EÜ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EGE ÜNİVERİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL BAZLI BİYOMETAN ÜRETİMİ HESAP ve EKONOMİK FİZİBİLİTE ARACI GELİŞTİRİLMESİ

Erdem Sefa ŞAHİN

Tez Danışmanı : Prof Dr. Nuri AZBAR

Biyomühendislik Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 15.05.2017

Bornova-İZMİR

2017

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

TARIMSAL BAZLI BİYOMETAN ÜRETİMİ

HESAP ve EKONOMİK FİZİBİLİTE

ARACI GELİŞTİRİLMESİ

Erdem Sefa ŞAHİN

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nuri AZBAR

Biyomühendislik Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi : 15.05.2017

Bornova-İZMİR

2017

Erdem Sefa ŞAHİN tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan "Tarımsal Bazlı Biyometan Üretimi Hesap ve Ekonomik Fizibilite Aracı Geliştirilmesi" başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 15.05.2017 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri: **İmza**

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Nuri AZBAR .....

Raportör Üye: Prof. Dr. Murat ELİBOL .....

Üye: Prof. Dr. Ayşe FİLİBELİ .....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

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

15/05/2017

Erdem Sefa ŞAHİN

Özet

Tarımsal Bazlı Biyometan Üretimi

Hesap ve Ekonomik Fizibilite Aracı Geliştirilmesi

ŞAHİN, Erdem Sefa

Yüksek Lisans Tezi, Biyomühendislik ABD.
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nuri AZBAR
Mayıs 2017, 130 sayfa

Anaerobik çürütme, organik içeriği yüksek ham maddelerin oksijensiz koşullarda farklı türdeki mikroorganizmalar ile fermante olması olarak tanımlanmaktadır. Son yıllarda gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacın nedeni ile bu süreç sonunda ortaya çıkan biyogaz ve biyogaz kompostu yatırımcıların ilgi odağı haline gelmiştir. Bu çıktılarda biyogaz, büyük miktarının metan ve karbondioksitten oluşan kalorifik değeri oldukça yüksek bir gaz karışımıdır. Diğer yanda, biyogaz kompostu, gerçekleşen fermantasyon sonucunda içerisindeki patojenite değerleri düşürülmüş ve yapısındaki yüksek mineral kompozisyonu sayesinde bitki büyüme düzenleyici olarak kullanılabilecek değerli bir kaynaktır. Yüksek çıktı değerine sahip bu sistemlerin tasarımında yatırımcıyı doğru yönlendirmek ve ülkemiz şartlarındaki atıkların değerlendirilmesi anlamında Microsoft Excel tabanlı bir hesap aracının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Söz konusu hesap aracı tasarımı düşünülen biyogaz sistemine beslenecek olan atık miktarı girilmesi ile elde edilecek gaz miktarını, sistem kurulu gücünü, yıllara göre nakit akışını ve kaba bir akış şemasını kullanıcıya sunmaktadır.

Anahtar kelimeler*: biyogaz, anaerobik çürütme, biyogaz hesap aracı, ekonomik analiz*

Abstract

Designing A Calculation and Economic Feasibility Tool For Agricultural Based Biomethane Production

SAHIN, Erdem Sefa

MSc, Bioengineering
Supervisor: Prof. Dr. Nuri AZBAR
May 2017, 130 pages

Anaerobic digestion means degradation of organic compounds, which contain high level of organic carbon, by several types of microorganisms under unoxic conditions. Recently, biogas and biogas compost which are produced as result of anaeroibc digestion are on the target of biogas investor bacause of developing technologies and increasing energy requirements. After digestion they can get two important ouptuts, biogas and biogas compost. Biogas is gas mixture with high calorific value, contains mainly methane and carbondioxide. On the other hand, biogas compost is a precious source for plant growth thanks to low pathogen level and high nutrient content. A biogas calculation tool was designed to show energy potential of agricultural waste in Turkey in designing of biogas system. The biogas calculation tool calculates gas production potential, installed plant capacity, yearly cash flow and show a system flow chart for biogas system which is planned to design.

Key words: *biogas, anaerobic digestion, biogas calculation tool, economical analysis*

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince gerekli verilerin sağlanmasında kolaylık gösteren ve özellikle kıymetli görüşlerinden yararlandığım Prof. Dr. Nuri AZBAR'a, yapılan çalışmalar süresince manevi yardımlarını esirgemeyen Filiz Taşçı ve aileme, aynı zamanda tüm Çevre Biyoteknolojisi Laboratuvarı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

Özet i

Abstract ii

TEŞEKKÜR iii

ŞEKİLLER DİZİNİ viii

TABLOLAR DİZİNİ ix

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xi

1 GİRİŞ 1

2 LİTERATÜR ÖZETİ 2

2.1 Biyogazın Türkiye'deki ve Dünya'daki Genel Durumu 2

2.2 Anaerobik Parçalanma ve Ürün Olarak Biyogaz 3

2.3 Biyogazın Çevresel Etkileri 5

2.4 Türkiye'de Biyogaz Potansiyeli 7

2.4.1. Hayvansal Atıklar 7

2.4.2. Tarımsal Atıklar 9

2.4.3. Sanayi Atıkları 13

2.5 Biyogaz Oluşum Reaksiyonları: Anaerobik Parçalanma 14

2.5.1. Hidroliz 16

2.5.2. Asidogenez ve Asetogenez 17

2.5.3. Metanogenez 18

İÇİNDEKİLER (devam)

2.6 Biyogaz Tesisleri İçin Potansiyel Hammaddeler 19

2.6.1. Proteince Zengin Materyaller 19

2.6.2. Karbonhidratça Zengin Substratlar 20

2.6.3. Yağ İçeriği Yüksek Hammaddeler 21

2.7 Anaerobik Çürütme Prosesleri 22

2.7.1. Toplam kuru madde içeriği (ıslak/kuru sistemler) 23

2.7.2. Besleme Modu (kesikli-sürekli) 24

2.7.3. İşletme Sıcaklığı 24

2.7.4. Kademe Sayısı 25

2.8 Anaerobik Kompost 25

2.9 Prosese Etki Eden Parametreler 27

2.9.1. pH 28

2.9.2. Sıcaklık 29

2.9.3. Oksijen Konsantrasyonu 30

2.9.4. Tuz 31

2.9.5. Organik Yüklem Hızı (OLR) 32

2.9.6. Alıkonma Süresi (RT) ve Hidrolik alıkonma süresi (HRT) 34

2.9.7. Karıştırma 35

2.9.8. Ortam Bileşimi 36

İÇİNDEKİLER (devam)

2.10. Hammaddeler Kullanılırken Dikkat Edilecek Olan Noktalar 39

2.11. Sisteme İlavesinin Kontrollü Yapılması Gereken Atıklar..... 42

2.11.1. Distilasyon Atıkları ve Sülfat İçeren Diğer Hammaddeler 42

2.11.2. Hayvansal Atıklar..... 43

2.11.3. Enerji Bitkileri..... 44

2.11.4. Kesimhane Atıkları..... 45

3. METOD 45

3.9. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi 46

3.1.1. Ham Maddeler ve Yoğunlukları..... 46

3.1.2. Toplam Kuru Madde ve Organik Toplam Kuru Madde 48

3.1.3. Volümetrik Biyogaz Üretim Potansiyeli ve Metan İçeriği..... 48

3.2. Hesap Aracı Şablonunun Oluşturulması 49

3.2.1. Biyogaz Üretimi 49

3.2.2. Organik Yükleme Hızı (Organic Loading Rate – OLR):..... 50

3.2.3. Hidrolik Alıkonma Süresi 51

3.2.4. Elektrik Üretimi, Isı Üretimi ve Kurulu Gücün Belirlenmesi..... 51

3.2.5. Ekonomik Analiz..... 53

3.3. Doğrulama 59

3.4. Türkiye'de Farklı Senaryolarda Biyogaz Tesisleri..... 71

İÇİNDEKİLER (devam)

3.4.1. Kötü Senaryolar 72

3.4.2. Ortalama Senaryolar 82

3.4.3. En İyi Senaryolar 93

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 103

5. KAYNAKLAR DİZİNİ 107

6. ÖZGEÇMİŞ 124

7. EKLER 125

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1 Biyogaz üretim süreci ve etkili olan parametreler 5
Şekil 2.2. Anaerobik sürece genel bakış 15
Şekil 2.3. Kullanılan ham maddenin bileşenleri 16
Şekil 2.4. İşletme parameterelerine-yapı malzemesine göre anaerobik sistemler . 23
Şekil 2.5. Patojen giderimi için sıcaklık ve gerekligün arasındaki ilişki 26
Şekil 3.1 Türkiye şartlarına uygun senaryolara genel bakış 72

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo **Sayfa**

Tablo 2.1. Biyogaz ve diğer yakıtların enerji içeriklerinin karşılaştırılması 5
Tablo 2.2. Türkiye'deki büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları 7
Tablo 2.3. Türkiye'deki kanatlı hayvan sayıları 8
Tablo 2.4. Türkiye yüzey alanına göre ekilen ürün çeşidi dağılımı 10
Tablo 2.5. Biyogaz tesissilerinde karşılaşılabilecek olan olası problemler, olası nedenleri ve problemin çözümü..... 40
Tablo 3.1. Hesap aracında yer alan ham madde listesi..... 47
Tablo 3.2. Biyogaz üretimi matematiksel hesaplama yöntemleri..... 49
Tablo 3.3. Tahmini ilk yatırım bedeli kalemleri..... 54
Tablo 3.4. Tesis gelir-gider kalemleri..... 55
Tablo 3.5. Nakit akışı için yapılan gerekli kabuller..... 56
Tablo 3.6. Doğrulama örneği ham maddeleri ve özellikleri..... 59
Tablo 3.7. Hesaplamaların yapılacağı ham madde özellikleri..... 60
Tablo 3.8. Ham maddelerin biyogaz üretim potansiyeli-üretilen metan yüzdesi .. 60
Tablo 3.9. Ham maddelerden üretilen ve biyogaz ve metan hacimleri 60
Tablo 3.10. İlk yatırım tahmini bedeli kalemleri ve maliyetleri..... 62
Tablo 3.11. Hesaplamalar için yapılan kabuller 63
Tablo 3.12. Doğrulama örneği yıllık faiz ödeme miktarı 69
Tablo 3.13. Doğrulama örneği nakit akışı 70
Tablo 3.14. Senaryoda kullanılacak olan ham madde ve özellikleri 71
Tablo 3.15. Senaryo A1 ham madde ile ilgili kabuller..... 72
Tablo 3.16. Senaryo A1 tahmini ilk yatırım maliyetleri..... 73
Tablo 3.17. Senaryo A1 gelir-gider analizi verileri..... 75
Tablo 3.18. Senaryo A1 katı-sıvı gübre değerleri..... 76
Tablo 3.19. Senaryo A2 için ham madde ile ilgili kabuller..... 78
Tablo 3.20. Senaryo A2 tahmini ilk yatırım maliyetleri..... 79
Tablo 3.21. Senaryo A2 gelir-gider analizi verileri..... 80
Tablo 3.22. Senaryo A2 katı-sıvı gübre değerleri..... 81
Tablo 3.23. Senaryo B1 için ham madde ile ilgili kabuller..... 83
Tablo 3.24. Senaryo B1 tahmini ilk yatırım maliyetleri..... 84

TABLOLAR DİZİNİ (devam)

Tablo 3.25. Senaryo B1 gelir -gider analizi verileri 85
Tablo 3.26. Senaryo B1 katı-sıvı gübre değerleri 86
Tablo 3.27. Senaryo B2 ham madde ile ilgili kabuller 88
Tablo 3.28. Senaryo B2 tahmini ilk yatırım maliyeti verileri 89
Tablo 3.29. Senaryo B2 gelir-gider analizi verileri 90
Tablo 3.30. Senaryo B2 katı-sıvı gübre değerleri 91
Tablo 3.31. Senaryo C1 ham madde ile ilgili kabuller 93
Tablo 3.32. Senaryo C1tahmini ilk yatırım maliyetleri 94
Tablo 3.33. Senaryo C1 gelir-gider analizi verileri 95
Tablo 3.34. Senaryo C1katı-sıvı gübre değerleri 96
Tablo 3.35. Senaryo C2 ham madde ile ilgili kabuller 98
Tablo 3.36. Senaryo C2 tahmini ilk yatırım maliyetleri 99
Tablo 3.37. Senaryo C2 gelir-gider analiz verileri 100
Tablo 3.38. Senaryo C2 katı-sıvı gübre değerleri 102

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
η_{CHPU}	Elektrik jenaratörü ısı/elektrik verimi
τ_{metan}	Biyogaz metan yüzdesi

Kısaltmalar

EPDK	Elektrik piyasası düzenleme kurumu
IEA	International Energy Agency
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
DSİ	Devlet Su İşleri
YEK	Yenilenebilir enerji kaynakları
OLR	organik yükleme hızı
HRT	Hidrolik alıkonma süresi
BMP	Biyogaz üretim potansiyeli
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattsaat
KM	Kuru madde
oKM	Organik kuru madde

1 GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte insanoğlunun enerjiye olan ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyacın %80'i karbon kaynaklı fosil yakıtlar aracılığı ile temin edilmektedir. Biyokütle açısından ise bu oranın %14'ü (yaklaşık 1,26 milyon ton petrol eş değerinde) geçmediği gözlenmektedir. Gerçekleştirilen araştırmaların sonucuna göre dünya üzerindeki enerji ihtiyacı geçtiğimiz 30 yıl içerisinde, başta Asya ülkeleri olmak üzere, %40 artmıştır. Var olan petrol kaynkalarının gelecek 50 yıl içerisinde tükeneceği tahmininden yola çıkarak, bu enerji hitiyacını karşılayacak yeni enerji kaynakları için arayışlar başlamıştır. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA-International Energy Agency) hazırlamış olduğu rapora göre 2050 yılı içersinde biyokütle kaynaklı enerji kullanımının %20-25 seviyesine erişeceği ve bu enerjinin %20'sinin ulaşım, %20'sinin elektrik üretiminde, %60'ının da ısıtma, pişirme ve sanayi süreçlerinde kullanılacağı tahmin edilmektedir (Uluslararası Enerji Ajansı, 2012a).

Türkiye'nin 2011 yılında kullanılan toplam enerjisinin %72'si ithalat ile temin edilmektedir. Enerji üretimini desteklemesi amacıyla yeni adımlar atmasını sağlanmıştır. Bu nedenle Türkiye Cumhuriyeti'nin son yollarda takip ettiği enerji stratejisi ve Resmi Gazete'de yayınlanmış olan "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" ile birlikte büyokütle kaynaklı enerji üretimi yatırımcıların dikkatini çekmektedir. Hükümet Türkiye'nin enerji ithalatını azaltmak amacıyla 2023'e kadar toplam elektrik enerji tüketiminin %30'unu yenilenebilir kaynaklardan üretmeyi hedeflemektedir. Bu doğrultuda sözü geçen kanunda belirtildiği gibi üretilen enerji için teşvikler ve alım garantisi yenileneblir kaynaklı enerji üretiminin yatırımcıların ilgi odağı olmasına neden omuştur. Ülkemizdeki tarıma uygun alanların (26.423.422 ha) yalnızca %20'sinin ve potansiyel hayvan atıklarının biyogaz kaynaklı enerji üretimi için kullanıldığı düşünüldüğünde toplam doğalgaz tüketiminin %80'ni (241,9 TWh) karşılanabildiği belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışma ülkemizdeki kaynakların kullanılarak biyogaz kaynaklı enerji üretiminden elde edilecek olan kazançları anlaşılabilir diyagramlara

çevirerek, yatırımcıya kurmayı düşündüğü biyogaz tesisi hakkında ön fizibilite (kapasite, ekonomik analiz vs.) raporu hazırlayan biyogaz hesap aracının oluşturulması hedeflenmiştir.

Gerçekleştirilen bu çalışmanın sonucunda potansiyel ham madde kaynağının miktarı ve özelliklerine bağlı olarak;

-Üretilebilecek toplam biyogaz hacmi – metan hacmi,

-Kurulması söz konusu olan tesisin kapasitesi,

-Yıllık üretilebilecek elektrik enerjisi,

-Çürütme sonucu elde edilen sıvı – katı gübrenin miktarı,

-Çürütme sonucu elde edilen sıvı – katı gübrenin besleyici nitelikleri,

-Tesisin faydalı ömrü boyunca elde edilecek olan gelir ve giderler,

-Tesisin akış şeması kullanıcıya sunulmaktadır.

2 LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Biyogazın Türkiye'deki ve Dünya'daki Genel Durumu

Günümüzde kaynakları sınırlı petrole olan enerji bağımlılığın artması ve çevresel zararlarına her geçen gün bir yenisi eklenmektedir. Söz konusu problemleri elimine etmek için çevreye duyarlı biyoteknolojik yöntemlerin, biyoteknolojinin, önemi her geçen gün artmaktadır. Sürdürülebilir kaynaklı atıkların, temel olarak tarımsal atıklar, kullanılarak biyokimya ve mühendislik bilgilerinin kombinasyonu ile mümkün hale gelmiştir (Simsa et al., 2013). Gelecek 25 yıl içerisinde bu teknolojilerde köklü değişikliklerin olması beklenmektedir. Fakat göreceli olarak petrol fiyatlarının düşük olması ve yenilenebilir enerji kaynakları bazlı yatırımların enerji birimi başına maliyetlerinin yüksek oluşu teknolojinin gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir.

Günümüzün popüler çalışma konularından; yenilenebilir enerji (YE) doğada devamlı olarak sürküle olan enerji kaynaklarından elde edilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Modern teknoloji kullanılarak enerjinin üretildiği yenilenebilir kaynaklardan başlıcaları güneş, rüzgâr, biyokütle/biyoenerji, dalga, okyanus ve jeotermal enerjisidir (Lund, 2010). 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'daki tanıma göre, biyokütle, organik atıklardan lipidçe zengin atıklar, tarımsal hasat atıkları ve tarım-orman ürünlerinin fabrikasyonu sonucunda ortaya çıkan atıklar olarak tanımlanmıştır (5346 Sayılı Kanun, 2012).

Biyogaz tesisleri Dünya'da ve Türkiye'de yıllardır atık su arıtma tesislerinin bir alt ünitesi olarak tasarlanmaktadır. Trendi gün geçtikçe artan biyokütle temelli biyogaz sistemleri dünyadaki toplam enerji üretiminin %14'ünü oluşturmaktadır (Saraçoğlu, 2008). EPDK (2013) verilerine göre Türkiye'deki toplam biyogaz tesisi sayısı 157 olarak belirtilmiştir. Dünya'daki toplam enerji kaynak üretiminin %1,5'i yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilmektedir. Fakat bu oranın gün geçtikçe daha da yükselmesi öngörülmektedir (IEA, 2012b).

2.2 Anaerobik Parçalanma ve Ürün Olarak Biyogaz

Anaerobik teknolojilerin geliştirilmesinden sonra bu sistem kentsel atık su arıtma tesislerinin bir parçası olarak kullanılmakta idi. Gelişen teknolojinin yardımı ile bu sistemler endüstriyel ve tarımsal atıklarında bertarafında kulllanılan sistemler olarak tasarlanmaya başlandı (Angelidaki et al., 2004). Bu tür sistemlerin temel özelliği, optimize edilmiş olan metanojenik bakterilerin metabolik aktiviteleri sonucunda organik içeriği yüksek olan hammaddeler ısıl değeri yüksek biyogaza çevrilmesi prensibine dayanır (Batstone et al., 2002).

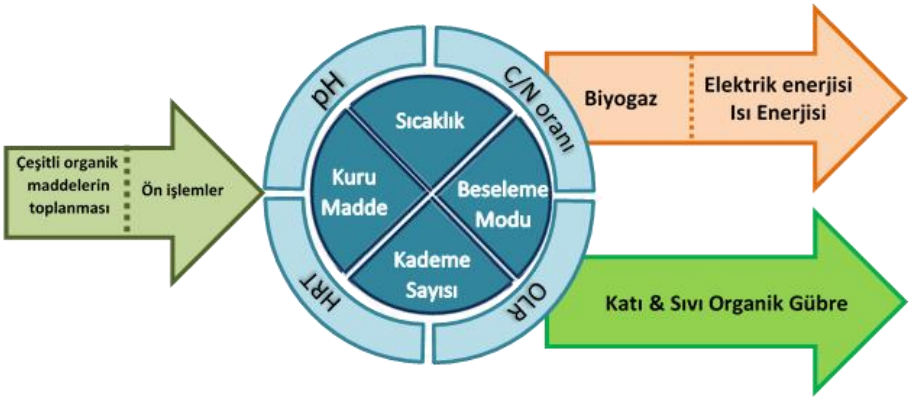
Biyogaz, anaerobik çürütme sürecinde mikroorganizmalar tarafından organik karbon kaynağının kullanılması sonucunda açığa çıkan bir üründür. Biyogazın içeriği ise %50 – 70 metan, %30 – 50 karbondioksit ve az miktarda diğer gazların karışımından oluşur (Overend, 2002, Angelidaki et al., 2004). Teorik olarak yapısında organik karbon içeren tüm atıklar biyogaz üretimi için kullanılabilmektedir. Bu kaynaklara örnek olarak endüstriyel-evsel atıklar, tarımsal

atıklar, orman atıkları, algler ve enerji bitkiler örnek olarak verilebilir (Jarvis et al., 2009).

Biyogaz reaksiyonları sonucunda metan, hidrojen, uçucu yağ asitleri, gübre vs. ekonomik değeri yüksek ürünlerin elde edilmesi bu sürecin yalnızca arıtma sistemi olarak değil, aynı zaman da yenilenebilir enerji kaynağı ve yüksek katma değerli ürünlerin üretimi için potansiyel olduğu görülmektedir (Alkaya ve ark., 2009). Anaerobik reaksiyonun sonucunda reaksiyon ortamında stabilize olmuş organik maddeler azot (N), fosfor (P) gibi toprak için çok değerli temel besi maddeleri kalır. Kuru madde değeri yükseltilmiş olan biyokütle (reaksiyon ortamı) gübre olarak tarımsal faalietlerde kullanılmaktadır (Alkaya ve ark., 2009).

Biyogaz üretimi, mikrobiyolojik anlamda, organik karbonca zengin atıkların oksijensiz ortamda farklı türde çok sayıda mikroorganizmanın metabolik aktivitesi sonucunda temel olarak metan ve karbondioksit gazına yıkımlanması olarak tanımlanabilir. Biyokimyasal anlamda ise, organik karbon atomlarının oksidasyonu ile karbondioksite (CO_2) ve redüksiyonu ile metan (CH_4) oluşumu olarak tanımlanabilir (Angelidaki ve ark., 2004, Jarvis ve ark., 2009). Anaerobik sistemlerin yüksek organik yükleme hızlarına olanak sağlaması ve kütlesel temelde düşük çamur üretimi, bu sistemleri diğerlerine oranla daha avantajlı hale getirmektedir. Üretilen biyogazın fosil yakıtlar yerine kullanılması sera gazları salınımı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Batstone et al., 2002).

Biyogaz üretimi sistemi temel olarak 3 ana basamaktan oluşur. Bunlar sistem girdisi olarak bilinen substratın toplanmasını içeren substrat zinciri, çürütücü içerisine ilave edilen ve çeşitli mikroorganizma grupları tarafından parçalanıp metabolize edilmesi sonucunda biyogaz üretiminin gerçekleştiği ürün dönüşümü (anaerobik çürütme sistemleri & teknolojileri) ve son olarak yüksek enerji içeriğine sahip olan biyogazın değerlendirilmesini içeren ürün zinciridirm (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Biyogaz üretim süreci ve etkili olan parametreler

Anaerobik çürütme işlemi sonrasında enerji içeriği yüksek metanın enerjikaynağı olarak kullanılması hem ekonomik hem de çevresel anlamda kazanımsağlamaktadır (Bkz. Tablo 2.1). Enerjinin az bir kısmının ısı olarak kaybı enerji verimliliği açısından da biyogaz sistemlerine avantaj sağlamaktadır (Deublein et al., 2011). Tüm avantajlar göz önüne alındığında biyogaz enerji sistemleri fosil kaynaklı enerji sistemlerine göre avantajı fazla sistemler olarak göz önüne çıkmaktadır.

Tablo 2.1. Biyogaz ve diğer yakıtların enerji içeriklerinin karşılaştırılması (Deublein ve ark., 2011)

Yakıt türü	Yaklaşık Kalorifik Değer	1 m^3 Biyogaz karşılığı
Biyogaz	6 – 6,5 kWh/ m^3	
Diesel	12 kWh/kg	0,5 kg
Odun	4,5 kWh/kg	1,3 kg
İnek gübresi	5 kWh/kg kuru madde	1,2 kg
Bitki artıkları	4,5 kWh/kg kuru madde	1,3 kg
Kömür	8,5 kWh/kg	0,7 kg
Propan	25 kWh/ m^3	0,24 kg
Doğal gaz	10,6 kWh/ m^3	0,6 kg
LPG (Likit Petrol Gazı)	26,1 kWh/ m^3	0,2 kg

2.3 Biyogazın Çevresel Etkileri

Biyoenerji, canlı organizmalardan veya bu organizmaların yan ürünlerinin farklı proseslere maruz kalmaları sonucunda üretilen yenilenebilir özelliğe sahip

bir enerji türüdür. Bu tür enerjinin üretilmesi için kullanılan tüm biyolojik kaynaklar biyokütle olarak adlandırılır, örneğin, yüksek organik karbon içeriğine sahip tarımsal atıklar ve orman atıkları. Özellikle dünyadaki biyokütlenin %90'nı oluşturan orman atıklarının biyoenerji üretiminde kullanılması iklim değişikliği ve erozyon/çölleşme gibi problemlere çözüm olma potansiyeline sahiptir (McKendry, 2002).

Türkiye'deki toplam linyit rezervi 8,3 milyar tondur fakat bu kaynağın yaklaşık olarak %7'si yüksek ısıl değere (>3000 kcal/kg) sahip kaynak olarak nitelendirilir (Altaş, 1994). Bu kaynakların yüksek kül ve kükürt içeriği nedeni ile artan enerji ihtiyacının karşılanmasında kulanılması tesis çevresinde hava kirliliğinin artmasına neden olmaktadır (Ergüdenler vd., 1994). Özellikle tesisde kullanılan kömür için 20 $/ton karbon vergisi daha ekonomik enerji tesislerinin arayışının artmasına neden olmuştur (Sayigh, 1993). Belirtilen tüm nedenler doğrultusunda biyokütle bazlı tesislerin kurulması hem CO_2-SO_2 hem de ısıl değeri yüksek kaynağın kullanılması, enerji üretmi için birim maliyeti azaltmaktadır (Türe vd., 1997).

Enerji yatırımlarında aranan en önemli özellik olan sürdürülebilirliğe sahip biyogaz, biyokütlenin enerjiye dönüşümü ile pek çok probleme çözüm getirmektedir. Lignoselülozik özelliğe sahip olan kaynakların ısı üretim amacı ile yakılması yerine biyogaz üretimi için kullanılması, hava kalitesinin gözle görülür oranda artmasına neden olmaktadır (Li et al., 2005). Aynı zamanda gün geçtikçe sayısı artan çiftlik işletmerinde atıkların biyogaz sistemlerinde düzeli bertarafı sağlanması durumunda yüksek oranda nitrat içeriğine sahip atıkların yer üstü ve yer altı suların kirletmesini engelleme potansiyeline sahiptir. Bu bertaraf koku emisyonun azalması, haşere gelişiminin engellenmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltımasında önemli rol oynamaktadır (Sayigh, 1993, Dennis et al., 2001). Proses sürecinde BOD gideriminin sağlanması, atığın stabilizayonuna da yardımcı olduğu bilinmektedir (Dennis et al., 2001).

2.4 Türkiye'de Biyogaz Potansiyeli

2.4.1. Hayvansal Atıklar

Dünya'nın önde gelen tarım ülkeleri arasında yer alan Türkiye'de, toplam yüz ölçümünün %35'inde tarımsal faaliyetler gerçekleştirilmektedir. Bu faaliyetleri kapsayan hayvan sayıları incelendiğinde toplam büyükbaş 14.3 milyon (sığır ve manda), toplam küçükbaş 44 milyon (koyun ve keçi) (Bkz Tablo 2.2) ve toplam kanatlı hayvan sayısı 270 milyon (broiler/yumurta tavuğu ve hindi, Tablo 2.2.) seviyesindedir (TÜİK, 2013; TÜİK, 2016). Toplanan bu veriler ışığında ülkemizde yılda toplam 11 milyar ton katı atık oluştuğu belirlenmiştir. Bu kaynaklara ilave olarak besi çifliklerinde, mezbaha ve diğer sanayi kuruluşları temelli atık sular da oluşmaktadır (Kestioğlu ve ark, 2015). Tüm bu yatırım değerleri göz önüne alındığında ülkemizin hayvansal atık temelli 2000 adet biyogaz tesisi kurulma potansiyeli olduğu göz önüne çıkmaktadır (IEA, 2011).

Ülkemizdeki besi çiftliklerinin çoğu aile işletmesi olması nedeni ile çiftliklerden çıkan atıklar kendi arazilerinde hayvansal kaynaklı gübre olarak kullanılmaktadır. Oysaki atığın bu şekilde stabilize edilmeden değerlendirilmesi içerdiği yabancı ot tohumları nedeni ile ürün üzerinde verim kaybına neden olmaktadır. Aynı zamanda oluşan bu atıkların çevreye kontrolsüz bir şekilde terk edilmesi sonucunda günümüzün başlıca problemlerinden biri olan yeraltı/yerüstü su kaynaklarını kirleterek azot içeriğinin yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum atığın terk edildiği çevrede koku emisyonlarının ve hastalık tehditi olan patojen popülasyonunun arttırmasının yanı sıra küresel ısınmadaki temel faktörlerden biri olan nitrik oksit ve metan emisyonlarının artmasına neden olmaktadır (Ekinci, 2011).

Tablo 2.2. Türkiye'deki büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları (TÜİK, 2013; TÜİK, 2016)

Hayvan Türleri	Hayvan Sayıları	Toplam Hayvan İçerisindeki Payı (%)
Büyükbaş*	14 182 876	13,84
Manda*	141 065	0,14
Küçükbaş*	44 034 062	42,97
Koyun*	33 239 147	32,44
Keçi*	10 794 915	10,53

Diğer**	77 206	0,08
Toplam	102 469 271	100,00

*TÜİK, 2016,

**TÜİK, 2013

Hayvansal atıklar için değerlendirme yapıldığı zaman Türkiye'de üretilen hayvansal atıkların toplam enerji değeri 11.05 Mtep (milyon ton eş-değer petrol) olduğu tahmin edilmektedir (Koçer ve ark, 2006). Havancılığın ailesel temele dayandığı ülkemizde, işletmelerin küçük olması, özellikle doğu bölgelerde ıslah edilmemiş türlerin yaygun olması ve bu hayvanların yaz aylarında otlatılması için yüksek alanlara taşınması nedeni ile hayvansal atıkların toplanıp enerji içeriğinin tesislerde kullanılması ekonomik anlamda uygun değildir (Akman ve ark, 2010). Bu veriler ışığında büyük çiftliklerin ve ıslahı yapılmış olan hayvanların yer aldığı batı bölgeleri dikkate alındığında üretilen toplam hayvansal atığın yalnızca %60'nın enerji kullanımı için ekonomik olduğu belirlenmiştir (Koçer ve ark, 2006).

Tablo 2.3. Türkiye'deki kanatlı hayvan sayıları (TÜİK, 2015)

Hayvan Türleri	Hayvan Sayıları	Toplam Hayvan İçerisindeki Payı (%)
Etlik tavuk	199 976 150	67,10
Yumurtalık tavuk	93 751 470	31,46
Hindi	2 990 304	1,00
Ördek	399 820	0,13
Kaz	911 990	0,31
Toplam	298 029 734	100,00

Ülkemizde yetiştiriciliği yapılan hayvanlardan elde edilecek olan atıklar göz önüne alındığında (Bkz. Tablo 2.3) enerji içeriği en yüksek olan hayvansal atık türünün sığır dışkısı olduğu belirlenmiştir. Türkiye'deki coğrafi koşullar, hayvan çiftliklerinin dağılımı, atığın temini ve ekonomik etkenler nedeni ile batı bölgesinin biyogaz potansiyelinin teknik olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir (DBFZ raporu, 2011).

Türk – Alman Biyogaz Projesi kapsamında 2010 yılı istatisti verileri doğrultusunda hazırlanmış olan raporda ülkemizde hayvansal atıklar temelli

biyogaz enerji üretim potansiyeli yıllık 144,4 PJ olarak hesaplanmıştır (DBFZ raporu, 2011). Söz konusu enerji potansiyeli göz önüne alındığında bir hanenin (iki çocuklu dört kişi) yıllık elektrik enerjisi tüketiminin ortalama 3036 KWh olduğu varsayımı (TEDAŞ Türkiye Elektrik Dağıtım İstatistikleri, 2011) ile ülkedeki toplam 21 662 260 hanenin (TÜİK, 2016) %61'nin yıllık elektrik tüketimini karşılayacak potansiyele sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Farklı bir hesplama ile İstanbul'da ısıtma amaçlı 100 m^2 ev için yıllık harcanan enerji 20 200 KWh varsayımı ile (himerpa.com) İstanbuldaki toplam 3 699 930 hanenin (TÜİK, 2011) %54'ünün ısıtma ihtiyacını karşılayabilecek hayvansal temelli biyogaz potansiyeli ülkemizde mevcuttur.

2.4.2. Tarımsal Atıklar

İkinci dünya savaşı sonrasında gerçekleşen yeşil devrim ile artan kütlesel üretim, özellikle dünya üzerinde son yıllarda artan insan ve hayvan nufüsuna paralel olarak besin ve enerjiye olan ihtiyaç da artmaktadır (Khush, 2001; Shukla, 2003). Besin ihtiyacını karşılamak için dört mevsim tarımsal faaliyet gerçekleştirmektedir. Fakat bu faaliyetler sonucunda açığa çıkan atıklar değerlendirilmediği sürece hem insan hem de çevre sağlığına zararlar vermektedir (Çıtak ve ark, 2008).

Ülkemizin sahip olduğu toplam toprak yüz ölçümü 783 562 km^2'dir. Bu büyüklüğün %35'inde (~28,05 milyon km^2) tarımsal faaliyetler gerçekleştirilebilmektedir (Tablo 2.4) (DSİ verileri, 2016). Ülkemizin sahip olduğu geniş ekilebilir araziler ve seralarda hasat sonrası oldukça fazla atık oluşmaktadır (Demirer ve ark, 2000). TÜİK (2015) verilerine göre ülkemizdeki tarımsal alanların ~%41'nde tahıl ürünleri yetiştirilmektedir. Bahsi geçen tarımsal alanlarda gerçekleştirilen faaliyetler sonucunda açığa çıkan tarımsal atıkların ~60 Mtep değerinde enerji potansiyeli sahip olduğu belirlenmiştir (Koçak ve ark, 2006). Türkiye 2008 yılında enerji ihtiyacının %78'ini ithalat ile karşıladığı belirtilmiştir (Saraçoğlu, 2008). TEİAŞ (2010) verilerine göre Türkiye'nin yıllık enerji ihtiyacının 109 Mtep olduğu belirlenmiştir. Bu duruma göre ülkemizin enerji ihtiyacının yarısından fazlası (~%55) tarımsal atıklardan karşılanabileceği teorik olarak hesaplanmıştır.

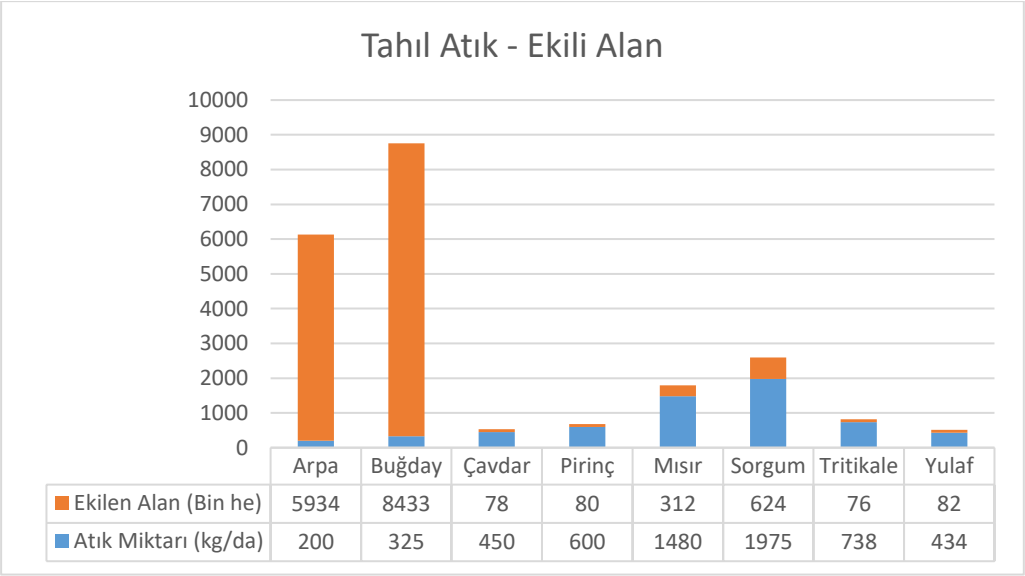
Tablo 2.4. Türkiye yüzey alanına göre ekilen ürün çeşidi dağılımı (1000 Hektar), (TÜİK, 2015)

Yıl	Toplam tarım alanı	İşlenen tarım arazisi ve uzun ömürlü bitki alanı	Toplam işlenen tarım alanı	Tahıl ve diğer bitkisel ürün alanı		Çayır – mera arazisi
				Ekilen alan	Nadas	
2006	40 493	21 185	18 290	17 440	4 691	14 617
2007	39 504	20 669	17 760	16 945	4 219	14 617
2008	39 122	20 246	17 296	16 460	4 259	14 617
2009	38 912	19 971	17 028	16 217	4 323	14 617
2010	39 011	20 146	17 135	16 333	4 249	14 617
2011	38 231	19 597	16 506	15 692	4 017	14 617
2012	38 399	19 496	16 295	15 463	4 286	14 617
2013	38 423	19 658	16 426	15 613	4 148	14 617
2014	38 558	19 834	16 591	15 782	4 108	14 617
2015	38 551	19 821	16 537	15 723	4 114	14 617

Ülkemizin farklı bölgelerinde farklı oranda tarımsal çeşitlilik görülmektedir. Bunun en temel nedeni ülkemizin sahip olduğu coğrafik özelliklerdir. Yağışların ülke genelinde farklı bölgelerde farklı oranda dağılması özellikle iç ve doğu bölgelerdeki ürün verimini etkilemektedir. Aynı zamanda yağış rejiminin düzensiz olması yıllar arasında farklı verim değerlerinin elde edilmesine neden olmaktadır. Değişken verimin bir sonucu olarak da yıllık oluşan tarımsal atık miktarıda farklılık gösterir (Bayrakcı ve ark, 2012). Bu nedenle toprağın azalan organik madde miktarının artırılarak bitkisel verimin belirli oranda artırılmasını sağlamak çiftçilerin temel amaçları arasındadır. Bu amaçla yapıların uygulamaların başında arazilerin nadasa bırakılması veya organik içeriği zengin toprak gübrelerinin uygulaması yapılmaktadır (Özerol ve ark, 2015).

