ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metehan ÇINAR

BİYOGAZ ENERJİ SANTRALLERİNDE BACAGAZI ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ VE EMİSYON SALINIMLARININ KARARLI HALE GETİRİLMESİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2017

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOGAZ ENERJİ SANTRALLERİNDE BACAGAZI ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ VE EMİSYON SALINIMLARININ KARARLI HALE GETİRİLMESİ

Metehan ÇINAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez …/…/2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

……	……	……..……...
Prof. Dr. Özen KILIÇ	Prof. Dr. Suphi URAL	Yrd. Doç. Dr. Gökhan TÜCCAR
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden İşletme Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2016-5985

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYOGAZ ENERJİ SANTRALLERİNDE BACAGAZI ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ VE EMİSYON SALINIMLARININ KARARLI HALE GETİRİLMESİ

Metehan ÇINAR

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Özen KILIÇ
Yıl: 2017, Sayfa: 79
Jüri : Prof. Dr. Özen KILIÇ
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Yrd. Doç. Dr. Gökhan TÜCCAR

Bu tez çalışmasında, Adapazarı İli Pamukova İlçesi'nde bulunan Biosun Katı Atık ve Enerji Üretim A.Ş. tesisinde üretilen yakıt bileşimi ortalama %55 metan ve %45 CO_2 olan biyogaz ve biyogazın yanma gazı emisyonları incelenmiştir. Üretimi yapılan biyogaz, gaz motorları tarafından yakılmakta ve yanma sonucu kükürtdioksit, azot monoksit, azot dioksit, karbon monoksit ve toz ortaya çıkmaktadır. Tez çalışması kapsamında, biyogazın yanması sonucu meydana gelen gaz emisyonlarının yasal limitleri aşmaması için gerekli tüm önlemlerin, biyogaz üretim prosesi başlangıcından, biyogazın yanma sonrasına kadarki süreçte alınması yönünde incelemeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Üretim, Proses, Süreç Yapılandırma, Emisyon

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF FLUE GAS ANALYSES IN BIOGAS POWER PLANTS AND STABILISATION OF EXHAUST EMISSIONS

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Özen KILIÇ
Yıl: 2017, Page: 79
Jury : Prof. Dr. Özen KILIÇ
: Prof. Dr. Suphi URAL
: Asst. Prof. Dr. Gökhan TÜCCAR

In this thesis study, it has been reviewed and investigated the biogas which is fuel composition composed of an average of 55% methane and 45% CO_2, and its flue gas emissions at the Biosun Katı Atık ve Enerji Üretim A.Ş. Pamukova, Adapazarı. The produced biogas is burned in the gas engines and occurred combustion gases such as sulfur dioxide, nitrogen monoxide, nitrogen dioxide, carbon monoxide and dust. In this study, the stabilization of gas emissions that comes from the exhaust gases, and take necessary precautions in order not to exceed the legal regulation limits, throughout the process from biogas production to combustion stages was investigated.

Keywords: Biogas, Production, Process, Configration, Emission

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Günümüzde fosil kaynaklı enerji üretim ve kullanım maliyetleri gün geçtikçe artmaktadır. Fosil yakıtlar ile rekabet edebilecek yenilenebilir enerji kaynakları kullanım alternatifleri gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de son yıllarda ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyogazın kullanılması ile tarımsal üretim ve biyodizel üretimi desteklenmektedir.

Tarımsal, endüstriyel ve evsel faaliyetler sonucu oluşan atıkların planlı bir şekilde kontrol altına alınmaması, bilinçsiz ve dikkatsiz bir şekilde atılması, toprağın biyolojik yapısına zarar vermekte; insan ve çevre sağlığı için tehdit oluşturmaktadır. Yaz aylarında aşırı sıcaklarda koku ve sinek oluşumuna neden olmakta ve insan ve çevre sağlığını olumsuz yönden etkilemektedir. Özellikle kırsal yerleşim bölgelerinde yoğun miktarda açığa çıkan bu atıklar, organik maddelerin bilinçli değerlendirilmesi ve biyogaz üretimi açısından önem taşımaktadır.

At, sığır, koyun, tavuk gibi büyük ve küçükbaş hayvanların dışkıları, mezbahanede kesim sonrası atıklar ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında meydana çıkan atıklar, özellikle biyogaz üretim tesislerinde kullanılmaktadır. Ayrıca, hasat sonrası ortaya çıkan saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları, bitkisel ürünlerin tesislerde işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar, arıtma tesislerinde oluşan kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt, sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde miktarı yüksek endüstriyel ve evsel atık sular biyogaz üretiminde çok sık kullanılmaktadır.

Ülkemizin enerji istatistikleri incelendiğinde hayvansal ve bitkisel atıkların toplam enerji üretimimizdeki payının yaklaşık %8-9; toplam enerji tüketimimizdeki payının ise %4-5 olduğu görülmektedir. Atık kullanım potansiyeli incelendiğinde ticari değerinin olduğu ve enerji eşdeğeri olarak aynı miktarda taşkömürü tüketimine eşit olduğu görülmektedir.

Tez çalışması kapsamında, Biosun Katı Atık ve Enerji Üretim A.Ş. tesisinde üretilen biyogazın yanması sonucu meydana gelen gaz emisyonlarının yasal limitleri aşmaması için gerekli tüm önlemlerin, biyogaz üretim prosesi başlangıcından, biyogazın yanma sonrasına kadarki süreçte alınması yönündeki çalışmalar incelenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Sayın Prof. Dr. Özen KILIÇ danışmalığında hazırlanmış bir çalışmadır. Çalışmalarımın her aşamasında beni herzaman yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Özen KILIÇ'a içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın yürütülmesi esnasında her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Biosun Katı Atık İşleme Tesisi yönetimindeki tüm değerli yöneticilerime ve mesai arkadaşlarıma katkılarından dolayı içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
İÇİNDEKİLER VI
ÇİZELGELER DİZİNİ XII
ŞEKİLLER DİZİNİ XIV
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. Biyogaz 5
2.1.1. Biyogazı Oluşturan Atıklar 6
2.1.1.1. Hayvansal Atıklar 6
2.1.1.2. Bitkisel Atıklar 6
2.1.1.3. Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar 7
2.2. Biyogaz Üretimi 7
2.2.1. Substrat İşleme 7
2.2.2. Anaerobik Ayrıştırma 8
2.2.3. Biyokütle Bozulması Sürecini Etkileyen Parametreler 9
2.2.3.1. pH 10
2.2.3.2. Sıcaklık 10
2.2.3.3. Nütrientler ve Uçucu Asitler 11
2.2.3.4. Amonyak 12
2.2.3.5. Sülfür Üretimi 12
2.2.3.6. Gaz Üretimi ve Metan İçeriği 12
2.3. Süreç Yapılandırma 13
2.4. Proses Kontrolü ve İzlenmesi 14
2.4.1. Girdi Analizleri 15

2.4.2. Ölçüm Sistemleri 15
2.5. Biyogaz Kullanımı 16
2.6. Biyogaz Stoklama 16
2.7. Biyogazın Saflaştırılması 16
2.7.1. Desülfürizasyon 17
2.7.2. Kurutma 18
2.8. Elektrik ve Isı Enerjisi Üretimi 19
3. MATERYAL VE METOD 21
3.1. Materyal 21
3.1.1. Emisyon İznine Tabi Tesisler için Esaslar ve Sınır Değerleri 24
3.1.2. Baca Gazı Debisi Hesabı 24
3.1.3. Yanma Gazı Hesapları 25
3.1.4. Toz Hesapları 26
3.1.5. Biyogaz Analizör Cihazı 27
3.1.6. Emisyon Tespiti 29
3.1.6.1. Toz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü 29
3.1.6.2. Gaz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü 29
3.1.6.3. Yanma Kontrolü İçin Sürekli Ölçüm 29
3.1.7. Emisyon Kaynaklarının Tespiti 30
3.1.8. İşletmede Bulunan ve Ölçümü Yapılan Herbir Tesisten Kaynaklanan Emisyonların Yönetmelik Ek-1, Ek-2, Ek-3 ve Ek-5'e göre Değerlendirilmesi 30
3.1.8.1. SKHKKY Ek-1 Emisyon İznine Tabi Tesisler için Esaslar ve Sınır Değerler 31
3.1.8.2. Ek 1.a. İs 31
3.1.8.3. Ek 1.b. Toz Şeklinde Emisyon 31
3.1.8.4. Ek 1.c. Açıkta Depolanan Yığma Malzeme 31
3.1.8.5. Ek 1.d. Toz Yapıcı Yanma ve Üretim Artıklarının Taşınması ve Depolanması 32

3.1.8.5.(1). Ek 1.e. Tesis İçi Yolların Durumu 32
3.1.8.6. Ek 1.f. Filtrelerin Boşaltılması 32
3.1.8.7. Ek 1.g. Atık Gazlardaki Özel Tozların Emisyonları için Sınırlar 32
3.1.8.7.(1). İnorganik Toz Emisyonunda Özel Maddeler 33
3.1.8.7.(2). Organik Toz Emisyonunda Özel Maddeler 33
3.1.8.8. EK 1.h Atık Gazlardaki Gaz ve Buhar Emisyonları için Sınırlar 33
3.1.8.8.(1). İnorganik Buhar ve Gaz Emisyonları 33
3.1.8.8.(2). Organik Buhar ve Gaz Emisyonları 34
3.1.8.9. Ek 1.i Kanser Yapıcı Maddelerin Emisyon Sınırları 34
3.1.8.10. Ek 1.j. Aşırı Derece Tehlikeli Maddeler 35
3.1.8.11. SKHKKY Ek 2- Tesislerin Hava Kalitesine Katkı Değerlerinin Hesaplanması ve Hava Kalitesi Ölçümü 35
3.1.8.11.(1). SKHKKY Ek 2-Tablo 2.1 Gereğince Tesisin Tümünden Atmosfere Atılan Toplam Kütlesel Debiler 35
3.1.8.12. SKHKKY Ek 3-Emisyonun Tespiti 35
3.1.9.12.(1). Toz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü 35
3.1.8.12.(2). Gaz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü 36
3.1.8.12.(3). Yanma Kontrolü için Sürekli Ölçüm 36
3.1.8.13. SKHKKY Ek 5-Kirletici Vasfı Yüksek Tesisler için Özel Emisyon Sınırları 36
3.1.8.13.(1). Birinci Grup Tesisler-Gaz Motorları 36
3.1.8.13.(2). Verim Kriteri 37
3.2. Metod 38
3.2.1. Ölçümde Kullanılan Cihazlar 38
3.2.2. Bacagazı Tayini 40
3.2.3. Bacada Toz Tayini 42

3.2.4. Cihaz ve Malzemeler 42
3.2.5. Örnekleme İşlemi 43
3.2.5.1. Örnek Analizi 44
3.2.5.2. Ölçüm Prensipleri 44
3.2.6. Dahili ve Harici Kalibrasyonlar 44
3.2.7. Ön Hazırlık 44
3.2.8. Ölçüm Sırasında Yapılan İşlemler 45
3.2.9. Ölçüm Sonrasında Laboratuvarda Yapılan İşlemler 45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 47
4.1. Tesislerin Hava Kalitesine Katkı Değerlerinin Hesaplanması ve Hava Kalitesi Ölçümü 47
4.1.1. Baca Gazı Hızları 49
4.1.2. Baca Yükseklikleri 49
4.2. Gaz Motorlarında Metan Sayısı 50
4.3. Yanıcı Gazların Sınır Değerleri 51
4.3.1. Standart Referans Koşulları 51
4.3.2. Hesaplama Örnekleri 51
4.4. Baca Gazı Emisyon Değerleri 53
4.5. Baca Gazı Emisyon Ölçümlerindeki Değerlerin Açıklanması 54
4.6. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi 55
4.7. Tesisin SKHKKY Ek 1'e göre Değerlendirilmesi 55
4.8. Tesisin SKHKKY Ek 2'ye göre Değerlendirilmesi 59
4.9. Tesisin SKHKKY Ek 3'e göre Değerlendirilmesi 59
4.9.1. Toz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü 59
4.9.2. Gaz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü 59
4.10. Tesisin SKKHKKY Ek-4'e göre Değerlendirilmesi 59
4.10.1. Baca Gazı Hızlarının Değerlendirilmesi 59
4.10.2. Baca Yüksekliklerinin Değerlendirilmesi 60
4.11. Tesisin SKHKKY Ek 5'e göre Değerlendirilmesi 60

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 61
KAYNAKLAR 63
ÖZGEÇMİŞ 67
EKLER 68

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 2.1. Tesiste süreç kontrolü bakımından izlenmesi gereken parametreler.... 14
Çizelge 3.1. Emisyon iznine tabi tesisler için esaslar ve sınır değerleri..... 24
Çizelge 3.2. Tesiste ölçüm yapılan emisyon kaynakları..... 30
Çizelge 3.3. Emisyon kaynaklarına ilişkin port/travers sayıları..... 30
Çizelge 3.4. Gaz motorları K katsayıları..... 37
Çizelge 3.5. Kirleticiler ve sınır değerler..... 38
Çizelge 3.6. Ölçüm parametreleri ve kullanılan cihazlar..... 39
Çizelge 3.7. Ölçüm limitleri ve hassasiyeti..... 40
Çizelge 4.1. Tesiste ölçüm yapılan emisyon kaynaklarına ait baca bilgileri..... 48
Çizelge 4.2. Yanma özellikleri için sınır değerleri listesi 1..... 52
Çizelge 4.3. Yanma özellikleri için sınır değerleri listesi 2..... 52
Çizelge 4.4. Gaz kalitesi çizelgesi..... 53
Çizelge 4.5. Sınır değerler çizelgesi..... 53
Çizelge 4.6. 600 kW Gaz motoru bacası emisyon değerleri..... 54
Çizelge 4.7. 800 kW Gaz motoru bacası emisyon değerleri..... 54
Çizelge 4.8. 600 kW Gaz motoru bacasına ait özellikler ve ölçüm sonuçları..... 56
Çizelge 4.9. 800 kW Gaz motoru bacasına ait özellikler ve ölçüm sonuçları..... 57
Çizelge 4.10. Tesiste ölçüm yapılan kaynaklara ait toplam emisyonlar..... 58

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 2.1. Anaeorobik ayrışma sisteminin bozunum safhaları 5
Şekil 2.2. Proses gösterimi 9
Şekil 2.3. Anaerobik arıtmada metan üretiminin sıcaklıkla değişimi 11
Şekil 2.4. H_2S ve HS^-'in değişimi 13
Şekil 2.5. Tesislerde H_2S kolonu resmi 18
Şekil 3.1. Biosun Katı Atık İşleme Enerji ve Çevre Sanayi Ticaret A.Ş.'ye ait proses süreci 22
Şekil 3.2. Isı ve elektrik enerjisi üretiminin basit gösterimi 23
Şekil 3.3. Analizör cihazının görünümü 28
Şekil 3.4. Online ölçüm esnasında ekran görüntüsü 28
Şekil 3.5. Biyogaz analizör cihazının hat üzerinde gösterimi 28
Şekil 3.6. Diyagram 1 toz emisyon sınırları 31
Şekil 3.7. Ölçüm cihazı 39
Şekil 3.8. Baca gazı numune ölçüm noktası 41
Şekil 3.9. Baca gazı ölçüm cihazı yazıcısı 42

1. GİRİŞ

Fosil kaynaklı yakıtlardan enerji üretim ve kullanım maliyetleri gün geçtikçe artmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlar ile rekabet edebilecek yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına yönelik çabalar dünyada ve ülkemizde de artmaktadır. Biogaz yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve ülkemizde de kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Tarımsal üretim ve biyodizelin desteklenmesinde biyogaz, hem organik gübre üretimi, hem de metan gazı üretiminde devreye girmektedir.

Biyogaz, organik bazlı atıkların oksijensiz ortamda (anaeorobik) fermantasyonu sonucu ortaya çıkan renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan bir gazdır. Organik madde konsantrasyonuna bağlı olarak bileşiminde %40-70 metan, %30-60 karbondioksit, %0-3 hidrojen sülfür ve çok az miktarda azot ve hidrojen bulunabilmektedir (www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx).

1 m^3 biyogaz 4700-5700 kcal/m^3 ısıl değere sahiptir. Yine 1 m^3 biyogaz; 0,62 litre gazyağı, 1,46 kg odun kömürü, 3,47 kg odun, 0,43 kg bütan gazı, 12,3 kg tezek ve 4,70 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir. 1 m^3 biyogaza 0,66 litre motorin, 0,75 litre benzin ve 0,25 m^3 propan eşdeğer yakıt miktarları göstermektedir (www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx).

Biyogaz üretim tesislerinde biyogaz üretimi için özellikle at, sığır, koyun, tavuk gibi büyük ve küçükbaş hayvanların dışkıları, mezbahanede kesim sonrası oluşan atıklar ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar kullanılmaktadır. Ayrıca, hasat sonrası ortaya çıkan saman, anız ve mısır artıkları, şeker pancarı yaprakları, bitkisel ürünlerin tesislerde işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar, arıtma tesislerinde oluşan kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt, sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde miktarı yüksek endüstriyel ve evsel atık sular da çok sık kullanılmaktadır. Özellikle kırsal ve tarımsal yerleşim

bölgelerinde bol miktarda açığa çıkan atıklardaki organik maddelerin değerlendirilmesi biyogaz üretimi açısından büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde biyogaz üretimi için düşünülebilecek organik atık ve hammaddelerin kaynaklarına göre biyogaz dönüşüm verimleri ve elde edilebilecek metan oranları Çizelge 1.1'de verilmiştir (www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx).

Çizelge 1.1. Biyogaz verimleri ve elde edilebilecek metan oranları (www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx)

Kaynak	Biyogaz Verimi (Litre/Kg)	Metan Oranı (Hacimce %)
Sığırdan elde edilen gübre	90-310	65
Kanatlı kümes hayvanları gübresi	310-620	60
Domuzdan elde edilen gübre	340-550	65-70
Hasat sonrası buğday samanı	200-300	50-60
Hasat sonrası çavdar samanı	200-300	59
Hasat sonrası arpa samanı	290-310	59
Hasat sonrası mısır artıkları	380-460	59
Keten ve kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Evsel sebze artıkları	330-360	Değişken
Endüstriyel ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	-
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Endüstriyel atık su çamurları	310-800	65-80

Türkiye'nin enerji istatistikleri incelendiğinde hayvansal ve bitkisel atıklar toplam enerji üretimimiz içinde yaklaşık %8-9, toplam enerji tüketimimizde ise %4-5'lik paya sahiptir. Hayvansal ve bitkisel atıklardan biyogaz üretildiğinde atıklar ticari değere sahip olmakta ve enerji eşdeğeri olarak aynı miktarda taşkömürü tüketimine eşit enerji sağlamaktadır. Bu atıklar içerisinde hayvan gübresinin payı büyük olmaktadır. Ülkemiz kırsal kesiminlerinde hayvan gübreleri ısıtma amacıyla yakılmakta ve kullanılmaktadır. Hayvan gübresinin tarımsal

üretimde kullanılması yakılarak enerjiye dönüştürülmesinden daha ekonomiktir. Hayvan gübresi, yapay gübrelere göre daha üstün özelliklere sahiptir (Kaya, ve ark., 2009).

Hayvanlardan elde edilen gübrenin yakılmasının önlenerek tarım topraklarına kazandırılması, kırsal kesime bu enerjinin yerine ikame edeceği bir enerjinin verilmesi ile mümkündür. Bu ikame enerji, yine hayvan gübresinden elde edilebilecek olan biyogazdır (Dalkılıç ve Uğurlu, 2013).

İncelenen tesis Adapazarı İli Pamukova İlçesi'nde bulunan Biosun Katı Atık ve Enerji Üretim A.Ş. tesisi ve bu tesiste kullanılmakta olan yakıt bileşimi ortalama %55 metan (CH_4), %45 karbondioksit (CO_2) ten meydana gelen biyogaz ve yanma gazı emisyonlarıdır.

Yapılan tez çalışması ile biyogaz üretimi yapılan biyogaz tesisinde, içten yanmalı motorlarda biyogazın yakılması sonucu meydana gelen karbon monoksit miktarının limitler üzerine çıkmaması için gerekli tüm önlemlerin, biyogaz üretim prosesi başlangıcından, biyogazın yanma sonrasına kadarki süreçte ele alınması ve karbon monoksit gazı salınımının limitler içerisinde kararlı hale getirilmesi üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir.

