

**T.C. AMASYA VALİLİĞİ
AMASYA İL ÖZEL İDARE MÜDÜRLÜĞÜ**

**SULUOVA (AMASYA)
BESİCİLER BİRLİĞİ (SBB)
BESİ ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ (OSB)
MERKEZİ BİYOMETAN TESİSİ (MBT)
FİZİBİLİTE RAPORU**

CİLT II



BİOSFER Danışmanlık ve Mühendislik Ltd.

Yıldız Posta Cd. Vefa Bey Sk. Yeşil Ap. A Blok No: 26/18 Gayrettepe İstanbul
Tel: +90 212 347 00 50 (pbx) Faks: +90 212 347 00 68 www.biosfer.com.tr

İSTANBUL - 2009

**T.C. AMASYA VALİLİĞİ
AMASYA İL ÖZEL İDARE MÜDÜRLÜĞÜ**

**SULUOVA (AMASYA)
BESİCİLER BİRLİĞİ (SBB)
BESİ ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ (OSB)
MERKEZİ BİYOMETAN TESİSİ (MBT)
FİZİBİLİTE RAPORU**

CİLT II

**Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK (İTÜ Çevre Müh. Böl.)
Araş. Gör. R. Kaan DERELİ (İTÜ Çevre Müh. Böl.)
Y. Müh. Aslı ÖZABALI (BİOSFER Dan. Müh. Ltd)
Çevre Y. Müh. Kübra ERİÇYEL (BİOSFER Dan. Müh. Ltd)
Çevre Y. Müh. İnci KARAKAYA (BİOSFER Dan. Müh. Ltd)**



BİOSFER Danışmanlık ve Mühendislik Ltd.

Yıldız Posta Cd. Vefa Bey Sk. Yeşil Ap. A Blok No: 26/18 Gayrettepe İstanbul
Tel: +90 212 347 00 50 (pbx) Faks: +90 212 347 00 68 www.biosfer.com.tr

İSTANBUL - 2009

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
2. SULOVA (AMASYA) İLÇESİNDEKİ BÜYÜKBAŞ HAYVAN BESİCİLİĞİNİN DURUMU.....	2
3. BÜYÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARININ MİKTAR VE ÖZELLİKLERİ.....	9
4. BÜYÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARI YÖNETİMİ.....	11
4.1.İlgili Yasal Çerçeve.....	11
4.2.Büyükbaş Hayvan Atıkları İçin Anaerobik Arıtma ve Biyometan Geri Kazanım Seçenekleri	12
4.2.1. Reaktör (Çürütücü) Tipleri ve Tasarım Kriterleri	12
4.2.2. Dünyadaki Durum ve Eğilim	15
4.2.3. Danimarka Çiftlik Tipi ve Merkezi Biyogaz Tesisleri.....	16
4.2.4. Anaerobik Çürütmenin Optimizasyonu	20
4.2.5. Aerobik Kompostlaştırma.....	22
4.3.Organik Atıklardan Yenilenebilir Enerji (Biyometan) Geri Kazanımı ile İlgili Teşvikler.....	24
4.3.1. Avrupa'daki Uygulamalar.....	24
4.3.2. Türkiye'deki Durum.....	25
5. SULOVA BESİ OSB İÇİN MERKEZİ BİYOGAZ TESİSİ TASARIMI.....	27
5.1. Yer Seçimi.....	27
5.2.Merkezi Biyometan Tesisine Gelecek Büyükbaş Hayvan Atıklarının Miktar ve Özellikleri.....	27
5.3.Atıkların Geçici Biriktirilmesi ve Merkezi Biyometan Tesisine Taşınması	27
5.4.Merkezi Biyometan Tesis Tasarımı	28
5.4.1. Genel Esaslar.....	28
5.4.2. Meteorolojik Veriler.....	29
5.4.3. Tesis Ünitelerinin Tasarımı	29
6. BİYOMETAN TESİSİ FİZİBİLİTE ANALİZİ.....	35
6.1.İlk Yatırım Maliyeti	35
6.2.Tesisten elde edilen gelirler.....	35
6.3.Tesisin Başlıca Giderleri	35
6.4.Fizibilite Analizi.....	36
6.5.Yönetim ve Finansman Seçenekleri.....	37
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR.....	39

TABLO DİZİNİ

Tablo 2.1. Plandaki arazi kullanım türleri ve dağılımı.....	8
Tablo 3.1. Hayvan atıklarının genel özellikleri (Taiganides, 1977).....	9
Tablo 3.2. Ortalama canlı ağırlıkta bir hayvan başına üretilen atık miktarları	9
Tablo 3.3. Hayvan başına elde edilebilecek gübre eşdeğeri besi maddesi (N, P, K) miktarları (g/gün) (Taiganides, 1977).....	10
Tablo 3.4. Hayvan atıklarının katı madde oranları (%).....	10
Tablo 4.1. Biyogaz ve doğalgazın standart koşullarda (0°C ve 1 atm) ısı değeri	12
Tablo 4.2. Anaerobik çürütücülerin yatırım ve işletme maliyetleri (Nichols, 2004)	16
Tablo 4.3. Danimarka'daki merkezi biyogaz tesisleri için arıtma maliyetleri	16
Tablo 4.4. Danimarka'da 2002 yılında biyogaz tesisleri ve biyogaz üretimi (Holm-Nielsen ve Al Seadi, 2006).....	18
Tablo 4.5. Kombine biyogaz ve mekanik ayırma tesisi.....	20
Tablo 4.6. Farklı evsel organik atıkların (OKKA) ve arıtma çamurlarının birlikte arıtılması ve metan verimleri (Türker, 2008).....	22
Tablo 4.7. Arıtma çamuru ve kaynağında ayrılmış evsel organik atığın (OKKA) birlikte arıtılması sonucu metan verimleri (Türker, 2008)	22
Tablo 6.1. 10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli 1 modüllük merkezi biyometan tesisi yatırım maliyeti ana bileşenleri.....	35
Tablo 6.2. Suluova merkezi biyometan tesisi geliri (10.000 BBH'lık modül; %8 KM içeren 310 m ³ /gün'lük atık).....	35
Tablo 6.3. Suluova Merkezi Biyometan Tesis Giderleri (10.000 BBH, %8 KM'li 310 m ³ /gün'lük atık).....	36
Tablo 6.4. Yatırım geri ödeme sürelerinin, ilk yatırım ve enerji teşviki oranları ile değişimi (%8'lik faiz oranı için)	36
Tablo 6.5. Yatırım geri ödeme sürelerinin, ilk yatırım ve enerji teşviki oranları ile değişimi (%5'lik faiz oranı için)	37

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1 Proje yerinin harita üzerinde gösterimi	2
Şekil 2.2. Suluova'daki büyükbaş hayvan ahırlarının kapasite-sayı histogramı	3
Şekil 2.3. Suluova'daki büyükbaş hayvan sayılarının mahallelere göre dağılımı	3
Şekil 2.4. Suluova'daki büyükbaş hayvan işletmelerinin mekansal dağılımı	4
Şekil 2.5. Besi Organize Sanayi Bölgesi'nin Suluova İmar Planı üzerindeki gösterimi	5
Şekil 4.1. Organik atıkların biyogaza dönüşmesi için kullanılan çürütücüler	13
Şekil 4.2. Biyogaz tesisinin temel elemanları (Wellinger, 1999).....	14
Şekil 4.3. Avusturya Voralberg'te tepesi kauçuk membranla kaplı çiftlik tipi biyogaz tesisi ..	15
Şekil 4.4. Black Smith biyogaz tesisi	17
Şekil 4.5. Membran çatılı (soft top) biyogaz tesisinin elemanları	17
Şekil 4.6. Merkezi biyogaz tesisleri kavramı	18
Şekil 4.7. Çürütülmüş atığın nutrient kayıplarını azaltmak için toprağa uygulanması (DIAFE,1999)	19
Şekil 4.8. Anaerobik çürütmenin temel hedefleri (Ahring, 2002)	21
Şekil 4.9. Büyükbaş hayvan atıkları için iki kademeli arıtma sistemi	23
Şekil 5.1. 2x1000 büyükbaş hayvan atığı arıtma kapasiteli merkezi biyometan tesisi (2008- 2010 dönemi).....	28
Şekil 5.2. Suluova Besi OSB MBT Proses Akım Şeması (10.000 büyükbaş hayvan dışkısını artıracak merkezi biyogaz tesisi).....	30

EKLER

EK I.	Suluova İlçesi'nde Besi Hayvancılığı İşletme Durumları
EK II.	1/25000 ölçekli Suluova İmar Planı
EK III.	Suluova Besi OSB Mevzi İmar Planı
EK IV.	Suluova (Amasya) Besiciler Birliği Besi OSB Merkezi Biyometan Tesisi Genel Yerleşim Planı
EK V.	Suluova (Amasya) Besiciler Birliği Besi OSB Merkezi Biyometan Tesisi Hidrolik Akım Şeması
EK VI.	Geri Kazanım Tesisi Proses Hesapları Özeti
EK VII.	Amasya Meteoroloji İstasyonu Gözlem Kayıtları, 1975–2007
Ek VIII.	Ünite ve Ekipman Özellikleri
Ek IX.	Ekonomik Analiz

KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AKM	: Askıda Katı Madde
AU	: Hayvan Birimi
BBH	: Büyük Baş Hayvan
BOI	: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
CHP	: Güç Üretim Santrali
DKK	: Danimarka Kronu
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GBH	: Gübre Biriktirme Havuzu
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HRT	: Hidrolik Bekletme Süresi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
K	: Potasyum
KOI	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
LU	: Canlı Hayvan Birimi
MBT	: Merkezi Biyometan Tesisi
N	: Azot
OKKA	: Organik Kentsel Katı Atık
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
P	: Fosfor
SBB	: Suluova Besiciler Birliği
TKM	: Toplam Katı Madde
TLW	: Toplam Canlı Ağırlığı
TN	: Toplam Azot
TS	: Toplam katı
TVS	: Uçucu katı
TWW	: Islak atık
UKM	: Uçucu Katı Madde
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynağı
YİD	: Yap İşlet Devret

1. GİRİŞ

Biosfer Danışmanlık ve Mühendislik Ltd. Şti, T.C. Amasya Valiliği Amasya İl Özel İdaresi Müdürlüğü'nce ihale edilen “Tersakan Çayı (Yeşilirmak) Alt Havzası Entegre Koruma ve Su Kalitesi Yönetimi: Acil İşler Projesi” işini 04.03.09 tarihli ilgili sözleşme uyarınca üstlenmiş bulunmaktadır. Söz konusu sözleşme ekindeki Teknik Şartname'ye göre Proje başlıca aşağıdaki konuları kapsamaktadır.

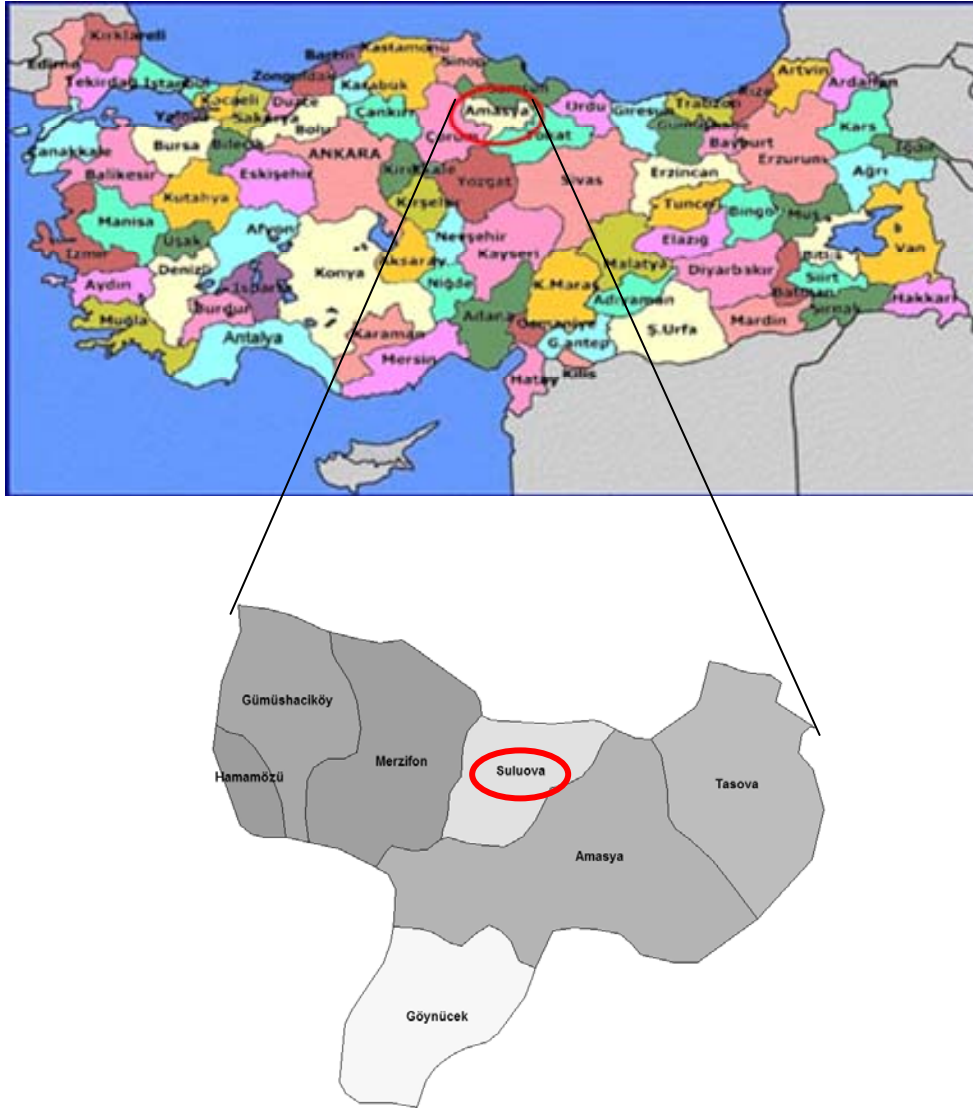
- (1) Suluova (Amasya) Besi Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Merkezi Biyometan Tesisi Fizibilite Raporu hazırlanması.
- (2) Tersakan Çayı (Yeşilirmak) Alt Havzası Entegre Su Kalitesi Yönetimi Acil Önlemler Eylem Planı hazırlanması.

Bu raporda ilgili sözleşme kapsamında yürütülen projenin 1. alt bileşeni altında yürütülen çalışmaların sonuçları sunulmuştur. Projenin 2. alt bileşeninde ise Tersakan Çayı (Yeşilirmak) Alt Havzası Entegre Su Kalitesi Yönetimi Acil Önlemler Eylem Planı ele alınmış ve ayrı bir rapor halinde hazırlanmıştır.

Biosfer Danışmanlık ve Mühendislik Ltd., bu projede, anaerobik biyoteknoloji ve uygulamaları alanında uluslararası düzeyde bilimsel araştırma ve uygulama deneyimine sahip İTÜ Çevre Müh. Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK'ten İTÜ Döner Sermaye Yönetmeliği uyarınca uzman mühendislik özel desteği almıştır.

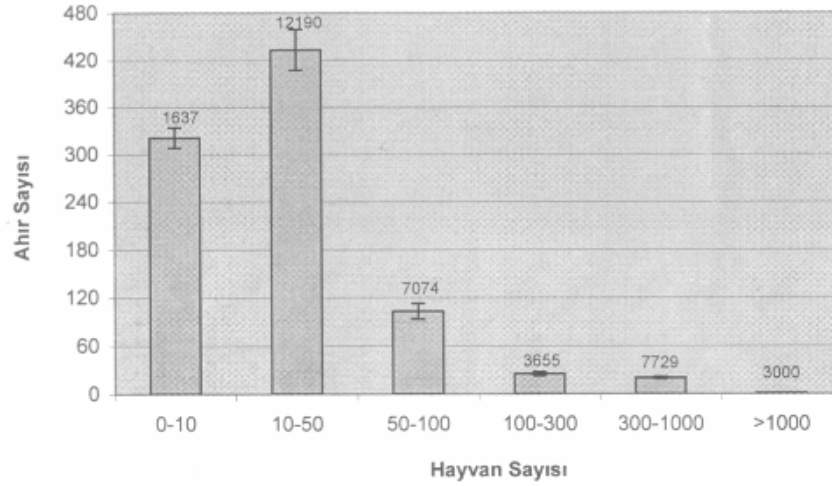
2. SULUOVA (AMASYA) İLÇESİNDEKİ BÜYÜKBAŞ HAYVAN BESİCİLİĞİNİN DURUMU

Suluova 1902 yılında nahiye olarak kurulmuş ve 1957 yılında ilçe olmuştur. Proje yerinin Türkiye İller ve Amasya İlçeler haritalarının üzerindeki konumu Şekil 2.1’de gösterilmektedir. İlçenin 2007 nüfusu 47.428 olup, nüfusun %78,5’i ilçe merkezinde, %21,5’i ise köylerde yaşamaktadır. Daha önce (1950 öncesi) büyük kısmı bataklıklarla kaplı durumdaki yüksek taban suyu ve tuzluluk sorunu bulunan tarım arazileri, özellikle kamu kuruluşlarınca yürütülen drenaj çalışmaları sonrası bugünkü verimli araziler haline getirilmiştir. Modern tarım alet ve makinelerinin kullanımı, kimyevi gübre ve yeni tarım tekniklerinin çiftçilere öğretilmesi ile sulu tarım imkânı dolayısıyla tarımsal üretim verimi büyük oranda artmıştır. İlçede yaklaşık 274.000 dekar tarım arazisi mevcut olup bunun yaklaşık %60’ında sulu tarım yapılmaktadır. (AÇDR, 2007)



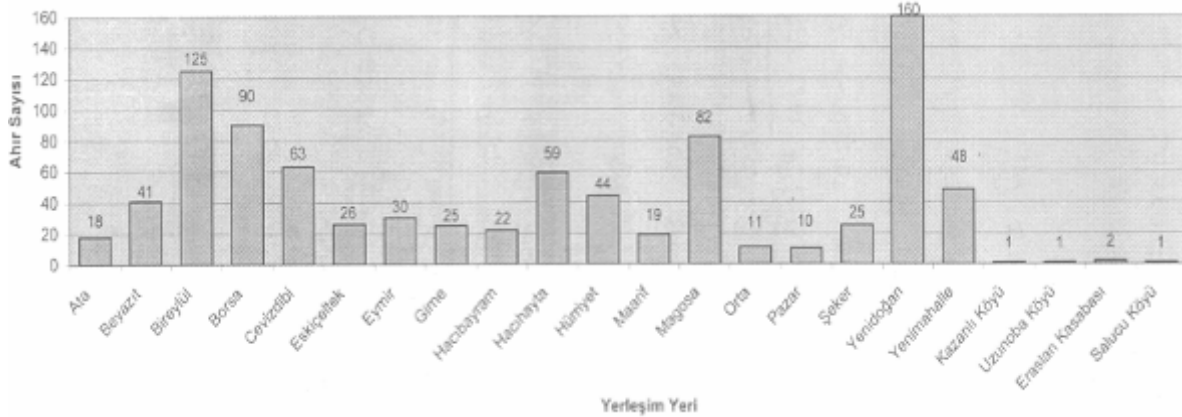
Şekil 2.1 Proje yerinin harita üzerinde gösterimi

Şeker Fabrikası yan ürünleri olan küspe ve melasın yem fabrikalarınca işlenerek hayvan yemi üretimi ve kaba yem ekiminin de giderek yaygınlaşması sonucu Suluova’da büyükbaş hayvan yetiştiriciliği (besicilik) büyük gelişme göstermiştir. Suluova İlçe Tarım Müdürlüğü kayıtlarına göre ilçede halen 903 ahırda yaklaşık 35.000 adet büyükbaş hayvan beslenmektedir (Ek I). Bu ahırların ortalama doluluk oranı %65 olup toplam kapasite yaklaşık 57.000 büyükbaş hayvandır (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Suluova'daki büyükbaş hayvan ahırlarının kapasite-sayı histogramı

Suluova'daki büyükbaş hayvan sayısı-ahır dağılımı Şekil 2.2’de, ahır ve hayvan sayılarının mahallelere göre dağılımları da Şekil 2.3’te verilmiştir. Şekil 2.2’den görüldüğü üzere 433 ahırda 10-50, 321 ahırda 0-10, 103 ahırda ise 50-100 adet büyükbaş hayvan kapasitesi mevcuttur. Dolayısıyla mevcut ahırların yaklaşık %95’inde (857 ahır) 100 büyükbaş hayvandan daha az besi hayvanı bulunmaktadır. Söz konusu 857 adet ahırdaki toplam hayvan sayısı ise 20.901 olup toplam sayının % 59’udur.