Ülkemizdeki tarımsal atıkların içeriği göz önüne alındığında bitki rejenerasyonun-budama sonucu açığa çıkan organik atıklar (100-300 m^3 metan/ton) çiftçiler tarafından, ürünlerin hasatı sonrası arazide kalan atıklar (saman gibi atıklar, 400 m^3 metan/ton) ve sanayi atıkları (melas gibi atıklar, 400-425 m^3 metan/ton) olmak üzere başlıca üç gruba ayrılabilir (Ozturk ve Bascetincelik, 2006; Saraçoğlu, 2008; Rico et al., 2014)

Türkiye'de gerçekleştirilen tarımsal faaliyetlere bakıldığında ekilebilir arazilerin %40'ında tahıl üretimi gerçekleştirilmektedir (Bkz. Tablo 5). Hasat sonrası arazide kalan atık miktarı göz önüne alındığında tahıllar ilk sırada yer almaktadır (Başçetinçelik ve ark, 2005). Bu ürün grubunu pamuk ve mısır ürünleri takip etmektedir (Berg H., 2011). TÜİK Tarımsal İstatistikler (2013) verilen bilgiler doğrultusunda tahıl ürünlerinin hasatı sonrasında oluşan atık miktarı 65 Mton olarak belirtilmiştir (Bkz. Grafik 2.1).



Grafik 2.1 Türkiye'de tahıl ekimi ürüne göre dağılımı

TÜİK (2015) verilerine göre yaklaşık olarak 24,56 milyon ton sebze üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu üretimin %51'i domates, %22'si kavun-karpuz %9'u biber, %8'i soğan ve diğer sebzelerden oluşmaktadır. Özellikle üretimin %51'i payına sahip olan domates hasat ve işleme atıkları biyogaz tesislerinde oldukça verimli kullanılabilen ham madde kaynakları arasındadır (Demirer ve ark, 2000).

Ülkemizde organik içeriği yüksek olan atıklar tarımsal atıkların bir diğer sınıfı olarak nitelendirilmektedir. TÜİK (2014) verilerine göre ülkemizde belediyeler tarafından toplanan kentsel atık miktarı 28,01 milyon ton olarak belirtilmiştir. Organik madde içeriği ayrılmış olan kentsel atıklar anaerobik çürütücülerde, 3 biyometan, 21 çöp gazı tesisi, ya da belediyeler tarafından organize edilen 80 farklı düzenli depolama sahalarında depolanarak potansiyel biyogaz üretimine katkı sağlamaktadır (Özkaya ve ark, 2010; Öztürk, 2015). Türkiye'deki toplam 1396 belediyeden 1391'i atık toplama hizmeti vermektedir. Aynı zamanda bu hizmetten yararlanan 70,84 milyon kişi başına günlük üretilen atık mikarı 1,08 kg olduğu belirlenmiştir (TÜİK, 2014). Yapılan hesaplara göre bu atıklarında biyogaz sistemlerinde bertarfı ile yılda 930 milyon kWh enerji üretme potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir (Kaya, 2010).

2.4.3. Sanayi Atıkları

Dünya'da 20. Yüzyılın ikinci yarısında artan sanayileşme faaliyetlerinin bir sonucu olarak doğal yaşamın içerisinde bulunduğu toprak, su ve hava kaynaklarının kirlenme hızı oldukça artmıştır. Halen oluşan atıklarınların yönetiminin kontrol altına alınamaması canlıların yaşam kalitelerini her geçen gün azaltmaktadır (Evin, 2009; Yılmaz ve Bozkurt, 2010).

Biyogaz sistemleri ile enerji üretimi göz önüne alındığında organik içeriği yüksek katı-sıvı atık üreten gıda sanayisi atıklarının çevreye stabilize edilmeden atılması hem çevresel zarara hem de enerji içieriğinden dolayı ekonomik kayba neden olmaktadır. Gıda sanayisinin oluşturduğu toplam atık ülkemizde oluşan diğer sanayi atıklarının yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır (Şener ve Ünal, 2008).

TÜİK (2016) verilerine göre ülkemizde gerçekleştirilen toplam süt üretimi yaklaşık olarak 18,5 milyon ton ve toplam peynir üretimi yaklaşık 650 bin olarak belirtilmiştir. Bu ürünlerin işlenmesi sonucunda oluşan atık miktarı ise yaklaşık olarak 4 milyon ton seviyesindedir (USK, 2011; Soylu ve Otles, 2016). Süt işleme tesislerinde oluşan atığın %90'ını oluşturan laktozca zengin peynir altı suyunun biyogaz sistemlerinde işlenmesi ile yılda elde edilebilecek olan yaklaşık olarak 2,4 PJ/yıl olarak hesaplanmıştır (DBFZ, 2011).

Et işleme kombinalarında işlenen karkas ağırlığı ton başına üretilen atık miktarı 15-20 ton seviyesindedir (Soylu ve Otles, 2016). TÜİK (2015) verilerine göre ülkemizde bir yıl içerisinde üretilen karkas miktarı yaklaşık olarak1,1 milyon ton olarak belirlenmiştir. Bu veriler doğrultusunda oluşabilecek olan atık miktarının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Özelllikle karbonhidrat, protein ve yağca zengin olan kesimhane atıkları biyogaz sistemlerinde kullanılabilecek enerjice zengin materyaller arasında yer almaktadır (Soylu ve Otles, 2016). Ülkemizdeki et işleme tesislerinde oluşan atıkların biyogaz potansiyeli yaklaşık olarak 300 TJ/yıl olarak hesaplanmıştır (DBFZ, 2011).

Dünya'da büyüyen nufüs ve hızla artan tüketim nedeniyle, bu tüketimi karşılamak için artan gıda üretim faaliyetleri sonucunda yüklü miktarda meyve ve

sebze işleme atığı oluşmaktadır (Deressa et al., 2015). Bu durum ülkemizde de aynı şekilde gerçekleşmektedir. Özellikle meyve işleme sonrası oluşan atıkların yüksek organik madde içeriği biyogaz sistemlerindeki mikroorganizmalar için kullanımı kolay besin maddesi olarak nitelendirilmektedir (Zerrouki et al., 2014).

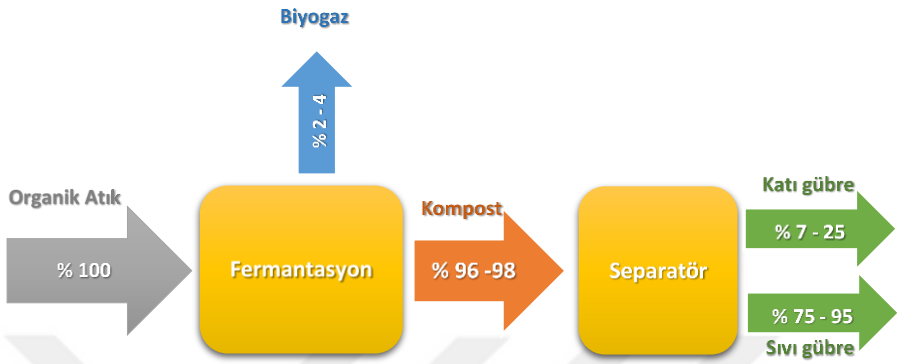
TÜİK (2014) verilerine göre ülkemizde yılda 16,5 milyon ton meyve üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu ürünlerin işlenmesi sonucunda oluşan atık miktarı ise 400 milyon tonu (katı-sıvı) bulmaktadır (Soylu ve Otles, 2016). Benzer şekilde TÜİK (2015) verilerine göre ülkemizde 1,7 milyon ton zeytin üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu işletmelerde oluşan toplam atık (katı-sıvı) miktarı ise 29 milyon seviyesinde olduğu hesaplanmıştır (Soylu ve Otles, 2016). Ülkemizde üretilen bu atıklardan elde edilebilecek olan biyogaz potansiyeli ise 1,33 PJ/yıl olarak belirlenmiştir (DBFZ, 2011).

2.5 Biyogaz Oluşum Reaksiyonları: Anaerobik Parçalanma

Anaerobik parçalanma süreci en basit anlamda organik maddelerin mikorganizmalar tarafından gerçekleştirilen metabolik faaliyetler ile basit moleküler yapılara yıkımlandığı biyokimyasal süreç olarak ifade edilir (Giovannini et al., 2016). Daha detaylı bir şekilde açıklanacak olursa, doğada farklı alanlarda bulunabilen (bataklıklar, sulak bölgeler veya bazı memelilerin sindirim sistemleri) bakteriler tarafından bir seri biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda kompleks organik maddelerin basit yapılarına daha sonra da bu basit yapıların başta metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) olmak üzere daha basit yapılara dönüştürülmesidir (Bruni et al., 2010; Güiza et al., 2016).

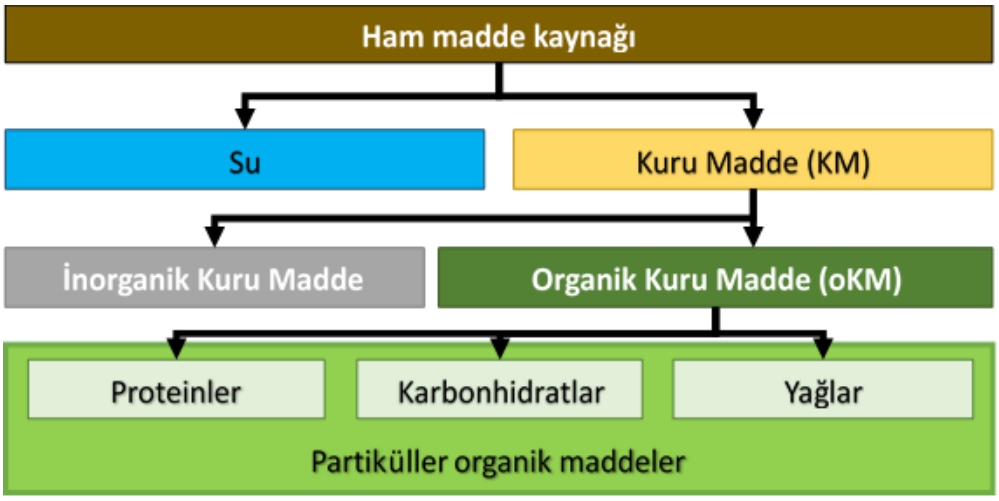
Anaerobik sistemde gerçekleşen zincir reaksiyonlar sonucunda oluşan gaz karışımı biyogaz olarak isimlendirilir (Bruni et al., 2010). Oluşan biyogazın bileşiminde metan CH_4 (%50–%75), karbondioksit CO_2 (%25–%45), hidrojen sülfit H_2S (%0-%1), hidrojen H_2 (%0-%1), karbon monoksit CO (%0–%2), azot N_2 (%0–%2), amonyak NH_3 (%0-%1), oksijen O_2 (%0–%2), ve su buharı H_2O (%2–%7) bulunur (Shah vd., 2014). Temel anlamda tam bir biyogaz üretim süreci Şekil 2.2'de verilmiştir. Anaerobik süreçte yer alan mikoorganizmaların metabolik performansı aerobik sistemdeki organizmaların performasından oldukça düşüktür.

Bunun temel nedeni oksijensiz ortamdaki metabolik faaliyetler sonucunda oksijenli ortama göre oluşan enerjinin daha az olması ve oluşan enerjinin büyük kısmının metanın yapısında bulunan kimyasal bağlara gömülmüş olmasıdır (Schievano et al., 2008).



Şekil 2.2. Anaerobik sürece genel bakış

Biyogaz üretim süreci üç ana aşamadan oluşur. Bu aşamaların ilki olan hidroliz aşamasında karmaşık yapıda bulunan organik moleküller temel yapıtaşlarına (monomerlerine) ayrılır (Şekil 2.3). Ham maddenin yapıtaşlarına ayrılmasından sonra çözünür formdaki bu bileşenler asidogenez-asetogenez basamakları ile asetik asit, hidrojen ve karbondioksit gazına yıkımlanır. Bu aşamadaki hidrojen reaksiyonun sınırlıyıcı reaktifi olarak tanımlanmaktadır. En son aşama olarak bilinen metan oluşum reaksiyonlarında ve asetik asit, hidrojen ve karbondioksit metanojen organizmalar tarafından metan ve karbondioksite yıkımlanır (Schievano et al., 2008; Weedermann et al, 2013). Biyogaz üretim sürecinin verimliliği için bahsi geçen üç reakisyonun kusursuz bir şekilde çalışması gerekmektedir. Bu reaksiyonlar her ne kadar kendi içlerinde bağımsız olsalarda bir birleri üzerindeki etkileri oldukça yüksektir. Basit bir örnek ile hidroliz aşamasında meydana gelebilecek olan aksaklıklar proses sonundaki metan üretimi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Schievano et al., 2008).



Şekil 2.3. Kullanılan ham maddenin bileşenleri

Anaerobik parçalanma sürecindeki metan oluşumu metanojen bakteriler tarafından daima en son aşamada gerçekleşir. Ortamdaki bütirat propiyanat gibi organik yapılar ham madde olarak kullanılarak başta metan gazı ve metanın indirgenmesine yardımcı olan karbondioksit gazı olmak üzere, metanol, metilamin, asetat, inorganik hidrojen gazı üretilmektedir. Metan bu süreci sonlandıran bileşen olarak tanımlanmaktadır (Schievano et al, 2008; Weedermann et al, 2013).

2.5.1. Hidroliz

Anaerobik parçalanma sürecinin, biyogaz üretim reaksiyonlarının, ilk adımı olarak bilinen hidroliz aşamasında komplkes yapıdaki organik maddeler enzimatik aktiviteler ile daha basit olan yapılara parçalanır (Adekunle and Okolie, 2015). Ekstraselüler enzimler olarak bilinen ve hücre dışına salgılanan veya hücre dışındaki hücresel yapılar üzerine bağlanan enzimler çevredeki kompleks bileşikleri enzimatik reaksiyonlar ile monomerlerine yıkımlar. Bu reasksiyonlar birincil fermantasyon bakterileri olarak bilinen fakültatif bakteri grubu tarfından gerçekleşir (Oliveira and Doelle, 2015).

Hidroliz reakisyonları başlamadan önce bileşikler ortamda çözünmemiş halde ve hücre membranından geçemeyecek kadar büyük bir yapıya sahiptir. Hidroliz reaksiyonlarında ortamda enzim aktivitesinin başlayabilmesi için yeterli su bulunmalıdır. Bu aşamadan sonra ortamdaki yağ, karbonhidrat ve protein

yapısındaki bileşiklerde bulunan kimyasal bağlar enzimler yardımı ile parçalanır (Fernandes et al., 2009). Hücre dışında lignin ve vakslar dışındaki tüm kompleks organik bileşikleri enzimler tarafından oligomerlerine ya da monomerlerine kadar parçalanır (Bkz. Şekil 2.3) ; karbonhidratlar basit şekerlere, proteinler aminoasitlere ve yağlar yağ asitlerine. Selüloz ve hemiselüloz yapıları gereği diğer bileşiklere oranla daha yavaş parçalanırlar (Taherzadeh and Karimi, 2008).

Hidroliz reaksiyonları gerçekleşirken substrat ile enzimin temas etmesi reaksiyonların hız belirleyici adımı olması nedeni ile ortamdaki substrat miktarı reaksiyon verimliliği açısından önemlidir. Reaksiyon sonucu oluşan yıkımlama ürünleri ileriki reaksiyonlarda biyogaz üretimi için kullanılmaktadır (Fernandes et al., 2009).

2.5.2. Asidogenez ve Asetogenez

Hidroliz reaksiyonları sonucunda gerçekleşen asidogenez ve asetogenez reaksiyonları birbiri ile yakından ilişki (sintropik) aşamalardır. Hidroliz sonrasında hücre içerisine alınabilen basit bileşikler birincil fermantasyon bakterileri tarafından asidogenez reaksiyonlarında metabolize edilerek temel olarak alkol, yağ asidi ve hidrojene yıkımlanır. Bunu devam eden asetogenik reaksiyonlarda oluşan alkol ve organik asitler asetik asit karbondioksit ve hidrojene yıkımlanması takip eder (Deublein and Steinhauser, 2011; Lee et al., 2017).

Asidogenik reaksiyonlarda metabolize olan basit yapıdaki şekerler amino asitler ve yağ asitleri birincil fermantasyon bakteri tarafından karbon bazlı asitlere, alkollere, hidrojen, karbondioksit ve amonyağa yıkımlanır (Aolivera and Doelle, 2015). Ortamda yeterli ya da yüksek miktarda substratın bulunması durumunda reaksiyon ortamında hidrojen konsantrasyonu yükselebilir. Bu da çoklu sayıda karbon içeren alkoller ve uçucu yağ asitlerinin oluşumu ile sonuçlanır. Yükselen hidrojen kısmi basıncı sintropik ilişkiye sahip diğer reaksiyon için büyük öneme sahiptir. Hidrojen kısmi basıcının 7-10 bar arasında tutulması iki mikroorganizma arasındaki reaksiyonların optimum seviyede çalışması için önemlidir (Santos et al, 2007; Bruni, 2010).

Asidogenik reaksiyonlar sonucunda oluşan alkoller ve uçucu yağ asitleri metanojenik bakteriler tarafından kullanılabilmesi için bir takım modifikasyona ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle ikincil fermantasyon bakterileri tarafından asetogenik reaksiyonlarda bu bileşikleri hidrojen, karbondioksit ve asetik aside dönüştürürler. Bu sayede kritik olan hidrojen konsantrasyonu reasksiyon oratmında dengede tutulabilir (Bruni, 2010; Aolivera and Doelle, 2015).

Sintropik ilişkiye sahip olan asidogenik ve asetogenik reaksiyonlar sayesinde kompleks yapılardan hidroliz reaksiyonları ile basit yapılara dönüştürülmüş olan bileşikler metanojen bakterilerinin kullanılabileceği daha basit yapıdaki karbondioksit, asetik asit ve hidrojen formlarına dönüştürülür (Taherzadeh and Karimi, 2008; Deublein and Steinhauser, 2011). Bu sayede biyogaz üretim prosesinin en önemli adımı olan metan üretimi aşaması için farklı çeşitteki mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen hazırlık aşaması tamamlanmış durumdadır.

2.5.3. Metanogenez

Biyogaz üretim sürecinin son basamağı metanojen olarak adlandırılan bakteri grubu tarafından gerçekleştirilir. Bu reaksiyon aşamasında asidogenez ve asetogenez aşamalarında üretilen asetat karbondioksit ve hidrojen substrat olarak bakteriler tarafından biyogazın başlıca gazlarını oluşturan metan ve karbondioksite yıkımlanır.

Metan üretim reaksiyonları boyunca reaksiyon ortamında bulunan asetat iki farklı yol ile metabolize olur. Bu yollardan birinde asetat doğrudan metanojen bakteriler tarafından enerji içeriği yüksek metan üretimi için kullanılırken, diğer yolda tekrar metanojen bakterileri tarafından karbondioksit üretimi için kullanılır. Bu iki yol göz önüne alındığında düşük enerji üretimine sahip olsa da reaksiyon sürecindeki karbon dönüşümünün yaklışık %70'i asetiklaktik tarafından gerçekleştirilir (Karellas et al., 2010).

Asedigenez ve asetogenez reaksiyonları sonucunda üretilen hidrojen hidrogenotropik mikroorganizmalar için vaz geçilmez bir substrat kaynağıdır.

Reaksiyon ortamındaki hidrojen kısmi basıncı optimum değerde olması (5-10 bar) ortamda hidrogenotropik mikroorganizmaların gelişmesine ve egzergonik üretim/tüketim reaksiyon olan metan üretimine olanak sağlar. Asetiklaktik ve hidrogenotropik mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen bu reaksiyonlar ile üretilen hidrojenin kısa sürede kullanılması ile hidrojen konsantrasyonunun istenilen aralıkta kalması sağlanır. Metan üretim reaksiyonlarının sınırlayıcı parametreleri asetat, amonyak ve metanojen bakterilerinin potansiyel aktivitesi, sıcaklık ve alıkonma süresidir (Klass, 1984; Bruni et al., 2010; Aolivera and Doelle, 2015).

2.6 Biyogaz Tesisleri İçin Potansiyel Hammaddeler

Teorik olarak farklı ham maddelerin yapısında farklı oranlarda karbonhidrat, protein ve yağ içeriğine sahip olması nedeni ile herbirinin biyogaz üretim potansiyelleri farklıdır. Ham maddelerdeki söz konusu bileşenlerin konsantrasyonları biyogaz proseslerinin kontrolü ve yönlendirilmesi açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Bu durumda farklı hammadde grupları (proteince zengin olanlar, yağca zengin olanlar ve karbonhidratça zengin olanlar) bu tür sistemlerde farklı sonuçlar doğurma potansiyeline sahiptir.

2.6.1. Proteince Zengin Materyaller

İşletme halindeki biyogaz tesislerinde proteince zengin ham madde kaynaklarının kullanımı yüksek oranda metan üretimi ile sonuçlanabilmektedir. Bu ham maddelere verilebilecek ve en yaygın kullanıma sahip ham maddeler kesimhane/et kombina atıkları ve etanol üretiminden arta kalan atıklardır (Sprott, and Patel, 1986; Chen et al., 2008).

Protein içeriği yüksek olan organik atıklar hidroliz aşamasında yapıtaşları olan aminoasit ve peptid yapılarına ayrıştırıldıktan sonra metanojen bakterileri tarafından metabolize edilir. Bu süreçte içermiş oldukları amin grubu fermantasyon ortamında kendi aralarında kimyasal dengeye sahip olan amonyak (NH_3) ve amonyum (NH_3^+) formuna dönüştürülür (Chen et al., 2008). Fermantasyon ortamındaki denge halinde ortam asitliği ve sıcaklık etkili olurken, bu iki bileşenin

ortamdaki konsantrasyonlarının yükselmesi başta metanojenler olmak üzere fermantasyon bakterilerinin inhibisyonu ile sonuçlanır (Salminen and Rintala, 2002).

Biyogaz sistemlerinde reaksiyon ortamındaki NH_4^+-N konsantrasyonundaki kritik değer 3 g/lt seviyesi olarak bilinmesine rağmen son yıllarda daha yüksek azot konsantrasyonlarında çalışan sistemlerin varlığı belirlenmiştir (Chen et al., 2008). Reaksiyonda saf mikroorganizma suşlarının kullanılması ve yavaş yükselen azot konsantrasyonuna adaptasyon sonucunda gösterilen mikroorganizma toleransı bunun nedenleri arasında gösterilebilir. Fakat farklı sistemlerin farklı azot konsantrasyonlarında çalışabildiği ve farklı azot konsantrasyonlarının farklı sistemlerde farklı oranlarda inhibisyona neden olduğu göz önüne alınmalıdır (Koster and Lettinga, 1984).

2.6.2. Karbonhidratça Zengin Substratlar

Karbonhidratlar, monosakkarit, disakkarit veya uzun zincirli polisakkarit gibi oldukça farklı yapıda bulunan şekerlerin genel adıdır. Glikoz, fruktoz ve galaktoz monomer yapıda bulunurken, maltoz, sakkaroz ve laktoz dimer yapıda bulunur. Selüloz, hemiselüloz, nisaşta ve glikojen ise polisakkarit formundaki karbonhidratlardır. Her bir karbonhidrat grubunun parçalanabilirliği ve parçalanma hızı farklıdır (Lee et al., 1999; Bouallagui et al., 2004).

Biyogaz sistemlerindeki metanojen bakterilerin büyüme hızları diğer mikroorganizma gruplarına göre düşüktür. Karbonhidratça zengin ham maddelerin kullanılması reaksiyon ortamında karbon içeren asit konsantrasyonunun artmasına neden olur. Bu nedenle karbonhidrat içeriği zengin ham maddelerin bu tür olası sorunlara neden olmaması için parçalanma hızı yavaş olan ham maddeler ile bir karışım halinde reaksiyon ortamına ilave edilmesi önerilir. Metabolize olmasından sonra pH dengeleyici bileşikler oluşturan proteince zengin hammaddelerin kullanılması bu problemi az da olsa elimine etme potansiyeline sahiptir (Bouallagui et al., 2004).

Gıda üretim sürecinde açığa çıkan atıkların büyük kısmı yüksek karbon içeriğine sahip atıklardır. Kompozisyonları çok farklı olmasına rağmen bu tür atıklar oldukça yüksek biyogaz üretim potansiyeline sahiptir (Gunaseelan, 1997). Özellikle meyve ve sebze atıkları bu yüksek enerji içeriğine sahip ham madde grupları olarak nitelendirilebilir. Fakat yüksek karbonhidrat içeriğine sahip bu atıklarda biyogaz sistemlerinde asitliğin yükselmesi, yüksek protein içeriğine sahip olanları ise amonyak inhibisyonu gibi çeşitli problemlere neden olabilmektedir (Schnürer and Schnürer, 2005; Fricke et al., 2007).

Karbonhidrat içeriği zengin olan ham madde kaynaklarında özellikle selüloz yapısındaki hemiselüloz ve lignin bağlı yapısı nedeni ile parçalanma hızı oldukça yavaştır. Hemiselülozun dallanmış yapısı hidroliz reaksiyonlarının sınırlayıcı faktörüdür. Aynı zamanda selülozun ve hemiselülozun kendi aralarında da oluşturulduğu kimyasal bağlar, ham maddenin parçalanmasını bir miktar zorlaştırmaktadır. Bunlara ilaveten kompleks ve aromatik bir yapıya sahip olan lignin biyogaz üretimi sürecinde parçalanmadan reaksiyon ortamını terk etmektedir (Gunaseelan, 1997; Jang et al., 2007).

2.6.3. Yağ İçeriği Yüksek Hammaddeler

Yağ içeriği yüksek ham maddeler biyogaz sistemlerinde kullanılabilecek olan bir ham madde grubudur. Bu atıklara verilebilecek olan en iyi örnekler, et kombinaları atıkları, arıtma sistemlerindeki gres sıyırıcı atıkları, süt işleme tesislerinden gelen atıklar ve kızartma yağı atıklarıdır (Demirel et al., 2005).

Protein içeriği yüksek olan atıklarda olduğu gibi yağ içeriği yüksek olan atıkların kullanımı ile biyogaz sistemlerinde üretilebilecek olan gaz miktarı ve gazın metan içeriği artırılabilmektedir. Yapısında yağ asitleri ve gliserol içeren yağların doymuşluk oranı, parçalanma reaksiyonlarının süresi üzerinde öneme sahiptir (Pereira et al., 2004). Erime noktası yüksek olan doymuş yağlar daha zor parçalanmaktadır. Fakat bu handikap uygulanabilecek olan ısıl ön işlemler sayesinde ortadan kaldırılabilir (Fernandez et al., 2005).

Doğada en yaygın olarak bulunan lipit tipi olan trigliseritler uzun yapılı formda olmalarının yanında parçalandıklarında yağ asitleri ve gliserol yapılarını oluştururlar (Palatsi et al., 2009). Oluşan yağ asitleri yapısında en az 12 karbon atomu (palmitik asit, stearik asit, oleik asit veya linoleik asit) içermesinden dolayı parçalanma süreleri uzundur. Bu nedenle anaerobik süreç içerisinde gliserol bu yapılara oranla daha kısa süre ve kolay metabolize olur. Bu durumda reaksiyon ortamındaki yağ asit konsantrasyonunun yükselmesi bir kısım mikroorganizma gruplarının inhibisyonuna neden olabilir. Örnek vermek gerekirse oleik ve stearik asit konsantrasyonlarının 0,5 g/lt üzerine çıkması durumunda metanojen bakterilerinin inhibisyonu başlamaktadır (Koster and Cramer, 1987; Angelidaki and Ahring, 2000).

Uzun zincir yapısındaki lipit bileşiklerinin parçalanmasının zor olması nedeni ile mikroorganizmalar substrat üzerine yapışarak parçalamaya çalışır. Bu tür bileşiklerin reaktör içerisinde geçirdiği zamanın (alıkonma süresi-HRT) düşük olması reaktör içerisindeki mikrobiyal yükün azalmamasına neden olur (Pereira et al., 2004).

Yaz aylarında sıcaklığında etkisi ile yağların parçalanma reaksiyonları çürütücüye girmeden hızla gerçekleşmektedir. Yüzey aktif madde özelliğine sahip olan yağların parçalanması ile oluşan yağ asitlerinin oluşumu çürütücü içerisinde köpük seviyesinin artmasına sebep olmaktadır. Fakat çürütücüye yağ içeriği zengin atıkların kontrollü bir şekilde ilave edilmesi hızlı yağ asitlerinin konsantrasyonunun yükselmesini engellemektedir (Pereiraetal, 2004; Cavaleiro et al., 2008).

2.7 Anaerobik Çürütme Prosesleri

Dünyada oldukça yaygın olarak kullanılan anaerobik çürütme sistemleri farklı atık türlerine göre farklı tasarıma sahiptir. Otomatik kontrol sistemine sahip donanımlar ile tasarlanan bu kapalı sistemler, çürütme süresince sistem içerisini ayıran bir sınır olarak görev alırlar.

Biyogaz sistemlerini yapı malzemesi ve işletme parametreleri göz önüne alınarak gerçekleştirilen sınıflandırma Şekil 2.4'te belirtilmiştir. Bu

sınıflandırmalar anaerobik sistemin kuru madde oranına, besleme moduna, işletme sıcaklığına ve sahip olduğu kademe sayısna göre farklı sınıflara ayrılmıştır.

İşletme Parametreleri	Organik atığın türevi			
Kuru Madde İçeriği	Islak		Kuru	
Besleme Modu	Sürekli	Kesikli	Sürekli	Kesikli
Sıcaklık	Mezofilik	Termofilik	Mezofilik	
Kademe Sayısı	Tek	Çok	Tek	Çok
Çürütücü Tipleri	• Garaj Tipi		• Davul Tipi • Sabit çatılı • Balon tipi	

Şekil 2.4. İşletme parameterelerine ve yapı malzemesine göre anaerobik sistemler

2.7.1. Toplam kuru madde içeriği (ıslak/kuru sistemler)

Toplam kuru madde içeriğine göre sınıflandırılan sistemler ıslak ve kuru sistemler olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Bu ayrımın yapılmasıda kuru madde içeriği %16'nın altında olan sistemler ıslak sistemler (yarı kuru olarak da adalandırılabilir), kuru sistemlerde ise kuru madde değeri %22 ile %40 arasında değişmektedir (Ward et al., 2008).

Kuru ve ıslak sistemlerin avantajları ve dezavantajları açısından değerlendirildiğinde, kuru sistemlerin ıslak sistemlere göre daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Buna örnek olarak kuru sistemlerde aynı hacimde ham madde ile çalışmak için ıslak sistemlere göre daha düşük hacimde çalışma olanağı sağlar. Bu da yatırımcı için daha düşük yatırım maliyeti ve daha düşük işletme maliyeti anlamına gelmektedir. Aynı zamanda reaksiyon sonunda çürütücüden çıkan atığın nem içeriğinin düşük olması nedeni ile herhangi bir işlem uygulanmadan gübre ya da biyokütle kaynaklı yakıt olarak da kullanılabilmektedir. Bu sistemlerin bu kadar avantaja sahip olmasına rağmen bazı dezavantajları kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Özellikle yüksek kuru madde içeriğine sahip olan sistemlerin sürekli mod yerine kesikli modda çalışması ve doldurma-boşaltma işlemleri sırasında reaksiyon süresince biyogazın toplanabileceği miktarda tepe boşluğunun sağlanması gerekliliği bu dezavantajların başlıcalarıdır (Vandevivere and De Baere, 2003; Li et al., 2011).

2.7.2. Besleme Modu (kesikli-sürekli)

Anaerobik sistemler ham maddenin sisteme beslenmesine göre sürekli ya da kesikli sistemler olarak iki farklı gruba ayılır.

Sürekli sistemlerde, çürütücüden ayrılan ham madde miktarı kadar aynı zamanda sisteme taze ham madde ilavesi gerçekleştirilir. Böylece sürekli aktif bir sistem işletilmiş olur. Dünya üzerinde en yaygın olan sistem türü sürekli sistemlerdir (Khalid et al., 2011).

Kesikli sistemde ise sistem içerisine ilave edilen ham madde sistem kapatıldıktan sonra reaksiyon süresi (alıkonma süresi) kadar sistemde bekletilir ve biyogaz üretimi gerçekleştirildikten sonra sistem açılıp, boşaltıldıktan sonra yeni bir reaksiyon seti için hazır hale getirilir. Bu tür sistemlerde genel anlamda daha basit teknoloji kullanılması nedeni ile ilk yatırım maliyetleri düşüktür. Bu nedenle düşük kapasiteli sistemler ve gelişmekte olan ülkelerde kurulan biyogaz sistemleri için kesikli sistemler yaygın olarak tercih edilen tasarımlardandır (Vandevivere and De Baere 2003).

2.7.3. İşletme Sıcaklığı

Biyogaz sistemlerinde gerek mikroorganizmaların canlılığının devamı için gerekse de biyogaz sistemlerinin stabilitesi için sıcaklık en önemli parametrelerden biridir.

Biyogaz sistemlerinde reaksiyonların gerçekleştiği ortam sıcaklıklarına göre işletilen sistemler farklı isimler almaktadır. Eğer reaksiyonlar 20^{o}C'nin altında gerçekleşiyorsa psikrofilik, 30-40^{o}C arasında gerçekleşiyor ise mezofilik ve 45-60 ^{o}C arasında gerçekleşiyorsa termofilik sistemler olarak adlandırılır. Psikrofilik sistemlerde mikroorganizma büyüme ve metabolizma hızlarının oldukça düşük olması nedeni ile biyogaz sistemlerinde fazla tercih edilmez (Mashad and Zhang, 2010; Parawira et al., 2008).

Mezofilik sistemlerin enerji ihtiyacının termofilik sistemlere oranla düşük olması nedeni ile daha satabil sistemler olarak bilinir. Fakat sıcaklık ile reasksiyon

hızı ve biyogaz üretimi arasında doğru orantı vardır (Parawira et al., 2004). Yüksek sıccaklıklarda gerçekleşen reaksiyonlar çürütme işlemi sonrasında kullanılacak olan gübrenin (biyogaz kompostu) dezenfeksiyonunu da sağlamaktadır (Paepatung et al., 2009).

2.7.4. Kademe Sayısı

Biyogaz sistemlerinde ifade edilen kademe, biyogaz üretimi sırasında gerçekleşen reaksiyonların (asidoegenez, asetogenez ve metanogenez) farklı alanlarda gereçekleşmesi için tasarlanan birimlerdir. Bu tür sistemler tek, iki veya daha fazla sayıda kademeye sahip olabilir (Nichols, 2004).

Birden fazla sayıda kademe içeren biyogaz sistemlerinde her kademe içerisindeki ortam koşulları ve gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlar farklıdır. Bu nedenle tek kademeli sistemlerin tasarımı, inşası ve işletmesi kolay, ekonomik anlamda düşük maliyetli sistemler olarak bilinir (Nayono, 2010). Bu tür sistemler genellikle küçük çaplı ve atık yönetimi olmayan, yıllık işleme kapasitesi 50000 ton'dan daha az olan sistemler için kullanılır (Nichols, 2004).

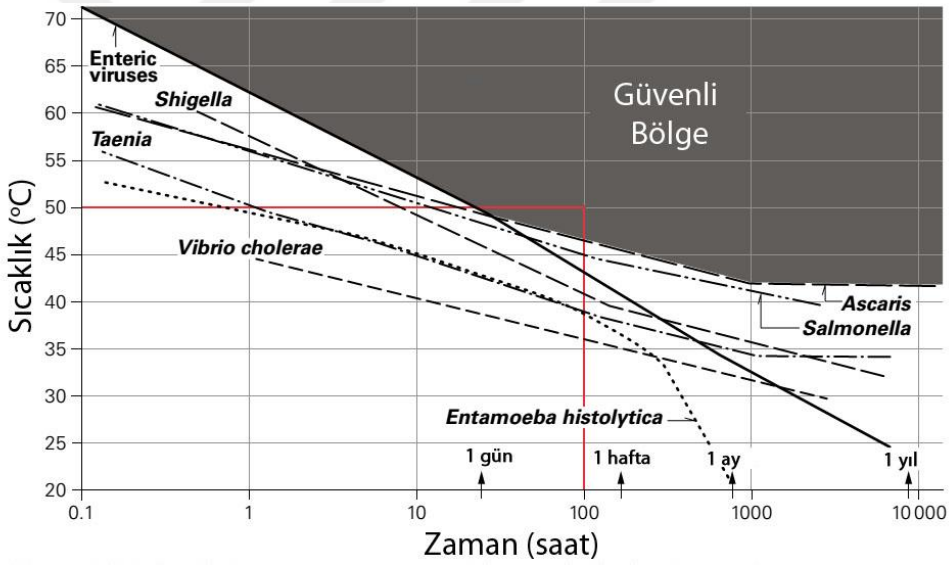
2.8 Anaerobik Kompost

Anaerobik parçalanma sonucunda sistem içerisinde iki temel bileşenin karışımı bulunmaktadır, anaerobik kompost (biyogaz kompostu) ve biyogaz. Reaksiyonlar süresince organik materyalin yapısındaki bağlara haps olmuş olan enerjinin bir kısmı biyogaza kalan kısmı zengin mineral içeriğe sahip olan biyogaz kompostunun yapısında birikir (Varaldo et al., 2002). Özellikle biyogaz kompostu zengin mineral içeriğinden solayı tarımsal amaçlı bitki düzenliyici olarak kullanılma potansiyeline sahiptir (Mang and Li 2010).

Biyogaz üretimi sürecinde var olan ortam koşulları dolayısıyla pek çok virüs, bakteri ve patojen yok etme potansiyeline sahip olsa da tam anlamı ile eliminasyon gerçekleşmemektedir (Faechem et al., 1983). Sistem içerisinde bu sürece maruz kalan materyalin sanitasyonunda sıcaklık ve hidrolik alıkonma süresi (HRT) etkili olan parametrelerdir. Sıcaklığın yüksek olduğu proseslerde sanitasyon daha kolay

ve etkili bir şekilde gerçekleşirken düşük olan sistemlerde durum bunun aksi yönündedir. Termofilik sistemlerde iki hafta sonunda hedeflenen sanitasyon seviyesine ulaşılmasına rağmen mezofilik sistemlerde aynı seviye için daha uzun süre gerekmektedir (House, 2010).

Biyogaz sistemlerinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda arda kalan mineral içeriği yüksek kompost materyalinin özellikle patojen içeriği çevre sağlığı uygun seviyede olmalıdır (Mang and Li 2010). Yüksek sıcaklıklarda ve uygun hidrolik alıkonma süresine sahip olan sistemlerde bu durum sağlanabilmektedir (Bkz. Şekil 9). Özellikle fekal kaynaklı ham madde kullanımında 50ºC gibi bir sıcaklıkta patojenlerin büyük bölümü elimine edilebilmektedir (Bkz. Şekil 2.5) (Faechem et al., 1983; Ulrich et al., 2009).



Şekil 2.5. Patojen giderimi için sıcaklık ve gerekligün arasındaki ilişki (Feachem et al., 1983)

Biyogaz kompostunun kimyasal içeriği değerlendirildiğinde başta azot(N), fosfor (P) ve potasyum (K) olmak üzere, bunların yanında iz elementlerin hepsini içerir. Başta N, P, K ve iz elementler, bitki büyümesinde ve toprak mikro florasının gelişmesinde kilit role sahiptirler (Mang and Li 2010). Bitki büyümesinin temel bileşenlerinden biri olan azot için bitkilerin ihtiyacını ifade edecek standart bir değer bulunmasa da büyüme üzerinde oldukça büyük bir etkisi olduğu bilinmektedir (Mata-Alvarez et al., 2000; Mang and Li 2010)

Biyogaz üretimi için çürütücülerine ilave edilen organik atık fermantasyondan sonra enerjisini diğer bileşiklere (başta metan ve karbondioksit) aktarması sonucunda yapısındaki C:N oranından azalma meydana gelir. Reaksiyon boyunca fosfat ve potasyum miktarlarında herhangi bir değişiklik gözlenmemektedir. Ham maddeye oranla daha düşük C:N oranına (yaklaşık 15:1) sahip olan biyogaz kompostu fotofizyolojik yapısıyla gübreleme etkinliğini artırmaktadır (Kossmann et al., 1999). Hayvansal atıklarda azotun ortalama %75'i organik moleküllerin yapısında bulunur, kalan kısmı ise amonyum formundadır. Diğer atık türlerininse azot oranları hayvansal atıklara oranla daha düşük miktarda amonyum formuna sahiptir (Ahlgren et al., 2010). Amonyum açısından zengin olan biyogaz kompostundaki azot bitkiler tarafından doğrudan kullanılabilmektedir. Azotun diğer formları ise mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sonucunda bitkiler tarafından kullanılabilir formlara dönüştürülür (Matsunaka et al., 2006).