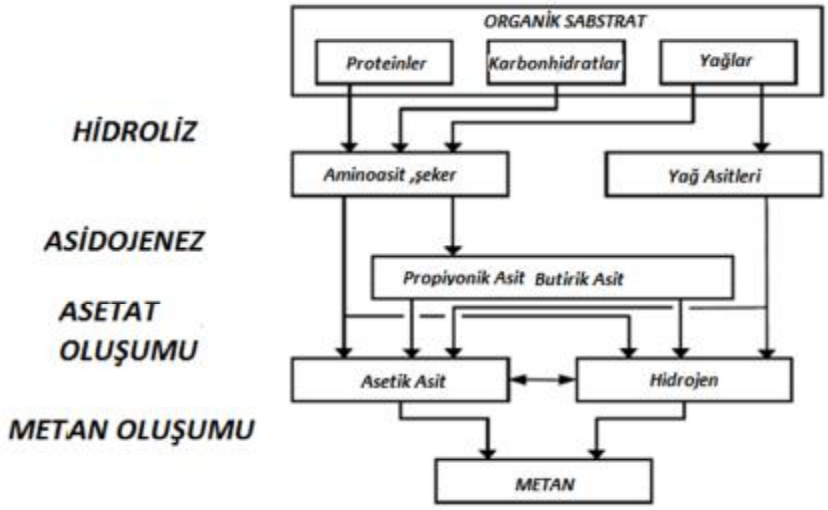
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Biyogaz

Biyogaz, organik bazlı atıkların oksijen olmayan ortamda fermente edilmesi sonucu ortaya çıkan renksiz ve kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alev ile yanan ve bileşiminde organik maddelerin bileşimine bağlı olarak yaklaşık; %40-75 metan, %30-55 karbondioksit, %0-3 hidrojen sülfür ile az miktarlarda azot ve hidrojen bulunan bir gaz karışımdır (www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx).

Organik bazlı atıklardan meydana gelen biyogaz, çok yönlü bir enerji kaynağıdır. Kojenerasyon sistemi vasıtası ile elektrik üretimi yapılabilir. Alternatif olarak ayrıca araçlarda ve ısıtma sistemlerinde yakıt olarak kullanılabilir.

Biyogaz oluşumu hidroliz, asidojenez, asetat oluşumu ve metan oluşumu olmak üzere dört evrede gerçekleşmektedir. Anaeorobik ayrışma sisteminin bozunum safhaları kısaca Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Chanakya ve ark.,1997).



Şekil 2.1. Anaeorobik ayrışma sisteminin bozunum safhaları (Chanakya ve ark., 1997).

2.1.1. Biyogazı Oluşturan Atıklar

2.1.1.1. Hayvansal Atıklar

At, sığır, koyun, tavuk gibi büyük ve küçükbaş hayvanların dışkıları, mezbahanede kesim sonrası oluşan atıklar ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında meydana çıkan atıklar biyogaz üretimi için önemli kaynakları oluşturmaktadır (Tolay ve ark., 2008; Öztürk, 2005).

2.1.1.2. Bitkisel Atıklar

Tarla ve bahçelerdeki hasat sonrası arta kalan saman, anız ve mısır atıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen atıkları gibi ortaya çıkan bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin tesislerde işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır. Ülkemizde tarıma dayalı atıkların bertarafı konusunda yapılan çalışmalar maalesef yetersizdir. Genellikle çim atıkları ve tarımsal üretimden kaynaklanan atıklar direkt belediye depolama alanlarına gönderilmektedir. Bahsedilen bu atıkların önlem alınmaksızın çevreye bırakılması ya da depolanması, çevresel açıdan birçok problemlere neden olmaktadır. Depolanan veya önlemler alınmadan çevreye bırakılan bu atıklar koku ve hijyen sorunlarına neden olmakta, yer altı sularına karışması durumunda ise nitrat problemlerine yol açabilmektedir. Ayrıca, nitrat oksitleri ve metan gazı sera gazı oluşumuna neden olmaktadır (Öztürk, 1999).

Sera etkisine yaklaşık %50 payla karbondioksit ve yaklaşık %19'la metan gazı sebep olabilmektedir. Günümüzde tüm dünyada her yıl yaklaşık olarak 22 milyar ton karbondioksit gazı atmosfere salınmaktadır. Tüm dünya ülkelerinin, Kyoto protokolü uyarınca, karbondioksit gazı emisyonlarının 2050 yılına kadar %50 oranında düşürmesi öngörülmektedir. Bu rakamlara erişebilmek için ilk yol, yenilenebilir enerjinin ve tarıma dayalı enerjinin geliştirilmesinden geçmektedir.

Atıkların açık sahalarda depolanması nedeni ile doğal çürüme prosesinde metan gazı (CH_4) açığa çıkmakta, bu çürüme suları ile göller oluşarak toprağın içerisine karışmaktadır. Toprak içerisine karışan bu sular, önemli miktarda azot,

nitrat, fosfat içerdiğinden dolayı toprağı tamamen kirletmekte ve yer altı sularına karışarak denizlere kadar ulaşabilmektedir. Denizlerde yosunlaşmaya sebep olmakta, sudaki oksijen miktarını azaltmakta ve deniz canlılarının yaşam ortamları tehdit etmektedir. Atıklar imha amacı ile yakıldıklarında ise metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) gazı doğrudan atmosfere verilmiş olmaktadır. Metan ve karbondioksit, atmosferi koruyan ozon tabakasını imha edebilen ve sera iklimi oluşturan oldukça zararlı olan sera gazlarıdır. Özellikle metan gazı, karbondioksit gibi absorbe olmadığından dolayı daha fazla zararlıdır. Karbondioksitin bir kısmı bitkiler tarafından fotosentezde kullanılmaktadır.

2.1.1.3. Organik İçerikli Şehir ve Endüstriyel Atıklar

Arıtma tesislerdeki kanalizasyon ve dip çamurları, kağıt, sanayi ve gıda sanayi atıkları, çözünmüş organik madde miktarı yüksek endüstriyel ve evsel atık sular metan oranının yüksek olmasından dolayı biyogaz üretiminde çok sık kullanılmaktadır.

2.2. Biyogaz Üretimi

Biyogaz üretimi hammadde tedarik, depolama ve arıtma, biyogaz üretimi, biyogaz depolama, arıtma ve kullanım aşamalarından oluşmaktadır.

2.2.1. Substrat İşleme

Biyogaz tesisleri için ihtiyaç duyulan hammaddeler hayvansal, bitkisel ve organik içerikli şehir ve endüstriyel atıklar olarak sayılabilir.

- Bu hammaddeler, uygun subtsratın (alt tabaka) sağlanması ve oluşturulabilmesi için bir ön işlemden geçirilmek zorundadır.
- Hammaddelerin ayrıştırılması kaynak ve bileşimlerine bağlı olarak gerekli olabilir.
- Salgın ve bulaşıcı hastalıklara karşı yasal zorunlulukların karşılanması için substratın hijyenizasyonu gerekli olabilir.

- Partikül büyüklüğünü azaltma (öğütme) ve aynı zamanda kimyasal ve biyolojik yöntemler, bir ön işlem olarak uygulanabilir.

Anaerobik mikro organizmalar genellikle kendilerini oluşturmak ve tam etkili olabilmek için önemli bir zaman periyoduna ihtiyaç duymaktadır. Bu bakteri popülasyonu substrat bileşimine uyum sağlamaya başlamakta ve istikrarlı bir büyüme hızı sergilemektedir.

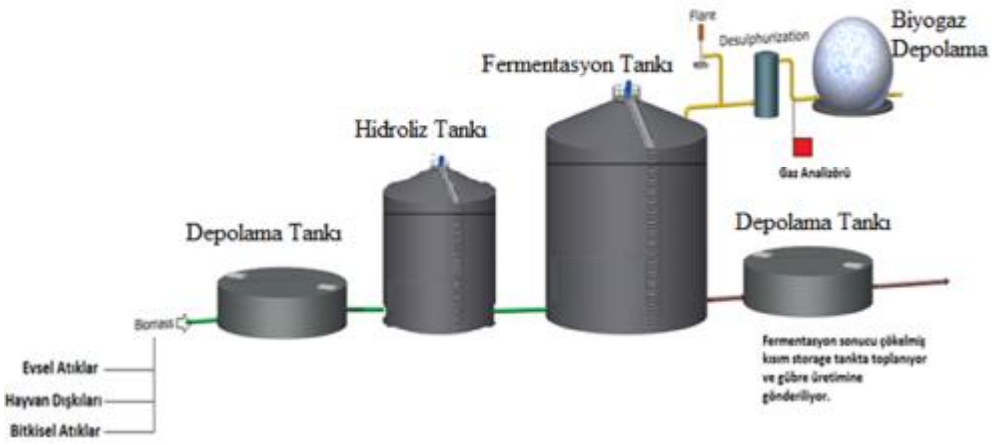
Başlangıç evresinde, fermenter tanka metan bakterileri ara ürünlerin azaltılması için yavaş yavaş yüklenmelidir. Aksi halde sistem aşırı asidik hale gelir. Proses biyolojisinin bozulmasının önlenmesi için substrat sıcaklığı, fermenter tankı iç sıcaklığı ile hemen hemen aynı olmalıdır (Ellenrieder ve ark., 2010).

2.2.2. Anaerobik Ayrıştırma

Anaerobik (oksijensiz ortamda) ayrıştırma, organik ve inorganik maddelerin, oksijensiz ortam içerisinde mikro-organizmalar vasıtasıyla parçalanarak CH_4, CO_2, H_2S ve NH_3 gibi son ürünlere dönüşmesi olarak açıklanabilir. Anaerobik ayrıştırma başlangıçta sadece atık çamurların çürütülmesi amacı ile kullanılmaya başlanmış, fakat atık sularda aerobik (oksijenli ortam) arıtmaya kıyasla üstünlüğünün keşfedilmesinden sonra bu alanda da yaygın olarak kullanılmıştır. Günümüzde enerji maliyetlerinin yüksek olduğu düşünüldüğünde, aerobik ayrıştırmaya kıyasla çok daha az enerji gereksinimi ve proses sonucunda ortaya çıkan metan gazının enerjiye hemen dönüştürülebilmesi, anaerobik ayrıştırmanın daha yaygın bir şekilde kullanılmasına sebep olmuştur.

Organik maddelerin anaerobik (oksijensiz ortamda) ortamlarda ayrışması en kolay haliyle iki ana aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşamada (hidroliz ve asit fermentasyon), organik maddeler asit bakterileri vasıtasıyla organik asitlere, alkollere ve CO_2'ye dönüşümü gerçekleşmekte, son aşama (metan oluşumu) ise asit bakterilerinin parçalama reaksiyonları sonucunda meydana çıkan ürünlerin, metanojenler tarafından metan, karbondioksit ve suya dönüştürülmesini

içermektedir (Şekil 2.2). Gerçekleşen prosesler sonucu meydana gelen metan gazının kalori değeri oldukça yüksek ve enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir. Ayrışma sırasında yağlar, karbonhidratlar, proteinler, aminoasitler ve organik asitler gibi kompleks veya tek yapılı olan farklı organik maddeler parçalanabilmektedir. Bahsedilen bu çeşitli reaksiyonlar sonucunda meydana çıkacak metan oranları da farklılık göstermektedir. Örneğin; yağların ayrışması sonucu yüksek metan içeriğine sahip biyogaz elde edilebilirken, protein ve karbonhidratların parçalanmasında daha az miktarda biyogaz ve metan içeriği elde edilmektedir (Speece, 1983).



Şekil 2.2. Proses gösterimi

2.2.3. Biyokütle Bozulması Sürecini Etkileyen Parametreler

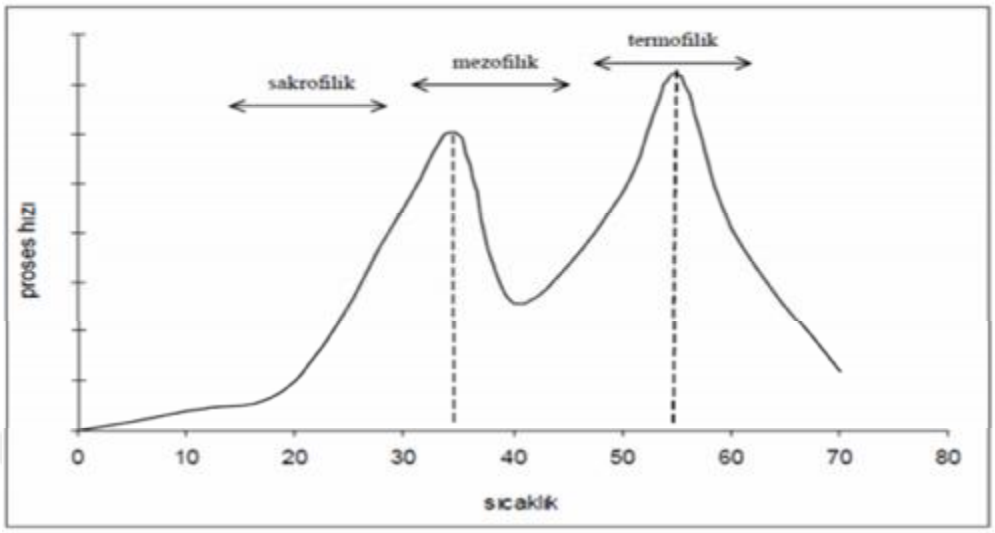
Anaerobik ayrıştırma oldukça karmaşık bir prosestir. pH, sıcaklık, alkalinite, amonyak engellenmesi, toksik maddeler, sülfür, nütrientler, uçucu yağ asitleri, metan içeriği anaerobik arıtma işleyişine etki etmektedir (İlkılıç ve Deviren, 2011).

2.2.3.1. pH

Anaerobik ayrıştırma prosesleri incelendiğinde pH değişimi, birçok etkenin toksik etkilerini artırması ve azaltması nedeniyle oldukça önemlidir (Öztürk, 1999). Serbest amonyaktaki toksik etki, yüksek pH'larda çok daha tehlikeli olmakta ve sülfatlı endüstriyel atık suların arıtımı sonrası meydana gelen sülfürün büyük miktarı düşük pH'larda H_2S şeklinde ortaya çıkmaktadır. Anaerobik arıtmada pH değişimlerinde en çok etkilenen daha önce bahsedildiği üzere metan bakterileridir. Metan bakterileri için en iyi pH aralığı 6,5 ila 8,5 arasındaki değerdir. Özellikle prosesin performansı, pH düştüğünde düşer ve sonrasında ise durur. Eğer pH 8'in üzerine çıkıyorsa ve aktivitede bir yavaşlama oluyorsa, bunun asıl sebebi serbest NH_3 konsantrasyonudur.

2.2.3.2. Sıcaklık

Anaeorabik arıtma, sıcaklık değerine göre iki kademede gerçekleşmektedir. İlk kademe mezofilik (25 ila 40 °C aralığında) ve ikinci kedeme termofilik (50 ila 60 °C aralığında) olarak isimlendirilmektedir. Metan üretimi proseste sıcaklık artışı ile artmakta ve sıcaklık 35 °C'ye geldiğinde ise en üst değere ulaşmaktadır. Sıcaklık artırılmaya devam ettiğinde metan üretimi tekrar artmaya başlamakta ve yaklaşık 55 °C'ye geldiğinde ikinci en üst değere ulaşmaktadır. Bu sebeple, mezofilik reaktörler genelde 35 °C'lerde, termofilik reaktörler ise 55 °C'lerde çalıştırılmaktadır. Mikro organizmalar yavaş sıcaklık değişimlerine uyum sağlayabilmekte ancak ani ve hızlı sıcaklık değişimlerine uyum sağlayamamaktadır. Dolayısıyla, anaerobik proseslerin ±2 °C aralığında çalıştırılması önem arzetmektedir. Metan üretiminin sıcaklıkla ilişkili değişim hareketleri Şekil 2.3'de ayrıntılı olarak verilmiştir (Öztürk, 1999).



Şekil 2.3. Anaerobik arıtmada metan üretiminin sıcaklıkla değişimi (Öztürk, 1999)

2.2.3.3. Nütrientler ve Uçucu Asitler

Anaeobik arıtmalarda ilk evrede, organik maddeler basit organik madde ve asitlere dönüşmektedir. Oluşan organik maddeler ve asitler kademeli olarak asetik asit, karbondioksit (CO_2) ve hidrojen (H_2)'e dönüşmektedir. Asetik asitin parçalanmasıyla metan ve karbondioksit, karbondioksit ve hidrojenin sentezlenmesi ile metan (CH_4) üretilmiş olmaktadır. Bakterilerin çalışmasında herhangi bir aksama olduğunda, basit organik maddeler, asetik asit yerine propiyanat ve bütirat gibi daha karmaşık uçucu asitlere dönüşmektedir. Oluşan uçucu asitlerin metan bakterileri tarafından metan gazına dönüşme oranı oldukça düşüktür. Organik yükleme fazla olduğunda bakteriler asetik asidi yeteri kadar parçalayamamakta ve buna bağlı olarak yağ asidi miktarı artmaktadır. Uçucu yağ asidi konsantrasyonunun artması ile pH'da azalma olmakta ve metan bakterilerinin çalışması olumsuz yönde etkilenmektedir. pH düşüşü devam ettiğinde metanojenik faaliyet tamamen durma noktasına gelmektedir. Bu nedenle, anaerobik arıtmada uçucu yağ asidi konsantrasyonunun sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir (Öztürk, 1999; Coşkun, 2006).

2.2.3.4. Amonyak

Amonyak anaerobik ayrıştırma prosesinde, metan bakterileri üzerinde toksik etkisi olan zayıf bir asittir ve özellikle su içerisinde amonyum iyonu (NH_4^+) formunda bulunmaktadır. pH'a bağlı olarak serbest amonyak (NH_3-N) ile amonyum azotu arasındaki oran değişmektedir. pH arttığı sürece serbest amonyak (NH_3-N) oranı artmakta ve metan bakterileri için asıl toksik etkiyi ise serbest amonyak (NH_3-N) gerçekleştirmektedir. Bu sebeple, yüksek pH seviyelerinde amonyak oluşumunun engellenmesi çok tehlikeli olabilmektedir. Yaklaşık olarak 100 mg/L konsantrasyon içerisindeki serbest amonyak (NH_3-N) toksik etki göstermektedir. Bu değere proses alıştırılarak ulaşıldığında ise toksik etki görülmemektedir (Coşkun, 2006).

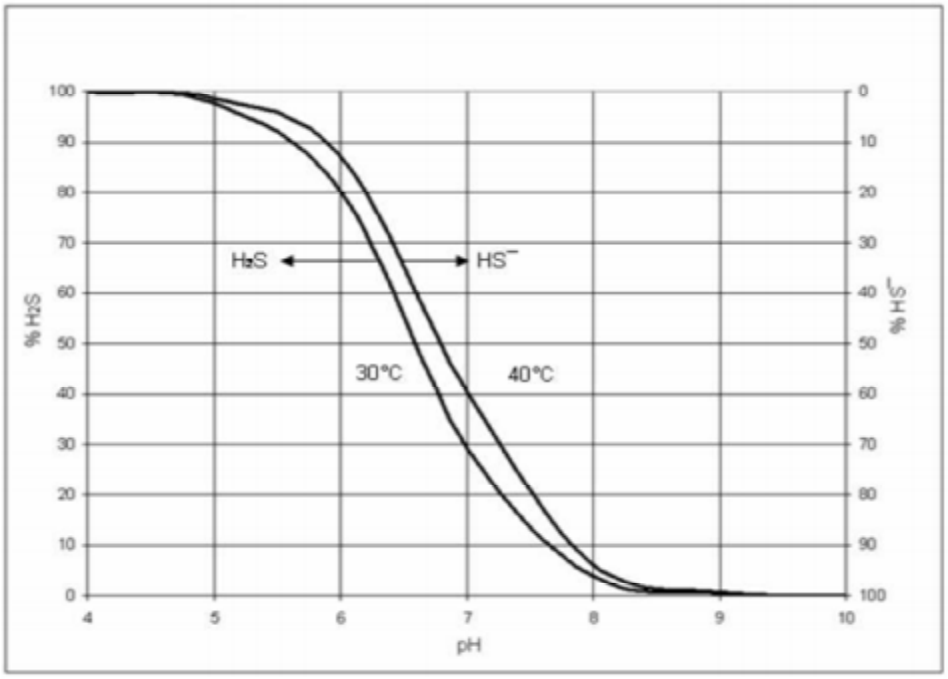
2.2.3.5. Sülfür Üretimi

Sülfat-sülfit gibi oksitleyici maddeler sanayi atık sularında yoğun olarak; evsel atık sularda ise az miktarda bulunmaktadır. Sülfat, sülfit ve tiyosülfatın atık sudaki varlığı, anaerobik ayrıştırma için oldukça önemlidir. Sülfat içerikli atık sular anaerobik olarak arıtılabilmektedir. Sülfür üretimi, metan üretimine göre daha kolay olmakta ve H_2S konsantrasyonunun 200 mg/L'i aştığı durumlarda ise metan üretimi tamamen durmaktadır. Ayrıca, oluşan H_2S gaz fazında oldukça korozif bir madde olduğundan reaktör ve gaz iletim borularında korozyona sebep olmakta ve atmosfere salındığında ise çevresel kirliliğe neden olmaktadır. Sularda H_2S ve HS'in değişimi pH'a bağlıdır ve bu değişim Şekil 2.4'de gösterilmiştir (Coşkun, 2006).