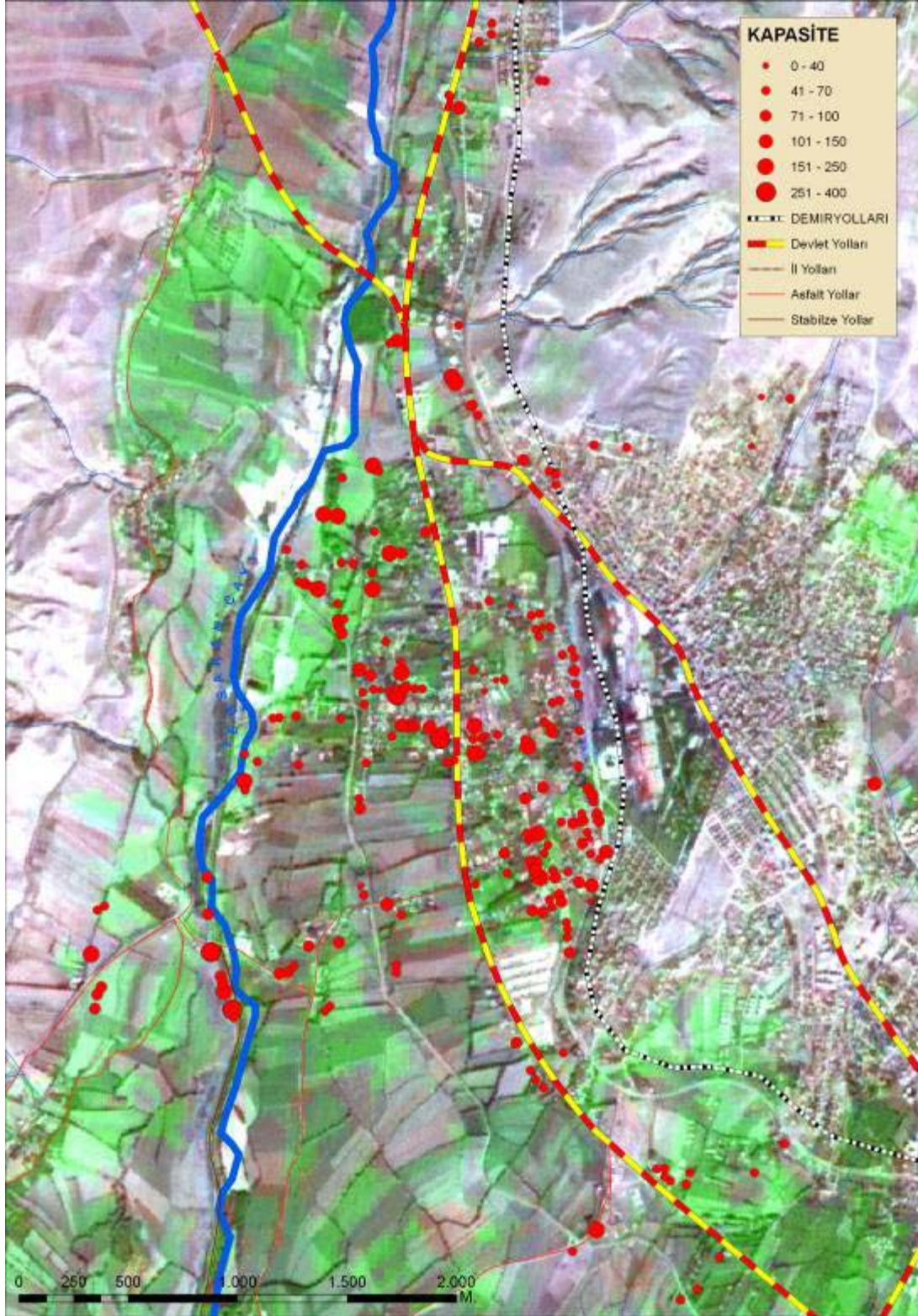


Şekil 2.3. Suluova'daki büyükbaş hayvan sayılarının mahallelere göre dağılımı

Büyükbaş hayvan sayısı 100’den fazla olan toplam 46 adet ahırdaki hayvan sayısı 14.384 olup toplam sayının yaklaşık %41’idir. Suluova’daki mevcut hayvan sayısının yaklaşık 1/3’ü 10-50 büyükbaş hayvan kapasiteli ahırlarda bulunmaktadır.

Ahır ve hayvan sayılarının mahallelere göre dağılımına bakıldığında ise (Şekil 2.3), 40’tan fazla ahır bulunduran mahalleler Yenidoğan (160), Bireylül (125), Borsa (90), Magosa (82), Cevizdibi (63), Hacıhayta (59), Yenimahalle (48), Hürriyet (44)ve Beyazıt (41), 1000’den fazla büyükbaş hayvan barındıran mahalleler de Yenidoğan (10.341), Magosa (3.571),

Bireylül (3.321), Borsa (3.144), Hacıhayta (2.487), Salucu Köyü (3.000), Eymir (1.617) ve Hürriyet (1.461) tarzında bir sıralama ortaya çıkmaktadır. Bu dağılımda 160 ahır ve 10.341 adet büyükbaş hayvan mevcudu ile Yenimahalle dikkat çekmektedir. Ahırların mevcut yerlerinde muhafazası durumunda yaklaşık 15.000 büyükbaş hayvan atığı arıtma kapasiteli bir merkezi biyometan tesisinin Yenidoğan'a yakın bir yerde kurulması düşünülebilir. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4. Suluova'daki büyükbaş hayvan işletmelerinin mekansal dağılımı

SULUOVA BELEDİYESİ SINIRLARINA AIT HARİTA

0000 BELEDİYE SINIRI
 0000 MÜCAVİR ALAN SINIRI
 DEVLET DEMİR YOLLARI
 TOPTAN TİCARET ALANLARI
 SANAYİ BÖLGESİ
 YEŞİL ALANLAR
 BÜYÜK SPOR ALANI
 ASKERİ ALANLAR
 SAĞLIK TESİSLERİ
 EĞİTİM SİTELERİ
 BİRİNCİ DERECE YOLLAR
 İKİNCİ DERECE YOLLAR
 TERMINAL

1:25000

Besi O.S.B.

5

Yenidoğan Merkezi Biyometan Tesisi (YD MBT)

Büyükbaş hayvan atığı verecek mahalleler/ ahırlar	Büyükbaş hayvan kapasitesi (adet)
Yenidoğan Mahallesi	10.341
Eymir Mahallesi	1.617
Yakındaki diğer küçük ahırlar	3.041
Toplam	15.000

Besi Organize Sanayi Bölgesi Merkezi Biyometan Tesisi (OSB MBT)

Büyükbaş hayvan atığı verecek mahalleler/ ahırlar	Büyükbaş hayvan kapasitesi (adet)
Bireylül Mahallesi	3.321
Hacıhayta Mahallesi	2.487
Borsa Mahallesi	3.144
Magosa Mahallesi	3.571
Yakındaki diğer küçük ahırlar	7.477
Toplam	20.000

Bu durumda Suluova (Amasya) ilçesindeki büyükbaş hayvan atığı sorununun çevreye uyumlu ve sürdürülebilir tarzda yönetimi için biri Yenidoğan Mahallesi yakınında (15.000 büyükbaş hayvan atığı arıtma kapasiteli), diğeri ise Besi Organize Sanayi Bölgesi'nde (20.000 büyükbaş hayvan atığı arıtma kapasiteli) 2 adet merkezi biyometan tesisi kurulması mümkündür. Ancak Yenidoğan'ın yerleşim alanlarına yakınlığı ve iki ayrı tesisin muhtemel işletme sorunları dolayısıyla, Suluova Belediyesi ve Suluova Besiciler Birliği (SBB) bu seçeneğe sıcak bakmamaktadır.

Suluova büyükbaş hayvan atıklarının yönetimi için diğeri bir seçenek de atıkların tamamen Besi Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulacak 35.000 büyükbaş hayvan atığı arıtma kapasiteli tek bir merkezi biyometan tesisinde arıtılmasıdır. Bu durumda asgari 10.000–15.000 büyükbaş hayvan Besi Organize Sanayi Bölgesi'nde, kalan 20.000–25.000 büyükbaş hayvan ise diğeri yerlerdeki ahırlarda beslenecek ve atıkları tankerlerle Besi Organize Sanayi Bölgesi'ndeki merkezi biyometan tesisine taşınacaktır. Besi Organize Sanayi Bölgesi'ne öncelikle yukarıda işaret edilen 2 mahalle ile ilçe içersinde dağınık vaziyette yer alan ve koku, sinek vb. sorununa yol açan ahırların taşınması sağlanacaktır. Belediye yetkilileri, kent içindeki bütün ahırların Besi OSB'ye taşınmasını istemektedir. Ancak hangi ahırların öncelikle taşınacağı ve taşınma takvimi Belediye, Besiciler Birliği, Besi OSB ve İl Çevre ve Orman Müdürlüğü'nce koordineli olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bu bakımdan Besi Organize Sanayi Bölgesi'nde yaklaşık 15.000 büyükbaş hayvan beslenebilecek bir kapasitede (mevcut kapasitenin %50 fazlası) oluşturulmasında fayda görülmektedir. Besi Organize Sanayi Bölgesi'nde kurulacak tek bir biyometan tesisi yatırım, işletme ve bakım giderlerinin en aza indirilmesi ile yönetim kolaylığı bakımından daha uygun olacaktır. Biyometan tesisi için gerekli arazi ihtiyacı takriben aşağıdaki gibi olacaktır:

- 1 x 10.000 büyükbaş hayvan kapasitesi için: 17.000 m²
- 1 x 15.000 büyükbaş hayvan kapasitesi için: 25.000 m²
- 2 x 10.000 büyükbaş hayvan kapasitesi için: 33.000 m²
- 2 x 10.000 + 1 x 5.000 büyükbaş hayvan kapasitesi için: 41.000 m²

Besi Organize Sanayi Bölgesi'nde tek bir biyometan tesisi kurulması halinde arıtma için ayrılan 2,25 hektar alanın yaklaşık 2 katına (4,5 hektar) çıkarılması gerekecektir. Besi OSB yetkilileri ile yapılan görüşmelerde, söz konusu alan arttırımının mümkün olduğu sözlü olarak ifade edilmiştir.

Suluova Besi Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Sahasının Yeri:

Mevzi imar plan çalışması tamamlanan Besi Organize Sanayi Bölgesi, 181 ada 7 no'lu parsel ve Suluova Çardaklı Merası mevkiinde yer almakta olup alanı 90 hektardır. İlçe Merkezine yaklaşık 3 km mesafede olan Amasya-Suluova karayolunun yaklaşık 500 m batısındadır. Ana ulaşım bağlantısının yapıldığı Suluova-Eraslan Köyü yoluna uzaklığı yaklaşık 350 m'dir. (Ek II)

Yer Seçimi Raporu Görüşleri:

Alanın mülkiyeti hazine adına kayıtlı iken Besi Organize Sanayi Bölgesi'ne devredilmiştir. Eğimi %1-2 arasında değişen ve 1. sınıf tarım arazisi niteliğindeki bu yer 1. derece deprem kuşağı içinde yer almaktadır. Su ihtiyacının açılacak kuyularla, elektrik ihtiyacının ise Suluova mezarlık mevkiindeki mevcut kabin borularından sağlanabileceği belirtilmiştir (Çamur, 2007). Ters akan Çayı söz konusu alanın yaklaşık 3,5 km güneyinden geçmektedir. Saha taban arazisi niteliğinde olup yeraltı su seviyesi yüzeye yakındır. Yapı temellerinde drenaj yapılması gerekecektir.

Sahanın Jeolojik- Jeoteknik Özellikleri:

Alanın Jeolojik- Jeoteknik Etüt Raporu, Jeofizik Müh. Esra Yılmaz tarafından hazırlanmış ve 20.08.2004 tarihinde Amasya Bayındırlık ve İskân Müdürlüğü'nce onaylanmıştır. Bu raporda, sahanın zemin yapısı ve inşa edilecek yapıların temel tipi ile ilgili olarak;

- Arazi çoğunlukla kalın kilden oluşması ve yer altı su seviyesinin zemin seviyesinden 0,5 m veya daha yukarıda olması nedeniyle bu kotun altındaki katlar için yer altı suyu sorun olacağından binalarda bodrum yapılmaması,
- Arazi düz ve düze yakın olması nedeniyle yüzey sularının drene oluncaya kadar binalar için sorun oluşturmaması için su basman kotunun 0,5 m uygulanması,
- İnceleme alanında 2 kata (zemin+1) kadar yapılacak yapılar için temel derinliğin zemin etütlerinde belirlenmesi, ancak 2 metreden az olmaması ve statik yer altı suyu seviyesi üzerine kadar sıkıştırılarak blok-çakıl-kum dolgu yapılması, bina temelinin yer altı suyundan etkilenmemesi için bu dolgu üzerine yerleştirilmesi, yapılacak dolgunun en az dolgu kalınlığı kadar kazı alanı dışına doğru da aynı kalınlıkta yapılması,
- Söz konusu alanda 2 katı geçecek yapı düşünülürse buna uygun önlemler (uygun temel derinliğinin zemin etüdünde belirlenmesi, dolguda uygun oranda blok-çakıl-kum-çimento karışımı (beton yapılarak) kullanılması, bina temelinin yer altı suyundan etkilenmemesi için bu dolgu üzerine yerleştirilmesi, yapılacak dolgunun en az dolgu kalınlığı kadar kazı alanı dışına doğru da aynı kalınlıkta veya başka uygun önlemler alınarak yapılması,
- Bu raporda hesap edilen zemin emniyet gerilmesi $0,7 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Zeminin su içeren ve çoğunlukla kilden oluşması nedeniyle, parsel bazında yapılacak zemin etütlerinde zemin emniyet gerilmesinin $0,7 \text{ kg/cm}^2$ 'nin üzerinde tespit edilmesi halinde de yukarıda belirtilen önlemler alınarak $0,7 \text{ kg/cm}^2$ alınması,

öngörülmektedir.

Ancak merkezi biyometan tesisinin kurulacağı alanda, inşaat öncesi detaylı bir jeoteknik ve sondaj çalışması yapılarak tank temellerinin tasarlanması gerekecektir.

Planlama Kararları:

Suluova Besi Organize Sanayi Bölgesi Mevzi İmar Planı ve öngörülen arazi kullanımı sırası ile Ek III ve Tablo 2.1'de verilmiştir. Buna göre bölgede 49 adet 50 büyükbaş hayvan, 72 adet de 100 büyükbaş hayvan kapasiteli toplam 121 adet ahır parseli planlanmıştır. Bunun dışında yem ve gübre üretimiyle ilgili 6 hektarlık sanayi parseli, yaklaşık 2,25 hektar arıtma tesisi

alanı, yaklaşık 1,1 hektar idari ve sosyal tesis alanı ile yaklaşık 0,3 hektar dezenfeksiyon ve kontrol ünitesi alanı ayrılmıştır.

Tablo 2.1. Plandaki arazi kullanım türleri ve dağılımı

Kullanım türü	Alan (ha)	%
Besi Parselleri	35.23	39.11
Sanayi Alanı	6.01	6.67
İdari-Sosyal Tesis	1.14	1.27
Yeşil Alanlar	6.76	7.51
Arıtma Tesisi Alanı	2.25	2.5
Sağlık Koruma Bandı	24.55	27.25
Teknik Altyapı Alanı	0.52	0.58
Yollar- Otoparklar	13.61	15.11
TOPLAM	90.07	100.00

Daha önce belirtildiği üzere Suluova'daki yaklaşık 35.000 büyükbaş hayvanın atığını arıtacak kapasitedeki bir merkezi biyometan tesisi için asgari 4-4,5 hektarlık bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden Besi Organize Sanayi Bölgesi'ndeki mevcut 2,25 hektarlık arıtma tesisi alanının bazı sanayi parselleri alınarak 4,5 hektara çıkarılması gerekecektir.

3. BÜYÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARININ MİKTAR VE ÖZELLİKLERİ

Büyükbaş hayvan atıklarının (dışkı ve idrar) miktar ve özellikleri önemli ölçüde değişiklik gösterir. Atık miktarı ve özellikleri toplam canlı ağırlığı (TLW), hayvan türü, yaşı, yem cinsi, suyla uzaklaştırma olup olmadığı, iklim ve yönetim pratiği (açık/kapalı ahır, altlık kullanımı, temizleme şekli, vb) gibi faktörlere bağlıdır. Planlama çalışmalarında Taiganides (Taiganides,1977) tarafından önerilen Tablo 3.1’deki veriler kullanılabilir.

Tablo 3.1. Hayvan atıklarının genel özellikleri (Taiganides, 1977)

Parametre	Sembol	Birim	Besi danası	Süt ineği
Islak atık	TWW	% TLW/gün	4,6	9,4
Toplam katı	TS	% TWW	17,2	9,3
		% TLW/gün	0,7	0,89
Uçucu katı	TVS	% TS	82,8	80,3
		% TLW/gün	0,65	0,72
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı	BOI ₅	% TS	16,2	20,4
		% TVS	19,6	25,4
		%TLW/gün	0,13	0,18
KOI/BOI ₅	KOI/BOI ₅		5,7	7,2
Toplam azot	TN	% TS	7,8	4
		%TLW/gün	0,055	0,036
Fosfor	P ₂ O ₅	% TS	1,2	1,1
		%TLW/gün	0,008	0,01
Potasyum	K ₂ O	% TS	1,8	1,7
		%TLW/gün	0,013	0,015

Genç hayvanlar olgunlara göre daha fazla atık üretirler. Suyla sıyırma, ot, saman ya da talaş altlık kullanma vb. uygulamalar dolayısıyla pratikte, genelde Tablo 3.1’deki değerlerden daha fazla atık üretilir. Ortalama canlı ağırlıktaki bir hayvan başına atık üretimi için Tablo 3.2’deki değerler kullanılabilir (Polprasert, 1989).

Tablo 3.2. Ortalama canlı ağırlıkta bir hayvan başına üretilen atık miktarları

Hayvan türü	Ortalama canlı ağırlık (TLW) ⁽¹⁾ , Kg	Toplam atık, kg/hayvan/gün	BOI ₅ , kg/hayvan/gün
Besi danası	363	18-27	0,45-0,68
Süt ineği	590	44	0,91
Koyun	-	7	0,16
Hindi	6,8	0,41	0,023
At	-	37	0,36

⁽¹⁾ Dışkı ve idrar birlikte

Besi sığırlarının 1000 lb (454 kg) canlı hayvan ağırlığı (TLW) başına atık üretimleri ile ilgili olarak Jewell ve Loehr (Jewel, 1977) aşağıdaki değerleri önermektedir.

Atık üretimi	26 kg/gün
Toplam katı (TS)	3,4 kg/gün
Uçucu katı (TVS)	2,7 kg/gün
Biyolojik olarak parçalanabilir UKM	%50
Biyogaz üretimi	0,42 m ³ / kg TVS
Biyogaz üretimi	2,45 m ³ / TLW.gün

Hayvan atıklarının gübre değerleri için de, Tablo 3.1’den hareketle hesaplanan Tablo 3.3’teki veriler kullanılabilir.

Tablo 3.3. Hayvan başına elde edilebilecek gübre eşdeğeri besi maddesi (N, P, K) miktarları (g/gün) (Taiganides, 1977)

Besi maddesi	Sembolü	Süt ineği		Besi danası	
		400 kg inek	AU* başına	300 kg dana	AU* başına
Toplam azot	TN	144**	180	165	275
Fosfat	P ₂ O ₅	40	50	24	40
Potasyum	K ₂ O	60	75	39	65

*AU: Hayvan birimi, (yaklaşık 500 kg canlı ağırlık 1 AU'dır.)

** $0,036 \times 10^{-2} \times 400 = 0,144 = 144 \text{ g/gün}$

Biriktirme sırasında gübreden NH₃ formunda önemli oranda azot kaybı yaşanabilir. Gübrenin katı madde oranı % 30'dan büyük olacak şekilde derin çukur ve lagünlerde depolandığı durumlarda N kaybı % 20-55 aralığında değerler alır. Gübrenin daha sıvı (katı madde oranı %12'den az olacak şekilde) olarak depolandığı durumlarda ise söz konusu N kaybı % 25-80 aralığında değişim gösterebilir. P ve K, azota göre fiziksel ve kimyasal olarak daha az hareketli olup, nispeten ilk değerlerini muhafaza ederler.

Hayvan dışkısının idrar ile karışık vaziyetteki katı madde (TS) oranları için Tablo 3.4'teki veriler esas alınabilir (Hobson ve Robetson, 1977).

Tablo 3.4. Hayvan atıklarının katı madde oranları (%)

Hayvan türü	Canlı ağırlık (TLW), kg	Besi yemi	Katı madde (TS) oranı, %
Süt ineği	450	-	12,7
Besi hayvanı	250-400	Slaj+arpa	8,7
	400-500	Saman+arpa	12

Büyükbaş hayvanların dışkı ve idrar üretimi için canlı ağırlığın % 5-6'sına karşı gelen bir miktarın esas alınması uygulamada yaygın bir pratiktir. Bu oran koyun, keçi gibi küçükbaş hayvanlarda % 4-5, kümes hayvanlarında ise %3-4 olarak alınabilmektedir. Tablo 3.1'deki katı madde oranları özellikle dışkının suyla uzaklaştırılması durumunda %3-6 değerlerine düşebilmektedir. Hayvan atıklarının BOI₅/KOI değerleri de, Tablo 3.4'te belirtilen nitelikteki dışkı ve idrar karışımlarında, süt ineği atığı için 21.000 mg/l / 111.000 mg/l, besi sığırı atığı için ise 27.000 mg/l / 110.000 mg/l alınabilir (Hobson ve Robertson, 1977).