Bitkilerde azottan sonra büyüme için hayati öneme sahip olan bir diğer element forfordur (Bachmann et al., 2011). Fakat sulak arazilerdeki yüksek azot ve fosfor konsantrasyonları algal popülasyonunun artışına dolayısıyla oksijen tüketiminin artarak diğer canlı formlarının yaşamının kısıtlanmasına neden olur. Bu nedenle biyogaz kompostunun arazi uygulamaların dozlama çevre sağlığı açısından oldukça büyük öneme sahiptir (House, 2010).

Biyogaz kompostunun arazi yerine deşarj sistemine verilmesi için yüksek COD değeri (1000 mg/lt) nedeni ile ileri arıtma kaçınılmazdır. Bu değer doğanın elimine edebileceği maksimum seviye olan 200 mg/lt'den katbekat fazladır (Mang and Li 2010).

2.9 Prosese Etki Eden Parametreler

Tüm biyolojik sistemlerde olduğu gibi biyogaz sistemlerinde de mikrobiyal canlılığın devamı için çevresel parametreler oldukça büyük öneme sahiptir (Karakashev et al., 2005).

Ortam sıcaklığı veya asitliği, ham madde kompozisyonu gibi parametrelerin değişimi mikrobiyal aktivitenin inhibisyonu gibi ciddi problemlere neden olabilir,

Bu parametrelerin kontrol altında tutulması sistemin sürekliliği ve verimi açısında oldukça büyük önem arz etmektedir. (Karakashev et al., 2005).

2.9.1. pH

Doğada çoğu mikroorganizma nötral pH (7.0) değerlerinde aktif olsa da, her mikroorganizmanın optimum büyüme hızına sahip olması için farklı pH değerlerine ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. Fakat bazı mikroorganizma türleri oldukça geniş pH aralığında (hem asidik hem de bazik) yaşayabilme potansiyeline sahiptir (Garcia et al., 2000).

Biyogaz üretim reaksiyonları oldukça geniş yalpazede mikroorganizma çeşidine sahiptir. Bu organizma gruplarının optimal büyüme pH değerleri birbiri arasında farklılık göstermekle birlikte nötral pH ve düşük bazikliğe sahip olan ortamlarda da aktiftirler (Whitman et al., 2006).

Asidogenik-asetogenik reaksiyonlarda yer alan mikroorganizmalar yüksek asidik ortamda aktif olurken (pH<5.0), metanojen reaksiyonlarda yer alan mikroorganizmalar nötral pH değerlerinde yüksek aktiviteye sahiptir (Chaban et al., 2006). Fakat bu organizmaların birbirlerinin büyüme koşullarında da aktiviteleri düşük olsa da canlılıklarını koruyabilmektedir (Mathrani et al., 1988). Sistem içerisindeki ani pH düşüşü, sistem içerisindeki tüm alkalinitenin tükenmesine, dolayısıya geçici bir pH değişikliği ile kalıcı bir alkalinite değişikliği meydana gelebilir (Nordberg et al., 1999).

Biyogaz sistemlerinde çevresel faktörelere oldukça hasssas olan mikroorganizma grupları sabit, nötral ve yüksek alkalinite değerlerine sahip ortamlarda daha yüksek performans gösterirler. Özellikle bu tür sistemlerde alkalinite (karbondioksit, karbonat ve azotlu bileşiklerin parçalanma ürünü olan amonyak) değerinin yüksek olması ortam pH'sının sabit tutulması üzerinde oldukça etkilidir. Ortamdaki karbondioksit ve katabolik ürün olan amonyak ile etkileşerek oluşan amonyum bikarbonat da tamponlama özelliğine sahiptir (Bräuer et al., 2006). Reaksiyonlar süresince mikroorganizmaların amonyağa göstermiş olduğu

tolerans sistem içerisindeki amonyak konsantrasyonunun belirleyici parametresidir (Nordberg et al., 1999).

Sistemin tamponlama kapasitesi iki farklı parametre olarak belirlenir; toplam alkalinite (TA) ve bikarbonat alkalinitesi (BA). Biyogaz sistemleri için optimum BA değeri 3000-15000 mg HCO_3/lt'dir. Azot içeriği yüksek olan ham maddeler (kesimhane atıkları, bitkisel atıklar veya süt sanayi atıkları) özellikle yeni işletmeye alınan sistemlerde metanojen bakterilerinin inhibisyonuna neden olabilir (Whitman et al., 2006).

2.9.2. Sıcaklık

Doğada her canlı için olduğu gibi her mikroorganizmanın da büyüyebileceği bir sıcaklık aralığı bulunmaktadır. Mikroorganizmaların en yüksek oranda büyüme performansı gösterdiği sıcaklık değeri optimum büyüme sıcaklığı olarak adlandırılır (Noah and Wiegel, 2008). Mikroorganizma grupları yaşadığı sıcaklık aralıklarına göre gruplandırılır; psikrofilik (<20 ^oC), mezofilik (70 ^oC -105 ^oC), termofilik (50 ^oC -70 ^oC) ve ekstratermofilik (70 ^oC -105 ^oC) (Metpally et al., 2009; Reed et al., 2013; Ghasimi et al., 2015). Mikroorganizmaların belirtilen optimum büyüme sıcaklıkları kökenlendiği habitattan dolayı farklılık göstermektedir (Nordberg et al., 1999).

Biyogaz sistemleri işletmeleri sıcaklıklarına göre mezofilik ve termofilik sistemler olarak tasarlanmakta ve işletilmektedir. Ekstratermofilik sistemlerin işletilmesi zor olduğu için piyasada bulunmamaktadır. Bunun nedeni ise yüksek sıcaklıklarda yağların parçalanmasının metan üretim hızından daha hızlı olması nedeni ile ortamda ortamda yağ asidi birikiminin gerçekleşmesi ve bu olayın metan üreten bakteriler üzerinde inhibisyona neden olmasıdır (Scherer, et al., 2000) (Sahlström, 2003).

Biyogaz sistemlerinde sıcaklıkla mikroroganizma aktivitesi belirli bir noktaya kadar artarken, ortama ilave edilen ham madde sıcaklığın da etkisi ile hızlı bir şekilde parçalanır (Duran and Speece, 1997). Bu reaksiyonlar sonrasında yüksek enerji içeriğine sahip anaerobik kompost ve biyogazın daha yüksek verimle elde

edilmesi için, mikroorganizmaların büyümesinin dışarıdan sisteme ilave edilecek olan ısı ile desteklenmesi gerklidir. Bu ernerjinin büyük bir kısmı metanın yapısında bulunan kimyasal bağlar içerisine hapsolur (Svahn, 2006).

Isıtma bu sistemlerin ayrılmaz bir parçası olunca mezofilik ve termofilik sistemler ön plana çıkmıştır. Termofilik sistemler ile karşılaştırıldığında oldukça geniş yelpazede mikrooganizma grubuna sahip olan mezofilik sistemler kullanıcıya daha istikrarlı ve çok daha kolay adaptasyon sağlayan bir sistem sunmaktadır. Bunun yanıda bir substrat miktarı başına oldukça yüksek mikrobiyal kütleye sahip olan mezofilik sistemler, bazı organik madde gruplarının parçalanmasında daha yüksek metabolik aktivite gösterir (Duran and Speece, 1997).

Reaksiyon sürecinde artan sıcaklık ile birlikte ham maddelerin ortamdaki çözünürlükleri de artar. Bu durum mikroorganizmaların ortamdaki çözünmüş substrata daha kolay ve hızlı bir şekilde ulaşmasına dolayısıyla reaksiyonun hızlanmasını sağlar. Aynı zamanda düşük vizkoziteye fakat yüksek sıcaklığa sahip ortamda, düşük maliyetli karıştırma ve etki sanitasyon gerçekleştirilebilir (Ryan, 2008).

Biyogaz sistemlerinde artan sıcaklık değerleri avantajlı gibi gözüksede sistemin derinliklerinde yatan dar boğazlar bu sistemlerin yüksek sıcaklıkta işletilmesini kısıtlamaktadır (Ryan, 2008). Bu darboğazların başında reaktörün ısıtılması için gerekli olan ısıtma maliyetidir. Bu nedenlen mezofilik sistemler termofilik sistemlerin bir adım önüne geçmektedir (Ehrlich et al., 2015). Aynı zamanda organik maddenin hızlı yıkımlanması nedeniyle ortamda mikroorganizmaların inhibisyonuna neden olabilecek amonyak konsantrasyonu artmaktadır. Sıcaklığın yükselmesi ile sistem içerisindeki dengenin amonyağın gaz formu lehine kayması, sistemde dengesizlik meydana getirmektedir (Madigan et al., 1997).

2.9.3. Oksijen Konsantrasyonu

Biyogaz sistemleri içerisindeki oksijen konsantrasyonu metan üretimi açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Özellikle metan üreten bakterilerin

oksijene olan duyarlılığı sistem içerisinde kontrolü gerekli olan parametrelerin başında gelmektedir (Weiland, 2010).

Ortamda bulunan oksijen sistem içerisindeki önemli mikroorganizma gruplarının hücresel yapıtaşlarını okside ederek bozulmasına neden olmaktadır. Bazı mikroorganizma gruplarının bu tür reaksiyonlara karşı geliştirmiş olduğu savunma mekanizmaları (enzimatik), oksijenin zararlı etkilerinden korunmaları açısıdan hayati öneme sahiptir (Levén et al.,. 2007).

Biyogaz sistemlerinde yaygın olarak bulunan mikroorganizma gruplarının başlıcaları fakültatif aerob ve zorunlu anaerob mikroorganizmaladır. Zorunlu anaerob mikroorganizma grupları oksijenin olmadığı ortamlarda gelişen metan üreten mikroorganizmaları içeren mikroorganizmalardır. Fakültatif aerobik mikroorganizmalar oksijenin varlığında da yokluğunda da canlılıklarını sürdürebilmektedir (Levén et al.,. 2007)

Farklı mikroorganizma gruplarının biyogaz sistemlerindeki varlığı nedeni ile sistem içerisindeki düşük oksijen konsantrasyonları tolere edilebilmektedir. Bu durumun baş rol oycunları fakültatif mikroorganizmalardır (Deublein, D. and Steinhauser, A., 2011). Bunun yanı sıra sistem içerisindeki H_2S konsantrasyonunun azalatılması amacıyla ortama ilave edilen oldukça düşük hacimdeki hava elemental kürkürt oluşumu ile sonuçlanarak bu konsantrasyonu düşürmek için kullanılır (Agdag and Sponza, 2004).

2.9.4. Tuz

Doğada bulunan tüm canlıların olduğu gibi mikroorganizmalarında temel besin ihtiyaçalarının yanında mikro düzeydeki elementlere (sodyum, potasyum, klor vb.) de ayrı ayrı ihtiyaç duyarlar. Bu tür bileşenler biyogaz sistemlerinde oldukça geniş yelpazedeki ham madde kaynakalarında bulunur (**Divya et al., 2015**).

Biyogaz sistemlerinde kullanılan zengin mineral içeriğine sahip ham maddelerden bazıları, sistem içerisinde yapıları gereği sonradan yüksek oranda tuz

salımı gerçekleştirirler. Bu da sistem içerisinde mikroorganizmaların inhibisyonu gibi problemlere neden olabilmektedir (Schnürer and Jarvis, 2009).

Genel anlamda tuz ve benzeri bileşenler (şekerler vs.) ortamdaki su aktivite değerini düşürmesi ile mikroorganizma gelişimini yavaşlatma hatta durdurma özelliğine sahiptir. Ortamda bulunan yüksek konsantrasyonla tuz, hücre içerisindeki dengeyi korumak amacıyla suyun dışarı pompalanmasına, bu da hücre üzerinde hem yapısal hem de fonksiyonel bozuklukluklara neden olabilmektedir. Fakat bazı mikroorganizma grupları metabolizmalarını kadameli olarak yüksek tuz konsantrasyonlarına ayarlayarak bu etkiden kendilerini koruyabilmektedirler (Chen et al., 2008)

Biyogaz sistemlerindeki özellikle gıda, balık ya da diğer protein içeriği yüksek atıklar sistem içerisinde tuz konsantrasyonunun yükselmesinde etkili rol oyanayabilirler. Bunun yanı sıra ilerleyen aşamalarda amonyak salınımına neden olan bu olumsuzluk, biyogaz sistemlerinde takibi yapılması gereken kilit parametreler arasında yer almaktadır (Chaban and Jarell, 2006).

2.9.5. Organik Yüklem Hızı (OLR)

Organik maddelerin biyogaz reaksiyonlarında parçalanması sonuncunda enerji içeriği oldukça yüksek biyogaz oluşmaktadır. Bu sürecin devamlılığı için ortama taze materyalin ilavesi şarttır. Aksi takdirde sistem yavaş yavaş durma noktasına gelmektedir (Schön, 2010).

Organik yükleme hızı (OLR) sistem içerisine birim hacim başına ilave edilen organik madde miktarını belirtir. Bu nedenle ham maddenin kuru madde (KM) ve organik kuru madde (oKM) değerlerinin tespiti sistem verimliliği açısından büyük önem arz etmektedir. KM değeri ham maddenin yapısındaki suyun tamamen uzaklaştırılması sonucunda kalan kısmının yüzde olarak ifadesi iken, oKM değeri KM'nin atığın organik kısmını ifade eden yüzde değerdir (Angelidaki et al.,2006).

.

Metan üreten mikroorganizmaların büyüme hızlarının düşük (ikilenme süresi 1-2 gün) olması nedeni ile sistem ilk çalışmaya başladığında düşük OLR değerleri (0,5 kg OKM/gün m^3) kullanılması önerilir. Bu durumda sınırlı sayıda mikroorganizmanın bulunduğu aşamada (başlagıç aşaması), reaksiyon ortamında risk ham maddelerin (yağ asitleri vb.) birikimi engellenerek sistem stabilitesi korunmuş olur. İlerleyen zamanda OLR değerinin kademeli bir şekilde artırılmasının sakıncası yoktur (Angelidaki et al.,2006; Schön, 2010). Biyogaz sistemeleri istenilen OLR değerlerine ulaştığ zaman sistemin devamlılığı ve stabilitesi için bu değeri korumak oldukça önemlidir. Sistem içerisindeki bu değerin bir hafta içerisinde %15 seviyesinden fazla değşitirilmesi sistemin stabilitesini bozma niteliğine sahiptir (Schnürer and Jarvis, 2009).

Biyogaz üretiminin verimli bir şekilde gerçekleştiği sistemlerde en uygun OLR değerleri termofilik sistemler için 4-5 kg oKM/m^3gün, mezofiliklerdeki bu değer ise 2-3 kg oKM/m^3gün seviyesindedir fakat literatürde daha yüksek OLR hızlarındaki sistemlerde mevcuttur (Schnürer and Jarvis, 2009).

Biyogaz sistemlerinde bulunan mikroorganizma grupları sistem içerisinde olan substrat kompozisyonuna kademeli değişimine adapte olabilme niteliğine sahiptir. Fakat hızlı OLR değişimi sistemdeki var olan mikrobiyal kütle üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Bu nedenle sistemde yapılacak olan OLR değişimlerinin kademeli bir şekilde değişimi hem mikrobiyal kütleyi korumakta hem de sistem stabilitesi üzerinde olumlu etkiye sahip olmaktadır (Schnürer and Jarvis, 2009).

Sisteme bir gün içerisinde yapılacak olan ham madde ilavesinin tek seferde yapılmak yerine gün içerisinde kademeli olarak (yaklaşık 20 ayrı periyot ile) ilave edilmesi tavsiye edilir. Aynı zamanda kuru madde içeriği yüksek olan ham maddelerin her gün aynı standartta beslenmesinin zor olması nedeni ile daha düşük kuru madde içeriğine sahip olan ham maddeler ile birlikte seyreltilerek verilmesi sistem stabilitesi açısından tavsiye edilmektedir (Schnürer and Jarvis, 2009).

2.9.6. Alıkonma Süresi (RT) ve Hidrolik alıkonma süresi (HRT)

Biyogaz sistemlerinin maksimum verimlilikte çalışabilmesi için sistem içerisine ilave edilen ham madddenin mikroorganizmalar tarafından metabolize olacak kadar sistem içerisinde beklemesi gerekmektedir. Bu durum sistemde alıkonma süresi ile kontrol edilir. Literatürdeki ifadesi ile sistem içerisindeki tüm ham maddenin yerini yenisi alması için geçen süre alıkonma süresi olarak tanımlanır (Divya et al., 2015).

Biyogaz üretiminde farklı formalardaki organik materyaller (karbonhidrat, yağ ve protein temelli bileşenler) metabolize olarak metan ve karbondioksit gazını oluşturur. Bu biyokimyasal reaksiyonlar nedeni ile sistem içerisindeki organik madde miktarının azalması sürekli bir azalma gösterir. Ancak ortama yeni hammaddelerin ilavesi sistem sürdürebilirliğini artırıcı etki gösterir (Schnürer and Jarvis, 2009; Divya et al., 2015).

Biyogaz sistemlerinde organik bileşenlerin reaktör içerisine ilavesi ile başlayan fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal olaylar zinciri bu maddelerin metabolize olmuş formlarnının reaktörü terk etmesi ile son bulur. Bu süre zarfında yüksek kuru madde içeriğine sahip biyogaz üretimi sonucunda azalmaktadır. Bu çıktı su, çözünmüş tuzlar ve organik maddeler metabolize olmuş halde sistemi terk eder. Ayrıca bu çıktının yapısında bir miktar biyokütle de bulunmaktadır. (Schnürer and Jarvis, 2009).

Biyogaz reaktörlerinde ham maddelerin devamlılığı genel de hidrolik alıkonma süresi (HRT) ile kontrol edilir. Bu değer sistem içerisine giren birim organik maddenin reaktör içerisinde geçirdiği süreyi ifade eder. Fakat bazı durumlarda HRT katı maddenin alıkonma süresi (SRT) olarak da ifade edilebilir (Menardo et al., 2011).

Biyogaz sistemlerinde genelde HRT değeri 10-25 gün arasında değişmektedir. Fakat bu değerin daha uzun olduğu sistemlerde bulunmaktadır. Çoğu biyogaz sisteminde HRT ve SRT değerleri birbirine eşittir. Dizayn

aşamasında geri beslemeli olarak tasarlanan sistemlerde ise SRT değer HRT'ye göre daha yüksektir (Schnürer and Schnürer 2005).

Biyogaz sistemlerindeki alınkonma süresini etkileyen başlıca parametreler ham madde kompozisyonu ve sıcaklıktır (Menardo et al., 2011). Ham maddenin şeker ve nişasta gibi mikroorganizmalar tarafından kolay parçalanabilen yapıtaşları içermesi alıkonma süresinin kısa olmasını sağlar. Bunun temel nedeni ham maddelerin herhangi bir ön işleme ile muamele edilmeden, çözünmüş maddelerin mikroorganizmalar tarafından kolayca kullanılabilmesidir. Fakat ham maddenin yapısı kompleks hal aldıkça (lignin, lif veya selüloz yapılı) önerilen alıkonma süreleri artış göstermektedir. Bu tür sistemlerde genel anlamda hız sınırlayıcı reaksiyon hidroliz aşamasıdır (Kim et al.,2006).

Sistemdeki alıkonma süresinin düşük olması mikroorganizma ile ham maddenin etkileşimini sınırlamaktadır. Bu durumda ham madde kullanılmadan sistemi terk etmektedir (Divya et al., 2015). Sistemi terk eden fermente olmamış ham madde üzerinde yapışmış formda bulunan mikroorganizmaların da kaybı söz konusu olması nedeni ile sistem içerisinde mikrobiyal yük kaybı gerçekleşebilmektedir. Metanojenik bakterilerin ikilenme sürelerinin ortalama 12 gün seviyesinde olması nedeni ile, sistem performansının olumsuz yönde etkilenmesi ve belirli bir noktadan sonra sistemin durması söz konusu olmaktadır (Kumar et al., 2008).

2.9.7. Karıştırma

Biyogaz sistemine giren ham maddelerin mikroorganizmalar için maksimum seviyede ulaşılabilir olması sistem verimi açısından oldukça büyük öneme sahiptir. Bu durum çürütücü içerisinde tasarlanmış farklı karıştırma sistemleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu sayede hammadde-mikroorganizma etkileşiminin artırılarak mikrobiyal enzimlerin etki alanını artırmaktadır. Bunun yanısıra kritik bir parametre olan sıcaklı çürütücü içerisinde etkin bir şekilde dağılması ve çürütücü tabanında oluşabilecek olası çökelmeler engellenmiş olur (Zhang et al., 2003; Demirel and Scherer, 2011).

Sistem içerisinde gerçekleştirilen karıştırmanın kritik değerin üzerinde bir hızda olması mikroorganizmalar üzerinde olumsuz etki yaratır. Bunun en temel nedeni hücre üzerinde oluşan yüzey gerilimidir. Anaerobik mikroorganizmaların kümelenme temelli yaşam biçimleri nedeni ile yüksek karıştırma hızları sistemin veriminin düşmesine neden olmaktadır. Oysaki gerçekleştirilen yavaş bir karıştırma hem biyogaz üretimi üzerinde hem de mikroorganizmaların agregat oluşturarak sistemden uzaklaşmalarını (wash out) engellemesi açısından büyük öneme sahiptir. Sürekli sistemlerde gerçekleştirilen karıştırma çökelmenin engellenmesinin yanısıra ıslak hacmin en uygun seviyede kullanılmasını sağlamaktadır (Schnürer and Jarvis, 2009; Divya et al., 2015).

2.9.8. Ortam Bileşimi

Farklı ham maddelerin farklı enerji içeriğine sahip olması nedeni ile reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan metan miktarları da farklıdır (Möller et al., 2004). Bu reaksiyonlar çevresel faktörlere karşı oldukça hassas oldukları için her zaman standart içeriğe sahip ürün eldesi oldukça zordur. Bu nedenle biyogaz üretimi sırasında hesaplanan teknik ve pratik biyogaz değerlerinde sapmalar meydana gelebilmektedir. Mikroorganizmalar tarafından kullanılamayan lignin gibi materyallerin varlığı sistem içerisindeki metan üretimini düşürmektedir. Bu nedenle ham maddelerin kimyasal kompzisyonu oldukça büyük öneme sahiptir (Gunaseelan, 2007).

Tüm canlı organizmalarda olduğu gibi biyogaz sisteminde yer alan mikroorganizmalar için makro ve mikro elementler büyük önem arz etmektedir (Jarrell and Kalmokoff, 1988). Literatürdeki oldukça fazla sayıdaki çalışmların varlığı ve elde edilmiş olan sonuçlar doğrultusundan özellikle mikro (iz) elementler metan üreten mikroorganizmaların verimi üzerinde doğrudan etkili olduğu belirlenmiştir. Fakat herhangi bir standart iz element kompozisyonu bulunmamaktadır (Mao et al., 2015).

Ham maddelerin yapısında eser oranda bulunan iz elementlerin (demir, çinko, nikel, bakır, kobalt, molibdenyum, selenyum ve tungsten) sisteme ilavesinin yapılması biyogaz üretimini önemli oranda artırmaktadır. Bu durum sistemin daha

yüksek OLR değerlerinde işletilmesine olanak sağlamaktadır (Jarrell and Kalmokoff, 1988). İyi bir analizi gerçekleştirilmiş olan ham madde için gerekli olan mikro elementler belirlenip, sisteme ilavesinin gerçekleştirilmesi sistem performansın8 pozitif yönde etkilemektedir. Özellikle bitkisel materyallerin fazla oranda kullanıldığı sisteme söz konusu elementlerin ilave edilmesi önerilmektedir (Florencio et al.,1993; Mao et al., 2015).

İz element içeriğinin yanı sıra ortamda karbon ve azot konsantrasyonu verim üzerinde büyük etkiye sahiptir (Yen and Brune, 2007). Birçoğu karbon temelli olan ham maddelerde, uygun OLR, HRT ve sıcaklık değerlerinde kimisi diğerlerine göre daha fazla avantaj sağlamaktadır. Durumun bu şekilde olması ham maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin önemini gün yüzüne çıkarmaktadır (Yen and Brune, 2007).

Bir fiziksel özellik olan parçacık boyutu, ham maddenin biyogaz sistemlerinde parçalanabilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Azalan parçacık boyutu, ham madde mikroorganizma etkileşim yüzeyini artırması nedeni ile mikrobiyal performans artışını sağlamaktadır. Bu nedenle gerçekleştirilecek ön işlemler ile partikül büyükülüğünün optimum boyuta indirgenmesi biyogaz üretimini artırıcı yönde etki göstermektedir. Fakat tam anlamıyla parçalanamayan toksik maddeler ve lignin gibi bileşenlerin mikroorganizmalar üzerindeki etkisi göz ardı edilmemelidir (Gunaseelan, 1997).

Ham maddelerin mikroorganizmalar tarafından metabolik ve katabolik reaksiyonlar içerisinde kullanılması sisteme beslenen ham madde kompozisyonunu önemli hale getirmektedir. Özellikle enzimatik faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde başrolde olan enzimlerin kofaktörü olma niteliğine sahip iz elementlerin gerekliliği, bu kompozisyonunu daha da ön plana çıkarmaktadır (Singh and Olsen**,** 2011).

Sistem içerisinde sağlanan karbon/azot oranı mikrobiyal performansın kontrolünü sağlamaktadir. Düşük bir C/N değeri tüm sistemin amonyak inhibisyonu sonucu alt üst olmasına neden olabilmektedir (Callaghan et al., 2002). Tersi durumda ise, yüksek C/N değerlerinde, sistem içerisinde azot eksikliği metabolik ve anabolik reaksiyonların sekteye uğramasına neden olabilmektedir

(Yen and Brune, 2007). Literatür verilerine göre bu değerin 10-30 olması durumunda sistem çalışmasına rağmen optimum değerin 15-25 arası olduğu belirlenmiştir (Speece, 1984).

Sistem performansı üzerinde etkili olan diğer bir nokta ise ortam kuru madde (KM) değeridir. Düşük KM değerlerinde sistem içerisinde kalamayan mikroorganizmalar çıkış akımı ile sistemden ayrılır (wash out) (Barber and Stuckey, 1999). Bu tür durumlarda oldukça seyreltik yapıdaki ham maddeler nedeni ile sistem içerisinde mikroorganizmanın tutunabilmesini sağlayacak destek materyalinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Uygun KM değeri sayesinde, uygun süre sistem içerisinde kalan ham maddeye mikroorganizmaların parçalanma reaksiyonları sonucunda metabolize olmuş halde sistemden ayrılmasına izin vermektedir (Liao et al., 2006).

Ham maddelerin biyogaz potansiyeli laboratuvarlarda gerçekleştirilen bir grup test(BMP-Biological methane production testi) ile belirlenir. Ham maddeye spesifik olarak gerçekleştirilen testlerde, aşı içeriğinde bulunan mikroorganizma grupları tarafından substrat yapısında bulunan şeker, protein ve yağ yapı taşları parçalanarak açığa çıkan metan gazı miktarı belirlenmektedir. Ham madde yapısındaki karbonhidrat, protein ve yağ bileşimi oranları parçalanabilirlik üzerinde oldukça büyük etkiye sahiptir. Bu da ön işlem ve sıcaklıkla beraber biyogaz üretim potansiyelini doğrudan etkilemektedir (Yadvika et al., 2004; Anon et al., 2007). Örneğin, gıda atıklarının içeriği ve parçalanabilirliği mevsim ve bölgeye bağlı olarak değiştiği gibi, bitkisel ürünlerin ve atıklarının kompozisyonu da hasat zamanı ve nerede üretildiğine göre farklılık gösterebilmektedir. Bu durum atık türü aynı olmasına rağmen biyogaz potansiyeli farklılık gösterebilmektedir (Gunaseelan, 2007).

Gelişen teknoloji farklı materyalerin karıştırılarak aynı anda çürütme işlemine tabi olmasını mümkün kılmaktadır. Bu sayede ortak çürütme (co-digestion) olarak adlandırılan bu tür sistemlerde daha yüksek oranda metan üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunun temel nedeni farklı ham maddelerin mikroroganizmaların ihtiyacı olan farklı bileşenleri (iz elementler veya uygun C/N oranı) birlikte tamamlayarak mikrobiyal büyüme hızının artmasıdır (Lierety et al.,

2001; Ahring, 2003). Aynı zamanda bu tür sistemlerde sağlanan stabilizasyon ile ileride karşılaşılabilecek olan olası düzensizlikler elimine edilebilir. Örneğin mikroorganizmaların inhibisyonuna neden olabilecek olan toksik formdaki bir bileşen sistem içerisine seyreltilmiş halde beslenir. Bu hem mikroorganizmanın yaşamsal faaliyetlerini korumakta hem de daha düşük yoğunluğa sahip olan besleme akımının pompalanması için gerekli olan enerji sarfiyatını düşürmektedir (Ahring, 2003).

2.10. Hammaddeler Kullanılırken Dikkat Edilecek Olan Noktalar

Tüm biyolojik temelli sistemlerde olduğu gibi biyogaz sistemlerindeki mikroorganizmalarda çevresel faktörlerden oldukça fazla etkilenmektedir. Bu nedenle bu tür sistemlerin işletilmesinde kontrol ve taip mekanizmasının önemi oldukça büyüktür. Aksi durumda gözden kaçabilecek basit hatalar sistemin durması ile sonuçlanabilmektedir (Sakar et al., 2009).

Biyogaz sistemlerinde daha önce bahsi geçen bahsedilen sıcaklık, OLR, HRT, ortam bileşimi, karıştırma ve pH gibi parametreler biyogaz tesislerinde takibi gerçekleştirilmesi gereken kritik parametreler arasında yer almaktadır. Bu parametrelerde kontrol dışında gerçekleşen değişimlerin erken tespit edilmesi sonucunda sisteme yapılan müdahaleler ile sistemin tekrar etkili çalışması sağlanabilir. Aksi durumda sistemin durması kaçınılmaz bir sonuçtur (Laramee and Davis, 2013; Werner et al., 1989). Biyogaz sistemlerinde karşılaşılabilecek ve alınabilecek tedbirler Tablo 2.5'de detaylı bir şekilde ele alınmıştır (Werner et al., 1989; FNR, 2010; DBFZ, 2011).

Tablo 2.5. Biyogaz tesissilerinde karşılaşılabilecek olan olası problemler, olası nedenleri ve problemin çözümü (Werner et al., 1989; FNR, 2010; DBFZ, 2011'den uyarlanmıştır)

Olası Problem	Olası Neden	Çözüm Önerisi
Düşük hacimde biyogaz üretimi	Sistem içerisine yetersiz ham madde ilavesi, Düşük OLR değeri	Reaktör hacmi ile orantı olarak ham madde ilavesi (uygun OLR değeri)
Düşük gaz basıncı veya düşen gaz üretimi (gaz kullanılmının olmamasına rağmen)	Gaz hattının fermantasyon içeriği ile tıkanması, Gaz hattı üzerindeki gaz kaçakları, Çatı malzemesinde meydana gelen çatlaklardaki gaz sızıntıları	Çürütücü ile bağlantısı kesilen gaz hattının hava ile temizlenmesi, Basınç testi ve köpükleme ile (detarjan-su karışımı) çatlakların tespiti, Var olan büyük çatlakların onarımı (tam/kısmi boşaltma ile)
Normal gaz basıncında gaz iletim hattındaki akış yetersizliği	Sistemdeki köpüklenme sonucu meydana gelen kirlilikler	Karıştırma ile köpük eliminasyonu, Çıkış akımının sisteme geri beslenerek karıştırma sağlanması
Sabit olmayan gaz basıncı	Gaz iletin hattındaki yoğuşmuş su	Gaz hattındaki su tuzaklarının kontrolü, Su tuzağının tüm gaz hattının en düşük boktasında bulunması
Kötü kokulu ve düşük parlamalı gaz	Sistemdeki yüksek asit konstrasyonu ve mikrobiyal floradaki düzensizlikler (pH asidik aralıkta ise), Ham madde ile sisteme mikroorganizma inhibisyonuna neden olan bileşen transferi (toksik veya antiseptik)	Gaz parlaması sağlanıncaya kadar (2-3 gün) ham madde ilavesinin durdurulması, Sisteme ilave edilen kireç ile pH değerinin yükseltilmesi
Kokusuz ve parlamayan gaz	Yanma ortamına yüksek oranda beslenen hava	Yanma haznesindeki hava nozzleda hava akışının kontrolü
Kararsız-sabit olmayan alev	Gaz hattında su buharı yoğuşması	Gaz hattındaki su tuzaklarındaki suyun tahliyesi
Düşük parlama	Gaz iletim hattındaki sızıntılar (düşük gaz basıncı), Depoki yetersiz gaz (düşük gaz basıncı),	Basınç testi ve köpükleme ile (detarjan-su karışımı) çatlakların tespiti,

	Yanma haznesindeli nozzle çapı yetersizliği veya tıkanması	Gaz basıncının kontrolü (gaz kullanımının durdurulması ile), Nozzle çapının artırılması, Yanma haznesinin temizlenmesi
Yüksek parlama	Büyük nozzle çapı	Nozzle çapının azaltılması
Sarı renkte alev oluşumu (normal koşullarda mavi renk)	Büyük nozzle çapı	Hava akışının düzenlenmesi (alev parlak mavi olana kadar)
Meşalenin içine doğru yanması (normal koşullarda meşaleden yukarı doğru yanan alev)	Yanma haznesindeki tıkanıklıklar	Alev bölmesi temizlenmesi, Yanma haznesinin kirlilik ve tortuların arındırılması

2.11. Sisteme İlavesinin Kontrollü Yapılması Gereken Atıklar

2.11.1. Distilasyon Atıkları ve Sülfat İçeren Diğer Hammaddeler

Distilasyon (DDGS) atıkları, distilasyon işlemleri sırasındaki DDGS danelerinin (buğday, arpa, çavdar, mısır vb.) nişasta temelli kısımlarının maya ve enzimler yardımı ile fermente olmasından (etanol üretimi) arda kalan yan ürün olarak tanımlanmaktadır (Şenyüz ve ark., 2015). DDGS atıkları biyogaz sistemlerinde kullanılabilecek metan içeriği yüksek ham maddeler arasında yer almaktadır (Börjesso and Mattiasson, 2007).

DDGS süresince mayalar tarafından etanol üretiminin gerçekleştirilmesi için yalnızca şeker yapısındaki moleküller kullanılmaktadır. Proses sonrası açığa çıkan atığın yüksek oranda azotlu bileşikleri içermesi biyogaz sistemlerinde çeşitli riskler oluşturur (Adekunle et al., 2015). Bu nedenle DDGS atıklarının kullanıldığı biyogaz sistemlerinde amonyak oranının takibinin dikkatli bir şekilde yapılması, olası sistem inhibisyonlarının engellenmesini sağlamaktadır. Bu tür atıklar için önerilen, bu atıkların farklı karbonhidrat içeriği yüksek atıklar ile belirli oranlarda karıştırılarak sistem içerisine beslenmesidir (Börjesso and Mattiasson, 2007).

Etanol üretiminde yaygın olarak buğday kullanılmasına rağmen bunun yanında mayanın kullanımı için ön işleme tabi olmuş selüloz oranı yüksek diğer tohumlarda kullanılmaktadır. Bu ön işlem ve pH düzenleyici olarak kullanılan sülfirik asit işlemler sonrasında biyogaz sistemlerinde kullanılan atıkta yüksek sülfat iyonu konsantrasyonuna sebep olmaktadır. Bu durum biyogaz sistemlerinde sülfat indirgeyici bakterilerin gelişmesinin yanısıra üretilen biyogaz miktarının azalmasına ve üretilen gaz içerisindeki H_2S konsantrasyonunun artmasına neden olur (Hasnain and Anderson, 2005).

Yüksek H_2S konsantrasyonu üretilen gaz kalitesini düşürücü etkiye sahiptir. Aynı zaman korozif özelliğe sahip olan gaz iletim hatlarını deforme etmekte ve metan üreten mikroorganizmaları inhibe etme özelliğine sahiptir. Belirtilen bu olumsuz özellikleri nedeni ile biyogaz sistemlerinde H_2S gazı ve kürkürt içeriği

yüksek ham maddelerin tek başlarına kullanımları istenmemektedir (Dar etal., 2008).

2.11.2. Hayvansal Atıklar

Hayvansal atıkların kimyasal kompozisyonunun canlılar arasında farklılık göstermektedir. Bu tür atıklar kuru madde içeriğine göre katı ve sıvı olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Katı gübre sınıfındaki atıklar %27-70 arası kuru madde içeriğine sahipken sıvı gübre ise %5- 10 kuru madde değerine sahiptir (Möller et al., 2004). Aynı zamanda katı gübre yüksek orandaki karbon değerleri ile sıvı gübreden daha yoğun içeriğe sahiptir. Biyogaz sistemlerinde yapısındaki azot içeriğinin düşük olması ve düşük katı madde oranının vermiş olduğu düşük enerji sarfiyatı ile bu tür sistemler için daha uygun bir niterliğe sahiptir (Chadwick et al., 2011).

Hayvansal atıklardan büyükbaş hayvanlardan elde edilen atıklar domuz ve tavuk kaynaklı atıklara göre daha düşük değerde biyogaz üretim potansiyeline sahiptir. Bunun en temel nedeni büyükbaş hayvanlarda alınan besin maddelerinin bünyelerinde yüksek oranda parçalanarak metabolize olmasından sonra dışarı atılmasıdır (Börjesson. and Mattiasso, 2007).

Hayvansal atıkların, özellikle büyükbaş atıklarının, diğer ham maddeler ile (DDGS veya gıda kaynaklı atıklar) karıştırılarak biyogaz sistemlerine ilave edilmesi ile üretilen biyogaz miktarı artırılabilir. Bu diğer atıkların yapısında bulunan toksik materyallerin sistem içerisindeki mikrobiyal floraya zarar vermemesi için tampon rolü oynar. Hayvansal atıkların sistemi stabilize edici özelliği ve besin değerinin olmasının yanı sıra, yapısında bulunun doğal mikrobiyal flora da biyogaz sistemine doğal inokulasyon yapılmasına olanak sağlar (Börjesson. and Mattiasso, 2007).

Yapısında bulunan yüksek azot konsatrasyonu nedeni ile tavul ve domuz atıklarının tek başlarına biyogaz sistemlerinde çürütülmeleri önerilmemektedir. Bu nedenle biyogaz sistemlerindeki olası amonyak inhibisyonlarını engellemek amacıyla ortak çürütme önerilmektedir (Chynoweth et al., 1999).

2.11.3. Enerji Bitkileri

Enerji bitkileri, yüksek karbon içeriği dolayısıyla yüksek biyogaz üretim potansiyeline sahip ve kuru madde içeriği %10-50 arasında değişen bitkilerdir. Yüksek kuru madde değerleri nedeni ile ıslak temelli biyogaz sistemlerine ya su içeriği yüksek ham maddeler ile ya da çıkış akımı ile seyreltilerek sisteme beslenmeleri önerilmektedir (Lehtomäki, 2006).

Enerji bitkilerinin kompleks yapılı selüloz, hemiselüloz ve lignin açısından zengin olması parçalnama reaksiyonlarının yavaş gerçekleşmesine neden olmaktadır. Bu parçalanma reaksiyonlarını hızlandırmak amacıyla gerçekleştirilen önişlemler (ısı ya da hidrojen peoksit uygulaması) bu tür hammaddelerin mikroorganizmalar ile etkileşimini artırmaktadır. Yapılan ön işlem uygulamaları sayesinde sistem içerisinde kayde değer gaz artışları sağlanabilmektedir (Yadvika et al., 2004).