2.2.3.6. Gaz Üretimi ve Metan İçeriği

Anaerobik ayrıştırma prosesinde mevcut reaktör verimi oluşan biyogaz miktarı ve bu biyogaz içerisindeki metan oranının takip edilmesi ile kolaylıkla ve güvenilir bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Anaerobik ayrıştırma prosesinde

proses sonucu metan açığa çıkması ile sistem aerobik ayrıştırma prosesine göre üstün hale gelmektedir. Yüksek oranda biyogaz elde edilmesi ile prosesin iyi çalışması arasında doğru orantı vardır ve aynı zamanda üretilen biyogazın miktarı sistemde giderilen organik yükle de paraleldir. Biyogaz metan içeriği %65-75 seviyelerindedir. Bu seviyelerin altında elde edilen ölçüm sonuçlarında sistem detaylı olarak incelenmelidir (Dahiya ve Vasudevan, 1986).



Şekil 2.4. H_2S ve HS^-'in değişimi (Coşkun, 2006)

2.3. Süreç Yapılandırma

Biyogaz süreç yapılandırma tekli ve çoklu kademe yapılandırma olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Tek kademeli proseste, biyogaz üretiminin tüm kademeleri aynı fermenter içerisinde gerçekleşmektedir. Çok kademeli proseste ise hidroliz ve asidojenik ayrıştırma ayrı ayrı yapılmaktadır. Çok kademeli sistemde her bir operasyon kademesinin ayrı ayrı ayarlanabilmesi verimin en iyi şekilde elde edilmesi için her bir mikro-organizma grubunun en üst düzeyde çalışmasına imkan

vermektedir. Böylelikle, biyogaz üretimi sadece fermenterde değil aynı zamanda hidroliz tankında da olabilmektedir (Coşkun, 2006).

2.4. Proses Kontrolü ve İzlenmesi

Biyogaz üretim tesislerinde, tesisin en iyi şekilde çalıştırılabilmesi için kütle, seviye, sıcaklık, basınç, pH, alkalinite ve gaz debisi gibi proses büyüklüklerinin ölçülmesi ve kontrol edilmesinin yanı sıra, organik maddelerin prosese yüklenmesi öncesinde, ayrıştırma işlemleri sırasında ve sonrasında her türlü kimyasal analizlerinin sürekli olarak yapılması önem arzetmektedir.

Verimli bir biyogaz üretimi yapılabilmesi için, tasarlanan tesisin sürekli izlenmesi ve olumsuzluklara karşı gerekli her türlü tedbirlerin zamanında ve hızlı bir şekilde alınması gerekmektedir. Proses kontrollerinin en önemli amacı, tesisteki tüm düzensizliklerin mümkün olan en kısa sürede tespit edilmesinin sağlanmasıdır. Süreç kontrolü açısından izlenmesi gereken parametreler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Tesiste süreç kontrolü bakımından izlenmesi gereken parametreler

Besleme	Sindirim Süreci	Gaz depolama, Filtrasyon
C/N/P oranı	Sıcaklık	CH_4
KM yüzdesi	pH	CO_2
KOİ	Uçucu Yağ Asitleri	O_2
OYH	KM Yüzdesi	N_2
pH	Alkalinite	CO
Kütle	Seviye	H_2S
Sülfür	Kütle	Gaz Debisi
Amonyak	Debi	Basınç
Genel Tuzlar	Asülfür	
Toksik Maddeler	Amonyak	
İz Elementler	Genel Tuzlar	
	İz Elementler	
	Toksit Elementler	

2.4.1. Girdi Analizleri

Ayrıştırıcı tank veya depolara yüklenecek olan organik malzemelerde özellikle Toplam Kuru Madde Oranı (TKM), Uçuçu Organik Madde Oranı (UOM), Toplam Organik Karbon (TOC), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), Toplam Fosfor (TP), pH ve yoğunluk analizleri; hazırlanan karışımda ise bunlar ile birlikte engelleyiciler ve iz elementlerin analizleri yapılmaktadır (Şerit ve ark., 2009).

2.4.2. Ölçüm Sistemleri

Kütle Ölçümü: Organik materyalin yüklenip su ile karışımın hazırlandığı (slurry çukuru) ünitelerde, kütle ölçüm sistemi kullanılarak istenilen karışım oranı sağlanılabilmektedir. Bu arada, karıştırıcının maksimum ve minimum seviye kontrolleri, iletkenlik seviye sensörleri vasıtasıyla kontrol edilmektedir.

Ph Ölçümü: Ünite içerisindeki hazırlanan materyalin pH ölçümü online olarak yapılmaktadır. pH sensörü ölçüm noktası sirkülasyon pompası çıkış hattına monte edilerek hem 1. ayrıştırıcı hem de 2. ayrıştırıcıda pH ölçümünün yapılması sağlanmaktadır.

Sıcaklık Ölçümü: Ayrıştırıcılarda, sıcaklık ölçümü termokupullar (termoelemanlar) ile yapılmaktadır.

Akış Ölçümü: Pompa çıkış hattında elektromanyetik tip debimetre kullanılarak ve anlık-toplam debi miktarları yüksek/düşük alarmlar ile scada programından izlenmektedir.

Basınç Ölçümü: Pompanın emme ve basma hatlarında diyaframlı tip manometreler kullanılarak basınç ölçümü yapılmaktadır.

Seviye Ölçümü: Her iki tankın üst yapısı gaz depolaması için membran olduğundan ve üst kısımda seviye ölçümünün yapılması sızdırmazlık sorunları meydana getireceğinden dolayı, seviye ölçümü için fark basınç ölçüm sistemi kullanılması uygun görülmüştür (www.emo.org.tr).

Gaz Analizörü: Gaz çıkış hatlarında portatif mobil ve online gaz analizörü ile günlük ve anlık olarak gaz konsantrasyon ölçümleri (CH_4 (%), CO_2 (%), O_2 (%), N_2 (%), CO (ppm), H_2S (ppm), LEL (%)) yapılmaktadır (www.emo.org.tr).

2.5. Biyogaz Kullanımı

Tesisin kurulacağı sahanın özellikleri ve amaçlanan kullanım şekli gereğince, üretimi yapılan biyogazın hangi şekilde değerlendirileceğine ilişkin bir karar verilmesi gerekmektedir. Biyogaz kojenerasyon vasıtasıyla elektrik ve ısı üretimi, trijenerasyon ile soğutma, motorlu araçlar ve termik santrallerde yakıt olarak ve saflaştırılarak (neminden ve kükürdünden arındırılarak) doğalgaz şebekesine veya mikro gaz şebekelerine verilerek kullanılabilmektedir.

2.6. Biyogaz Stoklama

Biyogaz, farklı bileşenlerde ve büyük miktarlarda elde edilmektedir. Kullanım miktarları sabittir ve bu nedenle uygun bir şekilde ara depolarda depolanmaktadır. Depoların gaz kaçakları için yalıtımı yapılmalı, istenilen basınçlara, güneş ışığına, yüksek ısılara ve hava koşullarına dayanıklı olmalıdır. Gaz depoları devreye alınmadan önce, yalıtkanlıkları kontrol edilmelidir. Güvenlik açısından depolar yüksek ve düşük basınç sensörleri ile birlikte ventiller ile donatılmış olmalıdır. Bu depolar günlük biyogaz üretiminin yaklaşık ¼'lük kısmının depolanacağı şekilde (bir veya iki günlük üretim hacmi) üretilmelidir (Li ve ark., 2013).

2.7. Biyogazın Saflaştırılması

Ham biyogaz, bileşiminde su, metan ve karbondioksit ile birlikte küçümsenmeyecek miktarda hidrojen sülfür de içermektedir. Hidrojen sülfür, toksit olmakla birlikte çürük yumurta kokusu yayan bir maddedir. Biyogaz içerisinde hidrojen sülfür ile su buharı bir araya geldiğinde sülfürik asit oluşmaktadır.

Biyogaz üretim tesislerinde sülfürik asit, biyogazın yakıldığı gaz motorlarına, gaz motorları öncesinde ve sonrasında bulunan gaz hatlarına ve atık gaz hattına zarar verdiğinden kükürtten arındırma ve kazanılan biyogazın kurutulması (soğutma) işlemi gerçekleştirilmektedir. Biyogaza kükürtten arındırma işlemi uygulanarak kullanılan gaz motorlarının bakım aralıkları artırılmakta ve gaz motorlarının hasar görmesi engellenebilmektedir (Zhao ve ark., 2010).

2.7.1. Desülfürizasyon

Desülfürizasyon işlemi biyolojik, kimyasal veya fiziksel desülfürizasyon gibi çok farklı yöntemler ile yapılabilmektedir (Çift ve Okutan, 2010).

Gaz muhteviyatının yanı sıra biyogazın, özellikle desülfürizasyon sistemi içerisinde oluşan akış hızı oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bu durum, proses kontrolüne bağlı olarak önemli dalgalanmalar gösterebilir. Biyogaz üretim miktarlarının özellikle fazla olması ve bunun sonucu olarak meydana gelen yüksek akış hızları, materyalin fermantöre yüklenmesinden sonra ve fermantör karıştırıcılarının çalışması sırasında gözlemlenebilir. Kısa zaman aralığındaki yüksek akış hızları, ortalama değerin %50'sinin üzerinde gerçekleşebilir. Biyogazın içerisindeki kükürtten arındırmanın güvenilir bir şekilde gerçekleşmesi için genelde aşırı boyutlandırılmış kükürtten arındırma sistemleri kullanılmakta ya da farklı yöntemler kombine edilmektedir.

Biyolojik açıdan desülfürizasyon işlemi genellikle fermentör içerisinde uygulanır. Sulfobacter oxydans bakterisi hidrojen sülfürü oksijen kullanmak suretiyle elementer kükürte dönüştürmekte, bu da fermantasyon atıkları ile birlikte reaktörden dışarı atılmaktadır. Bakteriler bunun için fermentör içerisinde bulunan besin maddelerine ihtiyaç duyarlar. Bu bakteriler her yerde bulundukları için, ayrıca sisteme eklenmelerine gerek yoktur. Gereken oksijen miktarı örneğin çok küçük bir hava kompresörü ile içeri hava üflenmesi suretiyle fermentöre aktarılmış olur. Elde edilen kalite, kükürtten arındırılmış biyogazın kombine çevrim ısı ve güç santrallerinde yakılabilmesi için genellikle yeterlidir. Ancak kükürt

konsantrasyonun daki büyük dalgalanmalar gazın yanma özelliklerine olumsuz etki yaptığı için kullanılacak gaz motorları üzerinde olumsuz etki yapar. Sistemin dezavantajlarından kaçınabilmek için biyolojik desülfürizasyon fermentör dışında, damlatmalı filtre olarak kullanılan bir yöntemle de bu işlem yapılabilir. Bu yöntem için, ayrı kaplarda düzenlenmiş biyolojik desülfürizasyon filtreleri kullanılabilmektedir. Biyolojik desülfürizasyon filtreleri kullanıldığında desülfürizasyon için gereken hava ve oksijen beslemesi gibi çevre koşullarına daha kesin bir şekilde uyma imkanı olmaktadır. Fermente edilmiş materyalin organik gübre etkisini artırmak için proseste oluşan kükürt, fermentasyon atığı deposundaki fermente edilmiş materyale yeniden eklenebilmektedir.



Şekil 2.5. Tesislerde H_2S kolonu resmi

2.7.2. Kurutma

Biyogaz üretim tesislerinde bulunan gaz iletim hatları ve bu hatlar üzerindeki enstrümanların aşınmaması ve tahrip olmaması için, biyogaz içerisinde bulunan su buharının biyogazdan ayrılması gerekmektedir. Biyogaz bileşiminde bulunan su veya su buharı miktarı, biyogazın ısısına bağlıdır. Biyogazın oransal nemliliği fermentörde %100'dür, yani biyogaz bu şekilde su buharına doymuştur. Biyogazın içerisindeki su oranının azaltılması için yoğunlaştırma (chiller grupları-

soğutma sistemleri en çok kullanılan sistemlerdir) yapılması gerekmektedir (www.endustri-dunyasi.com).

2.8. Elektrik ve Isı Enerjisi Üretimi

Güç-ısı kuplajı (KWK) kavramı, elektrik enerjisi ve ısı enerjisinin aynı anda üretilmesi anlamına gelmektedir. Modeli hazırlanan tesisin güç-ısı kuplajının elektrik veya ısı üretimleri arasında hangisinin olacağına karar verilebilir. Yüksek verimliliği nedeni ile tesislerin ısı üretmesi tercih edilebilir. Her iki elektrik ve ısı üretimi yapılabilmesi için herzaman bir jeneratöre bağlanmış olan kombine ısı ve güç santralleri kullanılmaktadır. Kullanılan gaz motorları, doğrudan bağlanan jeneratör ile şebeke frekansına uyumlu elektrik enerjisi üretebilmesi için sabit devirle çalıştırılır. Gaz motorları haricinde mikro-gaz türbinleri ve stirling motorları da kullanılabilmektedir.

3. MATERYAL VE METOD

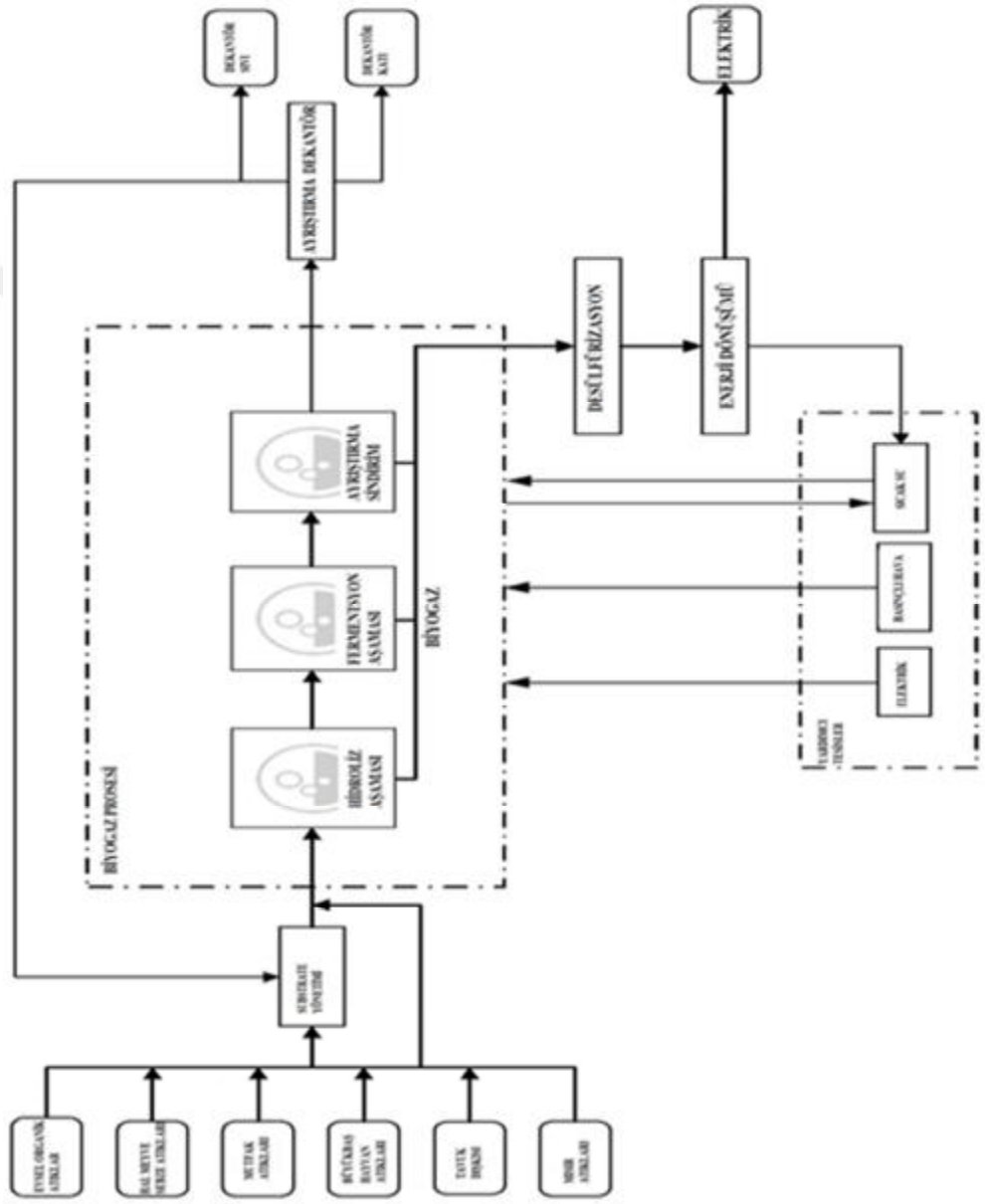
3.1. Materyal

Biosun Katı Atık İşleme Enerji ve Çevre Sanayi Ticaret A.Ş. tesisi (Pamukova-Sakarya) hayvansal ve evsel katı atıkların toplanması, aktarılması, ayrıştırılması ve geri kazanımı alanında faaliyet göstermekte olan ve entegre katı atık yönetim tesisi olarak kurulmuş dünyadaki ilk tesistir. İnşaatına 2010 Nisan ayında başlanan tesis Aralık 2011'de faaliyete geçmiştir (BDI, 2011).

Biosun Katık Atık İşleme ve Enerji A.Ş.'ye ait proses süreci Şekil 3.1'de verilmiştir. Tesisin süreç işleyişi aşağıda sıralanmıştır:

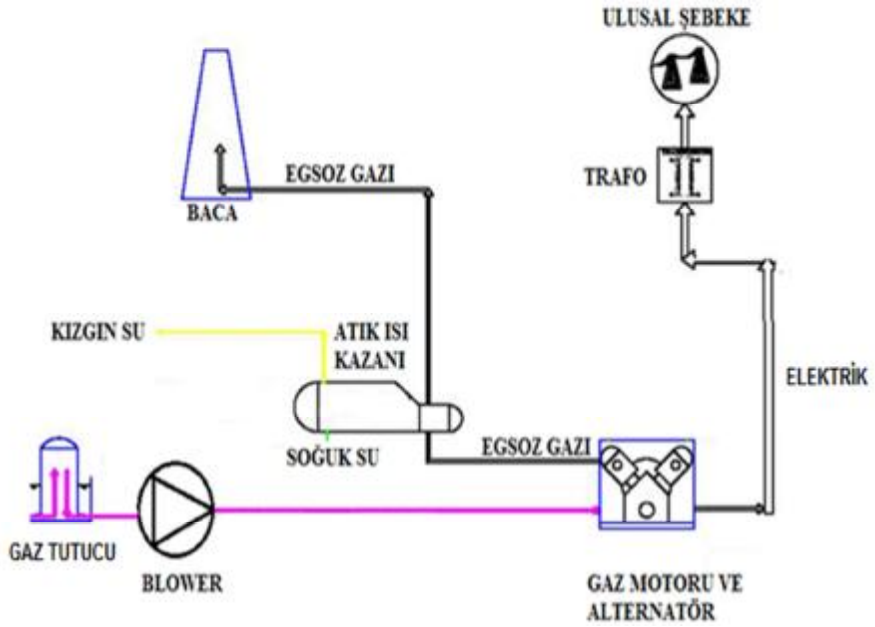
- Anlaşmalı belediyelerin evsel atıklarının toplanması ve Pamukova İlçesi'ndeki Biosun Katı Atık İşleme Enerji ve Çevre Sanayi Ticaret A.Ş. tesisine getirilmesi.
- Bölgedeki sanayi tesislerindeki evsel nitelikli atıkların ve tarımsal atıkların toplanması ve Biosun Katı Atık İşleme Enerji ve Çevre Sanayi Ticaret A.Ş. tesisine getirilmesi.
- Tesise getirilen katı atıkların ayrıştırma ünitesinde işlemden geçirilmesi ve yeniden değerlendirilebilir inorganik atıkların ayrıştırılması, organik atıkların sonraki süreçlere hazır hale getirilmesi ve değerlendirilemeyen atıkların düzenli depolama alanına gönderilmesi.
- Temizlenmiş ve ayrıştırılmış organik atıkların biyogaz tanklarına pompalanması ve burada metan gazı üretilmesi.
- Üretilen metan gazının kojenerasyon ünitesi aracılığıyla elektrik ve ısı enerjisine dönüştürülmesi.
- Üretimi yapılan elektrik enerjisinin satılmak üzere ulusal elektrik ağına aktarılması.
- Üretilen ısı enerjisinin tesis içinde kurulacak soğuk hava deposunda değerlendirilmesi.

· Kompostlanmış organik maddenin zenginleştirilerek organomineral gübre haline getirilmesi.



Şekil 3.1. Biosun Katı Atık İşleme Enerji ve Çevre Sanayi Ticaret A.Ş.'ye ait proses süreci

Biosun Katı Atık İşleme Enerji ve Çevre Sanayi Ticaret A.Ş. tesisinde her biri 600 kW ve 800 kW olan iki adet içten yanmalı gaz motoru ve bunlara bağlı olan iki adet atık ısı kazanı bulunmaktadır. Tesiste elektrik enerjisi üretimi ve ısı enerjisi üretimi yapılmaktadır (Şekil 3.2). Elektrik enerjisi üretimi için tesiste üretilen ve gaz deposunda depolanmış biyogaz blowerlara alınarak basınçlandırılmakta; hat üzerindeki flow metre ve basınç ölçerlerden geçirilerek gaz kontrolü yapılmaktadır. Ardından 600 kW ve 800 kW gücü olan gaz motorlarına aktarılarak yakılmakta ve gaz motorlarının ürettiği elektrik enerjisinin de satışı yapılmaktadır. Elektrik üretimi esnasında ortaya çıkan ısı enerjisinden atık ısı kazanında kızgın su ve sıcak su elde edilmektedir. Elde edilen sıcak su tesiste kullanılmak üzere sisteme dahil edilmektedir.



