KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL BİR BİYOGAZ TESİSİNDE ÖLÇME VE KONTROL SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

FATİH MEHMET KAYA

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİYEL BİR BİYOGAZ TESİSİNDE ÖLÇME VE KONTROL SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

FATİH MEHMET KAYA

Yrd.Doç.Dr. Muharrem EYİDOĞAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç.Dr. Fatma ÇANKA KILIÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Yrd.Doç.Dr. Mustafa KARAGÖZ
Jüri Üyesi, Karabük Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 02.01.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Türkiye'deki örnek bir endüstriyel biyogaz tesisinde ölçme ve kontrol sisteminin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarıma yön veren danışmanım Yrd. Doç.Dr. Muharrem EYİDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmama verdikleri desteklerinden dolayı Prof. Dr. Durmuş KAYA hocam'a ve her zaman manevi desteklerini esirgemeyen ailem ve eşim Şennur KAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın hazırlanması süresince verilerin toplanması, değerlendirilmesi ve neticelendirilmesi aşamalarında emek ve yardımları ile destek sağlayan Evren KÖKSAL, Ecem UZUN, Melike BAHADIR, Özgül KOÇAK ve çalışmanın gerçekleştiği biyogaz tesisi çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Aralık – 2017 Fatih Mehmet KAYA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ v
ÖZET vi
ABSTRACT vii
GİRİŞ 1
1. LİTERATÜR TARAMASI 3
2. ENDÜSTRİYEL ÖRNEK BİR BİYOGAZ TESİSİNİN AKIŞ ŞEMASI 6
2.1. Ön Depo 9
2.2. Fermantör 9
2.3. Son Depo 13
2.4. Fermente Doğal Gübre (FDG) 13
2.5. Sıvı FDG Avantajları 14
2.6. Katı FDG Avantajları 14
2.7. FDG Analiz Değerleri 15
3. GAZ ANALİZÖRÜ VE ÖLÇÜM DEĞERLERİ 16
3.1. Gaz Analizörü 16
3.2. Sızıntı Hava Dedektörü 18
3.3. Mobil Analizör (Eltipi Analizör) 19
3.4. Biyolojik Desülfürizasyon Sistemi 20
3.5. Kimyasal Desülfürizasyon Sistemi 21
3.6. Organik Asitlerin Konsantrasyonunun Belirlenmesi (FOS/TAC) 22
3.7. pH Metre 25
3.8. Kuru Madde Analizi (Nem Tayin Cihazı) 28
4. GAZ MOTORU (KOJENERASYON) 35
5. KONTROL ÜNİTESİ VE GÖZETLEME SİSTEMİ (SCADA) 39
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 49
KAYNAKLAR 51
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 53
ÖZGEÇMİŞ 54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.3. Biyogaz üretim tesisi scada ekranı 8
Şekil 2.2. Sıvı debimetre 11
Şekil 2.3. Biyogaz üretim tesisi scada ekranı 12
Şekil 2.4. Son depo 13
Şekil 3.1. Gaz analizörü ve üretilen gazın metan içeriği 17
Şekil 3.2. Gaz analizöründe kullanılan oksijen sensörü 17
Şekil 3.3. AwiFLEX Cool+ tipi proses analiz sisteminde yapı grupları 18
Şekil 3.4. Mobil analizör (eltipi analizör) 19
Şekil 3.5. Fermantör gaz bölmesine hava üfleme düzeneği 21
Şekil 3.6. Kimyasal desülfürizasyon sistemi 22
Şekil 3.7. FOS/TAC değerine bakılması 24
Şekil 3.8. Analiz edilen FOS/TAC oranları 25
Şekil 3.9. pH metre 26
Şekil 3.10. pH'ın zamana göre değişimi 27
Şekil 3.11. Nem tayin cihazı 28
Şekil 3.12. Uçucu yağ asitlerinin zamana göre değişimi 31
Şekil 3.13. Kuru madde oranının zamana göre değişimi 31
Şekil 3.14. Uçucu kuru madde oranının zamana göre değişimi 32
Şekil 3.15. Üretilen biyogaz miktarı ve metan içerikleri 34
Şekil 4.1. Gaz motoru 35
Şekil 4.2. Gaz motoru panosundan anlık elektrik üretimi 36
Şekil 4.3. Elde edilen biyogaz miktarına göre üretilen elektrik enerjisi 38
Şekil 5.1. Hata ve/veya arıza durumunu gösteren pencere 40
Şekil 5.2. Otomatik ve manuel kontrol 40
Şekil 5.3. Besleme reçete ekranı 42
Şekil 5.4. Karıştırıcıların otomatik ve/veya manuel çalışma set değeri 43
Şekil 5.5. Blower sonrası gaz debimetresi 43
Şekil 5.6. Merkezi sistem çıkış debimetresi 44
Şekil 5.7. Seviye sensörünün çalışma şartları 45
Şekil 5.8. Selonoid vanalar ve scada ekranı 46
Şekil 5.9. Gaz blower ve flare'nin çalışma şartları 47
Şekil 5.10. Sirkülasyon pompasının çalışma set değeri 48

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Sensörlerin özellikleri 10
Tablo 2.2. Katı form için analiz sonuçları 15
Tablo 2.3. Sıvı form için analiz sonuçları 15
Tablo 3.1. Analiz sonuçları 29
Tablo 3.2. Günlere göre üretilen biyogaz miktarı ve metan içerikleri 32
Tablo 4.1. Biyogaz miktarına karşılık üretilen elektrik enerjisi miktarı 36

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$C_3H_6O_3$	:	Laktik Asit
$C_7H_{10}O_2$	:	Yağ Asiti
Ca	:	Kalsiyum
CH_3COOH	:	Asetik Asit
CH_4	:	Metan
CO	:	Karbonmonoksit
CO_2	:	Karbondioksit
Fe	:	Demir
H_2	:	Hidrojen
H_2S	:	Hidrojen Sülfür
HCO_3^-	:	Hidrojen Karbonat
K	:	Potasyum
K_2O	:	Potasyum Oksit
Mg	:	Magnezyum
Mn	:	Mangan
N	:	Azot
NH_3	:	Amonyak
NH_4^+	:	Amonyum
NO	:	Azot oksit
NO_2	:	Azotdioksit
O_2	:	Oksijen
P	:	Fosfor
P_2O_5	:	Fosfor Penta Oksit
S	:	Kükürt
SO_2	:	Kükürtdioksit
Zn	:	Çinko

Kısaltmalar

ATEX	:	ATmosphéresEXplosives (Patlayıcı Atmosfer)
FDG	:	Fermente Doğal Gübre
FOS	:	Uçucu Organik Asit
HT	:	High Temperature (Yüksek Sıcaklık)
kW	:	Kilowatt
LT	:	Low Temperature (Düşük Sıcaklık)
mbar	:	Milibar
Min.	:	Minimum
OKM	:	Organik Kuru Madde
PLC	:	Programlanabilir Lojik Kontrol
PTFE	:	Politetrafloroetilen
SCADA	:	Supervisory Control and Data Acquisition (Kapsamlı ve Entegre Bir Veri Tabanlı Kontrol ve İzleme Sistemi)

ENDÜSTRİYEL BİR BİYOGAZ TESİSİNDE ÖLÇME VE KONTROL SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında endüstriyel bir biyogaz tesisinin ölçme ve kontrol sistemi incelenmiştir. Tez çalışmasının yapıldığı biyogaz tesisinde ön depo, fermantör, son depo ve katı gübre alanı bulunmaktadır. Ön depoda toplanan atıklar kıyıcı tarafından parçalanarak fermantöre pompa yardımı ile gönderilmektedir. Fermantöre gönderilen organik atıklar 35~40°C arasında mezofilik şartlarda yaklaşık 30 günlük bekletme süresine tabii tutulmaktadır. Biyogaz tesisinde basınç, seviye, sıcaklık ölçümleri yapılmakta ve günlük pH, FOS/TAC, kuru madde ve uçucu kuru madde analizleri yapılmaktadır. Ölçüm sisteminden alınan bilgiler doğrultusunda pompa, karıştırıcı, blower ve ısıtma sistemi kontrol edilmektedir. Fermantörde bekletme süresi kadar bekletilerek fermente edilen atıklar, bekletme süreci tamamlandıktan sonra katı ve sıvı fazların ayrılması için seperatör yardımı ile son depoya gönderilmektedir. Üretilen metan gazı ise kojenerasyon sistemlerinde ısı ve elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel bir biyogaz tesisinde kullanılan ölçüm ve kontrol sistemi ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Biyogaz Tesisi, Ölçme ve Kontrol Sistemi, Kojenerasyon Sistemi.

INVESTIGATION OF A MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEM IN AN INDUSTRIAL BIOGAS PLANT

ABSTRACT

In this study, an examination of the measurement and control system in an industrial biogas plant was discussed. In the biogas facility where the thesis work was carried out, there are a front storage, a fermenter, a final storage and a solid fertilizer area. The wastes which are collected in the front storage are broken up by the chopper and sent with the help of the fermenter pump. Organic wastes sent to the fermenter are subjected to a 30 day retention time at 35~40°C in mesophilic condition. With this scope, pressure, level, temperature measurements are made and daily pH, FOS/TAC, dry matter and volatile dry matter ratios are analyzed. The pump, mixer, blower and heating system are controlled according to the information obtained from the measuring system. The fermented substat are stored in the fermenter until the end of the waiting period and after the waiting period is completed, they are sent to the final tank by a separator to separate solid and liquid phases. Methane gas produced is converted into heat and electricity energy in cogeneration systems. In this study, the measurement and control system used in an industrial biogas plant was discussed in detail.

Keywords: Industrial Biogas Plant, Measurement and Control System, Cogeneration System.

GİRİŞ

Enerji eldesi geçmişten günümüze yüzyıllardır süregelen bir sorun olmuştur. Dünya nüfusundaki hızlı artış akabinde yiyecek, ısınma, iletişim gibi birçok alanda da ihtiyacın doğmasına neden olmaktadır. Bu ihtiyaçlarda da olduğu gibi pek çok sanayi kuruluşu üretimine devam edebilmesi için enerjiye gereksinim duymaktadır.

Önceleri daha çok fosil kaynaklar üzerinden elde edilen enerji, rezevlerin sınırlı sayıda olması ve dışa bağımlılığı arttırdığı için ülkeleri teknolojinin de gelişmesiyle kendi enerjilerini elde etme çabalarına itmiştir.

Fosil kaynaklardaki sorunlardan başka biride çevre kirliliğine neden olmasıdır. Atmosfere salınan ve sera etkisi yaratan gazların yıl boyunca dünya üzerinde hava, deniz ve karada ölçülen sıcaklık değişimine neden olması küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda birleşmiş milletleri Kyoto protokol'ü olarak bilinen somut önlemler almaya sevk etmiştir [1]. Başta green peace olmak üzere çeşitli örgütlerde çevre kirliliği konusunun üzerinde durarak dikkat çekici çalışmalar yapmışlardır.

Temiz enerji kaynakları olarakta bilinen yenilenebilir enerji kaynakları hidroelektirik, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle olarak sınıflandırılmıştır.

Türkiye biyokütleden enerji üretiminde büyük potansiyele sahiptir ancak yapılan araştırmalar bu potansiyelin yeterince kullanılmadığını göstermektedir. Fosil yakıtların yenilenebilir bir enerji kaynağına dönüştürülerek bu potansiyel değerlendirilebilmektedir.

Ziraata dayalı yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de biyogazdır. Biyogaz üretim tesislerinde, organik atıklar işlenerek ısı ve elektrik enerjisine dönüştürmektir. Çevreye zarar verebilecek bu atıklar arıtılarak, su ve toprak kirliliği önlenmekte, tesislerden çıkan organik atıklar ise gübre olarak değerlendirilebilmektedir.

Organik kütlenin oksijensiz bırakılmasıyla gerçekleşen sürece "biyogaz" denilmektedir. Organik kütle mikroorganizmalar tarafından deniz tabanlarında,

büyükbaş hayvanların işkembelerinde, bataklıklarda sıvı gübre çukurlarında vb noktalarda biyogaz'a dönüştürülmektedir [2].

Biyogazın içeriğinde hidrojen (H_2), amonyak (NH_3), hidrojen sülfür (H_2S) gibi eser miktarda organik yapılar olsada ana maddesi karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4) gazlarıdır [3]. Oluşum süreci organik kütlenin mikroorganizmalar aracılığıyla genellikle ısı vererek ve köpürerek kimyasal olarak çürümesiyle ve kullanılan materyallerle farklı tekniklerde çok aşamalarda gerçekleşmektedir [4]. Biyogaz üretim süreçlerinde her aşamanın birbirinin arkasından geldiği uyumlu bir bozunma gerçekleşmesi gerekmektedir. İlk aşamada karbonhidratlar, proteinler ve yağlar gibi kopleks moleküllerin hidroliz yöntemiyle hidrolitik bakteriler tarafından kendisini oluşturan basit şeker, amino asit ve yağ asiti gibi yapı taşlarına dönüştürülmektedir. Çözelti içinde bu küçük moleküllerin çözünmesine hidroliz denir [5].

Bu aşamada oluşan ara ürünler laktik asit ($C_3H_6O_3$), hidrojen (H_2), karbondioksit (CO_2), yağ asiti ($C_7H_{10}O_2$) ve alkollere asit oluşturan bakteriler tarafından "asetojenez aşaması" ile dönüşür. Hidrojenin yoğunluğu ürünün türünü belirler hidrojenin kısmi basıncının yüksek miktarı basit şeker, amino asit ve yağ asiti gibi ara ürünlerin kendisini oluşturan daha basit yapılara ayrışmasını engeller. Sonuçta metan gazı oluşumu engellendiği gibi organik asitlerde yeni ürünlerle zenginleşir [6].

Anaerobik solunum sürecindeki son aşama ise maddelerin karbondioksit, metan ve suya dönüştürüldüğü "metanojenes" aşamasıdır. Metanın oluşumu yüksek oranda asetik asitin (CH_3COOH) parçalanması ve ona göre daha düşük oranda hidrojenin sentezi ile gerçekleşir. Bu aşamada hızı belirleyici hidrojen transferi olmaktadır [7].

Anaerobik bozunmada bakterilerin her aşamada pH ve sıcaklık değerlerinin farklı olmasıyla farklı yaşam şekillerine sahip olduğundan en uygun yaşam alanı belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada en hassas bakteri türü olan metan oluşturan bakterilerin baz alınması doğru olmaktadır [8].

Biyogaz tesislerinde çevre koşulları oluşan ürünü doğrudan etkilemektedir. Bunun nedeni kullanılan ham maddenin süreç içerisinde çevre koşullarıyla fermentör basamaklarında farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

1. LİTERATÜR TARAMASI

Sahu ve ark. yaptıkları çalışmayla biyogaz tesislerinde verimliliği ve güvenliği artırmak için otomasyon sistemleri üzerinde çalışmışlardır. Biyometanizasyonu atıklardaki organik maddenin metan ve gübreye mikrobiyal eylemle anaerobik sindirim ile kapalı alanda yürütülen süreçle dönüştürülmesini incelemişlerdir. Bu süreç sıcaklık ve nem gibi kontrol edilebilen koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Hayvan atıkları, gıda ve sebze atıklarıyla yapmış oldukları çalışma ile 35^0C besleme sıcaklığında organik maddenin ayrışması ve biyometanizasyon işleminin tamamlanması 20 gün sürmüştür. Sıcaklığın artması ile bekleme süresinin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Soğuk ülkelerde kış aylarında atmosferik sıcaklık daha düşüktür, bu da bekleme süresinin uzamasına ve biyometanizasyon sürecinin azalmasına neden olmaktadır [9].