Bitkisel materyaller arasından meyve, şeker pancarı ve patates atıkları biyogaz sistemlerinde kolay ve hızlı bir şekilde parçalanabilmektedir. Fakat kolay parçalanabilen ham maddelerin biyogaz sistemlerinde asit birikimine bağlı olarak pH düşmesi meydana gelmektedir (Lethomäki et al., 2008). Bu tür ham maddelerin azotça zenngin ham maddeler ile birlikte çürütme işlemine tabi tutulması, asitleşmenin önlenmesi için alınacak önlemlerden biri olarak bilinir. Farklı bir yöntem ise ortama tamponlama özelliği olan bir ham madde ya da azot içeriği yüksek ham madde ilavesi ile sağlanabilir. Tasarım olarak ise asitleşme ve metan üretim reaksiyonlarının birbirine bağlı farklı sistemler içerisinde gerçekleşmesi olası problamlerin önünen geçmektedir (Parawira et al., 2004).

Literatürde var olan çalışmalara göre enerji bitkilerinin kullanıldığı sistemlerde ortam sıcaklığını diğer sistemlere göre kendi içerisinde planlanan işletme sıcaklığının üzerine çıktığı belirtilmiştir. Tasarım aşamasında 35- 39 ^{0}C olarak hedeflenen ortam sıcaklıkları 42- 49 ^{0}C olarak belirlenmiştir (Lindorfer et al., 2007). Bunun nedeninin ise yüksek oranda enerji ve nişasta içeriğine sahip olan karbonhidrat temelli ham maddelerin parçalanması sırasında ortaya çıkan enerji olduğu tahmin edilmektedir. Buna bağlı olarak istenmeyen sıcaklık yükselmeleri,

ortamda yağ asidi birikmesine ve sistemde dengezsizliğe neden olmaktadır (Lindorfer et al., 2008).

Bitkisel materyaller içerisinde biyogaz üretimindaki mikoorganizmların performası üzerinde büyük etkiye sahip olan iz elementler düşük oranda bulunur. Bu nedenle bu tür ham maddelerin farklı ham maddeler ile karıştılarak siteme ilavesi verimi artırmaktadır. Bunun yanında bitkisel materyallerdeki yüksek C/N oranı nedeni ile ortak çürütme işleminde azot içeriği yüksek ham maddelerin ilavesi ile optimum proses şartları sağlanabilmektedir (Lethomäki et al., 2008).

2.11.4. Kesimhane Atıkları

Biyogaz sistemlerinde kullanılan enerji içeriği yüksek bir diğer ham madde kaynağı olan kesimhane atıkları yüksek oranda yağ ve protein içeriğine sahiptir. Fakat bu tür ham maddeler gerçekleşen bazı metabolik reaksiyonlar sonucunda uzun karbonlu yağ asitleri ve amonyak konsantrasyonlarının yükselmesine neden olabilir (Wang and Banks, 2003; Yadvika et al., 2004).

Özellikle amonyak ve amonyum değerlerinin hızlı bir şekilde yükseldiği termofilik sistemlerde kesimhane atıklarının kullanımı oldukça dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Biyogaz sistemlerinde farklı bir ham madde ile uygulanan ortak çürütme ile bu kritik azot değeri uygun C/N değerine indirgenebilir. Kullanılan yardımcı ham madde (hayvansal gübre, arıtma çamuru veya gıda atıkları) ile sürdürülebilir ve daha düzenli parametrelere sahip sistemlerde elde edilebilir. Aynı zaman asitleşme ve metan üretiminin birbiri ile bağlantılı iki ayrı sistem içerisinde gerçekleştiği tasarımlarda da bu istikrar ve düzen korunabilmektedir (Wang and Banks, 2003).

3. METOD

Bu tez kapsamında hesap aracı uygulamasının tasarımı 3 temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla, tasarıma ilişkin verilerin toplanması ve değerlendirilmesi, hesap aracının tasarımı ve doğrulama aşamasıdır.

Verilerin toplanması aşamasında literatür taraması gerçekleştirilerek atık ve enerji bitkileri için biyogaz tesislerinin tasarımının sağlanması için gerekli olan toplam kuru madde oranı, organik toplam kuru madde oranı, yoğunluk değerleri, volümetrik biyogaz üretim potansiyeli, fermantasyon sonuncunda oluşturulan biyogazın metan yüzdesi, organik dekompozisyon oranları (organik madde azalım oranı) ve hayvanlar için günlük dışkılamalarına miktarlarına ait veriler belirlenmiştir. Aynı atık veya enerji bitkisi için bulunan birden fazla değer için ortalama değerler hesaplanmıştır.

Hesap aracı tasarlanırken temel anlamda 5 ana sekmeden oluşması planlanmıştır. Bu sekmeler, kullanıcının tasarlamak istenilen biyogaz tesisinde kullanacağı ham madde değerlerini gireceği *"Besleme ve Biyogaz Değerleri"* sekmesi, hesap aracının tüm matematiksel hesaplamaların gerçekleştirileceği *"Ana Hesap Tablosu",* elde edilen dizayn verilerinin ve ekonomik verilerin kullanıcıya sunulacağı *"Rapor Sayfası",* tesisin tahmin edilen faydalı ömrü boyunca tahmini finansal durumu gösteren *"Nakit Akışı"* ve tüm sistemin tasarım parametreleri ile özetlendiği *"Tesis Akış Şeması"* sekmesidir.

Doğrulama aşamasında tasarlanan hesap aracının kontrol var olan tesisler ile dizayn parametrelerin (biyogaz üretim değerleri, çürütücü hacimleri, kurulu güç kapasiteleri, fermantasyonun sonunda oluşan digestate ile ilgili veriler) ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

3.9. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi

3.1.1. Ham Maddeler ve Yoğunlukları

Yapılan çalışmanın Türkiye'de bir ilk olması nedeni ile Türkiye koşullarına en uygun atıklar ve enerji bitkileri belirlenip, hesaplamalar için gerekli olan atıkların biyogaz üretim potansiyelleri literatürden taraması gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucunda hesap aracı için Türkiye şartlarına uygun 107 farklı substrat tipi belirlenmiş ve bunlar Tablo 3.1'de listelenmiştir. Belirlenen veriler üç alt başlık altında sınıflandırılmıştır. Bunlar; hayvansal atıklar(18 adet), enerji bitkileri(44 adet) ve diğer atıklardır(45 adet).

Tablo 3.1. Hesap aracında yer alan ham madde listesi

Hayvansal Atıklar	Enerji Bitkileri	Diğer Atıklar
1. Süt Sığırı (sulu) / Yaş > 2 y	1. Acı bakla	1. Bitkisel çay (üretim atıkları)
2. Süt Sığırı (sulu) / Yaş 1-2 y	2. Ağaç yaprakları (yeşil)	2. Bitkisel posa (taze)
3. Süt Sığırı (sulu) / Yaş < 1 y	3. Ayçiçeği silajı	3. Biyo atık
4. Et Sığırı (sulu)/ Yaş > 2 y	4. Ayçiçeği tohumu	4. Biyoatık (evsel)
5. Et Sığırı (sulu) / Yaş 1-2 y	5. Bakla silajı	5. Bozuk yağ
6. Et Sığırı (sulu) / Yaş < 1 y	6. Bezelye	6. CCM (mısır koçanı karışımı)
7. Büyük Baş Hayvan (Katı) / Yaş > 2 y	7. Buğday	7. Çamur (ham)
8. Büyük Baş Hayvan (Katı) / Yaş 1-2 y	8. Buğday silajı	8. Çamur (stabilize)
9. Büyük Baş Hayvan (Katı) / Yaş < 1 y	9. Çavdar silajı	9. Çavdar
10. Tavuk Dışkısı/Yumurtalık	10. Çim silajı	10. Çavdar unu
11. Tavuk Dışkısı/Kesimlik	11. Çükündür küspesi	11. DDGS (etanol-proses atığı)
12. Koyun/Keçi	12. Darı	12. Distilasyon atık suyu
13. At/Hareketsiz	13. Fasulye (kuru)	13. Ekmek
14. At/Hafif egzersiz	14. Fasulye (yeşil)	14. Elma posası
15. At/Orta egzersiz	15. Filotu silajı	15. Gliserin
16. At/Yoğun egzersiz	16. Hasır otu silajı	16. Gres ayırıcı
17. Domuz Dışkısı/Besi domuzu	17. Haşhaş silajı	17. Gres ayırıcı
18. Domuz Dışkısı/Damızlık domuzu	18. Hububat	18. Haşhaş
	19. Keten tohumu	19. İşkembe içeriği
	20. Kolza silajı	20. Kan
	21. Kolza tohumu	21. Kanola küspesi (%15 yağ)
	22. Malt çimi	22. Karasu (evsel atık su)
	23. Mısır silajı	23. Kolza tohumu (kek)
	24. Pancar silajı	24. Malt - kahve posası (yeni)
	25. Patates	25. Malt atığı
	26. Patates (atık)	26. Melas
	27. Peyzaj düzenleme çimleri	27. Organik atık
	28. Saman	28. Patates (alkol üretimi)
	29. Soya fasulyesi (taze)	29. Patates (nişasta üretimi)
	30. Sudan otu silaj	30. Patates (sebze-nişasta üretimi)
	31. Süpürge darısı silajı	31. Patates kabuğu
	32. Şeker pancarı	32. Patates püresi
	33. Tahıl GPS ürünü	33. Patates püresi (kek)
	34. Tahıl taneleri	34. Patates şilempesi
	35. Tane mısır	35. Peynir
	36. Triticale silajı	36. Peynir altı suyu
	37. Triticale tohumu	37. Sebze
	38. Yeşil çavdar silajı	38. Tahıl tozu
	39. Yonca (kaba)	39. Tohum kabuğu

Tespiti gerçekleştirilen Türkiye şartlarına uygun olan atıkların ve enerji bitkilerine ait yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Atıkların yoğunlukları kimyasal kompozisyonlarından fermantasyon aşamasına kadarki bekleme sürelerine ve bitkisel ürünler için yetişme koşullarından sulama sıklığına kadar pek çok farklı etkene bağlı oldukları için bir fazla değer bulunan atık veya enerji bitkisi değerleri

için ortalama değerler alınmıştır. Fermantasyondaki biyokimyasal reaksiyonlar ile organik maddenin biyogaza dönüşmesi sonucunda meydana gelen ham madde dekompozisyon oranları hayvansal atıklar için beslenme, enerji bitkileri için gelişme koşulları gibi nedenlere bağlı olması nedeni ile birbirinden farklı aralıkta değerler bulunmuştur. Bu nedenle hesap aracında %50 dekompozisyon oranı tüm ham maddeler türler için kabul edilmiştir. İleride kullanıcı müdahalesi ile oluşabilecek veri değişikliklerini engellemek için bu değerler dosya içerisinde gizli ve korumalı moda dönüştürülmüştür.

3.1.2. Toplam Kuru Madde ve Organik Toplam Kuru Madde

Biyogaz tesisleri tasarımı için gerekli olan en önemli parametreler içerisinde yer alan toplam kuru madde ve organik toplam kuru madde değerleri Tablo 3.1.'de belirtilen ham madde kaynakları için gerçekleştirilen literatür taramalarıylaa bu verilerin değerleri belirlenmiştir. Araştırma sonucu elde edilen verilerden toplam kuru madde değeri (KM), suyun 105^{o} C'de buharlaştırılarak uzaklaştırılmasından sonra geri kalan suda çözünen ve çözünmeyen bileşenlerinden oluşan kısmın yüzde oranı olarak belirlenmiş ifadesidir. Organik kuru madde değeri (oKM), örneğin 550 – 600^{o}C'de 15 dakika boyunca yakılması sonucunda arda kalan inorganik madde miktarının 1'den çıkartılması ile belirlenmiş olan değeri ifade eder.

3.1.3. Volümetrik Biyogaz Üretim Potansiyeli ve Metan İçeriği

Biyogaz tesisleri tasarlanırken özellikle kurulu elektrik güç kapasitesinin hesaplanmasındaki kilit nokta olarak bilinen, kullanılan atıkların biyogaz üretim potansiyeli için gerekli olan verilerin tespiti literatür araştırması ile belirlenmiştir. Araştırma sonucunda her bir ham madde için bulunan veriler ton organik kuru madde başına metreküp biyogaz üretimi (m^3 biyogaz/ton oKM) olarak belirlenmiştir.

3.2. Hesap Aracı Şablonunun Oluşturulması

3.2.1. Biyogaz Üretimi

Gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda teorik farklı hesaplama yöntemleri belirlenmiştir. Tespit edilen başlıca yöntemler Tablo 3.2'de belirtilmiştir.

Tablo 3.2. Biyogaz üretimi matematiksel hesaplama yöntemleri

Biyogaz Üretimi Matematiksel Hesaplama Yöntemleri

Buswell ve Mueller, 1952

$$C_aH_bO_c + \left(a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2}\right)H_2O \rightarrow \left(a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2}\right)CH_4 + \left(a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2}\right)CO_2$$

- Atığın kompozisyonunun bilinmesi gerekir,
- Substratın parçalanma oranının da bilinmesi gerekir,
- Mikroorganizma metabolizması için kullanılan substrat göz ardı edilir.

Boyle, 1976

$$C_aH_bO_cN_dS_e + \left(a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2} + \frac{3 \cdot b}{4} - \frac{e}{2}\right)H_2O \rightarrow \left(a - \frac{b}{8} - \frac{c}{2} + \frac{3 \cdot b}{8} - \frac{e}{2}\right)CH_4 + \left(-\frac{b}{8} - \frac{c}{2} + \frac{3 \cdot b}{8} - \frac{e}{2}\right)CO_2 + dNH_3 + eH_2S$$

- Buswell ve Mueller modelinin modifiye edilmiş formudur,
- Azot ve sülfür formları göz önünde bulundurulmaktadır.

Baserga, 1998

	Gaz Üretimi(l/kg oKM)	%CH_4
Karbonhidrat	790	50
Yağ	1250	68
Protein	700	71

- Atıktaki karbonhidrat, yağ ve protein içeriği ile hesaplama gerçekleştirilir.

Türker, 2008

$$\boldsymbol{Hacim_{Biyogaz} = m_1 \cdot KM_1 \cdot oKM_1 \cdot BUP_1 + m_2 \cdot KM_2 \cdot oKM_2 \cdot BUP_2 + \cdots}$$

- Teorik olarak üretilen biyogaz hacmini hesaplar,
- Laboratuvar ortamında BMP düzenekleri ile elde edilmiş olan standart veriler ve kullanılan substratın miktarını baz alır**.**

Gerçekleştirilen bu çalışmanın biyogaz tesisleri için bir kullanıcıya hızlı ve doğruya en yakın şekilde bilgi veren tasarım çalışması olması nedeni ile Türker (2008) tarafından önerilen hesaplama modeli program içerisine entegre edilmiştir (Bkz. Denklem 1). Bu hesaplama modelinde diğer araştırmacılar tarafından laboratuvarda gerçekleştirilen her bir organik atık için gerçekleştirilen BMP denemeleri sonucunda elde edilen biyogaz üretim potansiyeli değerleri temel alınarak üretilen biyogaz miktarı ve sistem tasarımı için hesap aracı tasarlanmıştır. Bu sayede kullanıcının kullanacağı hammaddelerin miktarları sisteme aktarılarak biyogaz tesis tasarımı gerçekleştirilebilmektedir.

$$\mathrm{Hacim_{Biyogaz}} = \mathrm{m_1 \cdot KM_1 \cdot oKM_1 \cdot BUP_1 + m_2 \cdot KM_2 \cdot oKM_2 \cdot BUP_2 + \cdots} \quad (1)$$

$\mathrm{Hacim_{Biyogaz}}$: üretilen biyogaz hacmi, lt

m : kullanılan ham madde miktarı, kg

KM **:** kuru madde yüzdesi

oKM **:** organik kuru madde yüzdesi

BUP **:** biyogaz üretim potansiyeli, lt/kgoKM

3.2.2. Organik Yükleme Hızı (Organic Loading Rate – OLR):

Biyogaz tesisleri için fiziblite çalışmaları gerçekleştirilirken tasarlanan biyogaz tesisindeki çürütücü ve bileşenleri yatırımda büyük oranda etkiye sahiptir. Çürütücü içerisine ilave edilen organik maddenin tam anlamı ile bozunması durumunda hedeflenen maksimum gaz üretiminin sağlanabilmesi için organik maddenin reaktör içerisinde mümkün olan en uzun süre kalması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda sistem verimliliğinin maksimum seviyesinde tutulması için hesap aracında önerilen OLR değeri 3 – 4 kg oKM/m^3gün'dür. OLR değerinin ifadesi ise,

çürütücüye bir günde çürütücü birim hacmi başına beslenen organik kuru maddenin kilogram cinsinden değerini ifade etmektedir. Uygun OLR değerinin hesaplanması için takip edilen matematiksel ifade Denklem 2'de verilmiştir.

$$OLR = \frac{m \cdot c}{V_r} \quad (2)$$

OLR: organik yükleme hızı, kgoKM/m^3gün

m: reaktöre beslenen organik kuru madde, kgoKM/gün

c: organik kuru madde yüzdesi

V_r: reaktör ıslak hacmi, m^3

3.2.3. Hidrolik Alıkonma Süresi

Biyogaz tesislerinin tasarlanır çürütücü büyüklüğünün belirlenmesinde önemli bir parametre olan hidrolik alıkonma süresi (HRT), çürütücü içerisine ilave edilen organik kütlenin çürütücüden çıkıncaya kadar geçirdiği ortalama süreyi ifade etmektedir. Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda HRT değeri gün olarak ifade edilmektedir Uygun HRT değerinin hesaplanması için takip edilen matematiksel ifade Denklem 3'de verilmiştir.

$$HRT = \frac{V_r}{V_b} \quad (3)$$

HRT: hidrolik alıkonma süresi, gün

V_r: reaktör hacmi, m^3

V_b: günlük beslenen hammadde hacmi, m^3

3.2.4. Elektrik Üretimi, Isı Üretimi ve Kurulu Gücün Belirlenmesi

Gerçekleştirilen literatür araştırması sonucunda Paiho ve ark. tarafından yapılan çalışmada 1 m^3 biyogazın enerji değeri 20-26 MJ/m^3 (5,5-7,2 kWh/m^3) olduğu belirlenmiştir. Farklı ısıl değerinin olmasının nedeni biyogazın farklı metan

içeriğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Oluşturulan hesap aracında mümkün olan optimum değerleri elde edebilmek için 1 m^3 biyogazın enerji değeri 5,5 kWh/m^3 olarak alınmıştır. Oluşan elektrik enerjisinin hesaplanması için takip edilen matematiksel ifade Denklem 4'de verilmiştir.

$$UEE = 5{,}5 \cdot V_b \cdot \eta_{CHPU} \quad (4)$$

UEE: günlük üretilene elektrik enerjisi, kWh/gün

5,5: biyogaz kalorifik değeri, kWh/m^3

V_b:günlük üretilen biyogaz hacmi, m^3

η_{CHPU}: elektrik jenaratörünün elektrik verimi

Tasarlanan hesap aracı içerisinde üretilen biyogazın jeneratörde yanması sırasında açığa çıkan ısı enerjisi de ısının akışkana transfer edilmesi sonucunda herhangi bir noktaya aktarabilmekte ve ısı kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Paiho ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada metanın kalorifik değeri 9,9 kWh/m^3olarak belirtilmiştir. Oluşan ısının hesaplanması için takip edilen matematiksel ifade Denklem 5'te verilmiştir.

$$UIE = 9{,}9 \cdot V_b \cdot \tau_{metan} \cdot \eta_{CHPU} \quad (5)$$

UIE: günlük üretilene ısı enerjisi, kWh/gün

9,9: biyogaz kalorifik değeri, kWh/m^3

τ_{metan}: biyogaz metan yüzdesi

V_b:günlük üretilen biyogaz hacmi, m^3

η_{CHPU}: elektrik jenaratörünün ısı verimi

Kurulması olası olan sistemin kurulu elektrik gücünün hesaplanması ise yıllık üretilen elektrik enerji ve elektrik jeneratörünün yıllık çalışma saati üzerinden

gerçekleştirilmektedir. Elektrik jeneratörünün günlük çalışma süresi 21,9 sa'ten yıllık 8000 sa olarak temel alınmış ve işlemler bunun üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kurulması olası olan biyogaz tesisin kurulu gücünün hesaplanması için takip edilen matematiksel ifade Denklem 6 verilmiştir.

$$\mathrm{KEG} = \frac{\mathrm{YEU}}{t_{\mathrm{CHPU}}} \tag{6}$$

KEG: kurulu elektrik gücü, kWh

YEU: 365 gün üretilen elektrik enerjisi, kWh

t_{CHPU}: elekelektrik jenaratörü yıllık çalıma saati, sa

Üretilen elektrik enerjisi, üretilen ısı enerjisi ve kurulu gücün hesaplanması aşamasında kullanıcıya iki farklı elektrik motoru önerilmiştir, gaz motor jeneratör ve pilot enjeksiyonlu jeneratör. Gaz motor jeneratör için elektrik üretim verimi %39, pilot enjeksiyonlu jeneratör için %40 değerleri kabul edilmiştir. Kurulu güç belirtimi gaz motor jeneratör kullanımı üzerinden kabul edilip gerekli hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Gelişen teknolojinin getirdiği yeniliklerin hesap aracına entegrasyonunun sağlanabilmesi amacıyla modern ve yüksek verimli elektrik jeneratörlerin verimleri kullanıcı girişi ile söz konusu tüm hesaplamaların bu yeni girilen değere göre hesaplamasının yapılması için kullanıcı girişi opsiyonu hesap aracına entegre edilmiştir.

3.2.5. Ekonomik Analiz

Hesap aracı oluşturulurken ekonomik hesaplamalar 4 temel aşamaya ayrılmıştır. Bunlar ilk yatırım tahmini bedelinin belirlenmesi, yıllık tesis için gelir ve gider dökümünün oluşturulması, tesisin faydalı ömrü boyunca nakit akışının belirlenebilmesi için kabullerin yapılması ve nakit akışının oluşturulmasıdır.

3.2.5.1.Tahmini ilk yatırım bedelinin hesaplanması

Biyogaz tesislerinin ilk yatırım maliyetinde payı olan gider kalemleri belirlenmiştir. Bu kalemlerin belirlenmesi modern bir biyogaz tesisinin sahip olması gereken temel bileşenler göz önüne alınarak ayrı kalemler halinde Tablo 3.3. Tahmini ilk yatırım bedeli kalemleri'de belirtilmiştir. Tespit edilen her bir kalemin maliyete etkisi €/kW kurulu güç olarak kurulmuş biyogaz tesisleri projeleri ve gerekli piyasa araştırması ile belirlenmiştir.

Tablo 3.3. Tahmini ilk yatırım bedeli kalemleri

Gider Kalemi	Maliyet (€/kW)
Arazi	-
Ana Girdi Madde Havuzu	115
Mobil Teknik Yükleyici	80
Sıvı substrat Besleyici	100
Katı Substrat Besleme	80
Ana Çürütücü	485
İkinci Çürütücü	400
Son depo Tankları	903
Katı-Sıvı Separatör	515
Desülfürizasyon	90
CHP (Gas-Otto Motor)	950
SCADA-Kontrol Sistemi	250
Planlama ve Resmi İzinler	300
Saha İnşası ve Hazırlık	130

Tablo 3.3. Tahmini ilk yatırım bedeli kalemleri'de kalemler halinde belirtilen veriler içerisinde bulunan arazi gideri bölgeden bölgeye farklılık göstermesi nedeni herhangi bir değer atanamamış, kullanıcı tarafından girişinin yapılması önerilmektedir. Eğer kullanıcı tarafından herhangi bir girişin yapılmaması durumunda bu değer sıfır (0) olarak hesaba katılmaktadır.

Tablo 3.3. Tahmini ilk yatırım bedeli kalemleri'de belirtilen arazi dışındaki diğer verilerin €/kW cinsinden değeri verilmektedir. Kurulu elektrik gücü belirlenmesinin ardından ilk yatırım maliyeti bu birim maliyete göre hesaplanmaktadır. Fakat etkin bir fizibilitenin gerçekleştirilebilmesi amacı ilk yatırım maliyeti konusunda bu kalemler için kullanıcı bir teklife sahip ise, söz konusu teklifteki maliyetleri girebilme ve ekonomik analizin girilmiş olan teklif doğrultusunda gerçekleştirilebilmesi olanağı hesap aracı tasarımında göz önünde bulundurulmuştur. Aynı zamanda Avrupa'da var olan 38 farklı biyogaz tesisinin kurulu güç kW (>1 MW) – ilk yatırım maliyeti arasında ilişkiyi belirten matematiksel model Denklem 7'de verilmiştir (Azbar, 2013). Bu denklem doğrultusunda aynı zamanda model tahmini bedeli hesaplanmıştır.

$$\text{İlk yatırım maliyeti} = 59815 \cdot \text{KEG}^{-0,452} \qquad (7)$$

KEG: kurulu elektrik gücü, kWh

3.2.5.2.Tesis gelir-gider analizi

Bu aşamada biyogaz tesisinin yıl boyunca yatırımcıya getirileri ve götürü olarak iki ana başlık altında analiz gerçekleştirilmiştir. Götürüler başlığı alt iki başlık olarak genel giderler ve diğer giderler olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmanın detayı Tablo 3.4'te belirtilmiştir.

Tablo 3.4. Tesis gelir-gider kalemleri

GELİR – GİDER ANALİZİ			
GELİRLER	✓ Elektrik Satışı ✓ Isı Satışı ✓ Pelet Gübre Satışı ✓ Sıvı Gübre Satışı ✓ Atık Betaraf Geliri	**GENEL GİDERLER**	✓ Hammadde Gideri ✓ Bakım ve Onarım ✓ İşletme ve yan malzeme giderleri ✓ CHP Bakım

		DİĞER GİDERLER	✓ Amortisman ✓ Sigorta ✓ İşçilik

Tablo 3.4'da da belirtildiği gibi gelir kalemleri elektrik satışı, ısı satışı, pelet gübre satışı, sıvı gübre satışı ve atık bertaraf gelirinden oluşturulmuştur. Gider kalemleri ise hepsini kapsayacak şekilde genel giderler olarak hammadde gideri, bakım ve onarım, işletme ve yan malzeme giderleri, CHP bakımından, diğer giderler ise amortisman, sigorta ve işçilik giderlerinden oluşturulmuştur. Ayrıca genel görünmeyen giderler yatırım maliyetinin yüzde oranı olarak belirlenmektedir. Tüm bunların sonunda elektrik üretim maliyeti yatırımın geri dönüş oranı Denklem 8'de belirtildiği şekilde bu aşama da hesaplanmaktadır.

$$\text{Yatırım geri dönüş oranı} = \frac{\text{YNG}}{\text{İYM}} \quad (8)$$

YNG: yıllık net gelir

İYM: tesis ilk yatırım maliyeti

Hesap aracı içerisinde analiz edilen ya da kurulması planlanan tesis için nakit akışının belirlenebilmesi amacıyla yapılmış olan kabuller Tablo 3.5.'teverilmektedir. Tablo 3.Tablo 3.55'te belirtildiği gibi kullanıcı girişi mümkün olan veriler ve mümkün olmayan veriler değerleri ile birlikte belirtilmiştir.

Tablo 3.5. Nakit akışı için yapılan gerekli kabuller

Kabuller	Değer	Birim	Kullanıcı girişi
Faiz	4	*%*	√
Teknik Ekipman Amortismanı	10	*yıl*	-
İnşaat-Bina Amortismanı	20	*yıl*	-
Proje Süresi	20	*yıl*	√
Borçlanma Süresi	20	*yıl*	√
Borç Oranı (Anaparanın %'si)	100	*%*	√

Besleme tarifesi 1-10 yıl	0.1	*Eurot/kWh*	√
CHP Elektrik verimliliği	39	*%*	√
CHPTermal verimliliği	44	*%*	√
Çalışan Sayısı	2	*adet*	√
Çalışan Saatlik Ücreti	5	*Euro/saat*	√
Sigorta Bedeli	1	*%*	√
Günlük Çalışma saati	4	*saat/gün*	√
Görünmeyen Giderler	1	*%*	√
Isı satışı	0.02	*Euro/kWh*	√
Gübre (sıvı)	3	*Euro/ton*	√
Gübre (Pelet)	50	*Euro/ton*	√
Görünmeyen Gider	2	*%*	√
Yan Malzeme Giderleri	2	*%*	√
Tesis kendi Elektrik Kullanımı	6	*%*	√
Tesis kendi Isı Kullanımı	20	*%*	√
Tesisin İşletmeye Alınacağı Yıl	2016	*yıl*	√
Binalar (Amortisman süresi)	20	*yıl*	-
Makinalar(Amortisman süresi)	10	*yıl*	-

Hesap aracındaki yapılmış olan kabuller için, kullanıcı tarafından herhangi farklı bir değer girilmediği takdirde Tablo 3.5'te verilmiş olan veriler temel alınarak ekonomik analiz gerçekleştirilmektedir. Kullanıcı tarafından veri girilmesi durumunda ekonomik analizler söz konusu girilen veriler üzerinden gerçekleştirilmektedir.

3.2.5.3.Nakit Akışı

Kurulması söz konusu olan ve ön fizibilite çalışması yapılan tesisin faydalı ömrü süresince yatırımcının tahmini gelir ve gider miktarlarının bir akışa döküldüğü bölümdür. Bu aşamada hesap aracı gerekli olan hesaplamaları Tablo 3.5'te belirtilen kabulleri temel alarak gerçekleştirmektedir. Hesap aracında biyogaz tesisinin faydalı ömrü 20 yıl olarak belirlenmiştir.

Nakit akışında gelirler başlığı altında devlet tarafından 10 yıl boyunca sabit fiyat garantisi faydalı ömrü boyunca devam edeceği kabul edilmiş, elektrik satışı Yenilenebilir Enerji Kanunu'nda Ek 1'de biyogaz için belirtilen 0,1 € /kWh ve yıllık toplam üretilen elektrik enerjisi üretimi baz alınarak hesaplanmıştır. Isı satışı ise 2 € cent/kWh kabulü gerçekleştirilerek yatırımcıya sağladığı gelir yıllara göre gösterilmiştir. Pellet ve katı gübre satış fiyatları sırasıyla 50€ /ton ve 3 € / olarak satışının gerçekleştirilebileceği kabul edilmiş ve yıllık getiri nakit akışı içerisinde belirtilmiştir. Biyogaz sistemleri, bazı tesislerde oluşan atıkların bertarafının oldukça maliyetli olması nedeni ile daha ucuz yollu atıkların bertarafını sağlayabilmektedir. Bu nedenle bazı ham maddelerin işlenmesi için tedarikçiden atığın bertaraf bedeli adı altında ücret alınmaktadır. Kullanıcının gerekli veriyi girmesi durumunda bu ücret de nakit akışında artı değer olarak yer alacaktır. Tablo 3.5'te belirtilen kabullerin yerine farklı değerlerde girilerek hesap aracının güncelliği sağlanabilir.

Nakit akışında giderler başlığı altında ilk yatırım maliyeti başlığı altında tesisi kurulması için yatırımcının sadece bir defa tesisin işletmeye alındığı yıl içerisinde ödemesi gereken maliyet olarak nakit akışında yer almaktadır. Ham maddenin temini sırasında işletmeciye mal olan ham madde giderleri nakit akışı içerisinde genel giderler kalemi altında hesaplanmaktadır. Bakım onarım, yan malzeme giderleri ve CHPU bakım giderleri Tablo 3.5'te belirtilen kabuller veya kullanıcını tarafından girilmiş olan oranlar doğrultusunda genel giderler kalemi altında yer almaktadır.

Diğer giderler başlığı altında amortisman giderleri başta yer almaktadır. Amortisman giderleri hesaplanmasında betonarme yapıların amortisman süreleri 20 yıl, ekipmanların amortisman süreleri 10 yıl olarak kabul edilmiştir. Bu kabuller kullanıcı girişi ile değiştirilebilme opsiyonuna sahiptir. Ana borç ödemesi başlığında kabul edilen 20 yıl ödeme süresi boyunca her yıl eşit oranlarda nakit akışında yer almaktadır. Faiz ödemesi başlığı ilk ana paranın, sonraki yıllarda ise anaparadan ödenen borçların ödemesi sonucunda geri kalan borç üzerinde %4 faiz oranının kabul edilmesi faydalı tesisin faydalı ömrü boyunca nakit akışında gösterilmiştir. Sigorta kaleminde tesis için yapılan yatırım maliyetinin üzerinde yapılan %1 oranındaki kabule göre hesaplanarak sisteme aktarılmaktadır. İşçi

kaleminde ise çalışan sayısının 2 ve çalışma saati başına ödenen ücret 5 €/sa ve günlük çalışma saati 4 sa/gün kabulleri yapılarak nakit akışına aktarılmaktadır. Belirtilen tüm bu veriler için kullanıcı girişi opsiyonu hesap aracı içerisinde aktarılmıştır.

Tesisin ekonomik akışının daha rahat gözlenebilmesi için toplar gelirler, toplam giderler ve kümülatif nakit akışı (denklem 9) temel alınarak her tesis için güncellenen bar grafik çizilmektedir.

$$\text{Kümülatif Nakit Geri Dönüşü} = TG_i + (-1) \cdot TG_0 \quad (9)$$

TG_i: yıllık toplam gelir

TG_0: yıllık toplam gider

3.3. Doğrulama

Oluşturulmuş olan hesap aracının temel anlamda yapmış olduğu hesaplamalar hesap aracı şablonun oluşturulması aşamasında açık bir şekilde belirtilmiştir. Hesap aracının gerçekleştirdiği hesaplamaların detaylı bir şekilde ifadesi Tablo 3.63.6'da verilen örnek açıklamalı hesaplaması ile gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Doğrulama örneği ham maddeleri ve özellikleri

Ham Madde	%KM	%oKM	Miktar	Birim
Süt Sığırı (sulu), > 1 yaş	Veri yok	%85	900	Adet
Mısır silajı	%38	Veri yok	1	Ton
Peynir altı suyu	%6	Veri yok	1	Ton

a. Günlük beslenen hayvansal atık miktarının belirlenmesi;

$$\text{Süt sığırı (sulu, } < 1 \text{ yaş) atık miktarı} = 55 \text{ lt} \cdot \text{adet}^{-1} \cdot \text{gün}^{-1}$$

$$\text{Süt sığırı (sulu, } < 1 \text{ yaş) atık yoğunluğu} = 1 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{Günlük beslenen hayvansal atık miktarı} = 55 \text{ lt} \cdot 900 \cdot 1$$

$$\text{Günlük beslenen hayvansal atık miktarı} = 49{,}50 \text{ ton} \cdot \text{gün}^{-1}$$

b. Hesap aracının hesaplama yaparken temel alacağı parametreler (Bkz. Tablo 3.7);

Tablo 3.7. Hesaplamaların yapılacağı ham madde özellikleri

Ham Madde	%KM	%oKM	Miktar	Birim
Süt Sığırı (sulu), > 1 yaş	%9	%85	900	Adet
Mısır silajı	%38	%95	1	Ton
Peynir altı suyu	%6	%93	1	Ton

c.Üretilen biyogaz hacminin hesaplanması (Bkz. Tablo 3.8);

$$\text{Hacim}_{\text{Biyogaz}} = \text{m}_1 \cdot \text{KM}_1 \cdot \text{oKM}_1 \cdot \text{BUP}_1 + \text{m}_2 \cdot \text{KM}_2 \cdot \text{oKM}_2 \cdot \text{BUP}_2 + \cdots$$

Tablo 3.8. Ham maddelerin biyogaz üretim potansiyeli ve üretilen metan yüzdesi

	Süt Sığırı (sulu), < 1 yaş	Mısır silajı	Peynir altı suyu
Biyogaz Potansiyeli (m^3/ ton oKM)	380	642	750
Metan oranı (%)	55	53	53

$$\text{V}_{\text{Biyogaz}} = 49{,}50 \cdot 0{,}09 \cdot 0{,}85 \cdot 380 + 1 \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}85 \cdot 642 + 1 \cdot 0{,}06 \cdot 0{,}93 \cdot 750$$

$$\text{V}_{\text{Biyogaz}} = 1712 \text{ m}^3\text{gün}^{-1}$$

d.Günlük toplam elektrik üretimi, ısı üretimi ve kurulu gücün hesaplanması (Bkz. Tablo 3.9);

Tablo 3.9. Ham maddelerden üretilen ve biyogaz ve metan hacimleri

	Süt Sığırı (sulu), < 1 yaş	Mısır silajı	Peynir altı suyu

Üretilen Biyogaz (m^3)	1439	232	42
Üretilen metan (m^3)	791	123	22

$$V_{\text{Metan toplam}} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{\text{Metan toplam}} = 791 + 132 + 22$$

$$V_{\text{Metan toplam}} = 936\ m^3 gün^{-1}$$

- Elektrik üretimi;

  $\eta_{CHPU}(\text{Pilot Enjeksiyon, PE}) = 0{,}4$ $\eta_{CHPU}(\text{Gaz Motor; GM}) = 0{,}39$

$$UEE = 5{,}5 \cdot V_b \cdot \eta_{CHPU}$$

$$UEE\ (PE) = 5{,}5 \cdot 1712 \cdot 0{,}4$$

$$UEE\ (GM) = 5{,}5 \cdot 1712 \cdot 0{,}39$$

$$UEE\ (PE) = 3745\ kWh_e gün^{-1}$$

$$UEE\ (GM) = 3651\ kWh_e gün^{-1}$$

- Isı üretimi;

$$\eta_{CHPU} = 0{,}44$$

$$UIE = 9{,}9 \cdot V_{b\ metan} \cdot \eta_{CHPU}$$

$$UIE = 9{,}9 \cdot 936 \cdot 0{,}44$$

$$UIE = 4079\ kWh\ gün^{-1}$$

- Kurulu elektrik gücü hesaplanması;

$$UEE\ (PE) = 3745\ kWh_e gün^{-1}$$

$$\text{KEG} = \frac{3745}{21{,}9}$$

$$\text{KEG} = 167\ \text{kWh}_\text{e}$$

e. Ekonomik analiz;

İlk yatırım bedelin belirlenmesi;

Kabuller:

- Sistemin küçük çaplı olması nedeni ile ikincil çürtücüye ihtiyaç duyulmamaktadır,
- Arazi için 30000 Euro bu güçte bir sistem için uygun bir rakam olarak belirlenmiştir,
- Hammaddenin çoğunluğu sıvı yapıda olduğu için katı besleyiciye gerek yoktur.