Şekil 3.2. Isı ve elektrik enerjisi üretiminin basit gösterimi

Yapılan tez çalışması kapsamında, Biosun Katı Atık İşleme Enerji ve Çevre Sanayi Ticaret A.Ş.'ye ait tesisdeki biyogaz üretim prosesi ve içten yanmalı motorların kullanılması ile ısı ve elektrik enerjisi üretimi sonrası Kojen Üniteleri 1

nolu ve 2 nolu baca gazlarındaki emisyon ölçümleri detaylı olarak incelenmiştir. Baca gazı ölçümleri için Artek Mühendislik Çevre Ölçüm ve Danışmanlık Hizmetleri Tic. A.Ş. firması ile çalışılmış ve hazırlanan emisyon raporundan detaylı olarak faydalanılmıştır.

3.1.1. Emisyon İznine Tabi Tesisler için Esaslar ve Sınır Değerleri

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY), 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun ilgili hükümleri gereğince 03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe girmiş ve 20.12.2014 tarih 29211 sayılı Resmi Gazete de yayınlanarak yeniden düzenlenmiştir. Bu yönetmelikte sanayi tesislerinde her türlü kaynak ve kaynaklardan yayılan emisyonlara sınırlamalar getirilmiştir. Yönetmelikte havayı kirletici gaz ve partikül maddelerin neler olduğu, konsantrasyonları, kütlesel debileri ve hangi oranlarda kirletici vasıflara sahip oldukları ve bu kirletici kaynaklara sahip tesislerin emisyonlarının SKHKKY (2014) esaslara uyup uymadığı belirlenmektedir. Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'ne göre Pamukova Yenilenebilir Enerji ve Elektrik Üretim Anonim Şirketi-Sakarya Şubesi'nin Çevre Kanununca Alınması Gereken İzin ve Lisanslar Hakkında Yönetmelik Madde 4 kapsamında incelenmesi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Emisyon iznine tabi tesisler için esaslar ve sınır değerleri

ÇKAGİLY'e Göre Durum	Madde	Grup
Yakıt Türüne Göre	1.3	Ek-2 Yakma ısıl gücü 1 MW ve daha büyük 100 MW'dan daha küçük kombine çevrim, birleşik ısıl güç santralleri, içten yanmalı motorlar ve gaz türbinleri (Mobil santrallerde kullanılan içten yanmalı motorlar ve gaz türbinleri dahil)

3.1.2. Baca Gazı Debisi Hesabı

Baca gazı debisi Eşitlik 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$Q^k = \frac{Q^g \times P \times 273 \times (1-Nem/100)}{760 \times (273 + T)} \quad (3.1)$$

A= Baca Kesiti (m^2) Dörtgensel Kaynak

R= Çap (m)

a,b = Baca Boyutları A=axb

Q^g = Gerçek Baca Gazı Debisi (m^3/saat)

V = Baca Gazı Hızı (m/s)

A = Baca Kesiti (m^2)

Q^g = V x A x 3600

Q^k = Kuru Baca Gazı Debisi (m^3/saat)

T= Sıcaklık (°C)

P= Barometrik Basınç (mmHg)

Nem= %

3.1.3. Yanma Gazı Hesapları

Yanma gazları Eşitlik 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

$$C\ gaz = \frac{PPM\ gaz \times MA}{22,4} \qquad C\ gaz = \frac{C\ gaz(ref) \times (21-O_2)}{(21-O_2\ (ref))} \quad (3.2)$$

C gerçekgaz = Gaz konsantrasyonu (mg/m^3)

C gaz = Gaz konsantrasyonu (mg/m^3)

C gaz(ref) = Referans oksijene göre ölçülen gaz konsantrasyonu (mg/m^3)

O_2 = Ölçülen oksijen (%)

O_2 (ref) = Referans oksijen (%)

M = Gazın molekül ağırlığı (g/mol)

3.1.4. Toz Hesapları

Bacadan çıkan tozun konsantrasyonu Eşitlik 3.3 ve 3.4'e, referans oksijene göre düzeltilmiş toz konsantrasyonu Eşitlik 3.5'e ve toz kütlesel debisi ise Eşitlik 3.6'ya göre hesaplanmıştır.

$$Vstd = \frac{Vg \times Y \times Tstd \times (Patm + (H/13{,}6))}{Tg \times P\,std} \quad (3.3)$$

Vstd = Standart şartlarda düzeltilmiş hacim (L)
Vg = Gazometreden geçen kuru Ga miktarı (L)
Tstd = Standart mutlak sıcaklık (273˚K)
Patm = Atmosferik basınç (760 mmHg)
Tg = Gazometre mutlak sıcaklığı (˚K)
H = Orifice metre'den okunan basınç (mm H_2O)
Y = Gazometre kalibrasyon faktörü (1)

$$Ctoz = \frac{Ftoz \times 1000}{Vstd/1000} \quad (3.4)$$

Ftoz = Laboratuvardan gelen filtre tartım sonucu (g)
C toz = Toz Konsantrasyonu (mg/Nm^3)

$$Ctoz\,(ref) = \frac{Ctoz \times (21-O_2\,(ref))}{(21-O_2)} \quad (3.5)$$

Ctoz (ref) = Referans oksijene göre düzeltilmiş toz konsantrasyonu (mg/m^3)
Ctoz = Toz konsantrasyonu (mg/m^3)
O_2 = Ölçülen oksijen (%)

O_2 (ref) = Referans oksijen (%)

$$Etoz = \frac{Ctoz \times Qk}{1.000.000} \quad (3.6)$$

Etoz = Toz Kütlesel Debisi (kg/saat)

C toz = Toz Konsantrasyonu (mg/m³)

Qk = Kuru Bacagazı Debisi (m³/saat)

3.1.5. Biyogaz Analizör Cihazı

Üretilen ya da tedarik edilen bir gazın kullanım yerine uygunluğunu belirleyebilmek için öncelikle gazın içinde bulunan bileşenlerin miktarlarını ppm veya % olarak bilinmesi gerekmektedir. Günümüz teknolojisi ile üretilen veya satın alınan gazın içeriği online olarak analizör yardımı ile görülebilinmektedir.

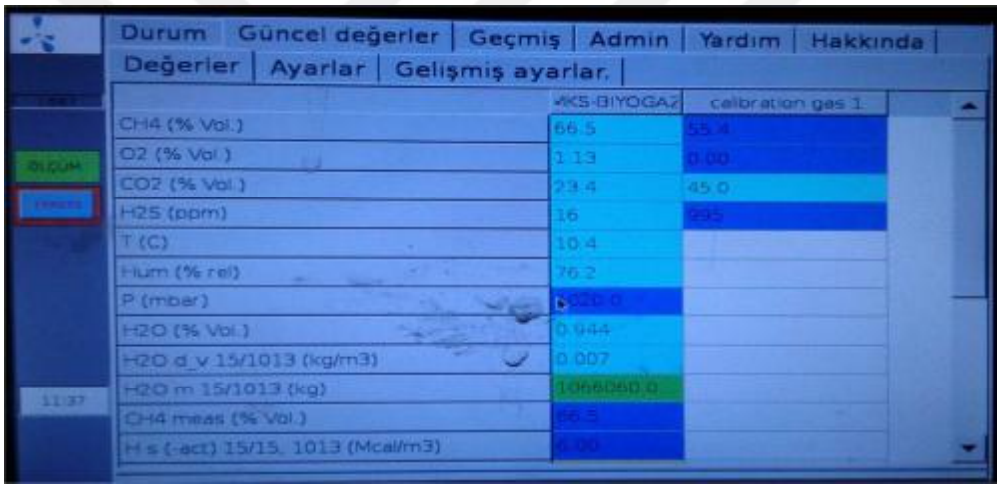
Kullanılmakta olan biyogaz analizör cihazı içerisinde, metan (CH_4), karbondioksit (CO_2), oksijen (O_2), hidrojen sülfür (H_2S) sensörleri, gaz sıcaklık ve basınç sensörleri sayesinde ölçümler yapılabilinmekte ve online olarak sürekli izlenebilinmektedir. Cihaz ölçüm hassasiyetleri aşağıdaki gibidir.

- CH_4 sensörün ölçüm aralığı %0-100, ölçüm hassasiyeti tam skalada en fazla %±0,2
- CO_2 sensörün ölçüm aralığı %0-100, ölçüm hassasiyeti tam skalada en fazla %±0,2
- O_2 sensörün ölçüm aralığı %0-25, ölçüm hassasiyeti tam skalada en fazla %±0,1
- H_2S sensörün ölçüm aralığı 0-5000 ppm

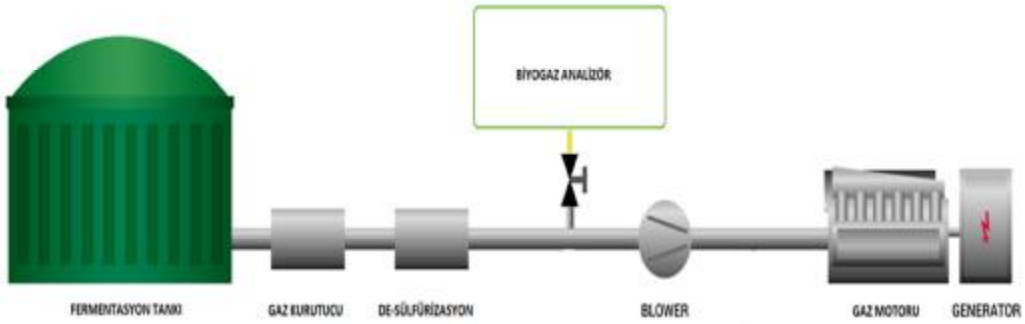
Biyogaz analizör cihazının kurulumu yapılmış hali Şekil 3.3'de, online ölçüm esnasındaki ekran görüntüsü Şekil 3.4'de ve monte edilmiş yeri Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Analizör cihazının görünümü



Şekil 3.4. Online ölçüm esnasında ekran görüntüsü



Şekil 3.5. Biyogaz analizör cihazının hat üzerinde gösterimi

3.1.6. Emisyon Tespiti

3.1.6.1. Toz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü

SKHKKY Ek 3-d.2. gereğince ısıl kapasitesi 100 Gj/saat (27778 kW) ve üstünde olan katı yakıt ve fuel oil ile çalışan yakma sistemleri ile 10 kg/sa ve üstünde toz emisyon yayan (bu emisyona yanıcı partiküller de dahildir) tesisler toz emisyonu konsantrasyonunu sürekli ölçen yazıcılı bir ölçüm cihazı ile donatılmalıdır. Tesisten kaynaklanan kütlesel debinin de sürekli ölçülmesi gerekmektedir.

3.1.6.2. Gaz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü

SKHKKY Ek 3-d.3 gereğince gaz biçimindeki emisyonların kütlesel debileri;

Karbonmonoksit: 5 kg/sa (Yakma Tesisleri için)

Karbonmonoksit: 50kg/sa (Diğer Tesisler için)

Kükürtdioksit: 60kg/sa

Azotoksit: 20 kg/sa

Organik Bileşikler (Karbon olarak):10 kg/sa

Sınır değerlerinin aşıldığı durumlarda yazıcılı ölçü aletleri ile sürekli olarak ölçülmeli veya otomatik bilgisayar sistemi ile kontrol edilmeli ve ölçüm sonuçları kaydedilmelidir.

3.1.6.3. Yanma Kontrolü İçin Sürekli Ölçüm

Isıl Kapasitesi 36 GJ/sa (10 MW) ve üstünde olan sıvı ve katı yakıtlı yakma sistemleri yanma kontrolü için yazıcılı bir baca gazı analiz cihazı (CO_2 veya O_2 ve CO) ile donatılması gerekmektedir. Ölçüm değerleri en az 5 yıl muhafaza edilmelidir. Birden fazla yakma sisteminin bir bacaya bağlanması durumunda ise baca başına düşen toplam ısıl kapasiteleri kullanılacaktır (Artek, 2015).

3.1.7. Emisyon Kaynaklarının Tespiti

Tesiste bulunan iki adet emisyon kaynağında yapılan ölçümle ilgili bilgiler Çizelge 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Tesiste ölçüm yapılan emisyon kaynakları

Sıra No	Emisyon Kaynağı	Parametre		Numune Alma Tarihi
		Yanma Gazı	Toz (1)	
1	600 kW Gaz Motoru Bacası	X	X	28.10.2015
2	800 kW Gaz Motoru	X	X	28.10.2015

Çizelge 3.3. Emisyon kaynaklarına ilişkin port/travers sayıları

Sıra No	Emisyon Kaynağı	Baca Çapı/Baca Boyutu (m)	Port Sayısı	Travers Noktası	Metot	Uygunluk
1	600 kW Gaz Motoru Bacası	0,40	2	8	EPA Metot 1	Uygun
2	800 kW Gaz Motoru Bacası	0,40	2	8	EPA Metot 1	Uygun

3.1.8. İşletmede Bulunan ve Ölçümü Yapılan Herbir Tesisten Kaynaklanan Emisyonların Yönetmelik Ek-1, Ek-2, Ek-3 ve Ek-5'e göre Değerlendirilmesi

Çevre iznine tabi bir tesis için Ek-5 de herhangi bir emisyon sınırlaması getirilmemişse Ek-1'de verilen emisyon sınırlarına ve Ek-4'de belirtilen esaslara uyulması mecburidir.

İşletmelerde, özel toz, buhar ve kanserojen madde analizi yapılacak parametreler tesislerin kullanmış olduğu hammadde, tesislerde gerçekleşen reaksiyonlar ve prosesleri dikkate alınarak belirlenmelidir. Emisyon kaynağında yapılan ölçüm sonucu belirlenen toplam toz emisyon miktarı 0,1 kg/ saat in altında ise bu tesislerde özel toz analizi yapılmasına gerek bulunmamaktadır.

3.1.8.1. SKHKKY Ek-1 Emisyon İznine Tabi Tesisler için Esaslar ve Sınır Değerler

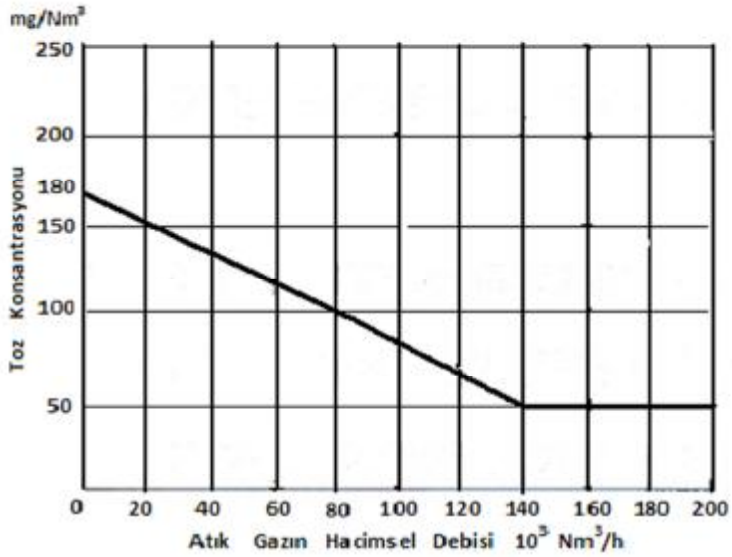
3.1.8.2. Ek 1.a. İs

Atık gazlardaki islilik derecesi, katı yakıtlı tesislerde Bacharach Skalasına göre 3 veya daha küçük olmalıdır.

Sıvı yakıt yakan tesislerin atık gazlarındaki islilik derecesi Bacharach Skalasına göre motorin yakan tesislerden en fazla 2 ve fuel oil yakan tesislerden en fazla 3 olması gerekir.

3.1.8.3. Ek 1.b. Toz Şeklinde Emisyon

Atık gazlarda bulunan toz şeklindeki emisyon değeri Diyagram 1'deki sınırları aşamaz (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Diyagram 1 toz emisyon sınırları (SKHKKY, 2014)

3.1.8.4. Ek 1.c. Açıkta Depolanan Yığma Malzeme

Açık sahada depolanan yığma ve hurda malzemeler, tozlaşabilir ürün ya da hammaddeler hava kalitesi standartlarını sağlamak şartı ile açıkta depolanabilirler.

Araziye rüzgar kesici levhalar yerleştirilir, duvar ile örülür veya rüzgarı kesici ağaçlar dikilir. Konveyörler veya diğer taşıyıcıların ve bunların birbirleri üzerine malzeme boşalttığı bağlantı kısımlarının üst tarafları kapatılır. Üst kısımlar %10 nemde muhafaza edilir. Bu şartı sağlamak için gerekli donanım kurulur.

3.1.8.5. Ek 1.d. Toz Yapıcı Yanma ve Üretim Artıklarının Taşınması ve Depolanması

Toz yapan yanma ve üretim artıklarının taşınmasında taşınan malzemenin tozumayı önleyecek derecede nemli olmaması halinde kapalı taşıma sistemleri kullanılır. Bunların açıkta depolanmasında (c) bendindeki tedbirler alınır. Depolama işlemi tamamlanan sahalar toprakla örtülüp üstü yeşillendirilir.

3.1.8.5.(1). Ek 1.e. Tesis İçi Yolların Durumu

Tesis içi yollar düzenli olarak temizlenmeli, tozumaya karşı her türlü önlem alınmalı (sulama, süpürme, toz bağlayan maddelerle muameleye tabi tutulması vb) ve yollar bitümlü kaplama malzemeleri (asfalt) veya beton malzemeler ile kaplanmalıdır.

3.1.8.6. Ek 1.f. Filtrelerin Boşaltılması

Toz biçimindeki emisyonu tutan filtrelerin boşaltılmasında toz emisyonunu önlemek için toz, kapalı sistem ile boşaltılır veya boşaltma sırasında nemlendirilir.

3.1.8.7. Ek 1.g. Atık Gazlardaki Özel Tozların Emisyonları için Sınırlar

I, II ve III olarak sınıflandırılan özel toz emisyonları, aynı sınıftan birden fazla madde bulunması durumu dahil, toplam konsantrasyonları 3.1.8.7.(1). ve 3.1.8.7.(2). başlıklarında verilen değerleri aşamaz.

3.1.8.7.(1). İnorganik Toz Emisyonunda Özel Maddeler

SKHKKY (2014) Ek-1 I, II ve III. Sınıf olarak sınıflandırılan inorganik özel toz emisyonları aşağıda verilen sınırlara tabidir.

- I. Sınıfa giren inorganik toz emisyonu (1 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 0,20 mg/Nm^3
- II. Sınıfa giren inorganik toz emisyonu (5 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 1 mg/Nm^3
- III. Sınıfa giren inorganik toz emisyonu (25 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 5 mg/Nm^3

3.1.8.7.(2). Organik Toz Emisyonunda Özel Maddeler

SKHKKY (2014) Ek- 1 I, II ve III. Sınıf olarak sınıflandırılan organik özel toz emisyonları aşağıda verilen sınırlar değerlere tabidir.

- I. Sınıfa giren organik toz emisyonu (0,1 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 10 mg/Nm^3
- II. ve III. Sınıfa giren organik toz emisyonu (Atık gaz emisyon debisi 0,5 g/saat'ten küçük emisyon debileri için) 50 mg/Nm^3
- Atık gaz emisyon debisi 0,5 g/saat eşit veya büyük olan emisyon debileri için 10 mg/Nm^3

3.1.8.8. EK 1.h Atık Gazlardaki Gaz ve Buhar Emisyonları için Sınırlar

Atık gazlarda bulunan inorganik/organik bileşiklerin buhar ve gaz biçimindeki emisyonları, aynı sınıftan birden fazla bileşik bulunsa dahi toplam konsantrasyonları başlık 3.1.8.8.(1) ve 3.1.8.8.(2)'de verilen değerleri aşamaz.

3.1.8.8.(1). İnorganik Buhar ve Gaz Emisyonları

- I. Sınıfa giren inorganik bileşiklerin emisyonu (10 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 1 mg/Nm^3

- II. Sınıfa giren inorganik bileşiklerin emisyonu (50 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 5 mg/Nm^3
- III. Sınıfa giren inorganik bileşiklerin emisyonu (300 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 30 mg/Nm^3
- IV. Sınıfa giren inorganik bileşiklerin emisyonu (5 kg/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 200 mg/Nm^3

3.1.8.8.(2). Organik Buhar ve Gaz Emisyonları

- I. Sınıfa giren organik bileşiklerin emisyonu (0,1 kg/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 20 mg/Nm^3
- II. Sınıfa giren organik bileşiklerin emisyonu (2 kg/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 100 mg/Nm^3
- III. Sınıfa giren organik bileşiklerin emisyonu (3 kg/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 150 mg/Nm^3

3.1.8.9. Ek 1.i Kanser Yapıcı Maddelerin Emisyon Sınırları

I, II ve III olarak sınıflandırılan ve aşağıda verilen kanserojen maddeler ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) için aynı sınıftan birden fazla madde bulunması durumu dahil, toplam konsantrasyonları aşağıda verilen değerleri aşamaz.

