engelleyecek şekilde ayrı toplama mekanizması geliştirilir. Atık kabul alanında oluşacak sızıntı suyunun toplanabilmesi için zemine uygun şekilde eğim verilir*” hükmüne uyulacaktır. Atık kabul birimleri meteorolojik olayların etkilerine karşı üzeri kalıcı yapı malzemesi ile kapalı olarak inşa edilecektir. Atık kabul birimi tabanı, sızdırmazlığı sağlayacak şekilde en az 30 cm kalınlığında, C30 beton ve tutuşmaz malzemeden yapılacaktır. Tabanda atığın yeraltı suyu, kanalizasyon veya yerüstü suyuyla temas etmesini ve sızmasını engelleyecek şekilde ayrı toplama mekanizması geliştirilecektir. Atık kabul alanında oluşacak sızıntı suyunun toplanabilmesi için zemine uygun şekilde eğim verilecektir.

Ön depolama tankı piston akış özelliğindeki yapısı ve bıçak tipi dalgıç karıştırıcıları sayesinde çürüme işlemine uygun, homojen ve inceltilmiş bir bulamaç hazırlama konusunda çok iyi bir tasarıma sahiptir. Tamamen kapalı bir sistem olan bu tanklar sadece pnömatik olarak kontrol edilen kapakları sayesinde istenildiği taktirde dış ortamla temas halindedir. Ayrıca ikili karıştırma tankı sistemi üzerinde besleme hazırlanırken oluşabilecek kötü kokuların giderildiği biyofiltre bulunmaktadır. Biyofiltre tamamen doğal reçine yapısında olacaktır.

Tanklar yerle aynı seviyede olacak olup taşma durumlarına karşı çok iyi bir proses kontrol mekanizmasıyla donatılacaktır. Bu hususta çürütücüler üstten gübre taşma ve gaz dengeleme hatlarıyla birbirine bağlantılı projelendirilmiş, ayrıca en olumsuz tabloya karşı çürütücülerin lagünle de bağlantısı sağlanmıştır. Bu sayede otomasyon sistemi tarafından sürekli seviyesi kontrol edilen çürütücü tanklarda oluşacak bir sorun sebebiyle seviyenin yükselmesi durumunda; önce çürütücüler arasındaki taşma hatları sonrada çürütücülerin lagünle olan bağlantısı devreye girecek ve gerektiğinde sistem durdurulacaktır.

Karıştırma tanklarında hazırlanan homojen bulamacın düzenli, ölçülü ve hava sızdırmaz bir şekilde çürütücü tanklara aktarılması bir biyogaz tesisinde en önemli kısımlardan biridir ve genelde sızma, taşma gibi çevresel sorunlara en çok sebebiyet veren kısımdır. Merkezi pompalama sistemi ile atık günlük olarak ön depolama tankından çekilerek fermentörlere beslenecektir.

Anaerobik Fermantasyon Sistemi:

2 adet fermentör tankı (fermentör, çürütücü) atığı işleyip yapıdaki organik yükü biyolojik bir süreç sonrasında yıkarak biyogaza dönüştürmek için kullanılacaktır. Silindirik betonarme tank yapıda olacak çürütücüler su sızdırmaz şekilde inşa edilecek olup, ısıtma ve karıştırma sistemine sahip olacaktır. Reaktörlerin iç kısmı (ilk 10 metre) su sızdırmazlığı için epoksi reçine ile kaplanacakken biyogazın temas ettiği son 0,5 metrelik kısım bitümlü epoksi reçine ile kaplanacaktır.

Karıştırma her bir çürütücü içerisinde konumlanmış olan 2 adet yatay milli, 2 adet dalgıç tip karıştırıcıyla sağlanacak olup boru tipi duvardan ısıtma sistemiyle çürütücülerin ısıtılması sağlanacaktır. Karıştırıcılar istenilen dönme hızında ayarlanabilen yapıda olacaktır. Ayrıca boru tipi ısıtıcılar paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş olacaktır. Sıcaklığın istenilen değerde tutulması, homojen karıştırma kontrolü, seviye takibi, basınç, pH ölçümü, köpük oluşumu kontrol edilmesi gereken en önemli parametreler olup kontrolcülerle sürekli ölçülecek ve otomasyon sistemine aktarılacaktır.

Fermentörlerin üzerinde 2 parçadan oluşan şişme membran yapıda gaz depolama çatıları mevcuttur. İçerideki membran esnek PVC yapıda olup geçirim değeri $400 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{bar}/24 \text{ saat}$ değerinden daha küçük olacaktır. Dış membran ise sert PVC esnek olmayan yapıda olacaktır. Bu gaz depolama alanları sayesinde hem üretilen gaz tamamen kapalı bir sistemde üretime sunulacak hem de yarım güne yaklaşan sorunlar için yedek bir depo oluşturulacaktır.

Fermentörler ısı kaybını engellemek için ısı iletim katsayısı düşük ($0,03-0,035 \text{ W/Mk}$) duvar ve zemin betonu yalıtım malzemesiyle izole edilecek olup dış kısım bu izolasyonu nemden ve çevresel şartlardan korumak için trapez saç kaplamayla kaplanacaktır.

Fermantasyon işleminin gerçekleştiği reaktör içerisindeki sıcaklık, basınç, pH, katı madde içeriği, organik yükleme değerleri, alkalinite, uçucu yağ asitleri ve biyogaz üretimi sürekli olarak izlenecektir.

Tesiste, Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliği” Üçüncü Bölüm 10-3 Maddesin’de “Biyometanizasyon tesisleri, tebliğin 10 uncu maddesi ve 11 inci maddesini ikinci fıkrasının (a) bendinde belirtilen hükümlere uyulmalıdır. Bu hükümlere ek olarak;

- ✓ Fermantasyon işleminin gerçekleştiği sızdırmaz özellikte reaktör,
- ✓ Reaktör sıcaklığının izleneceği sıcaklık kontrol sistemi,
- ✓ Rektöre beslenen atıkların, belirlenen bekleme süresi içerisinde parçalanması ve optimum düzeyde metan gazı oluşması için uygun karıştırma sistemi,
- ✓ Elde edilen gazın biriktireceği gaz depolama birimi,
- ✓ Fermantasyon sonrasında oluşan ürünün depolanabileceği ürün depolama alanı,
- ✓ Gaz arıtma sisteminin olduğu birim,
- ✓ Olası gaz kaçaklarının önlenmesi için erken uyarı sistemi kurulacaktır.

Çürütme sonrası işlemler (Hijyenizasyon, Susuzlaştırma ve Depolama):

Çürütücülerde gerçekleşecek toplam alıkonma süresi (bekletme süresi) 32 gün civarında olacaktır. Fermentörlerde işlenen organik atıklar alındıktan sonra patojen mikroorganizmalar, yabancı ot ve tohumlardan arındırılmak üzere hijyenizasyon ünitesine gönderilecektir. İşlenmiş fermente sıvı (digestate, özüt) susuzlaştırma ünitesine gönderilmeden önce bu sayede son bir hijyenizasyon (pastörizasyon) işlemine tabi tutulacaktır. Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliğinin Üçüncü Bölüm 11-6. Maddesi *"Hayvansal atık kullanılması durumunda, bu atıkların 55 °C'de 15 gün veya 60 °C'de 7 gün veya 65 °C'de 5 gün veya 70 °C'de 1 saat işlem göreceği hijyenizasyon ünitesi tesiste yer alır."* Hükmüne uyulacaktır. Hijyenizasyon ünitesi 50 m³ hacminde iki adet paralel çalışacak ısıtılmalı ve tam karıştırmalı paslanmaz çelik tanktan oluşacaktır. Çürütücülerden dönüşümlü olarak hijyenizasyon tanklarına sürekli beslenecek olan işlenmiş fermente sıvı 70 °C'de 1 saat işlem gördükten sonra artık susuzlaştırma işlemi için hazır hale gelmiş olacaktır.

Çürütücülerden hijyenizasyon tanklarına alınan işlenmiş fermente ürün, sıvı ve katı formda iki işlenmiş fermente ürüne ayrılmak üzere susuzlaştırma binasında bulunan seperatörden geçirilir. Çürütme ve hijyenizasyonu tamamlanan fermente sıvı sıkma pres vidalı seperatörden geçirilecektir. Bu sayede fermente sıvı (özüt, digestate- %7-10 kuru madde), %1-2 kuru madde içeren fermente sıvı ürün ve %25-30 kuru madde içeren fermente katı ürüne (torf) ayrıştırılacaktır.

Sıvı ve katı form olmak üzere iki forma ayrılan işlenmiş gübrenin sıvı kısmı lagüne katı kısmı ise atık üreticilerine verilecektir.

Lagün; serme çift katlı ve yüzer örtülü membran yapıda olacak olup 4,0 metresi toprağın altında 2 metresi şev üstü toprakla zeminin üst kısmında kalan yapıdır. Duba sistemi üzerinde yüzdürülen üst membran örtü hem havayla teması kesmekte hem de az miktarda da olsa oluşan gazın toplanarak sisteme aktarılmasına olanak sağlamaktadır. Burada üretilen ekstra biyogaz bir hat ile birlikte çürütücülerin üzerindeki gaz depolama çatılarına aktarılıp sisteme dahil edilecektir.

Gaz transfer hattı, gaz arıtma sistemi ve yakma bacası (flare):

Metan geçirimi çok düşük (400 cm³/m²/bar/24) PVC membran yapıda 2 aşamalı şişme çatı içerisinde 3-5 milibarda çürütücülerin üzerinde de depolanan biyogaz iç desülfürizasyon yöntemiyle H₂S'den arındırıldıktan sonra gaz hattı üzerinden yoğunlaşma şaftında kaba suyu alındıktan sonra hassas nem alma işlemi için gaz soğutma ve filtrasyon ünitesine gönderilir. Burada hem hat üzerinde gazın basınçlanmasını sağlamak hem de gaz motorlarına 80-120 milibar pozitif basınçla göndermek için blower sistemi kullanılır.

Ayrıca blower da basınçlandırılan gaz motorlara gönderilmeden önce bir flow metreden geçilerek hacimsel olarak ölçülür ve bir gaz analiz cihazı sayesinde sürekli olarak metan ve H₂S içeriği sürekli takip edilir.

Gaz hatları binadaki blower odasına kadar sabit bir yoğunlaşma sıcaklığını yakalamak ve yoğunlaşma suyunun donarak hatları tıkamasını engellemek için toprağın altından döşenir. Yüksek basınç dayanımlı PE malzemeden imal edilen bu borular blower odasından itibaren üsten giderken

paslanmaz çelik malzemeden seçilecektir. Gaz hatları üzerinde bulunan yoğunlaşma şaftlarında toplanan yoğunlaşma suyu mevcut dalgıç pompalarla lagüne aktarılacaktır.

H₂S çok reaktif (tepki oluşturan) bir gaz olduğu için oluştuğu anda giderilmesi önemlidir. Bu nedenle seçilen proseste iç desülfirizasyon mevcuttur ve bir blower sistemi sayesinde de bütün membranlara çok az miktarda (hacmen % 1-2) hava aktarılır. Şişme çatılarda bulunan sülfür bakterileri H₂S'i gaz formdan çökebilir elementel forma dönüştürüp hızlı bir şekilde gazdan ayırır. Bu şekilde H₂S seviyesi, birçok gaz motoru için sınır olan 200 ppm seviyesinin altına (150 ppm'e) düşürülür. Ayrıca bu sayede sülfür katı formda fermente ürüne geçtiği için ürünün gübre kalitesinde de artış sağlanacaktır.

Ayrıca herhangi bir bakım ve arıza durumunda ve tesisi işletmeye alırken metan ağırlıklı biyogazı yakarak bertaraf etmek için otomatik olarak devreye girecek ve blowerlardan biriyle beslenecek bir gaz yakma bacası prosesinde mevcuttur. Kullanılacak flare %95 üzeri bir yanma verimine sahip olacak olup, NO_x emisyonları açısından en az 6 metre yakma bacası yüksekliğine sahip olacaktır. Ayrıca yapısında otomatik ateşleme sistemi bulunduracaktır.

Enerji Üretim Sistemi (Kojenerasyon Ünitesi)

Üretilen gazı elektrik ve atık ısıya çevirmek için 400 kW_e kurulu gücünde kojenerasyon sistemi kullanılacaktır. Kullanılacak gaz motorları toplam verimi % 85 civarında olacak olup, baca gazı susturucu sistemi ve titreşim engelleyici sisteme sahip olacaktır.

NO_x emisyon değerleri açısından istenilen standartları sağlayacak gaz motoru atık ısı geri kazanımını en üst düzeyde sağlayacak şekilde seçilecektir. Kojenerasyon binasının gaz motorlarının bulunduğu kısımda yağ toplama çukuru ve su gideri kısmı bulunacaktır. Ayrıca atık yağların toplandığı atık yağ toplama tankı yine bu kısımda olacaktır. Kojenerasyon binasının yüksekliği ve yapısı tamamen gaz motorları için uygun şekilde tasarlanmıştır.

Üretilen atık ısı, atık ısı kazanları sayesinde sistemden alınıp ısı dağıtım sistemi üzerinden makine odasındaki ısı dağıtım elemanlarına oradan da fermentör içindeki ısıtma borularına gönderilecektir.

Isıtma sistemi:

Çürütücülerin istenilen sıcaklıkta tutulması ve gübrenin kurutulması için üretilen atık ısı sıcak su olarak gaz motorlarından çekildikten sonra kılıflı ve izolasyonlu PE sıcak su boruları sayesinde ısı dağıtım elemanlarına, oradan da paslanmaz çelik borularla fermentör ve fermentör içi ısı transfer sistemine aktarılacaktır. Isıtma sıcak sudan çamura transfer sağlayan paslanmaz çelik boru malzemeden koiller ile sağlanacaktır.

Isı dağıtım elemanları üzerinde bulunan sıcaklık ayarlı sıcak su transfer pompaları sistemde sıcak suyun dolaşmasını sağlamaktadır.

Otomasyon:

Başta çürütücüler olmak üzere kontrolcülerden toplanan bütün sinyaller mekanik odadaki kontrol panellerinde değerlendirildikten sonra kontrol odasındaki bilgisayarlardaki ara yüze

aktarılır ve bütün proses bu bilgisayar ekranından takip edilebilir. Belirlenen set değerleri yine bu bilgisayar üzerinden sisteme girilecektir.

Sistemde yaşanabilecek en büyük sorun fermentörlerin taşması ve bunun sonucunda oluşabilecek büyük sorunlardır. Bu nedenle bütün fermentörler üstten atık taşma ve gaz dengeleme hatlarıyla birbirine bağlantılıdır. Ayrıca en olumsuz tabloya karşı fermentörlerin lagünle de bağlantısı sağlanacaktır. Bu şekilde ilgili enstrümanlar yoluyla, otomasyon sistemi tarafından sürekli seviyesi kontrol edilen fermentörlerde oluşacak bir sorun sebebiyle seviyenin yükselmesi durumunda; önce fermentörler arasındaki taşma hatları sonrada fermentörlerin lagünle olan bağlantısı devreye girecektir.

Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliği'nin 10. Madde (4) Bendinde; *"Tesiste, araç parkı, kantar, tekerlek yıkama ünitesi ve idari bina bulunması zorunludur. Tesislerin entegre tesis olması durumunda bu ünitelerden birer adet olması yeterlidir. Tesisin tüm birimlerinde uygun yangın söndürme sistemleri yer alır."* denilmektedir.

Söz konusu tebliğ kapsamında tesiste araç parkı, kantar, tekerlek yıkama ünitesi ve idari bina projelendirilmelidir. Bu ünitelere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Kantar: Tesiste biyogaz üretimi için hammadde olarak kullanılacak malzemeleri getiren her kamyon kayıt altına alınarak kantarda ağırlığı ölçülecektir. Ağırlığı ölçülen ve kantarın bağlı olduğu elektronik sisteme kaydedilen araç, ilgili üniteye yükünü boşaltacaktır. Yükünü boşaltan kamyon tekrar kantara girip boş ağırlığı ölçüldükten ve sisteme kaydedildikten sonra kantar işletme ofisindeki işlemleri tamamlanıp dezenfeksiyon için tesis çıkışına yönelecektir. Maksimum 40 ton kapasiteli olacak kantar ve kantar işletme ofisinin bulunduğu bölümü kapsayan bu ünitenin oturma alanının 40 m² olması planlanmaktadır.

Araç hijyen ünitesi: Tesise gelerek yükünü boşaltan her kamyon, tesisten çıkış öncesinde basınçlı ve ilaçlı yıkama yapılan otomatik araç hijyen ünitesine girmek zorunda olacaktır.