Tablo 3.10. İlk yatırım tahmini bedeli kalemleri ve maliyetleri

İLK YATIRIM TAHMİNİ BEDELİ			
Bileşen	**İlk Yatırım (Euro)**	**Birim Yatırım (Euro/kW)**	**Yatırımcı verileri (Euro)**
Arazi	30000	-	30000
Ana Girdi Madde Havuzu	19160	115	
Mobil Teknik Yükleyici	13329	80	
Sıvı substrat Besleyici	16661	100	
Katı Substrat Besleme	0	80	0
Ana Çürütücü	80807	485	
İkinci Çürütücü	0	400	0
Son depo Tankları	150451	903	
Katı-Sıvı Separatör	85805	515	

Desülfürizasyon	14995	90	
CHP (Gas-Otto Motor)	158281	950	
SCADA-Kontrol Sistemi	41653	250	
Planlama&Resmi İzinler	49984	300	
Saha İnşası ve Hazırlık	21660	130	
TOPLAM	**682786**		

Sistemin ilk yatırım maliyetinin ilk yatırım modeline göre hesaplanması (Bkz. Tablo 3.10);

$$\text{İlk yatırım maliyeti} = 59815 \cdot \text{KEG}^{-0,452}$$

$$\text{İlk yatırım maliyeti} = 59815 \cdot 167^{-0,452}$$

$$\text{İlk yatırım maliyeti} = 986\ 973\ \text{Euro}$$

f.Nakit akışı kabullerin yapılması (Bkz. Tablo3.11);

Tablo 3.11. Hesaplamalar için yapılan kabuller

Kabuller	Değer	Birim
Faiz	4	*%*
Teknik Ekipman Amortismanı	10	*yıl*
İnşaat-Bina Amortismanı	20	*yıl*
Proje Süresi	20	*yıl*
Borçlanma Süresi	20	*yıl*
Borç Oranı (Anaparanın %'si)	100	*%*
Besleme tarifesi 1-10 yıl	0.1	*Eurot/kWh*
CHP Elektrik verimliliği	39	*%*
CHP Termal verimliliği	44	*%*
Çalışan Sayısı	2	*adet*
Çalışan Saatlik Ücreti	5	*Euro/saat*
Sigorta Bedeli	1	*%*
Günlük Çalışma saati	4	*saat/gün*

Görünmeyen Giderler	1	*%*
Isı satışı	0.02	*Euro/kWh*
Gübre (sıvı)	3	*Euro/ton*
Gübre (Pelet)	50	*Euro/ton*
Görünmeyen Gider	2	*%*
Yan Malzeme Giderleri	2	*%*
Tesis kendi Elektrik Kullanımı	6	*%*
Tesis kendi Isı Kullanımı	20	*%*
Tesisin İşletmeye Alınacağı Yıl	2016	*yıl*
Binalar (Amortisman süresi)	20	*yıl*
Makinalar(Amortisman süresi)	10	*yıl*

- Elektrik satışından elde edilecek olan gelir;

$$\text{Elektrik Besleme Tarifesi} = 0{,}1 \text{ Euro kWh}^{-1}$$

$$\text{Tesis Kendi Elektrik Kullanımı} = 0{,}06$$

$$\text{Yıllık Elektrik Üretimi} = 1\,332\,896 \text{ kWh yıl}^{-1}$$

$$\text{Net Elektrik Üretimi} = 1\,332\,896 \cdot (1 - 0{,}06)$$

$$\text{Yıllık Elektrik Üretimi} = 1\,252\,922 \text{ kWh yıl}^{-1}$$

$$\text{Net Elektrik Geliri} = \text{Net Elektrik Üretimi} \cdot \text{Besleme Tarifesi}$$

$$\text{Net Elektrik Geliri} = 1\,252\,922 \cdot 0{,}1$$

$$\text{Net Elektrik Geliri} = 125\,292{,}2 \text{ Euro yıl}^{-1}$$

- Isı satışından elde edilecek olan gelir;

$$\text{Isı Satış Bedeli} = 0{,}02 \text{ Euro kWh}^{-1}$$

$$\text{Tesis Kendi Isı Kullanımı} = 0{,}2$$

$$\text{Yıllık Isı Üretimi} = 1\ 488\ 742\ \text{kWh yıl}^{-1}$$

$$\text{Net Isı Üretimi} = 1\ 488\ 742 \cdot (1 - 0{,}2)$$

$$\text{Net Isı Üretimi} = 1\ 190\ 994\ \text{kWh yıl}^{-1}$$

$$\text{Net Isı Geliri} = \text{Net Isı Üretimi} \cdot \text{Isı Satış Bedeli}$$

$$\text{Net Isı Geliri} = 1\ 190\ 994 \cdot 0{,}02$$

$$\text{Net Isı Geliri} = 23\ 820\ \text{Euro yıl}^{-1}$$

- Katı ve sıvı gübre satışından elde edilecek olan gelir,

$$\text{Pellet Satışı} = 50\ \text{Euro ton}^{-1}$$

$$\text{Sıvı Gübre Satışı} = 3\ \text{Euro ton}^{-1}$$

$$\text{Organik Dekompozisyon Oranı} = \%50$$

$$\text{Hammadde Giriş Islak Ton} = 18\ 994\ \text{ton yıl}^{-1}$$

$$\text{Hammadde dekompozisyon} = m_1 \cdot 0{,}5 + m_2 \cdot 0{,}5 + \cdots$$

$$\text{Hammadde dekompozisyon} = 1{,}78 + 0{,}16 + 0{,}04$$

$$\text{Hammadde dekompozisyon} = 1{,}98$$

$$\text{Hammadde Çıkış Islak Ton} = \text{hammadde giriş} - \text{Organik Dekompozisyon}$$

$$\text{Hammadde Çıkış Islak Ton} = 18\ 272\ \text{ton}$$

$$\text{Net Katı Çıkışı (\%25 KM)} = 2\ 070\ \text{ton yıl}^{-1}$$

$$\text{Net Sıvı Çıkışı (\%25 KM)} = 17\ 755\ \text{ton yıl}^{-1}$$

$$\text{Net Pellet Geliri} = 50 \cdot 2070$$

$$\text{Net Pellet Geliri} = 53\ 264 \text{ Euro yıl}^{-1}$$

$$\text{Net Sıvı Geliri} = 3 \cdot 17\ 755$$

$$\text{Net Pellet Geliri} = 103\ 502 \text{ Euro yıl}^{-1}$$

- Bakım onarım gideri;

$$\text{Bakım Onarım Giderleri} = \text{İlk Yatırım Maliyeti} \cdot \text{Kabul Değeri}$$

$$\text{Kabul Değeri} = \%2$$

$$\text{Bakım Onarım Giderleri} = 682\ 786 \cdot 0{,}02$$

$$\text{Bakım Onarım Giderleri} = 13\ 656 \text{ Euro yıl}^{-1}$$

- Yan malzeme giderleri;

$$\text{Yan Malzeme Giderleri} = \text{İlk Yatırım Maliyeti} \cdot \text{Kabul Değeri}$$

$$\text{Kabul Değeri} = \%2$$

$$\text{Yan Malzeme Giderleri} = 682\ 786 \cdot 0{,}02$$

$$\text{Yan Malzeme Giderleri} = 13\ 656 \text{ Euro yıl}^{-1}$$

- CHPU bakım giderleri;

$$\text{CHPU Bakım Giderleri} = \text{KEG} \cdot \text{CHPU Çalışma Saati} \cdot \text{Kabul Değeri}$$

$$\text{CHPU Çalışma Saati} = 8\ 000 \text{ sa yıl}^{-1}$$

$$\text{CHPU Bakım Giderleri} = 0{,}02 \text{ Euro sa}^{-1}$$

$$\text{CHPU Bakım Giderleri} = 167 \cdot 8\,000 \cdot 0{,}02$$

$$\text{CHPU Bakım Giderleri} = 26\,658 \text{ Euro yıl}^{-1}$$

- Amortisman giderleri;

$$\text{Amortisman Giderleri} = \frac{\text{İnşaat Maliyeti}}{\text{Amortisman Süresi}} + \frac{\text{Ekipman Maliyeti}}{\text{Amortisman Süresi}}$$

$$\text{Amortisman Giderleri} = \frac{272\,077}{20} + \frac{330\,725}{10}$$

$$\text{Amortisman Giderleri} = 46\,676 \text{ Euro yıl}^{-1}$$

- Sigorta giderleri;

$$\text{Sigorta Giderleri} = \text{İlk Yatırım Maliyeti} \cdot \text{Kabul Değeri}$$

$$\text{Kabul Değeri} = \%1$$

$$\text{Sigorta Giderleri} = 682\,786 \cdot 0{,}01$$

$$\text{Sigorta Giderleri} = 6\,828 \text{ Euro yıl}^{-1}$$

- İşçilik

$$\text{İşçi Giderleri} = \text{İşçi Sayısı} \cdot \text{Çalışma Saati} \cdot \text{Saat Ücreti} \cdot 365$$

$$\text{İşçi Sayısı} = 2$$

$$\text{Çalışma Saati} = 4 \text{ sa gün}^{-1}$$

$$\text{Saat Ücreti} = 5 \text{ Euro sa}^{-1}$$

$$\text{İşçi Giderleri} = 2 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 365$$

$$\text{İşçi Giderleri} = 14\ 600\ \text{Euro yıl}^{-1}$$

- Elektrik üretim maliyeti;

$$\text{Elektrik Üretim Maliyeti} = \frac{\text{Toplam Maliyeti}}{\text{CHPU Çalışma Süresi} \cdot \text{KEG}}$$

$$\text{Elektrik Üretim Maliyeti} = \frac{128\ 901}{8\ 000 \cdot 167}$$

$$\text{Elektrik Üretim Maliyeti} = 10\ \text{Euro kWh}^{-1}$$

-Yatırımın geri dönüş oranı;

$$\text{Yatırımın Geri Dönüş Oranı} = \frac{\text{İlk Yatırım Maliyeti}}{\text{Net Gelir}} \cdot 100$$

$$\text{Yatırımın Geri Dönüş Oranı} = \frac{682\ 786}{305\ 878 - 128\ 901} \cdot 100$$

$$\text{Yatırımın Geri Dönüş Oranı} = \%26$$

- Faiz ödemesi;

Proje süresinde ödenen borç kısmının ana borç payından çıkartılması sonucunda kalan borç üzerinden hesaplanır. Ana borç kısmı daha önce de belirtildiği gibi proje süresince eşit paylara ayrılmış şekilde ödendiği kabulü yapılarak hesaplamalara katılmıştır (Bkz. Tablo 3.12).

$$\text{Borçlanma Oranı} = \%100$$

$$\text{Borçlanma Miktarı} = 682\ 786\ \text{Euro}$$

$$\text{Yıllık Ödenecek Borç Miktarı} = \frac{682\ 786}{20}$$

$$\text{Yıllık Ödenecek Borç Miktarı} = 34\ 139\ \text{Euro yıl}^{-1}$$

$$\text{İlk Yıl Ödenmesi Gereken Faiz} = \text{Ana Borç} \cdot \text{Kabul Edilen Faiz Oranı}$$

$$\text{İlk Yıl Ödenmesi Gerekn Faiz} = 6822\ 786 \cdot 0{,}04$$

$$\text{İlk Yıl Ödenmesi Gerekn Faiz} = 27\ 311 \text{ Euro}$$

$$\text{Sonraki Yıl Ödenmesi Gereken Faiz} = \text{Kalan Borç} \cdot \text{Kabul Edilen Faiz Oranı}$$

$$\text{2. Yıl Ödenmesi Gereken Faiz} = (\text{Ana Borç} - \text{Ödenen Borç} \cdot (\text{Yıl} - 1) \cdot \text{ Faiz Oranı}$$

$$\text{2. Yıl Ödenmesi Gereken Faiz} = 682\ 786 - 34\ 139 \cdot\ 0{,}04$$

$$\text{2. Yıl Ödenmesi Gereken Faiz} = 25\ 946 \text{ Euro}$$

$$\text{3. Yıl Ödenmesi Gereken Faiz} = (682\ 786 - 34\ 139 \cdot\ 2) \cdot 0{,}04$$

$$\text{3. Yıl Ödenmesi Gereken Faiz} = 24\ 580 \text{ Euro}$$

Tablo 3.12. Doğrulama örneği yıllık faiz ödeme miktarı

Yıl	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Faiz Ödemesi (Euro)	27311	25946	24580	23215	21849	20484	19118	17752	16387	15021
Yıl	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Faiz Ödemesi (Euro)	13656	12290	10925	9559	8193	6828	5462	4097	2731	1366

Söz konusu olarak belirtilen tüm ekonomik analiz verilerinin detayları Tablo 3.13'te verilmektedir.

Tablo 3.13. Doğrulama örneği nakit akışı

		ZAMAN																			
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
GELİRLER	Borçlanma Süresi (Yıl)	20																			
	Elektrik Satışı	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292	125292
	Isı Satışı	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820	23820
	Pelet Gübre Satışı	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469	117469
	Sıvı Gübre Satışı	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459	53459
	Atık Bertaraf Geliri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Toplam Gelir	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040	320040
GİDERLER	İlk Yatırım	682786	13656	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hammadde Gideri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bakım ve Onarım	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656
	İşletme-yan malzeme gideri	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656	13656
	CHP Bakım	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658	26658
	Toplam Giderler	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969	53969
DİĞER GİDERİ	Yıllık Kalan Borç Ödemesi	682786	648647	614507	580368	546229	512089	477950	443811	409671	375532	341393	307254	273114	238975	204836	170696	136557	102418	68279	34139
	Amortisman	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676	46676
	Ana Borç Ödemesi	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139	34139
	Faiz Ödemesi	27311	25946	24580	23215	21849	20484	19118	17752	16387	15021	13656	12290	10925	9559	8193	6828	5462	4097	2731	1366
	Sigorta	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828
	İşçilik	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600	14600
	Toplam Sabit Gider Maliyeti	183524	182159	180793	179428	178062	176696	175331	173965	172600	171234	169869	168503	167137	165772	164406	163041	161675	160310	158944	157578
	Genel Giderler/Görünmeyen	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828	6828
	Toplam Gider	-682786	-190352	-188987	-187621	-186255	-184890	-183524	-182159	-180793	-179428	-178062	-176696	-175331	-173965	-172600	-171234	-169869	-168503	-167137	-165772	-164406
	Kümülatif Nakit C	-682786	-553098	-422044	-289625	-155841	-20691	115825	253706	392953	533566	675544	818887	963596	1109671	1257112	1405917	1556089	1707626	1860529	2014797	2170430

3.4. Türkiye'de Farklı Senaryolarda Biyogaz Tesisleri

Türkiye'nin biyogaz potansiyeline daha önceki bölümlerde de baktığımız zaman özellikle hayvansal atık olarak büyük oranda büyükbaş besiciliği ve etlik (Broiler tavuk) yetiştiriciliği sonucunda orta çıkan atıklar hem çevre sağlığını hem canlı sağlığını olumsuz yönde etkilediği belirtilmişti. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın Gıda tarım Hayvancılık Bakanlığı ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile ortak çalışmaları ile Avrupa Birliği'ne uyum süreci içerisinde çevre ve insan sağlığını koruma ve artırmak amacıyla hazırlamış olduğu Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği ile hayvansal atıkların enerji üretim tesislerinde işlenmesi hususunda direktifler yer almaktadır. Özellikle verilen teşvikler ile sayısında oldukça hızlı bir artış meydana gelmeiş buna paralel olarak da besicilik aktivitesinin yoğun olduğu bölgelerde çevre kirliliğin de büyük artış olduğu çevresel raporlar ile kanıtlanmaktadır. Çevre kirliliğini kontrol altına almak, atık içerisinde bulunan enerjiyi kullanılabilir hale getirmek, işlem sonunda oluşan çıktının tarımsal olarak değerini gözler önüne sermek ve en önemli değersiz olarak görülen atıkların içerisindeki gizli değerin katma değeri yüksek bir yatırıma dönüştürülebildiğini göstermek amacıyla ekonomik senaryolar hazırlanmıştır.

Tablo 3.14. Senaryoda kullanılacak olan ham madde ve özellikleri

Hammaddenin Tipi	Miktar
Büyükbaş hayvan atığı (sulu), >2 yaş	2 500 baş hayvan
Etlik tavuk atığı	1 250 000 baş hayvan
Mısır silajı	3 ton/gün
Peynir altı suyu	5 ton/gün

Ekonomik senaryolar her biri iki durumdan oluşacak şekilde kötü senaryo, ortalama senaryo ve en iyi senaryo olacak şekilde planlanmıştır ve Tablo 3.14'te gösterilmektedir. Senaryoların detayları, açıklamaları ve değerlendirmeleri ile birlikte listelenmiştir. Senaryoların tamamı aynı ham madde üzerinden tasarlanmış ve hammaddelerin listesi Şekil 3.1 Türkiye şartlarına uygun senaryolara genel bakış

’te verilmiştir. Fakat belirlenen ham maddelerin operasyonel maliyetlerin, genel giderler ve gelirlerin farklı boyutlarda incelenerek tesisten elde edilecek olan karın belirlenmesi üstüne çalışılmıştır.

KÖTÜ SENARYO	Senaryo A1
	Senaryo A2
ORTALAMA SENARYO	Senaryo B1
	Senaryo B2
EN İYİ SENARYO	Senaryo C1
	Senaryo C2

Şekil 3.1 Türkiye şartlarına uygun senaryolara genel bakış

3.4.1. Kötü Senaryolar

3.4.1.1.Senaryo A1

Kurulması planlanan biyogaz tesisi için kullanılacak ham madde kaynakları ve olması mümkün en kötü senaryo, Senaryo A1, için yapılmış olan kabuller Tablo 3.15. Senaryo A1 ham madde ile ilgili kabuller’de belirtilmektedir. Söz konusu kabuller belirlenirken piyasadaki ekonomik şartlar göz önünde bulundurulmuş ve işletme şartlarının en kötü şartlar altında gerçekleştiği varsayılmış, hesaplamalar ve karşılaştırmalar bu kabullere göre yapılmıştır.

Tablo 3.15. Senaryo A1 ham madde ile ilgili kabuller

Hammaddenin Tipi	Miktar	Gider (Euro)
Büyükbaş hayvan atığı (sulu), >2 yaş	2 500 baş hayvan	0,5
Etlik tavuk atığı	1 250 000 baş hayvan	2,
Mısır silajı	3 ton/gün	45

Peynir altı suyu	5 ton/gün	-

Oluşturulan senaryoda hayvansal atıklar için belirtilen sayıdaki tavuktan elde edilen atığın tel bir yerde toplanmasının zorluğu nedeni ile atığın temini için nakliye ücretinin tesis sahibi tarafından karşılandığı ve ortama ton atık başına 3 Euro maliyet oluştuğu varsayılmıştır. Kullanılan süt sığırı atığı için atık tonu başına 0,5 Euro nakliye masrafı oluştuğu kabul edilmiştir. Mısır silajının hazır olarak alındığı nakliye dâhil ton başına 45 Euro'ya mal olduğu kabul edilmiştir. Tesis içerisinde kullanılan peynir altı suyu için herhangi bir atık bertaraf bedeli ya da ücret ödenmediği öngörülmüştür (Bkz. Tablo 3.15).

Bankadan alınan borcun faiz oranı %5 olarak kabul edilmiştir. Teknik ekipmanlar için amortisman süreleri 10 yıl betonarme yapıların 20 yıl olarak kabul edilmiştir. Anaparanın tamamının borç olarak alındığı ve de elektrik satışının sadece YEK biyogaz üretimine dayalı elektik üretimi koşullarının sağlandığı destekleden yararlanıldığı varsayılmıştır. Elektrik satışı için alınan elektrik besleme tarifesi 0,1 Euro cen/ kWh olarak kabul edilmiştir Aynı zamanda katı ve sıvı gübrenin, üretilen ısının satılamadığı varsayılmıştır.

Sistemin kendi içerisindeki elektik kullanımı %6, ısı kullanımı ise %20 olarak kabul edilmiştir. Tesis işletimi sırasında işletme ve yan malzeme giderleri %2 kabulü yapılmıştır. Tesisteki çalışanın saati 5 Euro'dan günde 4 saat 2 kişinin çalışacağı kabulü yapılmıştır. Tesis için beklenmeyen giderlerin (görünmeyen) oranı ise %2 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.16. Senaryo A1 tahmini ilk yatırım maliyetleri

Tahmini İlk Yatırım Maliyeti

Yatırım Bileşenleri	**Miktar (Euro)**
Arazi	10000
Ana Girdi Madde Havuzu	124519
Mobil Teknik Yükleyici	0

Sıvı substrat Besleyici	20000
Katı substrat Besleme	35000
Ana Çürütücü	525144
İkinci Çürütücü	433108
Son depo Tankları	50000
Katı-Sıvı Separatör	100000
Desülfürizasyon	97449
CHP (Gas-Otto Motor)	1028632
SCADA-Kontrol Sistemi	100000
Planlama ve Resmi İzinler	150000
Saha İnşası ve Hazırlık	140760
Toplam ilk yatırım	**2814612**
Model yatırım maliyeti	**2752556**
İnşaat	1273531
Makine-Ekipman	1381081

İlk yatırım maliyeti açısında senaryonun oluşturulması aşamasında arazi bedeli olarak 10000 Euro ön görülmüştür. Sıvı substrat yükleyici için 20000 Euro ve katı substrat yükleyici için 35000 Euro olarak kabul edilmiştir. Sistem için son depo tankı 50000 Euro ve katı – sıvı separatör için 100000 Euro harcanması planlanmıştır. Sistemin otomasyonu için tahmini harcanması planlanan tutar 100000 Euro olarak tahmin edilmektedir. Planlamalar ve resmi izinler için harcanması olası olan tutar 150000 Euro olarak ön görülmüştür. Tüm bu kabuller gerçekleştirildiğinde tesisin tahmini ilk yatırım maliyeti 2814512 Euro olarak hesaplanmıştır. Model denklemden elde edilen veri ise 2752556 Euro'dur. Kurulması planlanan tesisin kurulu elektrik gücü 1083 KW'tır sistemin birim

yatırım maliyeti 2599 Euro/KW'tır. Tüm sistem için inşaat giderleri 1273531 Euro, ekipman giderleri 1381081 Euro olarak hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 3.16).

Tablo 3.17. Senaryo A1 gelir-gider analizi verileri

Gelir – Gider Analizi	**Miktar (Euro)**
Gelirler	
Elektrik Satışı	814244
Isı Satışı	0
Pelet Gübre Satışı	0
Sıvı Gübre Satışı	0
Atık Betaraf Geliri	0
Toplam Gelir	**814244**
Genel Giderler	
Hammadde Gideri	113971
Bakım ve Onarım	56292
İşletme ve yan malzeme giderleri	56292
CHP Bakım	173243
Ara toplam	***399799***
Diğer Giderler	
Amortisman	201785
Sigorta	28146
İşçilik	14600
Ara Toplam	***244531***
Genel Görünmeyen Giderler	***28146***
NET GELİR	***113621***

Belirtilen ham maddelerin söz konusu olan biyogaz tesisinde işlenmesi sonucunda elde edilmesi muhtemel gelirler ve giderler Tablo 3.17'de detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda yatırımın hayata geçirilmesi

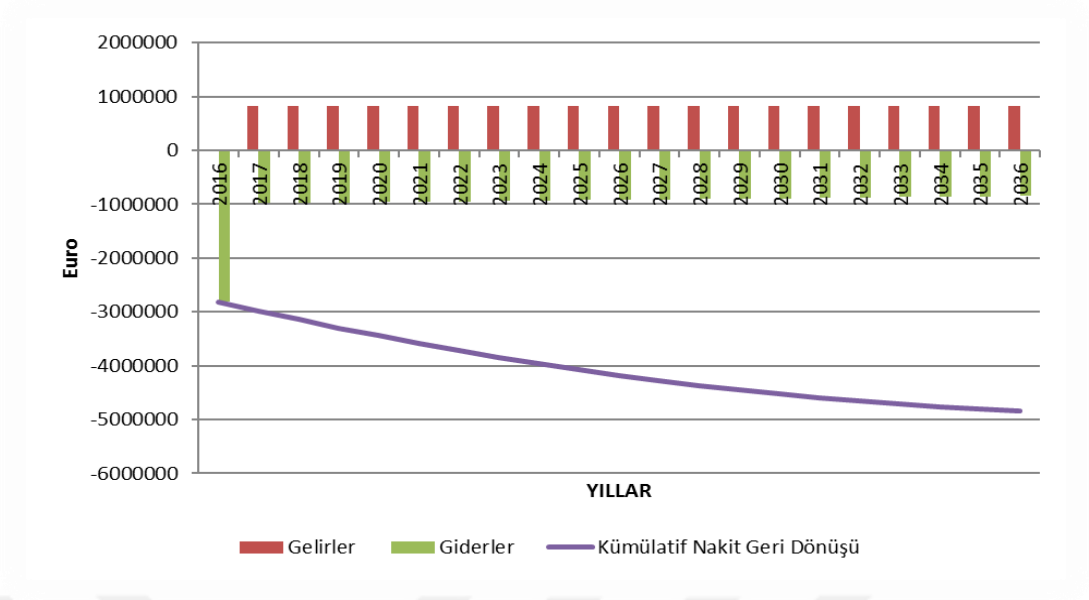
ile elde edilebilecek olan tek gelir kaynağı elektrik satışının devletin YEK Kanunu'nda belirtmiş olduğu taban fiyattan satışının gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilecek olan gelirdir. Aynı zamanda proses sonucu elde edilebilecek olan pellet ve sıvı gübre miktarları Tablo 3.18'de belirtilmiştir.

Tablo 3.18. Senaryo A1 katı-sıvı gübre değerleri

PROSES ÇIKTILARI

Çıktı	**%KM**	**Miktar (ton/yıl)**
Pellet gübre	25	14908
Sıvı gübre	5	74893
		0
Sıvı gübrenin uygulanabilir alan	***2359 hektar***	

Tesis için hesap aracı tarafından hesaplanan ekonomik analiz verileri Tablo 3.17'de belirtilmişti. Gelir ve giderlerin yıllara göre nakit akışının belirlenmesi sonucunda oluşan grafik, Grafik 2'de gösterilmektedir. Grafikte 2016 yılı, tesisin işletmeye alınacağı yıl, yer alan gider tesisin ilk yatırım maliyetini ifade etmektedir. Sonraki yıllarda ifade edilen giderler operasyonel aktiviteler sonucunda oluşan ve görünmeyen giderleri kapsamaktadır. Gelirler ise Tablo 22'de belirtilen gelir kalemlerinin toplamını ifade etmektedir.



Grafik 3.1 Senaryo A1 net kümülatif nakit akışı

Grafik 3.1'de görüldüğü gibi Senaryo A1'de gerçekleştirilen kabuller doğrultusunda tesisin faydalı ömrü boyunca kendini amorti etme olasılığı bulunmamaktadır. Özellikle tesisten elde edilecek olan pellet ve sıvı gübrenin satışı söz konusu olmaması bunun en büyük nedenidir. Bu durumda gider miktarı gelir miktarından her yıl içerisinde daha fazla olmaktadır. Bunun bir çözümü olarak yatırımcı üretilen gübrenin arazisine uygulayabileceği miktarını kendi arazisinde uygulayıp kimyasal gübre kullanımını azaltarak kazanç sağlaması şekillinde olabilmektedir. Bu senaryodaki bir tesisin kurulması ekonomik açıdan uygun değildir. Bunun nedeni ise bu şekilde bir tesisinin kurulması durumda tesis her yıl zarar etmesi olarak açıklanabilir.

3.4.1.2.Senaryo A2

Kurulması planlanan biyogaz tesisi için kullanılacak ham madde kaynakları ve olumsuz şartları ifade eden Senaryo A2 için yapılmış olan kabuller Tablo 3.19'da belirtilmektedir. Söz konusu kabuller belirlenirken piyasadaki ekonomik şartlar göz önünde bulundurulmuş ve işletme şartlarının Senaryo A1'e göre biraz daha iyileştirilmiştir. Fakat gerçekleştirilen kabuller iyileştirilmiş olsa da piyasada muhtemel olumsuz şartları temsil etmektedir. Hesap aracı tarafından gerçekleştirilen tüm hesaplamalar ve karşılaştırmalar bu kabullere göre yapılmıştır.

Tablo 3.19. Senaryo A2 için ham madde ile ilgili kabuller

Hammaddenin Tipi	Miktar	Gider (Euro)
Büyükbaş hayvan atığı (sulu), >2 yaş	2 500 baş hayvan	-
Etlik tavuk atığı	1 250 000 baş hayvan	2,0
Mısır silajı	3 ton/gün	40,0
Peynir altı suyu	5 ton/gün	-

A2 senaryosunda büyük baş hayvansal atıkların nakliyesi için herhangi bir ücret ödenmediği fakat A1 senaryosunda olduğu gibi belirtilen sayıdaki tavuktan elde atığın tek bir yerde toplanmasının zorluğu nedeni ile atığın temini için nakliye ücretinin tesis sahibi tarafından karşılandığı ve ortama ton atık başına 2 Euro maliyet oluştuğu varsayılmıştır. Mısır silajının hazır olarak alındığı ve yüksek miktarda nakliyesini daha uygun olduğu yatırımcıya ton başına 40 Euro'ya mal olduğu kabul edilmiştir. Tesis içerisinde kullanılan peynir altı suyu herhangi bir atık bertaraf bedeli ya da ücret ödenememiştir (Bkz. Tablo 3.19).

Bankadan alınan borcun faiz oranı %5 olarak kabul edilmiştir. Teknik ekipmanlar için için amortisman süresi 10 yıl, betonarme yapılar için 20 yıl olarak kabul edilmiştir. Anaparanın tamamının borç olarak alındığı ve de elektrik satışının sadece YEK biyogaz üretimine dayalı elektik üretimi koşullarının sağlandığı destekleden yararlanıldığı varsayılmıştır. Elektrik satışı için alınan elektrik besleme tarifesi 0,1 Euro cent/kWh olarak kabul edilmiştir. Proses sonucunda elde edilen sadece pellet gübrenin 20 Euro/ton olarak satıldığı varsayılmış, sıvı gübre ve ısı satışının yapılamadığı göz önüne alınmıştır.

Sistemin kendi içerisindeki elektik kullanımı %6, ısı kullanımı ise %20 olarak kabul edilerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Tesis işletimi sırasında işletme ve yan malzeme giderleri %2 kabulü yapılmıştır. Tesisteki çalışanın saati 5 Euro'dan günde 4 saat 2 kişinin çalışacağı kabulü yapılmıştır. Tesis için beklenmeyen giderlerin (görünmeyen) oranı ise %2 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.20. Senaryo A2 tahmini ilk yatırım maliyetleri

Tahmini İlk Yatırım Maliyeti

Yatırım Bileşenleri	**Miktar (Euro)**
Arazi	7500
Ana Girdi Madde Havuzu	124519
Mobil Teknik Yükleyici	0
Sıvı substrat Besleyici	20000
Katı substrat Besleme	35000
Ana Çürütücü	525144
İkinci Çürütücü	433108
Son depo Tankları	50000
Katı-Sıvı Separatör	100000
Desülfürizasyon	97449
CHP (Gas-Otto Motor)	1028632
SCADA-Kontrol Sistemi	100000
Planlama ve Resmi İzinler	150000
Saha İnşası ve Hazırlık	140760
Toplam ilk yatırım	**2812112**
Model yatırım maliyeti	**2752556**
İnşaat	1273531
Makine-Ekipman	1381081

İlk yatırım maliyeti açısında senaryo A2'nin oluşturulması aşamasında arazi bedeli olarak 7500 Euro ön görülmüştür. Sıvı substrat yükleyici için 20000 Euro ve katı substrat yükleyici için 35000 Euro olarak kabul edilmiştir. Sistem için son depo tankı 50000 Euro ve katı – sıvı separatör için 100000 Euro harcanması planlanmıştır. Sistemin otomasyonu için tahmini harcanması planlanan tutar 100000 Euro olarak tahmin edilmektedir. Planlamalar ve resmi izinler için harcanması olası olan tutar 150000 Euro olarak ön görülmüştür. Tüm bu kabuller gerçekleştirildiğinde tesisin tahmini ilk yatırım maliyeti 2812112 Euro olarak hesaplanmıştır. Model denklemden elde edilen veri ise 2752556 Euro'dur. Kurulması planlanan tesisin kurulu elektrik gücü 1083 KW'tır sistemin birim yatırım maliyeti 2597 Euro/KW'tır. Tüm sistem için inşaat giderleri 1273531 Euro, ekipman giderleri 1381081 Euro olarak hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 3.20).

Tablo 3.21. Senaryo A2 gelir-gider analizi verileri

Gelir – Gider Analizi	**Miktar (Euro)**
Gelirler	
Elektrik Satışı	814244
Isı Satışı	0
Pelet Gübre Satışı	298150
Sıvı Gübre Satışı	0
Atık Bertaraf Geliri	0
Toplam Gelir	***1112394***
Genel Giderler	
Hammadde Gideri	83403
Bakım ve Onarım	56242
İşletme ve yan malzeme giderleri	56242
CHP Bakım	173243
Ara toplam	**369130**
Diğer Giderler	
Amortisman	201785

Sigorta	28121
İşçilik	14600
Ara Toplam	***244506***
Genel Görünmeyen Giderler	56242
NET GELİR	**442515**

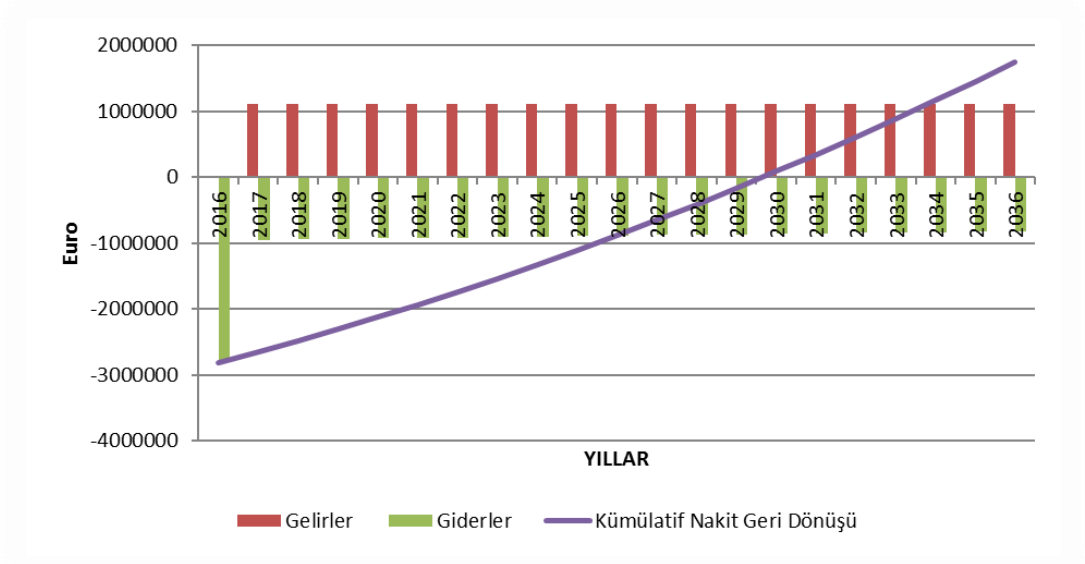
Belirtilen ham maddelerin kurulması planlanan biyogaz tesisinde işlenmesi sonucunda elde edilmesi muhtemel gelirler ve giderler Tablo 3.21'de detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda yatırımın hayata geçirilmesi ile elde edilebilecek olan gelir kaynakları elektrik satışının devletin YEK Kanunu'nda belirtmiş olduğu taban fiyattan satışının gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilecek olan gelir ve katı gübre olan pellet gübre satışından elde edilecek olan kazançtır. Aynı zamanda ham maddenin tesiste fermantasyonun gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilebilecek olan pellet ve sıvı gübre miktarları Tablo 3.22'de belirtilmiştir.

Tablo 3.22. Senaryo A2 katı-sıvı gübre değerleri

PROSES ÇIKTILARI

Çıktı	**%KM**	**Miktar (ton/yıl)**
Pellet gübre	25	14908
Sıvı gübre	5	74893
		0
Sıvı gübre uygulanabilir Alan	2359 ***hektar***	

Tesis için hesap aracı tarafından hesaplanan ekonomik analiz verileri Tablo 3.21'de belirtilmişti. Gelir ve giderlerin yıllara göre nakit akışının belirlenmesi sonucunda oluşan, Grafik 3'te gösterilmektedir. Grafikte 2016 yılı, tesisin işletmeye alınacağı yıl, yer alan gider tesisin ilk yatırım maliyetini ifade etmektedir. Sonraki yıllarda ifade edilen giderler operasyonel aktiviteler sonucunda oluşan ve görünmeyen giderleri kapsamaktadır. Gelirler ise Tablo 3.21'deki belirtilen gelir kalemlerinin toplamını ifade etmektedir.



Grafik 3.2. Senaryo A2 net kümülatif nakit akışı

Grafik 3.3'te görüldüğü gibi Senaryo C2'de gerçekleştirilen kabuller doğrultusunda tesisin faydalı ömrü içerisinde kendisini amorti etme süresi 14 yıl olarak hesap aracı tarafından hesaplanmıştır. Senaryo A1'de herhangi bir gübre satışının olmaması nedeni ile tesis yatırımı faydalı ömrü süresince yatırımcıya kazandıramamaktadır. Fakat pellet gübre satışının şu an ki piyasa fiyatı olan 50 Euro/ton'dan daha düşük seviyede 20 Euro/ton gibi bir fiyata satılması sonucunda tesis geç de olsa kendisini amorti edebilmektedir. Biyogaz tesislerinin amortisman sürelerinin normal koşullar altında yatırımın anlamlı olabilmesi için 3-7 yıl olduğu varsayılır ise, Senaryo A2'deki ekonomik şartlar altında işletilecek olan ve hesap aracı tarafından ekonomik analizleri gerçekleştirilmiş olan bir tesisin kurulması ekonomik açıdan uygun bulunmamaktadır. Bir biyogaz tesisi yatırımın anlamlı olabilmesi için tesisin yatırımı geri dönüş süresi 3-7 yıl arasında olmalıdır.

3.4.2. Ortalama Senaryolar

3.4.2.1.Senaryo B1

Yatırımcı tarafından kurulması planlanan biyogaz tesisi için kullanılacak ham madde kaynakları ve gerçekleşme beklentisi yüksek olan Senaryo B1 için yapılmış olan kabuller Tablo 3.23'te belirtilmektedir. Söz konusu kabuller belirlenirken

piyasadaki ekonomik şartlar göz önünde bulundurulmuş ve elde edilen katma değeri yüksek ürünlerin değerlendirilebilindiği göz önüne alınmıştır. Hesap aracı tarafından gerçekleştirilen tüm hesaplamalar ve karşılaştırmalar bu kabullere göre yapılmıştır.

Tablo 3.23. Senaryo B1 için ham madde ile ilgili kabuller

Hammaddenin Tipi	Miktar	Gider (Euro)
Büyükbaş hayvan atığı (sulu), >2 yaş	2 500 baş hayvan	0,5
Etlik tavuk atığı	1 250 000 baş hayvan	2,0
Mısır silajı	3 ton/gün	40,0
Peynir altı suyu	5 ton/gün	-

Oluşturulan senaryoda hayvansal atıklar için belirtilen sayıdaki tavuktan elde edilecek olan atığın tek bir alanda toplanmasının zorluğu nedeni ile atığın temini için nakliye ücretinin tesis sahibi tarafından karşılandığı ve ortama ton atık başına 2 Euro maliyet oluştuğu varsayılmıştır. Tesiste hammadde olarak kullanılacak olan süt sığırı atığı için ortalama 20 km'lik mesafeden nakliyenin gerçekleştirileceği ve atık tonu başına 0,5 Euro nakliye masrafı oluştuğu kabul edilmiştir. Mısır silajının hazır olarak alındığı ve nakliye dâhil ton başına 45 Euro'ya mal olduğu kabul edilmiştir. Tesis içerisinde kullanılan peynir altı suyu herhangi bir atık bertaraf bedeli ya da ücret ödenmediği kabul edilip gerekli hesaplamalar buna göre gerçekleştirilmiştir (Bkz. Tablo 3.23).

Bankadan alınan borcun faiz oranı günümüz koşullarındaki kredi faiz oranı olan %4 faiz oranı kabul edilerek nakit akışı oluşturulmuştur. Teknik ekipmanlar için amortisman süreleri 10 yıl betonarme yapıların 20 yıl olarak kabul edilmiştir. Anaparanın tamamının, %100 oranında, borç olarak alındığı ve de elektrik satışının sadece YEK biyogaz üretimine dayalı elektik üretimi koşullarının sağlandığı destekleden yararlanıldığı varsayılmıştır. Elektrik satışı için alınan elektrik besleme tarifesi 0,1 Euro cent/ kWh olarak kabul edilmiştir Aynı zamanda katı ve sıvı gübrenin, üretilen ısının satılamadığı varsayılmıştır.