- I. Sınıfa giren kanserojen maddeler emisyonu (0,5 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 0,10 mg/Nm^3
- II. Sınıfa giren kanserojen maddeler emisyonu (5 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 1 mg/Nm^3
- III. Sınıfa giren kanserojen maddeler emisyonu (25 g/saat ve üzerinde emisyon debileri için) 5 mg/Nm^3

3.1.8.10. Ek 1.j. Aşırı Derece Tehlikeli Maddeler

Poliklor dibenzodioksinler (PCDD) ve Poliklor dibenzofuranlar (PCDF), ortamda kalıcı ve birikim etkisi gösterdiğinden, baca gazındaki emisyon konsantrasyonu sınır değerlere (0,1 mg/Nm^3) uygun olmalıdır ve verilen sınır değerleri sağlayacak her türlü önlem alınmalıdır.

3.1.8.11. SKHKKY Ek 2- Tesislerin Hava Kalitesine Katkı Değerlerinin Hesaplanması ve Hava Kalitesi Ölçümü

Tesiste üretilen biyogazdan yıllık 11.256.000 kWh elektrik enerjisi ve 43.676.496 joule ısı enerjisi üretimi gerçekleştirilmektedir.

3.1.8.11.(1). SKHKKY Ek 2-Tablo 2.1 Gereğince Tesisin Tümünden Atmosfere Atılan Toplam Kütlesel Debiler

Karbonmonoksit : 500 kg/saat
Kükürtdioksit : 60 kg/saat
Azotdioksit : 40 kg/saat
Toz : 10 kg/saat
Toplam Uçucu Organik Bileşikler: 30 kg/saat

Sınır değerlerini aşmadığı durumlarda ölçümlerle elde edilen Hava Kalitesi Değerlerinin, hesapla elde edilen Hava Kirlenmesine Katkı Değerlerinin ve bu değerlere teşkil edilen Toplam Kirlenme Değerlerinin tespit edilmesine gerek yoktur.

3.1.8.12. SKHKKY Ek 3-Emisyonun Tespiti

3.1.9.12.(1). Toz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü

SKHKKY (2014) Ek-3 gereğince ısıl kapasitesi 100 GJ/saat (27778 kW) ve üstünde olan katı yakıt ve fuel oil ile çalışan yakma sistemleri ile 10 kg/saat ve üstünde toz emisyon yayan (bu emisyona yanıcı partiküller de dahildir.) tesisler toz emisyonu konsantrasyonunu sürekli ölçen yazıcılı bir ölçüm cihazı ile

donatılmalıdır. Tesisten kaynaklanan kütlesel debinin belirlenebilmesi için hacimsel debinin de sürekli ölçülmesi gereklidir.

3.1.8.12.(2). Gaz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü

SKHKKY (2014) gereğince gaz biçimindeki emisyonların kütlesel debileri aşağıda verildiği gibidir:

Karbonmonoksit : 5 kg/saat (Yakma tesisleri için)

Karbonmonoksit : 50 kg/saat (Diğer tesisler için)

Kükürtdioksit : 60 kg/saat

Azotdioksit : 20 kg/saat

Organik bileşikler (Karbon olarak): 10 kg/saat

Sınır değerlerin aşıldığı durumlarda yazıcılı ölçü aletleri ile sürekli olarak ölçülmeli veya otomatik bilgisayar sistemi ile kontrol edilmeli ve ölçüm sonuçları kaydedilmelidir.

3.1.8.12.(3). Yanma Kontrolü için Sürekli Ölçüm

Isıl Kapasitesi 36 GJ/saat (10 MW) ve üstünde olan sıvı ve katı yakıtlı yakma sistemleri yanma kontrolü için yazıcılı bir baca gazı analiz cihazı (CO_2 veya O_2 ve CO) ile donatılmalıdır. Ölçüm değerleri en az 5 yıl muhafaza edilir.

Birden fazla yakma sisteminin bir bacaya bağlanması durumunda baca başına düşen toplam ısıl kapasite kullanılacaktır.

3.1.8.13. SKHKKY Ek 5-Kirletici Vasfı Yüksek Tesisler için Özel Emisyon Sınırları

3.1.8.13.(1). Birinci Grup Tesisler-Gaz Motorları

Otto çevrimi, kıvılcım ateşlemeli olarak da adlandırılan gaz motorlarının emisyon sınırlamalarında baca gazında hacimsel oksijen miktarı %5 alınacaktır.

SKHKKY (2014) Ek 5-A.2.7.1 gereğince atık gazlardaki toz emisyonları 130 mg/Nm^3 değerini, atık gazlardaki kükürt dioksit emisyonları 60 mg/Nm^3

değerini, ısıl gücü 3 MW a kadar olan tesisler için atık gazlardaki karbon monoksit emisyonları 1000 mg/Nm^3 değerini ve azot dioksit emisyonları 1000 mg/Nm^3 değerini aşamaz.

3.1.8.13.(2). Verim Kriteri

Yüksek birincil çevrim yanma verimliliğine sahip (motor şaftında yakıt tüketimini ifade eden ısıl verim ya da motorun mekanik verimi) motorlar ile motor egzozundaki ısıdan tekrar mekanik veya elektrik üretimini sağlayan kombine çevrim ve yüksek toplam verime sahip kojenerasyon teknolojileri desteklenerek, aşağıda verilen eşitlikler (Eşitlik 3.7-3.10) neticesinde çıkan K katsayısı oranında sınır değerler artırılır. Gaz motorlarının mekanik verimleri ve K katsayısı Çizelge 3.4'de ve kirleticiler ve sınır değerleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Gaz Motor veya Kombine Çevrim Mekanik Verim: Mekanik (Isıl) veya kombine çevrim verimi %37'nin üzerindeki motorlar için;

K= Motor Mekanik Verimi/37 (3.7)

Yeni Emisyon Sınır Değeri = K x Mevcut Emisyon Sınır Değeri (3.8)

Kojenerasyon Verimi: Tesisin mekanik ve ısı geri kazanım toplam verimi %63'ü geçen kojenerasyon uygulamaları için;

K= Santral kojenerasyon verimi/63 (3.9)

Yeni Emisyon Sınır Değeri = K x Mevcut Emisyon Sınır Değeri (3.10)

Çizelge 3.4. Gaz motorları K katsayıları

Kaynak Adı	Motor Mekanik Verimi (%)	K Katsayısı
600 kW gaz motoru bacası	41,7	1,12
800 kW gaz motoru bacası	43,9	1,18

Çizelge 3.4'de verilen K katsayıları, mekanik ve ısı geri kazanım toplam verimine göre hesaplanmıştır. Tesis 600 kW gaz motoru bacası mekanik verimi %41,7'dir. Buna göre; K= Motor Mekanik Verimi/37= 1,12'dir.

Çizelge 3.5. Kirleticiler ve sınır değerler

Kaynak Adı	K Katsayısı	K Katsayısı Oranında Artırılmış Sınır Değerler (mg/Nm^3)			
		Toz	CO	NO_2	SO_2
Kojen Bacası 1	1,12	145,46	1,120	1,120	67,2
Kojen Bacası 2	1,18	153,4	1,180	1,180	70,8

Çizelge 3.5'de verilen K katsayısı oranında artırılmış sınır değerler, Kojen bacası 1 için aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır.

Toz emisyonu için;

Yeni emisyon sınır değeri = 1,12 x 130 mg/Nm^3 = 145,6 mg/Nm^3, **74 ppm**

Karbon monoksit için;

Yeni emisyon sınır değeri = 1,12 x 1000 mg/Nm^3= 1,120 g/Nm^3, **896 ppm**

Azot emisyonları için;

Yeni emisyon sınır değeri = 1,12 x 1000 mg/Nm^3 = 1,120 g/Nm^3, **546 ppm**

Kükürt emisyonları için;

Yeni emisyon sınır değeri = 1,12 x 60 mg/Nm^3 = 67,2 mg/Nm^3, **23 ppm**

3.2. Metod

3.2.1. Ölçümde Kullanılan Cihazlar

Pamukova Yenilenebilir Enerji ve Elektrik Üretim Anonim Şirketi-Sakarya Şubesi'nde yanma gazları ve toz ölçümü yapılmaktadır. Ölçümde kullanılan cihaz Şekil 3.7'de ve metotlar Çizelge 3.6'da cihaza ve metotlara ilişkin bilgiler Çizelge 3.7'de verilmiştir. Ölçümde kullanılan cihazın kalibrasyon sertifikaları Ek 4-8'de verilmiştir (Artek, 2015).



Şekil 3.7. Ölçüm cihazı

Çizelge 3.6. Ölçüm parametreleri ve kullanılan cihazlar

Ölçüm Parametresi	Kullanılan Cihaz	Metod No	Metod Adı	Ölçüm Yöntemi
Yanma Gazları	Testo 350	EPA CTM-022:1998	Determination of Nitric oxide, Nitrogen Dioxide and NOx, Emissions from Stationary Combustion Sources by Elektrochemical Analyzer	Elektrokimyasal Hücre Metodu
		TS ISO 7935:1999	Nokta Kaynak Emisyonları – Kükürtdioksitin Kütle Derişiminin Tayini – Otomatik Ölçme Metodlarının Performans Karakteristikleri	
		TS ISO 12039:2005	Sabit Kaynak Emisyonları- Karbonmonoksit Karbondioksit ve Oksijen Tayini Otomatik Ölçme Sistemlerinin Performans Özellikleri ve Kalibrasyonu	
Toz	Environsupply C5100	EPA Metod 17:2000	Determination of Particulate Matter Emmissions from Stationary Sources	Gravimetrik Metod
		EPA Metod 5:2000 TSO ISO 9096: 2004	Sabit Kaynak Emisyonları-Tanecikli Maddenin Kütle Derişiminin Elle Tayini	

Çizelge 3.7. Ölçüm limitleri ve hassasiyeti

Cihaz Adı	Parametre	Çalışma Aralığı	Hassasiyet	Çözünürlük
Baca Gazı Analiz Cihazı Testo 350	O_2	%0-25 (Cihaz ve metod)	±%0,8	±%0,01
	CO_2	%0–CO_2 MAX (cihaz)	O_2 değerinden hesaplanır.	±%0,01
	CO	0-10000 ppm(cihaz) 20 mg/m³-1000 ppm (cihaz) mg/m³ (metod)	±10 ppm (0,0-99,9 ppm)	±1 ppm
			± 5 of mv (100,0-2.000,0 ppm) ±%10 of mv (2.001-10.000,0ppm)	
	SO_2	0-5000 ppm (cihaz) 0-8mg/m³ (metot)	±5 ppm (0,0-99,0 ppm)	±1 ppm
			±%5 of mv (100,0-2000,0 ppm) ±%10 of mv (2.001,0-5.000,0 ppm)	
	NO	0-3000 ppm (cihaz)	±5 ppm (0,0-99,0 ppm)	±1 ppm
			±%5 of mv (100,0-2000,0 ppm) ±%10 of mv (2.001,0-3.000,0 ppm)	
	NO_2	0-500 ppm (cihaz)	±5 ppm (0,0-99,0 ppm)	±1 ppm
			±%5 of mv (100,0-500,0 ppm)	
	NO_x	0-3500 ppm (cihaz)	$NO+NO_2$ cinsinden hesaplanır.	±1 ppm
	Yanma Verimi	0-120 ppm (cihaz)	Yakıt ve sıcaklık verileri ile hesaplanır.	%0,1 ºC
	Baca Gazı Sıcaklığı	(-40)–1000 ºC (cihaz)	±1,5 ºC	±%0,1 ºC
	Ortam Sıcaklığı	(-5)–45ºC (cihaz)	±0,1 ºC	±0,1 ºC
İzokinetik Isıtmalı Örnekleme Hattı Environ Supply C5100	Toz Örnekleme	0-1000 ºC 0-6 m^3/saat	0,0005 m^3/saat	-

3.2.2. Bacagazı Tayini

Kullanılan baca gazı analiz cihazı, portatif bir cihaz olup, Testo firmasının 350 modelidir. Baca gazı analiz cihazı CO, SO_2, NO, NO_2, NO_x ($NO+ NO_2$ toplamı cinsinden) konsantrasyonlarını ppm ve oksijen düzeltmeli mg/Nm^3 türünden, O_2 %

türünden ve sıcaklık santigrat olarak ölçülebilmektedir (Şekil 3.8). Ayrıca Testo 350 cihazı CO_2, yanma verimi, fazla hava katsayısı ve kayıpları ile hesaplayabilmektedir. Baca gazı analiz cihazı el kontrol ünitesi, cihaz üzerine yerleştirilerek veya data kablosu vasıtasıyla cihazdan ayrı olarak kullanılabilen ve ölçüm sonuçlarını ekranda gösteren Testo 454 marka ek kontrol ünitesidir (Şekil 3.9). Ayrıca, ek kontrol ünitesi vasıtasıyla basınç farkı ve hız ölçümü yapılmaktadır.

Testo marka islilik pompası ile Bacharach Skalasına göre islilik ölümleri yapılmakta olup 1,63 lt gazın ayrı bir pompa yardımı ile otomatik bir şekilde filtre kağıdından geçirilerek filtre kağıdında toplanan is miktarı Bacharach Skalası ile karşılaştırılmaktadır. Cihaza ait ölçüm probları, 700 mm uzunluğunda 1000 °C sıcaklığa dayanıklı ve 350 mm uzunluğunda 500 °C sıcaklığa dayanıklı paslanmaz çelik malzemelerdir.



Şekil 3.8. Baca gazı numune ölçüm noktası



Şekil 3.9. Baca gazı ölçüm cihazı yazıcısı

3.2.3. Bacada Toz Tayini

EPA Metot 17 ile baca gazında toz ölçümü yapılır. İzokinetik örnekleme metoduna uygun toz örnekleme cihazı ile numuneler aşağıda sıralanan parçalar kullanılarak izokinetik olarak örneklenir ve gravimetrik tartımla toz konsantrasyonu bulunur (Artek, 2015).

3.2.4. Cihaz ve Malzemeler

Toz ölçümleri izokinetik örnekleme metodu ile çalışan cihazla yapılmıştır.

- Partiküler madde ölçüm cihazı
- Nem tutucu (desikatör)
- Nem tutucu (silika jel)
- Bağlantı Hortumları
- Ölçüm Probu

- Ölçüm koşullarına göre seçilen ve ölçümde kullanılan başlıklar ve diğer aparatlar
- Etüv
- Hassas terazi
- Filtre kağıdı; 47 mm çaplı fiberglas filtre kağıdı
- Pens
- Saklama kabı; Şeffaf 90x15 mm boyutlarında filtre saklama kabı

3.2.5. Örnekleme İşlemi

Örnekleme yapılacak noktanın izokinetik şartlara uygun olması gerekmektedir. Bunun için gaz hattı üzerinde bulunan dirsek, fan, klape gibi gaz akımını bozucu etkiler dikkate alınarak, baca tabii çekişli ise en az 2 baca çapı (eşdeğer çap), baca cebri çekişli ise gazın geliş istikametine doğru tercihen 8 baca çapı (eşdeğer çap) uzaklıkta seçilmelidir. Örneklemede kullanılacak olan filtre kağıdı bacada beklenen toz miktarına göre tercih edilir. Çok tozlu olan proses bacalarında parmak filtreler kullanılır. Tercih edilen filtre tutucuya sabitlenmeden önce gün ışığına tutularak üzerinde iğne deliği benzeri büyüklükte sızdırma yapabilecek delik olup olmadığı gözle kontrol edilir. Uygun olmayan bir sonuçla karşılaşılırsa başka bir filtre kağıdı aynı testten geçirilmek suretiyle kullanılır. Numune alma noktası ve sonda deliği tespit edildikten sonra toz cihazının, kullanma talimatında belirtildiği gibi aparatları ile birlikte bağlantıları yapılır ve kaçak testine tabi tutulur, herhangi bir hata ile karşılaşılmadığı takdirde cihaz kullanıma hazır hale getirilir. Prob örnekleme noktasına bağlanarak baca sıcaklığına ulaşması için en az 5 dk bacada beklenir ve baca içerisinde tespit edilen her nokta için numune alma işlemi gerçekleştirilir. Aynı esnada bacadaki nem miktarı ve basınç ölçülerek kayıt altına alınır. Ölçüm sonrasında hesaplama için kullanılacak olan değerler cihazdan okunarak Toz Emisyonu Numune Alma Formu'na kaydedilir. Filtre tutucudan çıkarılan filtre kağıdı, sonuçların makullüğü

açısından gözle kontrol edilir. Filtre kağıdı tartılmak üzere ilgili taşıma kabına konur ve saklanır.

3.2.5.1. Örnek Analizi

Uygun saklama kapları ve laboratuvara getirilen filtreler 2 saat süreyle 105 °C'de etüvde kurutulur. Nem ve tozdan etkilenmeyecek kapta (desikatör) yaklaşık 2 saat bekletilir. Nem ve sıcaklık kontrolü olan bir ortamda sertifikalı ağırlık malzemeleriyle doğrulaması yapılan hassas terazide tartılıp sonuçları kullanılarak, gazın içerdiği toz miktarı formül kullanılarak mg/m^3 cinsinden hesaplanır.

3.2.5.2. Ölçüm Prensipleri

Emisyon sonuçlarının doğru ve hatasız olması, doğru bir ölçüm tekniği kullanılmasına bağlı olduğu kadar ölçümün genel prensiplerine de bağlıdır.

3.2.6. Dahili ve Harici Kalibrasyonlar

Laboratuvar bünyesinde kullanılan cihazların harici kalibrasyonu yapılır. Dahili kalibrasyonlar baca gazı analiz cihazı için ölçüm yapılacak olan sahada sertifikalı kalibrasyon gazları vasıtasıyla her ölçüm öncesinde ve sonrasında yapılır. Debimetre kalibrasyonları için belirli sabit değerler girilerek kalibrasyonlu bir flowmetre ile çekişi kontrol edilir. İstenen çekiş hızında bir bozukluk varsa(değerler arasındaki fark %5'den fazlaysa) pompa deneyde kullanılamaz ve onarımı için bakıma gönderilir.

3.2.7. Ön Hazırlık

Ölçüm noktasının tespitinde EPA (Brooks ve Williams, 1976) ve ASTM (1971) yönergelerinin uygulanması tercih edilir. Ölçümü yapacak olan personel daha önceden belirlenen ölçüm noktalarını gezerek uygun ölçüm noktalarının hazır olup olmadığını ve emisyon kaynaklarını kontrol eder. Ölçüm için seçilen

noktalarda açılan örnekleme deliklerinin boyutunun ve yerinin uygun olması ölçüm sonuçları üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle uygun olmayan bir örnekleme noktası belirlendiğinde gerekli uyarılar yapılarak uygun bir örnekleme noktası tayin edilir. Ölçüm öncesinde tüm şartların hazır olduğundan emin olduktan sonra ölçüme başlanır. Baca gazı örneklemesinde örnekleme yapılacak nokta baca gazı kaynağının özelliklerini temsil edecek şekilde tespit edilir. Baca yapısındaki sebeplerden dolayı hava girişi ya da bacadan gaz kaçağı hattı bulunması ölçümü geçersiz kılar.

3.2.8. Ölçüm Sırasında Yapılan İşlemler

Örnekleme yapılacak nokta baca gazı kaynağının tüm özelliklerini temsil edecek şekilde tespit edilir. Cihaza bağlı prob, ölçüm yapılacak kaynağa yerleştirilir ve cihaz çalıştırılarak ölçüm işlemine başlanır. Ölçüm işlemine başlamadan önce baca gazında normal yanma şartlarının oluşması beklenir. Yanma gazları için belirlenmiş cevap süresini takriben değerlerin değişmediği ekranda sabitlendiği (ya da en az dalgalandığı) zaman değerler kaydedilir. Ölçüme başlamadan önce kaynak için tahmin edilen ölçüm sonuçlarının dışında değerler gözlenmesi durumunda deney durdurulur sorun giderilmediği takdirde deney yapılmaz. Ölçümler sonrasında cihazların dahili kalibrasyonları yapılır ve cihaz kapatılarak taşıma çantasına yerleştirilir.

3.2.9. Ölçüm Sonrasında Laboratuvarda Yapılan İşlemler

Cihazlar laboratuara getirildikten sonra genel bir temizliği yapılır. Bu sırada cihazların yazıcı kısmı temizlenir, probu ve bağlantıları kontrol edilir. Şarz durumu kontrol edilir. Bunun dışında cihazın kalibrasyonuna ve diğer aksamlarına zarar verici bir işlem yapılmaz. Hafızasına alınan bilgiler cihazdan alınacaksa bunlar alınır, toz filtreleri gibi numuneler merkez laboratuvara teslim edilir ve laboratuvarda gerekli analizler yapılır. Cihazlar kullanma kitaplarında verilen koruma ve saklama koşullarına uygun olarak laboratuvara yerleştirilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tesiste bileşimi en az %55 metan ve en fazla %45 karbondioksit olan biyogaz yakılmakta; elektrik ve ısı enerjisi üreitimi şeklinde faydalanılmaktadır.