Tüplek yaptığı bu çalışmada ev tipi biyogaz reaktörünün tasarım ve imalatını incelemiştir. Bu çalışmayı yapabilmek için 1 adet reaktör ve 1 adet karıştırma kabı düzeneği kurmuştur. Reaktör 200 cm boyunda 80 cm çapında 1000 lt hacminde, karıştırma kabı ise; 80 cm çapta 60 cm yüksekliğinde 250 lt hacminde saçtan imal etmiştir. Sızdırmazlığı önlemek için küresel vanalar kullanmıştır. Karışımı yaptığı karıştırma kabındaki organik atıkları reaktöre gönderebilmek için reaktörün altına ve üstüne doldurma boşaltma vanaları koymuştur. Reaktör içerisindeki ısı kaybını önlemek için yalıtım malzemesi kullanmıştır. Reaktör sıcaklığını elektronik olarak ölçüp sıcaklığı 35ºC'de tutabilmek için ısıtıcı serpantin ve elektrikli rezistans ile mikro işlemci kontrolü kumanda panosu kullanmıştır. Reaktör içerisinde bulunan, serpantinin alt kısmına 2000 W'lık elektrikli ısıtıcı takmıştır. Rezistanslı elektronik kart 35ºC'ye ulaştığında durdurmuş ve 33ºC'de tekrar çalıştırmıştır. Basınç seviyesini gözlemlemek için barometre kullanmıştır. 1 kg organik atığa 1 kg su olacak şekilde insan gücüyle karıştırma kabında karıştırılarak reaktöre göndermiştir. Dolumdan 3 gün sonra günde 0,5 m^3 biyogaz elde etmiştir. Yedinci günün sonunda reaktörde 2 bar basınçta 250 lt hacimde gaz olduğunu görmüştür [10].

Durmuş yaptığı bu çalışmada bitkisel ve hayvansal atıklardan biyogaz üretimini ve entegre enerji üretim sisteminde kullanımını incelemiştir. Laboratuar ölçekli 1 m^3'lük reaktör, besleme ve boşaltma tankı kurulan biyogaz tesisinde pH kontrolü, tamponlama süresinin ölçümü, yükleme-boşaltma ve sıcaklık denemeleri yapmıştır. Çalışmalarında PLC ile on/off kontrol yöntemi uygulamış, pH probu ve sıcaklık probu (PT–10) kullanmıştır. Sıcaklık denemelerini iki ayrı şekilde gerçekleştirmiştir. Birinci grupta, yükleme-boşaltmanın, ikinci grupta ise yalnızca düzenli karıştırmanın reaktör sıcaklık dengesine olan etkilerini izlemiştir. Reaktör sıcaklığı sıcaklık probundan alınan değerlerle (4-20 mA), sıcak su akümülasyon tankının deposundaki sıcak suyun, sirkülasyon pompası ile reaktör ceketine gönderilmesini kontrol etmiştir. Reaktör sıcaklığını 37°C'de set noktasında sabitlemiştir. Yükleme-boşaltma denemelerini 5 kg, 10 kg, 25 kg, 50 kg ve 100 kg gibi beş farklı ağırlık grubunda yapmıştır. Reaktörün pH seviyesi (pH başlangıç değeri =7,78) sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile pH=8,2 seviyesine çıkararak, sistemin bu sürede verdiği tepkiyi izlemiştir. İstenilen pH değerine 11,3 saat sonra ulaşmıştır. Yapılan denemelerde, eğer reaktör ve ısı iletim elemanları yeterince iyi yalıtılırsa ve sistemdeki uzun süreli arızalar önlenebilirse, on/off yöntemle yapılan kontrolün, sıcaklığın set değerinde küçük salınımlarla dengede kalmasında başarılı olacağını görmüştür [11].

Behnam yaptığı bu çalışmada laboratuvar ölçekli biyogaz sistemine peyniraltı suyu verilmesinin ne gibi etkileri olacağı, oluşabilecek sorunların nasıl giderilebileceğini incelemiştir. 10 lt çalışma kapasiteli 13 lt hacminde yarı sürekli cam reaktör bir inkübatör içine yerleştirilmiş ve çalışma boyunca sıcaklık 38°C'de sabit tutulmaya çalışılmıştır. Reaktöre ilk olarak 5 lt hacim, 1/1 hayvan dışkısı ve su karışımı ile çalışmaya başlatılmış ve dördüncü günün sonunda gaz çıkışı olmamış ve sistem durmuştur. Bu durumda pH ayarlaması yapılıp sodyum hidroksit (NaOH) eklenerek pH'ı 5,40 dan 7,00' ye kadar yükseltilmiştir. Kırk sekizinci günün sonunda ilk gaz ölçümü yapılmış ve metan gazı (CH_4) %12,07 ölçülmüştür. Ortamda tampon oluştuktan sonra büyükbaş hayvan dışkısının içerisinde yer alan ve gaz oluşumunu sağlayan bakterilerin yeterli olmadığı düşünülmüş, reaktöre hacminin %20'si kadar 2 lt anaerobik çamur eklenmiştir. Anaerobik çamur eklendikten 7 gün sonra ikinci gaz ölçümü yapılmış, mavi alevle yanan, %43 CH_4 içeren biyogaz elde edilmiştir. Son olarak reaktör karışımına 10 gün boyunca 4 gr şeker pancarı ve 40 mL peynir altı

suyu ekleyerek son gaz ölçümü yapılmış ve üretilen biyogazın metan içeriği %49 olarak ölçülmüştür. Çamur, hayvan dışkısına mikroorganizma kaynağı sağlamakta, mikrobiyal aktiviteyi ve buna bağlı olarak sistem verimini arttırmaktadır [12].

Erep ve Bachmann yaptıkları çalışmada tesis tasarımı, teknoloji seçimi, boyutların belirlenmesi ve tesis planını incelemişlerdir. Bu çalışmadaki amaç, mevcut kaynakları en iyi şekilde kullanmaya olanak tanıyan verimli bir kurulum elde etmişlerdir. Bu bölüm, sindirim ünitesinin, gaz depolarının, boru tesisatının, pompaların ve valflerin teknolojik seçeneklerine, seçim parametrelerine ve mühendislik kurallarına bir giriş sağlamışlar. Hammadde özelliklerinin tesis tasarımı üzerindeki belirgin etkisini bölüm boyunca vurgulamışlardır. Ayrıca, biyogaz tesisinde işletme yönetimi ve takip işlemleri için proses kontrol teknolojisini de açıklamışlardır [13].

2. ENDÜSTRİYEL ÖRNEK BİR BİYOGAZ TESİSİNİN AKIŞ ŞEMASI

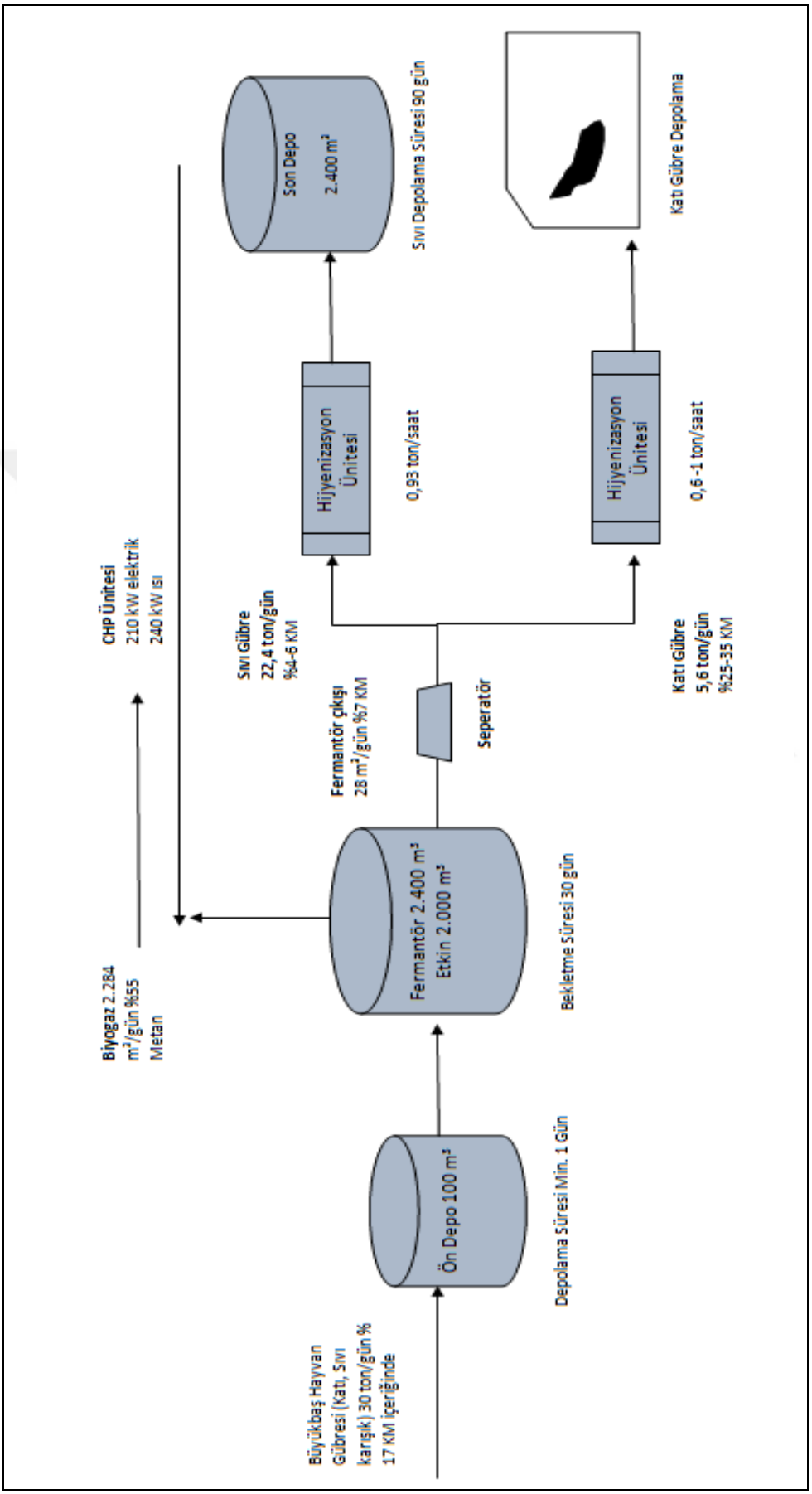
Tez çalışmasının yapıldığı biyogaz tesisinde bir adet ön depo bir adet fermantör, bir adet son depo ve bir adet katı gübre alanı bulunmaktadır. Çiftliklerden gelen organik atıklar ön depoda toplanmaktadır. Ön depo hacminin yaklaşık olarak 100 m^3'tür. Ön depoya getirilen atıkların katı madde içeriğine göre gerektiğinde seperatörden çıkan sıvı gübre ön depoya gönderilerek katı madde içeriğinin %8-10 civarında tutulması sağlanmaktadır. Ön deponun hacmi ham maddeleri minimum bir gün depolayacak şekilde belirlenmiştir. Pompa ile birlikte çalışan kıyıcı ünitesi sayesinde organik atıklar istenilen boyutlara indirilebilmekte ve kuru madde oranı ayarlanan organik atık fermantöre bir pompa yardımı ile gönderilmektedir.

Fermantörün hacmi 2.400 m^3 (atık yüklenebilen aktif hacim 2.000 m^3)'tür. Bu hacmin %11'i gaz depolama hacmi olarak kullanılmaktadır. Fermantörün çalışma sıcaklığı olarak mezofilik şartlar yani 35~40°C aralığı dizayn değeri olarak seçilmiştir. Fermantörün ısıtılması için fermantör içine serpantin şeklinde sıcak su boruları yerleştirilmiştir. Fermantörün ısıtılması bu ısıtma boruları ile sağlanmakta ve otomasyon sistemi ile sıcaklık sabit tutulmaktadır.

Fermantörün üzeri çift membran ile kapatılmış ve fermantörde üretilen biyogaz burada depolanmaktadır. Fermantör üzerinde depolanan biyagazın basıncı 0~5 mbar aralığındadır. Fermantörlerde üretilen biyogaz, blower ile 130 mbar'a kadar basınçlandırılarak, kojenerasyon sistemine gönderilmektedir. Biyogaz, Kojenerasyon sistemi ile elektrik ve ısı enerjisine dönüştürülmektedir. Fermantör içindeki biyogazın basıncı 5 mbar'ın üzerine çıktığında emniyet valfleri açılarak, fermantördeki basınç artışının önüne geçilmektedir.

Organik atıkların fermantörde hidrolik bekleme süresi yaklaşık 30 gündür. Fermantasyonunu tamamlamış substrat 30 gün sonunda fermente olmuş nihai ürün, pompa ile seperatöre gönderilmektedir. Fermantörden seperatöre gelen fermantasyonunu tamamlamış substrat katı ve sıvı kısımlara ayrılmaktadır. Seperatör çıkışında sıvı kısım yaklaşık %4 katı kısım ise %25~35 kuruluktadır. Seperatörden

çıkan sıvı kısım seperatörden son depoya gönderilmektedir. Seperatörden çıkan sıvı ve katı fermente atıklar hijyenizasyon işlemi için hijyenizasyon ünitesine gönderilmektedir. Hijyenizasyon ünitesinde 70°C'de 1 saat bekletilen sıvı kısım (hijyenizasyon işlemi tamamlanan) gübre olarak tarım arazilerinde kullanılmaktadır. Tüm sistem bir PLC aracılığı ile kontrol edilmektedir. Şekil 2.1'de biyogaz üretim akış şeması verilmiştir.



Şekil 2.3. Biyogaz üretim tesisi scada ekranı

2.1. Ön Depo

Biyogaz tesisine gelen tüm organik atıklar ön depoda toplanmaktadır. Ön depo çapı 6 m, yüksekliği 3,5 m ve toplam hacmi yaklaşık 100 m^3' tür. Ön depoda bir adet karıştırıcı ve bir adet pompa mevcuttur. Ön depoya getirilen atıkların fermantöre gönderilebilmesi için parçalanarak homojen bir hale getirilmesi gerekmektedir. Ön depodaki karışımının katılık oranı tavuk gübresi, peynir altı suyu ve büyükbaş gübresi ile son depodan gelen sıvı gübre karıştırılarak yaklaşık olarak %8-10'a ayarlanmakta ve pompa vasıtasıyla fermantöre basılmaktadır. Pompa ünitesinin önüne monte edilmiş 1 adet kıyıcı ile organik atıkların içerisinde bulunan pompa ve substrat hatlarına zarar verebilecek büyüklükteki atıkların boyutları küçültülmektedir. Ön depo üzeri kapalı olup sadece atık besleme noktaları atmosfere açıktır. Ön depo üzeri kapalı olmakla birlikte herhangi bir ısıtma işlemi yapılmamaktadır. Ön depo içerisindeki organik atık miktarını tespit edebilmek amacıyla bir adet seviye sensörü (transmitter) bulunmaktadır. Bu sensörler yüzdelik (%), mbar ve kPa birimlerinde ölçüm yapabilmektedir. Seviye sensörü uzatma kablosu ile bir prob içerisine daldırılarak ön depoya montajı yapılmıştır. Bu seviye sensöür Hidrostatik (sıvı dengesi) prensibiyle çalışmaktadır. Organik atıkların ön depoya doldurulmaya başlanması ile boru içerisindeki transmitter yükselerek ve 4-20 mA arasında sinyal üretmektedir. Bu sinyali PLC istenilen birime çevirerek SCADA ekranına göndermektedir. Ön deponun taşmaması için belli bir aralık seviyesi manuel olarak bilgisayardan sisteme atanmaktadır.