4. BÜYÜKBAŞ HAYVAN ATIKLARI YÖNETİMİ

4.1. İlgili Yasal Çerçeve

Atıklardan biyometan geri kazanım teknolojisinin bu alandaki AB yönetmelik ve yaklaşımları ile uyumlu olması gerekmektedir. Hayvansal atıkların da içinde yer aldığı biyolojik olarak ayrışabilir atıkların yönetimine ilişkin başlıca AB direktifleri aşağıda ana hatlarıyla kısaca özetlenmiştir.

AB Düzenli Depolama Direktif’inde (LD, 1999) biyolojik olarak ayrışabilir atıkların düzenli depolama alanlarına kalanlar ile ilgili belli kısıtlar ön görülmektedir. Buna göre ilk olarak 1995 yılı itibarıyla toplam biyolojik olarak ayrışabilir katı atık üretimleri esas alınarak, en geç 2010, 2013, ve 2020 yılları için düzenli depolama alanlarına kabul edebilecekleri biyolojik olarak ayrışabilir katı atık (kentsel katı atık, arıtma çamurları, hayvansal atıklar, v.b) miktarlarının sırası ile 1995 yılındaki değerin %75, %50, ve %35 olması gerekmektedir. Dolayısıyla organik kentsel atıkların dahi 2020 yılına kadar %90’ından fazlasının düzenli depolama alanı dışına yönlendirilmesi gerektiğinden, diğer organik atıkların düzenli depolama alanlarında bertarafı pratik olarak mümkün görülmemektedir. AB uyumu çerçevesinde, bu direktifin Türkiye’de de en geç 2023 yılına kadar uygulanması öngörülmektedir.

Hayvan atıklarından anaerobik çürütme yoluyla biyometan ve kompost geri kazanımı, bu tür atıkların düzenli depolama alanları dışına yönlendirilmesi bakımından önem taşımaktadır.

AB Hayvansal Yan Ürünler Mevzuatı’na (AbPR, 2003) göre hayvansal yan ürünlerin (mutfak atıkları da dahil) aerobik ve anaerobik biyokimyasal arıtma prosesleri uygulanarak toprak şartlandırıcı ürün (kompost) halinde geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu mevzuatın esas hedefi, söz konusu biyolojik geri dönüşüm proseslerini kullanarak hayvansal yan ürünlerden mevcut patojen mikroorganizmaların çevreye yayılmasının önlenmesidir. Anaerobik biyoteknoloji kullanılması halinde, yüksek seviyede teknolojik işletimi ile birlikte pastörizasyon (70°C’de 1 saat tutma) uygulaması öngörülmektedir.

AB Atık Azaltma ve Geri Dönüşüm Tematik Stratejisi’nde faydalı ürünlerin geri dönüştürülmesinin verimli olduğu durumlarda, daha sürdürülebilir bir atık yönetimi stratejisi bakımından geri dönüşümün teşvik edilmesi öngörülmektedir. Hayvansal atıklardan biyometan ve organik gübre (kompost) geri kazanımı söz konusu strateji ile tam uyum sağlamaktadır.

AB Yenilenebilir Enerji Yönetmeliği’ne (Energy White Paper) göre (EWP, 2006), sera gazı salınımlarının 2050 yılına kadar %60 oranında azaltılması, 2020 yılına kadar da belirgin düzeyde azaltıcı önlemlerin yetiştirilmesi öngörülmektedir. Hayvansal atıklardan biyometan ve organik gübre geri kazanımı sera gazı emisyonu azaltımında iki kademeli (atık kaynaklı metandan enerji üretimi ve organik gübre geri kazanımı) olarak rol oynamaktadır.

Türkiye’de suyla kürenerek sonrasında fizikokimyasal ve/veya biyolojik proseslerle arıtılıp alıcı ortamlara deşarj edilen çiftlik atıkları ile ilgili alıcı ortama deşarj limitleri Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 5.15’de verilmektedir. İlgili deşarj limitlerine göre, 24 saatlik ortalama olarak $KOİ \leq 400$ mg/Lt, $AKM \leq 150$ mg/Lt, $NH_4-N \leq 15$ mg/Lt, $PO_4-P \leq 2$ mg/Lt ve pH=6–9 olması gerekmektedir. Bu limitlere ulaşılabilmesi için, Biyolojik Azot ve Fosfor giderimli Membran Biyoreaktör’de arıtma sonrası Nanofiltrasyon gibi pahalı ileri arıtma teknolojilerinin kullanımı gerekmektedir. Dolayısıyla hayvansal atıkların yönetiminde aerobik

veya anaerobik kompostlaştırma yoluyla biyogübre ve yenilenebilir enerji geri kazanımı daha sürdürülebilir bir seçenek olarak düşünülmelidir.

4.2. Büyükbaş Hayvan Atıkları İçin Anaerobik Arıtma ve Biyometan Geri Kazanım Seçenekleri

Reaktör Tipleri:

Anaerobik arıtma, organik karbonun çeşitli indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonları ile karbondioksit ve metana dönüştüğü bir prosestir. Çok sayıda mikroorganizma kolektif bir şekilde bu reaksiyonları katalizler. Bozunma sonucu karbondioksit ve metana ilave olarak, az miktarda elementel azot, hidrojen, amonyak ve hidrojen sülfür oluşur. Bu gazın karışımına biyogaz denir. Biyogazın ısı değeri doğalgazdan daha düşüktür ve bazı özel uygulamalar için kalitesinin iyileştirilmesi gerekir. Tablo 4.1’de biyogazın doğalgaz ile karşılaştırmalı olarak ısı değerleri verilmiştir (Türker, 2008).

Tablo 4.1. Biyogaz ve doğalgazın standart koşullarda (0°C ve 1 atm) ısı değeri

	Biyogaz (% 65 metan)	Biyogaz (% 55 metan)	Doğalgaz
Üst ısı değeri (kWh/m ³)	7,1	6	12
Alt ısı değeri (kWh/m ³)	6,5	5,5	10,8

Anaerobik arıtma (Biyogaz) prosesi dünyanın pek çok yerinde bilinmekte ve kullanılmaktadır. Petrol fiyatlarının artması biyogaz prosesine olan ilgiyi arttırmıştır. İlginin artmasının sebebi sadece artan petrol fiyatları değil, anaerobik çürütmenin çevre açısından getirdiği faydalardır. Ayrıca biyogaz prosesi atmosfere net olarak karbondioksit vermediğinden küresel ısınmaya fosil yakıtlar gibi olumsuz yönde katkıda bulunmaz.

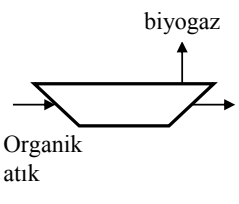
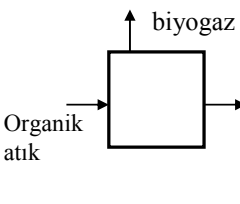
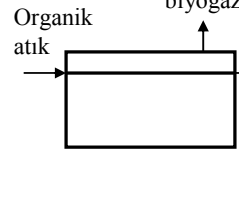
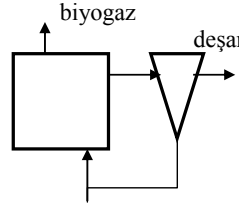
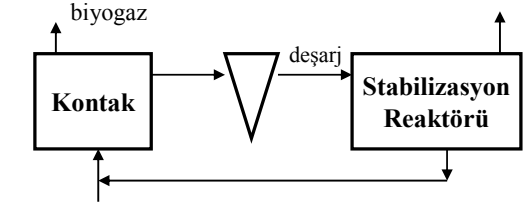
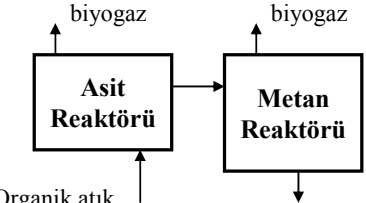
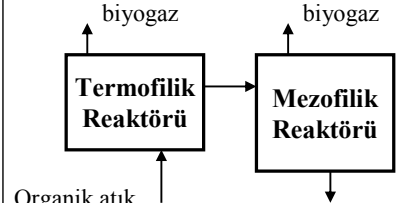
4.2.1. Reaktör (Çürütücü) Tipleri ve Tasarım Kriterleri

Hayvan atığı (gübre) ve tarımsal atıkların çürütüldüğü prosesler düşük ve yüksek hızlı sistemler olarak ikiye ayrılırlar. Düşük hızlı prosesler, anaerobik lagünler (Şekil 4.1 a), mezofilik tam karıştırmalı çürütücüler (Şekil 4.1 b) ve piston akımlı çürütücülerdir (Şekil 4.1 c) (Türker, 2008).

Anaerobik lagünler, üzeri örtülmüş havuzlardır. Hayvan atığı ve diğer atıklar lagüne bir uçtan girer ve diğer uçtan sistemi terk eder. Genellikle düşük sıcaklıkta (psychrophilic) işletilirler ve performansları mevsimsel sıcaklık değişimlerinden çok etkilenir.

Tam karıştırmalı çürütücüler sadece tarımsal atıklar ve hayvan atığı için değil endüstriyel atıksuların arıtılmasında da çok yaygın olarak kullanılan reaktörlerdendir. Genellikle mezofilik sıcaklık aralığında işletilirler.

Piston akışlı çürütücüler anaerobik çürütücülerin en basitlerindendir. Genellikle konsantre atıklar için kullanılırlar. Atıklar reaktörün bir ucundan girer ve diğer ucundan terk eder. Aktif biyokütle kaybettiği için arıtılan atığın bir kısmı çıkıştan geri döndürülür.

			
Düşük Hızlı Çürütücüler	Anaerobik Lagün (AL)	Tam Karıştırmalı Reaktör (CSTR)	Piston Akışlı Çürütücü
			
Yüksek Hızlı Çürütücüler	Kontak (Temas) Prosesi	Kontak (Temas) Stabilizasyonlu Çürütücü	
			
Yüksek Hızlı Çürütücüler	Asit Fazlı Çürütücüler	Sıcaklık Fazlı Çürütücüler	

Şekil 4.1. Organik atıkların biyogaza dönüşmesi için kullanılan çürütücüler

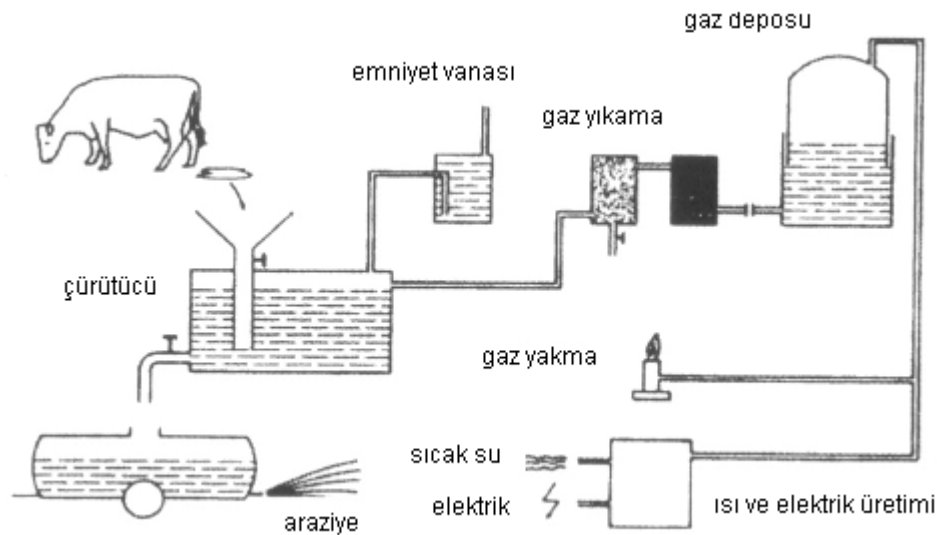
Kontak reaktörü (Şekil 4.1 d) yüksek hızlı bir prosestir. Tam karıştırmalı reaktörün çıkışına biyokütleyi çöktürüp ayıran bir separator (çökeltme havuzu) yerleştirilerek aktif biyokütlenin reaktöre geri döndürülmesi ve atık-biyokütle temasının artırılması hedeflenir. Düşük ve yüksek sıcaklık bölgelerinde çalıştırılabilir. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında da yaygın olarak kullanılan bir prosestir. Sadece sürekli reaktör olarak değil, ardışık kesikli reaktör olarak da işletilebilir. Bu reaktörler genellikle iki veya daha fazla tanktan oluşur ve doldur-boşalt ilkesine göre çalışırlar. Kontak stabilizasyon reaktörü (Şekil 4.1 e), kontak reaktörünün başka bir versiyonudur. Hızlı parçalanabilen organik maddeler kontak reaktörde çürütülür. Birinci reaktörde oluşan bakterinin fazlası ve yavaş parçalanabilen organik maddeler ikinci reaktörde (stabilizasyon reaktörü) çürütülerek biyogaza dönüştürülür.

(İki fazlı asit (Şekil 4.1 f) veya sıcaklık fazlı (Şekil 4.1 g)) çürütücüler genellikle atıksu arıtma tesisi çamurlarının çürütülmesinde ve biyogaza dönüştürülmesinde kullanılmaktadır. Asit oluşturan bakterilerin üreme hızlarının yüksek olmasından dolayı birinci reaktörün hacmi metan reaktörünün hacminden daha küçüktür. Bu tür çürütme, hayvan atığı ve tarımsal atıklar için fazla kullanılmamaktadır. Sıcaklık fazlı çürütmede ise birinci çürütücü termofilik sıcaklıkta çalıştırılır ve patojenler yok edilir ve polimerlerin hidrolizi sağlanır. İkinci çürütücü mezofilik sıcaklıkta çalışır ve termofilik reaktörde üretilen organik asitler metana dönüştürülür. Bu tür çürütücüler hayvan atığının biyogaza dönüşmesinde kullanılmaktadır.

Reaktör Tasarım Kriterleri:

Günümüzde kullanılan modern çiftlik tipi biyogaz tesisleri, Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, dört ana ekipmandan oluşur (Wellinger, 1999).

- Anaerobik çürütücü, besleme tankı, sanitasyon (pastörizasyon) birimi,
- Emniyet ve gaz yıkama birimi,
- Gaz depolama,
- Gaz ve çıkan gübrenin kullanım birimleri.



Şekil 4.2. Biyogaz tesisinin temel elemanları (Wellinger, 1999)

Bu tesisin kalbi çürütücüdür. Değişik çürütücü tipleri geliştirilmiştir. Büyük çürütücülerde değişik derinliklerde iki veya üç karıştırıcı kullanılabilir. Karıştırıcı seçilirken çökelmenin engellenmesi ve tam karıştırılma için gerekli güç ihtiyacı dikkate alınmalıdır. Biyogaz tesislerini boyutlandırırken esas alınacak en önemli iki parametreden biri hidrolik alıkonma (bekletme) süresidir (HRT) ve şöyle tanımlanır:

$$\theta_h(\text{gün}) = \frac{\text{sıvı hacmi}, V}{\text{günlük debi}, Q} = \frac{m^3}{m^3 / \text{gün}}$$

Minimum bekleme süresi, atığın türüne ve çürütücü sıcaklığına bağlıdır. Tarımsal atıkların anaerobik çürütülmesinde hızı kısıtlayan adım hidrolizdir. Farklı kökenli atıkların hidroliz hızları farklıdır. Hidroliz hızı aynı zamanda sıcaklığa bağlıdır ve sıcaklık arttıkça hidroliz hızı da arttığından minimum bekleme süresi kısalmaktadır. Mezofilik çürütme için aşağıdaki ortalama bekleme süreleri esas alınabilir (Wellinger, 1999).

Büyükbaş (inek) hayvan atığı	: 12 - 18 gün
Büyükbaş (inek) hayvan atığı ve saman	: 18 – 36 gün
Domuz atığı	: 10 – 15 gün

Tasarımdaki en önemli ikinci parametre olan organik yük (L_v) birim çürütücü hacmine günde beslenebilen organik madde miktarını gösterir.

$$L_v = \frac{Q^* C_{UKM}}{V} = \frac{C_{UKM}}{\theta_h} \left(\frac{kg}{m^3 \text{gün}} \right)$$

Mezofilik reaktörler için optimum L_v ;

Büyükbaş (inek) hayvan atığı : 2,5 – 3,5 kgUKM /m³gün
Büyükbaş (inek) hayvan atığı ve saman : 5 – 7 kgUKM / m³gün
Domuz atığı : 3 – 3,5 kgUKM /m³gün

İkincil substratların miktarı artarsa L_v 'yi azaltmak tavsiye edilmektedir. Anaerobik çürütücülerde proses kontrolü ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Çürütücüler genellikle emniyetli tasarlandığı için aşırı besleme söz konusu değildir. En önemli proses izleme parametresi biyogaz üretimidir. Reaktör sıvı ortamının kuvvetli tampon özelliğinden dolayı pH iyi bir gösterge değildir. Zaman zaman CO₂ içeriği de prosesin gidişini görmek için kullanılabilir.

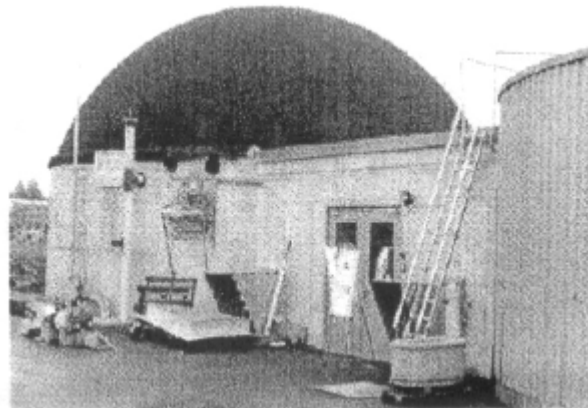
Hayvan atığı ve evsel organik katı atıklarla beslenen anaerobik çürütücülerde, biyogazdaki H₂S oranı % 0,2-0,6 (2000 - 6000 ppm) arasındadır. Biyogazın, enerji üretmek amacıyla gaz motorlarında kullanılabilmesi için H₂S oranının 200 ppm'in altına inmesi istenmektedir.

Biyogaz tesisleri tasarlanırken öncelikle arıtılacak atık miktarı (debi) ve % kuru katı madde oranı (TK) bilinmelidir. Atığın kuru katı madde oranı reaktör tipinin seçiminde kritik önem taşır.

Reaktör Tipi	% TK
Piston akımlı reaktör	> % 12
Tam karıştırmalı reaktör	% 3 – 12
Üzeri örtülü lagünler	< % 3

4.2.2. Dünyadaki Durum ve Eğilim

Gelişmiş ülkelerde çiftlik tipi anaerobik çürütücüler daha büyüktür ve üretilen biyogaz, ısı ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bu tip reaktörler genelde tam karıştırmalı olarak tasarlanır ve uzun bekletme sürelerinde çalışırlar. Almanya'da 200'den fazla, Avusturya'da yaklaşık 120, İsviçre'de 69 çiftlik tipi biyogaz tesisi mevcuttur. Amerika Birleşik Devletleri'nde 100 civarında çiftlik tipi anaerobik çürütücü mevcuttur ve Avrupa'da olduğu kadar yaygın değildir. Bu tesislerin % 57'si piston akışlı çürütücü, % 29'u tam karıştırmalı ve %8'i üzeri kapalı lagün şeklindedir (Tikalsky ve Mullins, 2007). Avrupa'da genellikle iki tip tasarım hakimdir: çatısı kauçuk olanlar (Şekil 4.3) ile beton veya çelik olanlar. Her iki tip de silindriktir ve yükseklik/çap oranı 1:3 – 1:4 civarındadır ve zaman zaman karıştırılır. Atığın reaktörde hidrolik bekleme süreleri özellikle enerji bitkileri, ikincil substrat veya doğrudan enerji kaynağı olarak kullanıldığı zaman gereklidir.



Şekil 4.3. Avusturya Voralberg'te tepesi kauçuk membranla kaplı çiftlik tipi biyogaz tesisi

Çürütücülerin boyutları gittikçe artmaktadır. Örneğin Almanya’da ortalama kurulu elektrik kapasitesi 1999’da 50 kW iken, 2002’de 330 kW’a çıkmıştır. Çiftlik tipi tesislerden elektrik üretimini boyutlandırırken bir kW için 5 – 8 inek/sığır rakamı kullanılabilir (Bilek, 2005). Hayvan atıkları bir tankta toplanır ve ikincil substratlar ilave edilir. Sistemde parçalayıcı varsa katı substratlar da ilave edilebilir. Ancak yeni tesislerde katı substratlar, vidalı iletiler kullanılarak doğrudan reaktöre ilave edilmektedir.

Tablo 4.2’de kapasitelerine göre kentsel katı atıkların organik kısmının arıtıldığı anaerobik çürütücülerin yatırım ve işletme maliyetleri geniş bir aralıkta salınmaktadır. Bu farklar, kullanılan farklı proseslere bağlanabilir. Ancak tesisin kapasitesi arttıkça yatırım ve işletme maliyetleri düşmektedir. Bu analizin yapıldığı yıllarda (1995), büyük tesis yıllık 20.000–30.000 ton arasında atık işleyen tesis olmasına karşın, bugün pek çok ülkede yıllık 70.000–100.000 ton atık işleyen tesisler inşa edilmektedir.