Tesiste üretilen biyogaz 600 kW ve 800 kW gücündeki gaz motorlarında yakılmakta ve baca gazları bu yakma sonucunda çıkan emisyonlardan ölçülmektedir. Tesiste yıllık 4.000.000 m^3 biyogaz yakılmaktadır. Biyogazın alt ısıl değeri 4750 kcal/m^3, 600 kW'lık gaz motorunun yakıt tüketimi en fazla 109 kcal/m^3 ve 800 kW'lık gaz motorunun yakıt tüketimi en fazla 145 kcal/ m^3'tür. (Artek, 2015).

4.1. Tesislerin Hava Kalitesine Katkı Değerlerinin Hesaplanması ve Hava Kalitesi Ölçümü

SKHKKY (2014) Ek 2-Tablo 2.1 gereğince tesisin tümünden atmosfere bırakılan kütlesel debiler; karbonmonoksit 500 kg/sa, kükürtdioksit 60 kg/sa, azotdioksit 40 kg/sa, toz 10 kg/sa ve toplam uçucu organik bileşikler 30 kg/sa şeklindedir.

Sınır değerlerin aşılmadığı durumlarda ölçümlerle elde edilen hava kalitesi değerlerinin hesaplama yolu ile elde edilen hava kirlenmesine katkı değerlerinin ve bu değerlere teşkil edilen toplam kirlenme değerlerinin tespit edilmesine gerek bulunmamaktadır.

Tesiste emisyon ölçümleri gerçekleştirilen kaynağa ait baca gazı hızları mevcut baca yükseklikleri ve yönetmeliğe göre olması gereken değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Tesiste ölçümleri gerçekleştirilen Kojenler ve bacalar yerleşim planı üzerinde işaretlenmiş ve ölçümleri gerçekleştirilen bacaların atmosfere çıkış noktalarının şapka sistemlerinin ve numune alma deliklerinin görülebileceği fotoğraflar Ek 1, 2, 3'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tesiste ölçüm yapılan emisyon kaynaklarına ait baca bilgileri

Emisyon Kaynağı Adı/Kodu	Isıl Güç, MW	Baca Gazı Hızı, m/sn	Sınır Değer, m/sn	Çatı Tipi	Baca Yüksekliği Yerden, metre			Baca Yüksekliği Çatıdan, metre	
					Baca Yerden	Sınır Değer	Sınır Değer abak	Çatıdan	Sınır Değer
1	0,6	7,53	≥4,00	-	8,00	Yönetmelik gereğince sınır değer yoktur.	Yönetmelik gereğince sınır değer yoktur.	Baca çatıdan bağımsız yükselmektedir.	Yönetmelik gereğince sınır değer yoktur.
2	**0,8**	**7,77**	**≥4,00**	**-**	**8,00**	Yönetmelik gereğince sınır değer yoktur.	Yönetmelik gereğince sınır değer yoktur.	Baca çatıdan bağımsız yükselmektedir.	Yönetmelik gereğince sınır değer yoktur.

Baca gazı debisi Eşitlik 3.1'e göre hesaplanmıştır.

A= Baca Kesiti (m^2) dörtgensel kaynak için

$A = 3,14 \times 0,40^2 / 4 = 0,125663\ m^2$

$Q^g = 7,50 \times 0,125663 \times 3600 = 3392,92\ m^3/saat$

$$Q^k = \frac{3392,92 \times 760,48 \times 273 \times (1-11,3/100)}{760 \times (273+359,2)} = 1300,41\ m^3/saat$$

Yanma gazları Eşitlik 3.2'ye göre hesaplanmıştır.

CO için;

$$C\ gaz = \frac{491 \times 28}{22,4} = 613,75\ mg/Nm^3$$

$$C\ gaz\ (ref) = \frac{(21-5)\ X\ 613,75}{(21-9,49)} = 853,17\ mg/Nm^3, 682\ ppm$$

Bacadan çıkan tozun konsantrasyonu Eşitlik 3.3 ve 3.4'e, referans oksijene göre düzeltilmiş toz konsantrasyonu Eşitlik 3.5'e ve toz kütlesel debisi ise Eşitlik 3.6'ya göre hesaplanmıştır.

$$Vstd = \frac{231,5 \times 1 \times 273 \times (760,2 + (23/13,6))}{(273,2 + 16) \times 760} = 219,23\ l$$

$$C\ toz = \frac{0,00009 \times 1000}{219,23/1000} = 0,41\ mg/Nm^3$$

$$C\ toz\ (ref) = \frac{0,41 \times (21-5)}{(21-9,49)} = 0,57\ mg/m^3$$

$$E\ toz = \frac{0,41 \times 1300,41}{1.000.000} = 0,0005\ kg/saat$$

4.1.1. Baca Gazı Hızları

SKHKKY (2014) Ek.4-a.1. gereğince anma ısıl gücü 500 kW'ın üzerinde olan tesislerde baca gazı hızı en az 4 m/s olmalıdır. SKHKKY Ek.4-a.1. gereğince anma ısıl gücü 300 kW ve 500 kW arasında olan tesislerde gazların bacadan çıkış hızları en az 2 m/s olmalıdır. SKHKKY Ek.4-a.1. gereğince anma ısıl gücü 300 kW'ın altında olan tesislerde baca gazı hızı 2 m/sn'nin altında olabilir.

SKHKKY (2014) Ek.4-a.2. gereğince prosesten kaynaklanan atık gazlar serbest hava akımı tarafından engellenmeden taşınabilecek biçimde dikey çıkışla atmosfere verilmelidir. Bu amaçla gazların bacadan çıkış hızları cebri çekişin uygulanabildiği tesislerde en az 4 m/sn olmalıdır. SKHKKY (2014) Ek.4-a.3. gereğince bacalara şapka konulmasının teknik bir zorunluluk olması durumunda şapka bacanın bitiminden bir (1) baca çapı kadar yükseklikte olmalıdır.

4.1.2. Baca Yükseklikleri

SKHKKY (2014) Ek 4-b.1.1. gereğince anma ısıl gücü 500 kW'ın altında olan eğik çatılı tesislerde baca yüksekliği çatının en yüksek noktasından en az 0,5 m daha yüksek olmalıdır. SKHKKY (2014) Ek 4-b.1.2 gereğince anma ısıl gücü 500 kW altında olan düz çatılı tesislerde baca yüksekliği çatının en yüksek noktasından en az 1,5 m olmalıdır. SKHKKY (2014) Ek 4-b.2.1. gereğince anma ısıl gücü 500 kW ile 1,2 MW arasında bulunan eğik çatılı tesislerde baca yüksekliği

çatının en yüksek noktasından en az 1,5 m daha yüksek olmalıdır. SKHKKY (2014) Ek 4-b.2.2. gereğince anma ısıl gücü 500 kW ile 1,2 MW arasında bulunan düz çatılı tesislerde baca yüksekliği çatının en yüksek noktasından en az 2,0 m olmalıdır. SKHKKY (2014) Ek 4-b.3. gereğince anma ısıl gücü 1,2 MW ve üzerinde olan tesislerde baca yüksekliği aşağıda verilen esaslara göre belirlenir. Bacanın tabandan yüksekliği en az 10 m ve çatı üzerinden yüksekliği en az 3 m olmalıdır. Ayrıca abak ile baca yüksekliği hesabı yapılır. SKHKKY (2014) Ek 4-b.4. gereğince anma ısıl gücü olmayan tesislerde asgari baca yüksekliği dağılımı engellemeyecek şekilde yerden 10 m ve çatının en noktasından itibaren en az 1,5 m olmalıdır.

4.2. Gaz Motorlarında Metan Sayısı

Metan sayısı (MS), yanıcı gazın vuruntuya karşı dayanıklılığını ifade etmektedir. Hidrojen ve metandan oluşan bir bileşimin karışım oranı aracılığıyla, söz konusu gazın aynı derecede vuruntuya eğimli olduğunu tanımlamaktadır (MWM, 2017).

MS 100, vuruntusuz yanar (metan CH_4 için) ve MS 0, vuruntulu yanar (hidrojen H_2 için). Bileşiklerde CO_2 MS ile 100'ün üzerine çıkabilir. Metan sayısı MS, çeşitli bileşenlerin miktarına bağlıdır. Uzun zincirli hirokarbonlardaki en düşük konsantrasyonlar dahi metan sayısında MS ciddi oranda düşüş meydana gelmesine neden olmaktadır.

Örnekler:

- Propan gazı, %33'ü metandan ve %67'si hidrojenden oluşan bir bileşikle aynı vuruntu özelliğine sahiptir. Bu nedenle propan gazının metan sayısı 33 olarak kabul edilmektedir.

- %10'u bütan (MS 10) ve %90'ı metan gazından (MS 100) oluşan bir bileşiğin metan sayısı 91 değil, 51'dir (doğrusal bir akış söz konusu değildir).

Metan sayısı hesaplanmasında ve değerlendirilmesinde, MWM (2017)'nin hesaplama programı temel alınmaktadır.

Metan sayısı düşen veya düşük olan yanıcı gazlarda, vuruntulu bir yanma meydana gelme tehlikesi bulunmaktadır. Bu durum, aşırı mekanik ve termik zorlanmalar meydana gelmesine ve bunun sonucunda hasarlar oluşmasına neden olabilir.

Bazı gazların metan sayıları (MS) için örnekler:

Biyogaz	MS 120'den daha yüksek
Grizu (aktif maden ocağı)	MS yaklaşık 100
Grizu (kapatılmış maden ocağı galerileri)	MS yaklaşık 120
Metan (CH_4)	MS 100
Propan (C_3H_8)	MS 33
Bütan (C_4H_{10})	MS 10
Hidrojen (H_2)	MS 0 (tanım)

4.3. Yanıcı Gazların Sınır Değerleri

4.3.1. Standart Referans Koşulları

Standart referans koşullarına dönüştürme hesaplaması için 0 °C'lik (273,15 K'ya eşdeğer) bir sıcaklık tn ve 1013,25 mbar'lık bir mutlak basınç pn değeri alınmalıdır.

4.3.2. Hesaplama Örnekleri

Standart metre küp: 35 °C'lik bir sıcaklık tb, 100 mbar'lik bir aşırı basınç pb,ü ve 970 mbar'lik bir çevre basıncındaki pBarometre bin metreküp gaz vb, aşağıdaki formüller kullanılarak standart duruma dönüştürülmektedir .

$Vn = Vb \times ((pb,ü + pBarometre) / pn) \times ((tn + 273,15\ K) / (tb + 273,15\ K))$

$936\ m^3n = 1000\ m^3 \times ((100 + 970) / 1013,25) \times ((0 + 273,15) / (35 + 273,15))$

Isıtma değeri referansı:

Ölçülmüş olan %50 hacimlik bir CH_4 konsantrasyonunda (5 kWh/mn^3'e eşdeğerdir), 500 ppm H_2S konsantrasyonu ölçülmektedir. Bunun sonucunda 10 kWh/mn^3 ile bağlantılı olarak 1000 ppm HS konsantrasyonu ortaya çıkmaktadır.

Yanma özellikleri için sınır değerleri listesi Çizelge 4.2-4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yanma özellikleri için sınır değerleri listesi 1

Metan sayısı	
Metan sayısı (MZ)	33'dan 150'ya kadar
Değişiklik hızı	5 MZ'den küçük/min
Isıtma değeri	
Alt ısıtma değeri H_i	4,5 kWh/Nm^3'ten 26 kWh/Nm^3'e kadar
Değişiklik hızı	%5'ten küçük/min

Çizelge 4.3. Yanma özellikleri için sınır değerleri listesi 2

Gaz kalitesi	Low	Medium	High
Kükürt (toplam S)			
10 kWh başına	2200 mg'dan küçük	440 mg'dan küçük	15 mg'dan küçük
Hidrojen sülfür (toplam H_2S)			
10 kWh'ya göre	1500 ppm'den küçük (%0,15 volüme eşdeğer)	300 ppm'den küçük (%0,03 volüme eşdeğer)	10 ppm (%0,001 volüme eşdeğer)
Klor (toplam Cl)			
10 kWh başına	100 mg'dan küçük	20 mg'dan küçük	2 mg'dan küçük
Florür (toplam F)			
10 kWh başına	50 mg'dan küçük	10 mg'dan küçük	1 mg'dan küçük
Klor ve florür (Cl ve F toplamı)			
10 kWh başına	100 mg'dan küçük	20 mg'dan küçük	2 mg'dan küçük
Amonyak (toplam NH_3)			
10 kWh başına	150 mg'dan küçük	30 mg'dan küçük	2 mg'dan küçük
Nem* (bağıl nem φ)	%80'den düşük	%50'den düşük	%50'den düşük
* Tüm gaz hattı sisteminin en düşük sıcaklık değerinde			
Silisyum bileşikleri (toplam VOSiC)			
10 kWh başına	20 mg'dan küçük	1 mg'dan küçük	0 mg
Toz miktarı			
Toplam 10 kWh başına	10 mg'dan küçük	2 mg'dan küçük	0,5 mg'dan küçük
Partikül büyüklüğü	3 mm'den büyük	2 µm'den büyük	2 µm'den büyük

Çizelge 4.4. Gaz kalitesi çizelgesi

Gaz kalitesi	Low	Medium	High
Yüksek hidrokarbon bağlantıları ve katranlar			
C5'den yüksek / C10'dan düşük			
10 kWh başına	3000 mg'dan küçük	600 mg'dan küçük	100 mg'dan küçük
C10'dan büyük/eşit			
10 kWh başına	250 mg'dan küçük	50 mg'dan küçük	10 mg'dan küçük
C12'dan büyük/eşit			
Nm^3 başına	0,5 mg'dan küçük	0 mg	0 mg

Çizelge 4.5. Sınır değerler çizelgesi

Ön basınç (gaz kontrol hattı girişi)
20 ile 200 mbar arası
Gaz basıncı dalgalanmaları
Ayarlı değerin +/- % 10'u
Dalgalanma frekansı
10/h'ten düşük
Gaz sıcaklığı
10 ile 50 °C arası
Bundan farklı olarak sıvı gaz - propan (DIN 51622'ye göre) LNG (sıvılaştırılmış doğalgaz) için kok gazı ve petrol bileşik gazı geçerlidir
Gaz sıcaklığı
35 °C'den daha yüksek

4.4. Baca Gazı Emisyon Değerleri

600 kW Gaz motoru bacası 1 no lu baca olarak adlandırılmaktadır. Bacadan ölçülen emisyon değerleri Çizelge 4.6'da Testo 350 yazıcı çıktıları ise Ek 9'da verilmiştir.

800 kW Gaz motoru bacası 2 no lu baca olarak adlandırılmaktadır. Bacadan ölçülen emisyon değerleri Çizelge 4.7'de Testo 350 yazıcı çıktıları ise Ek 10'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 600 kW Gaz motoru bacası emisyon değerleri

O_2 (%)	9,49	9,38	9,17
CO (ppm)	491	491	492
NO (ppm)	222	222	226
NO_2 (ppm)	3,3	3,5	1,5
NO_x (ppm)	225,3	225,4	227,5
SO_2 (ppm)	0	0	0
CO_2 (%)	0	0	0
Ortam sıcaklığı (°C)	22	22,2	22,7
Baca gazı sıcaklığı (°C)	359,2	358,2	361,0
Net verim (%)	100	100	100
Pompa debisi (l/dk)	0,96	0,97	0,97

Çizelge 4.7. 800 kW Gaz motoru bacası emisyon değerleri

O_2 (%)	9,47	9,61	9,73
CO (ppm)	577	563	554
NO (ppm)	192	189	189
NO_2 (ppm)	1,4	1,2	1,2
NO_x (ppm)	193,4	190,2	190,2
SO_2 (ppm)	0	0	0
CO_2 (%)	0	0	0
Ortam sıcaklığı (°C)	19,5	19,6	19,5
Baca gazı sıcaklığı (°C)	355,8	355,0	355,8
Net verim (%)	100	100	100
Pompa debisi (l/dk)	0,98	0,96	0,96

4.5. Baca Gazı Emisyon Ölçümlerindeki Değerlerin Açıklanması

Oksijen (O_2): Yakıt cinsine ve hava fazlalık katsayısına bağlı olarak, karbonmonoksit oluşumuna neden olmayacak şekilde, baca gazları içerisinde oksijen oranının mümkün olduğunca düşük olması istenmektedir.

%9-10 arası oksijen oranı verimli yanma ve baca gazı analizleri için ideal değerler olarak kabul edilmektedir.

Karbonmonoksit (CO): Neden olduğu enerji kaybı ve islilik sonucu kirlenme nedeniyle karbonmonoksit, baca gazları içerisinde limitler üzerinde

olması arzu edilmemektedir. Baca gazı analizlerinde karbonmonoksit miktarı yasal sınırlamalar doğrultusunda sınır değer 1120 ppm'dir.

Azotoksitler (NO_x): Yakıt cinsine bağlı olarak, yanma esnasında verilen havanın fazlalık katsayısı ile sistemdeki yanma odası dizaynından kaynaklanan nedenlerle oluşan azotoksitler, çevre açısından emisyon kabul edilmektedir. Yakıt hava ayarının elverdiği oran dışında azotoksitlere müdahale imkanı bulunmamakta ve dikkate alınması gereken bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Baca gazı analizlerinde azotoksit miktarları yasal sınırlamalar doğrultusunda sınır değer 1120 ppm'dir.

Kükürtdioksit (SO_2): Yakıt içerisindeki kükürtün yanmasıyla ortaya çıkan kükürtdioksit, çevre için tehlikeli emisyonların başında kabul edilmektedir. Baca gazı analizlerinde kükürtdioksit miktarları yasal sınırlamalar doğrultusunda sınır değer 67,2 ppm'dir.

Baca gazı emisyon değerlerinin detaylı ölçüm sonuçları Çizelge 4.8-4.10'da verilmiş ve yasal sınırlamar doğrultusunda değerlendirmeleri yapılmıştır.

4.6. Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Pamukova Yenilenebilir Enerji ve Elektrik Üretim Anonim Şirketi-Sakarya Şubesi'nde gerçekleştirilen emisyon ölçümlerine ilişkin sonuçlar SKHKKY (2014)'e göre değerlendirilmiştir.

4.7. Tesisin SKHKKY Ek 1'e göre Değerlendirilmesi

Ek 1.a. İs

Tesiste bu şekilde değerlendirilebilecek bir kirletici mevcut değildir.

Ek 1.b. Toz Şeklinde Emisyonların Değerlendirilmesi

Tesiste bulunan 1 ve 2 nolu bacalardan kaynaklanan toz emisyonları SKHKKY Ek gereğince değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.8. 600 kW Gaz motoru bacasına ait özellikler ve ölçüm sonuçları

Isıl Güç	0,6 MW	Yakıt	Biogaz

Baca No	Baca Çapı (m)	Yerden Yük. (m)	Çatıdan Yük. (m)
1	0,40	8,00	-[5]
Sınır Değer (Ek 4)		-[1]	-[1]

Ölçülen Parametre	Ölçümler			Ortalama	Sınır Değerler
	1	2	3		K Katsayılı
Baca Sıcaklığı (°C)	359,2	358,2	361,0	359,5	
Yanma Verimi (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	
Nem (%)	11,3	11,3	11,3	11,3	
Barometrik Basınç (mmHg)	760,48	760,48	760,48	760,48	
O_2 (%)	9,49	9,38	9,17	9,3	
Baca Gazı Hızı (m/sn)	7,50	7,60	7,50	7,53	4 [2]
Baca Kesiti (m2)	0,13	0,13	0,13	0,13	
Gerçek Bacagazı Debisi (m^3/saat)	3392,92	3436,16	3392,92	3408,00	
N.Ş. Larda Kuru Bacagazı Debisi (Nm^3/saat)	1300,41	1319,83	1296,72	1305,65	
CO Kons (ppm)	491	491	492	491,33	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	613,75	613,75	615,00	614,17	
CO Kons. (mg/Nm^3) % 5 O_2	853,17	845,09	831,78	843,35	1,120 [4]
CO Kütlesel Debisi (kg/saat)	0,7981	0,8100	0,7975	0,8019	5 [3]
SO_2 Kons (ppm)	<1	<1	<1	<1,00	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	<2,86	<2,86	<2,86	<2,86	
SO_2 Kons. (mg/Nm^3) % 5 O_2	<3,97	<3,93	<3,86	<3,92	67,2 [4]
SO_2 Kütlesel Debisi (kg/saat)	<0,0037	<0,0038	<0,0037	<0,0037	60 [3]
NO Kons (ppm)	222	222	226	223,33	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm3)	297,32	297,32	302,68	299,11	
NO Kons. (mg/Nm3) % 5 O_2	413,31	409,39	409,37	410,69	-[1]
NO Kütlesel Debisi (kg/saat)	0,3866	0,3924	0,3925	0,3905	20 [3]
NO_2 Kons (ppm)	225,3	225,4	227,5	226,07	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	462,67	462,88	467,19	464,24	
NO_2 Kons. (mg/Nm^3) % 5 O_2	643,16	637,35	631,87	637,46	1,120 [4]
NO_2 Kütlesel Debisi (kg/saat)	0,6017	0,6109	0,6058	0,6061	-[1]
Toz Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,41	0,50	0,36	0,43	
Toz Kons. (mg/Nm3) % 5 O_2	0,57	0,69	0,49	0,58	145,6 [4]
Toz Kütlesel Debisi (kg/saat)	0,0005	0,0007	0,0005	0,0006	10 [3]

Baca gazındaki NO ve NO_2 emisyonları toplamı NO_2 cinsinden ifade edilmiştir.
[1] Yönetmelik gereğince sınır değer yoktur.
[2] SKHKKY Ek 4'de yer alan sınır değerlerdir.
[3] SKHKKY Ek 3'de yer alan sınır değerlerdir.
[4] SKHKKY Ek 5.A.2.7.1. gereğince K katsayısına göre hesaplanmış sınır değerlerdir.
[5] Baca çatıdan bağımsız yükselmektedir.