2.2. Fermantör

Ön depoda katılık oranı ayarlanan ve birbirleriyle karıştırılan organik atıklar pompa vasıtasıyla fermantöre gönderilmektedir. Fermantörün çapı 19,5 m yüksekliği 8 m ve toplam hacmi ise 2.400 m^3(atık yüklenebilecek hacim 2.000 m^3)'tür. Bu hacmin %11'i gaz depolama hacmi olarak kullanılmaktadır. Biyogaz tesisi günlük 30 ton büyükbaş hayvan atığını, 15 ton peyniraltı suyunu ve 5 ton tavuk gübresini işleyerek stabilize etmektedir. Fermantöre gönderilen organik atıklar yaklaşık 30 günlük bekletme süresine tabii tutulmaktadır. Bekletme süresi, etkin fermantör hacminin günlük besleme miktarına oranlanması ile bulunmaktadır.

Reaktörün ısıtılması için gerekli olan ısı, gaz motoru (kojenerasyon ünitesi) atık ısısından sağlanmaktadır. Bu amaçla fermantörün içini serpantin şeklinde saran 1.500 m uzunlukta 1" PPRC boru kullanılmaktadır. Boru içerisinden, ısı ihtiyacına bağlı olarak uygun debi ve sıcaklıkta su geçirilmektedir. Bu tür tesislerde sıcaklık değerleri fermantasyonun sürekliliği için çok önemli olduğundan hassasiyeti yüksek olan sıcaklık sensörü (PT100) ile yapılmakta ve fermantör içi sıcaklık 35~40°C arasında tutulmaktadır.

Fermantörde bulunan PT100 sıcaklık ölçer, ölçüm yaptığı yerdeki sıcaklık değerine göre öz direncini 4-20 mA'lik birimlere çevirerek PLC otomasyon sistemine göndermektedir. PLC bu değerlere karşılık gelen sıcaklık değerini SCADA ekranına yansıtmaktadır.

Fermantör içerisinde 2 adet farklı tipte karıştırıcı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi dalgıç motorlu tip karıştırıcı diğeri ise kanatlı tip karıştırıcıdır. Dalgıç motorlu tip karıştırıcı çevrilebilir ve yüksekliği ayarlanabilir olup 11 kW gücündedir. Diğer karıştırıcı ise temelden 4 m yüksekte konumlandırılmış olup 7,5 kW gücündedir.

Fermantör içerisinde 3 farklı tipte sensör bulunmaktadır. Bu sensörler basınç, seviye ve sıcalık sensörleridir. Fermantör için sensör seçimi yaparken hassasiyetine, alaşımına, tepkime süresine, maliyetine dikkat edilmeli ve patlama riski olan noktalarda ATEX tipli sensörler seçilmektedir. Sensörlerin gövdesi ve akışkan içerisinde olan parçalar paslanmaz çelikten imal edilmektedir.

Fermantör içerisindeki sensörler 4-20 mA DC çıkış aralığında çalışmaktadır. Fermantörde kullanılan sensörlerin özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Sensörlerin özellikleri

Basınç sensörü	Seviye sensörü	Sıcaklık sensörü
ATEX 1/2G EX	ATEX 1/2G EX	ATEX 1/2G EX
4-20 mA hart (sinyal aralığı)	4-20 mA hart (sinyal aralığı)	4-20 mA hart (sinyal aralığı)
Alu, IP66/67 M20 gland (dış kablo girişi)	LCD push button on electronics (ekranlı tuş takımı)	LCD push button on electronics (ekranlı tuş takımı)
0-20 mbar (ölçüm aralığı)	1 bar-10 bar (ölçüm aralığı)	0°C-100°C (ölçüm aralığı)

Tablo 2.1. (Devam) Sensörlerin özellikleri

Basınç sensörü	Seviye sensörü	Sıcaklık sensörü
Thread G1-1/2, 316L (gömme montajı)	Thread G1-1/2, 316L (gömme montajı)	Thread G1-1/2, 316L (gömme montajı)
Giriş voltajı (çalışma aralığı 10-30 Volt)	Giriş voltajı (çalışma aralığı 10-30 Volt)	Giriş voltajı (çalışma aralığı 10-30 Volt)

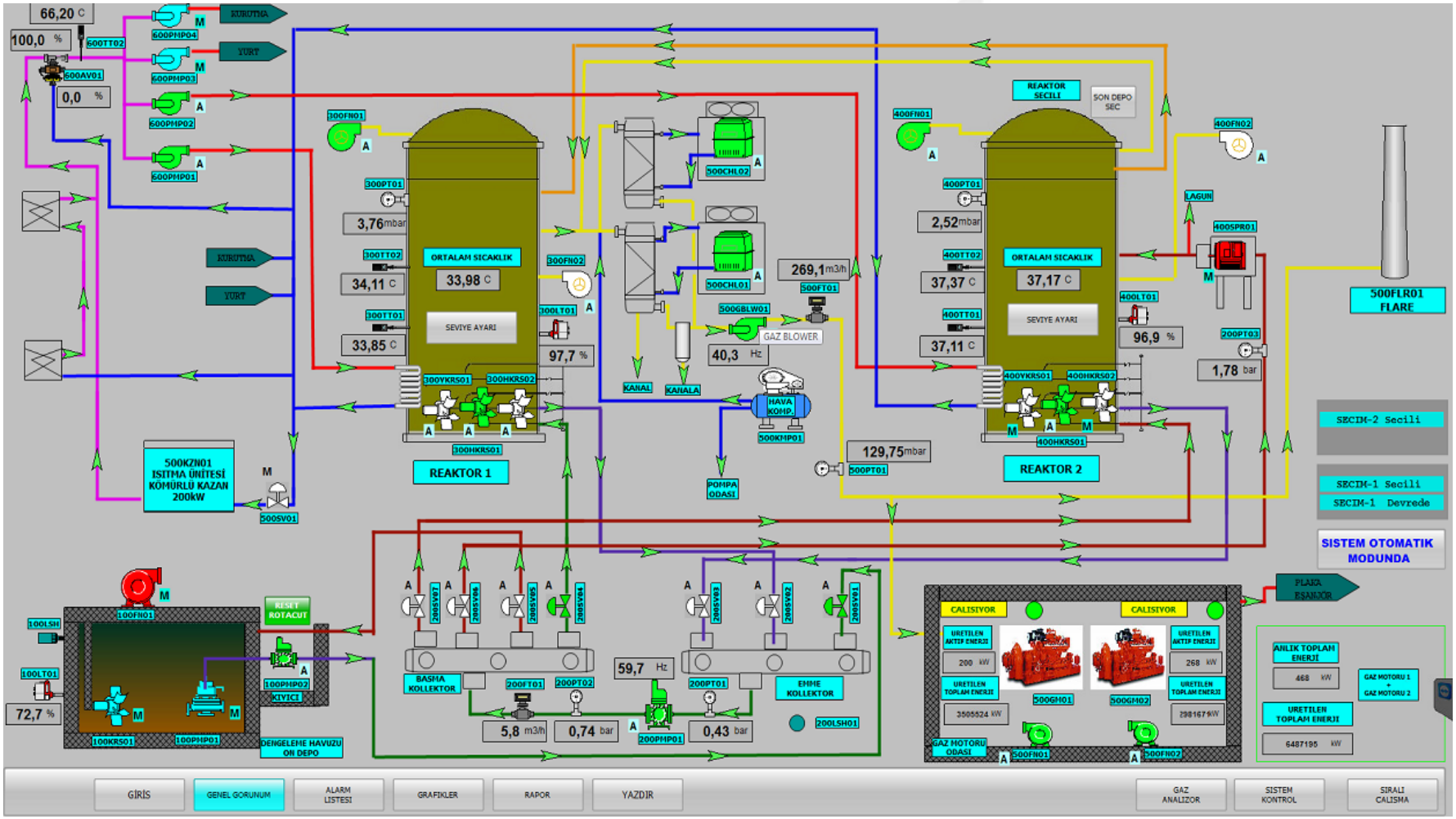
Ön depodan fermantöre veya fermantörden seperatöre substrat transferi frekans konvertörlü pompa ile yapılmaktadır. Frekans konvertörlü pompa vasıtasıyla fermantöre gönderilen substratın debi ölçümü sıvı debimetresi ile yapılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Sıvı debimetre

Substrat hattından geçen substrat debisi arttıkça debimetrenin saniyedeki pulse miktarı da artmaktadır. Sıvı debimetresinden alınan ölçüm sonuçları kaydedilerek substrat hattından geçen saatlik, günlük, aylık ve yıllık substrat miktarı hesaplanmaktadır.

Fermantör üzeri çift katlı membran ile örtülmüş olup üretilen biyogaz fermantörün üzerinde depolanmaktadır. Fermantörlerde üretilen biyogaz gaz motorunda yakıldığı için ek bir depolama alanına ihtiyaç duyulmamaktadır. Biyogaz tesisi bir otomasyon sistemi ile izlenebilmekte ve kontrol edilebilmektedir. Biyogaz tesisinde kullanılan SCADA ekranı WinCC programı kullanılarak oluşturulmuş ve Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Biyogaz üretim tesisi scada ekranı

2.3. Son Depo

Fermantörde bekletme süresi kadar bekletilerek fermente edilen atıklar, süreç tamamlandıktan sonra katı ve sıvı fazların ayrılması için seperatöre gönderilmektedir. Bu amaçla preslemeli helezoni seperatör kullanılmaktadır. Seperatör 9,2 kW tahrik gücüne sahip olan helezoni paslanmaz çelik gövdeden üretilmiştir. Seperatörde ayrılan atıkların sıvı kısmı son depoya gönderilmektedir. Katı kısım ise zemini sızdırmaz özellikte olan kapalı bir alanda depolanmaktadır.

Son depo fermantör ile aynı özelliklerde inşa edilmiş olup hacmi 2.400 m^3'tür. Son depoya gönderilen sıvı atıklarda fermantasyon işlemi devam ettiği ve bir miktar gaz üretildiği için son depo üzeri de çift katlı membran örtüsü ile örtülmüştür (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Son depo

2.4. Fermente Doğal Gübre (FDG)

Seperatörden ayrılan katı ve sıvı gübresi, oksijensiz ortamda anaerobik fermantasyon teknolojisi sonucunda çürütülerek elde edilen doğal gübredir. Fermente edilmiş doğal gübrenin kullanım alanları;

- Her türlü tarla tarımında
- Çayır mera ve yem bitkisi yetiştirmede

- ❖ Meyvecilikte
- ❖ Üzüm bağlarında
- ❖ Seracılıkta
- ❖ Endüstriyel bitkilerde
- ❖ Peyzaj uygulamalarında
- ❖ Çevre düzenlemesinde
- ❖ Çiçekçilikte ve süs bitkisi yetiştiriciliğinde
- ❖ Çevre yeşillendirilmesinde
- ❖ Çim ve Spor Sahalarında
- ❖ Park, Bahçe ve Peyzaj Düzenlemelerinde
- ❖ Ormancılık ve Orman Fidancılığında kullanılmaktadır.

2.5. Sıvı FDG Avantajları

- Büyükbaş hayvan gübresi ve tavuk gübresi gibi organik maddelerle birlikte anaerobik fermantasyon teknolojisi sonucunda elde edilmiş %100 doğal gübredir ve hiçbir kimyasal katkı bulunmamaktadır.
- Tarımsal faaliyetlerde örneğin bitki ve sebze yetiştiriciliğinde rahatlıkla kullanılabilmektedir.
- Bitkinin ihtiyacı olan (N, P, K, Ca, S, Mg, Fe, Mn, Zn) elementler açısından oldukça zengindir.
- pH değeri nötr olduğu için (7-7,5) arası uygulanan toprağın pH'sını düzenlemektedir.
- Fermantasyon sırasında sadece karbon bileşenlerinde değişiklik olup diğer tüm besin maddeleri orijinal formunda ve stabil halde korunmaktadır.
- Nihai üründe (meyve) vitamin ve mineral madde miktarlarını attırmaktadır.
- Elde edilen gübre tarlaya sıvı olarak uygulanabilmektedir.

2.6. Katı FDG Avantajları

- Lifli yapısı sayesinde toprağın su tutma kapasitesini arttırır ve havalanmasını sağlar, ayrıca bitkinin don ve kuraklık karşısında dayanımını arttırmaktadır.
- Toprağın su tutma kapasitesini arttırarak kurak mevsimlerde tuzlanmayı önlemektedir.
- Hümik asitler, fenoller, fenol türevleri elimine edildiği için kokmamaktadır.

2.7. FDG Analiz Değerleri

Seperatörden ayrılan katı ve sıvı gübresi T.C Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından yetkilendirilmiş bir laboratuarda analizleri yaptırılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Katı form için analiz sonuçları

Analiz Parametreleri	Bririm	Analiz Sonucu
pH		7,44
EC	dS/m (mS/cm)	1,038
Nem	% (kg/kg KM)	53,76
Toplam azot		1,98
Toplam humik + fulvik asit		39,34
Toplam fosfor penta oksit (P_2O_5)		2,02
Suda çözünür potasyum oksit (K_2O)		0,34
Organik madde		86
Organik karbon		
Su tutma kapasitesi		65

Tablo 2.3. Sıvı form için analiz sonuçları

Analiz Parametreleri	Bririm	Analiz Sonucu
pH		8,86
EC	dS/m (mS/cm)	3,215
Kuru madde	% (kg/kg YM)	4,29
Toplam azot		0,58
Amonyum azotu (NH_4_N)		0,53
Toplam humik + fulvik asit		7,99
Toplam fosfor penta oksit (P_2O_5)		0,26
Suda çözünür potasyum oksit (K_2O)		0,62
Organik madde		2,89
Organik karbon		

3. GAZ ANALİZÖRÜ VE ÖLÇÜM DEĞERLERİ

3.1. Gaz Analizörü

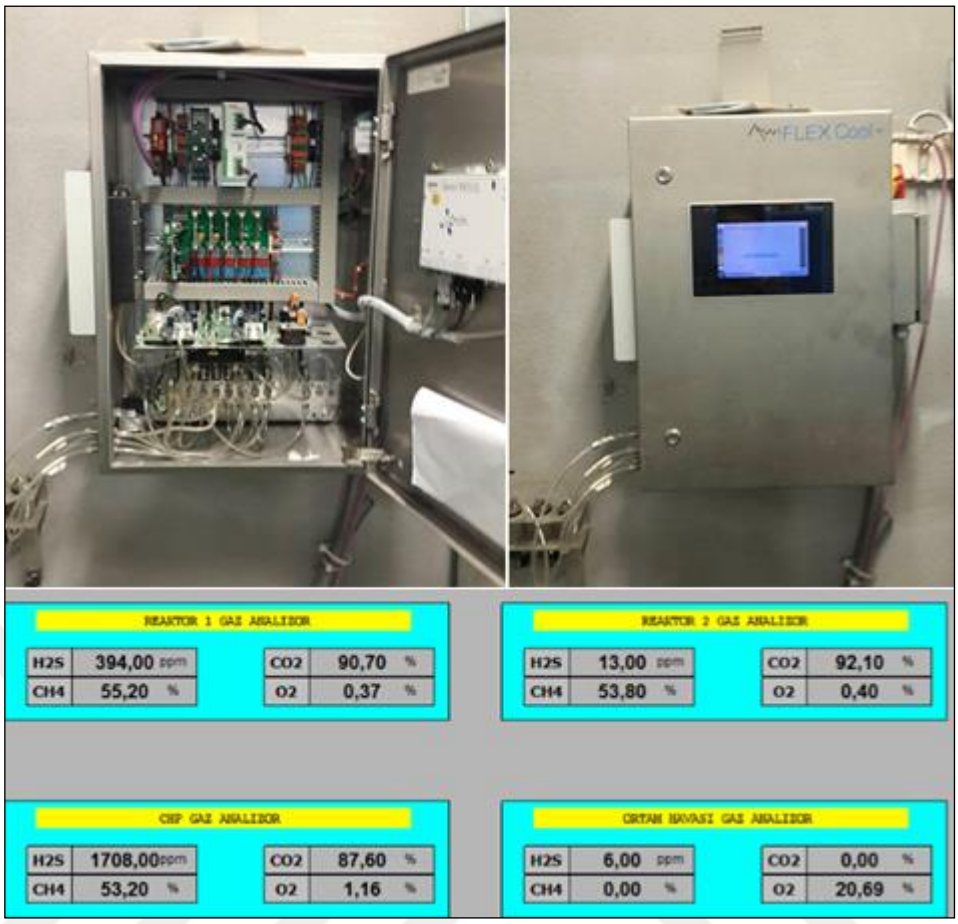
Fermantörden yaklaşık olarak 2.284 m^3/gün biyogaz üretilmektedir. Üretilen gazın metan içeriği %55-60 civarındadır (Şekil 3.1).