Tablo 4.2. Anaerobik çürütücülerin yatırım ve işletme maliyetleri (Nichols, 2004)

Tesis boyutu	Yatırım maliyeti (\$/ ton kapasite yıl)		İşletme maliyeti (\$/ ton kapasite yıl)	
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
Küçük*	450 – 950	625	90 - 135	110
Orta	325 – 625	505	75 - 125	90
Büyük	248 -550	400	50 - 100	70

*Küçük tesis yıllık kapasitesi 5000- 6000 ton, orta boy tesis yıllık kapasitesi 10000- 15000 ton, büyük tesis ise yıllık kapasitesi 20000- 30000 ton olan tesistir.

Danimarka şartlarında işletilen tesis 300 m³/gün büyükbaş hayvan atığı arıtma kapasiteli tipik bir merkezi biyogaz tesisinin arıtma maliyetleri ve enerji satış gelirleri Tablo 4.3’te verilmiştir (DIAFE, 1999).

Tablo 4.3. Danimarka’daki merkezi biyogaz tesisleri için arıtma maliyetleri

Maliyet / gelir bileşeni		Maliyet,DKK/m ³ atık (\$/m ³ atık)
Toplama/taşıma	İşletme	15 (2)
	Yatırım	4 (0,53)
Anaerobik arıtma	İşletme	17 (2,27)
	Yatırım	26 (3,47)
Toplam maliyet		62 (8,27)
Enerji satış geliri		51 (6,8)
Net arıtma maliyeti		11 (1,47)

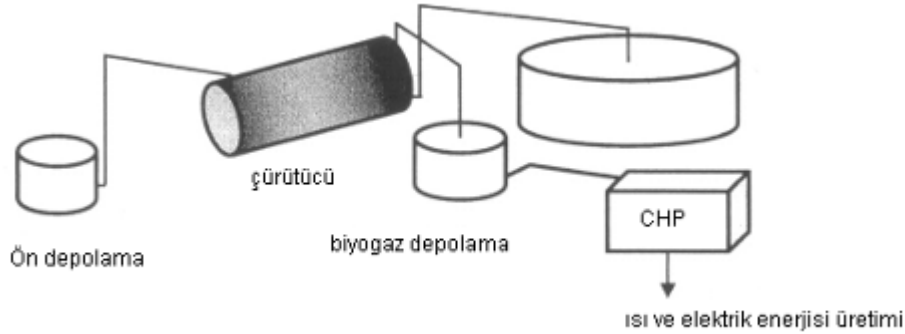
*1 \$ ~ 7,5 DKK alınmıştır.

Tablodaki hesaplamalarda % 20-40 arasındaki yatırım hibe desteği dahil edilmemiştir. Hesaplarda ortalama biyogaz verimi 30 m³/ m³ atık ve biyogazın enerji değeri 1,7 DKK (0,22 \$)/ m³ alınmıştır. Biyogaz tesisi birimlerinde ekonomik ömür 14- 20 yıl, tankerlerde ise 7- 15 yıl ve % 5’lik kredi faiz oranı esas alınmıştır. Tablodan görüldüğü üzere tesisin açığı 1,47 \$/ m³ atık (toplam maliyetin %20’si)tır. Dolayısıyla merkezi biyogaz tesislerinin karlı olabilmesi için yatırım hibesi ve/veya yenilenebilir enerji teşviği gibi ekonomik araçlarla desteklenmesi gerekmektedir. Son yıllarda enerji ve malzeme (çelik, membran, vs) fiyatlarındaki büyük artışlar dolayısıyla yukarıdaki değerlerde önemli oranlarda artışlar olduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla ekonomik analizlerin her proje özelinde ayrıca yapılması gerekir.

4.2.3. Danimarka Çiftlik Tipi ve Merkezi Biyogaz Tesisleri

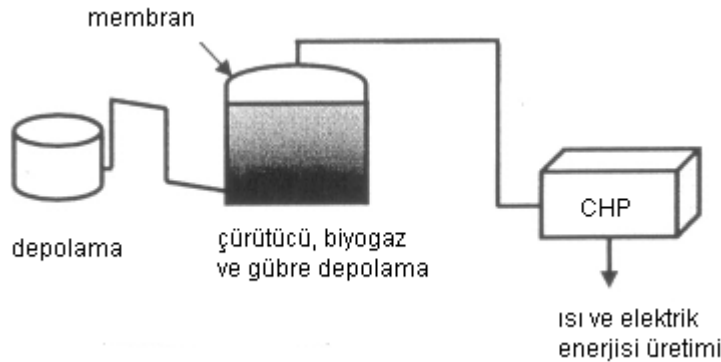
Atıktan biyogaz üretimini başarıyla gerçekleştiren ülkelerin başında Danimarka gelmektedir. Danimarka’da 2003 yılı itibariyle 45 çiftlik tipi biyogaz tesisi mevcuttur. Biyogaz tesislerinin çoğunda hayvan atığı ile gıda endüstrisinden gelen organik atıklar beraber biyogaza dönüştürülmektedir. Çiftlik tipi biyogaz tesislerinden 1999’da 0,07 PJ, 2000’de 0,129 PJ, 2001’de 0,179 PJ ve 2002’de 0,38 PJ biyogaz üretilmiştir (Türker, 2008). Şimdiye kadar

Danimarka’da üç tip biyogaz tesisi tasarlanmış ve işletilmiştir. Bunlardan birincisi “Black Smith” tipidir ve temel elemanları Şekil 4.4’te gösterilmiştir: yatay ve paslanmaz çelikten yapılmış, 150 – 200 m³ hacminde yavaşça dönen bir pedallı karıştırıcı ile karıştırılan çürütücü (reaktör), işlenmemiş ve işlenmiş atığın depolandığı tanklar, biyogaz depolama tankı, ısı ve güç üretim santrali (CHP). Bu tesisler hayvan atığı ile balık yağı atığını birlikte kullanıp biyogaza dönüştürmektedir. Mezofilik ya da yarı termofilik (35 – 48°C) sıcaklık bölgelerinde çalışırlar ve hidrolik bekletme süreleri 15 – 20 gündür. Gaz verimleri çürütülen atığın m³’ü başına 40 – 50 m³ civarındadır. Benzer tipte kurulan daha büyük tesisler 800 – 1000 m³ hacminde dikey paslanmaz çelik çürütücülerden oluşur ve yavaşça dönen karıştırıcılarla donatılmıştır.



Şekil 4.4. Black Smith biyogaz tesisi

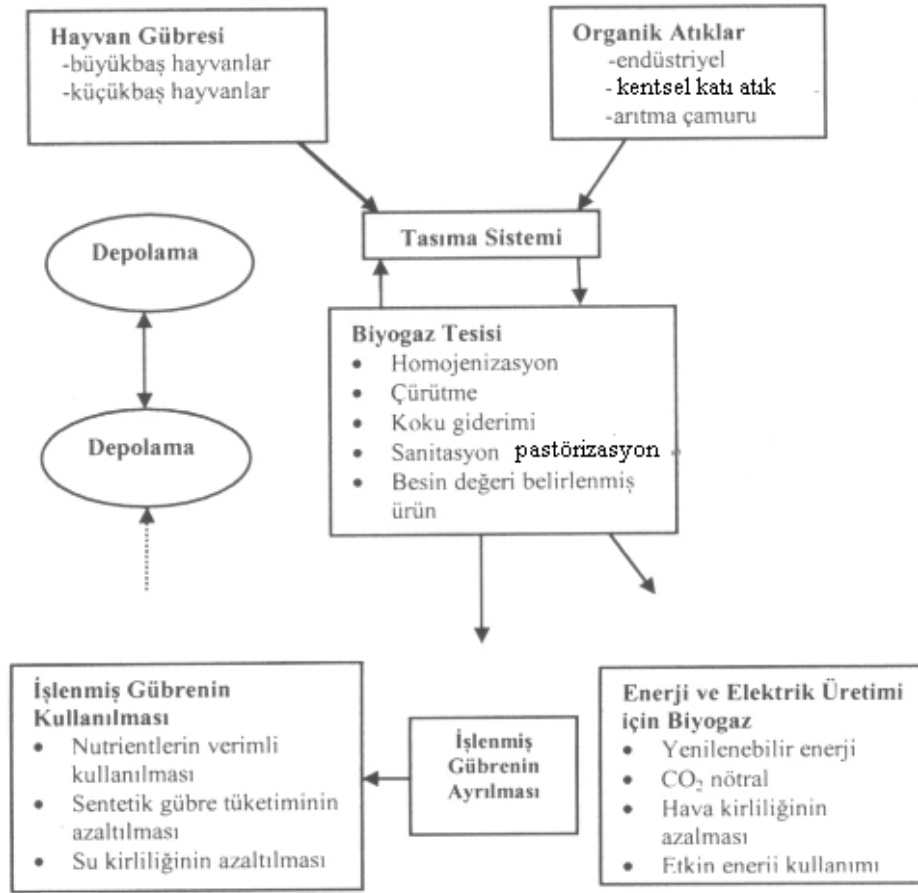
İkinci tip biyogaz tesisi Şekil 4.5’te gösterilen membran çatılı “Soft Top” tipi biyogaz tesisidir. Burada işlenmiş atık depolama ve çürütücü aynı reaktördür ve reaktörün tepesi gaz toplamak için sızdırmaz yumuşak bir membran ile kaplıdır. Membran bir halka yardımıyla tepede yüzer ve biyogaz ile dolduğunda şişer. Proses sıcaklığı 22-25°C ve bekletme süresi 50 günden fazladır.



Şekil 4.5. Membran çatılı (soft top) biyogaz tesisinin elemanları

Üçüncü tip biyogaz tesisi membran örtülü “Soft Cover” olarak adlandırılır ve tesisin elemanları Şekil 4.5’te gösterilen “Soft Top” ile aynıdır. Fakat çürütücünün tepesindeki membran, çürütücünün kenarlarına sabitlenmiştir.

Tarımsal atıkların anaerobik çürütülmesi konusundaki teknolojik gelişmeler merkezi biyogaz tesisleri kavramını ortaya çıkarmıştır. Burada pek çok çiftliğin atıkları merkezi bir tesiste toplanır ve endüstriyel ve evsel organik atıklarla karıştırılarak Şekil 4.6’da görüldüğü gibi biyogaz üretiminde kullanılır. Merkezi biyogaz tesisleri kavramı ilk önce Danimarka’da denenmiştir. Danimarka’da hayvan atığının içine %10-30 civarında evsel ve endüstriyel organik atıklar karıştırılmıştır. Bugün Danimarka’da 22 merkezi tesis ve çok sayıda çiftlik tipi biyogaz tesisi bulunmaktadır (Angelidaki ve Ellegard, 2003).



Şekil 4.6. Merkezi biyogaz tesisleri kavramı

Tesisler 1.000-8.500 m³ hacminde ve 1.000-15.000 m³/gün biyogaz üretecek kapasitedir. Tesisler başlangıçta mezofilik olarak tasarlanmış olup hidrolik bekleme süreleri 20-25 gündür. Daha sonra termofilik sıcaklıkların özellikle organik maddenin hidrolizine ve bekleme süresinin azaltılarak kapasite artırımına katkıda bulunduğu anlaşıncı, devrede olan 22 tesisin 11 tanesi termofilik sıcaklık bölgesinde çalıştırılmaya başlanmıştır (Angelidaki ve Eleegard, 2003). Reaktörlerde oluşan H₂S'i uzaklaştırmak için ucuz bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem biyogazın içine atmosferik havanın ilave edilmesine ve sülfidın sülfata yükseltgenmesine dayanır. Çünkü biyogazın gaz motorlarında elektrik üretiminde kullanılması için başta H₂S olmak üzere içindeki safsızlıkların giderilmesi gerekir

Danimarka'da 2002 yılında 3,35 PJ biyogaz üretilmiştir. Bunun çoğu Tablo 4.4'te görüldüğü üzere, hayvan atığına dayalı biyogaz tesislerinden atıksu arıtma tesislerindeki çamur çürütme tesislerinden ve katı atık depolama alanlarından gelmektedir. Danimarka'nın kuramsal biyogaz potansiyeli 37 PJ olarak tahmin edilmekte ve bunun 26 PJ'lünü (%70) hayvan atığı oluşturmaktadır.

Tablo 4.4. Danimarka'da 2002 yılında biyogaz tesisleri ve biyogaz üretimi (Holm-Nielsen ve Al Seadi, 2006)

Biyogaz tesisi	Tesis sayısı	Biyogaz üretimi 2002 (PJ)
Atıksu arıtma tesisleri	64	0,875
Katı atık depolama tesisleri	26	0,604
Endüstriyel arıtma tesisleri	5	0,15

Hayvan atığına dayalı tesisler	Merkezi tesisler	20	1,342
	Çiftlik tipi tekil tesisler	45	0,38
Toplam		160	3,351

1 PJ= 1 Peta Joule = 10^{15} Joule

Bu tip tesisler bugün pek çok Avrupa ülkesinde ABD’de ve Asya’da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hayvan atığından biyogaz elde etmenin verimi düşük olduğundan, ikincil substratlar ilave edilerek metan üretim potansiyeli arttırılmış ve proses daha ekonomik hale getirilmiştir. Merkezi biyogaz tesislerinin üstün yönleri;

- Optimum çürütme için iyileştirilmiş nutrient dengesi ve gübre kalitesinin iyileşmesi
- Biyogaz üretiminin tüm yıl boyunca kararlı olması ve artması,
- Enerji bitkilerinin biyogaz üretiminde kullanılabilmesi ve tarım için yeni gelir kaynağı olması

olarak özetlenebilir.

Biyogaz tesislerinden elde edilen gübre tekrar çiftliklere dağıtılarak değerlendirilmektedir. Çürütücülerden elde edilen gübre katı ve sıvı kısımdan oluşur. Katı kısım (digestate) kompost olarak da adlandırılır ve tarımda ve çiçek yetiştiriciliğinde toprağın kalitesini iyileştirmek için kullanılır. Sıvı kısım ise bitkiler için kıymetli besin maddelerini içerir ve toprağa püskürtülerek verilir. Nutrient kayıplarını en aza indirmek için Şekil 4.7’de görüldüğü gibi yeni ekipmanlar geliştirilmiştir.



Şekil 4.7. Çürütülmüş atığın nutrient kayıplarını azaltmak için toprağa uygulanması (DIAFE,1999)

Merkezi Biyometan Tesislerinde Çürütülmüş BBH Atıklarının Tarımda Kullanımı

Anaerobik arıtma uygulanmış BBH atıkları katı ve sıvı olmak üzere bir santrifüj dekantör vasıtası ile kolayca iki bileşene ayrılabilir (Nielsen, 2007).

- Sıvı kısım, çürütülmüş BBH atığının hacimce % 80–85’ini, toplam azot içeriğinin ise (hemen $\text{NH}_4\text{-N}$ formunda olmak üzere tamamı) %80’nini ihtiva eder.
- Dekantörden kek (katı) olarak, ayrılan elyafli kısım ise hacimce %15–20 olmasına mukabil toplam fosfor içeriğinin %75’ini ihtiva eder.

Burada yüksek koku ve fosfor salınımı dolayısıyla en riskli bileşen katı kısımdır. Bu yüzden katı kısmın meskun mahallelere uzak yerlerde organik gübre ve toprak şartlandırıcı veya biyoyakıt olarak kullanımı önerilir. Bu halde yakma sonucu kalan kül’den fosfor geri kazanımı uygulanabilir. Çiftlik atıklarının anaerobik arıtımı dolayısıyla, önemli miktarda yenilenebilir enerji (biyometan) geri kazanımı ile birlikte gübre yığınlarından salınan CH_4 ve

torbalara serilen ham atıklardan salınan N₂O emisyonları da önlenmiş olmaktadır. Zira CH₄ ve N₂O'nun da CO₂'e göre sırası ile 21 ve 320 kat daha tehlikeli sera gazları olduğu bilinmektedir (Nielsen, 2007).

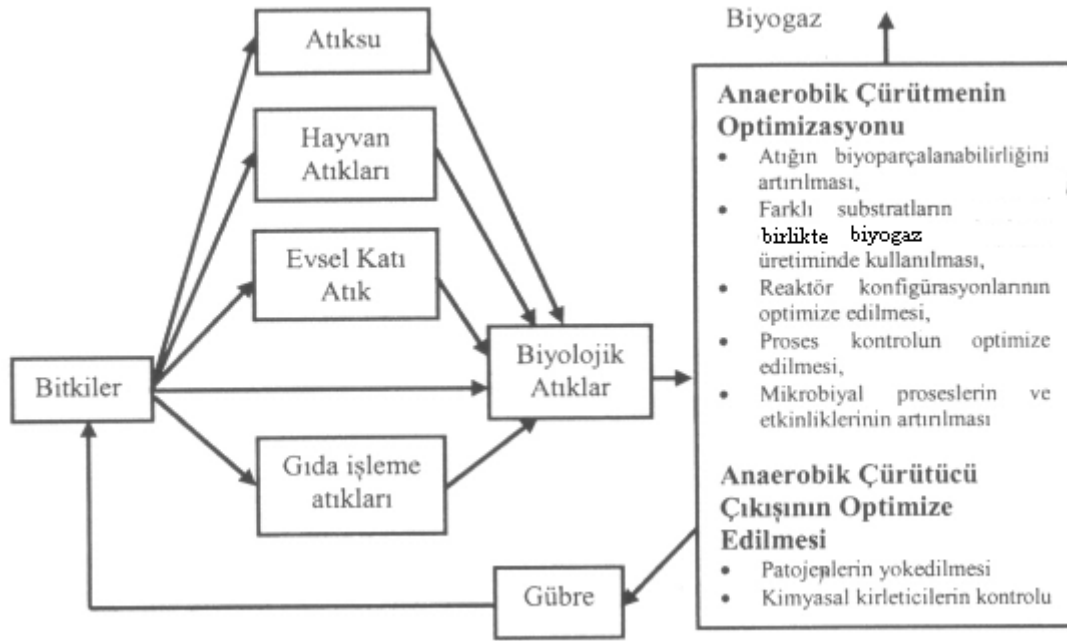
Tablo 4.5. Kombine biyogaz ve mekanik ayırım tesisi

Biyogaz Tesisi	
Dekantörle Katı Ve Sıvı Kısımlarının Ayrılması	
Katı Kısmı • Hacimce %15 – 20 • Fosfor İçeriği: %70 • Çoğunluğu Organik Azot • Koku ve Sızıntı Riski	Sıvı Kısmı • Hacimce %85 – 80 • Azot (Amonyum) İçeriği. %80 • Düşük Fosfor İçeriği • Düşük Koku ve Sızıntı Riski
Hayvan atığının kırsal kesime iletilmesi Toprak ıslahı ya da biyoyakıt olarak kullanım	Çevreyi rahatsız etmeyecek düzeyde düşük çevresel ve sosyal etkiye sahip yüksek kaliteli sıvı gübre

4.2.4. Anaerobik Çürütmenin Optimizasyonu

Biyogaz tesislerinin ekonomisi, hammaddenin birim miktarı başına biyogaz üretimiyle doğrudan ilişkilidir. Bazı maliyetler, örneğin atığın biyogaz tesisine taşınması (hayvan atıklarının kullanıldığı merkezi biyogaz tesislerinde olduğu gibi), sabittir. Hayvan atığı içindeki su oranının azaltılması, yani sadece katı fraksiyonun tesise taşınması ve daha yüksek kuru madde ile çürütme yapılması, nakliye maliyetlerini azaltabilir. Hayvan atığı ve arıtma çamurlarının biyogaz verimlerini artırma potansiyeli mevcuttur. Çünkü bu atıklardaki organik maddenin takriben yarısı biyogaza dönüşmektedir. Hayvan atığı bugün biyogaz üretimi için en bol bulunan hammaddedir. Arıtma çamurlarının anaerobik olarak çürütülerek içindeki organik maddenin önemli ölçüde biyogaza dönüştürülmesi ve geriye kalan katı miktarının azaltılması, çevre açısından da arzu edilmektedir. Bu nedenle anaerobik çürütücülerde biyogaz verimleri şu yollarla artırılabilir (Şekil 4.8):

- Atığın biyolojik olarak parçalanabilirliğinin artırılması,
- Farklı substratların birlikte (co-digestion) biyogaz üretiminde kullanılması,
- Reaktör konfigürasyonlarının optimize edilmesi,
- Proses kontrolünün optimize edilmesi,
- Mikrobiyal proseslerin ve etkinliklerin artırılması



Şekil 4.8. Anaerobik çürütmenin temel hedefleri (Ahring, 2002)

Atığın Biyolojik Parçalanabilirliğinin Arttırılması

Hayvan atıkları ve arıtma çamurlarının çözünürlüğünü ve biyolojik parçalanabilirliğini arttırmak için fiziksel, kimyasal ve biyolojik pek çok yöntem önerilmiştir. Asitlerle, bazlarla ve enzim kullanarak yapılan kimyasal işlemlerin biyogaz üretimini arttırdığı bilinmektedir. Dünyada az sayıda atıksu arıtma tesisi, arıtma çamurlarının çürütülmesini hızlandırmak için termal hidrolizi (133-180°C ve 3-10 bar) kullanmaktadır (Cambi Prosesi). Fakat bu işlemlerin hepsi pratik uygulamalar için pahalı bulunmaktadır. Ayrıca partikül boyutunun küçültülmesinin gaz üretimini arttırdığı gözlenmiştir. Bunun için yine pahalı olan ön işlem gerekmektedir (Ahring, 2002).