Çizelge 4.9. 800 kW Gaz motoru bacasına ait özellikler ve ölçüm sonuçları

Isıl Güç	0,8 MW	Yakıt	Biogaz
Baca No	**Baca Çapı (m)**	**Yerden Yük. (m)**	**Çatıdan Yük. (m)**
2	0,40	8,00	-[5]
Sınır Değer (Ek 4)		-[1]	-[1]

Ölçülen Parametre	Ölçümler 1	2	3	Ortalama	Sınır Değerler K Katsayılı
Baca Sıcaklığı (°C)	355,8	356,0	355,8	355,9	
Yanma Verimi (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	
Nem (%)	12,6	12,6	12,6	12,6	
Barometrik Basınç (mmHg)	760,48	760,48	760,48	760,48	
O_2 (%)	9,47	9,61	9,72	9,6	
Baca Gazı Hızı (m/sn)	7,80	7,70	7,80	7,77	4 [2]
Baca Kesiti (m2)	0,13	0,13	0,13	0,13	
Gerçek Bacagazı Debisi (m^3/saat)	3528,64	3483,40	3528,64	3513,56	
N.Ş. Larda Kuru Bacagazı Debisi (Nm^3/saat)	1339,81	1322,21	1339,81	1333,94	
CO Kons (ppm)	577	563	554	564,67	
CO Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	721,25	703,75	692,50	705,83	
CO Kons. (mg/Nm^3) % 5 O_2	1000,87	988,59	982,27	990,57	1.180 [4]
CO Kütlesel Debisi (kg/saat)	0,9663	0,9305	0,9278	0,9416	5 [3]
SO_2 Kons (ppm)	<1	<1	<1	<1,00	
SO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	<2,86	<2,86	<2,86	<2,86	
SO_2 Kons. (mg/Nm^3) % 5 O_2	<3,96	<4,01	<4,05	<4,01	70,8 [4]
SO_2 Kütlesel Debisi (kg/saat)	<0,0038	<0,0038	<0,0038	<0,0038	60 [3]
NO Kons (ppm)	192	189	189	190,00	
NO Konsantrasyonu (mg/Nm3)	257,14	253,13	253,13	254,46	
NO Kons. (mg/Nm3) % 5 O_2	356,83	355,58	359,04	357,15	-[1]
NO Kütlesel Debisi (kg/saat)	0,3445	0,3347	0,3391	0,3394	20 [3]
NO_2 Kons (ppm)	193,4	190,2	190,2	191,27	
NO_2 Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	397,16	390,59	390,59	392,78	
NO_2 Kons. (mg/Nm^3) % 5 O_2	551,13	548,68	554,03	551,28	1.180 [4]
NO_2 Kütlesel Debisi (kg/saat)	0,5321	0,5164	0,5233	0,5240	-[1]
Toz Konsantrasyonu (mg/Nm^3)	0,44	0,48	0,35	0,42	
Toz Kons. (mg/Nm3) % 5 O_2	0,61	0,67	0,50	0,59	153,4 [4]
Toz Kütlesel Debisi (kg/saat)	0,0006	0,0006	0,0005	0,0006	10 [3]

Baca gazındaki NO ve NO_2 emisyonları toplamı NO_2 cinsinden ifade edilmiştir.
[1] Yönetmelik gereğince sınır değer yoktur.
[2] SKHKKY Ek 4'de yer alan sınır değerlerdir.
[3] SKHKKY Ek 3'de yer alan sınır değerlerdir.
[4] SKHKKY Ek 5 A.2.7.1. gereğince K katsayısına göre hesaplanmış sınır değerlerdir.
[5] Baca çatıdan bağımsız yükselmektedir.

Çizelge 4.10. Tesiste ölçüm yapılan kaynaklara ait toplam emisyonlar

Emisyon Kaynağı Kod / Ad	Parametre (kg/saat)				
	CO	SO_2	NO	NO_2	TOZ
1	0,8019	< 0,0037	0,3905	0,6061	0,0006
2	0,9416	< 0,0038	0,3394	0,5240	0,0006
TOPLAM DEĞER	1.7435	0,0075	0,7299	0,7299	0,0012
SINIR DEĞERLER					
SKHKKY Ek-3.d	5	60	20	-	10
SKHKKY Ek-2 Baca	500	60	-	40	10

Ek 1.c. Açıkta Depolanan Yığma Malzeme

Tesiste açıkta depolanan yığma malzeme yoktur.

Ek 1.d Toz Yapıcı Yanma ve Üretim Artıklarının Taşınması ve Depolanması

Tesise toz yapıcı yanma ve üretim atıkları olmadığından yönetmeliğin bu hükmüne tabi değildir.

Ek 1.e Tesis İçi Yolların Durumu

Tesis içi yollar beton ile kaplıdır ve düzenli sulama, süpürme yapılmaktadır.

Ek 1.f Filtrelerin Boşaltılması

Filtre sistemi mevcut değildir.

Ek 1.g. Atık Gazlardaki Özel Tozların Emisyonları İçin Sınırlar

Tesiste emisyon kaynaklarında yapılan ölçüm sonucu belirlenen toplam toz emisyon miktarı 0,1 kg/sa altında olduğundan toz analizi yapılmasına gerek yoktur.

Ek 1.h. Atık Gazlardaki Gaz ve Buhar Emisyonları

Tesiste bu şekilde değerlendirilebilecek bir kirletici mevcut değildir.

Ek 1.i Kanser Yapıcı Maddelerin Emisyon Sınırları

Tesiste bu şekilde değerlendirilebilecek bir kirletici mevcut değildir.

Ek 1.j Aşırı Derecede Tehlikeli Maddeler
Tesiste bu şekilde değerlendirilebilecek bir kirletici mevcut değildir.

4.8. Tesisin SKHKKY Ek 2'ye göre Değerlendirilmesi

SKHKKY Ek 2-Tablo 2.1. gereğince gaz biçimindeki emisyonların kütlesel debileri değerlendirilmiş olup elde edilen değerler sınır değerleri aşmadığından Hava Kalitesi Değerlerinin hesapla elde edilen Hava Kirlenmesine Katkı Değerlerinin ve bu değerlerle teşkil edilen Toplam Kirlenme Değerlerinin tespit edilmesine gerek yoktur.

4.9. Tesisin SKHKKY Ek 3'e göre Değerlendirilmesi

4.9.1. Toz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü

SKHKKY Ek 3-d.2. gereğince emisyon kaynağından atmosfere atılan toz emisyonu kütlesel debileri değerlendirilmiş olup sınır değerler aşılmadığından yazıcılı ölçü aletleri ile sürekli olarak ölçümü gerekmemektedir.

4.9.2. Gaz Emisyonlarının Sürekli Ölçümü

SKHKKY Ek 3-d.3 gereğince gaz biçimindeki emisyonların kütlesel debileri değerlendirilmiş olup sınır değerlerini aşmadığından yazıcılı ölçü aletleri ile sürekli olarak ölçüme gerek yoktur.

4.10. Tesisin SKKHKKY Ek-4'e göre Değerlendirilmesi

4.10.1. Baca Gazı Hızlarının Değerlendirilmesi

Tesiste bulunan 1 ve 2 no lu bacalara ait baca gazı hızları SKHKKY Ek 4-a.1. gereğince değerlendirilmiş olup, baca gazı hızları yönünden yönetmelikte belirtilen şartlar sağlanmaktadır. Tesiste bulunan şapkaları olan bacalara ait şapka

yükseklikleri SKHKKY Ek 4-a.3. gereğince değerlendirilmiş olup şapka yükseklikleri yönünden yönetmelikte belirtilen şartlar sağlanmaktadır.

4.10.2. Baca Yüksekliklerinin Değerlendirilmesi

Tesiste bulunan 1 ve 2 no lu baca bağımsız yükseldiğinde herhangi bir sınır değer bulunmamaktadır.

4.11. Tesisin SKHKKY Ek 5'e göre Değerlendirilmesi

Tesiste bulunan 1 ve 2 no'lu bacalardan kaynaklanan toz konsantrasyonları SKHKKY Ek 5-a.2.7.1 gereğince değerlendirilmiş olup ölçüm sonuçları sınır değerlerin altında kaldığından Yönetmelikte belirtilen şartlar sağlanmaktadır. Tesiste bulunan 1 ve 2 no'lu bacalardan kaynaklanan CO konsantrasyonları SKHKKY Ek 5-a.2.7.1 gereğince değerlendirilmiş olup ölçüm sonuçları sınır değerlerin altında kaldığından Yönetmelikte belirtilen şartlar sağlanmaktadır. Tesiste bulunan 1 ve 2 no'lu bacalardan kaynaklanan NO_2 konsantrasyonları SKHKKY Ek 5-a.2.7.1 gereğince değerlendirilmiş olup ölçüm sonuçları sınır değerlerin altında kaldığından Yönetmelikde belirtilen şartlar sağlanmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyogaz enerjisi oldukça avantajlı bir yenilenebilir enerji türü olup, hemen hemen hiçbir dezavantajı bulunmayan bir enerji kaynağıdır. Çünkü biyogaz tesisi kurulduğunda, doğaya, çevreye ve insanlara hiç bir zarar ve rahatsızlık vermez. Biyogaz üretilip kullanım alanının genişletilmesi için biyogaz içerisindeki asıl enerji kaynağı olan Metan (CH_4) oranının arttırılması gerekmektedir. Biyogazın enerji seviyesinin yükseltilmesi ve nakledilebilir hale getirilmesi bu tür tesislerin emisyon değerlerininde kararlı hale getirilmesinin bir basamağıdır.

Biyogazın depolama, kullanım ve nakliyesinde problemler oluşturan ana bileşenler H_2S, H_2O, CO_2'dir. Biyogazı oluşturan bu ana bileşenlerin miktarının Biyogaz saflaştırılması esnasında, bu konsantrasyon limitlerinin ne kadar aşağı seviyelere çekilebilir ise, Biyogazın kullanılacak sistemlerdeki makine / ünite verimleri de o kadar yüksek olabilmekle birlikte, yanma sonucu açığa çıkan emisyon limitlerinde de düşüş olacaktır.

Bu tez çalışmasında, Adapazarı İli Pamukova İlçesi'nde bulunan Biosun Katı Atık ve Enerji Üretim A.Ş. tesisi ve bu tesiste kullanılmakta olan, yakıt bileşimi ortalama %55-60 metan ve %40-45 karbondioksitten meydana gelen biyogaz, kojenerasyon ünitesinde bulunan 2 adet içten yanmalı motorların çalıştırılmasında kullanılmakta olup, bacagazı emisyonlarının düzenli ve yasal sınırlar altında tutulabilinmesi için aşağıda yazılı olan tedbirlerin alınması ve çalışmaların yapılması ile sürdürülebilirliğini devam ettirmektedir.

- Fermentasyon tankında üretimi yapılan biyogazın sürekli izleme-kontrol ve analizlerinin yapılması
- Üretilen biyogaz içerisindeki metan oranının sürekli yüksek tutulması ve on-line analizör ile izlenmesi
- Mevcut H_2S kolonunun düzenli kontrol ve bakımlarının yapılması

- H_2S Kolon sonrası su tutucu filtrenin (Water-Trap) düzenli kontrol ve bakımlarının yapılması
- Kojenerasyon ünitesinde bulunan içten yanmalı motorlara biyogaz transferi esnasında sürekli biyogaz on-line analizatör ile ölçümler yapılması
- Kojenerasyon ünitesinde bulunan içten yanmalı motorlarda yanma havası ve yakıt karışımının en verimli şekilde tutulabilmesi için motor gaz mikser ayarının çok iyi yapılıp, makinaların periyodik bakımlarının zamanında yaptırılması ve sürekli izlenmesi.

Biyogaz yakıtlı içten yanmalı motorlarda, yanma verimi ne kadar yüksek olursa, bacagazı emisyon değerleri de o kadar düşük olmakta ve çevreye salınımı yapılan karbon monoksit gaz salınımı da çok daha az olmaktadır. Yukarıda yazılan sonuçlar dahilinde, içten yanmalı motorlarda yanma veriminin artırılması, biyogaz üretim safhalarının en başından en sonuna kadar sürekli olarak kontrol altında tutulması ve kullanılan motorların periyodik bakımlarının aksatılmadan yapılması ile mümkün olabilmektedir.

KAYNAKLAR

Artek, Mühendislik Çevre Ölçüm ve Danışmanlık Hizm. Tic. A.Ş. Yanma Gazları ve Toz Emizyon Raporu 22.12.2015 Pamukova Yenilenebilir Enerji ve Elektrik Üretim A.Ş., Pamukova-Adapazarı.

ASTM, 1971. Standard Method for Sampling Stacks for Particulate Matter. In: 1971 Book of ASTM Standards, Part 23. ASTM Designation D 2928-71. Philadelphia, PA.

BDI, 2011. BDI-BioEnergy International AG Biotech Energy Tesis Katalogları/Hexagon Katı Atık Pamukova Tesisi, Adapazarı.

Brooks, E.F., R.L. Williams, 1976. Flow and Gas Sampling Manual. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC. Publication No. EPA-600/2-76-203. pp. 93.

Chanakya, H.N., Venkatsubramaniyam, R., Modak, J., 1997. Fermentation and Methanogenic Characteristics of Leafy Biomass Feedstocks in a Solid Phase Biogas Fermentor, J Bioresource Technology, 62, p. 71-78.

Coşkun, T., 2006. Tavuk Kesimhanesi Atıksularının Yeni Geliştirilen Bir Anaerobik Reaktörle Arıtımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Çift, B. D., Okutan, H., 2010. Baca Gazı Desülfürizasyon Proseslerinin Ekonomik ve Teknik Analizi, İTÜ dergisi/d Mühendislik, 9(4), s. 85-96.

Dahiya, A. K., Vasudevan, P., 1986. Biogas Plant Slurry as an Alternative to Chemical Fertilizers, Biomass 9(1), p. 67-74.

Dalkılıç, K., Uğurlu, A., 2013. Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi, Tavukçuluk Araştırma Dergisi, 10, s. 14-19.

Ellenrieder, J., Schieder, D., Mayer, W., Faulstich, M., 2010. Combined mechanical enzymatic pre-treatment for an improved substrate conversion when fermenting biogenic resources', Engineering in Life Sciences, 10, 6, 544-551.

İlkiliç, C., Deviren, H., 2011. Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Parametreler, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, s. 123-131, Elazığ.

Kaya, D., Tırıs, M., Yaldız, O., Saraç, H., Ekinci, K., Koçar, G., Karaman, N., Ayan, E., Saraç, M., "Bitkisel ve Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi ve Entegre Enerji Üretim Sisteminde Kullanımı (Biyogaz) Projesi", Mühendis ve Makina, Sayı 593, s. 1-13, 2009.

Li Z. F., Yin, F. B., Li, H. Y., Wang, X. X., Lian, J., 2013. A Novel Test Method for Evaluating the Methane Gas Permeability of Biogas Storage Membrane, Renewable Energy, 60, p. 572-577.

MWM, 2017. Gaz Motorları, 0199 - 99 - 03017/05 TR

Öztürk, İ., 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı Yayınları, 1999, 11-46.

Öztürk, M., 2005. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Müsteşarlığı, Ankara.

Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY), 20.12.2014 tarih 29211 sayılı Resmi Gazete

Speece, R. E., 1983. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment, Env Sci Technol, 17(9), 416–426.

Standard Method for Sampling Stacks for Particulate Matter. In: 1971 Book of ASTM Standards, Part23. ASTM Designation D 2928-71. Philadelphia, PA. 1971.

Şerit, G., Yiğit, K.S., Gündüz, M., Şengün, M., Toraman, M., 2009. İki Fazlı Biyogaz Üretim Tesislerinde Gaz Üretimine Etki Eden Parametreler, EVK 2009, 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 232-237.

Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Yardımcı, S., Reiter, R., 2008. Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, İstanbul.

Tolay, M., Yamankaradeniz, H., Yardımcı, S., Reiter, R., 2008. Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, 17-19, İstanbul.

Zhao, Q., Leonhardt, E., MacConnell, C., Frear, C., Chen, S., 2010. Purification Technologies for Biogas Generated by Anaerobic Digestion, CSANR Research Report 2010001, p. 1-24.

www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx

www.emo.org.tr

www.endustri-dunyasi.com/makale/biyogaz-kurutma-sistemi/

ÖZGEÇMİŞ

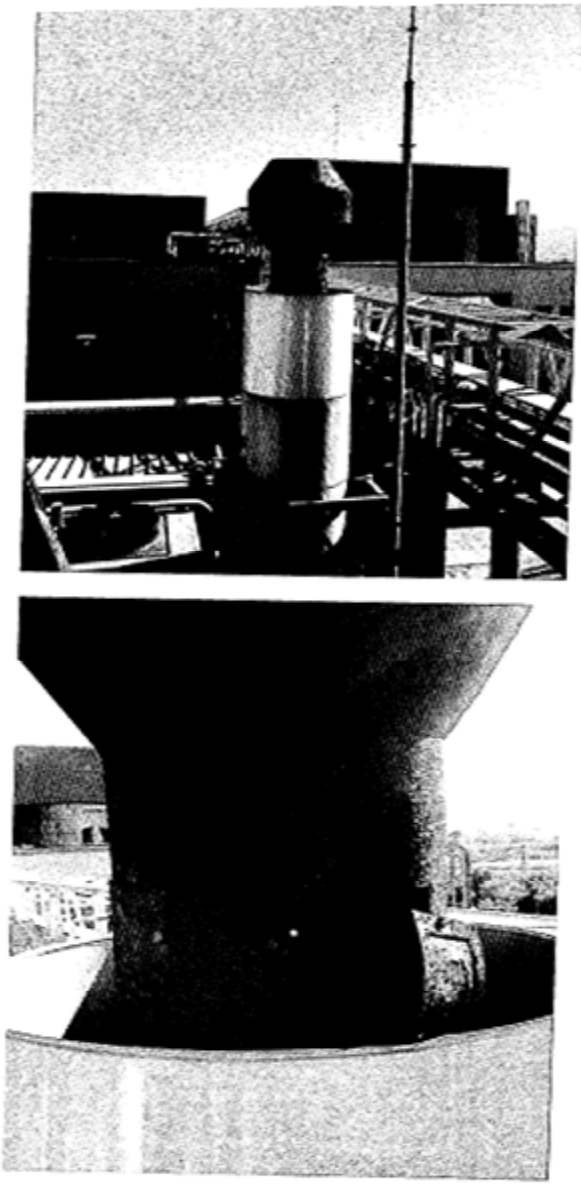
19 Ağustos 1977 tarihinde Silifke'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Lüleburgaz'da tamamladı. 1994 yılında başladığı Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 1999 yılında mezun oldu. 2001 yılı Eylül ayında Artvin Deriner Barajı ve 670 MW Hidroelektrik Santrali inşaatında Proje Mühendisi olarak iş hayatına başladı. Sırası ile Akenerji Elektrik Üretim A.Ş. Çerkezköy Santrali, Egemer Elektrik Üretim A.Ş. Hatay, Akenerji Elektrik Üretim A.Ş. (Mardin) ve Biosun Pamukova Yenilenebilir Enerji ve Elektrik Üretimi A.Ş. (Sakarya)'de kurulum, bakım ve onarım departmanlarında çeşitli görevler aldı. Halen Eren Holding'e bağlı Modern Enerji Elektrik Üretim A.Ş. (Tekirdağ)'de Tesis Müdür Yardımcısı ve kurulumu yapılmakta olan 240 TPH CFBC (Circulating Fluidised Bed Combustion) Kömür Santralinde Proje Saha Müdürü olarak çalışmaktadır.