Üretilen biyogazın içeriği online ölçüm yapabilen biyogaz analizörü vasıtasıyla sürekli olarak ölçülmektedir. Biyogaz analizörü, metan (CH_4), hidrojen sülfür (H_2S), oksijen (O_2) ve hidrojeni (H_2) analiz edebilmek için fermantör, son depo ve kojenerasyon girişinden belirli sürelerde numune alarak gaz analizi yapan bir cihazdır (Şekil 3.1).

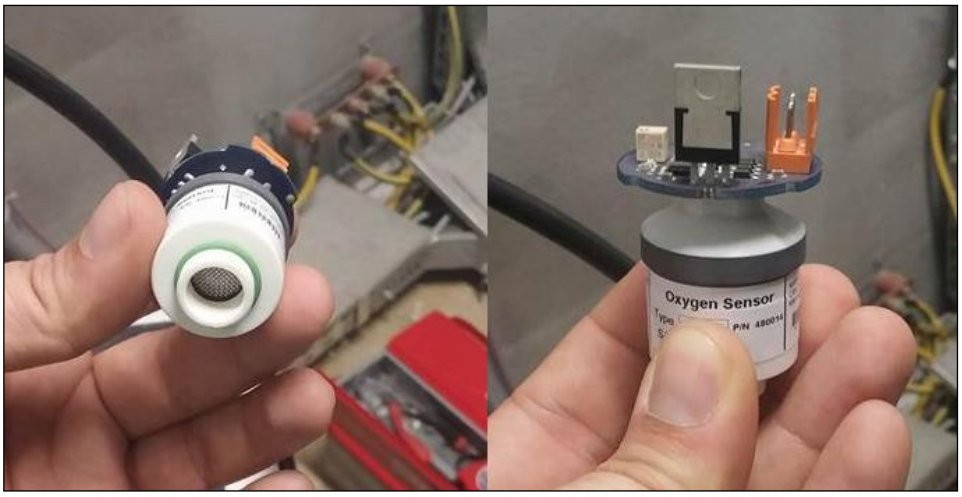
Gaz analizöründeki sensörler;

- Metan sensörü,
- Sıcaklık sensörü,
- Karbondioksit sensörü,
- Basınç sensörü,
- Su sensörü,
- Hidrojen sensörü,
- Hidrojen sülfit sensörü,
- Oksijen sensörü (Şekil 3.2), [14]

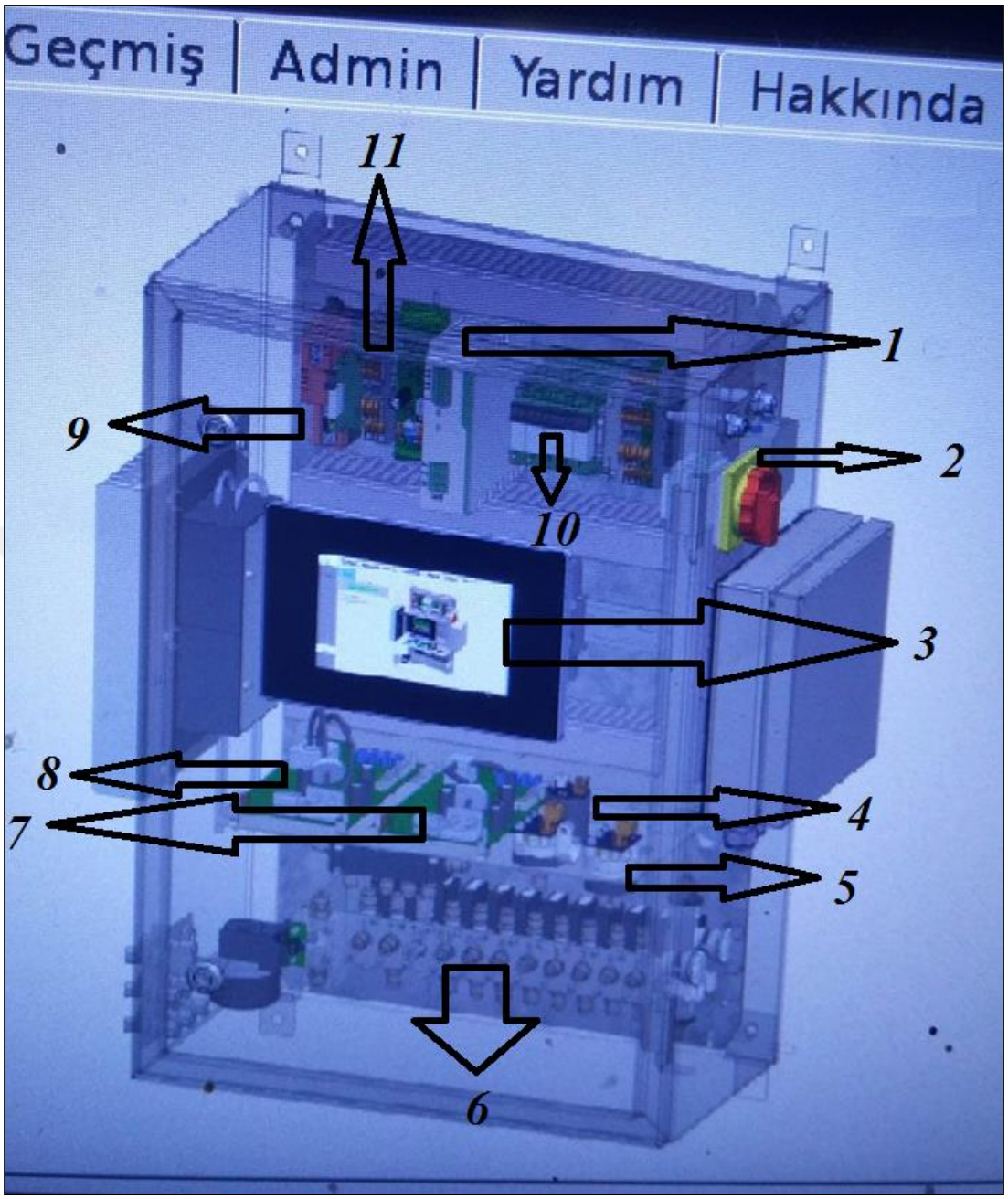
Bu sensörler, istek doğrultusunda biyogaz tesislerinde farklı tekniklerde yaptırılabilmektedir [14]. Gaz analizörünün iç yapısı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Gaz analizörü ve üretilen gazın metan içeriği



Şekil 3.2. Gaz analizöründe kullanılan oksijen sensörü



Şekil 3.3. AwiFLEX Cool+ tipi proses analiz sisteminde yapı grupları 1: Şebeke adaptörü, 2: Ana şalter, 3: Panel PC (dokunmatik ekran), 4:Oksijen sensörü, 5: Hidrojen sensörü, 6: Valfler, 7: Sıcaklık ve karbondioksit sensörü, 8: Metan sensörü, 9: Profibus modülü, 10: Awidesulf rölesi, 11: Klemens 24 VDc [14]

3.2. Sızıntı Hava Dedektörü

Gaz üretimine başlandıktan sonra belli periyotlarla gaz toplama örtüsünden sızıntı olup olmadığı, sızıntı dedektörü yardımıyla kontrol edilerek olası sızıntıların önüne geçilmektedir (Şekil 3.4).

3.3. Mobil Analizör (Eltipi Analizör)

Gaz analizörü'nün vermiş olduğu sayısal değerleri doğrulamak için, belli aralıklarla mobil analizör (eltipi analizör) cihazıyla manuel olarak ölçülmüştür. Yedi farklı gaza kadar ölçüm imkanı sağlayan bu cihaz; oksijen (O_2), karbondioksit (CO_2), azot oksit (NO), karbonmonoksit (CO), azotdioksit (NO_2), kükürtdioksit (SO_2) ve nitrojen oksitler (NO_X) gibi gazları da ölçmektedir. Aynı zamanda sızıntı gaz dedektör olarak da kullanılmaktadır [15]. Politetrafloroetilen (PTFE) filtre sayesinde yüksek verimlilikte filtrasyon sağlamaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Mobil analizör (eltipi analizör)

Depolanan H_2S'in gaz hattı ve gaz motorunda korozyona sebep vermesi nedeniyle desülfirizasyon kolonu ile giderilmesi gerekmektedir [16]. Biyogaz içerisinde bulunan H_2S'in konsantrasyonu düşürülmediği takdirde gaz motoruna zarar vermektedir. Bunu önleyebilmek için biyogazın gaz motoruna girmeden önce şartlandırılması gerekmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek amacıyla biyolojik H_2S giderme ünitesi ve aktif karbon H_2S ayrıştırma ünitesinden oluşan çift aşamalı H_2S ayrıştırma sistemi kullanılmıştır. Bu ayrıştırma sistemi, biyolojik ve kimyasal desülfürizasyon kolonu ile yapılmaktadır.

3.4. Biyolojik Desülfürizasyon Sistemi

Biyolojik desülfürizasyon sisteminde sülfüre duyarlı özel bakteriler kullanılmaktadır. Bu bakteriler belirli orandaki oksijen gazının içerisindeki hidrojen sülfürü elementel kükürte dönüştürür, bu da fermantasyon artıklarıyla birlikte fermantörden bertaraf edilmektedir. Ayrıca hidrojen sülfür ortam koşulları sağlandığında içeri hava üflenmesi ile (örneğin; akvaryum kompresörü) belirli aşamalardan sonra sülfürik aside dönüştürülür [16].

Elementel kükürt elde edilme tepkimesi Denklem (1.1) ve Denklem (1.4)'deki gibi;

$$H_2S + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O + S_{(g)} \quad (1.1)$$

Sülfirik asidin elde edilme tepkimesi;

$$H_2S + \frac{3}{2}O_{2(g)} \rightarrow H_2O + SO_2 \quad (1.2)$$

$$SO_2 + \frac{1}{2}O_{2(g)} \rightarrow SO_3 \quad (1.3)$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \quad (1.4)$$

Şeklindedir.

Yüksek verim ve işletme maliyeti gibi avantajlar sağlamaktadır. Çevresel zararı olmayan, atık bertaraf maliyeti gerektirmeyen ve isteğe bağlı olarak gaz analizörü ilave edilebilmektedir [16].

Fermantörün gaz bölmesine hava üflenmesi için, çalışma-durma (%) ve çalışma zamanı set değerleri operatör tarafından manuel olarak girilebilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Fermantör gaz bölmesine hava üfleme düzeneği

3.5. Kimyasal Desülfürizasyon Sistemi

Biyogaz tesislerinde gaz içerinde bulunan hidrojen sülfür (H_2S) miktarını düşürmek için genellikle kimyasal desülfürizasyon sistemi tercih edilmektedir [17]. Hidrojen sülfür (H_2S) oranını (ppm) belirli bir değerin altına düşürebilmek için kimyasal desülfürizasyon sistemi içerisinde bulunan demir talaşları kullanılmaktadır. Kimyasal desülfürizasyon sistemi blower öncesi gaz hattına eklenmekte ve bu sistem ile gaz içerisinde bulunan hidrojen sülfür (H_2S) elimine edilmektedir (Şekil 3.6). Hidrojen sülfür (H_2S) oranı düşürülmüş gazın blower sistemi ile basıncı artırılmakta ve gaz motoruna yakılmak üzere gönderilmektedir.



Şekil 3.6. Kimyasal desülfürizasyon sistemi

3.6. Organik Asitlerin Konsantrasyonunun Belirlenmesi (FOS/TAC)

Biyogaz oluşumunda ara ürün olarak organik asitler kullanılır. Sulu çözeltide pH değerine bağlı olarak organik asitler ayrışmaktadır. Bu oranın hesaplanma şekli Denklem (1.5)'deki gibidir; [18]

$$f = \frac{10^{pK_s - pH}}{1+10^{pK_s - pH}} \quad (1.5)$$

f= Ayrışma faktörü

pK_s= Asit sabitinin negatif, dekadik logoritması

pH= pH değeri

ile hesaplanmaktadır [18].

Fermentördeki konsantrasyonun sabit olması asit oluşumu ve dönüşümün sabit durumda iken hızlarının aynı olmasından kaynaklanmaktadır [18].

Asit oluşumunda bozunmanın engellenmesi ve/veya artması durumunda oluşan asitlerin konsantrasyonu artar ve asitler çoğalır. Yasalara uygun olarak bakteri büyümesinin bağlı olduğu materyal konsantrasyonu büyüme hızının artışını ve asit konsantrasyonun yükselmasine beraberinde getirmektedir. Proses bu şekilde kendi kendini sağlamlaştırır [18].

Mikroorganizmaların kapasitesinin asitlerin oluşum hızından dolayı tamamen aşılması durumu tekrar konsantrasyonun artmasına neden olur. Eğer herhangi bir müdahalede bulunulmazsa kullanılan materyalin tıkanma kapasitesinin bittiği noktaya kadar birikir ve bu da pH'ın düşmesine neden olur [18].

Asit konsantrasyonun sabit kalması prosesin değerlendirmesi açısından önemlidir. Konsantrasyondaki değişmeleri değerlendirmek için proses modelleri gerekmektedir. Asitlerdeki Konsantrasyonun belirlenmesi için farklı teknikler vardır [18].

Bunlar;

- Su buharı damıtımı,
- Gaz kromatografisi,
- Uçucu organik asitler (FOS) [18]

Su buharı damıtması her ne kadar organik asitlere bakılarak daha doğru sonuçlar versede, uçucu organik asit değerinin giderek yagınlaşması su buharı damıtmasının uygulanamamasına neden olmaktadır. Bunun nedeni; uçucu asitlerin su buharıyla damıtılmasının maliyetinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [18].

Başka bir maliyetli ölçme tekniği olan gaz kromatografisi materyaller kullanılarak deneyim gerekmektedir. Bu teknik diğerleriyle karşılaştırıldığında en hassas olanıdır. Uçucu organik asitler (FOS) genellikle TAC adı verilen 0,1 N (Normalite) sülfürik asitteki "X tüketimi"nde pH 5'e kadar yapılan numunenin titrasyonu sırasında belirlenen değer ile kombine kullanılır [18].

Analiz için, 5 gr numune gübre süzülüp 15 ml saf su ile seyreltilmektedir. Sonraki işlemde cihaz ayarlanarak otomatik olarak titrasyon yapılmaktadır. FOS/TAC oranı birkaç dakika sonra görüntülenmektedir (Şekil 3.7).

