

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR ANAEROBİK ATIKSU ARITMA PROSESİNİN PLC
VE SCADA KULLANARAK OTOMASYONU**

Elektrik Müh. Serkan SALİM

**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Kontrol ve Otomasyon Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Şeref Naci ENGİN

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. VERİ TABANLI KONTROL ve GÖZETLEME SİSTEMİ (SCADA).....	3
2.1 Özet.....	3
2.2 SCADA Sisteminde İletişim.....	5
2.3 Gerçek-Zamanlı Veri ve İhbar İşleme	6
2.4 Ekran Tipleri	6
2.4.1 Genel Görünüm Ekranları.....	7
2.4.2 İşletme Ekranları.....	7
2.4.3 Obje (Nesne) Ekranları	8
2.4.4 Rapor Ekranları.....	8
2.4.5 Eğri veya Trend Ekranlar.....	9
2.4.6 Reçete Ekranları.....	10
2.4.7 Arıza ve İhbar Ekranları	11
2.5 Manuel Kontrol.....	13
2.6 Şifre Sistemi ile Koruma	14
3. HABERLEŞME.....	15
3.1 Haberleşme Ağı Özellikleri	15
3.1.1 Ağ Yapısı	15
3.1.2 Ağ Protokolleri ve Konfigürasyonları	16
3.1.3 Veri Transfer Metotları.....	16
3.2 Saha ile Haberleşme	16
3.3 SCADA Sistemleri Arası Haberleşme.....	17
3.4 SCADA'da Veri Kaydı	17
3.5 Intranet / İnternet Bağlantısı	17
4. PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROL ÜNİTELERİ.....	19
4.1 Özet.....	19

4.2	PLC Programlama Dilleri	20
4.3	Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit).....	21
4.4	Giriş-Çıkış Kartları	22
4.5	Uzaktan Kumanda (Remote Control)	23
4.6	PID Esaslı Kontrol.....	23
5.	ARITMA TESİSLERİNDE OTOMASYON VE ENSTRÜMANTASYON.....	24
5.1	Neden Otomasyon ?.....	24
5.2	Atıkların Arıtımı	26
5.3	Temiz ve Pis Su Arıtma Sistemleri.....	26
5.3.1	Temiz Su Arıtımı	27
5.3.2	Atık Su Arıtımı	28
5.3.2.1	Evsel Atık Su Arıtımı	28
5.3.2.2	Endüstriyel Atık Su Arıtımı.....	29
5.3.3	Proses Suyu Arıtımı.....	32
6.	ANAEROBİK ARITMA	35
6.1	Aerobik Arıtma (Aktif Çamur Tesisleri)	35
6.2	Anaerobik Arıtım.....	35
6.2.1	Anaerobik Arıtmanın Bazı Üstünlükleri.....	35
6.2.2	Anaerobik Arıtımın Kullanıldığı Atıksu Türleri.....	36
6.2.3	Bazı Maliyet Rakamları	37
7.	ANAEROBİK ARITMA SİSTEMİNİN PLC ve SCADA OTOMASYONU	39
7.1	Sistemin Donanımı ve Çalışması.....	39
7.2	Deney Düzenegi.....	40
7.3	Enstrümantasyon.....	40
7.4	Kontrol ve Otomasyon.....	40
7.5	Sürecin Matematiksel Modeli.....	44
7.6	Benzetim Sonuçları.....	46
	SONUÇLAR.....	49
	KAYNAKLAR.....	50
	EKLER	52
	Ek 1 Anaerobik atıksu prosesinin kontrol ve otomasyonunu sağlayan PLC programı.....	53
	ÖZGEÇMİŞ.....	54

SİMGE LİSTESİ

- X_1 : Asidonejik bakteri konsantrasyonu.
 X_2 : Metanojik bakteri konsantrasyonu.
 S_1 : Substrat konsantrasyonu.
 S_2 : Uçucu yağ konsantrasyonu.
 k_1 : KOİ yıkım verimi katsayısı.
 k_2 : UYA üretimi katsayısı.
 μ_1 : Asetojenik mikroorganizma büyüme oranı.
 μ_2 : Metanojenik mikroorganizma büyüme oranı.
 q_m : Biyogaz üretim miktarı.
 P_c : Karbondioksit Basıncı.
 P_t : Toplam Basınç.