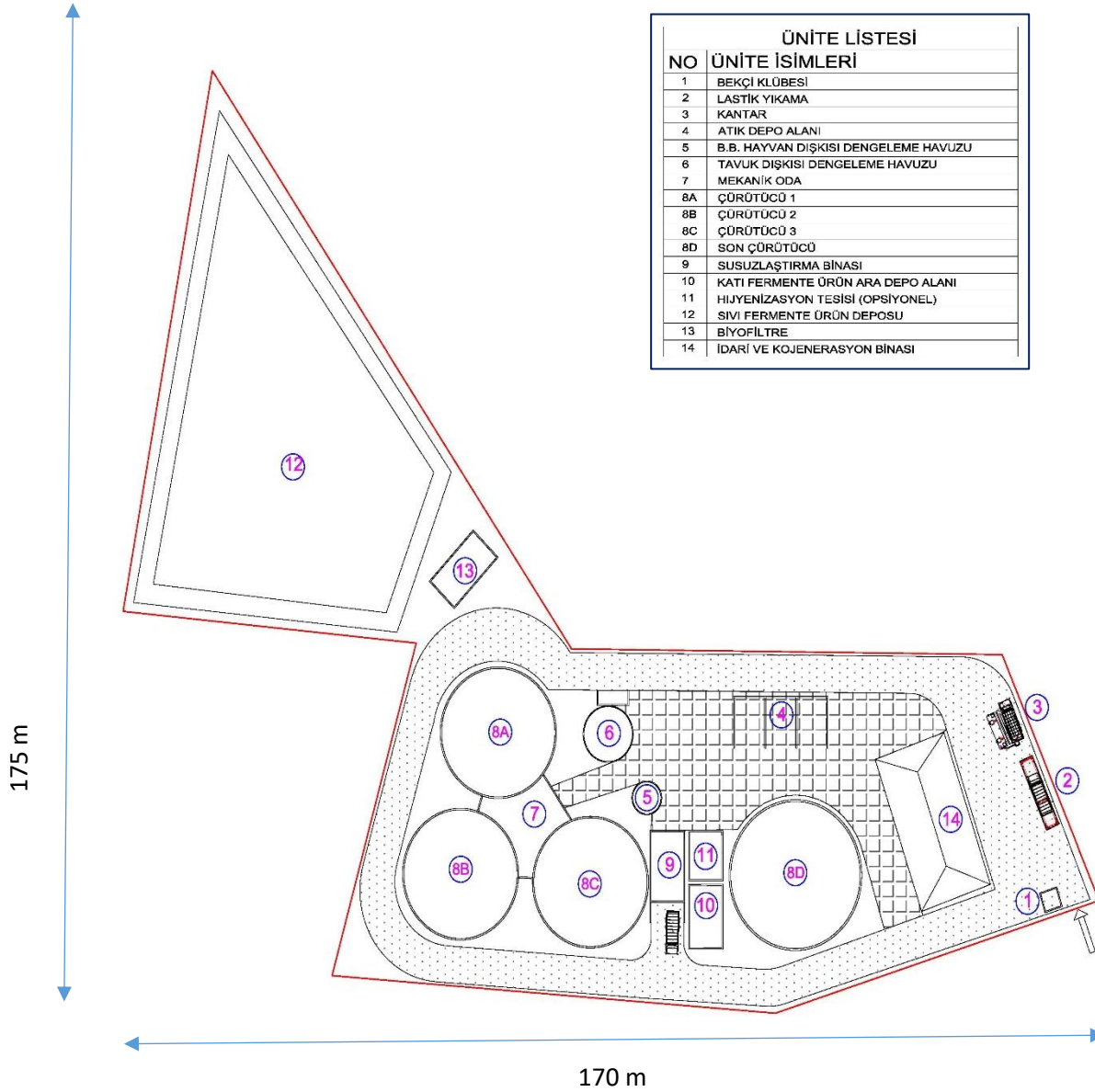
Bu ünite, uygun oranlarda dezenfektan karışımı yapılmasını sağlayan dozaj sistemi, su alma sistemi, pompa sistemleri ve atık yıkama suyu drenajı bulunacaktır. Bu ünite, farklı kaynaklardan veya tesis içinde atıklar yoluyla kamyonlara bulaşmış olabilecek patojen ve bakterilerin temizlenerek tesis dışına çıkmasının ve hastalık yayılımının önlenmesini sağlayacaktır.

Araç otoparkı: İdari bina yanında konumlandırılmıştır. Yaklaşık 10 araç kapasitelidir.

İdari bina: 1 adet yapılması planlanmaktadır. İdari bina ve kojenerasyon binası bütünleşik olarak inşa edilecektir. İdari bina olarak kullanılacak bölümün mevcut öngörülere göre 3 metre tavan yüksekliğinde, tek katlı ve 300 m² oturma alanı olması planlanmaktadır. Binanın giriş katında, tesisin işletilmesiyle ilgili temel analizlerin yapılacağı analiz laboratuvarı, mutfak, tuvalet, yönetim ofisi ve kontrol odası bulunacaktır.

Güvenlik-Giriş Binası: 20 m²'lik tesis alanı girişinde konumlandırılacak 1 adet Güvenlik-Giriş Binası tasarlanmıştır.

Proje kapsamında kullanılacak makine ve ekipmanlar için öngörülen proje ömrü 25 yıldır. Bu kapsamda ilerleyen senelerde makine ve ekipmanlardaki bakım ve onarımların düzenli yapılması ve teknolojik senkronizasyonların uygulanması ile birlikte bir proje ömrü de uzatılabilecektir.



Şekil 6.11.1. Tipik Biyogaz Tesisi Yerleşim Planı

Tipik bir biyogaz tesisine ait yerleşim planı Şekil 6.11.1’de verilmiştir. Verilen bu yerleşim planı yaklaşık 15.000 m²’lik alana oturmakta olup, fermentör sayıları ve boyutları, lagün boyutlandırması, gibi bileşenler tesis projelendirmesine göre değişebilir.

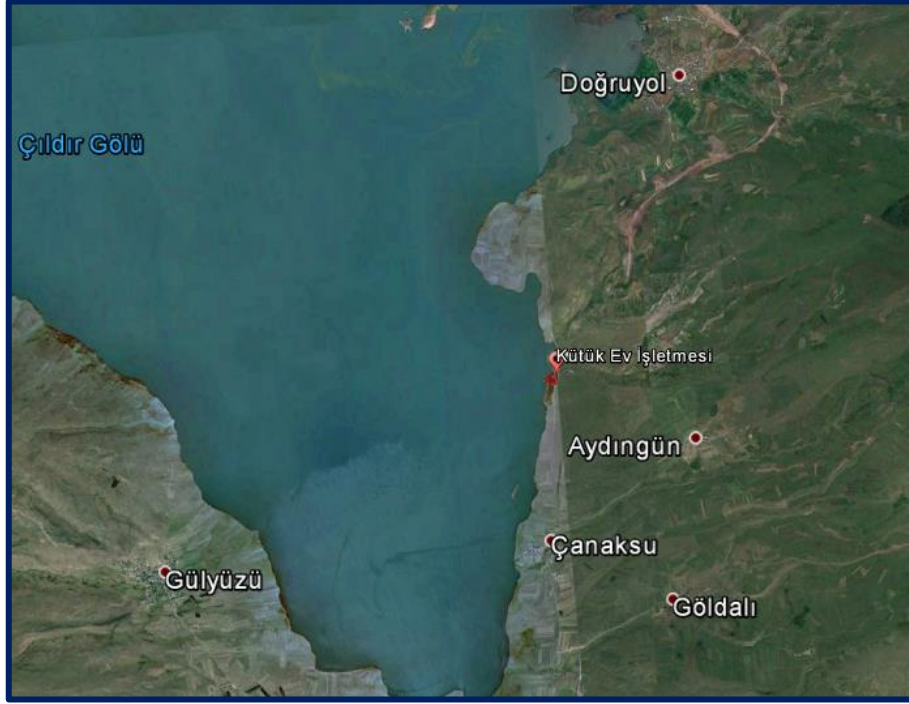
Tablo 6.11.1. Tahmini İş Programı

	Süre (Ay)																			
İşin Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ÇED Süreci																				
Diğer İzin Süreçleri (İmar Planı, Proje Onayı, Bağlantı izinleri vb.)																				
İhale Süreci																				
İnşaat ve Montaj İşleri																				
Devreye Alma																				

Projeye ilişkin tahmini iş programı Tablo 6.11.1’de verilmiştir. Kurulacak bir biyogaz tesisi için izin süreçlerinin ve yapılacak olan yüklenici ihalesinin tamamlanması 10 ay süreceği öngörülmektedir. İnşaat ve montaj işlerinin tamamlanması için öngörülen süre 9 ay olup, tesisin devreye alınmasına kadar gerekecek süre 20 ay olarak öngörülmüştür.

7. ARPAÇAY İLÇESİ BİYOGAZ YATIRIMINA UYGUNLUĞUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Serhat Kalkınma Ajansı ve Kars Valiliği işbirliğiyle yapılan, Kars İl Özel İdaresi’nin işletmecisi olduğu, Çıldır Gölü kıyısına yapılan Arpaçay Kütük Ev, 2017 yılında hizmete açılmıştır. Biyogaz tesisi çıktılarından biri olabilecek atık sıcak suyun Arpaçay Kütük Ev işletmesinde değerlendirilerek bu işletmenin ısı ihtiyacının karşılanması gerekçesiyle, yapılan çalışmada, Arpaçay Kütük Ev civarındaki potansiyel hayvancılık faaliyetleri araştırılmıştır. Bu kapsamda çevre köylerde, hayvan ve atık miktarları ile işletme koşulları bire bir ziyaret yapılarak belirlenmiştir. Yapılan saha ziyareti kapsamında 4 adet köy ziyaret edilmiştir. Arpaçay Kütük Ev ve çevresinde yer alan köyleri gösterir uydu görüntüsü Şekil 7.1’de, Kütük Eve ait fotoğraf Şekil 7.2’de verilmiştir. Ayrıca, Arpaçay ilçesinden alınan büyükbaş hayvan atığı numunesinin Biyokimyasal Metan Potansiyeli Testi (BMP) analizleri yapılmıştır. Yapılan saha ziyaretleri kapsamında, raporun hazırlanmasının sebebi olan biyogaz tesisi kurulumuna yönelik ön verilerin toplanılması amaçlanmıştır.



Şekil 7.1. Arpaçay Kütük Ev ve çevre köyleri gösterir uydu görüntüsü



Şekil 7.2. Arpaçay Kütük Ev

7.1. ARPAÇAY İLÇESİ HAYVANCILIK VERİLERİ

Saha çalışmaları kapsamında Arpaçay İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü ziyaret edilerek Arpaçay Kütük Ev civarındaki köylere ait hayvancılık verileri toparlanmıştır. Arpaçay İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden edinilen büyükbaş hayvan verileri Tablo 7.1.1'de paylaşılmıştır.

Tablo 7.1.1. Arpaçay İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü Büyükbaş Hayvan Sayıları

	1 Yaş Altı Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	1 Yaş Üzeri Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Toplam Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	İşletme (Ahır) Sayısı (adet)
Aydingün	450	1.350	1.800	50
Çanaksu	440	1.220	1.660	35
Göldalı	890	360	1.250	40
Doğruyol	1.260	3.070	4.330	160
Gönülalan	268	1.050	1.318	40
Taşbaşı	890	360	1.250	40
Toplam	4.198	7.410	11.608	

Yapılan saha çalışmasında Aydingün, Çanaksu, Göldalı ve Doğruyol Köyleri ziyaret edilerek mevcut büyükbaş hayvan varlığı tespit edilmiştir. Saha çalışması sırasında edinilen mevcut büyükbaş hayvan sayıları 1. Dönem için Tablo 7.1.2'de, 2. Dönem için Tablo 7.1.3'te verilmiştir. Ziyaret edilen köylerde edinilen mevcut veriler ile Arpaçay İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden elde edilen sayılar arasındaki farkların nedeninin olası dönemsel hayvan sevkıyatları ve hayvan doğumları gibi nedenlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Tablo 7.1.2. Saha çalışmasında edinilen mevcut büyükbaş hayvan sayıları (1. Dönem)

	Toplam Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	İşletme (Ahır) Sayısı (adet)
Aydingün	1.500	30
Çanaksu	1.500	35
Göldalı	1.200	40
Doğruyol	4.000	148
Toplam	8.200	253

Tablo 7.1.3. Saha çalışmasında edinilen mevcut büyükbaş hayvan sayıları (2. Dönem)

	Yayladaki Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Köydeki Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Toplam Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)
Aydingün	700	800	1.500
Çanaksu	1.000	500	1.500
Göldalı	700	500	1.200
Doğruyol	3.000	1.000	4.000
Toplam	5.400	2.800	8.200

Yapılan saha çalışması sırasında edinilen bilgiler, odaklanılan bölgelerde küçükbaş hayvan varlığının bulunmadığı, kümes hayvanı varlığının ise ticari ölçekte olmadığı yönündedir.

7.2. ARPAÇAY İLÇESİ ATIK PROJEKSİYONU

Biyogaz tesislerinin projelendirmesi sırasında öncelikle kapasitenin tespiti gerekmektedir. Bunun için de tesiste, sadece hayvan atığı kullanılacaksa, mevcut günlük ortaya çıkan atık (gübre) miktarı ve atığın katı madde ve organik katı madde gibi temel analizleri belirlenmelidir. Bu sebeple atık projeksiyonunun dikkatli yapılması önem taşımaktadır.

Atık miktarlarının hesabında büyükbaş hayvanlar için 29 kg/gün atık miktarı esas alınabilecek bir değerdir [17]. Ancak bölgede hayvancılık faaliyetlerinin 2 dönem olarak farklılık göstermesi sebebiyle oluşacak atık miktarına kapasite faktörü eklenmiştir. Saha çalışması kapsamında Arpaçay ilçesinde ziyaret edilen köylerde 1. dönem atık miktarlarının sabit alınabileceği, ancak 2. dönemde hayvanların bir kısmının köyde bir kısmının yaylada olması sebebiyle bu miktarların düşeceği kanaatine varılmıştır. 2. dönemde köyde kalan hayvanların atık toplama işleminin yine köyde ahır ve çevresinde yapılabilecektir. 2. dönemde yaylada bulunan hayvanlar ise gündüzleri mera ve çayırda olmalarına rağmen geceleri ağıl olarak belirlenen toplu alanlarda barınmaktadır. Bu sebeple köylerde ahırlardan yapılan atık toplama işleminin benzerinin yaylalarda da ağıllardan yapılabileceği anlaşılmıştır. Köylerde atık toplayacak ekipmanlar aynı şekilde yaylalara giderek de atık toplama işlemini yapabileceklerdir. 2. dönemde hayvanların sadece geceleri ahır ve ağıllarda kalması ve yayla faaliyetlerinin başlaması sebebiyle kapasitedeki değişiklikler göz önüne alınmıştır. 2. Dönem içerisindeki hayvansal faaliyetler dikkate alındığında kapasite faktörü 0,5 olarak alınmıştır. Bu bilgilerden yola çıkarak, Arpaçay ilçesinde seçilen köylerden toplanabilecek atık miktarları 1. Dönem için Tablo 7.2.1 'de, 2. Dönem için Tablo 7.2.2 ve Tablo 7.2.3'de verilmiştir. Bu bilgilere dayanarak olası bir biyogaz tesisine toplanabilecek atık miktarı 1. Dönem için 35.670 ton/yıl, 2. Dönem için 24.969 ton/yıl olarak belirlenmiştir.

Tablo 7.2.1. Arpaçay ilçesi potansiyel atık miktarları (1. Dönem)

	1. Dönem (Kasım-Nisan)			
	Toplam Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Günlük Atık Miktarı (ton)	Toplanabilir Günlük Atık Miktarı (ton)	Dönem Atık Toplamı (ton)
Aydingün	1.500	43,5	43,5	6.525
Çanakсу	1.500	43,5	43,5	6.525
Göldalı	1.200	34,8	34,8	5.220
Doğruyol	4.000	116	116	17.400
Toplam	8.200	237,8	237,8	35.670

Tablo 7.2.2. Arpaçay ilçesi potansiyel atık miktarları (2. Dönem-Köy)

	2. Dönem (Nisan-Kasım)				
	Köydeki Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Günlük Atık Miktarı (ton)	Kapasite Faktörü	Toplanabilir Günlük Atık Miktarı (ton)	Dönem Atık Toplamı (ton)
Aydingün	800	23,2	0,5	11,6	2.436
Çanakсу	500	14,5	0,5	7,25	1.523
Göldalı	500	14,5	0,5	7,25	1.523
Doğruyol	1.000	29	0,5	14,5	3.045
Toplam	2.800	81,2		40,6	8.526

Tablo 7.2.3. Arpaçay ilçesi potansiyel atık miktarları (2. Dönem-Yayla)

	2. Dönem (Nisan-Kasım)				
	Yayladaki Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Günlük Atık Miktarı (ton)	Kapasite Faktörü	Toplanabilir Günlük Atık Miktarı (ton)	Dönem Atık Toplamı (ton)
Aydingün	700	20,3	0,5	10,15	2.132
Çanakсу	1.000	29	0,5	14,5	3.045
Göldalı	700	20,3	0,5	10,15	2.132
Doğruyol	3.000	87	0,5	43,5	9.135
Toplam	5.400	156,6		78,3	16.443

Arpaçay ilçesinde ziyaret edilen 4 köyden atık alınarak kurulması değerlendirilen biyogaz tesisine girdi sağlayabileceği öngörülmüştür. Biyogaz tesisine hammadde olacak bu 4 köyün atıkları tek bir alanda bulunmadıkları için her köy özelinde belirli bir atık toplama stratejisinin geliştirilmesi gerekecektir. Mevcut durumda toplanan atıklar öbekleme usulüyle ahır ve çevresinde depolanmakta, belirli bir kapasitenin üzerine çıktığında ise köy çevresinde bulunan tarla ve boş arazilere dökülerek bertarafı sağlanmaktadır.

Saha çalışması sırasında ziyaret edilen köylerde, ahırların birçoğunun taştan veya kerpiçten yapılmış, toprak damlı, düzenli ısıtması, havalandırması, su gideri ve beton zemini olmayan ilkel barınaklardan oluştuğu görülmüştür. Endüstriyel tipte çalışacak bir biyogaz tesisine yabancı madde girişinin engellenmesi ve işletme sırasında atık toplama kolaylığının sağlanması amacıyla, köylerde belirlenen alanlarda, 4-5 adet ahırın atığını biriktirebileceği beton atık (gübre) çukurlarının yapılması ve bu alanlarda biriktirilmesi gerekmektedir. Yaylalardan ise Doğruyol ve Aydıngün yaylalarından atık alınabileceği planlanmıştır. Bu yaylalarda geceleri hayvanların toplu olarak 3-4 ağıl içerisinde (400-500 hayvan olacak şekilde) yatması sebebiyle, atık toplayacak araçlar doğrudan ağıllardan atık toplama işlemini yapabileceklerdir. Ancak ağılların zeminin toprak olması nedeniyle hammaddeye karışacak yabancı maddelerin engellenmesi için ağıl zeminlerine beton atılarak gerekli iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir.