Farklı Substratların Birlikte (co-digestion) Biyogaz Üretiminde Kullanılması

Farklı substratların çürütülmesi ve biyogaza dönüştürülmesi (co-digestion), iki veya daha fazla substratın homojen olarak karıştırılarak çürütülmesidir. Uygulamada ana substratlar (hayvan atığı veya arıtma çamuru) miktarı daha az olan bir ya da birden fazla substrat ile karıştırılır. Son zamanlara kadar genel uygulama bir substratın anaerobik çürütülmesi şeklindeydi: örneğin hayvan atığı enerji üretimi için çürütülmekteydi, arıtma çamuru tek başına anaerobik olarak stabilize edilmekteydi veya endüstriyel atıksular tek başına anaerobik olarak arıtılmaktaydı. Bugün anaerobik çürütmenin sınırları ve kapasitesi daha iyi bilinmektedir ve ikincil substratların kullanımı standart uygulama haline gelmiştir. İkincil substratların kullanımını teşvik eden unsurlar şunlardır (Deublein ve Steinhauser, 2008; Öztürk, 2007):

- Arıtma tesislerindeki çürütücüler genellikle büyük bir emniyet faktörü ile tasarlanmıştır. İkincil substratların ilave edilerek, çok az bir ek maliyet ile daha fazla biyogaz ve elektrik elde edilir.
- Sadece hayvan atığından elektrik üretimi, gaz verimi düşük olduğunda, ekonomik olarak yeterli değildir. Metan potansiyeli yüksek ikincil substratların ilave edilmesi gaz verimini artırır.
- Optimum çürütme için daha iyi nutrient dengesi sağlanır.

- Biyogaz debisindeki mevsimsel dalgalanmaların önüne geçilir ve düzenli biyogaz üretimi sağlanır.
- Enerji bitkileri ikincil substrat olarak kullanılabilir. Bu, tarım için ek gelir kaynağıdır.
- Başta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere pek çok ülkede organik atıklar katı atık depolama alanlarına gömülmeden önce ön işlemden geçirilerek organik madde oranının azaltılması, yasal zorunluluk haline gelmektedir.

Tablo 4.6’te farklı evsel organik atıkların birlikte arıtılması sonucu metan verimleri verilmiştir. Birlikte arıtma, yukarıda da belirtildiği gibi nutrient dengesini iyileştirdiği için biyogaz üretimini olumlu yönde etkilemektedir.

Tablo 4.6. Farklı evsel organik atıkların (OKKA) ve arıtma çamurlarının birlikte arıtılması ve metan verimleri (Türker, 2008)

Substrat ve işletme parametreleri	Sıcaklık	Metan verimi (Nm ³ /tonVS _{beslenen})	CH ₄ (%)
Mekanik sınıflandırılmış OKKA, TS =%20, VS=%62, HRT=13,5 gün, L _v =9,2 kgVS/m ³ gün	T	230	69
Mezbaha atığı(%40) +restoran ve market atığı(%20) +yağ tutucu çamuru(%15) +glikoz çözeltisi(%25), TS =%12, VS=%91, HRT=50 gün, L _v =2,5 kgVS/m ³ gün	M	550	68
Arıtma çamuru + OKKA (%75:%25), kesikli proses, HRT=38 gün, L _v =1,5 kgVS/m ³ gün	T	427	-

Tablo 4.6’da arıtma çamuru ile yağ tutucu çamuru ve kaynağında ayrılmış evsel organik atığın (OKKA) birlikte arıtılması sonucu metan verimleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, arıtma çamurunun içine metan potansiyeli yüksek evsel organik katı atıklar ve yağ tutucu çamuru katıldığında, uçucu maddenin birim miktarı başına metan üretimi artmaktadır.

Tablo 4.7. Arıtma çamuru ve kaynağında ayrılmış evsel organik atığın (OKKA) birlikte arıtılması sonucu metan verimleri (Türker, 2008)

Seçenek	Substrat	Metan verimi (Nm ³ /tonVS _{beslenen})
Ayrı çürütme	Arıtma çamuru	270
	Organik evsel atık (OKKA)	395
Arıtma çamuru ve organik atığın birlikte çürütülmesi (VS: %80/%20)	Arıtma çamuru + Organik evsel atık (OKKA)	326
Arıtma çamuru ve yağ tutucu çamurunun birlikte çürütülmesi (VS: %90/%10)	Arıtma çamuru +Yağ tutucu çamuru	301,5
Arıtma çamuru ve meyve –sebze atıklarının birlikte çürütülmesi (VS: %63/%37)	Arıtma çamuru +meyve/sebze atıkları	386

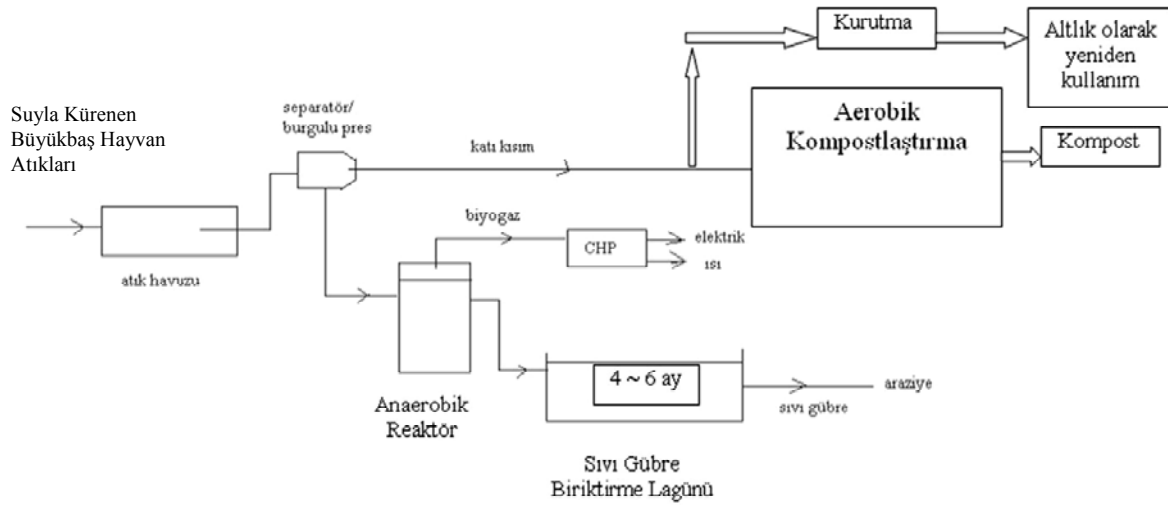
Danimarka’daki merkezi biyogaz tesislerinin ortalama verileri ile biyogaz verimi yaklaşık 20 m³/m³ atık’tır. Jewell ve Loehr (Jewell, 1977) büyükbaş besi hayvanları için biyogaz üretim verimini 0,42 m³/UKM_{beslenen} olarak önermektedirler. Biyogaz tesislerinde %50’lik UKM giderimi esas alınarak standart şartlarda üretilebilecek biyometan miktarı için de 0,5 m³ CH₄/kgUKM_{giderilen} (yaklaşık 0,78 m³ gaz/kg UKM_{giderilen}) değerleri kullanılabilir.

4.2.5. Aerobik Kompostlaştırma

Altlık kullanılan ahırlarda oluşan büyükbaş hayvan atıkları, su muhtevası %40-55 aralığında tutulduğu sürece kompostlaştırma için ideal bir karışım durumundadır. Ot ve saman altlık kullanılmayan durumlarda idrarla karışık halde %10-12 katı madde içeren büyükbaş hayvan atıklarının yonga, talaş, kırılmış ağaç dalları, saman vb. su tutucu ve boşluk arttırıcı katkılarla kompostlaştırma için uygun özelliğe kavuşturulması gerekmektedir. Kompostlaştırma

prosesinin yapısı gereği, su muhtevasının %75'in üzerine çıktığı durumlarda termofilik sıcaklıklara hiçbir zaman erişilemez.

Büyükbaş hayvan atıklarının suyla kürendiği ve önemli oranda ot/saman altlık içeren atıkların arıtıldığı büyük çiftliklerde genellikle aşağıdaki tip ikili proses uygulanır. Şekil 4.9'dan da görüldüğü gibi separatörde ayrılan katı kısım (ot/saman ve dışkı karışımı) çoğu kez hiçbir şey eklenmeden aktarmalı yığın yöntemiyle kompostlaştırılır. Sıvı kısma ise anaerobik çürütme uygulanarak sıvı gübre olarak araziye serilir. Sulama yapılmadığı dönemlerde anaerobik reaktör çıkışını depolamak üzere 4-6 ay depolama kapasiteli bir biriktirme lagünü de gerekebilir. Anaerobik reaktörde üretilen biyogaz, kombine ısı ve elektrik üretim tesisinde yakılarak yenilenebilir enerji geri kazanılır. Bu tür arıtma sistemleri genellikle ABD'deki büyük çiftliklerde uygulanmaktadır.



Şekil 4.9. Büyükbaş hayvan atıkları için iki kademeli arıtma sistemi

Büyükbaş hayvan atıklarının kompostlaştırıldığı tesislerin, ilk birkaç gündeki azami O₂ ihtiyacı 10-35 L/dk ton atık seviyelerine ulaşabilir. Aktarmalı yığında kompostlaştırma durumunda 8-12 haftalık süreler gerekebilir. Büyükbaş hayvan atıklarının kompostlaştırılmasında, uygun miktar ve özellikle katkı malzemesi (sap/saman, yonga, talaş, kırılmış ağaç dalları, mısır koçanı v.b) tedariki kritik önem taşır. Kompostlaştırma prosesinin optimizasyonu için yerinde gerçek ölçekte yığınlar üzerinde yapılacak denemeler gerekir.

Almanya'daki bir çiftlikte BB Hayvan atıklarının aktarmalı yığın yöntemiyle kompostlaştırıldığı bir tesiste ağırlıklı olarak %50–70 saman ve %5–25 oranında kompostla karıştırılarak hazırlanan H=45 m, B=3 m, L=50 m ebatlı yığınlar, ilk haftada 3–4 kez (İlk karıştırma yığın sıcaklığı 58°C'ye ulaştığında yapılmaktadır), ikinci hafta 2–3 kez ve sonraki haftalarda yığın sıcaklığına göre 1–2 kez aktarılacak suretiyle ~8 hafta sonunda kompostlaştırma sürecinin tamamlandığı ifade edilmektedir. Dolgu malzemesi olarak samanla birlikte ağaç dalları, yonga, bitki atıkları ve elma posası da kullanılmaktadır. Dış ortam (hava) sıcaklığının düşük olduğu dönemlerde yığınlara katılan kompost (aşı) oranı %25'lere kadar çıkarılabilmektedir. Kompostlaştırma süresince sıcaklık, su muhtevası, ve CO₂ sürekli izlenmektedir.

Organik gübre kalitesindeki kompost'un 1 m³'ü 30 Avro'ya satılmaktadır (TUBİTAK MAM, 2008).

4.3. Organik Atıklardan Yenilenebilir Enerji (Biyometan) Geri Kazanımı ile İlgili Teşvikler

4.3.1. Avrupa'daki Uygulamalar

Merkezi biyogaz tesislerinden enerji (biyometan+ısı) geri kazanımı ile ilgili olarak özellikle AB ülkelerinde başlıca aşağıdaki teşvikler uygulanmaktadır:

- Yatırım hibesi ve uzun süreli (düşük faizli) yatırım kredisi
- Biyometan tesisleri proje ilk yatırım bedelinin %20-40'ı hibe olarak proje sahibine ödenmektedir. Bu teşvik başlangıç dönemlerinde yüksek (%40) sonraki dönemlerde ise azaltılarak (%20) uygulanmaktadır. Yenilenebilir enerji yatırımlarına (merkezi biyometan tesisleri) 20 yıla varan geri ödeme süreli ve düşük faizli yatırım kredileri sağlanmaktadır.
- Yenilenebilir enerji üretimine uygulanan teşvikler
Bu alanda ise başlıca aşağıdaki tür teşvikler uygulanmaktadır.
 - Merkezi biyogaz tesislerinden üretilen elektrik ve ısı enerjisinin enerji vergisinden muaf tutulması
 - Üretilen enerjinin belli bir fiyatla satın alınacağına ve/veya ek prim verileceğine dair devlet garantisi
 - Üretilen megavat-saat elektrik enerjisi başına merkezi biyogaz tesisleri için ayrıca yenilenebilir enerji teşviki uygulaması
 - Kendi atığı ile birlikte başka tür atıkların da arıtıldığı tesislere ısı ve elektrik enerjisi üretimi üzerinden ilave atık bertaraf ve yenilenebilir enerji teşviki uygulanması

Atık Bertarafı Ücreti Alma Yetkisi

Kendi atığı ile birlikte başka atıkların (arıtma çamuru, organik endüstriyel atıklar, enerji bitkileri vb.) arıtıldığı merkezi biyogaz tesislerine ortalama piyasa fiyatı ile atık bertaraf bedeli alma izni de verilmektedir.

Avrupa'da merkezi biyogaz tesislerinden yenilenebilir enerji üretiminin teşviki konusunda özellikle öne çıkan iki ülke Danimarka ve Almanya'dır.

Danimarka'da özellikle 1980-1990 döneminde merkezi biyogaz tesislerinin kurulmasını ve yenilenebilir enerji üretimini geliştirmek üzere önemli teşvikler uygulanmıştır. Bu dönemde,

- Proje ilk yatırım bedelinin %40'ının hibe olarak yatırımcıya iadesi,
- Üretilen ısı ve elektrik enerjilerinin enerji vergisinden muaf tutulması,
- Üretilen birim elektrik enerjisi için asgari 0,27 DKK/kwh (0,036 \$/kwh) enerji teşvik priminin garantisi,
- Üretilen Mwh elektrik enerjisi başına 122 \$ teşvik primi uygulaması (bu miktar 10 yıllık işletme dönemi sonrası için 81 \$'a düşürülmüştür)
- Atık bertaraf ücreti alma yetkisi (bu bedel 50-60 DKK/m³ atık (6,7-8 \$/ m³ atık) civarındadır)

Yukarıda özetlenen teşvikler sayesinde 1984-1998 döneminde Danimarka'da her biri 10-15 km mesafedeki yaklaşık 100 çiftliğin atığını toplayıp arıtan yaklaşık 20 merkezi biyogaz tesisi kurulmuştur. Bu sayı, büyük domuz çiftliklerinin de katılımıyla daha sonra 60'a (2002) yükselmiştir. Büyükbaş hayvan atıklarının arıtıldığı merkezi biyogaz tesislerinin büyük çoğunluğu çiftçi kooperatifleri tarafından kurulup işletilmektedir. Merkezi biyogaz tesisleri ilk yıllarda tam karışımli mezofilik çürütücüler olarak tasarlanıp işletilmiş, sonraki dönemlerde ise biyogaz veriminin daha fazla ve çürümüş atığın hijyenik kalitesinin daha iyi olması dolayısıyla termofilik anaerobik reaktörler tercih edilmiştir.

Danimarka’da tesis sahibi çiftliklerce merkezi biyogaz tesislerinde çürütülen hayvan atıklarını en az 6 ay depolayabilecek kapasitede biriktirme havuzları yapılması öngörülmektedir. Ayrıca çürütülmüş hayvan atıklarının tarım arazilerine tatbiki ile ilgili olarak hektar başına verilebilecek miktar en fazla 42 LU (canlı hayvan birimi) olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Danimarka’da 2003 yılı itibariyle çiftlik tipi merkezi biyogaz tesislerinde üretilen enerji 1500 TJ’e ulaşmıştır (Nielsen, 2007).

Almanya, günümüzde merkezi biyogaz tesislerinden üretilen yenilenebilir enerji için en yüksek teşvikleri veren ülkelerin başında gelmektedir. Almanya Yenilenebilir Enerji Kanunu’na göre, biyogaz tesislerinden üretilen elektrik enerjisi 0,115 Avro/kWh’den başlayan yüksek bedellerle satın alınmaktadır. Bu kanuna ek olarak çıkartılan yeni bir mevzuata göre, enerjinin tamamını hayvan atıkları, arıtma çamurları, organik endüstriyel atıklar, enerji bitkileri vb. biyolojik atıkların çürütülmesi yoluyla üreten merkezi biyogaz tesislerinin elektriği yukarıdaki tarifenin üzerine ilave 0,06 Avro/kWh teşvik primi ödenerek satın alınmaktadır. Bu tür uygulamalar dolayısıyla ayrı toplanmış kentsel atıkların organik kısmı da dâhil olmak üzere büyük kapasiteli merkezi biyometan tesisleri sayısında hızlı bir artış yaşanmaktadır. Almanya’da büyük ölçekli merkezi biyogaz tesislerinde üretilen elektrik enerjisinin MWh’i başına verilen yenilenebilir enerji teşviki 145 \$ olup, çiftlik tipi daha küçük kapasiteli biyogaz tesislerinde bu miktar 300 \$/MWh’a ulaşabilmektedir.

Toplam enerji üretimi içindeki yenilenebilir enerji payının arttırılabilmesi için önümüzdeki dönemde çiftlik atıkları, arıtma çamurları, endüstriyel organik proses atıkları yanında özellikle enerji bitkileri (ot ve mısır silajı) ve ikili toplamayla ayrılan kentsel katı atıkların (mutfak atıkları) büyük kapasiteli merkezi biyometan tesislerinde hammadde olarak kullanımı organik atıkların bertarafı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması bakımından önemli bir potansiyele sahiptir.

4.3.2. Türkiye’deki Durum

Türkiye’de, atıklardan geri kazanılan biyogazın ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerjinin üretimi ve satışı ile ilgili uygulamalar başlıca aşağıdaki mevzuat çerçevesinde yürütülmektedir.

- Kanun No: 5346 – Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına Dair Kanun (10.05.2005)
- Kanun No: 5627 – Enerji Verimliliği Kanunu (18.04.2007)
- Kanun No: 5784 – Elektrik Piyasası Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (9.07.2008)
- Resmi Gazete No: 25956 – Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi Verilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik (4.10.2005)

Mevcut mevzuat çerçevesindeki uygulama esasları aşağıda özetlenmiştir:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin satışı ile ilgili olarak üretim lisansı sahibi tüzel kişiye EPDK tarafından 25956 No.’lu resmi gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren yönetmeliğe göre Yenilenebilir Enerji Kaynak (YEK) Belgesi verilir.

(Yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kurulu gücü 200 kW’den az olan üretim tesisi ile mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişiler, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaftır.)

- 31.12.2011’den önce işletmeye giren tesislerin üreteceği elektrik enerjisi 10 yıl süreyle her yıl için EPDK’nın bir önceki yıla ait Türkiye ortalama enerji toptan satış fiyatı üzerinden satın alınır. Ancak satın alınan elektrik enerjisi birim fiyatı 0,05 Avro/kWh’den az, 0,055 Avro/kWh’den fazla olamaz.

- Mevcut mevzuatta, atıklardan yenilenebilir enerji üretmek amacıyla kurulacak merkezi biyogaz tesislerine uygulanan özel bir yatırım veya MWh enerji üretimine bağlı enerji üretim teşvikine dair bir hüküm bulunmamaktadır. Aynı şekilde bu tesislerde arıtılan atıklar için merkezi tesis sahiplerince atık bertaraf ücreti alımı izni ile üretilen enerjinin enerji tüketim vergisinden muaf tutulmasına dair hükümler de henüz düşünülmemiştir. Dolayısıyla Türkiye’de halen yürürlükte olan yenilenebilir enerji üretimi ve satışına dair mevzuat, merkezi biyogaz tesislerinin yaygınlaştırılarak organik atıkların arıtımı, sera gazı azaltımı ve yenilenebilir enerji ile gübre değeri yüksek madde geri kazanımı uygulamalarının arttırılmasını teşvik edici nitelikte olmaktan oldukça uzaktır.

Özellikle organik atıklardan yenilenebilir enerji üretiminin teşvik edilebilmesi için mevcut mevzuatın, bu alanda öncülük eden Danimarka, Almanya ve İspanya gibi ülkelerdeki gibi revize edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda;

- Proje tutarının ilk 10 yılda %40’ı, ikinci 10 yıllık dönemde ise %20’sinden az olmamak üzere yatırım hibesi
- Yatırımlara 20 yıla varan sürelerle düşük faizli kredi temini
- Üretilen yenilenebilir enerjinin, ortalama piyasa fiyatının ilk 10 yılda %100, ikinci 10 yıllık dönemde %50-100 üzerinde alımı
- Bu tesislerde ısı geri kazanımı ve satışı halinde ısı enerjisinin elektrik enerjisi eşdeğeri üzerinden MWh başına ayrıca ısı geri kazanım teşviki uygulaması
- Tesise kabul edilerek bertaraf edilen organik katı/sıvı atıklar için atık üreticilerinden ton atık başına ayrıca atık kabul/bertaraf ücreti tahsili

gibi teşvikler uygulanmalıdır.