KISALTMA LİSTESİ

SCADA	: Supervisory Control and Data Acquisition
PLC	: Programmable Logic Controller
OLE	: Object Linking and Embedding
ODBC	: Open DataBase Connectivity
OPC	: OLE for Process Control
DDE	: Dynamic Data Exchange
MCC	: Motor Control Center
SPC	: Statistical Process Control
LAN	: Local Area Network
WAN	: Wide Area Network
ROM	: Read Only Memory
EPROM	: Erasable Programmable Rom
BOİ	: Biolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
UYA	: Uçucu Yağ Asitleri

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Bir Scada ekranından üç ayrı sunum bir arada.....	3
Şekil 2.2 Programlanabilir lojik kontrol ünitesi (PLC)	5
Şekil 2.3 Ekran tipleri.....	7
Şekil 2.4 İşletme detaylarını gösteren "mimik" ekran.....	7
Şekil 2.5 Bir alarm rapor ekranı örneği	9
Şekil 2.6 Trend ekranı	10
Şekil 2.7 Örnek bir reçete ekranı ve sunduğu imkanlar	11
Şekil 2.8 İhbar takip ekranı	12
Şekil 2.9 Operatörün manuel müdahalesine imkan veren butonlar.....	14
Şekil 3.1 SCADA haberleşme ağ yapısı.....	15
Şekil 3.2 İnternet üzerinden bir işletmenin gözetlediği ekran.....	18
Şekil 4.1 Bir modüler PLC ünitesi.....	20
Şekil 4.2 Ladder programlama dili	21
Şekil 4.3 Merkezi işlem ünite kartları	22
Şekil 7.1 İki aşamalı havasız atık su arıtma tesisi..	39
Şekil 7.2 Sürecin SCADA mimik diyagramı.	42
Şekil 7.3 Tipik PH 'trend' ekranı.	43
Şekil 7.4 Kesikli çalışmada tipik bir biogaz çıkış 'trend' ekranı.	44
Şekil 7.5 Seyreltme oranının (D) farklı değerlerine göre gaz üretim değişimleri.	47
Şekil 7.6 PID kontrollü sistemde gaz üretim oranı değişimi ($K_p = 10$, $K_I = 7$, $K_D = 3$)	48
Şekil 7.7 PID kontrollü sistemde gaz üretim oranı değişimi (0 – 50 saat arası).	48

ÇİZELGE LİSTESİ

Tablo 1. Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması.	36
Tablo 2. Organik kimya sanayiinde havasız antımın mali faydası.....	37
Tablo 3. Tipik evsel atık su değerleri.	41

ÖNSÖZ

Bu projenin başından beri süre gelen tüm aşamalarında yardım ve desteklerinden dolayı danışmanım Yrd.Doç.Dr. Ş. Naci Engin 'e ve yine desteklerinden dolayı Kimya Mühendisi Esra Turunc'a en içten duygularıyla teşekkürü bir borç bilirim. Her zaman yanımda olan ve beni destekleyen aileme de sonsuz şükranlarımı sunarım.

ÖZET

Havasız (anaerobik) atıksu arıtımı bir kısım avantajları nedeniyle son yıllarda önem kazanmış ve üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Havasız arıtma sistemleri özellikle orta ve yüksek kirlilik konsantrasyonlarına sahip atıksuların arıtılmasında, havalı sistemlere nazaran daha ekonomik olması, az arıtma çamuru vermesi ve bütün bunlardan daha önemlisi, biyoenerji olarak adlandırılan metan gazı üretmesi bakımından oldukça önemli bir süreç çeşididir. Ancak, havasız arıtma sistemlerinin modellenmesi ve etkin kontrolü zordur.

Böyle bir tesisin kontrolü ve kumandası için ileri düzeyde kontrolör ve programlama gerekmektedir. Bu tez çalışmasında pilot ölçekli bir havasız arıtma tesisinin kurulması, kontrolü anlatılmış , PLC ve SCADA otomasyonu yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Anaerobik arıtma, SCADA, PLC, otomasyon.

ABSTRACT

Anaerobic wastewater treatments have recently drawn attention and become the subject-matter of many researches due to the several advantages it provides. Anaerobic treatment systems stand as very important process in terms of being more economical and giving less surplus sludge as compared to aerobic system, and even more important producing methane which is called bio-energy; especially in treating wastewater with medium and high concentration of pollution. However , modeling and effective control of the anaerobic treatment system is difficult.

In this thesis, the initial work on establishing and controlling a pilot-scaled anaerobic treatment facility by using PLC and SCADA.

Keywords: Anaerobic treatment, SCADA, PLC, automation.