7.3. ARPAÇAY İLÇESİ ATIK ANALİZ SONUÇLARI

Arpaçay ilçesinden alınan atık numunelerine, Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde BMP analizleri yaptırılarak verim değerlerinin bölgeyi doğru şekilde yansıtmaları hedeflenmiştir. Yapılan analiz sonuçları Tablo 7.3.1'de gösterilmiştir. Ayrıntılı analiz raporu Ek-3'te verilmiştir. Büyükbaş hayvan atığı numuneleri ile yapılan deneyler 41 gün sürmüştür. Gaz üretimi ilk 30 günlük sürede kümülatif olarak artış göstermiş, 30. günden sonra ise biyogaz üretiminde ciddi bir değişiklik olmamıştır. Sonuç olarak 30 günlük süreçte büyükbaş hayvan atığının içerisindeki organik maddelerin tamamına yakını tüketilerek başarılı bir şekilde metan üretimi gerçekleşmiştir.

Tablo 7.3.1. Arpaçay ilçesine ait atık numunesi Analiz sonuçları

	Kuru Madde Oranı (%)	Uçucu Kuru Madde Oranı (%)	Biyogaz Verimi (L biyogaz/kg UKM)	Biyogaz Verimi (m ³ biyogaz/ton ıslak madde)	Metan İçeriği (%)
Arpaçay İlçesi Büyükbaş Hayvan Atığı	26,70	54,13	293	42,2	64

Literatürde yer alan sığır gübresi biyogaz verim değeri 90-310 m³/ton arasında değişmektedir. Tablo 6.3.1'de verilen Arpaçay Atık Analizinin biyogaz verim değeri (293 m³/ton) literatürde verilen aralıkta olup oldukça yüksek değerde gözlenmiştir.

7.4. ARPAÇAY İLÇESİ BİYOGAZ POTANSİYELİ

Arpaçay ilçesinde ziyaret edilen 4 köyden atık alınabileceği ve kurulması planlanan biyogaz tesisine girdi sağlayabileceği düşünülmüştür. Ziyaret edilen işletmelerden 1. Dönem içerisinde günlük çıkacak atık miktarlarında herhangi bir işletmesel kayıp olmayacağı varsayılmıştır. 2. Dönem içerisinde ise hayvancılık faaliyetlerinin gündüz mera ve çayırılık alanlarda yapılması sebebiyle 0,5 kapasite faktörü ile atıkların toplanabileceği varsayılmıştır. Tablo 6.3.1’de görüldüğü üzere, alınan atık numunelerinin kuru madde (KM) oranı % 26,7, uçucu kuru madde (UKM) oranı % 54,13 olarak analiz edilmiştir. Tesis kapasitesi belirlenirken bu veriler göz önüne alınsa da, bu rapor sonrası çıkacak sonuç doğrultusunda karar verilecek olan biyogaz tesisi planlaması için farklı dönemlerde alınan ve homojenize edilmiş atıkların analizlerinin yapılarak ayrıntılı bir fizibilite raporunda incelenmesi faydalı olacaktır.

Bölgede hayvancılık faaliyetlerinin 2 dönem olarak incelenmesi sonucunda her iki dönem için de kapasite belirlemesi yapılmıştır. Tablo 7.2.1, 7.2.2 ve 7.2.3’te verilen bilgiler ışığında 1. Dönemde 237,8 ton/gün toplanabilir büyükbaş hayvan atığı, 2. Dönemde ise köylerde 40,6 ton/gün, yaylalarda 78,3 ton/gün toplanabilir büyükbaş hayvan atığı potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu durumda 2. Dönem içerisinde köy ve yaylalardan alınabilecek atık toplamı 118,9 ton/gün olmaktadır. 1. Dönemde oluşan atığın tamamının kullanılması durumunda 1.100 kW kapasiteli bir biyogaz tesisin kurulması mümkün görülmektedir. Ancak, 2. Dönemde toplanabilir atık miktarının düşmesi sebebiyle bu kapasite 550 kW seviyesine düşmektedir. Bu kapasitelerin belirlenmesine yönelik hesaplamalar aşağıdaki gibidir;

$$\text{Günlük UKM miktarı} \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) = \text{Günlük Atık Miktarı} \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) \times \text{KM oranı} (\%) \times \text{UKM oranı} (\%)$$

$$\text{Günlük Biyogaz Üretimi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) = \frac{\text{UKM miktarı} \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) \times \text{Biyogaz Verimi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}} \right)}{24 \left(\frac{\text{saat}}{\text{gün}} \right)}$$

Tesisin Üreteceği Elektrik Enerjisi (kW) =

$$\text{Biyogaz Üretim Miktarı} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) \times \text{Metan Oranı} (\%) \times \text{Metan Birim Enerjisi} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) \times \text{Kojen. Motor Verimi} (\%)$$

1.Dönem için Biyogaz Kapasitesi:

$$\text{Günlük UKM miktarı} \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) = 237,8 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) \times 0,267 \times 0,5413 = 34,37$$

$$\text{Günlük Biyogaz Üretimi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) = \frac{34,37 \left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}} \right) \times 293 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}} \right)}{24 \left(\frac{\text{saat}}{\text{gün}} \right)} = 419,6$$

$$\text{Tesisin Üreteceği Elektrik Enerjisi (kW)} = 419,6 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) \times 0,64 \times 10 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) \times 0,41 = \mathbf{1.100}$$

2.Dönem için Biyogaz Kapasitesi:

$$\text{Günlük UKM miktarı} \left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}} \right) = 118,9 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) \times 0,267 \times 0,5413 = 17,18$$

$$\text{Günlük Biyogaz Üretimi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) = \frac{17,18 \left(\frac{\text{ton.UKM}}{\text{gün}} \right) \times 293 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}} \right)}{24 \left(\frac{\text{saat}}{\text{gün}} \right)} = 209,8$$

$$\text{Tesisin Üreteceği Elektrik Enerjisi (kW)} = 209,8 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) \times 0,64 \times 10 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) \times 0,41 = \mathbf{550}$$

Mevcut bilgiler ışığında, Arpaçay ilçesi için çalışılan 4 köydeki atıkların kullanılması durumunda kurulacak bir biyogaz tesisinin 1. Dönem olarak adlandırılan Kasım-Nisan ayları arasındaki 150 günlük dönemde 1.100 kW_e kapasitede çalışabileceği görülmektedir. 2. Dönem olarak adlandırılan Nisan-Kasım ayları arasındaki 210 günlük dönemde ise tesis kapasitesinin 550 kW_e kapasitesinde çalışabileceği görülmüştür.

Bu bilgiler ışığında Arpaçay ilçesi için 250 kW_e (+238 kW_{th}) kapasiteli bir biyogaz tesisinin kurulması uygun görülebilir. Bu kapasitenin yakalanması için gerekli atık miktarı 54 ton/gün olmaktadır. Bu atık miktarı, 1. Dönem içerisinde Doğruyol köyünden temin edilebilir. 2. Dönem içerisinde ise Doğruyol köyü ve yaylasının atıklarının alınması yeterli olacaktır. Ancak atık alımının çiftçiler ile yapılacak sözleşmelere bağlı olması sebebiyle, diğer köylerden de atık alımının yapılabileceği düşünülmektedir. Böyle bir durumda atıkların alım miktarları ile ilgili ayrıntılı dağılımlar tesisin işletmeye alınma aşamasında netleştirilecektir.

7.5. ARPAÇAY İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ KONSEPT TASARIMI

7.5.1. BOYUTLANDIRMASI

250 kW_e kapasiteli bir biyogaz tesisi için günlük 54 ton atık girdisine ihtiyaç duyulacaktır. Yapılan analizlerde, tesise alınacak bu atığın kuru madde oranı %26,7 olarak bulunmuştur. Ancak fermentöre eklenmesi gereken atık miktarının kuru madde içeriği %10 olmalıdır [1]. Bu sebeple tesise su eklenerek kuru madde oranı %10'a düşürülecektir. Tesise eklenmesi gereken günlük su miktarı aşağıda hesaplanmıştır.

$$\text{Elde edilmek istenen KM oranı} = \frac{\text{Atık içerisindeki kuru madde miktarı (ton)}}{\text{Günlük atık miktarı (ton) + Günlük su miktarı (ton)}}$$

$$0,1 = \frac{54 \times 0,267}{54 + \text{Günlük su miktarı}}$$

Yukarıdaki hesaplama doğrultusunda tesise gerekli günlük su ihtiyacı 90,2 ton (90,2 m³) olarak hesaplanmaktadır. Tesis işletmeye alındıktan sonra çıkacak sıvı gübrenin analizleri yapılarak su ihtiyacının belirli bir kısmı, çıkan sıvı gübrenin geri besleme yapılması ile karşılanabilecektir. Böylelikle temiz su ihtiyacı azalacaktır. Temiz su ihtiyacının sahada açılacak sondaj kuyusundan karşılanacağı öngörülmüştür.

Fermentörlere günlük 54 ton atık girişi, 90,2 ton su girişi olmak üzere 144,2 ton/gün hammadde girişi olacaktır. Yapılan çalışma kapsamında büyükbaş hayvan atığının fermentör içerisinde bekleme süresi 32 gün olarak belirlenmiştir [18]. Bu durumda, biyogaz tesisi için gerekli olan fermentörlerin etkin hacimleri toplamı 4.615 m³ olacaktır. Bu hacim doğrultusunda boyutlandırma yapılarak Arpaçay ilçesi için kurulacak 250 kWe kapasiteli bir biyogaz tesisinin bileşenleri Tablo 7.5.1’de verilmiştir. Belirlenen kapasite ve senaryo için kurulacak olan tesisin ana üniteleri ve boyutlarını içeren bilgiler Tablo 7.5.2’de paylaşılmıştır. Yapılan bu konsept tasarım bir ön tasarım niteliğinde olup, biyogaz tesisi kurulumuna yönelik olası bir karar çıkması durumunda ayrıntılı bir fizibilite raporunda tekrar değerlendirilmelidir.

Tablo 7.5.1. Arpaçay ilçesi biyogaz tesisi bileşenleri

Kullanılacak Hammadde	Büyükbaş hayvan atığı
Hammadde Miktarı (ton/gün)	54
Kuru madde oranı	26,7
Uçucu kuru madde oranı	54,13
Biyogaz üretimi (m ³ /yıl)	761.474
Kojenerasyon ünitesi kapasitesi	250 kWe 238 kW _{th} Elektrik verimi: %41 Termal verimi: %40 Çalışma süresi > 8.000 saat

Tesiste yıllık 761.474 m³ biyogaz üretimi gerçekleşecektir. Biyogazın enerji olarak kullanılabilirliği öncelikle içerisindeki metan oranına bağlıdır. Üretilen bu biyogaz toplamda %81 çevrim verimine sahip (%41 elektrik verimi, %40 termal verim) gaz motorunda yakılacak ve 488 kW toplam üretim (250 kW_e ve 238 kW_{th}) gerçekleştirecektir. Bu değerlerin kısaca sağlaması aşağıda verilmiştir.

Biyogaz üretimi: 761.474 m³

Biyogazdaki metan oranı: %64 (Ek-3)

Metanın enerji eşdeğeri: 10 kWh [23]

Motorun toplam verimi: %81

Çalışma süresi: 8000 saat

$$N = \frac{761.474 \times 0,64 \times 10 \times 0,81}{8000} = 490 \text{ kW}$$

Tablo 7.5.2. Arpaçay ilçesi biyogaz tesisi ana ünite ve boyutları

Ana Üniteler	Adet x Boyut
Ön Depolama Tankı	1 x 300 m ³
Atık Besleme Sistemi	1 x 80 m ³
Fermentör Tankı	2 x 2.410 m ³
Hijyenizasyon Ünitesi	2 x 50 m ³
Seperatör Ünitesi	1 x 100 m ³
Lagün	1 x 5.000 m ³
Kojenerasyon Ünitesi	1 x 250 kW _e
Tesis İçin Gerekli Alan	15.000 m ²

7.5.2. ISI İHTİYACI

Kurulacak biyogaz tesisi için belirlenen 250 kW_e elektriksel güç çıktısının yanı sıra 238 Kw_{th} ısı çıkışı olacaktır. Bu ısı öncelikli olarak fermentörleri ısıtmak için kullanılacaktır. Bu kapsamda fermentörlerin ısı ihtiyaçlarının hesaplaması aşağıda verilmiştir.

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

Q = Gerekli ısı miktarı (kJ)

m = Isıtılacak madde miktarı (kg)

C_p = Özgül ısı (kJ/kg.°C)

T₁ = Hava sıcaklığı (°C)

T₂ = Fermentör sıcaklığı (°C)

Daha önce hesaplandığı üzere, tesise girecek günlük hammadde 144,2 ton/gün olacak ve fermentörlerdeki hammadde miktarı 4.615 ton olacaktır. Büyükbaş hayvan atığının özgül ısı 2,6 kJ/kg°C olarak alınmıştır [19]. Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan verilere göre Aralık- Şubat ayları arasında (2014-2018 yılları arasında) minimum sıcaklıklar ortalaması -10°C ile -14°C derece arasında değişmektedir. Bu durumda -14°C'ye göre ısı (T₁) miktarı hesaplaması yapılmıştır.

Mezofilik çalışma aralığı için fermentörlerin sıcaklığının 35°C (T₁) olması gerekmektedir. Bu durumda fermentörlerin ihtiyacı olan ısı miktarı (Q);

$$Q = 4.615.000 \text{ kg} \times 2,6 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times (35^\circ\text{C} - (-14^\circ\text{C}))$$

Q = 587.951.000 kJ olarak hesaplanmıştır.

Bu ısıyı sağlayacak güç (N) ise aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

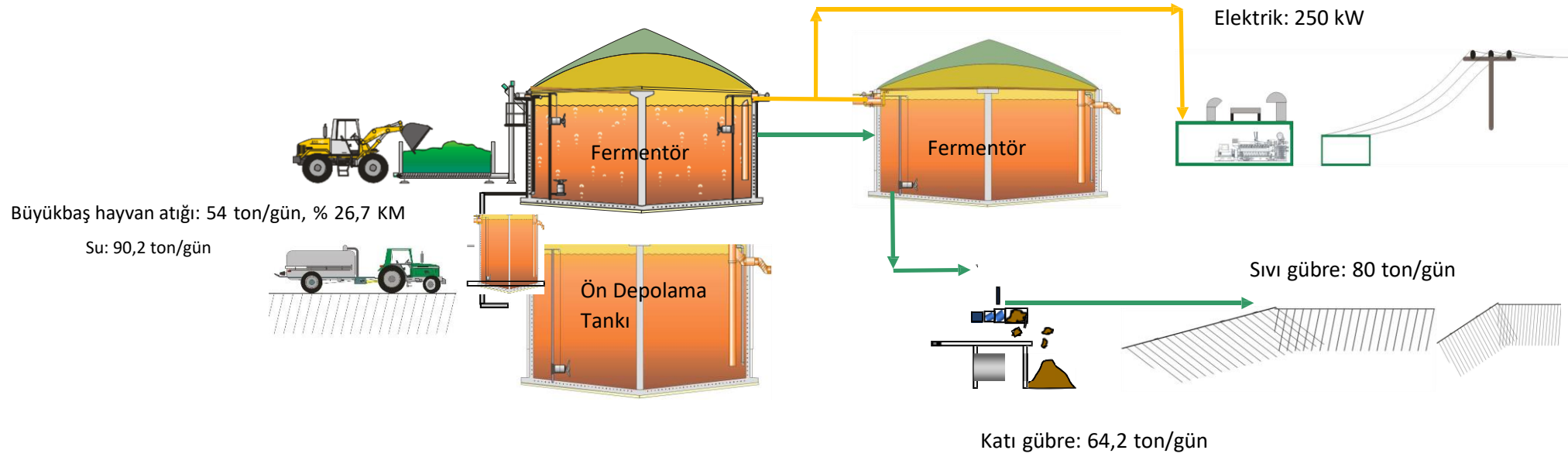
$$N = Q / t$$

Tesis 24 saat çalışacağı için fermentörler 24 saat boyunca ısıtmaya ihtiyaç duyacaktır. Bu durumda t, 24 saat olarak alınmalıdır.

$$N = \frac{587.951.000 \text{ kJ}}{24 \text{ saat} \times 60 \text{ dakika} \times 60 \text{ saniye}} = 6.805 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 6.805 \text{ kW}$$

Tesis için gerekli ısı güç günlük 6.805 kW olmaktadır. Motordan 238 kW ısı çıktısı olacaktır. 24 saatte bu ısı 5.712 kW olacaktır. Bu durumda (3 aylık kış döneminde) motordan çıkacak ısı fermentörleri ısıtmak için yeterli olmayacak, 1.093 kW ek bir ısı gereksinimi olacaktır. Aylık gerekli ek ısı ihtiyacı ise 32.790 kW olacaktır. Bu durumda tesisten çıkacak atık sıcak su olmayacağı için Arpaçay Kütük Ev işletmesinde değerlendirilmesi söz konusu olmayacaktır.