Sistemin kendi içerisindeki elektik kullanımı %6, ısı kullanımı ise %20 olarak kabul edilmiştir. Tesis işletimi sırasında işletme ve yan malzeme giderleri %2 kabulü yapılmıştır. Tesisteki çalışanın saati 5 Euro'dan günde 4 saat 2 kişinin çalışacağı kabulü yapılmıştır. Tesis için beklenmeyen giderlerin (görünmeyen) oranı ise %2 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.24. Senaryo B1 tahmini ilk yatırım maliyetleri

Tahmini İlk Yatırım Maliyeti

Yatırım Bileşenleri	**Miktar (Euro)**
Arazi	10000
Ana Girdi Madde Havuzu	124519
Mobil Teknik Yükleyici	0
Sıvı substrat Besleyici	20000
Katı substrat Besleme	35000
Ana Çürütücü	525144
İkinci Çürütücü	433108
Son depo Tankları	50000
Katı-Sıvı Separatör	100000
Desülfürizasyon	97449
CHP (Gas-Otto Motor)	1028632
SCADA-Kontrol Sistemi	100000
Planlama ve Resmi İzinler	150000
Saha İnşası ve Hazırlık	140760
Toplam ilk yatırım	**2814612**
Model yatırım maliyeti	**2752556**
İnşaat	1273531
Makine-Ekipman	1381081

İlk yatırım maliyeti açısında senaryo B1'in oluşturulması aşamasında arazi bedeli olarak 10000 Euro ön görülmüştür. Sıvı substrat yükleyici için 20000 Euro ve katı substrat yükleyici için 35000 Euro olarak kabul edilmiştir. Sistem için son depo tankı 50000 Euro ve katı – sıvı separatör için 100000 Euro harcanması planlanmıştır. Sistemin otomasyonu için tahmini harcanması planlanan tutar 100000 Euro olarak tahmin edilmektedir. Planlamalar ve resmi izinler için harcanması olası olan tutar 150000 Euro olarak ön görülmüştür. Tüm bu kabuller gerçekleştirildiğinde tesisin tahmini ilk yatırım maliyeti 2814612 Euro olarak hesaplanmıştır. Model denklemden elde edilen veri ise 2752556 Euro'dur. Kurulması planlanan tesisin kurulu elektrik gücü 1083 KW'tır. Sistemin birim yatırım maliyeti 2599 Euro/KW'tır. Tüm sistem için inşaat giderleri 1273531 Euro, ekipman giderleri 1381081 Euro olarak hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 3.24).

Tablo 3.25. Senaryo B1 gelir -gider analizi verileri

Gelir – Gider Analizi	**Miktar (Euro)**
Gelirler	
Elektrik Satışı	814244
Isı Satışı	0
Pelet Gübre Satışı	521763
Sıvı Gübre Satışı	0
Atık Betaraf Geliri	0
Toplam Gelir	***1336006***
Genel Giderler	
Hammadde Gideri	108496
Bakım ve Onarım	56292

İşletme ve yan malzeme giderleri	56292
CHP Bakım	173243
Ara toplam	**394324**
Diğer Giderler	
Amortisman	201785
Sigorta	28146
İşçilik	14600
Ara Toplam	***244531***
Genel Görünmeyen Giderler	28146
NET GELİR	**669005**

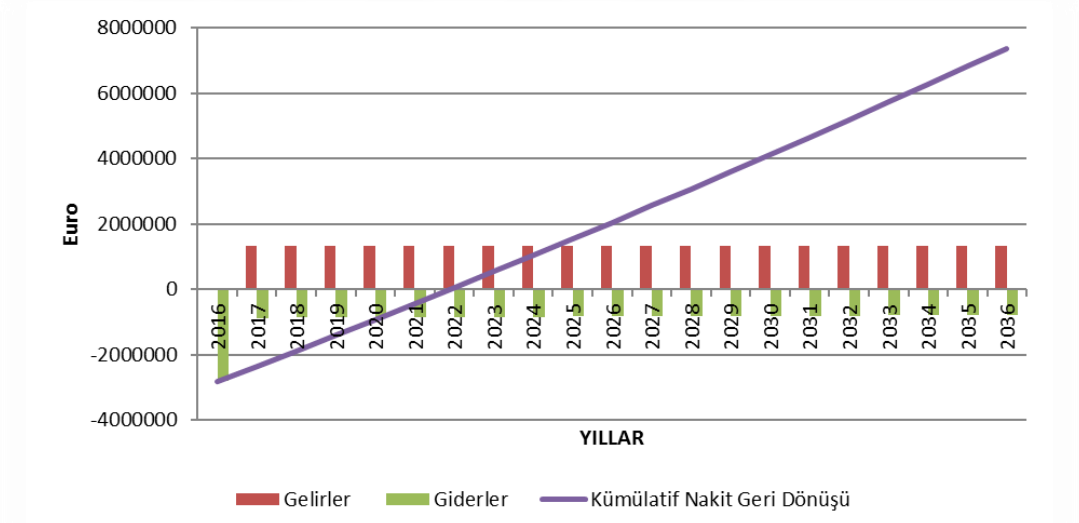
Tablo 3.23'te belirtilen ham maddeler için kurulması planlanan biyogaz tesisinde işlenmesi sonucunda elde edilmesi muhtemel gelirler ve giderler Tablo 3.25'te detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda yatırımın hayata geçirilmesi ile elde edilebilecek olan gelir kaynakları elektrik satışının devletin YEK Kanunu'nda belirtmiş olduğu taban fiyattan satışının gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilecek olan gelir ve katı gübre olan pellet gübre satışından elde edilecek olan kazançtır. Sıvı gübrenin ve ısının satışının gerçekleştirilemediği kabulü yapılmıştır. Aynı zamanda ham maddenin tesiste fermantasyonun gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilebilecek olan pellet ve sıvı gübre miktarları Tablo 3.26'da belirtilmiştir.

Tablo 3.26. Senaryo B1 katı-sıvı gübre değerleri

PROSES ÇIKTILARI		
Çıktı	**%KM**	**Miktar (ton/yıl)**

Pellet gübre	25	14908
Sıvı gübre	5	74893
		0
Sıvı gübre uygulanabilir Alan	2359 ***hektar***	

Tesis için hesap aracı tarafından hesaplanan ekonomik analiz verileri Tablo 3.25'te belirtilmişti. Gelir ve giderlerin yıllara göre nakit akışının belirlenmesi sonucunda oluşan grafik, Grafik 4'te gösterilmektedir. Grafikte 2016 yılı, tesisin işletmeye alınacağı yıl, yer alan gider tesisin ilk yatırım maliyetini ifade etmektedir. Sonraki yıllarda ifade edilen giderler operasyonel aktiviteler sonucunda oluşan ve görünmeyen giderleri kapsamaktadır. Gelirler ise Tablo 3.25'da belirtilen gelir kalemlerinin toplamını ifade etmektedir.



Grafik 3.3. Senaryo B1 net kümülatif nakit akışı

Grafik 3.4'te görüldüğü gibi senaryo B1'de gerçekleştirilen kabuller doğrultusunda tesisin faydalı ömrü içerisinde geri ödeme süresi 6 yıl olarak hesap aracı tarafından hesaplanmıştır. Nakit akışı gerçekleştirilirken pellet gübre satışının şu an ki piyasa fiyatı olan 50 Euro/ton'dan daha düşük seviyede 35 Euro/ton satış fiyatı ile piyasa arzı soncunda tesis kendisini amorti edebilmektedir. Biyogaz tesislerinin amortisman sürelerinin normal koşullar altında yatırımın anlamlı

olabilmesi için 3–7 yıl olduğu varsayılır. Senaryo B1'deki ekonomik şartlar altında işletilecek olan ve hesap aracı tarafından ekonomik analizleri gerçekleştirilmiş olan bir tesisin kurulması ekonomik açıdan uygun bulunmaktadır.

3.4.2.2.Senaryo B2

Yatırımcı tarafından kurulması planlanan biyogaz tesisi için kullanılacak ham madde kaynakları ve gerçekleşme beklentisi yüksek olan Senaryo B2 için yapılmış olan kabuller Tablo 3.27'de belirtilmektedir. Söz konusu kabuller belirlenirken piyasadaki ekonomik şartlar göz önünde bulundurulmuş ve elde edilen katma değeri yüksek ürünlerin, elektriğin ve katı – sıvı gübrenin, değerlendirilebilindiği göz önüne alınmıştır. Hesap aracı tarafından gerçekleştirilen tüm hesaplamalar ve karşılaştırmalar bu kabullere göre yapılmıştır.

Tablo 3.27. Senaryo B2 ham madde ile ilgili kabuller

Hammaddenin Tipi	Miktar	Gider (Euro)
Büyükbaş hayvan atığı (sulu), >2 yaş	2 500 baş hayvan	1
Etlik tavuk atığı	1 250 000 baş hayvan	2,0
Mısır silajı	3 ton/gün	44,0
Peynir altı suyu	5 ton/gün	-

Oluşturulan senaryoda hayvansal atıklar için belirtilen sayıdaki tavuktan elde edilecek olan atığın tek bir alanda toplanmasının zorluğu nedeni ile atığın temini için nakliye ücretinin tesis sahibi tarafından karşılandığı ve ortama ton atık başına 2 Euro maliyet oluştuğu varsayılmıştır. Tesiste hammadde olarak kullanılacak olan süt sığırı atığı için ortalama 20 km'lik mesafeden nakliyenin gerçekleştirileceği ve atık tonu başına 1 Euro nakliye masrafı oluştuğu kabul edilmiştir. Mısır silajının hazır olarak alındığı ve nakliye dâhil ton başına 44 Euro'ya mal olduğu kabul edilmiştir. Tesis içerisinde kullanılan peynir altı suyu herhangi bir atık bertaraf bedeli ya da ücret ödenmediği kabul edilip gerekli hesaplamalar buna göre gerçekleştirilmiştir (Bkz. Tablo 3.27).

Bankadan alınan borcun faiz oranı günümüz koşullarındaki kredi faiz oranı olan %4 faiz oranı kabul edilerek nakit akışı oluşturulmuştur. Teknik ekipmanlar için amortisman süreleri 10 yıl betonarme yapıların 20 yıl olarak kabul edilmiştir. Anaparanın %60'nın borç olarak alındığı ve aynı zamanda elektrik satışının sadece YEK biyogaz üretimine dayalı elektik üretimi koşullarının sağlandığı destekleden yararlanıldığı varsayılmıştır. Elektrik satışı için alınan elektrik besleme tarifesi 0,1 Euro cent/ kWh olarak kabul edilmiştir. Bunlara ilave olarak katı ve sıvı gübrenin sırasıyla 35 Euro/ton ve 1 Euro/ton fiyatından satıldığı, üretilen ısının satılamadığı varsayılmıştır.

Sistemin kendi içerisindeki elektik kullanımı %6, ısı kullanımı ise %20 olarak kabul edilmiştir. Tesis işletimi sırasında işletme ve yan malzeme giderleri %2 kabulü yapılmıştır. Tesisteki çalışanın saati 5 Euro'dan günde 4 saat 2 kişinin çalışacağı kabulü yapılmıştır. Tesis için beklenmeyen giderlerin (görünmeyen) oranı ise %2 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.28. Senaryo B2 tahmini ilk yatırım maliyeti verileri

Tahmini İlk Yatırım Maliyeti	
Yatırım Bileşenleri	**Miktar (Euro)**
Arazi	10000
Ana Girdi Madde Havuzu	124519
Mobil Teknik Yükleyici	0
Sıvı substrat Besleyici	20000
Katı Substrat Besleme	35000
Ana Çürütücü	525144
İkinci Çürütücü	433108
Son depo Tankları	50000
Katı-Sıvı Separatör	100000
Desülfürizasyon	97449
CHP (Gas-Otto Motor)	1028632

SCADA-Kontrol Sistemi	100000
Planlama ve Resmi İzinler	150000
Saha İnşası ve Hazırlık	140760
Toplam ilk yatırım	**2814612**
Model yatırım maliyeti	**2752556**
İnşaat	1273531
Makine-Ekipman	1381081

İlk yatırım maliyeti açısından senaryo B2'in oluşturulması aşamasında arazi bedeli olarak 10000 Euro ön görülmüştür. Sıvı substrat yükleyici için 20000 Euro ve katı substrat yükleyici için 35000 Euro olarak kabul edilmiştir. Sistem için son depo tankı 50000 Euro ve katı – sıvı separatör için 100000 Euro harcanması planlanmıştır. Sistemin otomasyonu için tahmini harcanması planlanan tutar 100000 Euro olarak tahmin edilmektedir. Planlamalar ve resmi izinler için harcanması olası olan tutar 150000 Euro olarak ön görülmüştür. Tüm bu kabuller gerçekleştirildiğinde tesisin tahmini ilk yatırım maliyeti 2814612 Euro olarak hesaplanmıştır. Model denklemden elde edilen veri ise 2752556 Euro'dur. Kurulması planlanan tesisin kurulu elektrik gücü 1083 KW'tır. Sistemin birim yatırım maliyeti 2599 Euro/KW'tır. Tüm sistem için inşaat giderleri 1273531 Euro, ekipman giderleri 1381081 Euro olarak hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 3.28).

Tablo 3.29. Senaryo B2 gelir-gider analizi verileri

Gelir – Gider Analizi	**Miktar (Euro)**
Gelirler	
Elektrik Satışı	814244
Isı Satışı	0
Pelet Gübre Satışı	521763
Sıvı Gübre Satışı	74893
Atık Betaraf Geliri	0
Toplam Gelir	***1410899***

Genel Giderler	
Hammadde Gideri	137970
Bakım ve Onarım	56292
İşletme ve yan malzeme giderleri	56292
CHP Bakım	173243
Ara toplam	**423798**
Diğer Giderler	
Amortisman	201785
Sigorta	28146
İşçilik	14600
Ara Toplam	***244531***
Genel Görünmeyen Giderler	28146
NET GELİR	**714424**

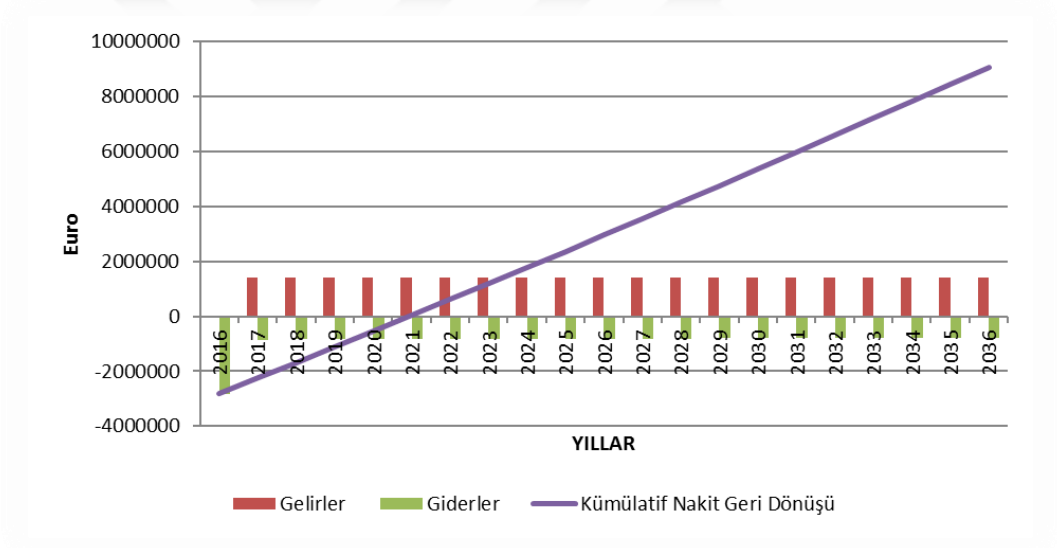
Tablo 3.27'de belirtilen ham maddeler için kurulması planlanan biyogaz tesisinde işlenmesi sonucunda elde edilmesi muhtemel gelirler ve giderler Tablo 3.29'da detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda yatırımın hayata geçirilmesi ile elde edilebilecek olan gelir kaynakları elektrik satışının devletin YEK Kanunu'nda belirtmiş olduğu taban fiyattan satışının gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilecek olan gelir, sıvı ve katı gübre olan pellet gübre satışından elde edilecek olan kazançtır. Isının satışının gerçekleştirilemediği kabulü yapılmıştır. Aynı zamanda ham maddenin tesiste fermantasyonun gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilebilecek olan pellet ve sıvı gübre miktarları Tablo 3.30'da belirtilmiştir.

Tablo 3.30. Senaryo B2 katı-sıvı gübre değerleri

PROSES ÇIKTILARI		
Çıktı	**%KM**	**Miktar (ton/yıl)**
Pellet gübre	25	14908

Sıvı gübre	5	74893
		0
Sıvı gübre uygulanabilir Alan	2359 ***hektar***	

Tesis için hesap aracı tarafından hesaplanan ekonomik analiz verileri Tablo 3.27'de belirtilmişti. Gelir ve giderlerin yıllara göre nakit akışının belirlenmesi sonucunda oluşan Grafik 5'de gösterilmektedir. Grafikte 2016 yılı, tesisin işletmeye alınacağı yıl, yer alan gider tesisin ilk yatırım maliyetini ifade etmektedir. Sonraki yıllarda ifade edilen giderler operasyonel aktiviteler sonucunda oluşan ve görünmeyen giderleri kapsamaktadır. Gelirler ise Tablo 3.27'de belirtilen gelir kalemlerinin toplamını ifade etmektedir.



Grafik 3.4. Senaryo B2 net kümülatif nakit akışı

Nakit akışı gerçekleştirilirken pellet gübre satışının şu an ki piyasa fiyatı olan 50 Euro/ton'dan daha düşük seviyede 35 Euro/ton satış fiyatı ile, sıvı gübre ise normal piyasa satış fiyatı 3 Euro/ton iken Senaryo B2'de 1 Euro/ton satış fiyatı piyasa arz edildiği kabul edilmiş ve hesaplamalar soncunda tesis kendisini faydalı ömrü içerisinde geri ödeyebilmektedir. Grafik 3.5'te görüldüğü gibi senaryo da gerçekleştirilen kabuller doğrultusunda tesisin faydalı ömrü içerisinde geri ödeme süresi yaklaşık 5 yıl olarak hesap aracı tarafından hesaplanmıştır. Biyogaz

tesislerinin amortisman sürelerinin normal koşullar altında yatırımın anlamlı olabilmesi için 3-7 yıl olduğu varsayılır. Senaryo B2'deki ekonomik şartlar altında işletilecek olan ve hesap aracı tarafından ekonomik analizleri gerçekleştirilmiş olan bir tesisin kurulması ekonomik açıdan uygun bulunmaktadır.

3.4.3. En İyi Senaryolar

3.4.3.1.Senaryo C1

Yatırımcı tarafından kurulması planlanan biyogaz tesisi için kullanılacak ham madde kaynakları ve ekonomik şartların tesis açısından pozitif yönde olduğu Senaryo C1 için yapılmış olan kabuller Tablo 3.31'de belirtilmektedir. Söz konusu kabuller belirlenirken piyasadaki ekonomik şartlar göz önünde bulundurulmuş ve elde edilen katma değeri yüksek ürünlerin, elektriğin, katı gübrenin ve üretilen ısının, değerlendirilebilindiği göz önüne alınmıştır. Hesap aracı tarafından gerçekleştirilen tüm hesaplamalar ve karşılaştırmalar bu kabullere göre yapılmıştır.

Tablo 3.31. Senaryo C1 ham madde ile ilgili kabuller

Hammaddenin Tipi	Miktar	Gider (Euro)
Büyükbaş hayvan atığı (sulu), >2 yaş	2 500 baş hayvan	-
Etlik tavuk atığı	1 250 000 baş hayvan	2,0
Mısır silajı	3 ton/gün	44,0
Peynir altı suyu	5 ton/gün	-1,0 *(Bertaraf geliri)*

Oluşturulan senaryoda hayvansal atıklar için belirtilen sayıdaki tavuktan elde edilecek olan atığın tek bir alanda toplanmasının zorluğu nedeni ile atığın temini için nakliye ücretinin tesis sahibi tarafından karşılandığı ve ortama ton atık başına 2 Euro maliyet oluştuğu varsayılmıştır. Tesiste hammadde olarak kullanılacak olan süt sığırı atığı için nakliye masrafı ödenmediği varsayılmıştır. Mısır silajının hazır olarak alındığı ve nakliye dâhil ton başına 44 Euro'ya mal olduğu kabul edilmiştir. Tesis içerisinde kullanılan peynir altı suyu herhangi bir atık bertaraf bedeli için 1

Euro/ton olarak ücret alındığı göz önüne alınarak gerekli hesaplamalar buna göre gerçekleştirilmiştir (Bkz. Tablo 3.31).

Bankadan alınan borcun faiz oranı günümüz koşullarındaki kredi faiz oranı olan %4 faiz oranı kabul edilerek nakit akışı oluşturulmuştur. Teknik ekipmanlar için amortisman süreleri 10 yıl betonarme yapıların 20 yıl olarak kabul edilmiştir. Anaparanın %50'nın borç olarak alındığı ve aynı zamanda elektrik satışının sadece YEK biyogaz üretimine dayalı elektik üretimi koşullarının sağlandığı destekleden yararlanıldığı varsayılmıştır. Elektrik satışı için alınan elektrik besleme tarifesi 0,1 Euro cent/ kWh olarak kabul edilmiştir. Bunlara ilave olarak katı gübrenin satış fiyatı 40 Euro/ton, ısının satış fiyatının ise 0,01 Euro/kWh, sıvı gübrenin ise satılamadığı kabul edilmiştir.

Sistemin kendi içerisindeki elektik kullanımı %6, ısı kullanımı ise %20 olarak kabul edilmiştir. Tesis işletimi sırasında işletme ve yan malzeme giderleri %2 kabulü yapılmıştır. Tesisteki çalışanın saati 5 Euro'dan günde 4 saat 2 kişinin çalışacağı kabulü yapılmıştır. Tesis için beklenmeyen giderlerin (görünmeyen) oranı ise %2 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.32. Senaryo C1tahmini ilk yatırım maliyetleri

Tahmini İlk Yatırım Maliyeti	
Yatırım Bileşenleri	**Miktar (Euro)**
Arazi	10000
Ana Girdi Madde Havuzu	124519
Mobil Teknik Yükleyici	0
Sıvı substrat Besleyici	20000
Katı Substrat Besleme	35000
Ana Çürütücü	525144
İkinci Çürütücü	433108
Son depo Tankları	50000
Katı-Sıvı Separatör	100000

Desülfürizasyon	97449
CHP (Gas-Otto Motor)	1028632
SCADA-Kontrol Sistemi	100000
Planlama ve Resmi İzinler	150000
Saha İnşası ve Hazırlık	140760
Toplam ilk yatırım	**2814612**
Model yatırım maliyeti	**2752556**
İnşaat	1273531
Makine-Ekipman	1381081

İlk yatırım maliyeti açısından senaryo C1'in oluşturulması aşamasında arazi bedeli olarak 10000 Euro ön görülmüştür. Sıvı substrat yükleyici için 20000 Euro ve katı substrat yükleyici için 35000 Euro olarak kabul edilmiştir. Sistem için son depo tankı 50000 Euro ve katı – sıvı separatör için 100000 Euro harcanması planlanmıştır. Sistemin otomasyonu için tahmini harcanması planlanan tutar 100000 Euro olarak tahmin edilmektedir. Planlamalar ve resmi izinler için harcanması olası olan tutar 150000 Euro olarak ön görülmüştür. Tüm bu kabuller gerçekleştirildiğinde tesisin tahmini ilk yatırım maliyeti 2814612 Euro olarak hesaplanmıştır. Model denklemden elde edilen veri ise 2752556 Euro'dur. Kurulması planlanan tesisin kurulu elektrik gücü 1083 KW'tır. Sistemin birim yatırım maliyeti 2599 Euro/KW'tır. Tüm sistem için inşaat giderleri 1273531 Euro, ekipman giderleri 1381081 Euro olarak hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 3.32).

Tablo 3.33. Senaryo C1 gelir-gider analizi verileri

Gelir – Gider Analizi	**Miktar (Euro)**
Gelirler	
Elektrik Satışı	814244
Isı Satışı	77400
Pelet Gübre Satışı	596300
Sıvı Gübre Satışı	0

Atık Betaraf Geliri	1825
Toplam Gelir	***1489769***
Genel Giderler	
Hammadde Gideri	87783
Bakım ve Onarım	56292
İşletme ve yan malzeme giderleri	56292
CHP Bakım	173243
Ara toplam	**373610**
Diğer Giderler	
Amortisman	201785
Sigorta	28146
İşçilik	14600
Ara Toplam	***244531***
Genel Görünmeyen Giderler	28146
NET GELİR	**843481**

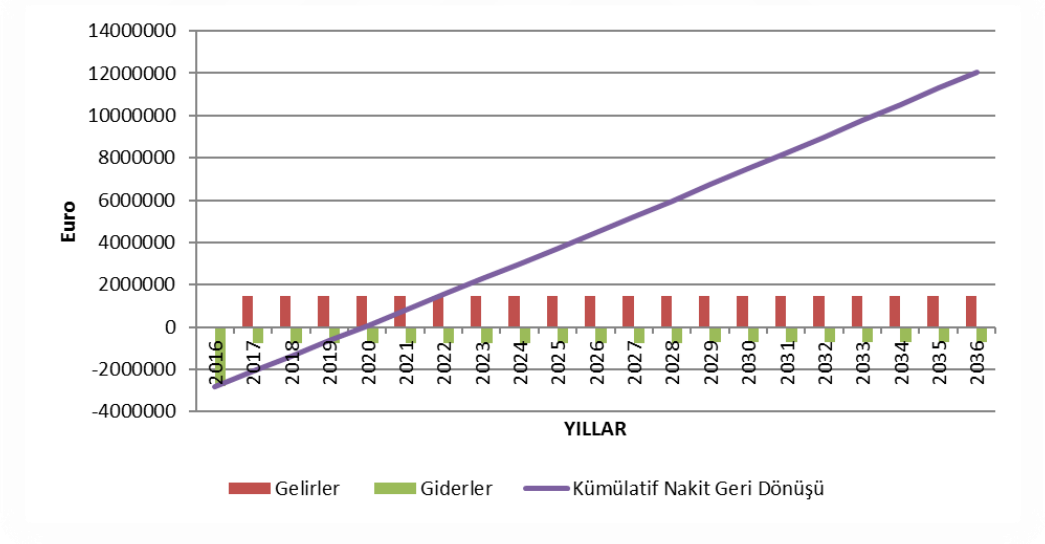
Tablo 3.31'de belirtilen ham maddeler için kurulması planlanan biyogaz tesisinde işlenmesi sonucunda elde edilmesi muhtemel gelirler ve giderler Tablo 3.33'de detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda yatırımın hayata geçirilmesi ile elde edilebilecek olan gelir kaynakları elektrik satışının devletin YEK Kanunu'nda belirtmiş olduğu taban fiyattan satışının gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilecek olan gelir, katı gübre olan pellet gübre satışından ve ısı satışından elde edilecek olan kazançtır. Sıvı gübrenin satışının gerçekleştirilemediği kabulü yapılmıştır. Aynı zamanda ham maddenin tesiste fermantasyonun gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilebilecek olan pellet ve sıvı gübre miktarları Tablo 3.34'te belirtilmiştir.

Tablo 3.34. Senaryo C1 katı-sıvı gübre değerleri

PROSES ÇIKTILARI

Çıktı	%KM	Miktar (ton/yıl)
Pellet gübre	25	14908
Sıvı gübre	5	74893
		0
Sıvı gübre uygulanabilir Alan	2359 ***hektar***	

Tesis için hesap aracı tarafından hesaplanan ekonomik analiz verileri Tablo 3.32'de belirtilmişti. Gelir ve giderlerin yıllara göre nakit akışının belirlenmesi sonucunda oluşan grafik, Grafik 3.6'da gösterilmektedir. Grafikte 2016 yılı, tesisin işletmeye alınacağı yıl, yer alan gider tesisin ilk yatırım maliyetini ifade etmektedir. Sonraki yıllarda ifade edilen giderler operasyonel aktiviteler sonucunda oluşan ve görünmeyen giderleri kapsamaktadır. Gelirler ise Tablo 3.32'de belirtilen gelir kalemlerinin toplamını ifade etmektedir.



Grafik 3.5. Senaryo C2 net kümülatif nakit akışı

Nakit akışı gerçekleştirilirken pellet gübre satışının şu an ki piyasa fiyatı olan 50 Euro/ton'dan daha düşük seviyede 40 Euro/ton satış fiyatı ile, ısı satışının ise piyasa fiyatının yarı olan 0,01 Euro/kWh satış fiyatı ile piyasa arz edildiği kabul edilmiş ve hesaplamalar soncunda tesis kendisini faydalı ömrü içerisinde geri ödeyebildiği hesap araca tarafından belirlenmiştir. Grafik 3.6'da görüldüğü gibi senaryo da gerçekleştirilen kabuller doğrultusunda tesisin faydalı ömrü içerisinde

geri ödeme süresi yaklaşık 4 yıl olarak hesap aracı tarafından hesaplanmıştır. Biyogaz tesislerinin amortisman sürelerinin normal koşullar altında yatırımın anlamlı olabilmesi için 3-7 yıl olduğu varsayılır. Senaryo C1'deki ekonomik şartlar altında işletilecek olan ve hesap aracı tarafından ekonomik analizleri gerçekleştirilmiş olan bir tesisin kurulması ekonomik açıdan uygun bulunmaktadır.

3.4.3.2.Senaryo C2

Yatırımcı tarafından kurulması planlanan biyogaz tesisi için kullanılacak ham madde kaynakları ve ekonomik şartların tesis açısından olması muhtemel en olumlu şartlar altında koşul olarak Senaryo C2 için yapılmış olan kabuller Tablo 3.35'de belirtilmektedir. Söz konusu kabuller belirlenirken piyasadaki ekonomik şartlar göz önünde bulundurulmuş ve elde edilen katma değeri yüksek ürünlerin, elektriğin, katı gübrenin ve üretilen ısının, değerlendirilebilindiği göz önüne alınmıştır. Hesap aracı tarafından gerçekleştirilen tüm hesaplamalar ve karşılaştırmalar bu kabullere göre yapılmıştır.

Tablo 3.35. Senaryo C2 ham madde ile ilgili kabuller

Hammaddenin Tipi	**Miktar**	**Gider (Euro)**
Büyükbaş hayvan atığı (sulu), >2 yaş	2 500 baş hayvan	-
Etlik tavuk atığı	1 250 000 baş hayvan	2,0
Mısır silajı	3 ton/gün	40,0
Peynir altı suyu	5 ton/gün	-1,0 *(Bertaraf geliri)*

Oluşturulan senaryoda hayvansal atıklar için belirtilen sayıdaki tavuktan elde edilecek olan atığın tek bir alanda toplanmasının zorluğu nedeni ile atığın temini için nakliye ücretinin tesis sahibi tarafından karşılandığı ve ortama ton atık başına 2 Euro maliyet oluştuğu varsayılmıştır. Tesiste hammadde olarak kullanılacak olan süt sığırı atığı için nakliye masrafı ödenmediği varsayılmıştır. Mısır silajının hazır olarak alındığı ve nakliye dâhil ton başına 40 Euro'ya mal olduğu kabul edilmiştir. Tesis içerisinde kullanılan peynir altı suyu herhangi bir atık bertaraf bedeli için 1

Euro/ton olarak ücret alındığı göz önüne alınarak gerekli hesaplamalar buna göre gerçekleştirilmiştir (Bkz. Tablo 3.35).

Bankadan alınan borcun faiz oranı günümüz koşullarındaki kredi faiz oranı olan %4 faiz oranı kabul edilerek nakit akışı oluşturulmuştur. Teknik ekipmanlar için amortisman süreleri 10 yıl betonarme yapıların 20 yıl olarak kabul edilmiştir. Anaparanın %50'nın borç olarak alındığı ve aynı zamanda elektrik satışının YEK biyogaz üretimine dayalı elektik üretimi koşullarının sağlandığı ve aynı kanunu ekinde belirtilen yerli üretim ekipman kullanımı ile alınabilecek olan tüm desteklerin (akışkan yataklı buhar kazanı 0,8 Dolar cent/kWh, sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı 0,4 Dolar cent/kWh, gazlaştırma ve gaz temizleme grubu 0,6 Dolar cent/kWh, buhar veya gaz türbini 2,0 Dolar cent/kWh, içten yanmalı motor veya stirling motoru 0,9 Dolar cent/kWh, jeneratör ve güç elektroniği 0,5 Dolar cent/kWh, kojenerasyon sistemi 0,4 Dolar cent/kWh) alınabildiği varsayılarak elektrik satışı için alınan elektrik besleme tarifesi 0,16 Euro cent/ kWh olarak kabul edilmiştir. Bunlara ilave olarak katı gübrenin satış fiyatı 40 Euro/ton, ısının satış fiyatının ise 0,01 Euro/kWh ve sıvı gübrenin ise satılamadığı kabul edilmiştir.

Sistemin kendi içerisindeki elektik kullanımı %6, ısı kullanımı ise %20 olarak kabul edilmiştir. Tesis işletimi sırasında işletme ve yan malzeme giderleri %2 kabulü yapılmıştır. Tesisteki çalışanın saati 5 Euro'dan günde 4 saat 2 kişinin çalışacağı kabulü yapılmıştır. Tesis için beklenmeyen giderlerin (görünmeyen) oranı ise %2 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.36. Senaryo C2 tahmini ilk yatırım maliyetleri

Tahmini İlk Yatırım Maliyeti	
Yatırım Bileşenleri	**Miktar (Euro)**
Arazi	0
Ana Girdi Madde Havuzu	124519
Mobil Teknik Yükleyici	0
Sıvı substrat Besleyici	20000
Katı Substrat Besleme	35000

Ana Çürütücü	525144
İkinci Çürütücü	433108
Son depo Tankları	50000
Katı-Sıvı Separatör	100000
Desülfürizasyon	97449
CHP (Gas-Otto Motor)	1028632
SCADA-Kontrol Sistemi	100000
Planlama ve Resmi İzinler	150000
Saha İnşası ve Hazırlık	140760
Toplam ilk yatırım	**2804612**
Model yatırım maliyeti	**2752556**
İnşaat	1273531
Makine-Ekipman	1381081

İlk yatırım maliyeti açısından Senaryo C2'in oluşturulması aşamasında arazi için yatırımcının kendi arazini kullandığı ve arazi için herhangi bir ücret ödenmediği kabul edilmiştir Sıvı substrat yükleyici için 20000 Euro ve katı substrat yükleyici için 35000 Euro olarak kabul edilmiştir. Sistem için son depo tankı 50000 Euro ve katı-sıvı separatör için 100000 Euro harcanması planlanmıştır. Sistemin otomasyonu için tahmini harcanması planlanan tutar 100000 Euro olarak tahmin edilmektedir. Planlamalar ve resmi izinler için harcanması olası olan tutar 150000 Euro olarak ön görülmüştür. Tüm bu kabuller gerçekleştirildiğinde tesisin tahmini ilk yatırım maliyeti 2814612 Euro olarak hesaplanmıştır. Model denklemden elde edilen veri ise 2752556 Euro'dur. Kurulması planlanan tesisin kurulu elektrik gücü 1083 KW'tır. Sistemin birim yatırım maliyeti 2599 Euro/KW'tır. Tüm sistem için inşaat giderleri 1273531 Euro, ekipman giderleri 1381081 Euro olarak hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 3.36).

Tablo 3.37. Senaryo C2 gelir-gider analiz verileri

Gelir – Gider Analizi	**Miktar (Euro)**

Gelirler	
Elektrik Satışı	1302790
Isı Satışı	0
Pelet Gübre Satışı	596300
Sıvı Gübre Satışı	74893
Atık Betaraf Geliri	1825
Toplam Gelir	***1975808***
Genel Giderler	
Hammadde Gideri	83403
Bakım ve Onarım	56092
İşletme ve yan malzeme giderleri	56092
CHP Bakım	173243
Ara toplam	**368830**
Diğer Giderler	
Amortisman	201785
Sigorta	28046
İşçilik	14600
Ara Toplam	***244431***
Genel Görünmeyen Giderler	28046
NET GELİR	**1334501**

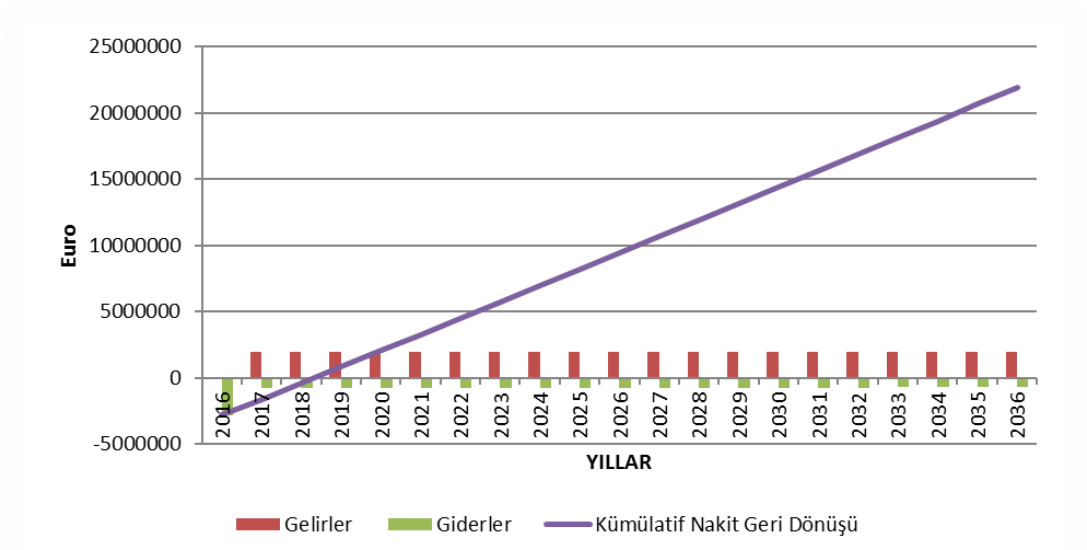
Tablo 3.35'te belirtilen ham maddeler için kurulması planlanan biyogaz tesisinde işlenmesi sonucunda elde edilmesi muhtemel gelirler ve giderler Tablo 3.37'de detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda yatırımın hayata geçirilmesi ile elde edilebilecek olan gelir kaynakları elektrik satışının devletin YEK Kanunu'nda belirtmiş olduğu taban fiyat ile yerli üretim desteği de alınarak toplam değer üzerinden gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilecek olan gelir bir kalem olarak hesaplanmış. Aynı zamanda katı gübre olan pellet gübre satışından ve sıvı gübre satışından elde edilecek olan kazançtır. Isının satışının

gerçekleştirilemediği kabulü yapılmıştır. Aynı zamanda ham maddenin tesiste fermantasyonun gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilebilecek olan pellet ve sıvı gübre miktarları Tablo 3.38'de belirtilmiştir.

Tablo 3.38. Senaryo C2 katı-sıvı gübre değerleri

PROSES ÇIKTILARI		
Çıktı	**%KM**	**Miktar (ton/yıl)**
Pellet gübre	25	14908
Sıvı gübre	5	74893
		0
Sıvı gübre uygulanabilir Alan	2359 ***hektar***	

Tesis için hesap aracı tarafından hesaplanan ekonomik analiz verileri Tablo 3.37'de belirtilmişti. Gelir ve giderlerin yıllara göre nakit akışının belirlenmesi sonucunda oluşan grafik, Grafik 3.7'de gösterilmektedir. Grafikte 2016 yılı, tesisin işletmeye alınacağı yıl, yer alan gider tesisin ilk yatırım maliyetini ifade etmektedir. Sonraki yıllarda ifade edilen giderler operasyonel aktiviteler sonucunda oluşan ve görünmeyen giderleri kapsamaktadır. Gelirler ise Tablo 3.37'de belirtilen gelir kalemlerinin toplamını ifade etmektedir.