4 ay'lık periyot içerisinde analiz edilen FOS/TAC oranları Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.7. FOS/TAC değerine bakılması

FOS/TAC oranı pH 4,4'e kadar tüketilen asitin karbonatla titrasyonu ile organik asitlerdeki "Y asit tüketimi"ne varılır. Bu uygulama deneyseldir. Kullanılan hesaplama formülleri;

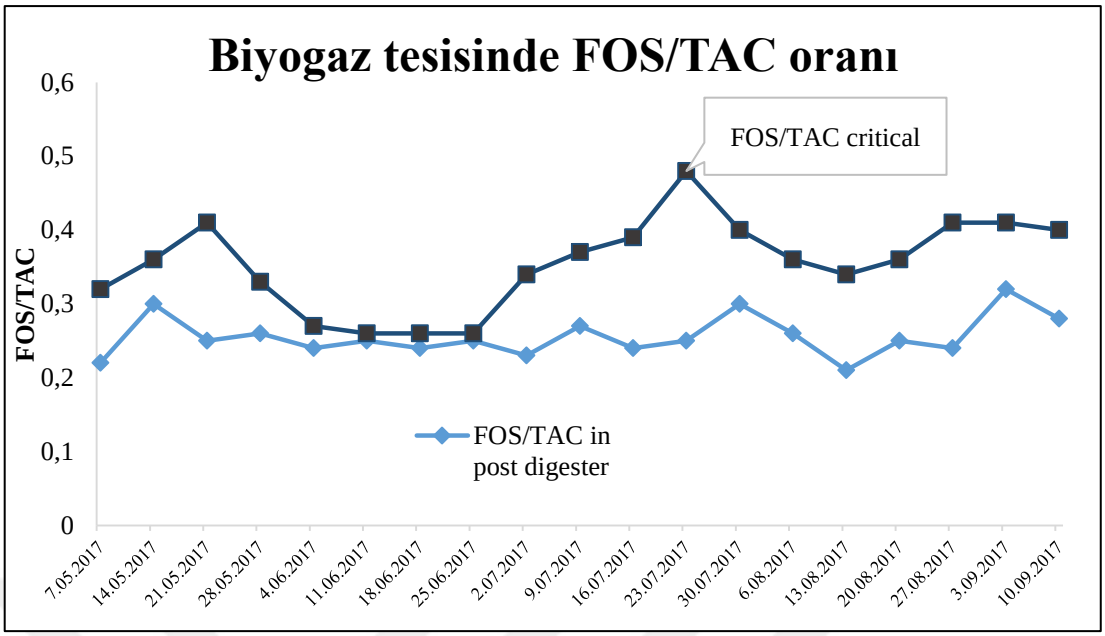
Numune miktarı: 20 ml (çöktürülmüş)

TAC: Tüketim X x 250 [mg/I $CaCO_3$]

FOS: $\left((\text{Tüketim Y x } 1{,}66) - 0{,}15\right)$ x 500 [mg/I HAc]

ile hesaplanmaktadır [18].

Yapılan bu hesaplama (FOS/TAC) genellikle proses değerlendirmesinde kullanılır. Bu oranın büyüklüğü istisnalar dışında 0,8'den fazla olmamalıdır. Hesaplamaların hangi teknik dikkate alınarak yapıldığı problemlerin tanınabilmesi için asitlerdeki gibi değerin değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir [18].



Şekil 3.8. Analiz edilen FOS/TAC oranları

3.7. pH Metre

Sürekli olarak gelen atıklardan örnekler alınarak kuru madde, uçucu kuru madde, pH miktarları kontrol edilmektedir. Fermantör içerisi pH'ı 6,8-7,5 aralığında, katı madde oranı ise %8~10 aralığında tutulmaktadır. Bu değerler pH metre (Şekil 3.9) ile ölçülmekte ve 75 günlük ölçüm değerlerinin zamana göre değişim grafiği (Şekil 3.10) verilmiştir.

pH değeri biyolojik süreçlere bağlıdır. En uygun pH değeri 7 yada 7,5 olmasına rağmen bu değerin üzerinde yada altında da metan oluşumu sağlanmaktadır [18].

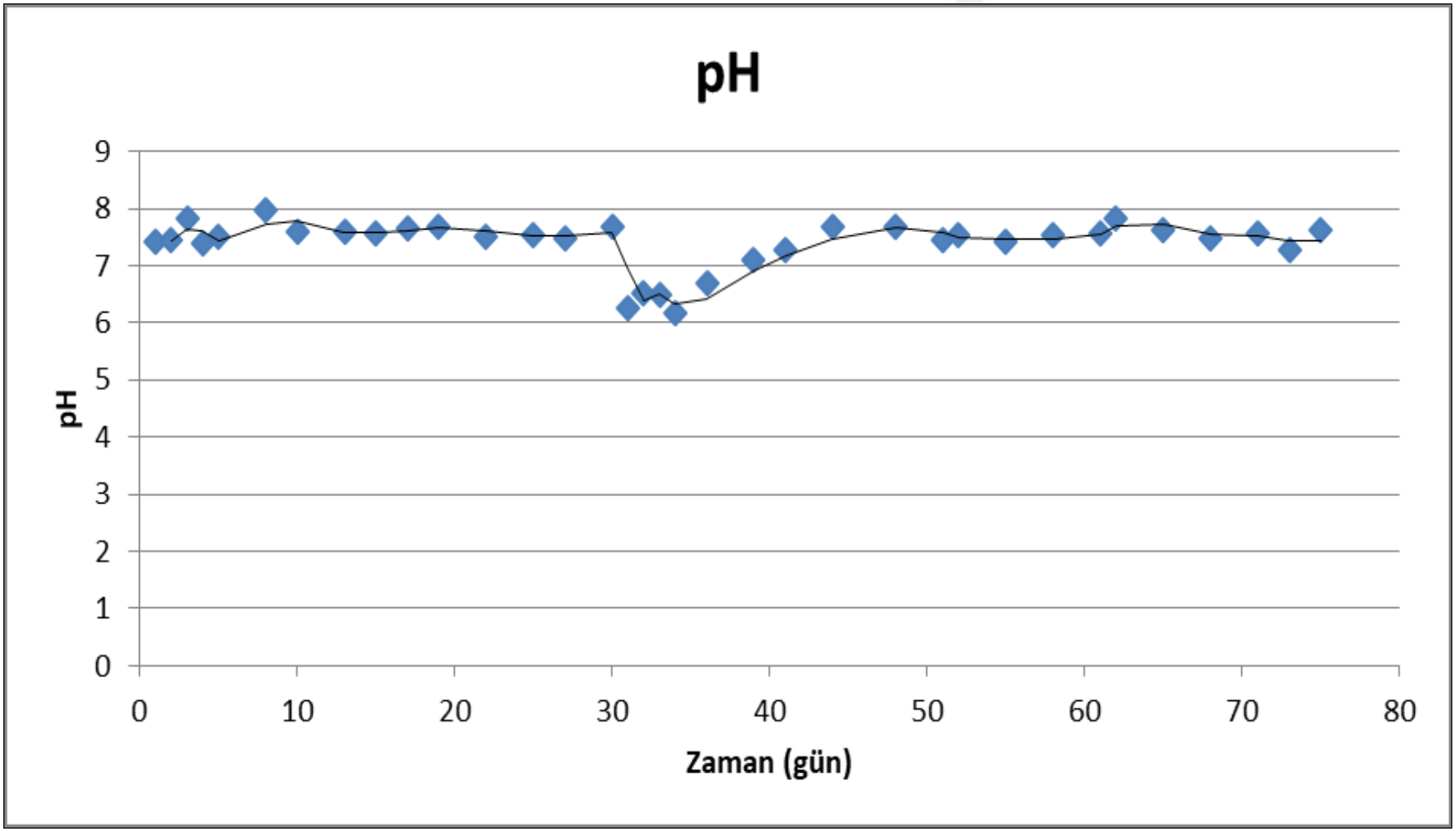
Bakteri grupları uygun çalışma koşullarını düzenler, bunun sonucunda ise pH değeri kendini otomatik olarak ayarlar [18].



Şekil 3.9. pH metre

Diğer bir çalışma sürecinde hidroliz aşamasında ise pH değerinin 5-6,5 aralığında olmasının nedeni, asit oluşumuna neden olan bakterilerin uygun çalışma koşullarını ortaya koymasıdır. Maddenin bozunması yada tamponlama kapasitesi pH değerinin nötr aralığa çeker [18].

Amonyum (NH_4^+) ve hidrojen karbonat (HCO_3^-) gibi maddelerin aynı pH değerini tamponlama kapasitesi sağlamaktadır. pH değeri burada organik asit, hidrojen sülfür, amonyak gibi ürünlerin çözünme koşullarını düzenler. pH değeri buna rağmen olması gerekenden uzak bir değer gösterir. Sistemde gözle görülen değişiklikler meydana gelirse hemen neden kaynaklandığı belirlenip müdahale edilmelidir [18].



Şekil 3.10. pH'ın zamana göre değişimi

3.8. Kuru Madde Analizi (Nem Tayin Cihazı)

Kuru madde analizi ATS 120 Nem Tayin Cihazı ile yapılmaktadır. Bu cihaz infrared (ısıyı ışık yolu ile ileterek ışığın yansıdığı objeyi ısıtan elektromanyetik ışınım) teknolojisi ile ısı vererek ölçümü yapılan numune içerisindeki nem miktarını tespit etmek için kullanılır. Ürünü kurutma yapıp ağırlık kaybı temeline dayalı olarak içerisindeki nemi görmek için tasarlanmış nem tayin cihazıdır. İçerisinde 120 gram kapasiteli, 0.001 gr hassasiyetli hassas terazi de mevcuttur (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Nem tayin cihazı

Öncelike fermantör içerisinden 5-10 gram numune alınarak ölçüm haznesine koyulan ürün, 105 ^{0}C'lik ısıyla nemi uçurulduktan sonra cihaz içerisindeki numuneyi tekrardan tartmakta ve aradaki ağırlık farkından kuru madde oranını hesaplamaktadır.

Kuru madde oranı % 10 uçucu kuru madde oranı % 65 olarak verilen bir 10 g.'lık bir malzemenin;

$$\text{Kuru madde miktarı (g)} = \text{Madde miktarı (g)} \text{x} \frac{\text{Kuru madde oranı (\%)}}{100}$$

$$\text{Kuru madde miktarı (g)} = 10\ \text{(g)x}\frac{10\ (\%)}{100} = 1$$

$$\text{Uçucu kuru madde miktarı (g)} = \text{Kuru madde miktarı (g)x}\frac{\text{OKM oranı (\%)}}{100}$$

$$\text{Uçucu kuru madde miktarı (g)} = 1\ \text{(g)x}\frac{65\ (\%)}{100} = 0{,}65$$

olarak hesaplanır.

Metan oluşumu gözlemlendikten sonra fermantör içerisinden numuneler alınarak, atığın kuru madde oranı, uçucu kuru madde oranı, uçucu yağ asitleri mikarı ve ortamın pH'ı 75 gün boyunca sürekli izlenmiştir. Günlük olarak alınan numunelere yapılan analizler sonuçları ve biyogaz üretim miktarları göz önünde bulundurularak fermantöre tavuk gübresi ve peynir altı suyu yüklemesi yapılmıştır. Fermantöre yapılan yüklemeler sonucunda fermentör içerisinde meydana gelen değişimleri gözlemleyebilmek için numuneler alınarak analizleri yapılmaya devam edilmiştir. Maksimum biyogaz üretimi için optimum şartlar sağlanana kadar farklı atık reçeteleri uygulanmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları Tablo 3.1'de, değişimlerini gösteren grafikler ise Şekil 3.12-3.14'de verilmiştir. Günlük olarak üretilen toplam biyogaz miktarı ve metan içerikleri Tablo 3.2'de ve günlük değişimlerini gösteren grafik Şekil 3.15'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Analiz sonuçları

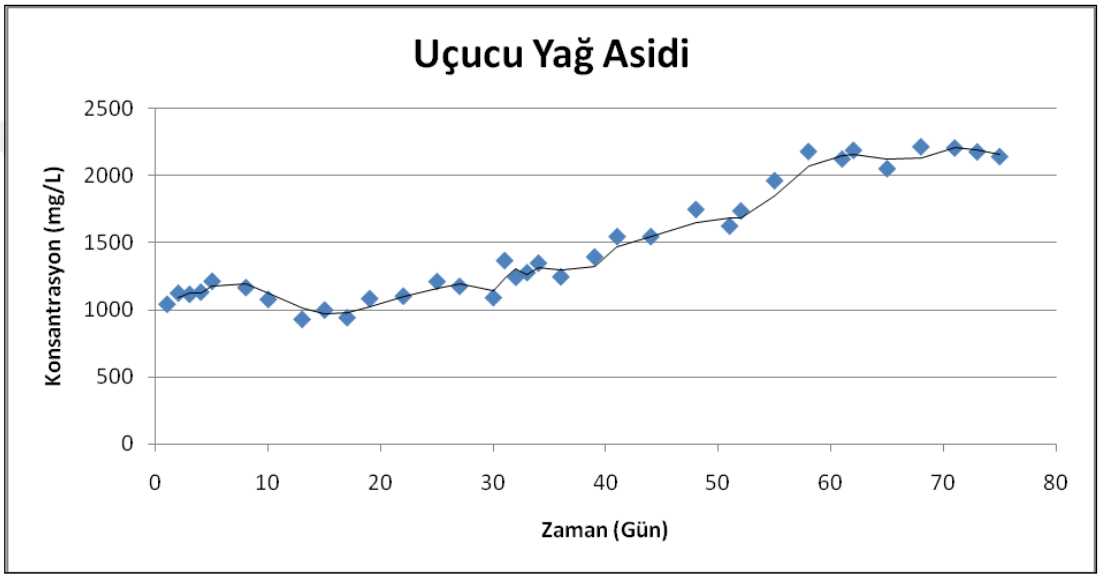
Gün	Numune Adı	Uçucu Yağ Asiti	Kuru Madde	Uçucu Kuru Madde	pH
		mg/l	%	%	-
1	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1045	5,45	64,46	7,42
2	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1127	7,21	66,8	7,44
3	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1119	7,56	63,31	7,82
4	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1135	7,86	64,51	7,4
5	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1216	6,49	67,45	7,5
8	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1169	6,82	68,09	7,96
10	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1081	7,02	66,37	7,6
13	Büyükbaş Hayvan Gübresi	933	7,04	66,03	7,59
15	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1002	7,27	64,37	7,56
17	Büyükbaş Hayvan Gübresi	945	6,59	66,18	7,66