5. SULUOVA BESİ OSB İÇİN MERKEZİ BİYOGAZ TESİSİ TASARIMI

5.1. Yer Seçimi

Daha önce Bölüm 2’de de açıklandığı üzere Suluova’daki yaklaşık 35.000 büyükbaş hayvanın atıklarını arıtmak üzere kurulacak merkezi biyogaz (biyometan) tesisi/ veya tesisleri için, atık taşıma maliyetlerinin de asgari düzeyde tutulmasını sağlamak üzere başlıca 2 farklı çözüm önerilebilir:

(i) İki adet tesis kurulması:

- Yenidoğan Merkezi Biyometan Tesisi
Kapasite: 15.000 büyükbaş hayvan
- Besi OSB Merkezi Biyometan Tesisi
Kapasite: 20.000 büyükbaş hayvan

(ii) Besi OSB’de bir adet büyük tesis kurulması

Kapasite: 35.000 büyükbaş hayvan

Çevre ve halk sağlığı etkileri, işletme/bakım ve yönetim kolaylığı ile Suluova halkı ve Belediyesi’nin istekleri dikkate alınmakla bu iki seçenekten “Besi OSB’de Tek Tesis” seçeneğinin Suluova’daki yerel şartlara daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla bundan sonraki alt bölümlerde söz konusu 35.000 büyükbaş hayvan atığı arıtma kapasiteli tek merkezi biyometan tesisinin modüler olarak (3,5 x 10.000 büyükbaş hayvan atığı) tasarımı yapılacaktır.

5.2. Merkezi Biyometan Tesisine Gelecek Büyükbaş Hayvan Atıklarının Miktar ve Özellikleri

Besi OSB’de kurulacak bu tesise toplam 35.000 büyükbaş hayvandan oluşan atıklar gelecektir. Suluova Tarım İl Müdürlüğü ve literatürden alınan verilere göre ortalama canlı ağırlığı yaklaşık 400 kg olan bir büyükbaş hayvandan oluşan %10-12 kuru madde içerikli dışkı ve idrar (yaş atık) miktarının, canlı ağırlığın %6’sı üzerinden yaklaşık 25 kg/gün (24,7 L/gün) olması beklenir. Hayvan atıklarının ahır dışındaki gübre çukuruna yaklaşık 1 misli su ile itilerek iletilmesi sonucu suyla seyrelmiş birim atık miktar ve özelliklerinin aşağıdaki gibi olacağı kabul edilmiştir:

Birim atık üretimi	~ 50 kg/ büyükbaş hayvan (49,4 L/ büyükbaş hayvan)
Katı madde oranı	%5 (%8)
UKM / TKM	~ % 80

Bu durumda ahırların gübre çukurlarında toplanması beklenen ahırdan suyla kürenmiş sıvı atık miktarları:

35000 büyükbaş hayvan için	1.740 (1.087)* m ³ /gün
10000 büyükbaş hayvan için	497 (311)* m ³ /gün
5000 büyükbaş hayvan için	249 (155)* m ³ /gün

(*)Katı madde oranının %8 olması halinde

5.3. Atıkların Geçici Biriktirilmesi ve Merkezi Biyometan Tesisine Taşınması

Ahırlardan günlük olarak suyla kürenen %5 katı madde içerikli atıkların ahır dışındaki bir gübre çukurunda geçici olarak (asgari 7-10 gün süreyle) biriktirilmesi gerekecektir. Bu maksatla yapılacak, sızdırmaz tipteki gübre biriktirme havuzları (GBH) için bir büyükbaş hayvan başına günlük hacim yaklaşık 50 litre alınabilir. Dolayısıyla 40, 100 ve 400 büyükbaş hayvan kapasiteli ahırlardan çıkacak atıkları 7 gün depolamaya yetecek GBH hacimleri için sırası ile 14 m³, 35 m³ ve 140 m³ alınabilir. GBH’nın ahırların bitişiğinde ve atık toplama araçlarının (gübre vidanjörleri) rahatça yanaşıp atık alımı yapabilecekleri bir konumda teşkili

gerekecektir. Bu nitelikte bir GBH yapım imkânı bulunmayan ahırların öncelikle daha uygun konumlara, tercihen besi OSB'ye taşınmaları sağlanmalıdır.

Besi OSB'deki ahırlarda da, gübrenin tabandan sıyrılarak toplandığı gübre biriktirme havuzları yapılacaktır. Besi OSB'deki ahırların üzerlerinin tam açık olmasına izin verilmeyecektir. Aksi halde BBH gübresi toplanmasında sorunlar yaşanabilir ve yağmur suları ile ciddi yüzeysel su kirliliği ortaya çıkabilir.

GBH'da toplanan atıklar buradan vakumlu atık taşıma araçları (gübre vidanjörleri) ile taşınarak besi OSB'deki merkezi biyometan tesisi atık kabul havuzuna boşaltılacaktır. Mevcut veriler ışığında ortalama tek yönlü (dolu) taşıma mesafesinin yaklaşık 3 km olması beklenmektedir. Günlük net çalışma süresi 8 saat ve günde ortalama 4 sefer (dolum) yapabilecek 10 m³ kapasiteli gübre vidanjörü sayısı, 10.000 büyükbaş hayvan için;

Araç filosu: $497 / (4 \times 10) = 12$ araç'tır.

Çift vardiya çalışma halinde ise asgari 6 araç gerekir. Toplam 35.000 büyükbaş hayvanlık kapasite için gerekli gübre taşıma aracı sayısı, besi OSB'deki asgari 10.000 büyükbaş hayvan kapasitesi için gerekli araç sayısı 2 vardiya için yaklaşık 3 alınarak;

$2,5 \times 6 + 3 = 18$ adet,

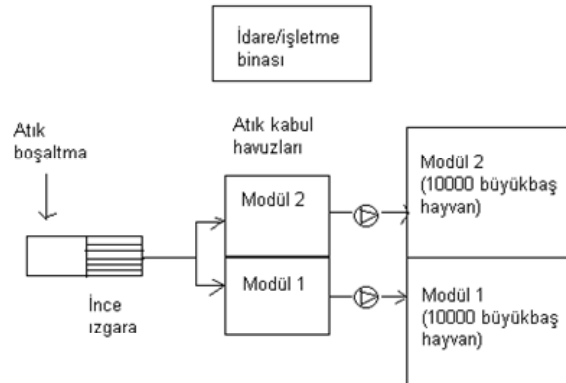
Ayrıca 2 adet yedek araç düşünülerek gerekli gübre vidanjörü sayısı 20 adet olarak hesaplanmıştır.

5.4. Merkezi Biyometan Tesisi Tasarımı

5.4.1. Genel Esaslar

Merkezi biyometan tesisi her biri 10.000 büyükbaş hayvan atığı arıtma kapasiteli toplam 3 + ½ adet modül halinde tasarlanmıştır. İlk aşamada (2008–2010) 2x10.000 büyükbaş hayvanlık modül yapılması daha sonra (en geç 2015 yılında) ilave (1 + ½) x10.000 büyükbaş hayvanlık modül yapımı yatırım finansmanı ve ilk dönemde uygulama hakkında fiili deneyim kazanılarak daha kontrollü bir planlama bakımından uygun olacaktır.

Bir adet 10.000 büyükbaş hayvanlık merkezi biyometan tesisi modülü proses akım şeması Şekil 5.1'de verilmiştir. Kapasitenin 20.000 büyükbaş hayvan olması durumunda atık boşaltma kanalı ve idari/işletme binası hariç diğer bütün birimlerin sayısının 2 misline çıkarılması (ilave yeni bir 10.000 büyükbaş hayvanlık modül yapımı) gerekecektir. Söz konusu modüle ait tipik yerleşim planı ve hidrolik akım şeması (basitleştirilmiş PI diyagramı) Ek IV ve V'de ayrıca verilmiştir.



Şekil 5.1. 2x1000 büyükbaş hayvan atığı arıtma kapasiteli merkezi biyometan tesisi (2008-2010 dönemi)

Her bir 10.000 büyükbaş hayvan kapasiteli modülde başlıca aşağıdaki proses/işletme birimleri yer almaktadır:

- Atık boşaltma kanalı ve ince ızgara yapısı (bütün modüller için ortak)
- Mekanik karıştırıcı atık kabul havuzu ve besleme pompaları (minimum 500 m³ kapasiteli)
- Tam karışımli mezofilik anaerobik reaktörler (4 x 2.700 m³ faydalı hacim, ısıtıcı, karıştırıcı, emniyet, otomasyon, sirkülasyon ve çamur tahliye ekipmanları ile birlikte komple)
- Pastörizasyon birimi (isteğe bağlı)
- Gaz yakıcı (flare) (bütün modüller için ortak)
- İdare/işletme binası (bütün modüller için ortak)
- Çürütülmüş atıktan çamur ayırma santrifüjü (bütün modüller için ortak dekantör)
- Çürümüş atık biriktirme lagünleri (bütün modüller için ortak)
- Kombine ısı ve elektrik enerjisi geri kazanım birimi (bütün modüller için ortak CHP birimi)

Suluova Besi OSB’de kurulması planlanan Büyükbaş Hayvan (BBH) Atıklarından Biyometan ve Organik gübre Geri kazanım tesisi proses hesapları Ek VI’de verilmiş olup arıtma birimlerinin proses açıklamaları ve tasarım özeti aşağıda ayrıca sunulmuştur.

5.4.2. Meteorolojik Veriler

Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü’nce 1975–2007 döneminde Amasya ilinde gözlenen sıcaklık ve yağış verilerinin özeti aşağıda verilmiştir.

Yıllık ortalama sıcaklık : ~ 13,5 °C

Yıllık en düşük sıcaklık : ~ -20 °C

Yıllık en yüksek sıcaklık : 45 °C

Yıllık ort.en düşük sıcaklık : ~ 5,6 °C (Kasım – Mart dönemi ortalaması)

Yıllık ort.en yüksek sıcaklık : ~ 19,2 °C (Nisan - Ekim dönemi ortalaması)

Yıllık ort. Yağış yüksekliği : ~ 500 mm

Günlük en çok yağış yüksekliği : 53 mm

Aylık ortalama buharlaşma : ... mm (Nisan – Ekim dönemi)

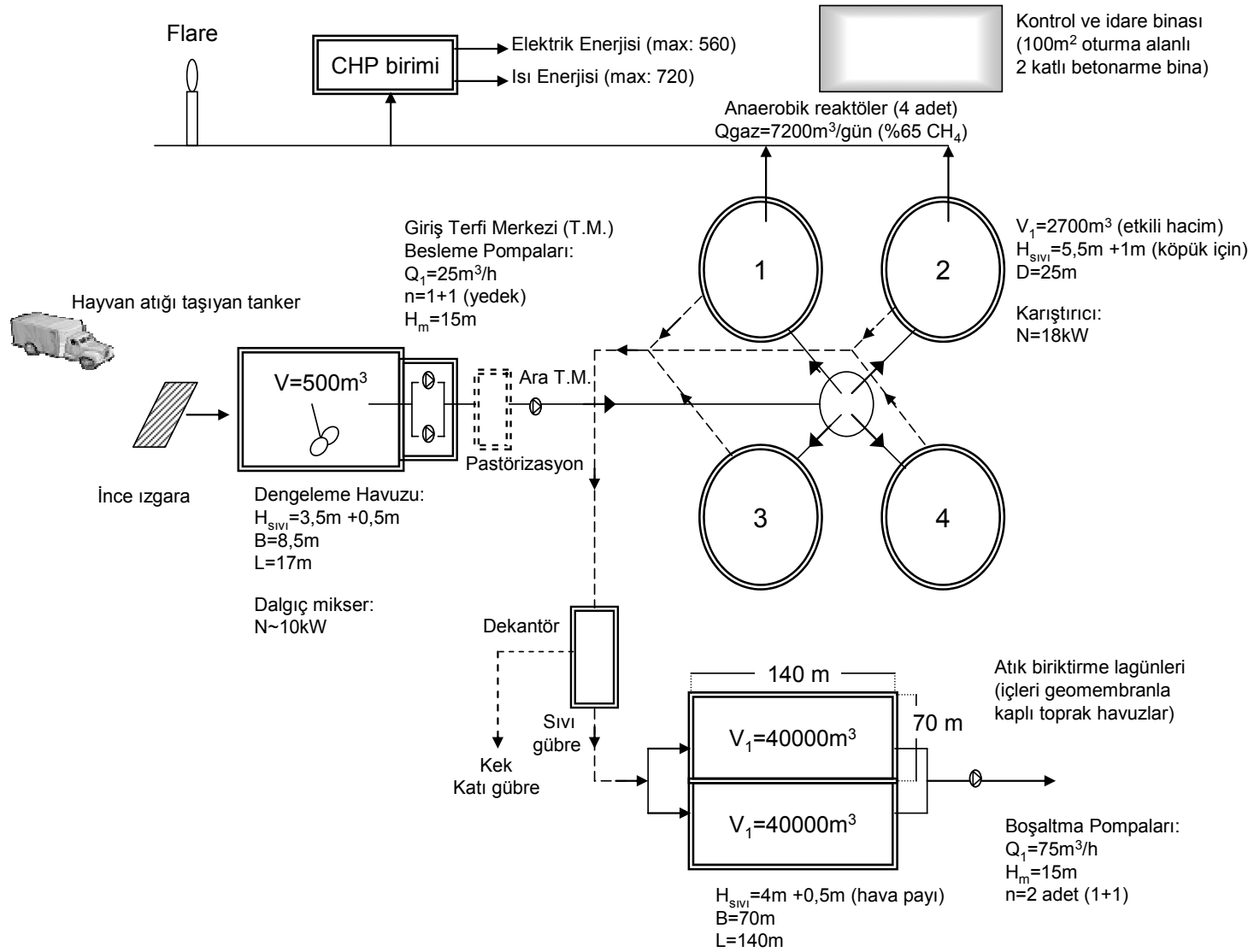
Günlük en çok buharlaşma : ~ 20 mm (Ağustos ayı)

Bu veriler (en düşük ortalama ve yıllık ortalama sıcaklıklar) Biyometan Reaktörlerinin ısıtma sistemi ve biyometan üretim kapasitesi hesaplarında kullanılmıştır. (Ek VII)

5.4.3. Tesis Ünitelerinin Tasarımı

Tasarım Kriterleri:

Suluova Besi OSB Merkezi Biyometan Tesisi, Dünya’daki en yaygın ve oturmuş bir teknoloji durumundaki “Tek Kademeli Tam Karışımli Mezofilik Anaerobik Reaktör” sistemi olarak tasarlanmıştır. Her biri 10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli modüllerin yan yana dizilmesi tarzında inşa edilecek olan Tesisin ilk aşamada 2 modül (20.000 BBH) olarak yapımı planlanmıştır. İlk kademeden elde edilen tecrübeler de dikkate alınarak kapasitenin daha sonra (2015 yılına kadar) 35.000 BBH atığına çıkarılması öngörülmüştür. Tesisin basitleştirilmiş proses akım şeması Şekil 5.2’de genel yerleşim planı ve akım şeması ise Ek IV ve V’de verilmiştir. Tesis artıma birimlerinin temel proses tasarım kriterleri ile tank/havuz boyutları ve ekipman özellikleri aşağıda özetlenmiştir:



Şekil 5.2. Suluova Besi OSB MBT Proses Akım Şeması (10.000 büyükbaş hayvan dışkısını artıracak merkezi biyogaz tesisi)

Atık Boşaltma Kanalı ve İnce Izgara:

BBH ahırlarından atık taşıma araçları ile getirilen atıkların (~ %5-8 KM'li gübre) boşaltıldıkları kanal olup son kısmında bir ince ızgara yer alacaktır.

Kanal boyutları:

Dikdörtgen enkesitli	B= 40 cm
Betonarme kanal	H _{su} = 30 cm
	H _{top} = 50 cm
Izgara	Çubuk aralığı : 15 mm
	Mekanik temizlemeli ince ızgara

Dengeleme (atık kabul) Havuzu:

10.000 BBH atığı modülü için:

$\theta_h=1$ gün

$V= 500 \text{ m}^3/\text{gün} \times 1 = 500 \text{ m}^3$ Betonarme havuz.

$H_{\text{sivl}}= 3,5\text{m} + 0,5\text{m}$ (hava payı)

B= 8,5 m

h= 17m

Dalgıç karıştırıcı:

N~10 kW

Giriş Terfi Merkezi:

Dengeleme havuzuna bitişik ve çıkış kısmında kuruda ayrı bir bölme halinde teşkil edilecektir.

Atık Besleme Pompaları:

$Q_1= 25 \text{ m}^3/\text{saat}$

$H_m= 15 \text{ mSS}$

n= 1 + 1 (yedek)

Düşey milli monoblok tip açık fanlı santrifüj olacak ve önlerinde (numune hattı üzerinde) katı madde öğütücüler bulunacaktır.

Hijyenizasyon (Pastörizasyon) Birimi:

İsteğe bağlı (opsiyonel) olarak kurulması öngörülen bu birimde atıkların 70°C'de 1 saat pastörizasyonu gerçekleştirilecektir.

Ara Terfi Merkezi:

Giriş terfi merkezi ile aynı özelliklere sahip olan Ara Terfi Merkezi, pastörizasyon çıkış akımının Anaerobik reaktörlere beslenmesini sağlayacaktır.

Anaerobik Reaktörler:

Mezofilik tam karışımli anaerobik reaktör sistemi, tek kademeli (boru tipi ana eşanjörler) ısı değiştirici ile ısıtılarak >30°C (tercihen 35° ± 2°C) reaktör sıvı ortam sıcaklığı sağlanacaktır.

Reaktör tasarımımda,

$\theta_h= \theta_c \geq 15$ gün

Hacimsel yük, $L_v \leq 4 \text{ kg UKM}/\text{m}^3 - \text{gün}$

kriterleri esas alınmıştır. Reaktör boyutları aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Reaktör sayısı: 4 adet

D= 25 m

$$H_{su} \sim 5,5 \text{ m}$$

$$H_{köpük} = 1,0 \text{ m}$$

$$H_{toplam} = 6,5 \text{ m}$$

$$V_{sıvı} = 2.700 \text{ m}^3$$

$$V_{top} = 3.100 \text{ m}^3$$

Malzeme:

Reaktör betonarme, üzeri iki tabakalı HDPE membran çatılı
Bu durumda $\theta_h = 21,6$ gün olacaktır.

Yıllık ortalama hava sıcaklığı $T_h = 13,5$ °C için çürütülmüş çamur ve sıvı atık (gübre) miktarları:

UKM giderimi: ~%50

$P_x = 373 \text{ kg UKM/gün}$ (466 kg TKM/gün)

UKM/TKM = 0,80

Reaktörlerden çıkan: UKM = 10.373 kg/gün

Reaktörlerden çıkan: TKM = 15.373 kg/gün

Reaktörlerden çıkan çürümüş atıkta:

KM: ~%3,1

UKM/TKM = %67

Dekantör KM tutma verimi: %95

Dekantörde tutulan kek: $Q_{w,x} = 56 \text{ m}^3/\text{gün}$, %25 KM

Dekantörde ayrılan sıvı akım: $Q_{w,s} = 441 \text{ m}^3/\text{gün}$

Sıvı kısım, gerekirse pastörizasyon uygulandıktan sonra, sıvı gübre biriktirme lagünlerine verilecektir. Katı kısım (kek) güneş ışığı ile kurutularak KM oranı ~%70'e yükseltildikten sonra organik gübre olarak tarım alanlarında kullanılabilecektir.

%70 KM'li kek (katı gübre) miktarı ~20 t/gün olacaktır.

Sıvı gübrenin sulama mevsimi dışında asgari 4~6 ay süreyle depolanması gerekecektir. Bu durumda ~6 ay süreyle depolama için gerekli hacim,

$$V = (500 - 56) \times 6 \times 30 \sim 80.000 \text{ m}^3 \text{ tür.}$$

Dekantör Sistemi Ekipman Seçimi:

- Besleme Pompası: $Q = 15 \text{ m}^3/\text{h}$
n= 2 adet
 $H_m = 20 \text{ mSS}$
 $N_1 = 3 \text{ kW}$
- Dekantör:
 $Q = 15 \text{ m}^3/\text{h}$, $N = 37 \text{ kW}$
Santrifüj tip
n= 2 adet
- Katyonik Polimer Hazırlama ve Dozlama Sistemi:
2.000 L/h kapasiteli
n= 1 adet

Sıvı Gübre Depolama Lagünü Boyutları:

Adet: 2

$H_{su} = 4 \text{ m} + 0,50$ (Hava Payı)

$$A_1 = 80.000 / 2 \times 4 = 10.000 \text{ m}^2$$

B= 70 m, L= 2 × 70 = 140 m

Sıvı gübre biriktirme lagünleri içeri geomembran kaplı toprak veya betonarme havuzlar olarak yapılabilecektir.