EKLER

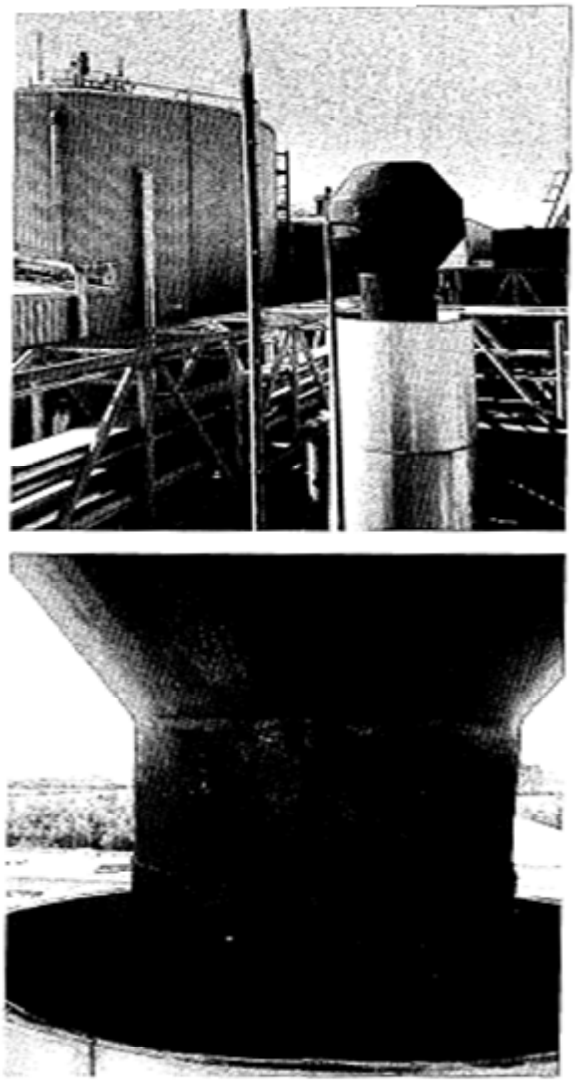
Ek 1. Kojen 1 ve Kojen 2



Ek 2. 600 kW gaz motoru bacası



Ek 3. 800 kW gaz motoru bacası



Ek 4. Ölçümde kullanılan cihazın kalibrasyon sertifikaları

PROTOS	KALİBRASYON ÖLÇÜM EĞİTİM VE DANIŞMANLIK HİZMETLERİ TİCARET LTD. ŞTİ. KALİBRASYON LABORATUVARI	PROTOS
		887/2015
		06-15

1. Test Edilen Cihaz

Adı	Üretici	Model / Tip	Seri No	Ölçme aralığı veya Tanımlama
Baca Gazı Analiz Cihazı	Testo	350	02795690/405	Karbonmonoksit(CO) Azotoksit (NO) Azotdioksit (NO_2) Oksijen (O_2) Kükürtdioksit (SO_2)

2. Kalibrasyonun Yapıldığı Yer : Protos Kalibrasyon Laboratuarı

3. Cihazın Laboratuara Kabul Tarihi : 08.06.2015

4. Kalibrasyonda Kullanılan Referans Cihaz ve Malzemeler :

Adı	Üretici	İçerik	Miktar (ppm)	Hassasiyet (%)	İzlenebilirlik
Environics Gas Blender Sytem	Environics	-	-	± 0,3	
Referans Gaz Tüpü	Linde Gaz	CO	4971	± 2	Linde Gas 20130219
Referans Gaz Tüpü	Air Products	SO_2	4996	± 2	Linde Gas 20130216
Referans Gaz Tüpü	Air Products	NO	4780	± 2	Linde Gas 20130208
Referans Gaz Tüpü	Air Products	O_2	% 24,77	± 2	Linde Gas 20130214

Ek 5. Ölçümde kullanılan cihazın kalibrasyon sertifikaları

PROTOS

KALİBRASYON ÖLÇÜM EĞİTİM VE DANIŞMANLIK HİZMETLERİ TİCARET LTD. ŞTİ. KALİBRASYON LABORATUVARI

PROTOS
887/2015
06-15

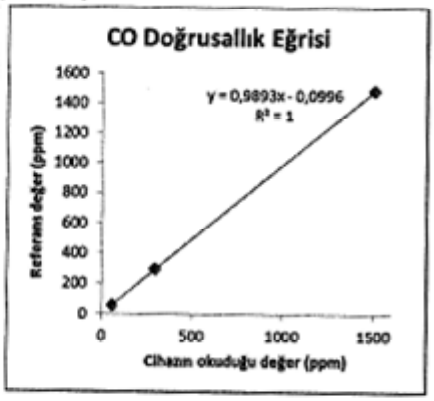
6. Çevre Şartları

Sıcaklık: (23±0,5) °C Bağıl Nem:%(45,0±5,0) Basınç: (1002±2,0)mbar

7. Kalibrasyon Sonuçları

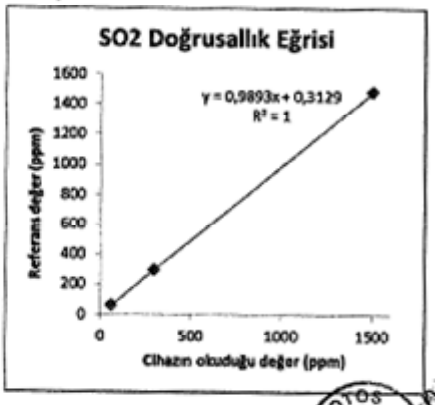
Tablo 1. Karbonmonoksit Gazı Kalibrasyon Sonuçları

Referans Gazlar	Karbonmonoksit (CO) ppm		
	60,1	300,6	1502,6
1. Ölçüm	60	297	1486
2. Ölçüm	60	297	1486
3. Ölçüm	59	298	1484
4. Ölçüm	59	296	1489
5. Ölçüm	60	298	1485
6. Ölçüm	59	299	1488
7. Ölçüm	59	298	1486
8. Ölçüm	60	296	1489
9. Ölçüm	59	296	1487
10. Ölçüm	60	296	1484
Ortalama	59,5	297,1	1486,4



Tablo 2. Kükürtdioksit Gazı Kalibrasyon Sonuçları

Referans Gazlar	Kükürtdioksit (SO_2) ppm		
	60,1	300,6	1502,6
1. Ölçüm	59	299	1487
2. Ölçüm	60	297	1489
3. Ölçüm	59	299	1487
4. Ölçüm	60	297	1488
5. Ölçüm	60	297	1486
6. Ölçüm	60	297	1486
7. Ölçüm	60	299	1484
8. Ölçüm	59	299	1485
9. Ölçüm	60	297	1487
10. Ölçüm	59	298	1489
Ortalama	59,6	297,9	1486,8



Bu sertifika, laboratuarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.
İmzasız ve mührsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ek 6. Ölçümde kullanılan cihazın kalibrasyon sertifikaları

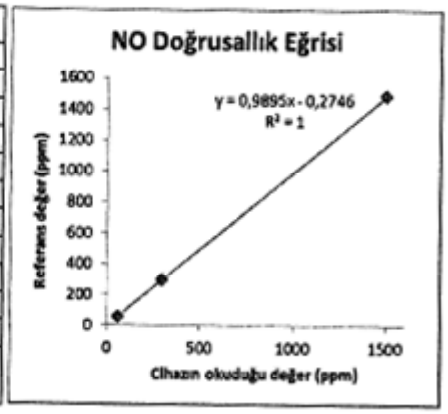
PROTOS

KALİBRASYON ÖLÇÜM EĞİTİM VE DANIŞMANLIK HİZMETLERİ TİCARET LTD. ŞTİ. KALİBRASYON LABORATUVARI

PROTOS
887/2015
06-15

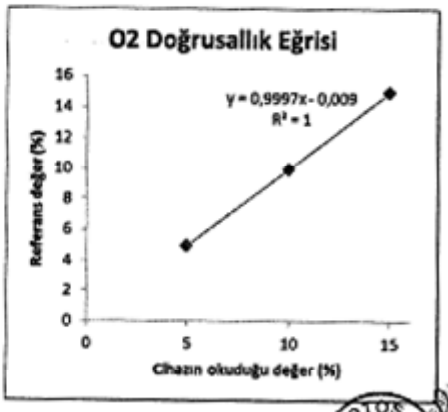
Tablo 3. Azotoksit Gazı Kalibrasyon Sonuçları

Referans Gazlar	Azotoksit (NO) ppm		
	60,1	300,6	1502,6
1. Ölçüm	59	296	1489
2. Ölçüm	59	296	1485
3. Ölçüm	59	297	1488
4. Ölçüm	59	296	1489
5. Ölçüm	60	297	1485
6. Ölçüm	60	296	1485
7. Ölçüm	60	297	1485
8. Ölçüm	60	298	1486
9. Ölçüm	60	299	1489
10. Ölçüm	59	296	1485
Ortalama	59,5	296,8	1486,6



Tablo 5. Oksijen Gazı Kalibrasyon Sonuçları

Referans Gazlar	Oksijen (O_2) %		
	4,98	9,99	14,99
1. Ölçüm	4,97	9,97	14,96
2. Ölçüm	4,96	9,97	14,96
3. Ölçüm	4,96	9,97	14,99
4. Ölçüm	4,96	9,98	14,99
5. Ölçüm	4,97	9,99	14,96
6. Ölçüm	4,96	9,99	14,97
7. Ölçüm	4,98	9,99	14,99
8. Ölçüm	4,98	9,99	14,98
9. Ölçüm	4,96	9,98	14,98
10. Ölçüm	4,98	9,98	14,97
Ortalama	4,97	9,98	14,98



Bu sertifika, laboratuarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanıp çoğaltılamaz.
İmzasız ve mührüsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.

FR510.01

Ek 7. Ölçümde kullanılan cihazın kalibrasyon sertifikaları



TÜRKAK
TÜRK AKREDİTASYON KURUMU
TURKISH ACCREDITATION AGENCY
tarafından akredite edilmiş

testo
KALİBRASYON LABORATUVARI

AB-0028-K
SKC10096
06-14

KALİBRASYON SERTİFİKASI
Calibration Certificate

Cihazın Sahibi *Customer*	Artek Mühendislik Çevre Ölçüm ve Dan. Hiz. Tic. A.Ş. M. Akif Mah. Ehalmuş Cd. Tarık Buğra Sok. No:15 Ümraniye - İstanbul
Kayıt Numarası *Registration No*	6908391
Makine/Cihaz *Instrument Device*	Testo 350 Baca Gazı Sıcaklık Probu
İmalatçı *Manufacturer*	Testo
Tip *Type*	
Model ve Seri Numarası *Model and Serial Number*	Analizör 0632 3510 02795690/405 El Ünitesi 0632 3511 02798216/405 Prob 0600 8765 06008765/404
Kalibrasyon Tarihi *Date of Calibration*	17.06.2014
Sertifikanın Toplam Sayfa Sayısı *Number of total pages of the Certificate*	3

Bu kalibrasyon sertifikası, Uluslararası Birimler Sisteminde (SI) tanımlanmış birimleri realize eden ulusal ölçüm standartlarına izlenebilirliği belgeler.

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the unit of measurement according to the international system of units (SI).

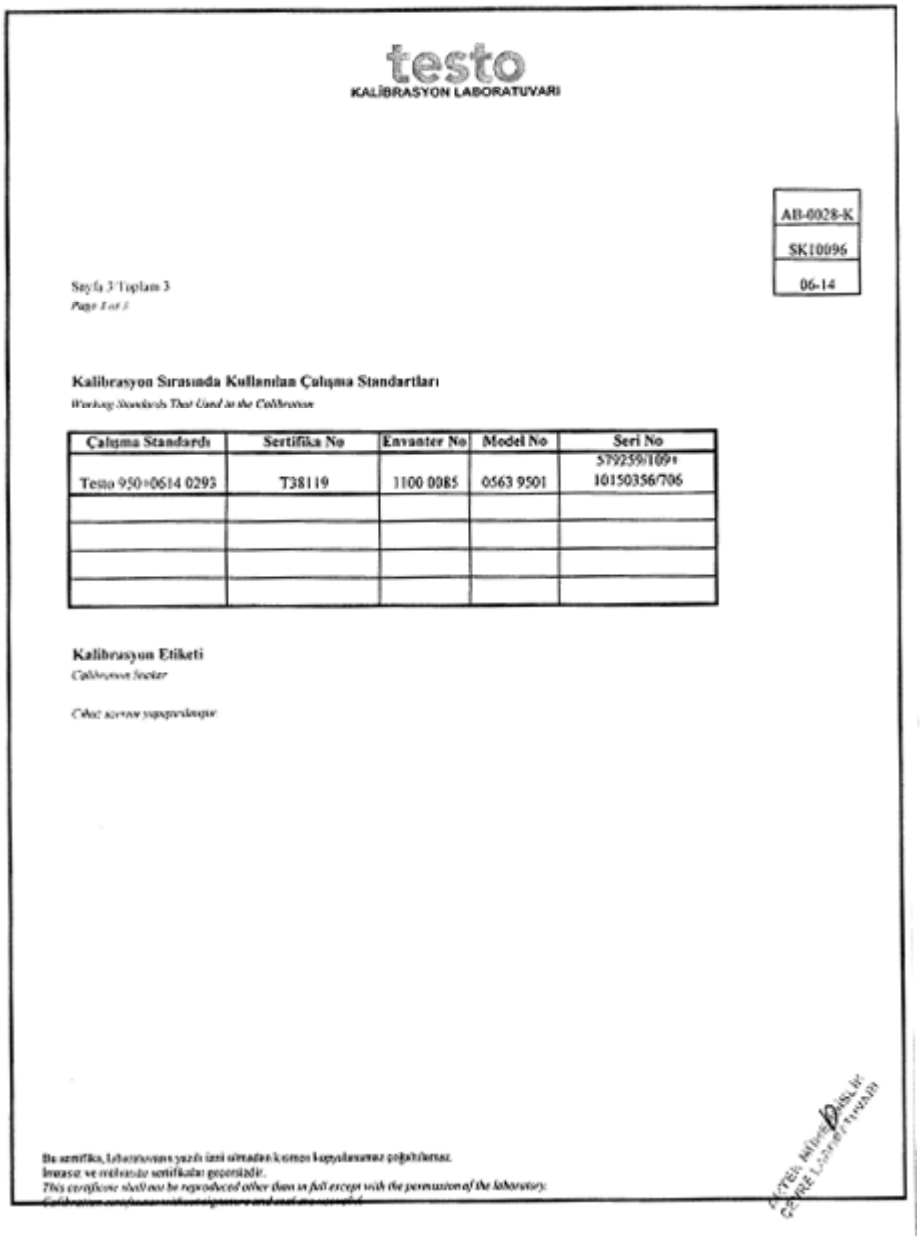
Ölçüm sonuçları, genişletilmiş ölçüm belirsizlikleri ve kalibrasyon metodları bu sertifikanın tamamlayıcı kısmı olan takip eden sayfalarda verilmiştir.

The measurements, the uncertainties with confidence probability and calibration methods are given on the following pages which are part of this certificate.

Mühür	Tarih *Date*	Kalibrasyonu yapan *Calibrated by*	Laboratuvar Müdürü *Head of Calibration Laboratory*
	18.06.2014	Taha Yasin DAL	Tolga ERENGÜLÜ

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanmaz ve çoğaltılamaz.
İmzasız ve mührüsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate shall not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.
Calibration certificates without signature and seal are not valid.

Ek 8. Ölçümde kullanılan cihazın kalibrasyon sertifikaları



testo
KALİBRASYON LABORATUVARI

AB-0028-K
SK10096
06-14

Sayfa 3/Toplam 3
Page 3 of 3

Kalibrasyon Sırasında Kullanılan Çalışma Standartları
Working Standards That Used in the Calibration

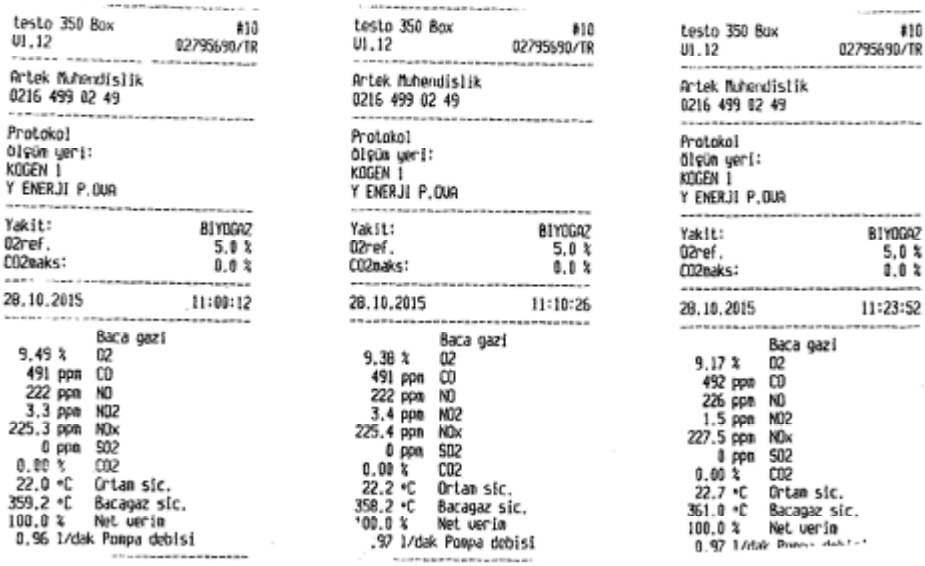
Çalışma Standardı	Sertifika No	Envanter No	Model No	Seri No
Testo 950+0614 0293	T38119	1100 0085	0563 9501	57922591091 10150356/706

Kalibrasyon Etiketi
Calibration Sticker

Cihaz servise yapılmıştır

Bu sertifika, laboratuvarın yazılı izni olmadan kısmen kopyalanamaz çoğaltılamaz.
İmzasız ve mühürsüz sertifikalar geçersizdir.
This certificate should not be reproduced other than in full except with the permission of the laboratory.

Ek 9. 600 kW Gaz motoru bacası ölçüm sonuçlarını gösterir yazıcı çıktıları



testo 350 Box #10
V1.12 02795690/TR

Artek Mühendislik
0216 499 02 49

Protokol
Ölçüm yeri:
KOGEN 1
Y ENERJI P.OUA

Yakit: BIYOGAZ
O2ref. 5,0 %
CO2maks: 0,0 %

28.10.2015 11:00:12

Baca gazi
9,49 % O2
491 ppm CO
222 ppm NO
3,3 ppm NO2
225,3 ppm NOx
0 ppm SO2
0,00 % CO2
22,0 °C Ortam sic.
359,2 °C Bacagaz sic.
100,0 % Net verim
0,96 l/dak Pompa debisi

testo 350 Box #10
V1.12 02795690/TR

Artek Mühendislik
0216 499 02 49

Protokol
Ölçüm yeri:
KOGEN 1
Y ENERJI P.OUA

Yakit: BIYOGAZ
O2ref. 5,0 %
CO2maks: 0,0 %

28.10.2015 11:10:26

Baca gazi
9,38 % O2
491 ppm CO
222 ppm NO
3,4 ppm NO2
225,4 ppm NOx
0 ppm SO2
0,00 % CO2
22,2 °C Ortam sic.
358,2 °C Bacagaz sic.
100,0 % Net verim
,97 l/dak Pompa debisi

testo 350 Box #10
V1.12 02795690/TR

Artek Mühendislik
0216 499 02 49

Protokol
Ölçüm yeri:
KOGEN 1
Y ENERJI P.OUA

Yakit: BIYOGAZ
O2ref. 5,0 %
CO2maks: 0,0 %

28.10.2015 11:23:52

Baca gazi
9,17 % O2
492 ppm CO
226 ppm NO
1,5 ppm NO2
227,5 ppm NOx
0 ppm SO2
0,00 % CO2
22,7 °C Ortam sic.
361,0 °C Bacagaz sic.
100,0 % Net verim

Ek 10. 800 kW Gaz motoru bacası ölçüm sonuçlarını gösterir yazıcı çıktıları



testo 350 Bax #10
V1.12 02795690/TR

Artek Muhendislik
0216 499 02 49

Protokol
ölçüm yeri:
KOGEN 2
Y ENERJI P.DUA

Yakit: BIYOGAZ
O2ref. 5.0 %
CO2maks: 0.0 %

28.10.2015 10:10:12

Baca gazi

9.47 %	O2
577 ppm	CO
192 ppm	NO
1.4 ppm	NO2
193.4 ppm	NOx
0 ppm	SO2
0.00 %	CO2
19.5 °C	Ortam sic.
355.8 °C	Bacagaz sic.
100.0 %	Net verim
0.98 l/dak	Pompa debisi



testo 350 Bax #10
V1.12 02795690/TR

Artek Muhendislik
0216 499 02 49

Protokol
ölçüm yeri:
KOGEN 2
Y ENERJI P.DUA

Yakit: BIYOGAZ
O2ref. 5.0 %
CO2maks: 0.0 %

28.10.2015 10:20:12

Baca gazi

9.61 %	O2
563 ppm	CO
189 ppm	NO
1.2 ppm	NO2
190.2 ppm	NOx
0 ppm	SO2
0.00 %	CO2
19.6 °C	Ortam sic.
356.0 °C	Bacagaz sic.
100.0 %	Net verim
0.96 l/dak	Pompa debisi



testo 350 Bax #10
V1.12 02795690/TR

Artek Muhendislik
0216 499 02 49

Protokol
ölçüm yeri:
KOGEN 2
Y ENERJI P.DUA

Yakit: BIYOGAZ
O2ref. 5.0 %
CO2maks: 0.0 %

28.10.2015 10:30:23

Baca gazi

9.72 %	O2
554 ppm	CO
189 ppm	NO
1.2 ppm	NO2
190.2 ppm	NOx
0 ppm	SO2
0.00 %	CO2
19.5 °C	Ortam sic.
355.8 °C	Bacagaz sic.
100.0 %	Net verim
0.96 l/dak	Pompa debisi