7.5.3. İŞ AKIM ŞEMASI



Şekil 7.5.1. Biyogaz Tesisi İş Akım Şeması

7.6. RİSK ANALİZİ

Bu tür bir tesisin en temel riski, atıkların sürekliliği ve biyogaz verim değeridir. Büyük tek bir çiftlik yerine dağınık ve profesyonelce yönetilmeyen çok sayıda küçük işletmeden atıkların uygun şekilde toplanması, taşınması, tesise teslimi, önemli bir lojistik yönetimi gerektirmektedir. Atıkların verim kaybı yaşamaması için, mümkün olduğunca beklemeden (Şimdiye kadarki tesis tecrübelerimize dayanarak 7 gün bekleme kabul edilebilir bir süredir. Bu sürenin üzerine çıkılması durumunda biyogaz veriminde düşüş yaşanabilecektir.) toparlanarak tesise getirilmesi gerekmektedir. Ahırların ilkel koşullarda işletilmesinden dolayı atıklara karışabilecek yabancı maddelerin kaynağında önlenmesi gereklidir. Ayrıca işletmelerin küçük ölçekte olması ve modern olarak tabir edilen büyük çiftlik sayılarının az olması, atık toplama ve tesis işletme açısından potansiyel bir risk oluşturduğundan toplanabilir atık miktarının azalmasına ve hedeflenen atık miktarının tamamının toplanamamasına neden olabilir. Tesisten çıkacak gübre çiftçilere tarım arazilerinde kullanılmak üzere tekrar verilebileceğinden çiftçilerin gönüllü olarak atık vermesini teşvik edecek ve uygun gübre (patojenlerden arındırılmış) kullanılarak tarımsal üretime katkı sağlayacaktır. Bu gübrenin satılması halinde ise elde edilecek gelir artı bir kazanç yaratacaktır. Finansal riskler de bu tür yatırımlar için önemli bir konu olup gerek yatırım finansman bütçesinin temini, gerekse işletme giderlerinin karşılanması önemli bir finansal yönetim gerektirmektedir. Bir kamu ve sosyal proje olarak bu projede ise bu riskin etkisi daha az öngörülmektedir.

Sosyal açıdan incelendiğinde bölgenin turistik öneme sahip olması ve Kütük Ev işletmesinin bölge için önemli bir turizm getirisi olması sebebiyle yakınlarda kurulacak olan biyogaz tesisi, özellikle koku ve atık problemi açısından sosyal bir risk taşımaktadır. Bununla birlikte doğru tesis yer seçimi ve doğru işletme şartları ile bu risk sorun oluşturmayacaktır.

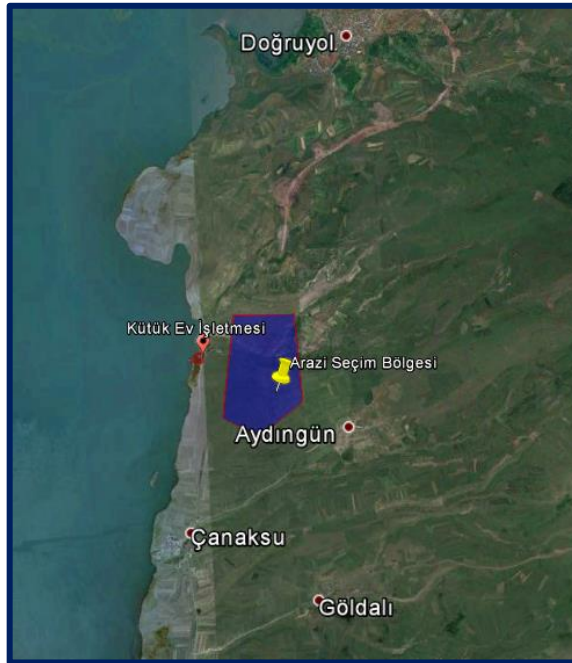
Halkın Tesis Hakkında Görüşleri

Saha ziyaretleri sırasında gezilen köylerde muhtarlar ve köylüler ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan görüşmelerde kurulacak biyogaz tesisi yatırımı konusunda olumlu izlenimler edinilmiştir. Bölgede eskiden tezek yapımında kullanılan büyükbaş hayvan atıklarının, günümüzde bu amaçla kullanılmadığı belirtilmiştir. Atık temini açısından herhangi bir olumsuz görüşle karşılaşılmamıştır. Tesisten çıkacak gübrenin atık sahipleriyle tekrar paylaşılacağı gibi bir sosyal proje gündeme gelmiştir. Tesisten çıkan gübrenin atık sahipleriyle paylaşılması durumunda bölgedeki tarımsal faaliyetlerin gelişebileceği ve tarımsal alanlarda kaliteli gübre kullanımının yaygınlaşacağı projenin önemli bir çıktısı olacaktır. Saha çalışmasında edinilen izlenimler doğrultusunda atık temininin herhangi bir bedel ödenmeden sağlanacağı belirlenmiştir.

7.7. ARPAÇAY İLÇESİ BİYOGAZ TESİSİ YER SEÇİMİ

Arazi seçimi yapılırken atık toplanacak olan köylere mümkün olduğunca optimum bir noktada tesis kurulması, atık toplama maliyeti ve planlaması açısından önem taşımaktadır. Arpaçay ilçesi için bir diğer önemli kriter de Arpaçay Kütük Ev işletmesinin tesisin çıktısı olan atık ısıdan faydalanması olabilecekti. Ancak bir atık ısı çıkışı olmayacağı sebebiyle Arpaçay Kütük Ev yakınında bir bölgenin seçim kriterleri açısından bir önemi kalmamıştır. Arazi seçimi için önerilen bölge Şekil 7.7.1’de gösterilmiştir. Yapılacak olan yer seçiminde dikkat edilmesi gereken konu başlıkları şu şekildedir:

- Ulaşım kolaylığı
- Çevre ile etkileşim
- Yerleşim yerlerine mesafe
- İletim hatlarına mesafe
- Tarım arazisi varlığı ve arazi vasfı
- Atık kaynaklarına mesafe
- Bölgedeki sanayi faaliyetleri
- Topoğrafik özellikler



Şekil 7.7.1. Arpaçay ilçesi tesis yer seçimi için önerilen alanlar

Şekil 6.6.1’de verilen önerilerden Arazi Seçim Bölgesi’nin atık alımı planlanan köy ve yaylalara uzaklığı, Doğruyol için 7,5 km; Doğruyol yaylası için 15 km; Göldalı için 7 km; Aydıngün için 3 km; Aydıngün yaylası için 11 km; Çanaksu için 3km olarak belirlenmiştir. Bu bölgede seçilecek bir alanın Arpaçay Kütük Ev’e olan mesafesi 750 m’nin üzerinde olacaktır. Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği, koku probleminin yaşanabileceğini dikkate alarak tesis sınırının yerleşim alanlarına en yakın mesafesinin 250 metre olması gerekliliğini getirmiştir.

Arpaçay için düşünülen biyogaz tesisinin koku problemi yaratmaması için, Arpaçay'da yer seçimi için önerilen alan tebliğde belirtilen bu sınırın 3 katı olan 750 m'nin üzerine çıkarılmıştır. Buna ek olarak tesiste koku problemine yönelik biyofiltre kullanılarak koku kaynağında engellenecektir. Bu sebeple kurulacak biyogaz tesisi, Arpaçay Kütük Ev işletmesi için koku açısından bir problem teşkil etmeyecektir.

Kuru madde oranı, atığın tesise taşınmasının ekonomik açıdan değerlendirilmesini sağlamaktadır. %10'dan büyük kuru madde oranına sahip atıkların 10 km'nin üzerinde taşınması ekonomik olarak uygun görülmektedir [22]. Bu sebeple, %26,7 kuru madde oranına sahip Arpaçay ilçesi atıklarının taşınması için 10 km'nin üzerine çıkılabilir.

7.8. ATIK TOPLAMA STRATEJİSİ

Önerilen 250 kW_e kapasitesinin yakalanabilmesi için tesise girecek günlük atık miktarı 54 ton olacaktır. Bu sebeple biyogaz tesisine sürekli olarak büyükbaş hayvan atığının taşınması söz konusu olacaktır. Atıklar köylerden bir kamyon yardımıyla alınıp Arazi Seçim Bölgesi civarında kurulacak olan biyogaz tesisine taşınacaktır. Dolayısıyla köylerde atıkların depolanmasını sağlayacak her 4-5 işletmenin atığını alabilecek betonarme gübre havuzları yapılması gerekmektedir. Atıklar 20 ton kapasiteli kamyonlar ile toplanacaktır. Kamyonların tam kapasitede atık taşınması için atıkların köylerden toplanma süresi, 1 ile 3 gün olarak belirlenmiştir.

Atıklar, Doğruiyol köyü ve Doğruiyol yaylasından toplanacaktır. Arazi Seçim Bölgesi'nin atık alımı planlanan bu köy ve yaylaya uzaklığı Doğruiyol için 7,5 km; Doğruiyol yaylası için 15 km olarak belirlenmiştir. Ancak atık alımının çiftçiler ile yapılacak sözleşmelere bağlı olması sebebiyle, diğer köylerden de atık alımının yapılabileceği düşünülmektedir. Böyle bir durumda atıkların alım miktarları ile ilgili ayrıntılı dağılımlar tesisin işletmeye alınma aşamasında netleştirilecektir. Bu aşamada atıkların Doğruiyol köyü ve Doğruiyol yaylasından alınması planlanarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu durumda alınacak atık miktarına göre günlük ve yıllık olarak yapılması gereken sefer sayısı 1. Dönem için Tablo 7.8.1'de, 2. Dönem için Tablo 7.8.2'de verilmiştir.

Tablo 7.8.1. Atık sefer sayıları (1. Dönem)

	1. Dönem (Kasım-Nisan)			
	Toplanacak Günlük Atık Miktarı (ton)	Günlük Sefer Sayısı (adet)	Yıllık Sefer Sayısı (adet)	Tesise Olan Mesafe (km)
Doğruiyol	54	2,7	405	7,5
Toplam		2,7	405	

Tablo 7.8.2. Atık sefer sayıları (2. Dönem)

	2. Dönem (Nisan-Kasım)			
	Toplanacak Günlük Atık Miktarı (ton)	Günlük Sefer Sayısı (adet)	Yıllık Sefer Sayısı (adet)	Tesise Olan Mesafe (km)
Doğruyol	14,5	0,73	153	7,5
Doğruyol Yaylası	39,5	1,98	416	15
Toplam	54	2,7	568	

7.9. EKONOMİK MODEL ÇALIŞMASI (FAYDA-MALİYET ANALİZİ, PROJENİN YAPILABİLİRLİĞİ)

Projeye ilişkin çeşitli verilerin toplanmasının ardından, biyogaz özelinde geliştirilen ekonomik model kullanılmıştır. Birçok senaryo için çalıştırılan ekonomik model programının referans olarak seçilen senaryo için girdi seti varsayımları aşağıda açıklanmıştır.

Tablo 7.9.1. Seçilen Senaryo Ekonomik Model Kabulleri ve Sonuçları

I) Varsayımlar	Birim	Değer
Çalışma süresi	saat/yıl	8.000
İç Tüketim	%	8
Elektrik Üretim Verileri		
Brüt Kurulu Kapasite	kWe	250
İç Tüketim	kWe	20
Net Kurulu Kapasite	kWe	230
Yıllık Satılabilir Elektrik Üretimi	MWh/yıl	1.840
Yatırım Bedeli	\$	740.000
İşletme Bedeli	\$/yıl	141.075
Öz Kaynak	%	100
İlk 10 yıl Elektrik Satış Fiyatı (YEKDEM)	\$/kWh	13,3
II) Ekonomik Model Sonuçları		
Geri Ödeme Süresi	yıl	7,1
FAVÖK	\$/yıl	103.645

Bu özet tablosunda temel varsayımlar ve ekonomik model sonuçları verilmekle beraber her önemli parametre aşağıda daha detaylı olarak ele alınmaktadır.

Daha önce 7.4. bölümde atık dağılımı konusunda yapılan çalışma sonucunda 250 kWe brüt elektrik gücü kapasitesi biyogaz projesi için fizibilitenin ana senaryosu olarak seçilmişti. Bu sebeple, bu bölümde sunulan ekonomik model analizi 250 kWe elektrik gücü için gerçekleştirilmiştir. Başlangıç noktası olan bu girdiden elektrik üretimiyle ilgili diğer parametreler hesaplanmıştır. Bu amaçla yapılan varsayımlar ve sonuçlar Tablo 7.9.2’de verilmiştir.

Tablo 7.9.2. Elektrik Gücü ve Yıllık Üretim – Brüt/Net

Varsayımlar	
Çalışma süresi (saat/yıl)	8.000
İç Tüketim	8%
Elektrik Üretim Verileri	
Brüt Kurulu Kapasite (kWe)	250
İç Tüketim (kWe)	20
Net Kurulu Kapasite (kWe)	230
Yıllık Satılabilir Elektrik Üretimi (kWh/yıl)	1.840.000

Tesisin kurulu kapasitesinden (250 kWe), iç tüketimin (%8 = 20 kWe) düşülmesiyle, tesisin satılabilir net elektrik gücüne (230 kWe) ulaşılmaktadır. Bu gücün, bir yılda tesisin tam kapasite çalışmasına karşılık gelen yıllık çalışma süresi (8.000 saat/yıl, 22,3 saat/gün) ile çarpılması sonucunda, tesisin bir yılda üreteceği satılabilir elektrik enerjisi (1.840.000 kWh) elde edilmektedir.

Bu aşamada yapılan ekonomik model çalışmasında, tesisin iç tüketimi ve yıllık çalışma süresi belirlenirken, uzun yıllar ortalaması olacak değerler seçilmiştir. Dolayısıyla, tesisin yıllar geçtikçe yaşayacağı performans kaybı ve sonrasında yıllık ve daha uzun döngülü büyük bakımlarla sağlanacak performans geri dönüşü gibi etkiler her yıl için ayrı olarak dikkate alınmamıştır. Bu sebeple, yıllara göre çalışma süreleri ve iç tüketim değerleri sabit alınmış, sonucunda bu veriler ve bunlar gibi birçok verinin yıllık değerleri bir kez hesaplanmış ve ekonomik model analizlerinde kullanılmıştır.

Satılabilir elektrik enerjisinin belirlenmesi sonucunda, tesisin yıllık elektrik geliri de kolaylıkla hesaplanmaktadır. Buna ilişkin girdi verileri, varsayımlar ve sonuçlar Tablo 7.9.3’de verilmiştir. Tesisten çıkacak katı ve sıvı gübre yıllık yaklaşık 23.430 ton ve 29.200 ton olacak olup, satılması durumunda elde edilecek yıllık gelir toplamı 150.000 ABD Dolarının üzerinde olacaktır. Tesisten çıkacak gübrenin, bölgedeki çiftçilerin desteklenmesi amacıyla çiftçilerle paylaşılması ve böylelikle tarımsal faaliyetlerin desteklenmesi öngörüldüğünden bu gelir dikkate alınmamıştır. Tesisten bir atık ısı çıkışı olmayacağı için bu konuda herhangi bir tasarruf sağlanamayacaktır.

Tablo 7.9.3 Elektrik Gelirleri

Varsayımlar	
İlk 10 yıl Elektrik Satış Fiyatı (\$/kWh)	13,3
Elektrik Üretimi ve Gelirler	
Yıllık Satılabilir Elektrik Üretimi (MWh/yıl)	1.840
İlk 10 yıl Elektrik Satış Geliri (\$/yıl)	244.720

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik santrallerini desteklemek amacıyla oluşturulan mekanizma sayesinde, biyokütleyi yakıt olarak kullanan santrallerin, kurulduktan sonraki 10 yıl boyunca sabit tarife fiyatı 133 ABD Dolar/MWh üzerinden elektrik satışı gerçekleştirmeleri garanti altına alınmaktadır. Ancak, bu 10 yıllık sürenin dolması ardından, üretilen elektrik serbest piyasa koşullarında sunulan satış yöntemlerinden faydalanarak piyasadaki fiyatlardan satılacaktır. Bu, projenin sürdürülebilirliği açısından en temel desteklerden birisidir. Bu sayede ilk 10 yıllık dönemde, proje kendini amorti ettiği için ekonomik analizler ilk 10 yıl özelinde incelenmiştir.

Elektrik satışı için birim bedellerin belirlenmesi ardından, bu fiyatların yıllık satılabilir elektrik üretimi 1.840 MWh/yıl ile çarpılmasıyla; ilk 10 yıl boyunca her yıl için elektrik satış cirosu 244.720 ABD Doları olarak hesaplanmıştır.

Tesis gelirlerinin hesaplanması ardından kurulması planlanan bir biyogaz tesisin işletme maliyetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu masraf kalemleri aşağıda kısaca açıklanmıştır:

- İşletme personeli giderleri
250 kWe gücündeki tesisin toplam 6 personelle (1 mühendis, 2 teknisyen, 3 işçi ve bekçi) işletileceği ve bir personelin ortalama maliyetinin 800 ABD Dolar/ay olacağı öngörülmüştür.
- Bakım ve Onarım giderleri
İşletme sırasında bakım ve onarım giderlerinin en önemli maliyet kalemini kojenerasyon ünitesi bakım ve onarım giderleri oluşturmaktadır. Gaz motorlarının çalışma saati üzerinden yapılan hesaplama ile bu kalem 43.000 ABD Dolar/yıl olarak hesaplanmıştır. Biyogaz sistemi ile ilgili yedek parça, makine ve teçhizat bakımı ile ilgili diğer bakım giderleri kalemi ile birlikte toplam bakım ve onarım maliyetinin 48.000 ABD Dolar/yıl olacağı öngörülmüştür.
- Genel idari giderler
Tesisin işletmesi sırasında oluşabilecek çeşitli idari masraflar ve beklenmeyen tali giderler için; üretilen her kWh elektrik başına 0,06 ABD Doları_ø birim maliyet belirlenmiştir.
- Sigorta giderleri
Tesisin yıllık olarak sigorta masrafının 15.000 ABD Dolar/yıl olacağı öngörülmüştür.
- Atık taşıma giderleri
Teseise yıllık 19.710 ton (54 ton/gün üzerinden) atık getirilecektir. Atık taşıyacak kamyonlar 20 ton kapasitelidir. Bu durumda yıllık yapılacak sefer sayıları Tablo 7.8.1 ve Tablo 7.8.2’de verilmiştir. Kamyon, yapacağı 1 seferde 1 gidiş ve 1 geliş yapacaktır. Bu durumda yıllık katedilecek mesafe 20.850 km olacaktır. Atık taşıma maliyeti km başına 0,5 ABD Doları_ø olarak öngörülmüştür. Bu durumda yıllık atık taşıma maliyeti 10.425 ABD Doları olarak hesaplanmıştır. Her tesis için bir adet taşıyıcı kamyon ve yükleyici yatırım bedelleri içinde öngörülmüştür.