Lagün Boşaltma Pompaları:

$Q_1 = 75 \text{ m}^3/\text{saat}$

$H_m = 15 \text{ mSS}$

$n = 1 + 1$ (yedek)

Lagünde biriktirilen sıvı gübre, sulama mevsiminde tankerlerle veya bir boru hattı ile taşınarak zirai maksatlı kullanılacaktır.

Biyogaz Üretimi ve Biyometan Enerjisi Geri Kazanımı:

Yıllık ortalama hava sıcaklığı ($T_h = 13,5 \text{ }^\circ\text{C}$) için çeşitli yaklaşımlara göre hesaplanan biyogaz üretimleri (Q_g) aşağıda verilmiştir.

- %50 UKM giderimi esas alınır: $Q_g = 9.000 \text{ m}^3/\text{gün}$
- Moller (Moller, 2004)'e göre: $Q_g = 4.615 \text{ m}^3/\text{gün}$
- Danimarka'da kurulu merkezi biyometan tesislerinden elde edilen deneyimlere göre, $Q_g = 5.000 \text{ m}^3/\text{gün}$

Üç farklı yöntemin ortalaması alınarak

$Q_{g, \text{ort}} \sim 6.565 \text{ m}^3/\text{gün}$, ($\sim 65 \text{ CH}_4$)

$Q_{\text{CH}_4, \text{ort}} \sim 4.268 \text{ m}^3/\text{gün}$

alınmıştır. Üretilen biyometanın $\sim 90\%$ 'ninin enerji geri kazanımı için kullanılacağı kabulü ile emniyetli metan debisi $3.841 \text{ m}^3/\text{gün}$ bulunmuştur. Bu durumda kombine ısı ve elektrik enerjisi geri kazanım biriminde (CHP) üretilebilecek elektrik ve ısı enerjisi miktarları sırasıyla;

$\eta_{\text{elektrik}} \sim 35\%$ alınarak

$E_{\text{el}} = 13443 \text{ kW-sa}$ ($560 \text{ kW}_{\text{el}}$)

$\eta_{\text{elektrik}} \sim 1,3\eta_{\text{elektrik}} = 45\%$ alınarak $E_{\text{ısı}} = 17283 \text{ kW-sa}$ ($720 \text{ kW}_{\text{ısı}}$)

bulunmuştur. Dolayısıyla 10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli bir modülde üretilen biyometandan elektrik üretmek için gerekli içten yanmalı gaz motoru gücü, %25'lik bir emniyet ile Net $\sim 700 \text{ kW}$ seçilebilir. Sistemden geri kazanılan ısı enerjisinin yılın soğuk dönemlerinde (~ 3 ay) $\sim 40\%$, ılıman ve sıcak dönemlerinde ise (~ 7 ay) $\sim 20\%$ 'si reaktörlerin ısıtılmasında kullanılacak olup artan enerji bina ve ya tercihen sera ısıtılmasında kullanılacaktır.

Seçilen kojenerasyon sistemi:

- Nem Tutucu: 1 adet dolgu malzemeli tip.
300 m^3/h kapasiteli
- Biyogaz Blower: 1 adet santrifüj veya lobe tip.
300 m^3/h kapasite, 150 mbar.
 $N_m = 3 \text{ kW}$, ex – prof.
- Gaz Yakıcı (Flare): 1 adet açık tip, otomatik ateşlemeli
300 m^3/h kapasiteli
- Kojenerasyon Ünitesi: 1 adet içten yanmalı biyogaz jeneratörü
300 m^3/h kapasiteli
 $\eta_{\text{el}} = 38\%$, $\eta_{\text{ısı}} = 41\%$
 $N_{\text{el}} = 716 \text{ kW}$, $N_{\text{ısı}} = 740 \text{ kW}$

- Sıcak su pompası: 1 adet hat tipi, reaktör ısıtma hattını beslemek üzere
20 m³/h, H_m= 20 mSS
N_m= 2,2 kW

Anaerobik Reaktörlerin Karıştırılması:

Anaerobik reaktörde tam karışımı sağlamak üzere mekanik karıştırma uygulanacaktır. Güç Yoğunluğu ~ 6 W/m³ alınarak gerekli karıştırıcı gücü,

$$N = 6 \times 2.700 \text{ m}^3 \times 10^{-3} = 16,2 \text{ kW/Reaktör bulunur.}$$

Seçilen: 2 × 9 kW/reaktör

Yandan veya çatıdan girişli mekanik karıştırıcı

Biyogaz Deposu:

Anaerobik reaktörlerde üretilen biyogazı depolamak üzere, reaktör çatısında iki kat membranla teşkil edilen ~2.600 m³/reaktör hacimli biyogaz depoları oluşturulmuştur. Bu durumda mevcut biyogaz depoları ile üretilen biyogaz ~4×2.600 m³/6.565 m³/gün ~1,6 gün süreyle depolanabilmektedir.

Biyogaz deposuna her biri 0,75 kW'lık motorla tahrikli 4 adet hava körüğü (blower) ile gazdaki H₂S seviyesini kontrol etmek üzere, hava basılacaktır.

Reaktörlerin Isıtılması:

Dıştan taş yünü ve alüminyum ile ısı yalıtımı yapılacak olan anaerobik reaktörlerde, reaktör içi boru tip eşanjörlerle ısıtılacaktır. Eşanjörlerde, kojenerasyon sistemi hat tipi sıcak su pompaları ile ~20 m³/sa debide (N =2,2 kW) temin edilen sıcak su dolaştırılacaktır.

Suluova Besi OSB için tasarlanan 10.000 BBH arıtma kapasiteli merkezi biyometan tesisi ünite ve ekipman özellikleri listesi Ek VIII'te topluca verilmiştir.

6. BİYOMETAN TESİSİ FİZİBİLİTE ANALİZİ

6.1. İlk Yatırım Maliyeti

Suluova Besi OSB’de kurulması planlanan ve tasarım özeti Bölüm 5.4’de verilen 10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli merkezi biyometan tesisine ait detaylı maliyet analizi, Ek VIII’te sunulmuştur. Ekten de görüleceği üzere Suluova Besi OSB’de kurulacak 10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli 1 modüllük merkezi biyometan tesisi yatırım maliyeti ana bileşenlerinin (2009 yılı başı fiyatları ile) aşağıdaki tabloda gibi olması tahmin edilmektedir.

Tablo 6.1. 10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli 1 modüllük merkezi biyometan tesisi yatırım maliyeti ana bileşenleri

İnşaat İşleri (Mühendislik ve Müşavirlik dahil)	3.220.750 \$
Mekanik Ekipman, enstrümantasyon, Borulama ve montaj işleri	2.153.873 \$
Toplam ilk yatırım maliyeti	5.374.623 \$ (4.134.325 €)

€/ \$ = 1,3

6.2. Tesisten elde edilen gelirler

Merkezi biyometan tesislerinin ekonomik sürdürülebilirliği bakımından, atık üreticilerinden (besicilerden) alınacak atık toplama gelirleri, tesiste üretilen biyometandan geri kazanılan elektrik ve ısı enerjisi satış gelirleri yanında, hariçten kabul edilen mezbaha atıkları, arıtma çamurları, yemekhane atıkları v.b atıklardan alınan bertaraf ücreti gelirleri de büyük önem taşımaktadır. Özellikle hariçten kabul edilen atıklardan elde edilen gelirin büyüklüğü yatırımın fizibilitesini ciddi oranda etkilemektedir. İlk yaklaşımda günde ~20t civarında harici atık (özellikle AAT çamurları ve endüstriyel proses atıkları) kabulü esas alınmıştır.

Suluova Besi OSB’de kurulması planlanan 10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli merkezi biyometan tesisinden elde edilmesi beklenen başlıca gelirler aşağıdaki Tablo 6.2’de özetlenmiştir:

Tablo 6.2. Suluova merkezi biyometan tesisi geliri (10.000 BBH’lık modül; %8 KM içeren 310 m³/gün’lük atık)

Atık Toplama Geliri (\$/yıl)	114.063
Harici Atık Bertaraf Geliri (\$/yıl) * (50 \$/t ücret üzerinden)	365.000
Elektrik Satışı Geliri (%100 teşvikle ≈0,2 \$/kW-h bedel üzerinden)	981.312
Isı Enerjisi Satışı Geliri (\$/yıl)	104.200
Katı Gübre Satışı (\$/yıl) (%70 KM’li 10 \$/t birim fiyatla)	72.498
Toplam Gelir (\$/yıl)	1.637.072

* kabul edilen harici atığın biyometan enerji maliyeti hariç olmak üzere

Tablo 6.2’den de görüldüğü üzere yıllık brüt gelirin ≈1.640.000 \$ civarında olması beklenmektedir.

6.3. Tesisin Başlıca Giderleri

Suluova merkezi biyometan tesisinin (10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli) başlıca giderleri de aşağıdaki Tablo 6.3’de özetlenmiştir.

Tablo 6.3. Suluova Merkezi Biyometan Tesisi Giderleri (10.000 BBH, %8 KM’li 310 m³/gün’lük atık)

Yıllık Yatırım Maliyeti (\$/yıl) (Faiz + Amortisman = %8, Mekanik Ekipman / Donanım Ömrü = 10 yıl, Yapıların U. Ömrü = 20 yıl)	328.640
Yönetim Giderleri (\$/yıl)	57.031
Mühendis/İşçi (Personel) Giderleri (\$/yıl)	94.672
Yıllık Bakım Sözleşmeleri (\$/yıl)	57.031
Tesis İçi Elektrik Enerjisi Gideri (\$/yıl)	73.598
Laboratuvar Giderleri (\$/yıl)	8.000
Atık Toplama Giderleri (\$/yıl)	79.884
Diğer Giderler (\$/yıl)	10.000
Toplam İşletme Maliyeti (\$/yıl)	380.176

Buna göre toplam yıllık işletme maliyetinin ≈ 380.000 \$/yıl civarında olması beklenmektedir.

6.4. Fizibilite Analizi

Daha önce verilen gelir/gider tutarları dikkate alındığında Suluova Merkezi Biyometan Tesisi (10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli) yıllık toplam maliyeti ve gelirleri sırasıyla 708.817 \$/yıl ve 1.637.072 \$/yıl olup ≈ 997.933 \$/yıl’lık bir net gelir gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu durumda yatırımın geri ödeme süresi:

$6.566.806 / 928.255$ \$/yıl = 7,1 yıl (yıllık ortalama sıcaklık üzerinden)

olacaktır. Yatırımın kredisi faiz oranı %8 yerine %5 olduğu takdirde geri ödeme süresi 5,2 yıla düşmektedir. Suluova Merkezi Biyometan Tesisi yatırımının kredi faiz oranları ile yatırım hibesi ve yenilenebilir enerji teşviki yüzdelere göre hassasiyet analizi sonuçları Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’de verilmiştir. Tablolardan da görüldüğü üzere, Avrupa Birliği ülkeleri uygulamalarına benzer olarak, Merkezi Biyometan (Atıktan Biyogaz Enerjisi) üretimini mümkün kılan bu tür projelere %40 düzeyinde bir yatırım hibesi ile %100’den az olmayan bir yenilenebilir enerji teşviki uygulaması gerekmektedir. Bu takdirde, iyi bir işletmecilikle, harici atık kabulü ve enerji geri kazanımı maksimize edilerek, Merkezi Biyometan Tesisleri yatırımının 5 yıldan daha kısa sürede kendini geri ödemesi sağlanmak suretiyle özel sektörün Yap-İşlet-Devret Modeli ile projeye ilgisi çekilebilir.

Suluova Besi OSB’de kurulacak olan merkezi biyometan tesisin kapasitesi 10.000 yerine 35.000 BBH atığını arıtacak büyüklüğe yükseltildiğinde toplam ilk yatırımın (bazı birimlerin ortak ve daha verimli kullanımı sonucu) $\approx$ %20-25 oranında azalması beklenmektedir. Bu durumda toplam ilk yatırım bedelinin takriben;

$$(1 - 0,20) \times 3,5 \times 5.374.623 = 15.048.944 \approx 15 \times 10^6 \$ (11,5 \times 10^6 €)$$

olması beklenir. İlk etapta 2×10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli 2 modül yapımı halinde gerekli ilk yatırım maliyeti de $\sim 8,6 \times 10^6$ \$ ($6,6 \times 10^6$ €) olacaktır.

Tablo 6.4. Yatırım geri ödeme sürelerinin, ilk yatırım ve enerji teşviki oranları ile değişimi (%8’lik faiz oranı için)

Yatırım teşviki (%)	Enerji teşviki (%)					
	0	20	50	100	120	150
0	139,5-36,8	58,1-32	31-17	17,4-9,6	14,8-8,2	12,1-6,7
20	35,5-18,7	24,9-13,1	17,2-9	11,3-6	10-5,2	8,5-4,5
30	23,7-12,1	18-9,2	13,3-6,8	9,2-4,7	8,2-4,2	7-3,6
40	16,8-8,3	13,4-6,9	10,3-5,1	7,5*-3,7*	6,7-3,3	5,8-2,9

(*) Hesaplamalarda yıllık ortalama sıcaklıklar esas alındığında, tablodaki süreler 0,2-0,4 yıl daha kısa olmaktadır.

Tablo 6.5. Yatırım geri ödeme sürelerinin, ilk yatırım ve enerji teşviki oranları ile değişimi (%5'lik faiz oranı için)

Yatırım teşviki (%)	Enerji teşviki (%)					
	0	20	50	100	120	150
0				11,8-8		
20				8,1-5,3		
30				6,7-4,3		
40				5,4*-3,4*		

(*) Hesaplamalarda yıllık ortalama sıcaklıklar esas alındığında, tablodaki süreler 0,2 yıl daha kısa olmaktadır.

6.5. Yönetim ve Finansman Seçenekleri

Türkiye'deki benzer uygulamalar için bir örnek olmak üzere, Suluova Besi OSB'de kurulması planlanan ve ilk aşamada 2×10.000 Büyük Baş Hayvan (BBH) atığını arıtma kapasiteli Merkezi Biyometan Tesisi yatırımının hayata geçirilebilmesi için Suluova Besiciler Birliği (SBB) tarafından aşağıdaki yönetim ve finansman seçeneklerinin uygulanabileceği düşünülmektedir:

a) Yatırım ve İşletmenin SBB tarafından yapılması:

Bu seçenekte, Suluova MBT için gerekli yatırım, uzman bir müşavir mühendislik firması desteği ile SBB tarafından yapıldıktan sonra MBT'nin işletmesi bu alanda uzman bir özel Firma'ya, işlenen atığın m³'ü başına belirlenecek bir bedel karşılığı (tesisten elde edilen gelir SBB'ne ait olmak üzere) asgari 5-7 yıldan az olmayan bir süre üzerinden ihale edilebilir. Tesisten elde edilen gelir; yönetim ve yıllık yatırım giderleri düşüldükten sonra SBB üyelerine belli bir esasa göre dağıtılabilir.

b) Yatırım ve İşletmenin Yap-İşlet-Devret (YİD) Modeline göre özel sektör eliyle yaptırılması:

Bu seçenekte, Suluova MBT'nin yatırım ve ≈ 20 yıl süreyle işletimi SBB tarafından YİD modeline göre Özel Sektör eliyle gerçekleştirilebilir. Bu seçeneğin uygulanması halinde, SBB'nin yatırımcı firmaya yıllık asgari bir miktar üzerinden atık temin garantisi ile üretilen elektrik ve ısı enerjisinin belli miktarlar üzerinden satın alınma (Türkiye Elektrik Üretim A.Ş tarafından) v.b. garantilerin verilmesi gerekecektir. YİD modelinde, yatırımcı firma yatırım bedeli için T.C Hazinesi veya Banka Teminatı da isteyebilir. MBT yatırımı geri ödeme süresinin 5 yıl ve altına düşmesi halinde YİD modelinin mutlaka düşünülmesi gerekmektedir.

c) Yatırım ve İşletmenin SBB, Amasya İl Özel İdaresi ve özel şirket ortaklığı ile kurulacak bir anonim şirket eliyle yaptırılması:

Yatırımın SBB, Amasya İl Özel İdaresi ve özel sektör ortaklığı ile kurulacak bir anonim şirketi tarafından finanse edilmesi, işletmenin ise tamamen, özel sektör eliyle gerçekleştirilerek yatırıma ortak enerji ve ısı satışı ile karbon ticareti sonucu elde edilecek gelirin şirket ortakları arasında paylaşımı da diğer bir seçenek olarak düşünülebilir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Suluova Besiciler Birliği (SBB) tarafından Suluova (Amasya) Besi OSB bünyesinde tahsis edilen bir alanda kurulması planlanan ve nihai durumda her biri 10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli $3 \times \frac{1}{2}$ modülden oluşan Merkezi Biyometan Tesis (MBT) Projesi ile ilgili olarak Biosfer Danışmanlık ve Mühendislik Ltd. ve İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nce hazırlanan bu Fizibilite Raporu sonunda öne çıkan başlıca hususlar ve bu konudaki öneriler aşağıda özetlenmiştir:

- a) Merkezi Biyometan Tesis yatırımlarının fizibil olabilmesi için Türkiye'de de AB ülkelerinde uygulandığı üzere, $\approx$ %40 düzeyinde bir yatırım hibesi ile bu tesislerde geri kazanılacak yenilenebilir elektrik enerjisinin asgari 15 yıl piyasa fiyatının $\approx$ %100 fazlasına satın alınma garantisi (Yenilenebilir Enerji teşviki) sağlanmalıdır. Bu yüzden, Küçük Hidroelektrik Santraller ve Rüzgar Santralleri düşünülerek hazırlanmış olan mevcut Yenilenebilir Enerji teşviki Mevzuatında, organik atıklardan Biyometan Enerjisi Geri Kazanım Tesislerine özgü olarak yukarıda belirtilen nitelikte bir düzenleme yapılmalıdır.
- b) Büyükbaş Hayvan atıklarının, tek başına veya tercihen diğer organik atıklarla birlikte Merkezi Biyometan Tesislerinde arıtılarak yenilenebilir enerji ve organik gübre geri kazanımı özellikle hayvan sayısının 400 ve üzerinde olduğu durumlarda fizibil olmaktadır. Bu yüzden atık yönetiminde işletme büyüklüğünün artırılması, Besi OSB'lerde bir araya gelme v.b. seçeneklerinin geliştirilmesi önem kazanmaktadır.
- c) SBB için Besi OSB'de kurulacak 10.000 BBH atığı arıtma kapasiteli bir MBT Projesi fizibilite analizi sonunda, böyle bir tesis için $\approx$ 5.375.000 \$'lık ilk yatırım gerektiği, tesisin yıllık net gelirinin $\approx$ 930.000 \$ ve yatırım geri ödeme süresinin (%5 faizle yatırım kredisi halinde) $\approx$ 5 yıl civarında olduğu görülmüştür. Harici atık arıtım oranındaki artışa bağlı olarak tesisin karlılığı hızla arttığı için, bu tür tesislerde ücreti karşılığı arıtılan diğer sektör organik atıklarının (yemekhane ve mezbaha atıkları ile arıtma çamurları v.b) arttırılması ve ayrıca elde edilen katı/sıvı organik gübrenin etkin kullanımının temini önem taşımaktadır. (Harici atık miktarının 30 t/gün (kapasitenin $\sim$ %10'u) olması halinde, geri ödeme süresi 7,1 yıldan 5,4 yılda düşmektedir.)
- d) Belli bir kapasitenin üzerindeki MBT'i Projelerinin YİD Modeli ile özel sektör eliyle gerçekleştirilmesi mümkün görülmektedir.
- e) Organik atıkların, bu projedekine benzer MBT'inde arıtılarak yenilenebilir enerji geri kazanımı, ciddi kirlenme ve sera gazı salınımı riski taşıyan söz konusu atıkların sürdürülebilir yönetimi bakımından çok cazip bir seçenek oluşturmakta olup, Kyoto Protokolü yenilenebilir enerji hedeflerinin sağlanmasına dönük küresel eğilim ve politikalarla da uyumludur.