Tablo 3.1. (Devam) Analiz sonuçları

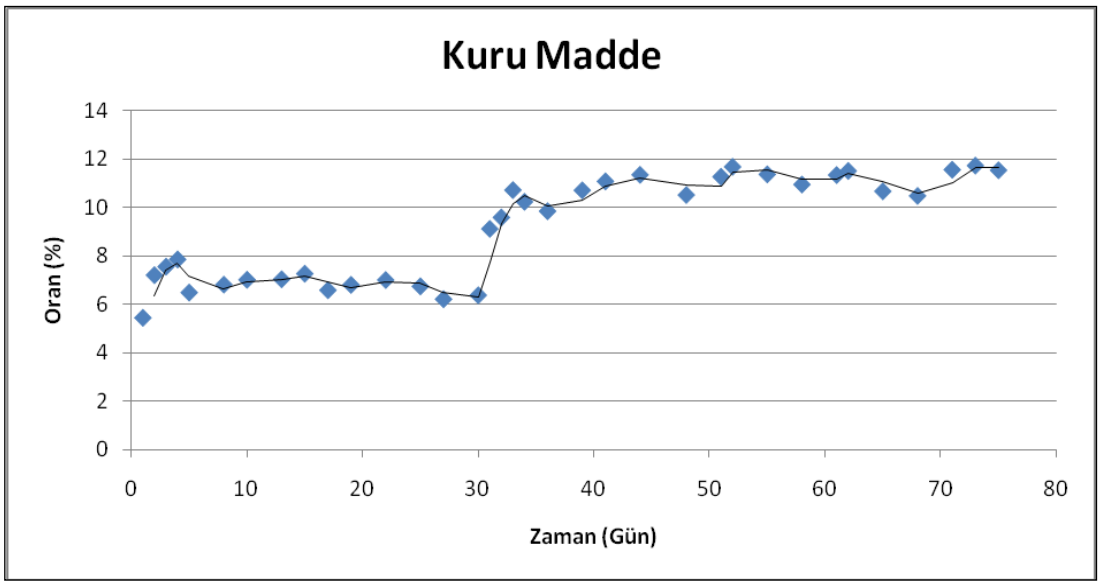
Gün	Numune Adı	Uçucu Yağ Asiti	Kuru Madde	Uçucu Kuru Madde	pH
		mg/l	%	%	-
19	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1087	6,81	65,34	7,68
22	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1105	7,01	69,14	7,52
25	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1214	6,75	70,27	7,54
27	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1178	6,22	66,67	7,49
30	Büyükbaş Hayvan Gübresi	1094	6,38	68,36	7,68
31	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1370	9,12	70,24	6,27
32	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1245	9,59	67,76	6,51
33	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1280	10,72	67,22	6,49
34	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1351	10,24	66,97	6,16
36	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1249	9,85	65,64	6,7
39	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1397	10,71	64,97	7,1
41	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1548	11,08	62,7	7,27
44	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1548	11,35	65,23	7,67
48	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1750	10,52	68,31	7,69
51	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1627	11,27	69,29	7,46
52	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1739	11,68	68,52	7,53
55	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	1964	11,37	67,29	7,41
58	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	2181	10,95	67,17	7,53
61	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	2125	11,34	65	7,58
62	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	2190	11,51	66,1	7,84
65	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	2053	10,67	66,37	7,61
68	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	2216	10,48	64,76	7,49
71	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	2207	11,56	63,42	7,58

Tablo 3.1. (Devam) Analiz sonuçları

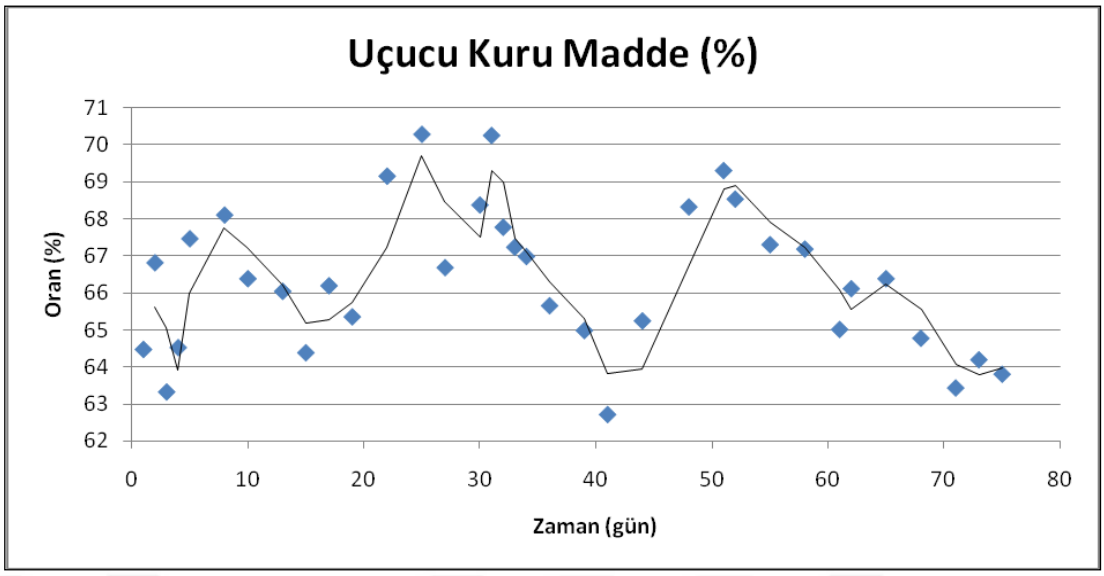
Gün	Numune Adı	Uçucu Yağ Asiti	Kuru Madde	Uçucu Kuru Madde	pH
		mg/l	%	%	-
73	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	2178	11,73	64,18	7,27
75	Büyükbaş Hayvan Gübresi + Tavuk Gübresi + Peynir Altı Suyu	2143	11,54	63,79	7,63



Şekil 3.12. Uçucu yağ asitlerinin zamana göre değişimi



Şekil 3.13. Kuru madde oranının zamana göre değişimi



Şekil 3.14. Uçucu kuru madde oranının zamana göre değişimi

Tablo 3.2. Günlere göre üretilen biyogaz miktarı ve metan içerikleri

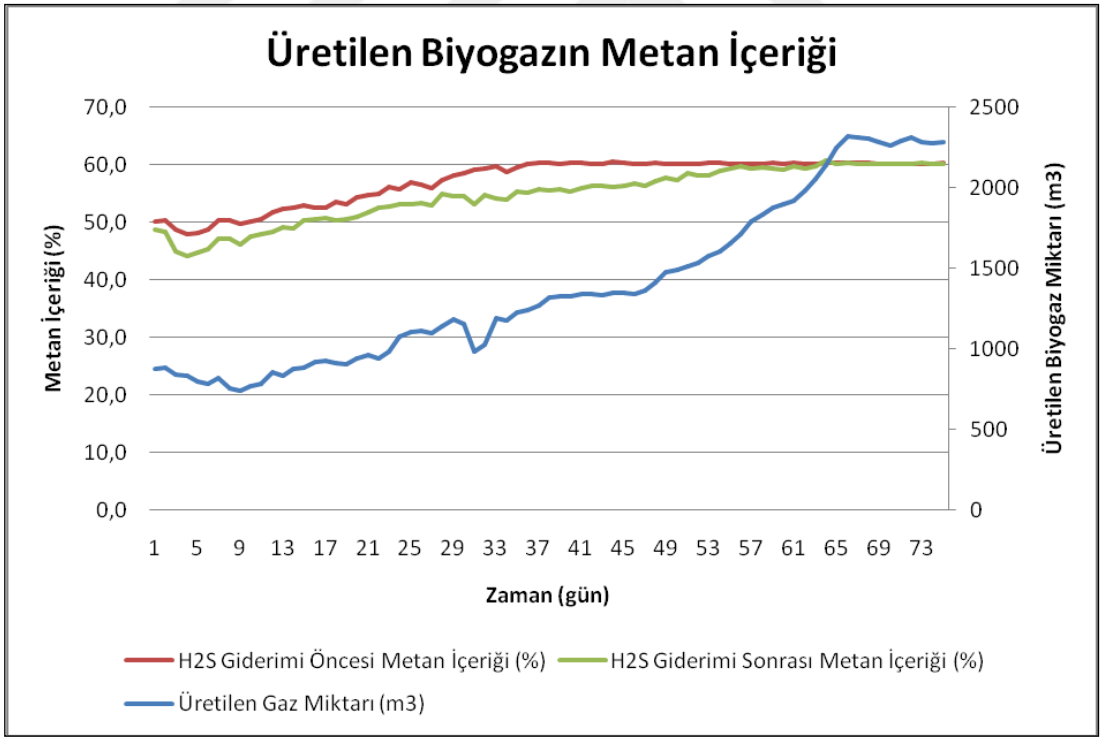
Gün	Üretilen Gaz Miktarı (m^3)	H_2S Giderimi Öncesi Metan İçeriği (%)	H_2S Giderimi Sonrası Metan İçeriği (%)
1	875	50,1	48,7
2	886	50,4	48,4
3	842	48,7	45
4	837	47,9	44,2
5	795	48,1	44,8
6	781	48,7	45,3
7	816	50,4	47,2
7	816	50,4	47,2
8	753	50,3	47,2
9	741	49,8	46,1
10	769	50,2	47,5
11	784	50,5	47,9
12	852	51,8	48,4
13	833	52,4	49,1
14	876	52,6	49
15	881	52,9	50,4
16	917	52,5	50,5
17	925	52,5	50,7
18	911	53,5	50,4
19	906	53,1	50,6
20	938	54,3	50,9
21	961	54,7	51,8

Tablo 3.2. (Devam) Günlere göre üretilen biyogaz miktarı ve metan içerikleri

Gün	Üretilen Gaz Miktarı (m^3)	H_2S Giderimi Öncesi Metan İçeriği (%)	H_2S Giderimi Sonrası Metan İçeriği (%)
22	942	54,9	52,6
23	984	56,1	52,7
24	1076	55,7	53,1
25	1108	56,9	53,2
26	1114	56,6	53,3
27	1101	56	53
28	1143	57,4	54,9
29	1184	58,1	54,5
30	1153	58,6	54,5
31	987	59,2	53,2
32	1024	59,4	54,8
33	1188	59,7	54,1
34	1173	58,8	54
35	1226	59,6	55,3
36	1239	60,1	55,1
37	1267	60,3	55,7
38	1318	60,4	55,5
39	1327	60,2	55,7
40	1323	60,3	55,4
41	1339	60,4	56
42	1342	60,2	56,3
43	1336	60,1	56,4
44	1348	60,5	56,1
45	1351	60,4	56,4
46	1342	60,2	56,7
47	1359	60,1	56,3
48	1414	60,4	57,1
49	1475	60,2	57,8
50	1489	60,2	57,4
51	1511	60,1	58,6
52	1537	60,2	58,2
53	1579	60,3	58,2
54	1605	60,4	58,9
55	1657	60,1	59,3
56	1713	60,2	59,7
57	1788	60,2	59,4
58	1837	60,1	59,6

Tablo 3.2. (Devam) Günlere göre üretilen biyogaz miktarı ve metan içerikleri

Gün	Üretilen Gaz Miktarı (m^3)	H_2S Giderimi Öncesi Metan İçeriği (%)	H_2S Giderimi Sonrası Metan İçeriği (%)
59	1873	60,3	59,4
60	1898	60,1	59,1
61	1917	60,4	59,7
62	1984	60,2	59,3
63	2057	60,2	59,7
64	2137	60,3	60,7
65	2248	60,4	60,1
66	2319	60,3	60,3
67	2310	60,4	60,2
68	2307	60,3	60,2
69	2280	60,1	60,1
70	2264	60,2	60,1
71	2291	60,1	60,1



Şekil 3.15. Üretilen biyogaz miktarı ve metan içerikleri

4. GAZ MOTORU (KOJENERASYON)

Fermantörde üretilen biyogaz nem tutucudan geçirilerek nemi alınır. Nemi almak için gerekli soğutma chiller grubundan sağlanmaktadır. Nemi alınan biyogaz blower ile istenilen debi ve basınçta gaz motoruna gönderilmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Gaz motoru

Şartlandırılan biyogaz, 240 kW ısı, brüt 315 kWe ve net 210 kWe elektrik üretim kapasitesine sahip gaz motorunda yakılarak enerji üretimi gerçekleşmektedir. Jeneratörden üretilen güç gaz motorunun PLC panosundan ve otomasyon ekranından görüntülenebilmektedir (Şekil 4.2).

Üretilen ısı enerjisi fermantörlerin ısıtılması için gerekli olan sıcak suyun eldesinde kullanılırken elektrik ise şebekeye satılmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlar'ın atmosfere salınabilmesi için gaz motoru, 10 m yükseklik ve alt çapı 273 mm üst çapı ise 219 mm olan bir baca ile donatılmıştır ve baca sıcaklığı 400 °C'dir.



Şekil 4.2. Gaz motoru panosundan anlık elektrik üretimi

Elde edilen biyogaz miktarına karşılık üretilen elektrik enerjisi miktarı Tablo 4.1'de verilmiştir. Elektrik enerjisi üretiminde meydana gelen değişimi gösteren grafik ise Şekil 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Biyogaz miktarına karşılık üretilen elektrik enerjisi miktarı

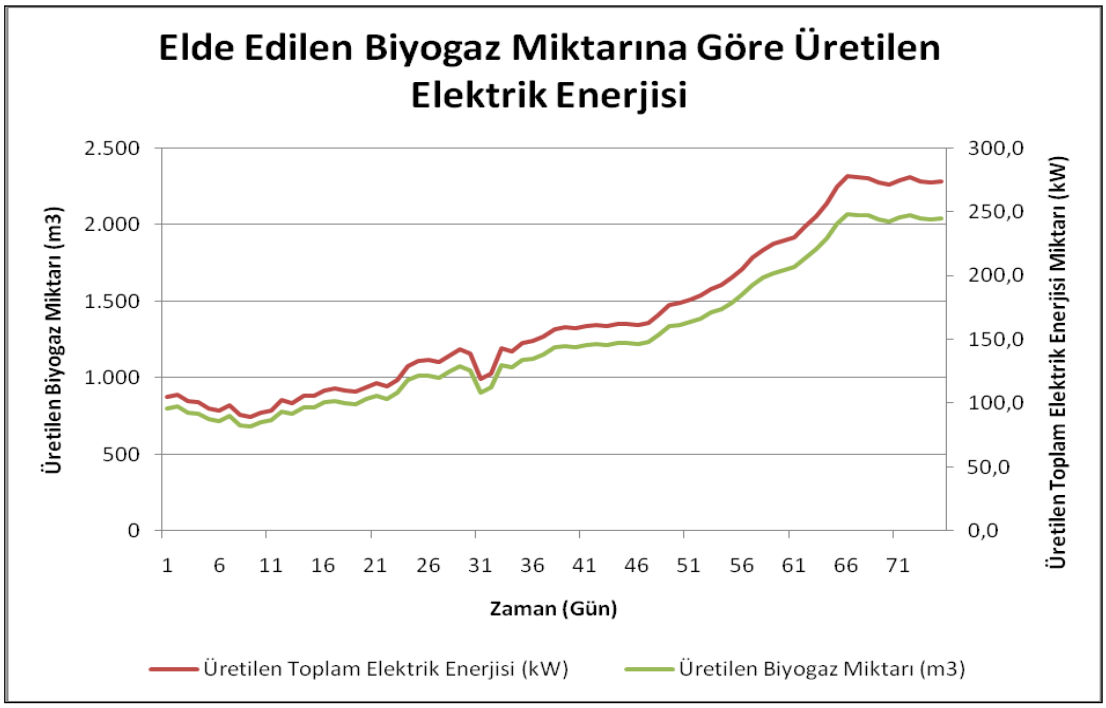
GÜN	Üretilen Gaz Miktarı (m3)	Üretilen Elektrik Enerjisi (kW)
1	875	89,3
2	886	90,4
3	842	85,9
4	837	85,4
5	795	81,1
6	781	79,7
7	816	83,2
8	753	76,8
9	741	75,6
10	769	78,4
11	784	80
12	852	86,9
13	833	85
14	876	89,4
15	881	89,9
16	917	93,5
17	925	94,4
18	911	92,9
19	906	92,4