Grafik 3.6. Senaryo C2 net kümülatif nakit akışı

Nakit akışı gerçekleştirilirken pellet gübre satışının şu an ki piyasa fiyatı olan 50 Euro/ton'dan daha düşük seviyede 40 Euro/ton satış fiyatı ile, sıvı gübrenin ise piyasa fiyatının daha az 1 Euro/ton satış fiyatı ile piyasa arz edildiği kabul edilmiş ve hesaplamalar soncunda tesis kendisini faydalı ömrü içerisinde geri ödeyebildiği hesap araca tarafından belirlenmiştir. Grafik 3.7'de görüldüğü gibi senaryo da gerçekleştirilen kabuller doğrultusunda tesisin faydalı ömrü içerisinde geri ödeme süresi yaklaşık 2,5 yıl olarak hesap aracı tarafından hesaplanmıştır. Biyogaz tesislerinin amortisman sürelerinin normal koşullar altında yatırımın anlamlı olabilmesi için 3-7 yıl olduğu varsayılır. Senaryo C2'deki ekonomik şartlar altında işletilecek olan ve hesap aracı tarafından ekonomik analizleri gerçekleştirilmiş olan bir tesisin kurulması ekonomik açıdan uygun bulunmaktadır.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda matematiksel ifadelerin MS Excel 2012 programına aktarılarak oluşturulmuş olan hesap aracı detayları metot kısmında derinlemesine açıklanmıştır. Bu çalışmanın çıktısı olarak elde edilen biyogaz hesap aracı, ülkemizde Türkiye şartlarına uygun nitelikte ham madde kaynakları ve Türkiye şartlarına uygun ekonomik analiz gerçekleştirebilen tek hesap aracı olması özelliğini taşımaktadır. Hesap aracı kullanıcıya 5 ara yüz sunmaktadır, giriş, besleme ve biyogaz değerleri, rapor sayfası, nakit akışı ve tesis şeması.

Giriş sekmesi içerisinde kullanıcının hesap aracı hakkında bilgiler, diğer tüm ara yüzlere ulaşabileceği linkler ve hesap aracının kullanım kılavuzuna ulaşabileceği bölümler bulunmaktadır. Bu sekmede kullanıcıların önemle dikkat etmesi gereken noktalar, hesap aracının kesinlik ticari amaçla kullanılamayacağı ve hesap aracının tüm hakları çalışmayı gerçekleştiren şahsa ait olmasıdır.

Besleme ve biyogaz değerleri sekmesinde kullanıcının ön fizibilite çalışması yapmak istediği, diğer bir deyişle kurulması planlanan biyogaz tesisi için kullanacak olan ham madde miktarlarının ve ham maddelere ait olarak temel gelir-gider kalemlerinin girildiği sekme olarak tasarlanmıştır. Ham madde girdisinde hayvansal atıklar için baş hayvan, enerji bitkileri ve diğer atıklar için veriler günlük

ton üzerinden veri girişi sağlanmaktadır. Belirtilen ham maddelerin nakliyesi ya da satın alınan ham maddelerde ödenen giderlerin nakit akışında hesaplamalara katılması için bu ham maddelerin hammadde gideri bölümünde Euro/ton cinsinden değerlerin girilmesi gerekmektedir. Aynı durum söz konusu ham maddelerin tesiste kullanılmasında atık bertaraf bedeli alınıyorsa bu gelirin Euro/ton olarak girişinin yapılması gerekir. Bu durumda bu değerler nakit akışına gelir olarak kabul edilerek gerekli hesapların yapılması sağlanır. Herhangi bir değer girilmemesi durumunda nakit akışında bu değerler için herhangi bir hesaplama gerçekleştirilmemektedir (Bkz. Ek-1). Aynı sekme içerisinde sistemin kuru madde değerinin ayarlanabilmesi için kullanıcıya yol gösteren KM ayarlama bölümü reaktör içerisindeki KM değeri takibi gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca sisteme ait olan besleme değerleri (substrat hacmi, substrat kütlesi, KM, oKM, metan gazı yüzdesi, KM giderim ve oKM giderimi) ve sistemin elektrik değerleri (günlük biyogaz üretimi, günlük elektrik üretimi ve elektrik motorları değerleri) kullanıcıya sunulmaktadır (Bkz. Ek-2).

Sistem içerisinde kullanıcıya seçmesi amacıyla sunulan ham madde kaynaklarına ait olan tüm veriler ana hesap tablosu içerisinde listelenmiştir. Belirtilen bu sekme hesap aracının temel hesaplama gövdesini oluşturduğu için bu bölmede kullanıcının herhangi bir değişiklik yapmaması ve olası hesaplama yanlışlıklarının oluşmasını engellemek amacıyla gizlenmiştir (Bkz. Ek-3).

Hesap aracı içerisinde bulunan rapor sayfası sekmesinde kullanıcının girmiş olduğu ham madde tipleri ve miktarının bir özet olarak gösterildiği bölüm yer almaktadır. Bu bölüm içerisinde çürütücü işletme değerleri (HRT değeri, OLR değeri, reaktör hacmi ve besleme kuru maddesi), biyogaz değerleri (yıllık üretilecek olan biyogaz hacmi, biyogazın metan yüzdesi, yıllık üretilen metan hacmi, tesis kurulu elektrik gücü ve elektrik motoruna ait olan veriler) ve ısı ve elektrik üretim değerleri bölümü (toplam ısı ve elektrik üretim değerleri, tesisi ısı ve elektrik kullanımı değerleri ve net elektrik ve ısı değerleri) yer almaktadır (Bkz. Ek-4).

Tesis için ekonomik analizlerin gerçekleştirilebilmesi için bazı kabuller ya da kullanıcının kendi verilerini girebileceği ekonomik analiz bölmesi bulunmaktadır. Bu bölme senaryolarda da belirtildiği gibi ilk yatırım tahmini bedeli, gelir-gider tablosu ve kabuller alt bölümlerini içermektedir. Bu bölümde dikkat edilmesi

gereken en önemli nokta ilk yatırım tahmini bedeli hesaplaması ve kabuller alt bölmeleridir. İlk yatırım tahmini bedeli alt bölmesinde tesisin kurulu elektrik gücü başına yatırım maliyetini hesaplayabilen temel parametreler bulunmaktadır. Fakat özellikle tesisin kapasitesi yükseldikçe birim fiyat (kW başına) maliyet düşeceği için tesisin ilk yatırım maliyetinde sapmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle hesap aracı kullanıcısına yol göstermesi amacıyla bu bölme içerisinde model yatırım maliyeti bölmesi ilave edilmiştir. Bu bölmede, metot kısmında belirtildiği gibi farklı kapasitede 38 farklı biyogaz tesisin ekonomik analizi gerçekleştirilerek oluşturulmuş ilk yatırım maliyeti modeline göre hesaplama yapmaktadır. Unutulmaması gerek nokta bu tesislerin tamamı 1 MW'dan büyük olması ve tesis kapasitesi küçüldükçe birim maliyetin artmasıdır. Bundan dolayı eğer kullanıcı kendisine ait bir teklife sahip ise ya da yatırım maliyetleri hakkında bir piyasa araştırması yapmış ise bu değerleri kullanıcı girişinden girerek ilk yatırım maliyetinin daha doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak verir (Bkz. Ek-5).

Gelir-gider tablosu alt bölümünde tesise ait olan gelirler ve giderlerin detaylı olarak hesapladığı noktadır. Bu bölümde herhangi bir kullanıcı girişi bulunmaktadır (Bkz. Ek-5).

Kabuller alt bölümü içerisinde senaryolarda detaylı bir şekilde belirtilmiş olan kalemler için hesap aracı içerisine entegre edilmiş olan değerler yer almaktadır. Bu kabullerin belirlenmesi aşamasında çalışmasının yapıldığı yıl içindeki ekonomik durumlar analiz edilerek bu kabuller belirlenmiştir. Bu bölümde dikkat edilmesi gereken nokta kullanıcı eğer belirtilen kabul kalemleri içerisinde kendisine ait olan değerler varsa kullanıcı girişi alanından bu değerlerin girişini gerçekleştirebilmektedir. Bu şekilde nakit akışının en doğru şekilde hesaplanarak oluşturulacak tabloya veri aktarımı sağlanır (Bkz. Ek-5).

Nakit akışı sekmesinde tesis için ekonomik analiz bölümünde yapılan kabuller ve gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda elde edilen gelir-gider kalemlerine ait olan verilerin nakit akışı tablosuna aktarıldığı bölüm olarak sisteme entegre edilmiştir. Bu bölümde kullanıcı girişi yapılmamaktadır (Bkz. Ek-6). Aynı zamanda kullanıcının tesis geri ödeme süresini kolaylıkla görebildiği net kümülatif

nakit akışının hesaplandığı, her hesaplama sonunda nakit akışan göre güncellenen bir grafiğin çizimi de gerçekleştirilmektedir (Bkz. Ek-6).

Tesis şeması sekmesinde kurulması planlana tesisin genel anlamda şematize edilmiş basit bir akış şeması yer almaktadır. Akış şeması üzerinde giriş ve çıkış hatları, katı ve sıvı gübre, gübreleme için gerekli olan arazi miktarını ifade eden veriler de yer almaktadır (Bkz. Ek-7).

Hesap aracı oluşturulurken ekonomik analizin gerçekleştirildiği para cinsi Euro'dur. Bunun kullanılmasını nedeni Türk Parası ile yabancı kur arasında yaşanan dalgalanmalardır. Bu nedenle döviz cinsi kullanılarak bu dalgalanmanın önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Kullanıcının uyarılması gereken bir diğer nokta hesap aracı içerisindeki hesaplamalar her ne kadar güncel değerler ile gerçekleştirilmiş olsa da kesin bir yatırım kararı alınmadan önce mutlaka bir detaylı fizibilite çalışmasının yapılması önerilmektedir. Oluşturulmuş olan hesap aracı detaylı fizibilite sonuçlarını sunmamaktadır. Tasarlanmı olan hesap aracının ticari anlamda kullanılması yasaktır.

5. KAYNAKLAR DİZİNİ

- **5346 Sayılı Kanun**, 2012.
- **Adekunle, K. F. and Okolie, J. A.,** 2015, A review of biochemical process of anaerobic digestion Advances in Bioscience and Biotechnology, 6(03), 205.
- **Adekunle, K. F., Okolie and J. A.,** 2015, A review of biochemical process of anaerobic digestion. Advances in Bioscience and Biotechnology, 6(03), 205.
- **Agdag, O.N. and Sponza D.T.,** 2004, Effect of aeration on the performance of a simulated landfilling reactor stabilizing municipal solid waste, Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic and Hazardous Substances and Environmental Engineering, 39: 2955-2972.
- **Ahlgren, S., Bernesson, S., Nordberg, A., and Hansson, P. A.,** 2010,. Nitrogen fertiliser production based on biogas–energy input, environmental impact and land use. Bioresource technology, 101(18), 7181-7184.
- **Ahring, B.K.,** 2003, Perspectives for anaerobic digestion. Advances in biochemical engineering/biotechnology-Biomethanation I. (Ahring, B. ed). Springer. Berlin. pp. 1-30.
- **Akman, N., Tuncel, E., Tüzemen, N., Kumlu, S., Özder, M., Ulutaş, Z.,** 2010, Türkiye Sığırcılık İşletmelerinin Yapısı ve Geleceğin Sığırcılık İşletmeleri. (http://www.zmo.org.tr/resimler/ekler/dd993b2fef3fdff_ek.pdf Erişim tarihi: 1 Mayıs 2015).
- **Ali Shah, F., Mahmood, Q., Maroof Shah, M., Pervez, A. And Ahmad Asad, S.**, 2014, Microbial ecology of anaerobic digesters: the key players of anaerobiosis, The Scientific World Journal, 2014.
- **Alkaya E., Erguder T.H. and Demirer G.N.,** 2009, "Anaerobic semi-continuous co-digestion of dairy cattle manure and agricultural residues: Effect of operational parameters," Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009 Band:1 121–136.
- **Altaş, M., Fikret H. ve Çelebi E.,** 1994 "Enerji istatistikleri", Türkiye 6. Enerji Kongresi, İzmir.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Angelidaki, I. and Ahring, B.,K.,** 2000, Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure, Water Science and Technology, 3: 189-94.
- **Angelidaki, I., Chen, X., Cui, J., Kaparaju, P. and Ellegaard, L.,** 2006, Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of household municipal solid waste: start-up procedure for continuously strirred tank reactor, Water Research, 40: 2621-2628.
- **Angelidaki, I., MathranI M., I., Schmıdt, E., J. Ahrıng, K., B.,** 2004,The Biogas Process, 52.
- **Anon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pötsch, E., Wagentristl, H., Schreiner and M., Zollitsch, W.,** 2007, Methane production trogh anaerobic digestion of various energy crops grown in suistanable crop rotation, Bioresource Technology, 98: 3204-3212.
- **Azbar, N., 2013,** Avrupa biyogaz tesisleri için matematiksel model, (unpublished).
- **Bachmann, S., Wentzel, S. and Eichler-Löbermann, B.,** 2011, Codigested dairy slurry as a phosphorus and nitrogen source for Zea mays L. and Amaranthus cruentus L., Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 174(6), 908-915.
- **Barber, W.P. and Stuckey, D.C.,** 1999, The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for waste waster treatment: a review. Water Research, 33: 1559-1578.
- **Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Karaca, C., Kaçıra, M., Ekinci, K., Kaya, D., Baban, A., Güneş, K., Komıttı, N., Barnes, I. ve Nıemınen, M.,** 2005, Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi Rehberi, LIFE 03 TCY/ TR /000061, Adana, Türkiye.
- **Batstone, D., J., , Keller, J., Angelıdakı, I., Kalyuzhnyı, V., S., Pavlostathıs, G., S., Rozzı, A., Sanders, W., T., M., Sıegrıst, H. and Vavılın, A., V.**, 2002, Anaerobic Digestion Model No.1, Scientific and Technical Report, 13, 1-77.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Bayrakcı, A.G. and Kocar, G.,** 2012, Utilization of renewable energies in Turkey's agriculture, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 618–633.
- **Berg H.,** 2011, Suluova biyogaz Tesisinin Teknik-Ekonomik Esaslarına İlişkin Rapor, Türk-AlmanBiyogaz Projesi, Ankara.
- **Bouallagui, H., Torrijos, M., Gordon, J.J., Moletta, R., Cheik, R.B., Touhami, Y., Delgenes, J.P. and Hamid, M.,** 2004, Two-phases anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: bioreactor performance, Biochemical Engineering Journal, 21: 193-197.
- **Börjesson, P. and Mattiasson, B.,** 2007, Biogas as a resource-efficent vehicle fule, Trends in Biotechnology, 26: 7-13.
- **Bräuer, S.L., Yashiro, E., Ueno, N.G., Yavitt, J.B. and Zinder, S.H.**, 2006, Characterization of acid-tolerant H2/CO2-utilizing methanogenic enrichment cultures from an acidic peat bog in New York State, FEMS Microbial Ecology. 57: 206-216.
- **Bruni E., Jensen A.P. and Angelidaki I.,** 2010, Comparative study of mechanical, hydrothermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas production, Bioresource Technology, 101 (2010) 8713–8717.
- **Bryant, M. P.,** 1979, Microbial methane production-theoretical aspects. Journel of Animal Science, 48, 193-201.
- **Buffiere, P., Loise,l D., Bernet, N. and Delgenes, J.P.,** 2006, Towards new indicators for the prediction of solid waste anaerobic digestion properties, Water Science & Technology, Vol 53, No 8, 233–241.
- **Callaghan, F.J., Wase, D.A.J., Thayanithy, K. and Fortser, C.F.,** 2002, Contninous codigestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure, Biomass and Bioenergy, 27: 71-77.
- **Cavaleiro, A.J., Pereira, M.A. and Alves, M.,** 2008, Enhancement of methane production from long chain fatty acid based effluents, Bioresource Technology. 99: 4086-409.
- **Chaban, B. and Jarell, K.F.,** 2006, Archael habitats – from the extreme to the ordinary. Canadian Journal of Microbiology, 52:,73-116

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Chaban, B., Ng, S. Y. and Jarrell, K. F.,** 2006, Archaeal habitats—from the extreme to the ordinary, Canadian journal of microbiology, 52(2), 73-116.
- **Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fangueiro, D., Cardenas, L., Amon, B. and Misselbrook, T.,** 2011, Manure management: implications for greenhouse gas emissions Animal Feed Science and Technology, 166, 514-531.
- **Chen, Y., Cheng, J. J. and Creamer, K. S.**, 2008, Inhibition of anaerobic digestion process: a review. Bioresource technology, 99(10), 4044-4064.
- **Chynoweth D.P., Wilkie A.C. and Owens J.M.,** 1999, Anaerobic treatment of piggery slurry – Review, Asian-Australian journal of animal sciences, 12: 607-628.
- **Çıtak, S., Sönmez S. ve Öktüren F.,** 2008, Bitkisel Kökenli Atıkların Tarımda Kullanılabilme Olanakları, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü, Antalya.
- **Dar, S.A., Kleerebezem, R., Stams, A.J.M, Kuenen, J.G. and Muyzer, G.,** 2008,Competition and co-existence of sulfate-reducing bacteria, acetogens and methanogens in a lab-scale anaerobic bioreactor as affected by changing substrate to sulphate ratio. Environmental Technology, 78 1045-105.
- **DBFZ-Deutsches Biomasse Forschungs Zentrum gemeinnützige GmbH**, 2011, Türkiye'de biyogaz yatırımları için geçerli koşulların ve potansiyelin değerlendirilmesi, Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig.
- **Demirbas, A.,** 2008, Products from lignocellulosic materials via degradation processes Energy Sources, Part A, 30, 27-3.
- **Demirel, B., and Scherer, P.**, 2011, Trace element requirements of agricultural biogas digesters during biological conversion of renewable biomass to methane, Biomass and Bioenergy, 35(3), 992-998.
- **Demirel, B., Yenigun, O. ve Onay, T.T.,** 2005, Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review, Process Biochemisty, 40: 2583-2595.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Demirer, G. N., Duran M., Ergüder, T. H., Güven, E., Ugurlu, Ö. and Tezel, U.,** 2000, Anaerobic treatability and biogas production potential studies of different agro-industrial wastewaters in Turkey. Biodegradation 11: 401 –405.
- **Dennis A. and Burke P. E.,** 2001, Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook, Environmenral Energy Company,360-923-2000.
- **Deressa, L., Libsu, S., Chavan, R. B., Manaye, D. and Dabassa, A.**, 2015, Production of Biogas from Fruit and Vegetable Wastes Mixed with Different Wastes, Environment and Ecology Research, 3(3), 65-71.
- **Deublein, D. and Steinhauser A.,** 2011, Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction, 2 nd. Editiion, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- **Deublein, D. and Steinhauser, A.**, 2011, Biogas from waste and renewable resources: an introduction. John Wiley & Sons.
- **Divya, D., Gopinath, L. R. and Christy, P. M**., 2015, A review on current aspects and diverse prospects for enhancing biogas production in sustainable means, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 690-699.
- **dos Santos, A. B., Cervantes, F. J. and van Lier, J. B.**, 2007, Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology, Bioresource technology, 98(12), 2369-2385.
- **DSİ**, 2016, Tarımsal Faaliyet Verileri, Ankara.
- **Duran, M. and Speece, R.E.,** 1997, Temperature-staged anaerobic process, Environmental Technology, 18: 747-754.
- **Ehrlich, H. L., Newman, D. K. and Kappler, A.** (Eds.)., 2015, Ehrlich's Geomicrobiology. CRC press.
- **Ekinci, M.,** 2011, Regional Distribution of Animal Manure and Biogas Potential in Turkey. Presentation 1st Biogas Workshop, İzmir.
- **El-Mashad, H. M. And Zhang, R.**, 2010, Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste, Bioresource technology, 101(11), 4021-4028.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **EPDK**, 2013, Lisanslı elektrik üretimi verileri, Ankara.
- **Ergüdenler, A. and Işığıgür, A.,** 1994, Agricultural residues as a potential resource for environmentally sustainable electric power generation in Turkey, Renewable Energy, V.5, Part II, pp.786-790.
- **Evin, H.**, 2009, Hazardous Waste Management In The World And Turkey: A Comperatıve Analysıs, Fırat University Journal of Social Science, 19, 2, 197-208.
- **Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D.,** 1983, Sanitation and Disease – Health Aspects of Excreta and Wastewater Management, World Bank Studies in Water Supply and Sanitation, No. 3. John Wiley & Son.
- **Fernandes, T.V., Klaasse Bos, G.J., Zeeman, G., Sanders, J.P.M. and Lier, J.B.V.,** 2009, Effects of thermo-chemical pre-treatment on anaerobic biodegradability and hydrolysis of lignocellulosic biomass, Bioresource Technology, 100 (2009) 2575–2579.
- **Fernandez, A., Sánches, A. and Font, X.,** 2005, Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin, Biochemical Engineering Journal, 26: 22–28.
- **Florencio, L., Jenicek, P., Field, J.A. and Lettinga, G.,** 1993, Effect of cobalt on the anaerobic degradation of methanol, Journal of Fermentation and Bioengineering, 75: 368-374.
- **Fricke, K., Santen, H., Wallman, R. and Hütter, A.,** 2007, Operating porblems in anerobic digestion plants resulting in nitrogen from MSW. Waste Management. 27: 30-43.
- **Garcia, J. L., Patel, B. K. and Ollivier, B.,** 2000, Taxonomic, phylogenetic, and ecological diversity of methanogenic Archaea, Anaerobe, 6(4), 205-226.
- **Ghasimi, D. S., Tao, Y., Kreuk, M., Zandvoort, M. H. and Lier, J. B.,** 2015, Microbial population dynamics during long-term sludge adaptation of thermophilic and mesophilic sequencing batch digesters treating sewage fine sieved fraction at varying organic loading rate, Biotechnology for biofuels,8(1), 171.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Giovannini, G., Donoso-Bravo, A., Jeison, D., Chamy, R., Ruíz-Filippi, G. and Wouwer, A. V.**, 2016, A review of the role of hydrogen in past and current modelling approaches to anaerobic digestion processes. International Journal of Hydrogen Energy, 41(39), 17713-17722.
- **Gunaseelan, V.N.,** 1997, Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review, Biomass and Bioenergy, 13: 83-114.
- **Gunaseelan, V.N.,** 2007, Regression models of ultimate methane yields of fruits and vegetable solid wastes, sorghum and napiergrass on chemical composition, Bioresource Technology, 98: 1270-1277.
- **Hashimoto, A.,G.,** 1986, Ammonia inhibition of methanogenesis from cattle waste, Agricultural Wastes, 17: 241-261.
- **Hasnain, M.I. and Anderson, G.K.,** 2005,. Molybdate inhibition of sulphate in two-phase anaerobic digestion. Process Biochemistry. 40: 2079-2089.
- **House, D.,** 2010, The Complete Biogas Handbook. Alternative House Information, 288 pp.
- **Jang, B., Pin-Jing, H., Lü, F., Shao, L and Wanf, P.,** 2007, Extracellular enzyme activities during regulated hydrolysis of high solid organic wastes, Water Research, 41: 4468-4478.
- **Jarrell, K.F. and Kalmokoff, M.L.,** 1988, Nutrial requirements of the methanogenic archaebacteria, Canadian Journal of Microbiology, 34: 557-576.
- **Jarvis, A. and Schnürer, A.**, 2009, Microbiological Handbook for Biogas Plants, report 207, Swedish Gas Technolgy Centre.
- **Karakashev, D., Batstone, D. J. andAngelidaki, I.,** 2005, Influence of environmental conditions on methanogenic compositions in anaerobic biogas reactors, Applied and environmental microbiology, 71(1), 331-338.
- **Karellas, S., Boukis, I. and Kontopoulos, G.**, 2010, Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(4), 1273-1282.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Kaya D.,** 2010, Evsel Kaynaklı Arıtma Çamurlarının Biyogaz Üretiminde Kullanımının Değerlendirilmesi, ICCI-Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı, İstanbul.
- **Kestioğlu, K., Kalelioğlu K.,Kestioğlu, O.E, Yavaş, Ö. ve Bilgin, Ş.I**, 2015, Nilüfer Belediyesi Organik Atıklardan Biyogaz Üretim Tesisi Fizibilite Çalışması (Nihai Rapor). Nülifer Belediyesi, Bursa.
- **Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T. and Dawson, L.,** 2011, The anaerobic digestion of solid organic waste – Review, Waste Management, Aug; 31(8): 1737–44.
- **Khush, G. S.**, 2001, Green revolution: the way forward. Nature Reviews Genetics, 2(10), 815-822.
- **Kim, J.K., Oh, B.R., Chun, Y.N. and Kim, S. W.,** 2006, Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic digestion of food waste, Journal of Bioscience and Bioengineering,102: 328-332.
- **Klass, D.,** 1984. Methane from anaerobic fermentation. Applied and Environmental Microbiology, 223, 1021-1028.
- **Koçer, N. N., Öner, C. and Sugözü, İ.**, 2006, Türkiye'de Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- **Kossmann, W., Pönitz, U., Habermehl, S., Hoerz, T., Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., von Klopotek, F., Krieg, A. and Euler, H.**, 1999, Biogas Digest Volume I – IV. German Agency for Technical Cooperation (GTZ). Eschborn. Germany.
- **Koster, I.,W. and Cramer, A.,** 1987, Inhibition of methanogenesis from acetate in granular sludge by long-chain fatty acids, Applied and Environmental Microbiology, 53: 403-409.
- **Koster, I.,W. and Lettinga, G,** 1984, The influence of ammonium-nitrogen on the specific activity of pelletized methanogenic sludge, Agricultural Wastes, 9: 205-216.
- **Kumar, A., Yadav, A.K., Sreekrishnan, T.R., Satya, S. and Kaushik, C.P.,** 2008, Treatment of low strength industrial wastewater by anaerobic hybrid reactor, Bioresource Technology, 99: 3123-3129.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Lalman, J., A. and Bagley, D.,M.,** 2001, Anaerobic degradation and methanogenicinhibitory effects of oleic and stearic acid, Water Resources, 35: 2975–2983.
- **Laramee, J. and Davis, J.,** 2013, Economic and environmental impacts of domestic bio-digesters: Evidence from Arusha, Tanzania, Energy for Sustainable Development, 17(3), 296-304.
- **Lee, E., Cumberbatch, J., Wang, M. and Zhang, Q.**, 2017, Kinetic parameter estimation model for anaerobic co-digestion of waste activated sludge and microalgae. Bioresource Technology, 228, 9-17.
- **Lee, J.P., Lee, J.S. and Park, S.C.,** 1999, Two-phase methanisation of food wastes in pilot scale, Applied Biochemistry and Biotechnology, 77-79: 585-593.
- **Lehtomäki, A.,** 2006, Biogas production from energy crops and crop residues, University of Jyväskylä.
- **Lethomäki, A., Huttunen, S., Lethinen, T.M. and Rintala, J.A,** 2008, Anaerobic digestion of grass silage in batch leach bed processes for methane production, Bioresource Technology, 99: 3267-3278.
- **Lethomäki, A., Viinikainen, T.A. and Rintala, J.A.,** 2008, Screening boeral energy crops and crop residues for methane biofuel production,Biomass and Bioenergy, 32: 541-550.
- **Levén, L., Eriksson, A. and Schnürer, A., 2007**, Effect of process temperature on bacterial and archaeal communities in two methanogenic bioreactors treating organic household waste, FEMS Microbiology Ecolology, 59: 683-693.
- **Li, Y., Sasaki, H., Yamashita, K., Seki, K. and Kamigochi, I.,** 2005, High-rate methane fermentation of lipid-rich food wastes by a high-solids co-digestion process, Water Sciences and Technology, 45: 143-150.
- **Li, Y.B., Park, S.Y. and Zhu J.Y.,** 2011, Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 15(1): 821– 826.
- **Li, Z., Tang, R., Xia, C., Luo, H. and Zhong, H.,** 2005, Towards green rural energy in Yunnan, China. Renewable Energy 30: 99-108 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Liao, B.Q., Kraemer, J.T. and Bagley, D.M.,** 2006, Anaerobic membrane bioreactors: application and research directive, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 36: 489-530.
- **Lindorfer, H., Braun, R. and Kirchmayr, R.,** 2007, Self-heating of anaerobic digesters using energy crops, Water Science and Technology, 53: 159-166. 73.
- **Lindorfer, H., Waltenberger, R, Köller, K., Braun, R. and Kirchmayr, R.,** 2008, New data on temperature optimum and temperature changes in energy crop digesters, Bioresource Technology, 99: 7011-7019.
- **Lund, H.,** 2010, Renewable Energy Systems: The Choice and Modeling of 100%Renewable Solutions, Elsevier Inc.,USA) (Aldo da Rosa, V., 2013, Fundamentals of Renewable Energy Processes, Elsevier Inc.,UK.
- **Madigan, M. T., Martinko, J. M. and Parker, J.**, 1997 Brock biology of microorganisms (Vol. 11), Upper Saddle River, NJ: prentice hall.
- **Mang, H.P. Li, Z.,** 2010, Technology review of biogas sanitation. Biogas sanitation for blackwater, brownwater, or for excreta treatment and reuse in developing countries, Draft. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Eschborn. Germany.
- **Mao, C., Feng, Y., Wang, X. and Ren, G.,** 2015, Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45, 540-555.
- **Mata-Alvarez, J., Mace, S. and Llabres, P.,** 2000, Anaerobic digestion of organic solid wastes, An overview of research achievements and perspectives, *Bioresource technology*,*74*(1), 3-16.
- **Mathrani, I.M., Boone, D.R., Mah, R.A., Fox, G.E. and Lau, P.P.**, 1988, Methanohalophilus zhilinae sp. Nov., an alkaliphilic, halophilic methylotrophic methanogen, InternationalJournal of Systematic Bacteriology. 38: 139-142.
- **Matsunaka, T., Sawamoto, T., Ishimura, H., Takakura, K. and Takekawa, A.,** 2006, Efficient use of digested cattle slurry from biogas plant with respect to nitrogen recycling in grassland, In International Congress Series (Vol. 1293, pp. 242-252). Elsevier.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **McKendry P.,** 2002, Energy production from biomass (part 1): overview of biomass, Bioresource Technology 83 37–46.
- **Menardo, S., Gioelli, F. and Balsari, P.,** 2011, The methane yield of digestate: effect of organic loading rate, hydraulic retention time, and plant feding, Bioresource technology, 102(3), 2348-2351.
- **Metpally, R. P. R. and Reddy, B. V. B.,** 2009, Comparative proteome analysis of psychrophilic versus mesophilic bacterial species: Insights into the molecular basis of cold adaptation of proteins, BMC genomics, 10(1), 11.
- **Möller, H.B., Sommer, S.G. and Ahring, B.K.,** 2004, Methane productivity of manure, straw and solid fraction of manure, Biomass and Bioenergy, 26: 485-495.
- **Nayono, S.E.,** 2010, Anaerobic digestion of organic solid waste for energy production (Vol. 46), KIT Scientific Publishing.
- **Nichols, C.E.,** 2004, Overview of Anaerobic Digestion Technologies in Europe, Biocycle, Vol.45, No.1, p.47.
- **Noah, M.M. and Wiegel, J.,** 2008, Life at extreme limits. The anaerobic halophilic alkalithermophiles, Annual New York Academy of Sciences. 1125: 44-57.
- **Nordberg, A, Jarvis, A. Mathisen, B. and Svensson, B.H.,** 1999, Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of source-sorted municipal solid waste. Proceedings International Conference ORBIT 99, Biological Treatment of Waste and Environment.
- **Nzila, C., Dewulf, J., Spanjers, H., Tuigong, D., Kiriamiti, H. and van Langenhove, H.,** 2012, Multicriteria sustainability assessment of biogas production in Kenya. Applied Energy, Volume 93, May 2012, Pages 496 – 506.
- **Oliveira, F. and Doelle, K.**, 2015, Anaerobic Digestion of Food Waste to Produce Biogas: A Comparison of Bioreactors to Increase Methane Content-A Review. Journal of Food Processing & Technology, 6(8), 1.
- **Overend, R. P.,** 2002, Biomass Conversion Technologies, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado 80401, USA.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Ozturk, H.H. and Bascetincelik, A., 2**006. Energy Exploitation of Agricultural Biomass Potential in Turkey. Energy Engineering, Energy Economics, Energy Policy and Oil & Gas Exploration Volume 24, Number 1 – 2.
- **Özerol, G. and Bressers H.,** 2015, Scalar alignment and sustainable water governance: The case of irrigated agriculture in Turkey, environmetalscience&policy 45 1 – 10.
- **Özkaya B. and Demir A.,** 2010, Kompost Teknolojileri Ve Uygulama Örnekleri, Organik Atıklardan Kompost ve Yenilenebilir Enerji Üretimi-Kompost Kullanım Alanları Çalıştayı- ORAK 2010, İstanbul.
- **Öztürk, M.**, 2015, The Roadmap of Turkey on Waste Management. Country reports, 79-84.
- **Paepatung, N., Nopharatana, A. and Songkasiri, W.,** 2009, Bio-methane potential of biological solid materials and agricultural wastes, Asian Journal on Energy and Environment, 10(1), 19-27.
- **Paiho, S., Hoang, H., Hedman, A., Abdurafikov, R., Sepponen, M. and Meinander, M.,** 2014, Energy and emission analyses of renovation scenarios of a Moscow residential, Energy and Buildings, 76 (2014) 402–413.
- **Palatsi, J., Laureni, M., Andrés, M. V., Flotats, X., Nielsen, H. B. and Angelidaki, I.**, 2009, Strategies for recovering inhibition caused by long chain fatty acids on anaerobic thermophilic biogas reactors, Bioresource technology, 100(20), 4588-4596.
- **Parawira, W., Murto, L. and Mattiasson, B.,** 2004, Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves, Renewable Energy, 29: 1811-1823.
- **Parawira, W., Read, J.S., Mattiasson, B. and Björnsson, L.,** 2008, Energy production from agricultural residues: high methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion, Biomass and Bioenergy, 32: 44-50.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Pereira, M., A., Sousa, D.Z., Mota, M. and Alves, M.M.,** 2004, Mineralization of LCFA Associated with anaerobic sludge: kinetics, enhancement of methanogenic activity, and effect of VFA, Biotechnology and Bioengineering, 88: 502-511.
- **Poggi-Varaldo, H. M., Goméz-Cisneros, E., Rodríguez-Vázquez, R., Trejo-Espino, J. and Rinderknecht-Seijas, N.** (2002), Unsuitability of anaerobic compost from solid substrate anaerobic digestion as soil amendment, In Microbiology of Composting (pp. 155-164), Springer Berlin Heidelberg.
- **Reed, C. J., Lewis, H., Trejo, E., Winston, V. and Evilia, C.,** 2013, Protein adaptations in archaeal extremophiles, Archaea, 2013.
- **Rico, C., Diego, R., Valcarce, A. and Rico, J. L.**, 2014, Biogas production from various typical organic wastes generated in the region of cantabria (Spain): methane yields and co-digestion tests. Smart Grid and Renewable Energy, 5(06), 128.
- **Romero-Güiza, M. S., Vila, J., Mata-Alvarez, J., Chimenos, J. M. and Astals, S.**, 2016, The role of additives on anaerobic digestion: a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 1486-1499.
- **Ryan, P.,** 2008, The ecology, metabolism and role of homoacetogens in high rate anaerobic digesters, Dissertation, National University of Ireland, Galway, Irland.
- **Sahlström, L.,** 2003, A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants, Bioresource Technology. 87: 161-166.
- **Sakar, S., Yetilmezsoy, K. and Kocak, E.,** 2009, Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment—a literature review, Waste management & research, 27(1), 3-18.
- **Salminen, E. and Rintala, J.**, 2002, Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste–a review, Bioresource Technology, 83(1), 13-26.
- **Saraçoğlu, N.,** 2008, Modern Enerji Ormancılığı – Ormanlardan Biyokütle Enerjisi Üretimi ve Çözümlemeler. Orman Genel Müdürlüğü Toplantısı, 19 Kasım 2008.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Saulnier, L., Marot, C., Chanliaud, E. and Thibauld, J. F.,** 1995, Cell wall polysaccharide interactions in maize bran, Carbohydrate Polymers, 26, 279-287.
- **Sayigh A.A.M.,** 1993, Renevvable energy will meet the challenge in the year 2000 Renewable Energy, V.3, N.4-5, pp.297-304.
- **Scherer, P.A., Vollmer, G.R., Fakhouri, T. and Martensen, S.,** 2000, Development of a methanogenic process to degrade exhaustively the organic fraction of municipal "grey waste" under thermophilic and hyperthermophilic conditions, Water Sciences and Technology. 41: 83-91.
- **Schievano A., Pognani M., D'Imporzano G. and Adani F.,** 2008, Predicting anaerobic biogasification potential of ingestates and digestates of a full-scale biogas plant using chemical and biological parameters, Bioresource Technology, 99 (2008) 8112–8117.
- **Schink, B.** 1997. Energetics of syntrophic cooperation in methanogenic degradation. Microbiology and Molecular Biology Review, 61, 262-280.
- **Schnürer, A. and Jarvis, A.,** 2009, Microbiological Handbook for Biogas Plants, Swedish Waste Management U2009:03, Swedish Gas Centre Report 207.
- **Schnürer, A. and Schnürer, J.,** 2005, Survival of fungi during anaerobic treatment of organics household waste. Waste Management. 26: 1205-1211.
- **Schön, M.,** 2010, Numerical modelling of anaerobic digestion processes in agricultural biogas plants (Vol. 6), BoD–Books on Demand.
- **Shukla, P. R.**, 2003, Climate change and India: vulnerability assessment and adaptation, Universities Press.
- **Simsa, E.H., Rognerb H. and Gregory, K.,** 2013, Carbon emission and mitigation cost comparisons between fossil fuel, nuclear and renewable energy resources for electricity generation, Energy Policy 31, 1315–1326.
- **Singh, A. and Olsen, S. I.,** 2011, A critical review of biochemical conversion, sustainability and life cycle assessment of algal biofuels Applied Energy, 88(10), 3548-3555.
- **Soylu, M. ve Otles, S.,** 2016, Et işleme endüstrisi atık suyunun değerlendirilmesi ve kullanılan sistemler, DünyaGıda, 91.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Speece, R.E.,** 1984,Nutrient Requirements, Anaerobic Digestion of Biomass.
- **Sprott, G. D. and Patel, G. B.**, 1986, Ammonia toxicity in pure cultures of methanogenic bacteria, Systematic and applied microbiology, 7(2-3), 358-363.
- **Sprott, G.D. and Patel, G.,B.,** 1986, Ammonium toxicity in pure cultures of methanogenic bacteria, Systematic and Applied Microbiology, 7: 758-363.
- **Svahn, J.,** 2006, Energioptimering av biogasproduktion – hur primärenergibehov till biogasanläggning kan minskas med energiåtervinning och isolering. Report Energiteknik, Umeå University.
- **Şener, A. and Ünal, M., Ü.,** 2008, Gıda Sanayii Atıklarının Biyoteknolojik Yöntemlerle Değerlendirilmesi, Türkiye 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs, Erzurum.
- **Şenyüz, H. H., Karslı, M. A. and Başalan, M.,** 2015, Kurutulmuş damıtma-tane ve çözünürlerinin (DDGS) hayvan beslemede kullanımı, Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg. 2015, 55 (2) 82-88.
- **Taherzadeh, M.J. and Karimi, K.,** 2008, Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. Int. J. Mol. Sci., 9, 1621-1651.
- **TEDAŞ**, 2011, Türkiye Elektrik Dağıtım İstatistikleri, Ankara.
- **TEİAŞ**, 2010, Türkiye Elektrik Tüketim Veriler, Anraka.
- **TÜİK**, 2013, Kırmızı Et Üretimi,.
- **TÜİK**, 2011, Türkiye Elektrik Tüketim İstatistikleri, Ankara.
- **TÜİK**, 2012, Aile İstatistikleri .
- **TÜİK**, 2013, Bitkisel Üretim İstatistikleri.
- **TÜİK**, 2013, Türkiye Hayvansal Üretim İstatistikleri, Ankara.
- **TÜİK**, 2013, Türkiye Tarımsal Üretim İstatistikleri, Ankara.
- **TÜİK,** 2013Hayvansal Üretim İstatistikleri, Ankara.
- **TÜİK**, 2014, Türkiye Çevre ve Enerji İstatistikleri, Ankara.
- **TÜİK**, 2014, Türkiye Çevre ve Enerji İstatistikleri, Ankara.
- **TÜİK**, 2015, Türkiye Hayvansal Üretim İstatistikleri, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **TÜİK**, 2015, Türkiye Tarımsal Üretim İstatistikleri, Ankara.
- **TÜİK**, 2016, Türkiye Elektrik Tüketim İstatistikleri, Ankara.
- **TÜİK**, 2016, Türkiye Hayvansal Üretim İstatistikleri, Ankara.
- **Türe, S., Uzun, D. and Türe, I.E.,** 1997, The potential use of sweet sorghum as a non-polluting source of energy" Energy V.22, N.l, pp. 17-19.
- **Ulrich, A., Reuter, S. and Gutterer, B.,** 2009, Decentralised Wastewater Treatment Systems (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries. A Practical Guide. Water, Engineering and Development Centre (WEDC), Loughborough University, UK in association with BORDA, Germany
- **Ulusal Süt Konseyi,** 2011, Dünya ve Türkiye'de Süt Sektör İstatistikleri
- **Uluslararası Enerji Ajansı**, IEA, 2011, Bioenergy Task 37.
- **Uluslararası Enerji Ajansı**, IEA, 2012a, Renewables information, IEA Statistics, International Energy Agency.
- **Uluslararası Enerji Ajansı**, IEA, 2012a, World Energy Outlook 2012, International Energy Agency.
- **USDA Foreign Agricultural Service**, 2010, Turkey Livestock Products Report, Global Agricultural Information Network.
- **van Lier, J.B., Tilche, A., Ahring, B.K., Macarie, H., Moletta, R., Dohanyos, M., Pol, L.W.H., Lens, P. and Verstraete, W.,** 2001, New perspectives in anaerobic digestion. Water Science and Technology. 43: 1-18.
- **Vandevivere, P.L. and De Baere, W.,** 2003, Types of anaerobic digesters for solid wastes, in Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, J. Mata-Alvarez, Editor. IWA Publishing: Barcelona. p. 111–14.
- **Wang, Z. and Banks, C.J.,** 2003, Evaluation of a two-stage anaerobic digester for the treatement of mixed abattoir wastes. Process Biochemistry. 38: 1267-1273.
- **Ward A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J. and Jones, D.L,** 2008, Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources, Bioresource Technology, 99, 7928 – 7940.
- **Warren, K.S.,** 1962, Ammonia toxicity and pH, Nature, 195: 47-49

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- **Weedermann, M., Seo, G. and Wolkowicz, G.**, 2013, Mathematical model of anaerobic digestion in a chemostat: effects of syntrophy and inhibition. Journal of biological dynamics, 7(1), 59-85.
- **Weiland, P.,** 2010, Biogas production: current state and perspectives. Applied microbiology and biotechnology, 85(4), 849-860.
- **Werner, U., Stöhr, U. and Hees, N.,** 1989, Biogas plants in animal husbandry, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien-GATE, a Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- **Whitman, W. B., Bowen, T. L. and Boone, D. R.,** 2006, The methanogenic bacteria. In The prokaryotes (pp. 165-207), Springer New York.
- **Yadvika, S., Sreekrishnan, T.R., Kohli, S. and Rana, V.,** 2004, Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review, Bioresource Technology, 95: 1-10.
- **Yen, H-W. and Brune, D.,** 2007, Anaerobic co-digestion of algael sludge and waste paper to produce methane, Bioresource Technology, 98: 130-134)
- **Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı (FNR),** 2010, Biyogaz Üretimi ve Kullanımı El Kitapçığı, Almanya Biyokütle Araştırma Merkezi, Torgauer Straße 116 · 04347 Leipzig.
- **Yılmaz A. ve Bozkurt Y.,** 2010, Türkiye'de Kentsel Katı Atık Yönetimi Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (Kükab) Örneği, The Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences Y., Vol.15, No.1 pp.11-28.
- **Zerrouki, S., Rihani, R. and Bentahar, F.**, 2013, Biogas production from fruit juice wastewater, In International Conference on Control, Engineering and Information Technology (Vol. 3, pp. 185-188).
- **Zhang, Y., Zhnag, Z., Suzuki, K. and Maekawa, T.,** 2003, Uptake and mass balance of trace metals for methane producing bacteria, Biomass and Bioenergy, 25: 427-43.

6. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı: Erdem Sefa ŞAHİN

Doğum yeri: Mustafakemalpaşa, Bursa

Doğum tarihi: 05.08.1990

Eğitim Bilgileri

2016, University of East Anglia, Plant Genetics and Crop Improvement

2013, Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği (Çift Anadal Programı)

2012, Ege Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü

Akdemik Çalışmalar

Keskin Gündoğdu, T., Deniz, İ., ÇALIŞKAN, G., **Sahin, E. S.,** and Azbar, N. (2016). Experimental design methods for bioengineering applications. Critical reviews in biotechnology, 36(2), 368-388.

Sahin Erdem Sefa, Karaalp Duygu, Aksöyek-Pekgüzel Elif, Keskin-Gündoğdu Tugba, Azbar Nuri, (2015), Organik Atıklardan Elektrik Üretimi, 3. Enerji Verimliliği Günleri, 22-23 Ocak, İzmir,Türkiye. *(poster sunumu)*

Sahin Erdem Sefa, Karaalp Duygu, Aksöyek-Pekgüzel Elif, Keskin-Gündoğdu Tugba, Azbar Nuri, (2014), "Organik Atıklardan Çevre Dostu Ve Sürdürülebilir Enerji Üretimi: Türkiye İçin Yeni Gelişen Bir Sektör-Biyometan Tesisleri" Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, UKAY 2014, 1-4 Eylül, Van; Türkiye *(poster sunumu)*

Punsmann Martin B., Azbar Nuri, **Sahin Erdem Sefa**, (2014), Development of a Biogas Calculation and Feasibility Tool for Turkish Biogas Investors, GreInSus 2014 Congress, 8-10 Mayıs 2014, İzmir, Türkiye. *(poster sunumu)*

7. EKLER

Ek 1 Hesap Aracı Besleme ve Biyogaz Değerleri Arayüzü

Ek 2 Hesap Aracı Besleme ve Biyogaz Değerleri Arayüzü

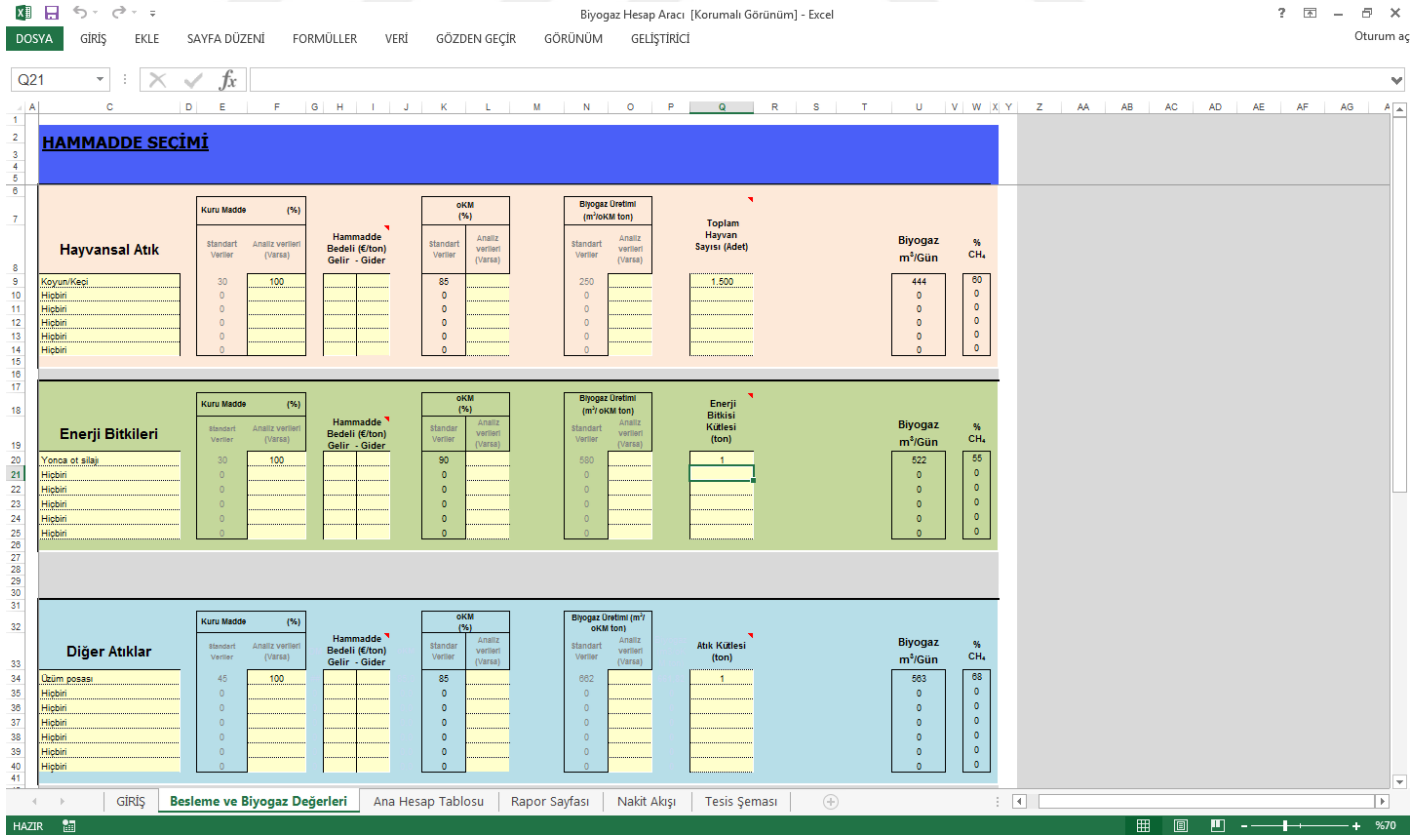
Ek 3 Hesap Aracı Ana Hesap Tablosu Arayüzü

Ek 4 Hesap Aracı Rapor Sayfası Arayüzü

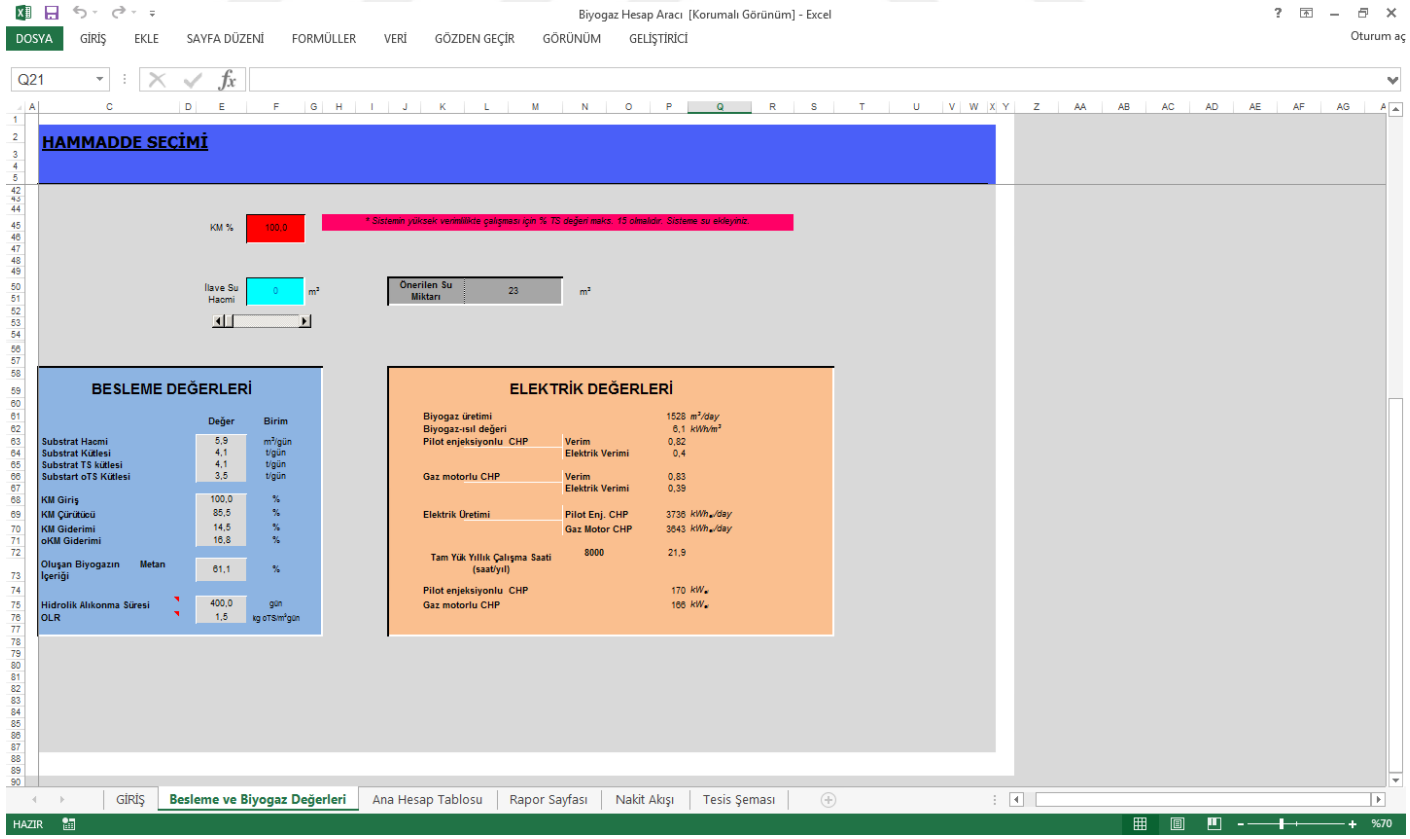
Ek 5 Hesap Aracı Nakit Akışı Arayüzü

Ek 6 Hesap Aracı Tesis Şaması Arayüzü

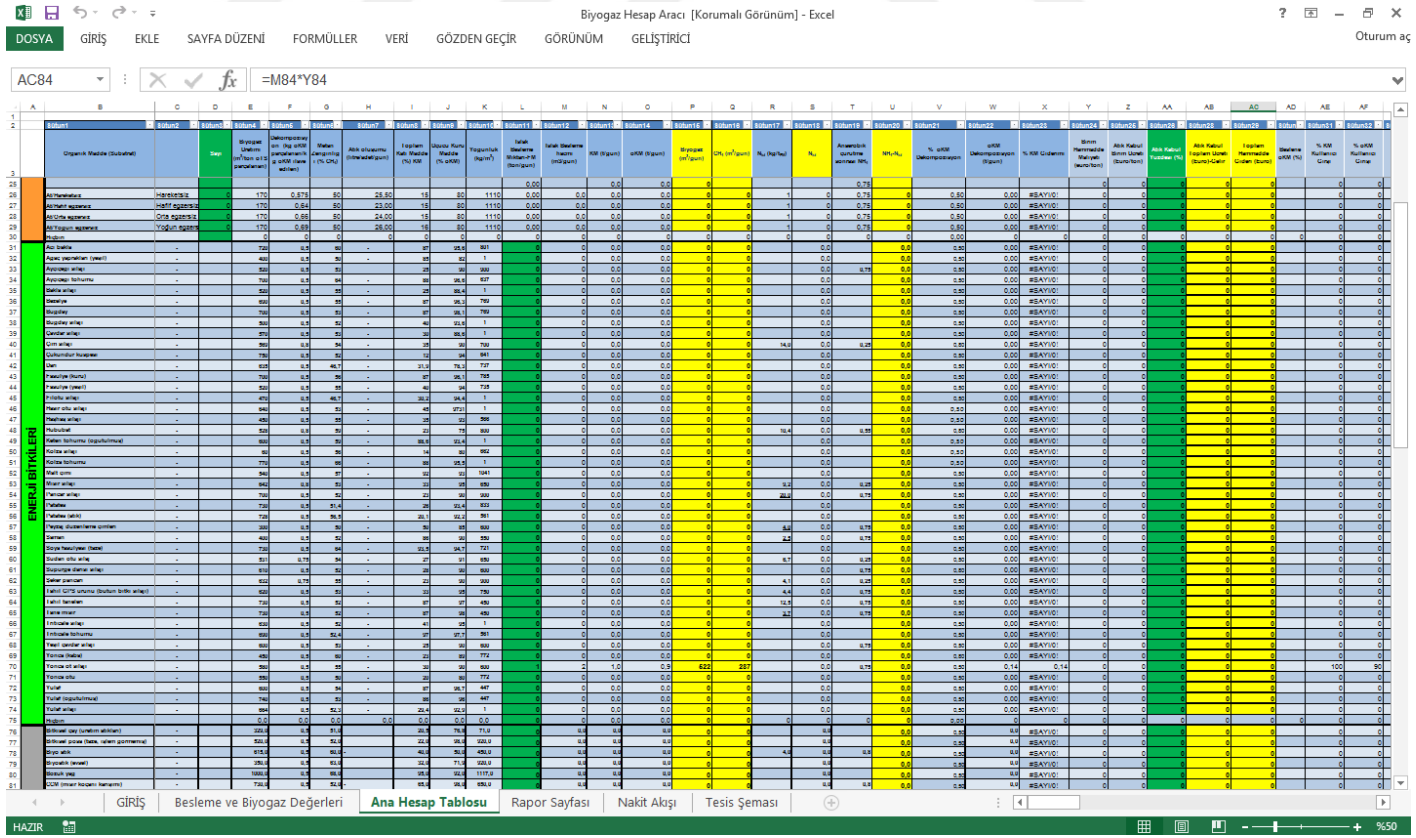
Ek 1


Biyogaz Hesap Aracı [Korumalı Görünüm] - Excel
DOSYA
GİRİŞ
EKLE
SAYFA DÜZENİ
FORMÜLLER
VERİ
GÖZDEN GEÇİR
GÖRÜNÜM
GELİŞTİRİCİ
Oturum aç
Q21
HAMMADDE SEÇİMİ
Hayvansal Atık
Kuru Madde (%)
Standart Veriler
Analiz verileri (Varsa)
Hammadde Bedeli (€/ton) Gelir - Gider
oKM (%)
Biyogaz Üretimi (m³/oKM ton)
Toplam Hayvan Sayısı (Adet)
Biyogaz m³/Gün
% CH₄
Koyun/Keçi
Hiçbiri
Enerji Bitkileri
Enerji Bitkisi Kütlesi (ton)
Yonca ot silajı
Diğer Atıklar
Atık Kütlesi (ton)
Üzüm posası
GİRİŞ
Besleme ve Biyogaz Değerleri
Ana Hesap Tablosu
Rapor Sayfası
Nakit Akışı
Tesis Şeması
HAZIR
%70

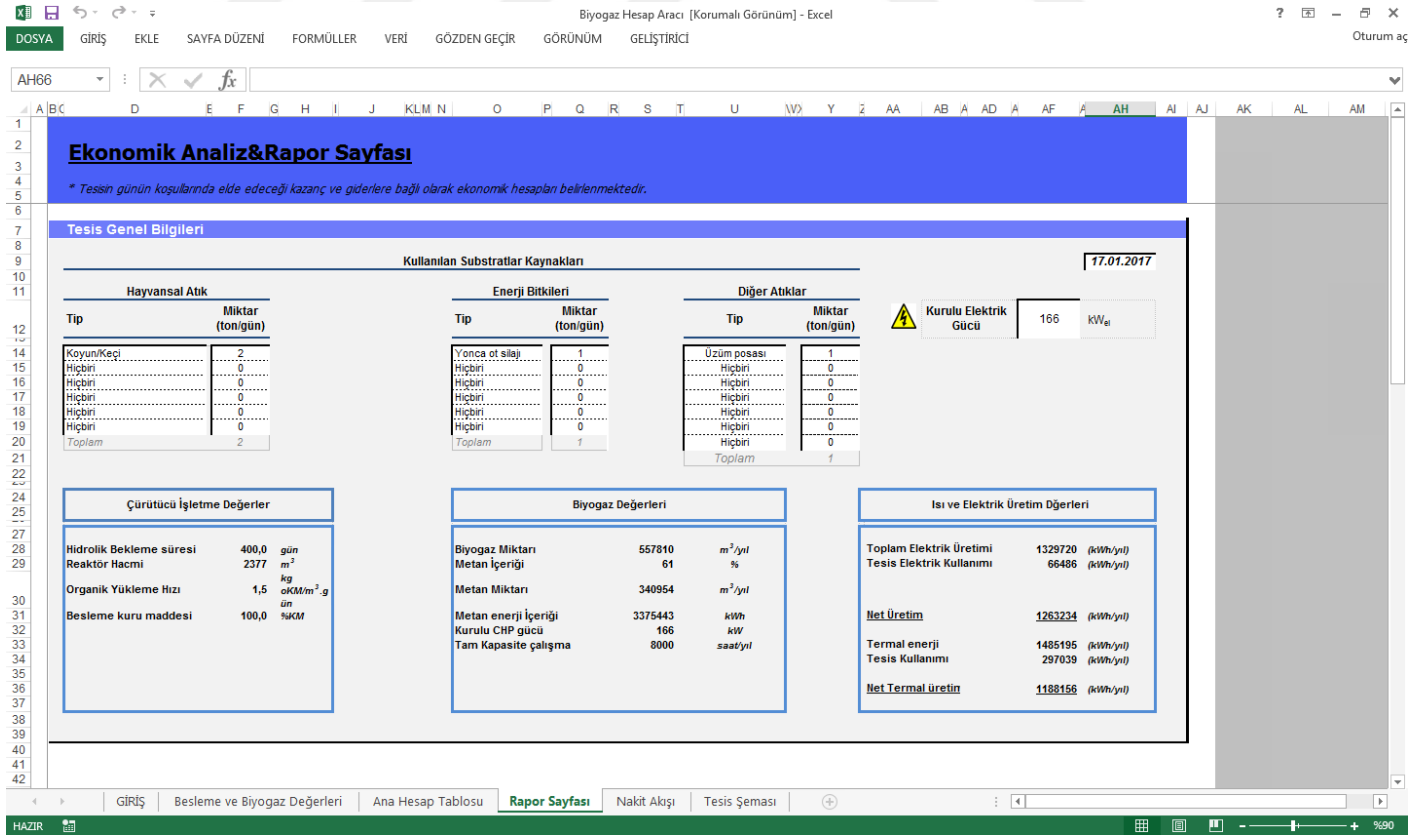
Ek 2


Biyogaz Hesap Aracı [Korumalı Görünüm] - Excel
DOSYA
GİRİŞ
EKLE
SAYFA DÜZENİ
FORMÜLLER
VERİ
GÖZDEN GEÇİR
GÖRÜNÜM
GELİŞTİRİCİ
Oturum aç
Q21
HAMMADDE SEÇİMİ
KM %
100,0
* Sistemin yüksek verimlilikte çalışması için % TS değeri maks. 15 olmalıdır. Sisteme su ekleyiniz.
İlave Su Hacmi
0
m³
Önerilen Su Miktarı
23
m³
BESLEME DEĞERLERİ
Değer
Birim
Substrat Hacmi
5,9
m³/gün
Substrat Kütlesi
4,1
t/gün
Substrat TS kütlesi
4,1
t/gün
Substart oTS Kütlesi
3,5
t/gün
KM Giriş
100,0
%
KM Çürütücü
85,5
%
KM Giderimi
14,5
%
oKM Giderimi
16,8
%
Oluşan Biyogazın Metan İçeriği
61,1
%
Hidrolik Alıkonma Süresi
400,0
gün
OLR
1,5
kg oTS/m³gün
ELEKTRİK DEĞERLERİ
Biyogaz üretimi
1528 m³/day
Biyogaz-ısıl değeri
6,1 kWh/m³
Pilot enjeksiyonlu CHP
Verim
0,82
Elektrik Verimi
0,4
Gaz motorlu CHP
Verim
0,83
Elektrik Verimi
0,39
Elektrik Üretimi
Pilot Enj. CHP
3736 kWhe/day
Gaz Motor CHP
3643 kWhe/day
Tam Yük Yıllık Çalışma Saati (saat/yıl)
8000
21,9
Pilot enjeksiyonlu CHP
170 kWe
Gaz motorlu CHP
166 kWe
GİRİŞ
Besleme ve Biyogaz Değerleri
Ana Hesap Tablosu
Rapor Sayfası
Nakit Akışı
Tesis Şeması
HAZIR
%70

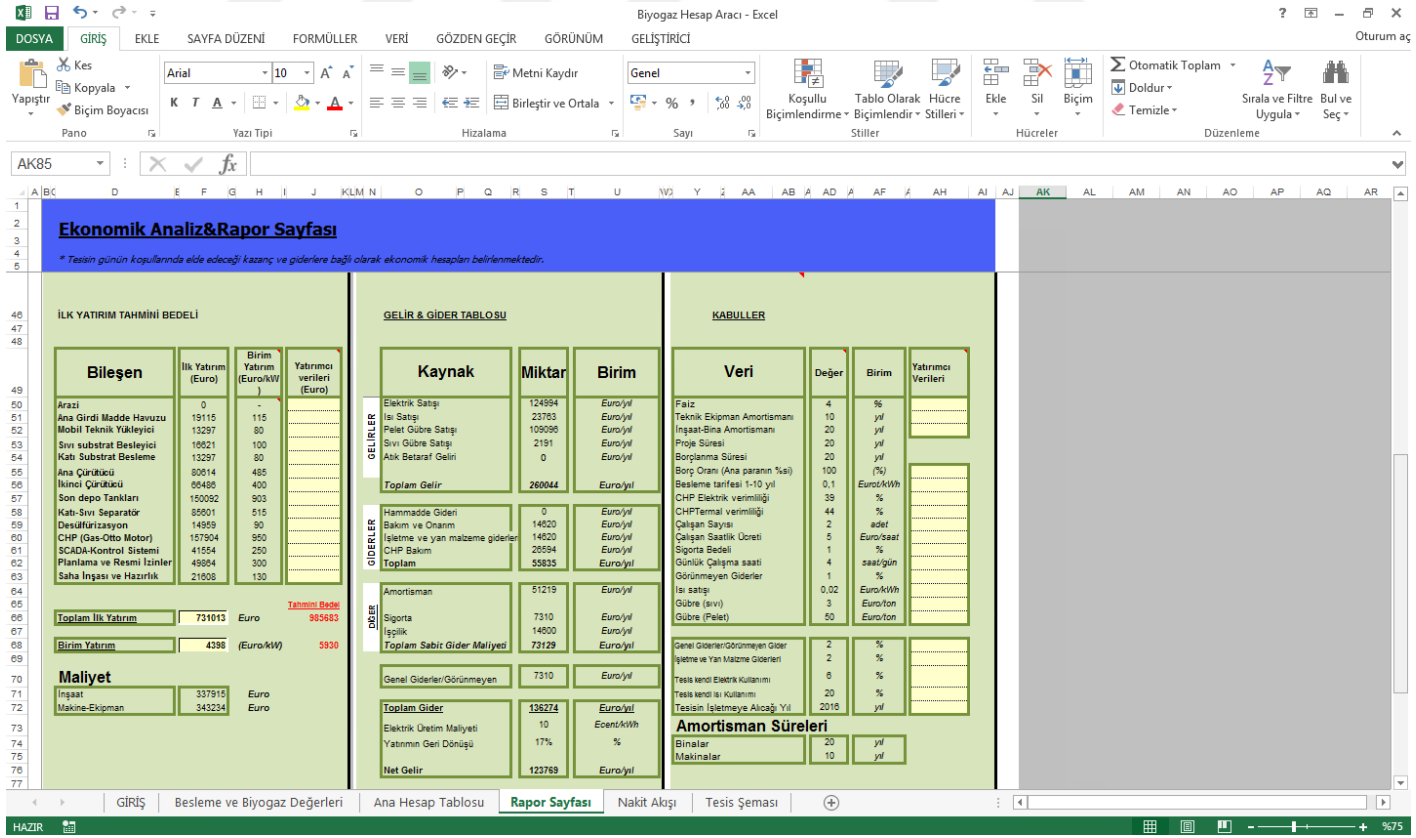
Ek 3


Biyogaz Hesap Aracı [Korumalı Görünüm] - Excel
DOSYA
GİRİŞ
EKLE
SAYFA DÜZENİ
FORMÜLLER
VERİ
GÖZDEN GEÇİR
GÖRÜNÜM
GELİŞTİRİCİ
Oturum aç
AC84
=M84*Y84
ENERJİ BİTKİLERİ
GİRİŞ
Besleme ve Biyogaz Değerleri
Ana Hesap Tablosu
Rapor Sayfası
Nakit Akışı
Tesis Şeması
HAZIR
%50

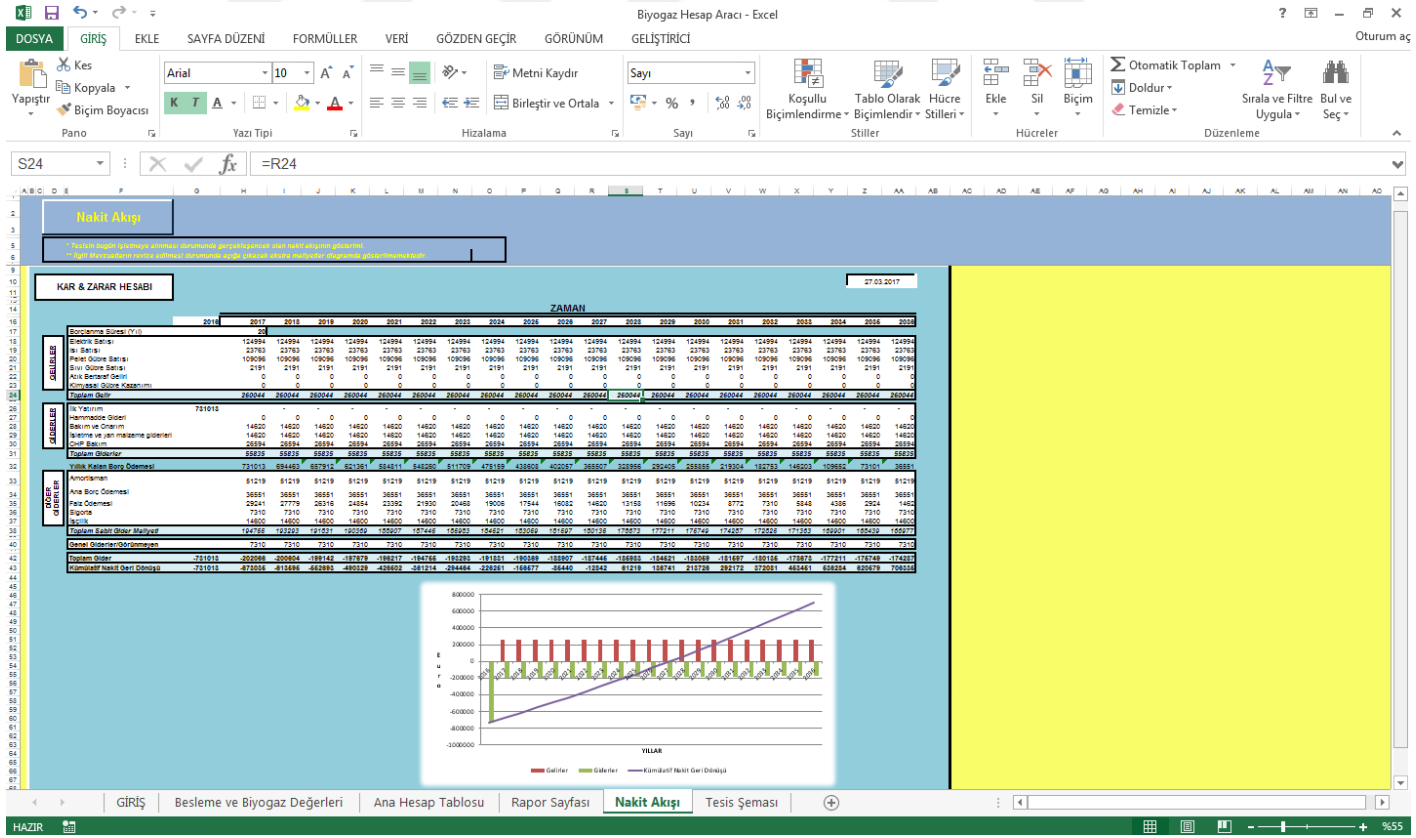
Ek 4


Biyogaz Hesap Aracı [Korumalı Görünüm] - Excel
DOSYA GİRİŞ EKLE SAYFA DÜZENİ FORMÜLLER VERİ GÖZDEN GEÇİR GÖRÜNÜM GELİŞTİRİCİ
Oturum aç
AH66
Ekonomik Analiz&Rapor Sayfası
* Tesisin günün koşullarında elde edeceği kazanç ve giderlere bağlı olarak ekonomik hesapları belirlenmektedir.
Tesis Genel Bilgileri
Kullanılan Substratlar Kaynakları
17.01.2017
Hayvansal Atık
Tip
Miktar (ton/gün)
Koyun/Keçi 2
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Toplam 2
Enerji Bitkileri
Tip
Miktar (ton/gün)
Yonca ot silajı 1
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Toplam 1
Diğer Atıklar
Tip
Miktar (ton/gün)
Üzüm posası 1
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Hiçbiri 0
Toplam 1
Kurulu Elektrik Gücü
166
kWel
Çürütücü İşletme Değerler
Hidrolik Bekleme süresi 400,0 gün
Reaktör Hacmi 2377 m3
Organik Yükleme Hızı 1,5 oKM/m3.gün
Besleme kuru maddesi 100,0 %KM
Biyogaz Değerleri
Biyogaz Miktarı 557810 m3/yıl
Metan İçeriği 61 %
Metan Miktarı 340954 m3/yıl
Metan enerji İçeriği 3375443 kWh
Kurulu CHP gücü 166 kW
Tam Kapasite çalışma 8000 saat/yıl
Isı ve Elektrik Üretim Dğerleri
Toplam Elektrik Üretimi 1329720 (kWh/yıl)
Tesis Elektrik Kullanımı 66486 (kWh/yıl)
Net Üretim 1263234 (kWh/yıl)
Termal enerji 1485195 (kWh/yıl)
Tesis Kullanımı 297039 (kWh/yıl)
Net Termal üretim 1188156 (kWh/yıl)
GİRİŞ Besleme ve Biyogaz Değerleri Ana Hesap Tablosu Rapor Sayfası Nakit Akışı Tesis Şeması
HAZIR
%90

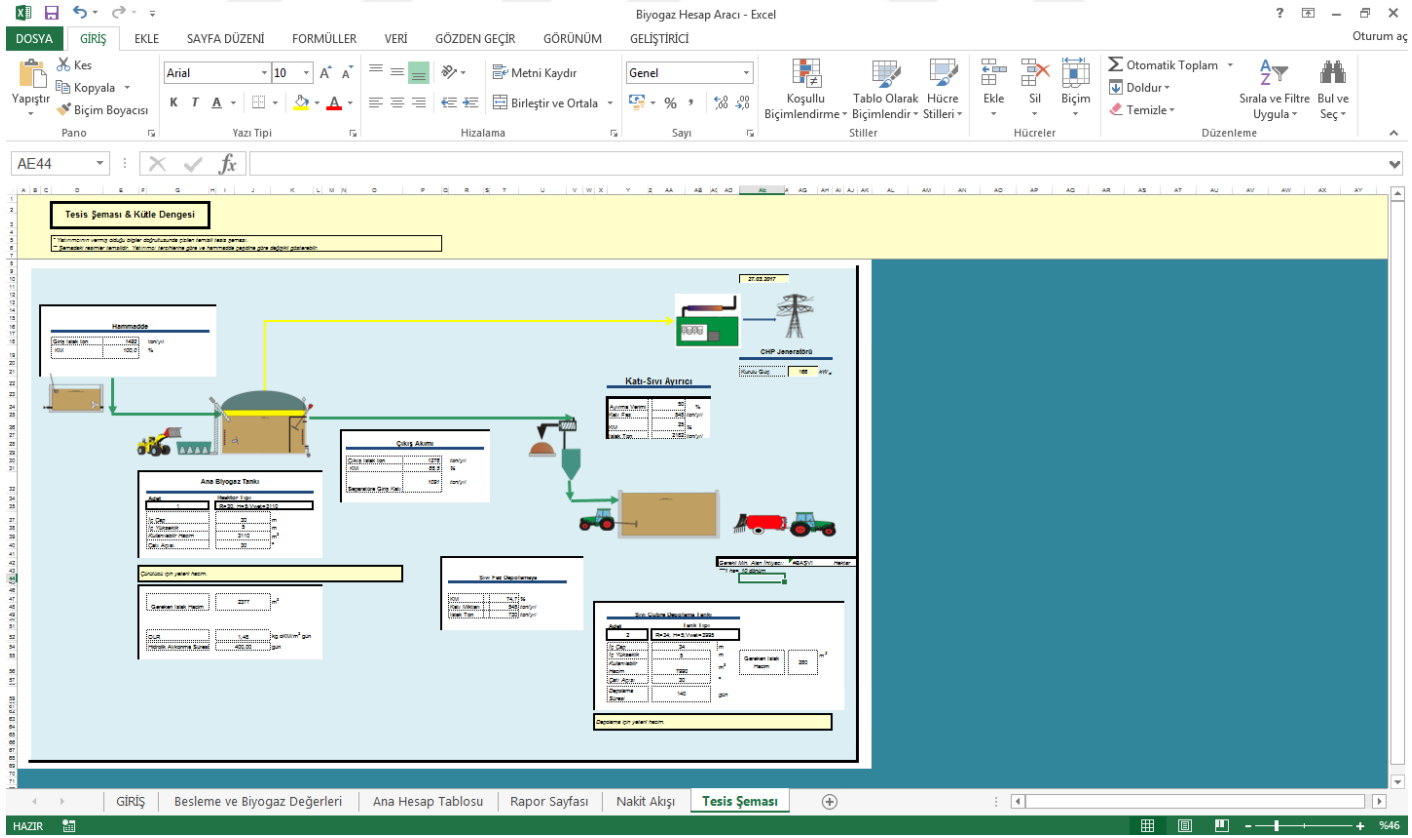
Ek 5


Biyogaz Hesap Aracı - Excel
Ekonomik Analiz&Rapor Sayfası
* Tesisin günün koşullarında elde edeceği kazanç ve giderlere bağlı olarak ekonomik hesapları belirlenmektedir.
İLK YATIRIM TAHMİNİ BEDELİ
GELİR & GİDER TABLOSU
KABULLER
Bileşen
Kaynak
Miktar
Birim
Veri
Değer
Amortisman Süreleri
GİRİŞ
Besleme ve Biyogaz Değerleri
Ana Hesap Tablosu
Rapor Sayfası
Nakit Akışı
Tesis Şeması
HAZIR

Ek 6


Biyogaz Hesap Aracı - Excel
Nakit Akışı
KAR & ZARAR HESABI
ZAMAN
YILLAR
Gelirler
Giderler
Kümülatif Nakit Geri Dönüşü
GİRİŞ
Besleme ve Biyogaz Değerleri
Ana Hesap Tablosu
Rapor Sayfası
Nakit Akışı
Tesis Şeması
HAZIR

Ek 7


Biyogaz Hesap Aracı - Excel
DOSYA
GİRİŞ
EKLE
SAYFA DÜZENİ
FORMÜLLER
VERİ
GÖZDEN GEÇİR
GÖRÜNÜM
GELİŞTİRİCİ
Oturum aç
AE44
Tesis Şeması & Kütle Dengesi
Hammadde
Katı-Sıvı Ayırıcı
Çıkış Akımı
Ana Biyogaz Tankı
CHP Jeneratörü
GİRİŞ
Besleme ve Biyogaz Değerleri
Ana Hesap Tablosu
Rapor Sayfası
Nakit Akışı
Tesis Şeması
HAZIR
%46