- Isı gideri

Tesisin minimum sıcaklık ortalamasının -14°C olduğu 3 aylık kış döneminde fermentörleri ısıtmak için aylık 32.790 kW ısı ihtiyacı olacaktır. Bu ısıyı sağlamak için gerekli LPG miktarı 2.540 kg olarak bulunmuştur. Bu durumda aylık LPG maliyeti 2.950 ABD Doları olarak hesaplanmıştır. Bu gider 3 aylık kış dönemi boyunca düşünülecektir. Bu durumda yıllık LPG maliyeti 8.850 ABD Doları olacaktır.

Saha çalışmasında edinilen izlenimler doğrultusunda atık temininin herhangi bir bedel ödenmeden sağlanacağı belirlenmiştir. Bu sebeple atık için bir gider öngörülmemiştir.

Bu açıklamalar ışığında, 250 kWe kapasitede tesis için hesaplanan işletme maliyetleri Tablo 7.9.6'da verilmiştir.

Tablo 7.9.6. İşletme Maliyetleri

Gider Kalemleri	\$/yıl
İşletme personeli	57.600
Bakım ve onarım	48.000
Genel idari giderler	1.200
Sigorta giderleri	15.000
Atık taşıma giderleri	10.425
Isı gideri (LPG)	8.850
TOPLAM	141.075

İşletme maliyetlerinin belirlenmesi ardından ilk etapta FAVÖK hesabının yapılması mümkündür. Yıllık elektrik satış gelirinden yıllık işletme giderinin çıkartılmasıyla ilk 10 yıllık FAVÖK değerleri belirlenmiştir.

Tablo 7.9.7. FAVÖK değerleri

	\$/yıl
İlk 10 yıl Elektrik Satış Geliri	244.720
İşletme maliyeti	141.075
FAVÖK (İlk 10 yıl)	103.645

Tablo 7.9.7'de görüldüğü gibi ilk 10 yılda yenilenebilir enerji tarife desteğiyle oluşan FAVÖK ile ilk 10 yılda biriktirilecek kâr, tesis ömründe (25 yıl ekonomik ömür) elde edilecek kâr içinde önemli bir paya sahiptir ve bu süreçte kârlılığın sekteye uğramaması daha da fazla önem taşımaktadır. Tesisin ekonomik ömrü 25 yıl olarak planlanmıştır. Uygun ekonomik şartlar altında, tesis ekipmanlarında gerekli revizyonların yapılması ile birlikte tesis ömrü uzayabilecektir.

Ekonomik model çalışmasının diğer önemli girdilerinden biri de yatırım maliyetinin dökümü olmaktadır. Henüz bütçesel olan yaklaşımlara dayanarak yatırım maliyeti öngörülmüş olup, projenin finansmanının %100 özsermaye ile karşılanacağı varsayılmıştır.

Tablo 7.9.8. Yatırım Maliyeti

No.	Ünite	İnşaat İşleri (\$)	Mühendislik, Ekipman Temin ve Montaj İşleri(\$)
1	Atık Kabul Ve Hazırlama	10.000	15.000
2	Anaerobik Çürütme Sistemi	80.000	100.000
3	Gaz Temizleme, Gaz Şartlandırma ve Gaz Depolama Sistemi	15.000	30.000
5	Hijyenizasyon Ünitesi ve Susuzlaştırma Sistemi	15.000	20.000
6	Çürütme Sonrası Depolama Sistemi (Lagün)	15.000	15.000
7	Tesis Kontrol Ve Otomasyon	10.000	25.000
8	Diğer Üniteler	5.000	10.000
9	Çevre Düzenleme	5.000	10.000
10	Enerji Üretim Sistemi (Kojenerasyon Tesisi)	-	235.000
11	Kamyon ve Yükleyici	-	50.000
12	Diğer Giderler (İzin, Onay, Kontrollük, Danışmanlık, Genel Yönetim ve Geliştirme Giderleri)	-	75.000
Toplam		155.000	585.000
Tesis Yatırım Bedeli (\$) (KDV Hariç)		740.000	

Tablo 7.9.8’de gösterildiği gibi inşaat işleri yapım bedeli 155.000 ABD Doları, biyogaz tesisi dizayn, proje, mühendislik, ekipman temin ve montaj işleri bedeli 275.000 ABD Doları, kojenerasyon sistemi bedeli 235.000 ABD Doları olmaktadır. Bu toplamın dışında izin ve onay süreçleri, proje geliştirme, kontrollük, genel proje yönetim giderleri ve bilinmeyen giderler için 75.000 ABD Doları gider öngörülmüştür. Bu durumda, KDV hariç toplam yatırım bedeli 740.000 ABD Doları değerine ulaşmaktadır. Kurulacak biyogaz tesisi için alınacak olan yatırım teşvik belgesi ile yurt içi ve yurt dışından temin edilecek olan makine ve teçhizatlar için KDV ve gümrük muafiyeti olacağı gibi, inşaat kapsamında herhangi bir muafiyet bulunmayacaktır.

Bu verilere göre ilk 10 yıldaki FAVÖK’ün toplam yatırım bedeline bölünmesi yoluyla bulunan Yatırım Geri Dönüş Oranı (ROI) %14 olarak hesaplanmaktadır. Türkiye’de bir enerji yatırımı için yapılabilir seviyede kârlılık işareti olan bu değer, aynı zamanda satış gelirinin 10 yıl boyunca garanti altında olması sebebiyle risk içeriği açısından da ilave bir olumlu yönü bulunmaktadır.

Yukarıda verilen bilgileri özetlemek gerekirse, projenin yatırım döneminde, idarenin kendi kaynaklarından projeye aktarması gereken sermaye yaklaşık 740.000 ABD Doları olarak öngörülmekte, işletmenin ilk 7 yılda elde ettiği yaklaşık net nakit girdileriyle 8. yılın başında bu sermaye tamamen geri alınmış olmaktadır.

Yukarıda yapılan bu ekonomik model analizi, ana varsayımlarda olabilecek değişikliklerle daha farklı sonuçlara ulaşabilecektir. Yapılan saha çalışmasında edinilen izlenimler ve köylülerin talepleri doğrultusunda tesisten çıkan gübrenin atık veren köylülere geri verileceği varsayılmış ve

yapılan değerlendirmede çıkan bu gübre için satış geliri öngörülmemiştir. Ayrıca yapılan çalışma kapsamında atık ısının kullanımı ile ilgili maliyetler ve değerlendirmeler dikkate alınmamıştır.

7.10. PROSES TARİFİ

Prosesin girdisi, yani proste kullanılacak hammadde, köylerden toparlanacak büyükbaş hayvan atıklarıdır. Bu atıklar tesise üzeri kapatılmış, sızdırmaz özelliklere sahip bir kamyon ile taşınacaktır. Arpaçay ilçesine bağlı Doğruyol köyü ve Doğruyol yaylasından atık toplanması planlanmaktadır. Bu yerleşim biriminden atık alınması tesisin öngörülen kapasitede çalışması için fazlasıyla yeterlidir. Ancak atık alımının çiftçiler ile yapılacak sözleşmelere bağlı olması sebebiyle, diğer köylerden (Göldalı, Aydıngün, Çanaksu) de atık alımının yapılabileceği düşünülmektedir. Böyle bir durumda atıkların alım miktarları ile ilgili ayrıntılı dağılımlar tesisin işletmeye alınma aşamasında netleştirilecektir. Tesise günlük 54 ton büyükbaş hayvan atığı getirilecektir. Kamyon, tesise girdiğinde kantarda tartıldıktan sonra hammadde türü, kaynağı ve araç bilgileri kayıt altına alındıktan sonra dezenfeksiyon ünitesine geçecektir. Bu üniteye özel kimyasal katkılı suyla duşlama yöntemi ile dezenfeksiyon yapılacaktır. Bu sayede atıkların getirildiği köylerdeki bakteri veya hastalıkların tesise girişi engellenmiş olacaktır. Getirdiği atığı atık kabul ünitesine boşaltan kamyon tesisten çıkarken ve atık almaya giderken tekrar dezenfeksiyon ünitesinden geçerek tesisten herhangi bir bakteri ve hastalığın atık alınacak köylere taşınmasına engel olunacaktır.

Atık kabul birimi olarak adlandırılan bölüm ön depolama tankları (mixing tanklar) ve atık besleme sisteminden oluşmaktadır. Atıklar kuru madde oranları %10 olacak şekilde ön depolama tanklarında sulandırılarak bulamaç haline geleceklerdir. Ön depolama tanklarından günlük 54 ton bulamaç fermentörlere pompalanacaktır. Fermentasyon işlemi bu fermentörler içerisinde gerçekleşecektir. Aynı oranda fermente olmuş ürün (54 ton) ise günlük olarak fermentörlerden alınacaktır. Bu fermentasyon şeklindeki üretim sürekli fermentasyondur. Ancak, tesis ilk devreye alınacağı sırada ise fermentörlerin tamamı başlangıçta doldurulacaktır. Biyogaz çıkışının sürekli hale gelip prosesin oturmasından sonra (yaklaşık 32-45 günlük süre) sürekli besleme sistemine geçilecek ve yıl boyunca aralıksız işletme devam edecektir. Fermentörlerin içerisine beslenen atıklar, anaerobik bakteriler tarafından biyolojik olarak parçalanacak ve biyogaz üretimini bu fermentörler içerisinde gerçekleştireceklerdir. Fermentörler su deposu şeklinde tasarlanmış beton tanklardır. Üzeri iki kat membran ile örtülür. Üretilen biyogaz tankın tepesinde birikecek ve membranların şişmesini sağlayacaktır. Fermentörlerin üzerindeki bu alan biyogaz deposu olarak kullanılacaktır. Fermentörlerde günlük 761.474 m³ biyogaz üretimi olacaktır. Hayvan gübresinde hali hazırda mezofilik bakterilerin bulunmasından yola çıkılarak fermentörler mezofilik şartlarda (35°C) çalıştırılacaktır.

Fermentörlerin tepesinde biriken biyogaz, gaz temizleme ünitesine gönderilerek içerisindeki su buharı ve hidrojen sülfür (H₂S) gazından temizlenerek motorlarda yanmaya elverişli bir gaz haline gelecektir. Temizlenen biyogaz kojenerasyon ünitesine gönderilecek ve gaz motorlarından yakılarak 250 kW_e elektrik üretimi (%41 elektrik verimi) ve 238 kW_{th} ısı üretimi (%40 termal verim) sağlayacaktır. Bölgenin sıcaklık ortalamasının oldukça düşük olması sebebiyle çıkan ısının tamamı mezofilik şartları korumak için fermentörleri ısıtmada kullanılacaktır. İlk devreye alma sırasında

ise harici bir ısıtma sistemi kullanılacaktır. Kömür kazanı veya mozotlu bir hotmobil ısı cihazı ile, biyogaz üretimi istenilen seviyeye çıkıp motorlarda ısı ve elektrik üretimi gerçekleşene kadar harici ısıtma kullanılacaktır. Üretilen 250 kW_e elektrik enerjisinin 20 kW_e'i iç ihtiyaç için kullanılacak, 230 kW_e'i ise ulusal şebekeye satılacaktır. Fermentörlerden alınacak fermente olmuş ürün ise önce hijyenizasyon ünitesine, oradan sonra da susuzlaştırma işlemi için seperatöre gönderilecektir. Seperatörden çıkan katı gübre (katı fermente ürün-64,2 ton/gün) bir depolama alanında depolanacak, sıvı gübre (sıvı fermente ürün-80 ton/gün) ise depolanmak üzere lagüne gönderilecektir. Tesisten çıkacak bu gübre bölgedeki çiftçilerin desteklenmesi, tarımsal faaliyetlerin gelişmesi ve tarımsal alanlarda kaliteli gübre kullanımının yaygınlaşması amacıyla çiftçilere verilecektir. Susuzlaştırma işleminin gerçekleştiği separatör kısmında proses süresince oluşacak kokuyu önlemek için biyofiltre olacaktır ve ortamda oluşabilecek koku probleminin önüne geçilecektir.

7.11. TESİS ÖN TASARIM VE BOYUTLANDIRMASI

Tesis ön tasarım ve boyutlandırması ile ilgili temel ön bilgiler bu bölümde verilmekle birlikte, esasen bu konu projelendirme aşamasında detaylandırılmalıdır. Tesis tam karıştırmalı, ısıtmalı, sürekli ve mezofilik sıcaklık bölgesinde çalışacak ıslak çürütme (wetdigestion) biyogaz teknolojisi kullanılacaktır. Kurulacak tesis tam otomasyonlu olup uzaktan erişim sistemiyle de takip edilebilecektir. Bu teknoloji şu an hem işletme kolaylığı hem de verimlilik açısından dünyada en çok tercih edilen proses olarak tarım ve hayvancılık ağırlıklı atıkların işlendiği biyogaz tesislerinde tercih edilmektedir.

Kurulacak biyogaz tesisi kapasitesi 250 kW_e kurulu gücünde olacaktır. Tesise gelecek olan organik içerikli atıkların anaerobik ortamda, biyolojik olarak parçalanması sağlanacaktır. Organik içerikli atıkların biyolojik olarak parçalanması esnasında açığa çıkacak olan biyogaz ise kojenerasyon ünitesinde elektrik ve sıcak su üretimi için kullanılacaktır. Kurulacak kojenerasyon tesisi termal gücü ise yaklaşık 238 kW_{th} olacak şekilde tasarlanacaktır.

Biyogaz tesisi, 250 kW_e kurulu güç için 2 fermentör tankı (çürütücü) üzerinden işletilecektir.

Her bir çürütücü yaklaşık 9,5 m iç yarı çapında 8,5 metre yüksekliğinde olup 2.410 m³ toplam ve 2.310 m³ çalışma hacmi değerinde olması planlanmaktadır. Fermentörlerde gerçekleştirilecek toplam alıkonma süresi (bekletme süresi) 32 gün civarında olacaktır.

Tesise gelen hayvansal atıklardan kuru madde oranı %10'un altında olanlar doğrudan ön depolama tankına, kuru madde oranı %10'un üzerinde olan atıklar ise atık besleme sistemine alınacaktır. Ön depolama tankı 300 m³ kapasiteli bir adet beton tanktan oluşacaktır. Katı atık besleme sistemi ise ön depolama tankına bağlı olacak ve 80 m³ atık besleme kapasitesine sahip olacaktır. Ön depolama tankında homojenize edilen atıklar günlük olarak pompalama sistemi üzerinden fermentörlere alınacaktır. Fermentörlerde çürütülmüş ve digestate (özüt) formuna dönüşmüş fermente ürün ayrıştırılmak üzere seperatör ünitesine (susuzlaştırma ünitesi) gönderilecektir. Tesis sürekli çalışacak olduğundan hacimsel akış dengesinde bir sorun çıkmaması için bu işlemler eş zamanlı olarak yürütülmelidir.

Tesis mezofilik sıcaklık bölgesinde işletilecektir. Mezofilik sıcaklık bölgesinde işletilirken ısıtma grubundan sağlanacak sıcak su girişi yaklaşık 60-70 C° olacaktır. Isıtma sistemi olarak fermentör içi ısıtma sistemi kullanılacaktır. Fermentörlerde üretilen gaz geçici bir süre çift membran şişme çatılarda depolandıktan sonra bir blower sistemi sayesinde hızlandırılarak kojenerasyon ünitesine gönderilecektir.

Biyogaz içerisindeki hidrojen sülfid (H_2S) biyolojik iç desülfürizasyon sayesinde 150 ppm ve alt seviyesine indirilecektir. Ayrıca biyogaz hattındaki yoğunlaşma yolu ve kondens toplama sistemleri sayesinde kaba suyu alınan doymuş gaz, bir soğutma ünitesinden geçirilerek +8°C'de doyum noktasına kadar nemden uzaklaştırılacaktır. Bu sayede biyogazın içerisindeki nem istenilen seviyeye indirilecektir. Üretilen kondens suyu bir hat ile iki noktadan toplanıp besleme hazırlama tankına alınacaktır.

Gaz motorlarına beslenen biyogazın yapısındaki enerji yaklaşık %41 verimle elektrik, yaklaşık % 40 verimle ısı enerjisiye dönüştürülecektir. Üretilen elektriğin tamamı şebekeye verilirken tesisin ihtiyacı olan kısım (%8) üretilen elektrikten karşılanacaktır. Kullanılacak olan gaz motoru toplam verimi % 85 civarında olacaktır.

Tesis yan çıktıları olarak fermente katı ve sıvı ürün ile birlikte atık ısı da üretecektir (bu atık ısı tesiste fermentörleri ısıtmak için kullanılacaktır). Üretilen katı fermente ürünün büyük bir kısmı atığın sağlandığı atık sahiplerine verilecektir. Üretilen sıvı fermente ürün ise susuzlaştırmadan sonra; N,P,K desteği olarak yine bölgedeki tarım çiftçilerine verilebilecektir. Böylelikle bölgedeki tarımsal faaliyetlerin artması sağlanacaktır.

Planlanan tesis kapsamında;

- Atık Kabul ve Hazırlama Sistemi (Atık Besleme Sistemi ve Ön Depolama Tankı)
- Anaerobik Fermantasyon Sistemi (Fermantasyon Tankları)
- Enerji Üretim Sistemi (Kojenerasyon Ünitesi)

kurulacak olup, tesiste yer alacak ünitelere ait detaylı açıklamalar aşağıda verilmiştir.

Atık Kabul ve Hazırlama Sistemi:

Tesise gelen kamyonlar dezenfeksiyon ünitesinden geçerek tekerlek ve araç yıkaması yoluyla dezenfekte edilecektir. Araç hijyen ünitesinde boşaltma işlemi gerçekleşmiş olan araçlar dezenfekte edildikten sonra atık almak üzere diğer köylere yeni sefer yapabilecektir. Tesise taşınacak atıkların uygun koşullarda (kapalı ve sızdırmaz araçlarla) getirilmesi sağlanmalıdır.

Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliğinin Üçüncü Bölüm 10-3 ve 10-9. Maddesi “Atıklar, çevresel risk oluşturmayacak şekilde tesise kabul edilir ve atıkların işlendiğinin takip edilmesi için gerekli kontrol sistemleri kurulur.” ve “Tesise kabul edilen atığın kaynağı, kodu, miktarı, tesise erişim şekli gibi bilgileri içeren veri kayıt sistemi oluşturulur.” hükümlerine uyulacaktır. Kantarın üzerinden geçen araçlar tartılarak tesise gelen atık miktarı takip edilmelidir. Kurulacak kantar kapasitesi 40 ton olacaktır. Her gün tesise gelen atık miktarı ve türü kontrol odasındaki kayıt sisteminde kayıt altına alınacaktır. Sisteme beslenen atığın günlük miktar ve içeriğinin homojen olmaması gaz verimini ve biyolojik süreci

olumsuz etkilemesi nedeniyle engellenmesi gereken bir durumdur. Bu nedenle gelen atığın miktar ve türünün kayıt altına alınması önemlidir.

Kuru madde miktarına göre yapılacak olan atığın kabulünden sonra doğrudan veya atık besleme sistemi üzerinden ön depolama tankına alınan atık, burada 1-2 gün bekletilebilecektir. Ön depolama tankının hacmi 300 m³, atık besleme sisteminin kapasitesi ise 80 m³/gün olacaktır. Betonarme ve sızdırmaz yapıda olan ön depolama tankı menhollerle giriş sağlayacak şekilde üzeri kapatılacak olup kötü kokulu havanın filtre edildiği bir biyofiltreye sahip olacaktır.

Tesis tasarımı Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliğinin Üçüncü Bölüm 10-5. Maddesi “*Üretim öncesi, atıkların en az bir gün süre ile biriktirilebileceği büyüklükte atık kabul birimi yapılır*” hükmüne uygun yapılacaktır.

Aynı tebliğin Üçüncü Bölüm 10-6. Maddesi “*Atık kabul birimleri meteorolojik olayların etkilerine karşı üzeri kalıcı yapı malzemesi ile kapalı olarak inşa edilir. Atık kabul birimi tabanı, sızdırmazlığı sağlayacak şekilde en az 30 cm kalınlığında, C30 beton ve tutuşmaz malzemeden yapılır. Tabanda atığın yer altı suyu, kanalizasyon veya yer üstü suyuyla temas etmesini veya sızmasını engelleyecek şekilde ayrı toplama mekanizması geliştirilir. Atık kabul alanında oluşacak sızıntı suyunun toplanabilmesi için zemine uygun şekilde eğim verilir*” hükmüne uyulacaktır. Atık kabul birimleri meteorolojik olayların etkilerine karşı üzeri kalıcı yapı malzemesi ile kapalı olarak inşa edilecektir. Atık kabul birimi tabanı, sızdırmazlığı sağlayacak şekilde en az 30 cm kalınlığında, C30 beton ve tutuşmaz malzemeden yapılacaktır. Tabanda atığın yeraltı suyu, kanalizasyon veya yerüstü suyuyla temas etmesini ve sızmasını engelleyecek şekilde ayrı toplama mekanizması geliştirilecektir. Atık kabul alanında oluşacak sızıntı suyunun toplanabilmesi için zemine uygun şekilde eğim verilecektir.

Ön depolama tankı piston akış özelliğindeki yapısı ve bıçak tipi dalgıç karıştırıcıları sayesinde çürüme işlemine uygun, homojen ve inceltmiş bir bulamaç hazırlama konusunda çok iyi bir tasarıma sahiptir. Tamamen kapalı bir sistem olan bu tanklar sadece pnömatik olarak kontrol edilen kapakları sayesinde istenildiği taktirde dış ortamla temas halindedir. Ayrıca ikili karıştırma tankı sistemi üzerinde besleme hazırlanırken oluşabilecek kötü kokuların giderildiği biyofiltre bulunmaktadır. Biyofiltre tamamen doğal reçine yapısında olacaktır.

Tanklar yerle aynı seviyede olacak olup taşma durumlarına karşı çok iyi bir proses kontrol mekanizmasıyla donatılacaktır. Bu hususta çürütücüler üstten gübre taşma ve gaz dengeleme hatlarıyla birbirine bağlantılı projelendirilmiş, ayrıca en olumsuz tabloya karşı çürütücülerin lagünle de bağlantısı sağlanmıştır. Bu sayede otomasyon sistemi tarafından sürekli seviyesi kontrol edilen çürütücü tanklarda oluşacak bir sorun sebebiyle seviyenin yükselmesi durumunda; önce çürütücüler arasındaki taşma hatları sonrada çürütücülerin lagünle olan bağlantısı devreye girecek ve gerektiğinde sistem durdurulacaktır.

Karıştırma tanklarında hazırlanan homojen bulamacın düzenli, ölçülü ve hava sızdırmaz bir şekilde çürütücü tanklara aktarılması bir biyogaz tesisinde en önemli kısımlardan biridir ve genelde sızma, taşma gibi çevresel sorunlara en çok sebebiyet veren kısımdır. Merkezi pompalama sistemi ile atık günlük olarak ön depolama tankından çekilerek fermentörlere beslenecektir.

Anaerobik Fermantasyon Sistemi:

2 adet fermentör tankı (fermentör, çürütücü) atığı işleyip yapıdaki organik yükü biyolojik bir süreç sonrasında yıkarak biyogaza dönüştürmek için kullanılacaktır. Silindirik betonarme tank yapıda olacak çürütücüler su sızdırmaz şekilde inşa edilecek olup, ısıtma ve karıştırma sistemine sahip olacaktır. Reaktörlerin iç kısmı (ilk 8 metre) su sızdırmazlığı için epoksi reçine ile kaplanacakken biyogazın temas ettiği son 0,5 metrelik kısım bitümlü epoksi reçine ile kaplanacaktır.

Karıştırma her bir çürütücü içerisinde konumlanmış olan 2 adet yatay milli, 2 adet dalgıç tip karıştırıcıyla sağlanacak olup boru tipi duvardan ısıtma sistemiyle çürütücülerin ısıtılması sağlanacaktır. Karıştırıcılar istenilen dönme hızında ayarlanabilen yapıda olacaktır. Ayrıca boru tipi ısıtıcılar paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş olacaktır. Sıcaklığın istenilen değerde tutulması, homojen karıştırma kontrolü, seviye takibi, basınç, pH ölçümü, köpük oluşumu kontrol edilmesi gereken en önemli parametreler olup kontrolcülerle sürekli ölçülecek ve otomasyon sistemine aktarılacaktır.

Fermentörlerin üzerinde 2 parçadan oluşan şişme membran yapıda gaz depolama çatıları mevcuttur. İçerideki membran esnek PVC yapıda olup geçirim değeri $400 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{bar}/24 \text{ saat}$ değerinden daha küçük olacaktır. Dış membran ise sert PVC esnek olmayan yapıda olacaktır. Bu gaz depolama alanları sayesinde hem üretilen gaz tamamen kapalı bir sistemde üretime sunulacak hem de yarım güne yaklaşan sorunlar için yedek bir depo oluşturulacaktır.

Fermentörler ısı kaybını engellemek için ısı iletim katsayısı düşük ($0,03-0,035 \text{ W/Mk}$) duvar ve zemin betonu yalıtım malzemesiyle izole edilecek olup dış kısım bu izolasyonu nemden ve çevresel şartlardan korumak için trapez saç kaplamayla kaplanacaktır.

Fermantasyon işleminin gerçekleştiği reaktör içerisindeki sıcaklık, basınç, pH, katı madde içeriği, organik yükleme değerleri, alkalinite, uçucu yağ asitleri ve biyogaz üretimi sürekli olarak izlenecektir.

Tesiste, Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliği" Üçüncü Bölüm 10-3 Maddesin'de "Biyometanizasyon tesisleri, tebliğin 10 uncu maddesi ve 11 inci maddesini ikinci fıkrasının (a) bendinde belirtilen hükümlere uyulmalıdır. Bu hükümlere ek olarak;

- ✓ Fermantasyon işleminin gerçekleştiği sızdırmaz özellikte reaktör,
- ✓ Reaktör sıcaklığının izleneceği sıcaklık kontrol sistemi,
- ✓ Reaktöre beslenen atıkların, belirlenen bekleme süresi içerisinde parçalanması ve optimum düzeyde metan gazı oluşması için uygun karıştırma sistemi,
- ✓ Elde edilen gazın biriktirileceği gaz depolama birimi,
- ✓ Fermantasyon sonrasında oluşan ürünün depolanabileceği ürün depolama alanı,
- ✓ Gaz arıtma sisteminin olduğu birim,
- ✓ Olası gaz kaçaklarının önlenmesi için erken uyarı sistemi kurulacaktır.

Çürütme sonrası işlemler (Hijyenizasyon, Susuzlaştırma ve Depolama):

Çürütücülerde gerçekleşecek toplam alıkonma süresi (bekletme süresi) 32 gün civarında olacaktır. Fermentörlerde işlenen organik atıklar alındıktan sonra patojen mikroorganizmalar, yabancı ot ve tohumlardan arındırılmak üzere hijyenizasyon ünitesine gönderilecektir. İşlenmiş fermente sıvı (digestate, özüt) susuzlaştırma ünitesine gönderilmeden önce bu sayede son bir hijyenizasyon (pastörizasyon) işlemine tabi tutulacaktır. Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliğinin Üçüncü Bölüm 11-6. Maddesi *“Hayvansal atık kullanılması durumunda, bu atıkların 55 °C’de 15 gün veya 60 °C’de 7 gün veya 65 °C’de 5 gün veya 70 °C’de 1 saat işlem göreceği hijyenizasyon ünitesi tesiste yer alır.”* Hükmüne uyulacaktır. Hijyenizasyon ünitesi 50 m³ hacminde iki adet paralel çalışacak ısıtmalı ve tam karıştırmalı paslanmaz çelik tanktan oluşacaktır. Çürütücülerden dönüşümlü olarak hijyenizasyon tanklarına sürekli beslenecek olan işlenmiş fermente sıvı 70 °C’de 1 saat işlem gördükten sonra artık susuzlaştırma işlemi için hazır hale gelmiş olacaktır.

Çürütücülerden hijyenizasyon tanklarına alınan işlenmiş fermente ürün, sıvı ve katı formda iki işlenmiş fermente ürüne ayrılmak üzere susuzlaştırma binasında bulunan seperatörden geçirilir. Çürütme ve hijyenizasyonu tamamlanan fermente sıvı sıkma pres vidalı seperatörden geçirilecektir. Bu sayede fermente sıvı (özüt, digestate- %7-10 kuru madde), %1-2 kuru madde içeren fermente sıvı ürün ve %25-30 kuru madde içeren fermente katı ürüne (torf) ayrıştırılacaktır.

Sıvı ve katı form olmak üzere iki forma ayrılan işlenmiş gübrenin sıvı kısmı lagüne katı kısmı ise atık üreticilerine verilecektir.

Lagün; serme çift katlı ve yüzer örtülü membran yapıda olacak olup 4,0 metresi toprağın altında 2 metresi şev üstü toprakla zeminin üst kısmında kalan yapıdadır. Duba sistemi üzerinde yüzdürülen üst membran örtü hem havayla teması kesmekte hem de az miktarda da olsa oluşan gazın toplanarak sisteme aktarılmasına olanak sağlamaktadır. Burada üretilen ekstra biyogaz bir hat ile birlikte çürütücülerin üzerindeki gaz depolama çatılarına aktarılıp sisteme dahil edilecektir.

Gaz transfer hattı, gaz arıtma sistemi ve yakma bacası (flare):

Metan geçirimi çok düşük (400 cm³/m²/bar/24) PVC membran yapıda 2 aşamalı şişme çatı içerisinde 3-5 milibarda çürütücülerin üzerinde de depolanan biyogaz iç desülfürizasyon yöntemiyle H₂S’den arındırıldıktan sonra gaz hattı üzerinden yoğunlaşma şaftında kaba suyu alındıktan sonra hassas nem alma işlemi için gaz soğutma ve filtrasyon ünitesine gönderilir. Burada hem hat üzerinde gazın basınçlanmasını sağlamak hem de gaz motorlarına 80-120 milibar pozitif basınçla göndermek için blower sistemi kullanılır.

Ayrıca blower da basınçlandırılan gaz motorlara gönderilmeden önce bir flow metreden geçilerek hacimsel olarak ölçülür ve bir gaz analiz cihazı sayesinde sürekli olarak metan ve H₂S içeriği sürekli takip edilir.

Gaz hatları binadaki blower odasına kadar sabit bir yoğunlaşma sıcaklığını yakalamak ve yoğunlaşma suyunun donarak hatları tıkamasını engellemek için toprağın altından döşenir. Yüksek basınç dayanımlı PE malzemeden imal edilen bu borular blower odasından itibaren üsten giderken

paslanmaz çelik malzemeden seçilecektir. Gaz hatları üzerinde bulunan yoğunlaşma şaftlarında toplanan yoğunlaşma suyu mevcut dalgıç pompalarla lagüne aktarılacaktır.

H₂S çok reaktif (tepki oluşturan) bir gaz olduğu için oluştuğu anda giderilmesi önemlidir. Bu nedenle seçilen proseste iç desülfirizasyon mevcuttur ve bir blower sistemi sayesinde de bütün membranlara çok az miktarda (hacmen % 1-2) hava aktarılır. Şişme çatılarda bulunan sülfür bakterileri H₂S'i gaz formdan çökebilir elementel forma dönüştürüp hızlı bir şekilde gazdan ayırır. Bu şekilde H₂S seviyesi, birçok gaz motoru için sınır olan 200 ppm seviyesinin altına (150 ppm'e) düşürülür. Ayrıca bu sayede sülfür katı formda fermente ürüne geçtiği için ürünün gübre kalitesinde de artış sağlanacaktır.

Ayrıca herhangi bir bakım ve arıza durumunda ve tesisi işletmeye alırken metan ağırlıklı biyogazı yakarak bertaraf etmek için otomatik olarak devreye girecek ve blowerlardan biriyle beslenecek bir gaz yakma bacası prosesde mevcuttur. Kullanılacak flare %95 üzeri bir yanma verimine sahip olacak olup, NO_x emisyonları açısından en az 6 metre yakma bacası yüksekliğine sahip olacaktır. Ayrıca yapısında otomatik ateşleme sistemi bulunduracaktır.

Enerji Üretim Sistemi (Kojenerasyon Ünitesi)

Üretilen gazı elektrik ve atık ısıya çevirmek için 250 kW_e kurulu gücünde kojenerasyon sistemi kullanılacaktır. Kullanılacak gaz motorları toplam verimi % 85 civarında olacak olup, baca gazı susturucu sistemi ve titreşim engelleyici sisteme sahip olacaktır.

NO_x emisyon değerleri açısından istenilen standartları sağlayacak gaz motoru atık ısı geri kazanımını en üst düzeyde sağlayacak şekilde seçilecektir. Kojenerasyon binasının gaz motorlarının bulunduğu kısımda yağ toplama çukuru ve su gideri kısmı bulunacaktır. Ayrıca atık yağların toplandığı atık yağ toplama tankı yine bu kısımda olacaktır. Kojenerasyon binasının yüksekliği ve yapısı tamamen gaz motorları için uygun şekilde tasarlanmıştır.

Üretilen atık ısı, atık ısı kazanları sayesinde sistemden alınıp ısı dağıtım sistemi üzerinden makine odasındaki ısı dağıtım elemanlarına oradan da fermentör içindeki ısıtma borularına gönderilecektir.

Isıtma sistemi:

Çürütücülerin istenilen sıcaklıkta tutulması ve gübrenin kurutulması için üretilen atık ısı sıcak su olarak gaz motorlarından çekildikten sonra kılıflı ve izolasyonlu PE sıcak su boruları sayesinde ısı dağıtım elemanlarına, oradan da paslanmaz çelik borularla fermentör ve fermentör içi ısı transfer sistemine aktarılacaktır. Isıtma sıcak sudan çamura transfer sağlayan paslanmaz çelik boru malzemeden koiller ile sağlanacaktır.

Isı dağıtım elemanları üzerinde bulunan sıcaklık ayarlı sıcak su transfer pompaları sistemde sıcak suyun dolaşmasını sağlamaktadır.

Otomasyon:

Başta çürütücüler olmak üzere kontrolcülerden toplanan bütün sinyaller mekanik odadaki kontrol panellerinde değerlendirildikten sonra kontrol odasındaki bilgisayarlardaki ara yüze aktarılır ve bütün proses bu bilgisayar ekranından takip edilebilir. Belirlenen set değerleri yine bu bilgisayar üzerinden sisteme girilecektir.

Sistemde yaşanabilecek en büyük sorun fermentörlerin taşması ve bunun sonucunda oluşabilecek büyük sorunlardır. Bu nedenle bütün fermentörler üstten atık taşıma ve gaz dengeleme hatlarıyla birbirine bağlantılıdır. Ayrıca en olumsuz tabloya karşı fermentörlerin lagünle de bağlantısı sağlanacaktır. Bu şekilde ilgili enstrümanlar yoluyla, otomasyon sistemi tarafından sürekli seviyesi kontrol edilen fermentörlerde oluşacak bir sorun sebebiyle seviyenin yükselmesi durumunda; önce fermentörler arasındaki taşıma hatları sonrada fermentörlerin lagünle olan bağlantısı devreye girecektir.

Mekanik Ayırma, Biyokurutma Ve Biyometanizasyon Tesisleri İle Fermente Ürün Yönetimi Tebliği'nin 10. Madde (4) Bendinde; *"Tesis, araç parkı, kantar, tekerlek yıkama ünitesi ve idari bina bulunması zorunludur. Tesislerin entegre tesis olması durumunda bu ünitelerden birer adet olması yeterlidir. Tesisin tüm birimlerinde uygun yangın söndürme sistemleri yer alır."* denilmektedir.