Tablo 4.1. (Devam) Biyogaz miktarına karşılık üretilen elektrik enerjisi miktarı

GÜN	Üretilen Gaz Miktarı (m3)	Üretilen Elektrik Enerjisi (kW)
20	938	95,7
21	961	98
22	942	96,1
23	984	100,4
24	1,076	109,8
25	1,108	113
26	1,114	113,6
27	1,101	112,3
28	1,143	116,6
29	1,184	120,8
30	1,153	117,6
31	987	101
32	1,024	104,4
33	1,188	121,2
34	1,173	119,6
35	1,226	125,1
36	1,239	126,4
37	1,267	129,2
38	1,318	134,4
39	1,327	135,4
40	1,323	134,9
41	1,339	136,6
42	1,342	136,9
43	1,336	136,3
44	1,348	137,5
45	1,351	137,8
46	1,342	136,9
47	1,359	138,6
48	1,414	144,2
49	1,475	150,5
50	1,489	151,9
51	1,511	154,1
52	1,537	156,8
53	1,579	161,1
54	1,605	163,7
55	1,657	169
56	1,713	174,7

Tablo 4.1. (Devam) Biyogaz miktarına karşılık üretilen elektrik enerjisi miktarı

GÜN	Üretilen Gaz Miktarı (m3)	Üretilen Elektrik Enerjisi (kW)
57	1,788	182,4
58	1,837	187,4
59	1,873	191
60	1,898	193,6
61	1,917	195,5
62	1,984	202,4
63	2,057	209,8
64	2,137	218
65	2,248	229,3
66	2,319	236,5
67	2,310	235,6
68	2,307	235,3
69	2,280	232,6
70	2,264	230,9
71	2,291	233,7
72	2,309	235,5
73	2,283	232,9
74	2,276	232,2
75	2,285	233,1



Şekil 4.3. Elde edilen biyogaz miktarına göre üretilen elektrik enerjisi

5. KONTROL ÜNİTESİ VE GÖZETLEME SİSTEMİ (SCADA)

Birçok endüstriyel tesislerinde PLC (Programmable logic controller) sistemi kullanılmaktadır. Biyogaz tesisinin otomasyonu Siemens S7300 PLC ile yapılmıştır. PLC'nin tercih edilmesinin sebebi; işletmenin tüm işlem ve çalışmalarını tek bir ekrana toplayarak görebilme ve müdahale edebilme olanağı sağlamasıdır. PLC yazılımının düzgün çalışabilmesi ve işletmenin problemsiz bir şekilde yönetilebilmesi için her bir ekipmanın çalışma şartlarına göre uygun senaryolar oluşturulmuştur [19]. Bunlar;

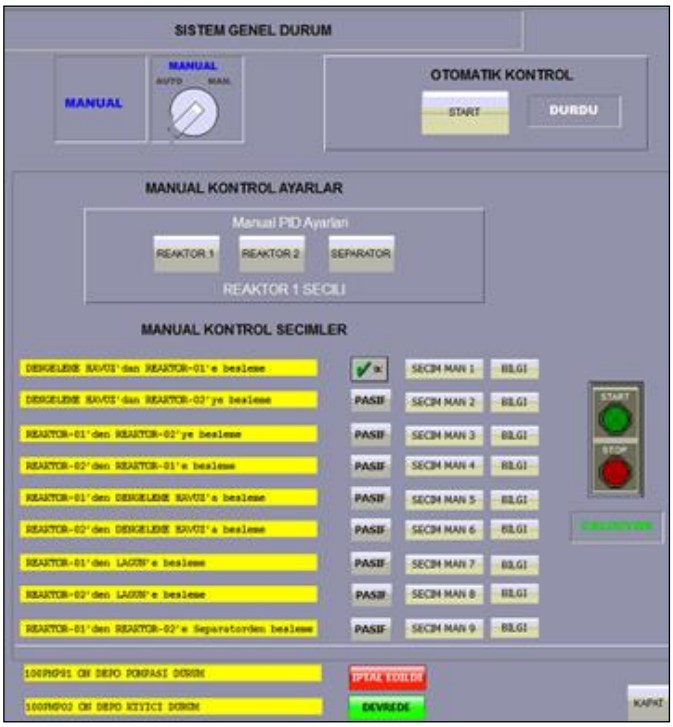
- Kullanıcı tarafından tanımlanmış işletme yazılımı bilgisayar ekranına aktarılarak işletmenin takibi (Sıcaklık, basınç, seviye, vanalar, gaz motor durumu, pompalar, dijital ve analog sinyaller ve sistem durumu vb),
- Reçete ekranı vasıtasıyla atıkların hangi saat aralığında ne kadar yükleneceği,
- Anlık ve periyodik raporların (elektrik üretimi, sistemin anlık veya manuel çalışma modu, stok durumu ve grafiklerin) alınması,
- Otomatik veya manuel çalışan sisteme, bilgisayar (SCADA) ekranında manuel müdahale yapabilme,
- Hata ve/veya arıza durumlarının alarm penceresinde gösterilmesi ve veri tabanına kayıt edilmesi.

İşletmedeki hata ve/veya arıza durumunu SCADA ekranından görülebilmekte ve müdahale edilebilmektedir (Şekil 5.1).



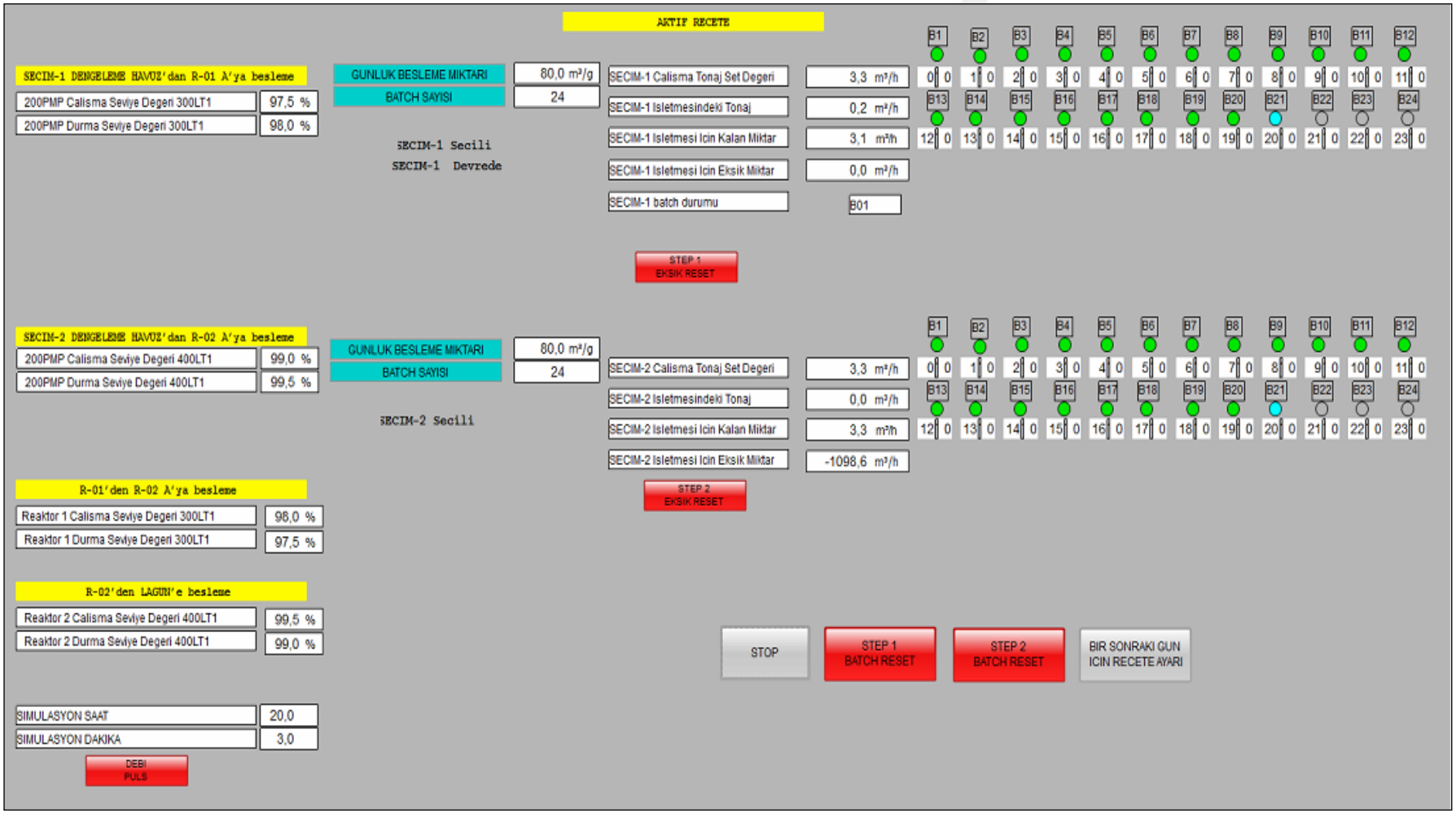
Şekil 5.1. Hata ve/veya arıza durumunu gösteren pencere

Kullanıcı isteğine göre otomatik ve manuel çalışma sistemleride mevcuttur. Otomatik kontrolde; ön depodan gelen atık, kıyıcı tarafından istenilen seviyede parçalar ve doğrudan pompaya gönderir bu durumu manuel modda da yapılabilmektedir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Otomatik ve manuel kontrol

Operatörün kontrol sistemi kumandasına manuel kontrol'den müdahale ederek, beslemenin hangi aralıklarla yükleneceği SCADA'nın reçete ekranına yazılır ve o zaman aralığında sistem otomatik olarak yükleme yapar (Şekil 5.3). Fermantöre yükleme (besleme) yapıldığında sistemde olası bir arıza ve/veya hata durumunda, yükleme en son kaldığı tonajı veri tabanına kayıt eder ve sistem tekrardan çalıştığında kaldığı yerden devam ederek 24 saatlik reçete beslemesini tamamlamaktadır.



Şekil 5.3. Besleme reçete ekranı

Fermantör ve son deponun içerisindeki 11 kW'lık sürücülü karıştırıcılar otomatik ve/veya manuel start stop ve zaman ayarı yapılabilmektedir. Alt kısımda toplanan gazın üst kısma doğru hareket edebilmesi ve homojen olabilmesi için belli zaman aralığında karıştırılması gerekmektedir. Örneğin; 10 dakika çalıştır, 20 dakika durdur (Şekil 5.4).



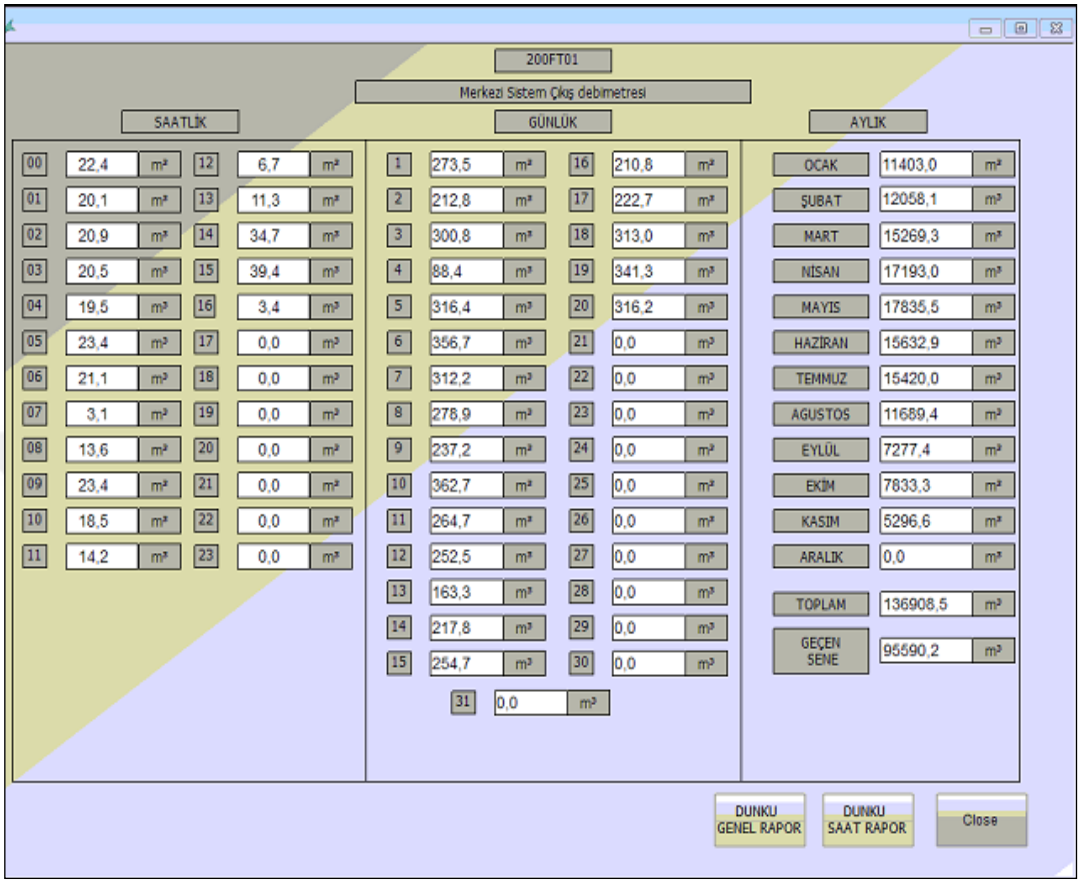
Şekil 5.4. Karıştırıcıların otomatik ve/veya manuel çalışma set değeri

Fermantörde depolanan gaz (0~5mbar) blower sonrası, gaz debimetresinden geçerek saatlik, haftalık ve aylık olarak veri tabanına m^3/h olarak kayıt edilebilmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Blower sonrası gaz debimetresi

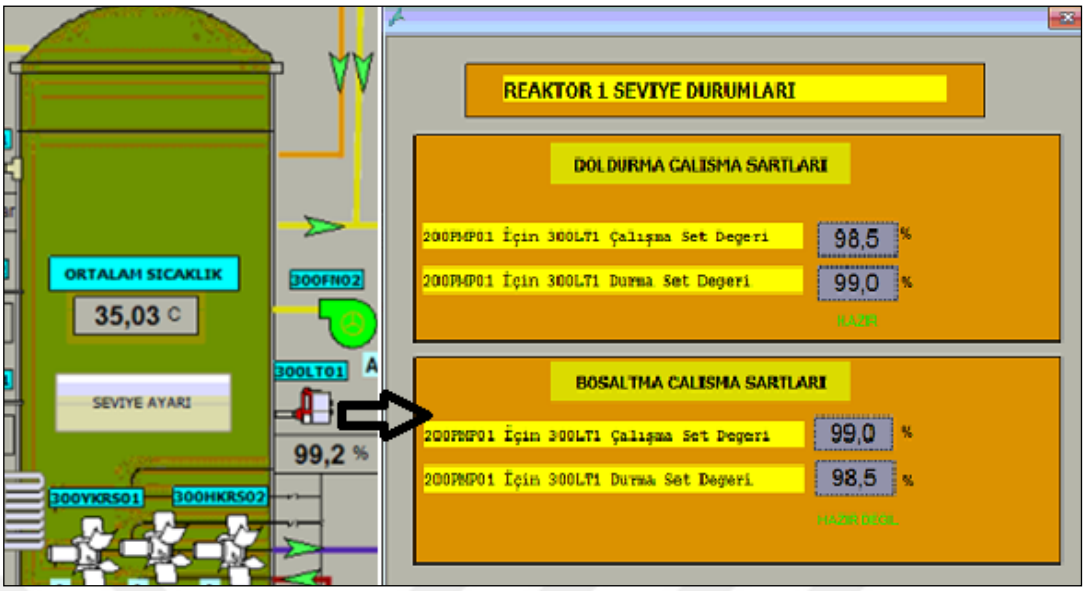
Gaz debimetresinden geçen ~130 mbar'lık basınç, merkezi sistem çıkış debimetre ekranında görülmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Merkezi sistem çıkış debimetresi

Kıyıcıdan parçalanarak gelen atıklar pompa ile fermantöre ve son depoya gönderilir. Gelen atıklar belirtilen şartlara göre, belli bir set değerine (%) ulaştığında yükleme otomatik olarak durdurulur. Pompa fermantöre gönderdiği atıkları alarak son depoya gönderir. Seviye sensörü, atanan set değerinin altına düştüğünde ise pompa fermantöre basmaya devam eder. Son depodaki seviye sensörü de atanan set değerinin üstüne çıktığında, pompa ile seperatöre göndererek katı ve sıvı olarak ayırır.