KAYNAKLAR

- AbPR (2003). The Animal By-Products Regulations. Date: 01.07.2003, No: 1482.
- AÇDR (2007). T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Amasya İl Müdürlüğü, Amasya İli Çevre Durum Raporu, Amasya 2007.
- Ahring, B. K. (2002). Perspective for Aaerobic Digestion, Adv. in Biochemical Engineering/Biotechnology, T. Scheper (ed), vol 81, 2-30
- Angelidaki, I. and Ellegard, L. (2003). Codigestion of Manure and Organic Wastes in Centralized Biogas Plants. Applied Biochemistry Biotechnology, 109, 95-105
- Bilek, A. (2005). Simpler Digester Systems for Smaller Dairies, Biocycle, November, 34-36
- Çamur, S. (2007). Suluova (Amasya) Besi Organize Sanayi Bölgesi Mevzi İmar Planı Açıklama Raporu.
- Deublein, D and Steinhauser, A. (2008). Biogas from Waste and Renewable Resources, Wiley-VCH Verlag.
- DIAFE (1999). Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics. Centralised Biogas Plants
- EWP (2006). The Energy White Paper. Date: 23.05.2007.
- Hobson, P.N. and Robertson, A.M. (1977). Waste Treatment in Agriculture. Applied Science Publishers Ltd.
- Holm-Nielsen J.B. and Al Seadi, T. (2006). Manure-based biogas systems - Danish experience. Resource Recovery And Reuse in Organic Solid Waste Management. Lens, P., Hamelers, B., Hoitink, H., Bidlingmaier, W. (ed), IWA Publishing, London
- Jewell, W.J. and Loehr, R.C. (1977). Energy Recovery from Animal Wastes: Anaerobic Digestion, Pyrolysis, Hydrogenation (in animal wastes edited by E.P. Taiganides).
- LD (1999). Council Directive on the Landfill of Waste. Date: 26.04.1999, No: 1999/31/EEC.
- Moller, H.B., Sommer S.G., and Ahring B.K. (2004). Methane Productivity of Manure Straw and Solid Fractions of Manure. Biomass and Bioenergy, vol 26, pg 485-495.
- Nichols, C.E. (2004). Overview of Anaerobic Digestion Technologies in Europe, Biocycle, January, 47-53.
- Nielsen, B.S. (2007). European and Danish Biogas Experiences. Advances in Pork Production, vol 18, pg. 237.
- Öztürk, İ. (2007). Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları, Su Vakfı Yayını.
- Polprasert, C. (1989). Organic Waste Recycling John Wiley & Sons.
- Taiganides, E. Paul (1977). Animal Wastes. Applied Science Publishers Ltd.

Tikalsky, S.M. and Mullins P.A. (2007). Evaluating Experiences with On-Farm Anaerobic Digesters, Biocycle, January, 41-45

TÜBİTAK MAM, İTÜ Çevre Müh. Böl., GOP Üniv. Ziraat F. (2008). Hayvansal Atık Yönetimi Projesi, TÜBİTAK 1007 KAMAG Programı, Proje No: 10bG026, Proje Gelişme Raporu No:2.

Türker, M. (2008). Anaerobik Biyoteknoloji ve Biyoenerji Üretimi, ÇEVKOR Vakfı Yayını.

Wellinger, A. (1999). Process Design of Agricultural Digesters, AD METT

EKLER

**EK I. SULUOVA İLÇESİ'NDE BESİ HAYVANCILIĞI
İŞLETME DURUMLARI**

EK II. 1/25000 ÖLÇEKLİ SULUOVA İMAR PLANI

EK III. SULUOVA BESİ OSB MEVZİ İMAR PLANI

**EK IV. SULUOVA (AMASYA) BESİCİLER BİRLİĞİ BESİ OSB
MERKEZİ BİYOMETAN TESİSİ GENEL YERLEŞİM PLANI**

**EK V. SULUOVA (AMASYA) BESİCİLER BİRLİĞİ
BESİ OSB MERKEZİ BİYOMETAN TESİSİ HİDROLİK AKIM ŞEMASI**

EK VI. GERİ KAZANIM TESİSİ PROSES HESAPLARI ÖZETİ

ATIK ÖZELLİKLERİ

Hayvan tipi	Büyük Baş
Hayvan adedi	10000
Islak atık miktarı (kg/N.gün)	25
Katı madde içeriği (%)	10%
Uçucu katı madde içeriği (%)	80%
Islak Atık Miktarı (ton/gün)	250
Atığın yoğunluğu (kg/m ³)	1,012
Islak Atık Hacmi (m ³ /gün)	247
Katı Madde Miktarı (ton/gün)	25
Uçucu Katı madde Miktarı (ton/gün)	20

TAM KARIŞIMLI REAKTÖR

Seyreltme suyu KM içeriği (%)	0
Seyreltme suyu KM miktarı (kg/gün)	0
Reaktör KM içeriği (%)	0,08
Seyreltme Suyu Hacmi (m ³ /gün)	63
Toplam Giriş Debisi (m ³)	310
Reaktör Hidrolik Bek. Süresi (gün)	35
Reaktör Etkili Hacmi (m ³)	10833
Hacimsel Yükleme Hızı (kg UKM/m ³ .gün)	1,8

ÇÜRÜTÜCÜNÜN GEOMETRİK TASARIMI

Reaktör adedi	4
1 Reaktörün Etkili Hacmi (m ³)	2708
Çap/Yükseklik Oranı	0,22
Reaktör Çapı (m)	25,0
Reaktör Yüksekliği (m)	5,5
Reaktör Alanı (m ²)	492
Köpük Bölgesi Yüksekliği (m)	1
Köpük Bölgesi Hacmi (m ³)	492
Gaz toplama Bölmesi Hacmi (m ³)	2626
Taban eğimi	0,17
Çamur toplama Bölmesi Derinliği (m)	2,1
Çamur toplama Bölmesi Hacmi (m ³)	342
Toplam Reaktör Hacmi (m ³)	6168

ÇAMUR ÜRETİMİ

UKM Giderme Verimi (%)	0,5
Reaktörden Üretilen UKM (kg/gün)	294
Reaktörden Üretilen KM (kg/gün)	368
Reaktörden Çıkan UKM (kg/gün)	10294
Reaktörden Çıkan KM (kg/gün)	15294
Reaktör Çıkışında KM oranı (%)	4,9%
Reaktör Çıkışında UKM/TKM (%)	67%
Dekantör KM tutma verimi (%)	95%
Dekantörde tutulan KM miktarı (kg/gün)	14529
Katı akımda KM oranı (%)	25%
Katı akım debisi (m ³ /gün)	56
Sıvı akım debisi (m ³ /gün)	254
Katı gübre içinde KM oranı (%)	70%
Katı gübre miktarı (t/gün)	20

BİYOGAZ ÜRETİMİ TAHMİNLERİ

UKM giderimine göre (m ³ /gün)	9000		
Moller vd. (2003) göre (m ³ /gün)	4615		
Danimarka Merk. Biy. Tesisleri (m ³ /gün)	5000		
KOİ eşd. cinsinden UKM gid. göre (m ³ /gün)	7646		
Ort. Biyogaz (m ³ /gün)	6565		
Ort. Metan (m ³ CH ₄ /gün)	4268		
Emniyet faktörü	0,9		
Emniyetli Metan Debisi (m ³ CH ₄ /gün)	3841		
Motor elektrik verimi (E _{elektrik} , %)	0,35		
Motor ısı verimi (E _{ısı} , %)	0,45		
N _{elektrik} (kW-sa)	13443	560	kW
N _{ısı} (kW-sa)	17283	720	kW
N _{top} (kW-sa)	30726	1280	kW

REAKTÖRLERİN KARIŞTIRILMASI

Mekanik karıştırma (kW/m ³)	0,006
Mekanik karıştırıcı gücü (kW/reaktör)	16
Sıkıştır. gaz geri devri (m ³ /m ³ .dakika)	0,006
Sıkıştır. gaz geri devri (m ³ /reaktör.dakika)	16

REAKTÖRLERİN ISITILMASI

Hava sıcaklığı (°C)	13,5
Toprak sıcaklığı (°C)	15
Beslenen çamurun sıcaklığı (°C)	15
İşletme sıcaklığı (°C)	35
Çamurun spesifik ısısı (J/kg.°C)	4200
Ham çamuru ısıtmak için gerekli enerji (J/gün)	2,60E+10
Hava için ısı transfer katsayısı (W/m².°K)	50
Su için ısı transfer katsayısı (W/m².°K)	500
Toprak için ısı transfer katsayısı (W/m².°K)	5
Karbon çelik için termal ilet. kats. (W/m.°K)	54
Cam yünü için termal ilet. kats. (W/m.°K)	0,04
HDPE membran için termal ilet. kats. (W/m.°K)	0,47
Beton için termal ilet. kats. (W/m.°K)	1,7
Çürütücü Çatısı için Isı Kaybı	
HDPE membran (mm)	5
Cam yünü ısı yalıtımı (mm)	10
Toplam ısı transfer katsayısı	3,54
Çürütücülerin toplam çatı alanı (m²)	2755
Çürütücü çatısında oluşan toplam ısı kaybı (W)	27545
Çürütücü Yan Yüzeyleri için Isı Kaybı	
Betonarme (mm)	400
Cam yünü ısı yalıtımı (mm)	80
Toplam ısı transfer katsayısı	0,44
Çürütücülerin toplam yanyüzey alanı (m²)	2046
Çürütücü yanyüzeyinde oluşan toplam ısı kaybı (W)	19487
Çürütücü Tabanı için Isı Kaybı	
Karbon çelik levha (mm)	20
Beton (mm)	1000
Toplam ısı transfer katsayısı	1,26
Çürütücülerin toplam taban alanı (m²)	1995
Çürütücü tabanında oluşan toplam ısı kaybı (W)	50459
Toplam Isı Kaybı (W)	97491
Isı kayıpları için emniyet faktörü (%)	0,25
Toplam Isı Gereksinimi (J/gün)	3,65E+10

423	kW
-----	----

**EK VII. AMASYA METEOROLOJİ İSTASYONU
GÖZLEM KAYITLARI, 1975–2007**

AMASYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 - 2006)											
Ortalama Sıcaklık (°C)	2.8	4.3	8.1	13.5	17.6	21.4	24.0	23.7	20.0	14.4	8.2	4.4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	7.0	9.3	14.1	20.2	24.7	28.5	30.9	31.0	27.7	21.5	14.0	8.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0.9	-0.3	2.4	7.0	10.6	13.8	16.3	16.1	12.5	8.1	3.4	0.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.1	3.1	4.6	5.8	7.4	9.0	9.8	9.3	7.7	5.0	3.1	1.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.8	10.7	12.2	13.3	12.7	8.4	4.3	3.4	5.0	7.9	9.7	12.2
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 - 2007)											
En Yüksek Sıcaklık (°C)	21.3	24.1	31.2	35.8	37.5	41.8	45.0	41.3	40.3	36.0	29.7	22.9
En Düşük Sıcaklık (°C)	-17.2	-20.4	-15.3	-5.1	-0.1	4.8	8.5	8.8	3.0	-2.7	-5.6	-12.7

En Çok Yağış	03.07.1981	60.9 kg/m ²	En Hızlı Rüzgar	24.09.1996	129.6 km/sa	En Yüksek Kar	24.02.1983	35.0 cm
---------------------	------------	------------------------	------------------------	------------	-------------	----------------------	------------	---------

EK VIII. EKİPMAN LİSTESİ

SULUOVA BİYOGAZ TESİSİ EKİPMAN LİSTESİ

1. KATI ATIK HAZIRLAMA SİSTEMİ

1.1 EKİPMAN VE ÜNİTELER

1.1.1 İnce Izgara (S-101)

Miktar	: 1 adet
Kapasite	: 25 m ³ /h
Malzeme	: Paslanmaz çelik

1.1.2 Dengeleme Havuzu (V-101)

Miktar	: 1 adet
Kapasite	: 500 m ³
Malzeme	: Betonarme
Özellikler	: Epoksi yüze koruma, üzeri kapalı

1.1.3 Dengeleme Havuzu Karıştırıcısı (K-101)

Miktar	: 1 adet
Tip	: Dalgıç veya türbin
Motor	: 7,5 kW
Malzeme	: Gövde döküm, mil ve pervane paslanmaz çelik
Elemanları	: Kaldırma aparatı, kılavız ray

1.1.4 Hat Tipi Parçalayıcı (SC-101)

Miktar	: 1 adet
Tip	: Hat tipi maseratör
Debi	: 25 m ³ /h
Motor	: 2,2 kW
Malzeme	: Galvaniz kaplı karbon çelik
Özellikler	: Tıkanmaya karşı ters yöne dönüş koruma sistemi

1.1.5 Besleme Pompaları (PP-101 A/B)

Miktar	: 2 adet
Tip	: Eksantrik vidalı pompa
Debi	: 20 m ³ /h
Basınç	: 2 bar
Motor	: 3 kW
Özellikler	: Frekans invertörü ile debi ayarlı
Elemanları	: Boru ve vana donanımı,

1.2 ENSTRÜMANLAR

1.2.1 Seviye Transmitteri (LIT)

Miktar	: 1 adet
Tip	: Ultrasonik ve kapasitif
Sinyal	: 4 – 20 mA
Servis	: Dengeleme havuzu

1.2.2 Debimetre (FIC-01)

Miktar	: 4 adet
Tip	: Elektromanyetik
Sinyal	: 4 – 20 mA
Servis	: Atık besleme hatları

2. ANAEROBİK KATI ATIK ÇÜRÜTME SİSTEMİ

2.1 EKİPMAN VE ÜNİTELER

2.1.1 Isıtma Sistemi (E-201 A/B/C/D)

Miktar	: 4 adet
Tip	: Reaktör içi boru tip
Sıcak akışkan	: Sıcak su
Soğuk akışkan:	Reaktör içeriği
Malzeme	: Paslanmaz çelik

2.1.2 Anaerobik Reaktör (V-201 A/B/C/D)

Miktar	: 4 adet
Tip	: Silindirik
Kapasite	: 2.500 m ³
Çap	: 25 m
Toplam yükseklik	: 6 m
Islak yükseklik	: 5,5 m
Malzeme	: Betonarme
Yüzey koruma	: Biyogaz ile temas eden kısımlarda korozyona koruması
Isı izolasyonu	: Dış kısımda taşıyünü + alüminyum saç ısı izolasyonu
Elemanları	: Aşırı basınç – vakum emniyet vanası, basınç regülatörü

2.1.3 Anaerobik Reaktör Karıştırıcısı (K-201 A/.../H)

Miktar	: 4 adet
Tip	: Side entry veya top-entry tip
Motor	: 18 kW
Malzeme	: Mil epoksi korumalı karbon çelik, pervane paslanmaz

2.1.4 Hava Blowerı (C-202 A/.../D)

Miktar	: 4 adet
Tip	: Side channel
Motor	: 0,75 kW

Motor koruma	: Ex-proof
Servis	: Reaktör içi H ₂ S giderimi

2.1.5 Biyogaz Deposu (T-201 A/.../D)

Miktar	: 4 adet
Tip	: Double Membrane tip
Debi	: 2.600 m ³
Basınç	: 20 mbar
Elemanları	: Hava bloweri (C-201 A/B)

2.2 ENSTRÜMANLAR

2.2.1 Sıcaklık transmitteri (TIC)

Miktar	: 4 adet
Sinyal	: 4 – 20 Ma

2.2.2 Seviye Sensörü (LIT)

Miktar	: 4 adet
Tip	: Armut veya şamandıra tip
Sinyal	: NO kontak

2.2.3 Biyogaz debimetresi (FIC)

Miktar	: 4 adet
Tip	: Biyogaz debimetresi
Sinyal	: 4 – 20 mA
Servis	: Biyogaz hattı

2.2.4 Basınç Transmitteri (PIC)

Miktar	: 4 adet
Tip	: Biyogaz debimetresi
Sinyal	: 4 – 20 mA
Servis	: Biyogaz hattı

2.2.5 Üç-yollu Otomatik Oransal Vana

Miktar	: 4 adet
Sinyal	: 4 – 20 mA
Servis	: Reaktör hattı sıcak su hattı

3. KO-JENERASYON SİSTEMİ

3.1 EKİPMAN VE ÜNİTELER

3.1.1 Nem Tutucu (S-301)

Miktar	: 1 adet
Tip	: Dolgu malzemeli
Kapasite	: 300 m ³ /h

3.1.2 Biyogaz Bloweri (C-303)

Miktar	: 1 adet
Tip	: Santrijüj veya lobe tipi
Basınç	: 150 mabr
Kapasite	: 300 m ³ /h
Motor	: 3 kW, ex-proof
Malzeme	: Döküm alüminyum

3.1.3 Flare (F-301)

Miktar	: 1 adet paket ünite
Tip	: Açık tip, otomatik ateşlemeli
Kapasite	: 350 m ³ /h
Malzeme	: Paslanmaz çelik
Elemanları	: Alev tutucu, elektrik panosu, pilot brülör sistemi ile komple

3.1.4 Ko-jenerasyon Ünitesi (J-301)

Miktar	: 1 adet
Tip	: İçten yanmalı biyogaz jeneratörü
Kapasite	: 300 m ³ /h
Elektrik enerjisi verimi	: % 38
Isı enerjisi verimi	: % 41
Elektrik üretim kap.	: 716 kW
Sıcaklık üretim kap.	: 740 kW

Elemanları : Gaz kurutucusu, baca, soğutma ünitesi, gövde ve baca gazı eşanjör sistemleri, hava filtresi, soğutma radyatörü, biyogaz ölçüm ve analiz cihazları ile komple

3.1.5 Sıcaksu Pompası (PP-301)

Miktar : 1 adet
Tip : Hat tipi
Debi : 20 m³/h
Basınç : 2 bar
Motor : 2,2 kW
Servis : Reaktör ısıtma hattı

4. FERMENTE GÜBRE SEPARASYON SİSTEMİ

4.1 EKİPMAN VE ÜNİTELER

4.1.1 Dekantör Besleme Pompası (PP-401 A/B)

Miktar	: 2 adet
Debi	: 15 m ³ /h
Basınç	: 2 bar
Motor	: 3 kW

4.1.2 Dekantör (F-401 A/B)

Miktar	: 2 adet
Tip	: Santrifüj dekantör
Kapasite	: 15 m ³ /h
Katı madde debisi	: 1.000 kg/h
Motor	: 37 kW

4.1.3 Katyonik Polimer Hazırlama Ünitesi (T-401)

Miktar	: 1 adet
Kapasite	: 2.000 lt/hr

4.1.4 Polimer Dozaj Pompası (PD-401)

Miktar	: 1 adet
Kapasite	: 2.000 lt/hr

EK IX. EKONOMİK ANALİZ

YATIRIM MALİYETİ

Toplam Yatırım Maliyeti (\$)	3.224.774
Yapı Maliyeti (\$)	3.220.750
Ekipman Maliyeti (\$)	4.024
Ekipman Maliyeti (Devlet hib. tut.(\$))	2.149.849
Yapı ömrü (yıl)	20
Ekipman ömrü (yıl)	10
Faiz+Amortisman	0,08
Yapı için sermaye ödeme faktörü	0,102
Ekipman için sermaye ödeme faktörü	0,149
Yıllık yapı maliyeti (\$/yıl)	328.041
Yıllık ekipman maliyeti (\$/yıl)	600
Yıllık Yatırım Maliyeti (\$/yıl)	328.640

İŞLETME MALİYETİ

Birim yönetim maliyeti (\$/ton)	0,5
Toplam yönetim maliyeti (\$/yıl)	57.031
Birim işçi maliyeti (\$/ton atık)	0,83
Toplam işçi maliyeti (\$/yıl)	94.672
Birim bakım kontratı maliyeti (\$/atık)	0,5
Toplam bakım kontratı maliyeti (\$/yıl)	57.031
Birim su fiyatı (\$/m ³)	1
Su tüketimi (m ³ /yıl)	0
Toplam su maliyeti (\$/yıl)	0
Birim elektrik fiyatı (\$/kW-sa)	0,1
Tesis içi elektrik kullanım oranı	0,15
Tesis içinde tüketilen elektrik (kW-sa)	2016
Toplam elektrik maliyeti (\$/yıl)	73.598
Atık yönetimi lisansları maliyeti (\$/yıl)	3000
Laboratuar giderleri (\$/yıl)	5000
Birim atık toplama maliyeti (\$/ton atık)	0,7
Toplam atık toplama maliyeti (\$/yıl)	79.844
Diğer giderler (\$/yıl)	10.000
Toplam İşletme Maliyeti (\$/yıl)	380.176

GELİRLER

Birim atık toplama ücreti (\$/ton atık)	1
Toplam atık toplama ücreti (\$/yıl)	114.063
Diğer atıklar için birim atık bertaraf ücreti (\$/ton)	50
Diğer atıkların miktarı (ton/gün)	20
Diğer atıklar için toplam bertaraf ücreti (\$/yıl)	365000
Birim elektrik fiyatı (\$/kW-h)	0,1
Yenilenebilir enerji teşviki oranı	1
Yıllık Elektrik Geliri (\$/yıl)	981.312
Birim ısı enerjisi fiyatı (\$/kW-sa)	0,04
Fazla ısı miktarı (kW-sa)	7137
Yıllık Isı Enerjisi Geliri (\$/yıl)	104.200
Birim katı gübre fiyatı (%70 KM'li) (\$/m ³)	10,0
Toplam gübre satış geliri (\$/yıl)	72.498
Toplam Gelir (\$/yıl)	1.637.072

TEŞVİKLER

Toplam yatırım indirimi (Devlet hibesi)	0,4
Ekipman üzerinden yatırım indirimi (Devlet hibesi)	1,00

EKONOMİK ANALİZ

Yatırım Maliyeti (Faiz+amortisman dahil) (\$)	6.566.806
Yatırım Maliyeti (Faiz+amortisman hariç) (\$)	3.224.774
İşletme Maliyeti (\$/yıl)	380.176
Yıllık Toplam Maliyet (\$/yıl)	708.817
Toplam Gelir (\$/yıl)	1.637.072
Net Gelir (\$/yıl)	928.255
Geri Ödeme Süresi (faiz+amortisman dahil) (yıl)	7,1
Geri Ödeme Süresi (faiz+amortisman hariç) (yıl)	3,5