Söz konusu tebliğ kapsamında tesiste araç parkı, kantar, tekerlek yıkama ünitesi ve idari bina projelendirilmelidir. Bu ünitelere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Kantar: Tesiste biyogaz üretimi için hammadde olarak kullanılacak malzemeleri getiren her kamyon kayıt altına alınarak kantarda ağırlığı ölçülecektir. Ağırlığı ölçülen ve kantarın bağlı olduğu elektronik sisteme kaydedilen araç, ilgili üniteye yükünü boşaltacaktır. Yükünü boşaltan kamyon tekrar kantara girip boş ağırlığı ölçüldükten ve sisteme kaydedildikten sonra kantar işletme ofisindeki işlemleri tamamlanıp dezenfeksiyon için tesis çıkışına yönelecektir. Maksimum 40 ton kapasiteli olacak kantar ve kantar işletme ofisinin bulunduğu bölümü kapsayan bu ünitenin oturma alanının 40 m² olması planlanmaktadır.

Araç hijyen ünitesi: Tesise gelerek yükünü boşaltan her kamyon, tesisten çıkış öncesinde basınçlı ve ilaçlı yıkama yapılan otomatik araç hijyen ünitesine girmek zorunda olacaktır.

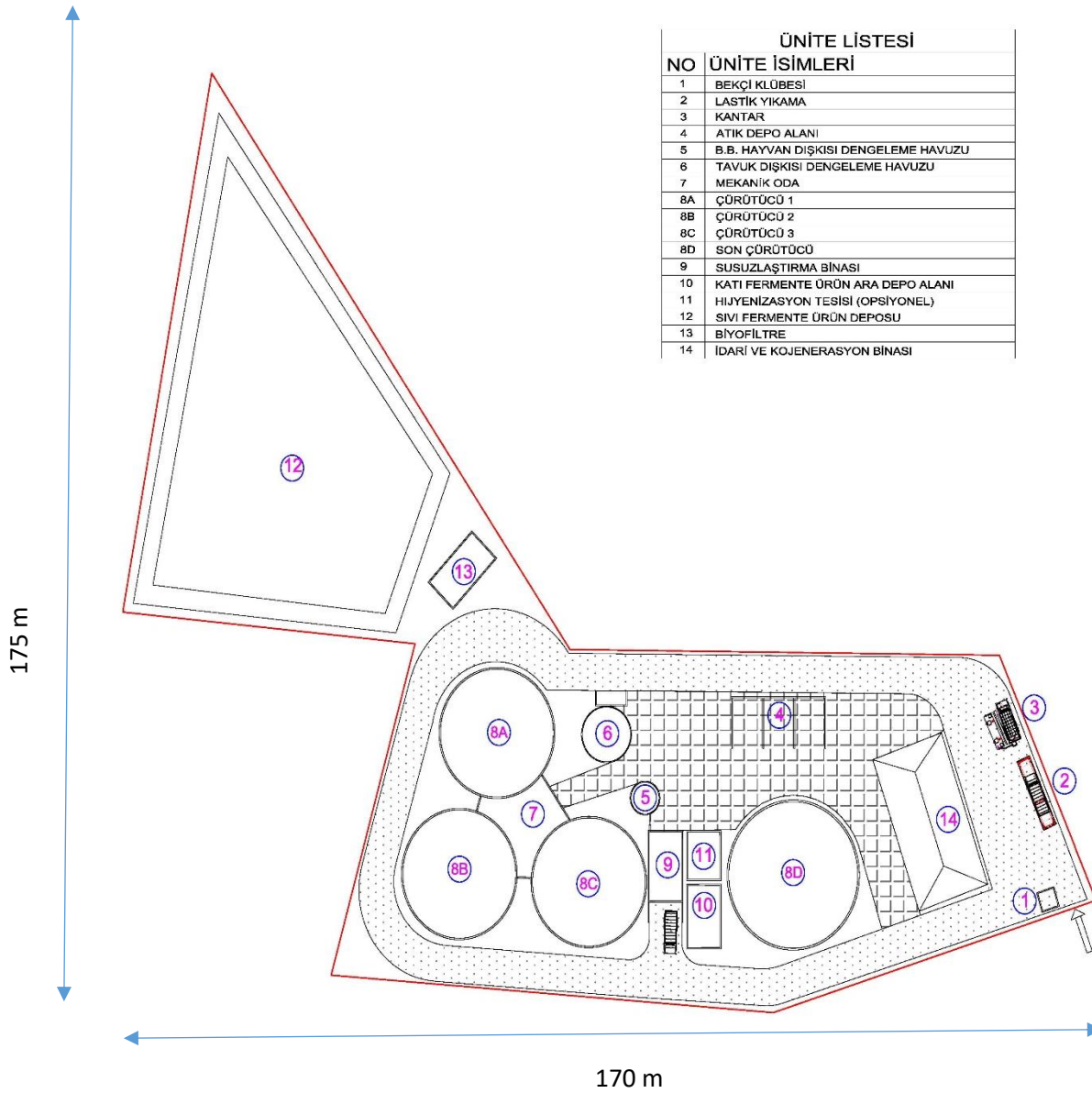
Bu ünite, uygun oranlarda dezenfektan karışımı yapılmasını sağlayan dozaj sistemi, su alma sistemi, pompa sistemleri ve atık yıkama suyu drenajı bulunacaktır. Bu ünite, farklı kaynaklardan veya tesis içinde atıklar yoluyla kamyonlara bulaşmış olabilecek patojen ve bakterilerin temizlenerek tesis dışına çıkmasının ve hastalık yayılımının önlenmesini sağlayacaktır.

Araç otoparkı: İdari bina yanında konumlandırılmıştır. Yaklaşık 10 araç kapasitelidir.

İdari bina: 1 adet yapılması planlanmaktadır. İdari bina ve kojenerasyon binası bütünleşik olarak inşa edilecektir. İdari bina olarak kullanılacak bölümün mevcut öngörülere göre 3 metre tavan yüksekliğinde, tek katlı ve 300 m² oturma alanı olması planlanmaktadır. Binanın giriş katında, tesisin işletilmesiyle ilgili temel analizlerin yapılacağı analiz laboratuvarı, mutfak, tuvalet, yönetim ofisi ve kontrol odası bulunacaktır.

Güvenlik-Giriş Binası: 20 m²'lik tesis alanı girişinde konumlandırılacak 1 adet Güvenlik-Giriş Binası tasarlanmıştır.

Proje kapsamında kullanılacak makine ve ekipmanlar için öngörülen proje ömrü 25 yıldır. Bu kapsamda ilerleyen senelerde makine ve ekipmanlardaki bakım ve onarımların düzenli yapılması ve teknolojik senkronizasyonların uygulanması ile birlikte bir proje ömrü de uzatılabilecektir.



Şekil 7.11.1. Tipik Biyogaz Tesisi Yerleşim Planı

Tipik bir biyogaz tesisine ait yerleşim planı Şekil 7.11.1’de verilmiştir. Verilen bu yerleşim planı yaklaşık 15.000 m²’lik alana oturmakta olup, fermentör sayıları ve boyutları, lagün boyutlandırması, gibi bileşenler tesis projelendirmesine göre değişebilir.

Tablo 7.11.1. Tahmini İş Programı

	Süre (Ay)																	
İşin Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ÇED Süreci																		
Diğer İzin Süreçleri (İmar Planı, Proje Onayı, Bağlantı İzinleri vb.)																		
İhale Süreci																		
İnşaat ve Montaj İşleri																		
Devreye Alma																		

Projeye ilişkin tahmini iş programı Tablo 7.11.1’de verilmiştir. Kurulacak bir biyogaz tesisi için izin süreçlerinin ve yapılacak olan yüklenici ihalesinin tamamlanması 8 ay süreceği öngörülmektedir. İnşaat ve montaj işlerinin tamamlanması için öngörülen süre 9 ay olup, tesisin devreye alınmasına kadar gerekecek süre 18 ay olarak öngörülmüştür.

8. SONUÇLAR

Bu rapor, Sarıkamış ve Arpaçay İlçelerinde Biyogaz Tesisinin Kurulmasına Yönelik Ön Araştırma niteliğinde olup Sarıkamış ve Arpaçay ilçelerindeki hayvancılık işletmelerinden kaynaklanan hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz ve enerji potansiyelinin belirlenmesi amacıyla hazırlanarak yapılan ön değerlendirme çalışmasında varılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Bu çalışma, Kars ili Sarıkamış ve Arpaçay ilçelerindeki hayvancılık faaliyetleri sonucu zaman içerisinde artan hayvan atıklarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması ve bu atıkların yarattığı çevre sorunlarına çözüm üretmek amacıyla önerilen biyogaz tesisi kurulumları için ön değerlendirme niteliğindedir. Sürdürülebilir kalkınma, tarım ve hayvancılık faaliyetlerin artırılması ve kırsal hayat kalitesinin yükseltilmesi, hayvansal atıkların değerlendirileceği bir biyogaz tesisinin bölge için başlıca kazanımları arasında olacaktır.
- Doğu Anadolu Bölgesi genelinde olduğu gibi, Kars ilinde de hayvancılık sektörü yaygın bir ekonomik faaliyet kolu ve temel geçim kaynağıdır. Kars ilinde genel itibarıyla kombine büyükbaş hayvancılık yapıldığından çiftçilerin en önemli gelir kaynağını süt satışı oluşturmaktadır. Kars Organize Sanayi Bölgesi, ilçe merkezleri ve köylerde faaliyet gösteren küçük ve orta ölçekli birçok mandıra bulunmaktadır.
- Kars ilinde hayvancılık faaliyetleri yıl içindeki iki ana dönemde incelenmektedir. Kış dönemi olarak adlandırılan ve kasım-nisan ayları arasını kapsayan 150 günlük 1. dönemde hayvanlar ahırlarda tutulurken, nisan-kasım ayları arasını kapsayan 210 günlük 2. dönemde hayvanlar gündüzleri mera ve çayırda, geceleri ise ahır veya ahır çevrelerinde geçirmektedir. Ayrıca, il genelinde 2. dönem içerisinde bölgesel olarak değişkenlik gösteren yayla kullanımı da söz konusu olmaktadır. Bu sebeple yapılan atık projeksiyonu ve kapasite belirlemesi sırasında bu 2 dönem ayrı olarak değerlendirmeye alınmıştır.
- Yapılan saha çalışması sırasında ziyaret edilen Sarıkamış ve Arpaçay İlçe Tarım ve Orman Müdürlükleri verileri ile ziyaret edilen köylerdeki mevcut durum verileri toplanarak yapılan atık projeksiyonu ve kapasite belirleme çalışmalarına esas alınmıştır.
- Sarıkamış ilçesinde odaklanılan bölge bazlı yapılan örnekleme sonucunda incelenen köy ve mahallelerden elde edilen bilgiler ışığında ortaya çıkan büyükbaş hayvan atığı miktarları belirlenmiştir. Bu bilgiler neticesinde, Sarıkamış ilçesi için çalışılan mahalle ve köylerdeki atıkların kullanılması durumunda kurulacak bir biyogaz tesisinin, 2 dönemde de oluşacak farklı atık miktarlarını optimum seviyede kullanabilmek için 400 kWe kapasiteli bir biyogaz tesisinin uygun olacağı öngörülmüştür.

- Arpaçay ilçesinde odaklanılan bölge bazlı yapılan örnekleme sonucunda incelenen köylerden elde edilen bilgiler ışığında ortaya çıkan büyükbaş hayvan atığı miktarları belirlenmiştir. Bu bilgiler neticesinde, Arpaçay ilçesi için çalışılan köylerdeki atıkların kullanılması durumunda kurulacak bir biyogaz tesisinin, 2 dönemde de oluşacak farklı atık miktarlarını optimum seviyede kullanabilmek için 250 kWe kapasiteli bir biyogaz tesisinin uygun olacağı öngörülmüştür.
- Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak hayvansal atık kullanan biyogaz tesisleri için, YEKDEM kapsamında 10 yıl süreli 133 ABD Dolar/MWh alım garantisi verilmiş olması, bu tür bir tesis için karlılık açısından cazip bir teşvik unsurudur. Bu teşvik unsurunun mevcut mevzuat koşulları itibarıyla 2020 yılı sonuna dek tamamlanacak santrallerle sınırlı olması, karar verilecek tesislerin bu tarihe kadar yetiştirilmesi gereğini ortaya koymaktadır ki; gerekli izinler ve lisans süreçleri düşünüldüğünde bugünden itibaren kalan bu sürenin çok hızlı ve verimli kullanılmasını gerektirmektedir.
- Arazi seçimi yapılırken atık toplanacak olan mahalle ve köylere mümkün olduğunca orta bir noktada tesis kurulması, atık toplama maliyeti ve planlaması açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple arazi seçimi için her iki bölgede de önerilerde bulunulmuştur.
- Sarıkamış ve Arpaçay ilçelerinde 400 kWe ve 250 kW kapasiteli birer biyogaz tesisini çalıştırmak için gereken atık miktarları sırasıyla yıllık 37.500 ton ve 19.700 ton olacaktır. Çevreyle uyumlu bu enerji santrallerinden Sarıkamış için kurulacak olan tesis 3.200 MWh yıllık üretim gerçekleştirirken, Arpaçay için kurulacak tesis 2.000 MWh yıllık üretim gerçekleştirecektir.
- Önerilen biyogaz tesislerden Sarıkamış tesisi için yıllık satılabilir elektrik enerjisi üretimi 2.944 MWh, Arpaçay tesisi için yıllık satılabilir elektrik enerjisi üretimi 1.840 MWh olmaktadır. YEKDEM kapsamında ilk 10 yıl boyunca her yıl için elektrik satış cirosu Sarıkamış için 391.552 ABD Doları, Arpaçay için 244.720 ABD Doları olarak hesaplanmıştır. Projenin yıllık işletme maliyetleri ise Sarıkamış için 193.867 ABD Doları iken, Arpaçay ilçesi için ise 141.075 ABD olarak öngörülmüştür.
- Satış gelirleri ve işletme giderleri verilerine dayanarak tesisin ilk 10 yıl için yıllık FAVÖK değerleri Sarıkamış için 197.685 ABD Doları olup, Arpaçay için 103.645 ABD Doları değerindedir. Bu değer yatırım bedelleriine bölünmesiyle yatırımın geri dönüş hızı Sarıkamış için %20,5, Arpaçay için ise %14 olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda, Sarıkamış'ta 4,9 yılda yatırımın geri dönüşünü sağlarken, Arpaçay'da 7,1 yılda geri dönüş sağlanmaktadır.

- Toplam sabit yatırım bedeli (KDV ve finansman hariç) Sarıkamış için 965.000 ABD Doları, Arpaçay için 740.000 ABD Doları olarak öngörülmüştür. Proje finansmanının %100 özsermaye ile karşılanacağı varsayılmıştır.
- Bu tür projeler belli riskleri taşımakla birlikte yarattıkları fırsatlar ve ekonomik, sosyal ve çevresel faydalar itibarıyla olumlu projelerdir.
- Kurulacak biyogaz tesisleri ile Sarıkamış ve Arpaçay bölgesinde problem yaratan bir atık kaynağının bertarafı sağlanacak, yer altı suyu ve toprak kirliliğinin önüne geçilecektir.
- Toprak ve yabancı maddelerin karışmadığı atıkların alınması, biyogaz tesislerinin işletme dönemi için önemli bir kriterdir. Bu sebeple modern tesislerin artması, mevcut işletmelerin ilkel koşullarının iyileştirilmesi ve özellikle zeminlerinin betonlanması gereklidir.
- Sarıkamış bölgesindeki hayvan sayısının çok olması ve modern tesislerin bulunması, bu bölgede atık toplanmasını kolaylaştıracığından öncelikli olarak düşünülmelidir.
- Tesislerden bir atık ısı çıkışı olmayacağı için bu atık ısının değerlendirilmesi ve kullanımı ile ilgili bir tasarruf sağlanamayacaktır.

Sonuç olarak, bu fizibilite analizi, ana varsayımlarda olabilecek değişikliklerle daha farklı sonuçlara ulaşabilecek olsa da bu haliyle yapılabilir görülen bu tesisler için yapılan bu çalışmalar bir ön değerlendirme niteliğinde olup, biyogaz tesisi kurulumuna yönelik olası bir karar çıkması durumunda ayrıntılı bir fizibilite raporunda değişebilecek güncel şartlarla tekrar değerlendirilmelidir.

9. KAYNAKLAR

- [1] Gülen J., Arslan H., Biogas, Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, (2005), 2005/4.
- [2] Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr
- [3] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, www.yegm.gov.tr.
- [4] European Biogas Association, www.european-biogas.eu.
- [5] Yılmaz A., Ünvar S., Koca T., Koçer A., Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri, Enerji ve Çevre, (2018), Temmuz-Ağustos 2018.
- [6] Koçer N.N., Öner C., Sugözü İ., Türkiye’de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi, Doğu anadolu Bölgesi Araştırmaları, (2006).
- [7] Altıkat S., Çelik A., Iğdır İlinin Hayvansal Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (2012), 2(1): 61-66.
- [8] Aktaş T., Özer B., Soyak G., Ertürk M.C., Tekirdağ İli’nde Hayvansal Kaynaklı Biyogazdan Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, (2015), 11(1): 69-74.
- [9] Demir M., Kars ilinin biyokütle enerji potansiyeli ve kullanılabilirliği, Türk Coğrafya Dergisi, (2017), 68:31-41.
- [10] T.C. Kars Valiliği, www.kars.gov.tr
- [11] Serhat Kalkınma Ajansı, www.serka.gov.tr
- [12] TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, www.emo.org.tr
- [13] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr>
- [14] Buğutekin, A. 2007. Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- [15] Asla F., Özgen İ., Esen H., 2016. The Opportunities for Utilization from Biogas and Microalgae in Energy Planning and the Potential of Eastern Anatolia Region, ICNASE’16
- [16] Demirer G.N., Duran M., Güven E., Uğurlu Ö., Ergüder T.H., Tezel U., Şen S., Korkusuz E. A., Varolan N. (2001), Organik Atıklardan Anaerobik Yöntemlerle Biyogaz Eldesi: Türkiye’de Uygulanabilirlik, Yenilenebilir Enerji Sempozyumu, İzmir, 18-20 Ocak 2001.
- [17] İlkılıç C., Deviren H. 2011. Biyogazın Oluşumu ve Biyogazı Saflaştırma Yöntemleri, 6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 May 2011, Elazığ.
- [18] Kaya D., Öztürk H.H. (2012) Biyogaz Teknolojisi Üretim-Kullanım-Projeleme. Umuttepe Yayınevi, İzmit/Kocaeli.
- [19] Nayyeri M.A., Kianmehr A., Arabhosseini A., Hassan-Beygi S.R., (2009), Thermal properties of dairy cattle manure, Int. Agrophysics, 23, 359-366.