Örneğin; %99 seviyesine geldiğinde yüklemeyi durdur, %98,5 olduğunda ise atıkları yüklemeye devam etsin (Şekil 5.7).

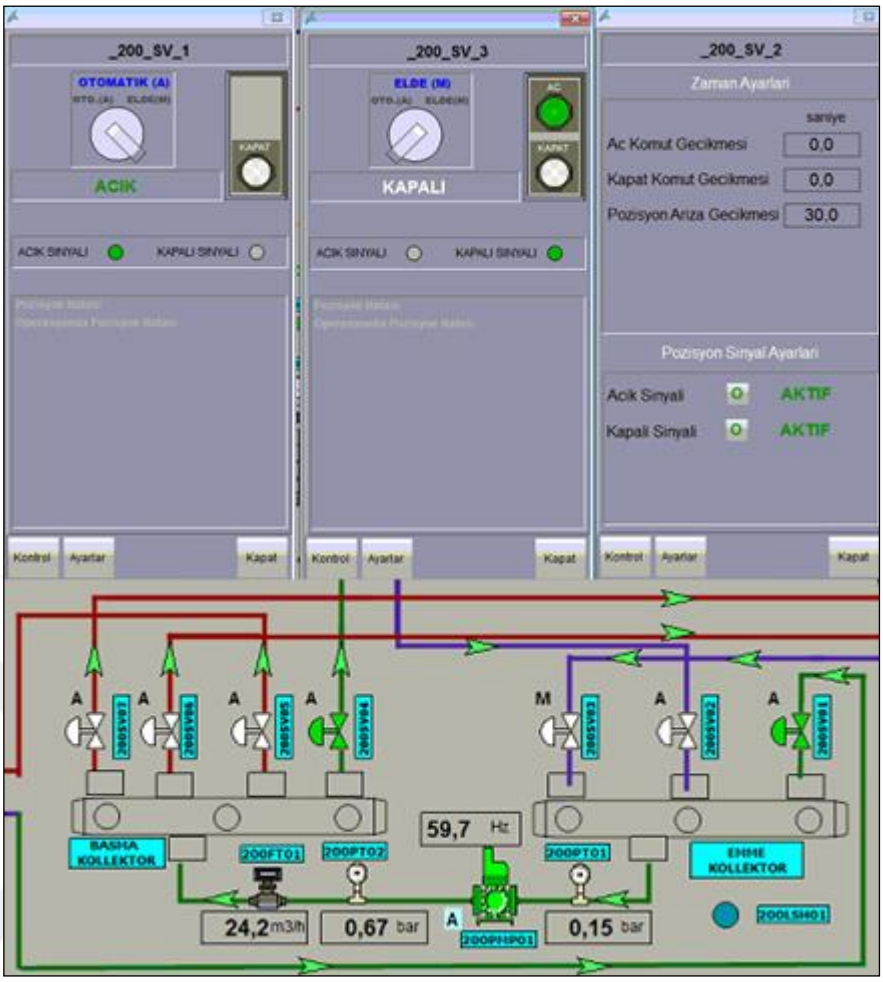


Şekil 5.7. Seviye sensörünün çalışma şartları

Ön depo, fermantör ve son depo arasındaki bağlantı, emme-basma kollektörleri ile sağlanmaktadır. Bu kollektörlerde 3'er adet emme-basma için selenoid vanalar bulunmaktadır. Selenoid vanalar aynı zamanda otomatik kontrol valfleridir. Bu valflerin DC elektriksel sinyalle içerisindeki bobin çektirilmekte ve 1-2 bar'lık basınçla kollektördeki vanalar açılıp kapanmaktadır. İsteğe göre uyarlanmış olan SCADA ekranında otomatik ve manuel olarak da kontrol edilebilmektedir.

Pompa ve valfler aynı anda açılmakta istenilen üniteye basma ve/veya emme sağlanmaktadır. Basma-emme kollektör boru hattında basınç sensörleri bulunmaktadır. Bu sensörler emme ve basma hattındaki basınç değerlerini göstermektedir.

Emme-basma arasındaki basınç farkı fazla ise besleme boru hattında patlama veya pompa tıkanması olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca besleme boru hattındaki patlamalara veya sızıntılara karşı önlem olarak taşma sensörü de bulunmaktadır.



Şekil 5.8. Selonoid vanalar ve scada ekranı

Bu sensörde 4-20 mA arasında sinyal üretmektedir. Uç kısmı çatala benzer ve küçük frekanslarla titreşim gönderir. Çatal gibi olan uç kısmına sıvı ve/veya herhangi bir cisim temas ettiğinde tesisin emniyeti için kıyıcı, pompa ve selenoid vanaları otomatik olarak kapatmaktadır.

Aktif olmayan ekipmanlar beyaz, aktif olanlar yeşil ve devre dışı ve/veya arızaya geçen ekipmanlar ise kırmızı ile SCADA ekranında belirtilmiştir (Şekil 5.9).

Gaz blower, fermantörde ve son depoda biriken 0~5 mbar'lık gazı basınçlandırarak gaz motoruna göndermektedir. Gaz blower, fermantörde ve son depoda ölçülen gaz basıncı 0,1 mbar'a düşünceye kadar çalışmaya devam etmektedir. Gaz blower'a bağlı olan sürücü, basınç sensörünün SCADA'da atanmış olan sayısal (125 mbar) değere ulaşıncaya kadar frekansını artırmakta veya azaltmaktadır. Gaz motoru, basınç sensörünün sürücüye verdiği bu bilgiye göre çalışmaktadır (Şekil 5.9).

Depolanan gaz 5 mbar'ın üzerine çıktığında, içerisinde 5 mbar'lık su bulunan emniyet baca valfleri açılarak basınç artışının önüne geçilmektedir. Bu basınç miktarı 7 mbar'a kadar çıktığında ise, flare de yakılarak atmosfere gönderilmektedir.



Şekil 5.9. Gaz blower ve flare'nin çalışma şartları

Ön depo, fermantör ve son deponun belli bir sıcaklıkta (35~40°C) tutulması fermantasyonun devam etmesi için önemli bir rol oynamaktadır.

Gaz moturunda yakılarak elde edilen ısı enerjisi, rektörlerin iç kısımlarını serpantin şeklinde saran sıcak su boruları ile ısıtılmaktadır. Gaz motorunu soğutmak ve fermantörlerin içerisini ısıtmak için gaz motorunun ceket ısısından yararlanılmaktadır. Gaz motoru HT (high temperature) ve LT (low temperature) devrelerinden fermantörlere ısı transferini sağlamak için sirkülasyon pompaları kullanılmaktadır. Sirkülasyon pompalarına, sıcaklık set değeri girildiğinde sirkülasyon pompası istenilen set değerine ulaşıncaya kadar kollektörden gelen sıcak suyu fermantöre göndermeye devam etmektedir. Fermantör içi substrat sıcaklığı değeri PT100 ile ölçülmekte, substrat sıcaklık değeri set değerinin üzerine çıktığında sirkülsayon pompası durdurularak fermantöre ısı aktarımı engellenmektedir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Sirkülasyon pompasının çalışma set değeri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın yapıldığı biyogaz tesisinde ön depo, fermantör, son depo ve katı gübre alanı bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında endüstriyel bir biyogaz tesisinin ölçme ve kontrol sistemi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar özet halinde aşağıda sunulmuştur;

1. Ön depoda bulunan 7,5 kW'lık karıştırıcı organik atıkları ve peyniraltı suyunu karıştırmak için kullanılmaktadır. Buradan alınan örneklerle pH miktarı kontrol edilmektedir. Fermantör içerisi pH'ı 6,8-7,5 aralığında, katı madde oranı ise %8-10 aralığında tutulmaktadır. Ön depo içerisindeki atık seviyesini tespit edebilmek için 4-20 mA çıkış aralığında çalışan ve yüzdelik (%) ölçüm yapabilen bir adet seviye sensörü (transmitter) bulunmaktadır.

2. Ön depodan fermantöre veya fermantörden seperatöre substrat transferi frekans konvertörlü pompa ile yapılmaktadır. Frekans konvertörlü pompa vasıtasıyla fermantöre gönderilen substratın debi ölçümü sıvı debimetresi ile yapılmaktadır. Substrat hattından geçen substrat debisi arttıkça debimetrenin saniyedeki pulse miktarı da artmaktadır. Sıvı debimetresinden alınan ölçüm sonuçları kaydedilerek substrat hattından geçen saatlik, günlük, aylık ve yıllık substrat miktarı hesaplanmakta ve kayıt edilmektedir.

3. Fermantör içerisinde 3 adet karıştırıcı bulunmaktadır. Fermantör içerisinde dalgıç motorlu tip karıştırıcılar (2 adet) çevrilebilir ve yüksekliği ayarlanabilir olup 11 kW gücündelerdir. Diğer karıştırıcı ise temelden 4 m yüksekte konumlandırılmış olup 7,5 kW gücündedir. Fermantör içerisindeki substrat sıcaklığı (PT100) sıcaklık sensörü ile ölçülmekte ve 35~40°C arasında tutulmaktadır. Fermantör içerisindeki gaz basıncı 0-20 mbar ölçüm aralığında çalışan sensör ile ölçülmektedir. Fermantör içerisinden numuneler alınarak, substrat'ın kuru madde ve uçucu kuru madde miktarına bakılmaktadır. Bu analizlerin sonucunda fermantöre tavuk gübresi ve peyniraltı suyu yüklemesi yapılmaktadır.

4. Gaz moturunda yakılarak elde edilen ısı enerjisi, rektörlerin iç kısımlarını serpantin şeklinde saran sıcak su boruları ile ısıtılmaktadır. Gaz motorunu soğutmak ve fermantörlerin içerisini ısıtmak için gaz motorunun ceket ısısından yararlanılmaktadır. Gaz motoru HT (high temperature) ve LT (low temperature) devrelerinden fermantörlere ısı transferini sağlamak için sirkülasyon pompaları kullanılmaktadır. Sirkülasyon pompalarına, sıcaklık set değeri girildiğinde sirkülasyon pompası istenilen set değerine ulaşıncaya kadar kollektörden gelen sıcak suyu fermantöre göndermeye devam etmektedir. Fermantör içi substrat sıcaklığı değeri PT100 ile ölçülmekte, substrat sıcaklık değeri set değerinin üzerine çıktığında sirkülsayon pompası durdurularak fermantöre ısı aktarımı engellenmektedir.

5. Fermantör üzeri çift katlı membran ile örtülmüş olup üretilen biyogazın içeriği online ölçüm yapabilen biyogaz analizörü vasıtasıyla metan (CH_4), hidrojen sülfür (H_2S), oksijen (O_2) ve hidrojen (H_2) konsantrasyonları saatte birer defa ölçülmektedir. Üretilen gazın metan içeriği %50-60 civarındadır.

6. Fermantörde bekletme süresi kadar bekletilerek fermente edilen substrat, 9,2 kW tahrik gücüne sahip helezonik, paslanmaz çelik gövdeden üretilmiş seperatöre gönderilmektedir. Seperatörde ayrılan substratın sıvı kısmı son depoya, katı kısım ise zemini sızdırmaz özellikte olan kapalı bir alanda depolanmaktadır.

7. Seperatörden ayrılan katı ve sıvı gübre doğal gübre olarak tarımda, çayır mera ve yem bitkisinde, meyvecilikte, üzüm bağlarında, seracılıkta, peyzaj ve çevre düzenlemesinde kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Çoban V., Anaerobik Fermantörlerde Tavuk Gübresinin Maksimum Besleme Oranlarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2014, 379728.

[2] Kaltschmitt M., Hartmann H., *Energie aus Biomasse*, 3rd ed., Springer Verlag, New York, 2001

[3] Braun R., *Biogas*, 1st ed., Springer Verlag Wien, New York, 1982.

[4] Kloss R., *Planung von Biogasanlagen*, 2nd ed., Wien, München, 1986.

[5] Schattner S., Gronauer A., *Energetische Nutzung von Biogas Methangärung verschiedener Substrate*, 1st ed., Springer Verlag Wien, Weimar, 2000.

[6] Aivasidis A., Wandrey C., Zur Reaktionskinetik der Anaeroben Fermentation, *Chemie Ingenieur Technik*, 1983, **55**(7), 516-524.

[7] Demirel B., Neumann L., Scherer P., Microbial Community Dynamics of a Continuous Mesophilic Anaerobic Biogas Digester Fed with Sugar Beet Silage, *Eng. Life Sci.*, 2008, **8**(4), 390–398.

[8] Oechsner H., Lemmer A., Was Kann Die Hydrolyse Bei der Biogasvergärung leisten, *VDI-Berichte*, 2009, **20**(57), 37-46.

[9] Sahu P., Sahu S., Purohit R., Warudkar V., Arisutha S., Suresh S., Automation in Biogas Plant for Enhancement of Efficiency and Safety, *6th International Conference of Materials Processing and Characterization*, DOI: 10.1016/j.matpr.2017.05.046.

[10] Tüplek F., Ev Tipi Biyogaz Reaktörünün Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2010, 259754.

[11] Durmuş A., Prototip Bir Biyogaz Reaktörünün Otomasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009, 252645.

[12] Behnam M. N., Büyükbaş Hayvan Dışkısından Biyogaz Üreten Bir Reaktöre Peyniraltı Suyu Eklenmesinin Reaktörün Biyogaz Üretim Verimine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2015, 416959.

[13] Erep S.A., Bachmann N., Design and Engineering of Biogas Plants, *The Biogas Handbook*, DOI: 10.1533/9780857097415.2.191.

[14] http://www.awite.com/products/gas-analysis/awiflex.html (Ziyaret tarihi: 01 Temmuz 2017).

[15] http://www.mru.com.tr/index.php?id=103&no_cache=1 (Ziyaret tarihi: 16 Kasım 2017).

[16] http://www.biotekltd.com/Detay/Biyolojik-Desulfurizasyon-uniteleri-22-2 (Ziyaret tarihi: 18 Kasım 2017).

[17] http://www.biotekltd.com/Detay/Kimyasal-Desulfurizasyon-uniteleri-23-2 (Ziyaret tarihi: 01 Aralık 2017).

[18] *Biyogaz Kılavuzu, Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı (FNR)*, 5. Baskı, Gülzow, 2010.

[19] Salim S., Bir Anaerobik Atıksu Arıtma Prosesinin Plc ve Scada Kullanarak Otomasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 182817.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

[1] **Kaya F.M.**, Eyidoğan M., Kaya D., Endüstriyel Bir Biyogaz Tesisinde Ölçme ve Kontrol Sisteminin incelenmesi, 1st International Conference on Energy Systems Engineering, Karabük, Turkey, 2-4 November, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kahramanmaraş'ta tamamladı. 2005 yılında girdiği Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Endüstriyel Elektronik bölümünden 2007 yılında mezun oldu. 2010 yılında Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliğinden 2014 yılında mezun oldu. Lisans bitirme tezini Bilimsel Hesap Makinası devresi üzerine yaptı. 2015 yılında Kocaeli yenilenebilir firmasının Biyogaz tesisinde Elektrik mühendisi olarak, kurulum aşamasından işletim aşamasına kadar kontrol mühendisliği yaptı.