[20] Uluslararası Enerji Ajansı, www.iea.org

[21] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, www.mevbis.mgm.gov.tr

[22] Tafdrup S. 1994. Centralised biogas plants combine agricultural and environmental benefits with energy production. Water Science and Technology, 30:133-141.

[23] Akbulut, A. ve Dikici, A., (2004). Elazığ İlinin Biyogaz Potansiyeli ve Maaliyet Analizi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.

10. EKLER

EK-1 Saha Çalışması Fotoğrafları

EK-2 Peynir Altı Suyu İle Kapasite Hesaplaması

EK-3 Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde BMP Analiz Sonuçları

EK-1

Saha Çalışması Fotoğrafları



Şekil E.1.1. Köylerde Düzensiz Depolanan Atıklar



Şekil E.1.2. Köylerde Düzensiz Depolanan Atıklar



Şekil E.1.3. Köylerde Düzensiz Depolanan Atıklar



Şekil E.1.4. Köylerde Düzensiz Depolanan Atıklar



Şekil E.1.5. 2. Dönemde Yaylada Kalan Hayvanların Gece Konakladıkları Ağıllar



Şekil E.1.6. 2. Dönemde Yaylada Kalan Hayvanların Otladığı Meralar



Şekil E.1.7. 2. Dönemde Akşam Üzeri Meradan Köylere Dönen Hayvanlar



Şekil E.1.8. Modern Bir Tesis Örneği (Hamamlı Köyü, Sarıkamış)

EK-2

Peynir Altı Suyu İle Kapasite Hesaplaması

100 ton/gün peynir altı suyu örnek senaryosu için biyogaz kapasitesi hesaplaması:

$$\text{Günlük UKM miktarı} \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) = 100 \left(\frac{\text{ton}}{\text{gün}} \right) \times 0,0533 \times 0,90 = 4,8$$

$$\text{Günlük Biyogaz Üretimi} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) = \frac{4,8 \left(\text{ton} \frac{\text{UKM}}{\text{gün}} \right) \times 808 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{ton.UKM}} \right)}{24 \left(\frac{\text{saat}}{\text{gün}} \right)} = 161,5$$

$$\text{Biyogaz Kapasitesi (kW)} = 161,5 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{saat}} \right) \times 0,81 \times 10 \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^3} \right) \times 0,41 = \mathbf{536}$$

Kars İli'nde yer alan mandıra sayısının dikkate değer olması sebebiyle, Kars Organize Sanayi Bölgesi'nde yer alan mandıralardan peynir altı suyu numunesi alınarak Analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda 100 ton/gün peynir altı suyu atığı ile yapılan örnek bir senaryoda 536 kW_e kapasiteli bir biyogaz tesisinin kurulabileceği öngörülmüştür. Yapılan analizlerde, bir biyogaz tesisine alınabilecek bu atığın kuru madde oranı %5,33 olarak ölçülmüştür. Ancak fermentöre eklenmesi gereken atık miktarının kuru madde içeriği %10 olmalıdır [1]. Bu sebeple tesise büyükbaş hayvan atığı gibi kuru madde oranı yüksek bir atık eklenerek kuru madde oranının %10'a çıkarılması gerekecektir. Böyle bir durumda tesise eklenmesi gereken günlük büyükbaş hayvan atığı miktarı 50 ton/gün olarak hesaplanmıştır. Uygulanabilir bir biyogaz tesisi işletmek amacıyla 100 ton/gün peynir altı suyu ve 50 ton/gün büyükbaş hayvan atığının karıştırılması durumunda yaklaşık 750 kW kapasiteli bir biyogaz tesisi kurulabilecektir. Ayrıca, peynir altı suyunun büyükbaş hayvan atığı ile karıştırılmasının bir diğer sebebi büyükbaş hayvan atığı içerisinde bulunan bakterilerin fermentasyon ortamına aşılmasını sağlamaktır. Aksi takdirde peynir altı suyunda bulunan laktik asit bakterileri organik maddeyi tüketerek metan bakterileri için yeterli karbon kaynağı bırakmazlar. Bu yüzden de metan üretimi düşer ve istenilen verim alınamaz. Arpaçay ve Sarıkamış için yapılan hesaplamalardan yola çıkılarak, peynir altı suyu için kurulacak 750 kW'lık bir biyogaz tesisi için yatırım maliyetinin yaklaşık 1.500.000 ABD Doları olması öngörülmektedir. Bu tür bir biyogaz tesisinden çıkan gübre de, rapora konu olan tesislerden (Sarıkamış ve Arpaçay) çıkan gübre gibi tarımsal amaçla kullanılabilir. Böyle bir yatırımın geri dönüş süresinin ise 4 yılın üzerine çıkmayacağı öngörülmektedir.

EK-3

Ege Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde BMP Analiz Sonuçları



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü



Sayı : 36367668-605.02-70495
Konu : Raporlama

13/09/2018

Ersis Enerji Mühendislik Müşavirlik İnşaat Ltd. Şti.
T.C. Kars İl Özel İdaresi Genel Sekreterliği Karadağ Mahallesi Vali Hüseyin Atak Bulvarı
No:72 36100/Kars

19.07.2018 tarihinde tarafımıza elden ulaştırmış olduğunuz 3 adet numuneye (Arpaçay ve Sarıkamış etiketli 2 adet büyükbaş hayvan gübresi ve bir adet peynir altı suyu) BMP test sonuçları raporu ekte dikkatinize sunulmaktadır.

Prof. Dr. Nuri AZBAR
Müdür

Ek:Rapor



EGE ÜNİVERSİTESİ

ÇEVRE SORUNLARI ARAŞTIRMA VE UYGULAMA MERKEZİ

ANALİZ RAPORU

RAPOR TARİHİ: 31.08.2018

TALEP EDEN: ERSİS ENERJİ MÜHENDİSLİK MÜŞAVİRLİK İNŞAAT LTD. ŞTİ.

ADRES: Mustafa Kemal Mah. 2128. Sok. 15/6 06520, Çankaya – Ankara **Tel:** +90 312 428 38 50

KONU: BÜYÜKBAŞ HAYVAN ATIĞI VE PEYNİRLİ SUYU ATIĞININ BİYOKİMYASAL METAN POTANSİYELİ VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Not: Bu raporda yer alan sonuçlar, sadece incelenen numunelere aittir.



Onaylayan

Prof. Dr. Nuri AZBAR

Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürü

Talep eden: ERSİS ENERJİ MÜHENDİSLİK MÜŞAVİRLİK İNŞAAT LTD. ŞTİ.

Bu rapor 4 sayfa olup 2 asıl (1 müşteriye 1 asıl Merkez arşivine) olarak hazırlanmıştır.

Sayfa 1/4

Bu rapor ve sonuçları talepte bulunan kuruluş ve müşterilerince ticaret ve reklam amaçları ile kullanılamaz. Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz.

Örnek: büyükbaş hayvan atığı ve peyniraltı suyu atığı

Kabul tarihi: 19.07.2018

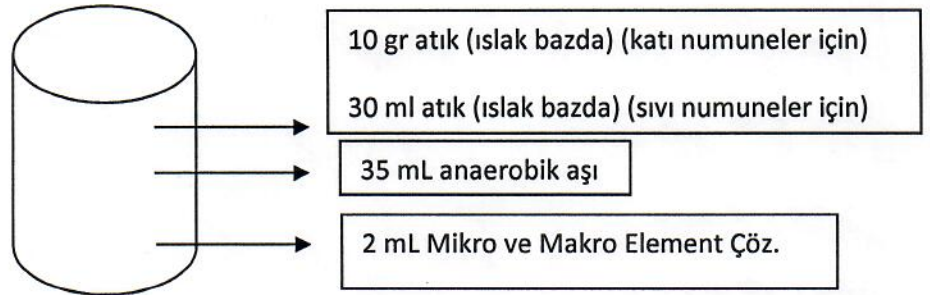
Örnek sayısı: 3

Analiz tarihi: 19.07.2018-31.08.2018

Örneğin getiriliş şekli: Müşteri tarafından

Saklama Koşulu: -20 °C de derin dondurucuda

ERSİS ENERJİ tarafından elden teslim edilen numunelerde Biyokimyasal Metan Potansiyeli Analizi (BMP) değerlendirmesi yapılması talep edilmiştir. BMP test raporu aşağıdaki şartlarda EPA 712-C-08-007 standardında OPPTS 835.3420 numaralı protokole göre değerlendirilerek sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2’de ve Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3’de gösterilmektedir.



Tablo 1. Örneklerin kuru madde ve uçucu kuru madde içeriği

	ERSİS-1	ERSİS -2	ERSİS -3
Kuru Madde (%)	26.70	20.68	5.33
Uçucu Kuru Madde (%)	54.13	55.06	90

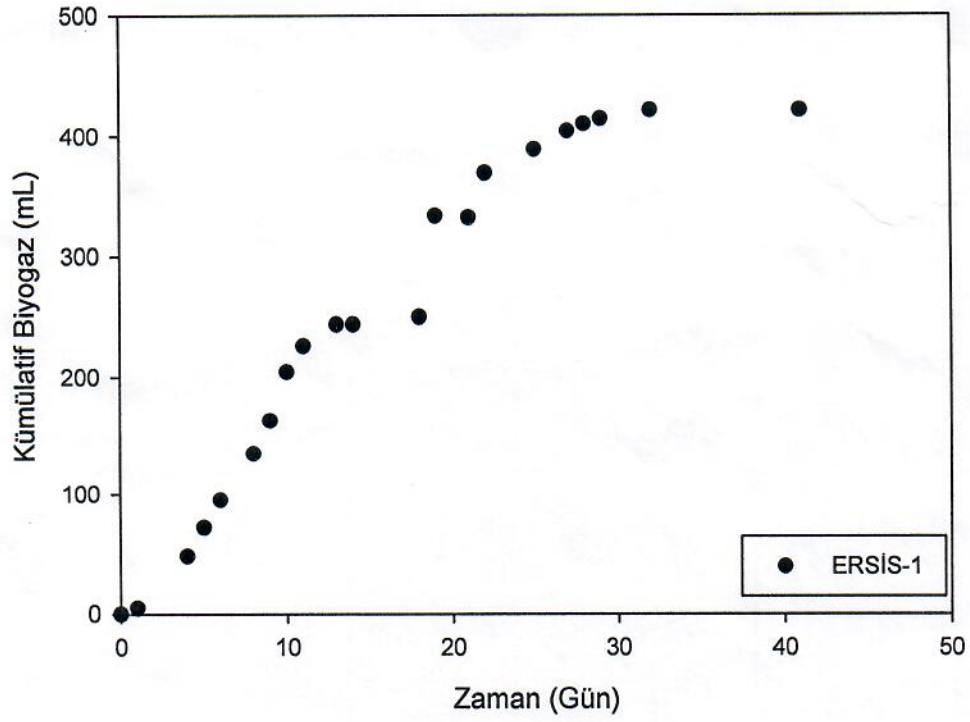
Tablo 2. BMP değerlendirme sonuçları

Örnek Kodu	Örnek Adı	BMP Test Süreci (gün)	Toplam Biyogaz (mL)	CH ₄ (%)	L biyogaz/ kg UKM	m ³ biyogaz /ton Islak madde	Metod
ERSİS-1	Arpaçay büyükbaş hayvan atığı	41	422	64	293	42.2	OPPTS 835.3420
ERSİS -2	Sarıkamış büyükbaş hayvan atığı n	41	346	66	304	34.6	OPPTS 835.3420
ERSİS -3	Peyniraltı suyu	33	1163	81	808	38.8	OPPTS 835.3420

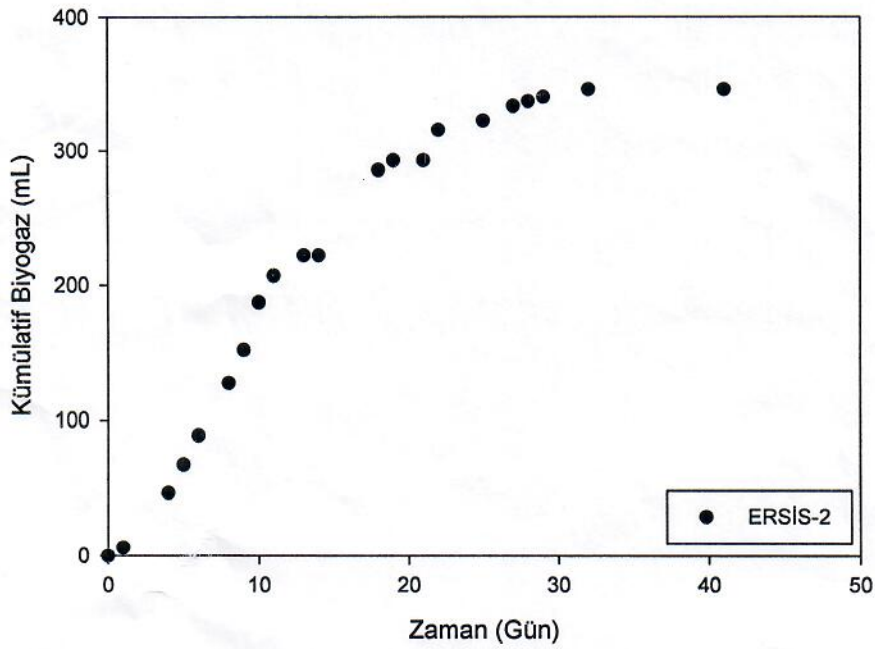
Bu rapor 4 sayfa olup 2 asıl (1 müşteriye 1 asıl Merkez arşivine) olarak hazırlanmıştır.

Sayfa 2/4

Bu rapor ve sonuçları talepte bulunan kuruluş ve müşterilerince ticaret ve reklam amaçları ile kullanılamaz. Rapor tamamen veya kısmen çoğaltılamaz/yayınlanamaz.

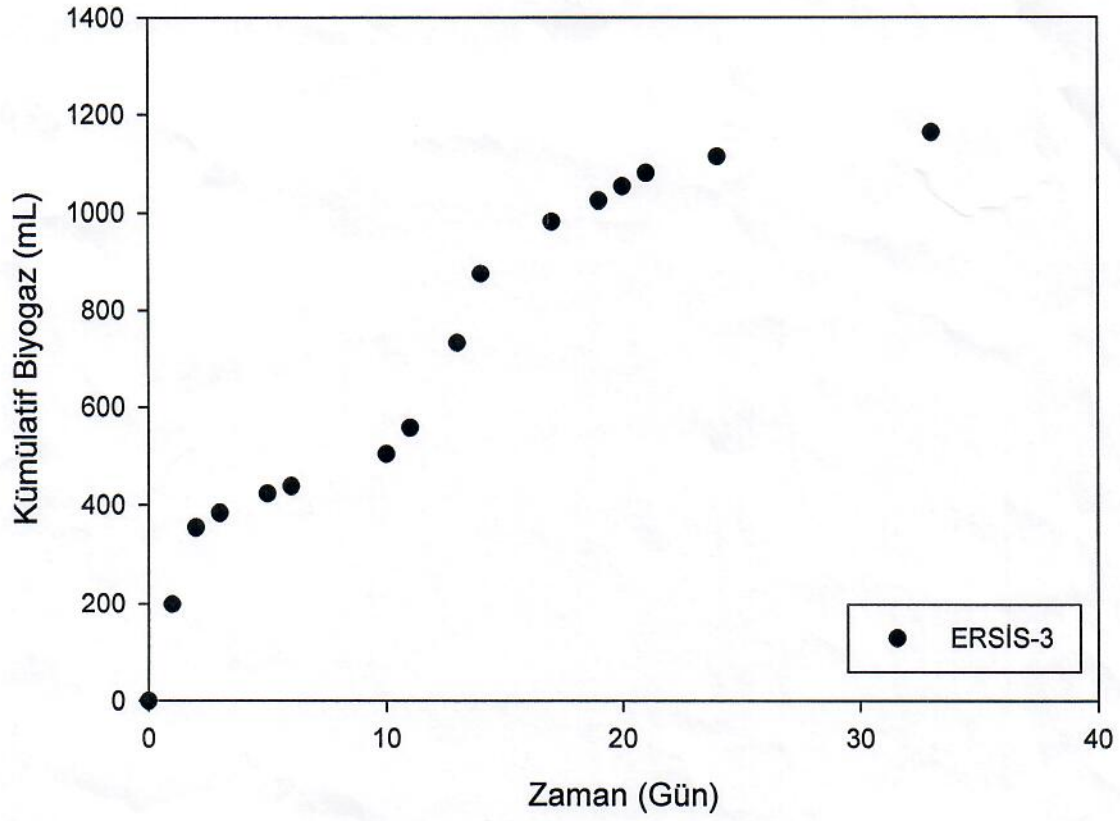


Şekil 1. ERSİS 1- Arpaçay büyükbaş hayvan atığı örneğine ait BMP sonuçları



Şekil 2 ERSİS 2- Sarıkamış büyükbaş hayvan atığı örneğine ait BMP sonuçları

B



Şekil 3 ERSİS 3- Peyniraltı suyu atığı örneğine ait BMP sonuçları