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkeler için atıksu arıtımı hâlâ tam çözülememiş sorunların başında yer almaktadır. Bunun ana sebebi yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek oluşudur. Avrupa Birliği'ne girme sürecinde olan ülkemizde atıksu probleminin batı standartlarında çözülmesi gerekmektedir. Şu anda Türkiye'deki tüm atıksuların sadece %20'si kadarı (İ. Öztürk, "Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları", Su Vakfı Yayınları, 2000) arıtılabilmektedir. Evsel nitelikli atıksuların arıtılmasında genel olarak biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Biyolojik arıtma yöntemlerini temel olarak havalı (aerobik) ve havasız (anaerobik) yöntemler olarak ikiye ayırmak mümkündür. Anaerobik atıksu arıtımı bir kısım avantajları nedeniyle son yıllarda önem kazanmış ve üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Ülkemizde ise son yıllarda yurtdışı firmalardan lisans almak suretiyle inşa edilmiş sınırlı sayıda anaerobik tesis mevcuttur. Havasız arıtma sistemleri endüstriyel (örn. meşrubat, bira, patates isleme sanayileri) ve evsel atıksuların arıtılmasında, havalı sistemlere nazaran daha ucuz olması, az arıtma çamuru üretmesi ve bütün bunlardan daha önemlisi enerji tüketmekten çok biyoenerji olarak adlandırılan metan üretmesi bakımlarından oldukça önemli bir süreç çeşididir. Anaerobik proseslerin yaygın olarak uygulanmasını yavaşlatan en önemli engel bu sistemlerin aerobik proseslere göre işletmeye alma devrelerinin uzunluğu ve proses kontrolünün daha hassas oluşudur. Literatürde konu ile ilgili araştırmaların çoğunun işletmeye alma devrelerinin en aza indirilmesi ile daha kolay ve etkili proses kontrolü stratejilerinin geliştirilmesi alanlarında yoğunlaştırılmış olduğu görülmüştür.(V.V. Lira, J.S.R. Neto, P.R Barros and A.C. Haandel, "Automation of an Anaerobic-Aerobic Wastewater Treatment Process", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.52, No.3, pp. 909-915, 2003)

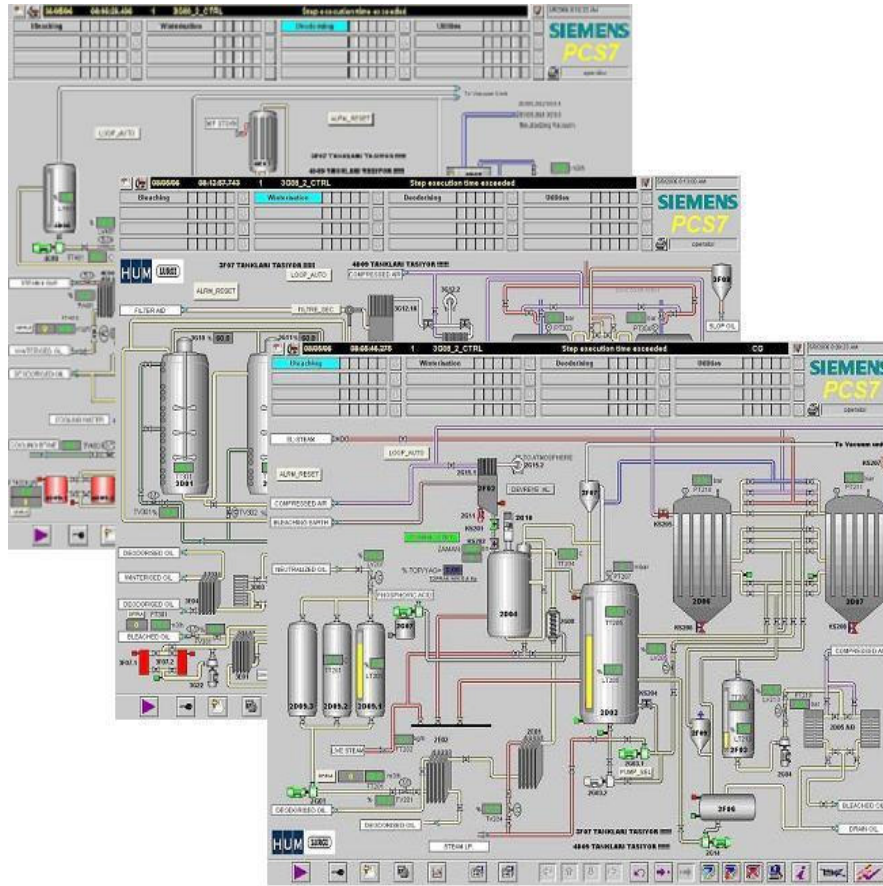
Biyoreaktörlerin kullanıldığı atıksu arıtma sistemlerinde ölçülmesi, izlenmesi ve kontrol edilmesi gereken parametrelerden bazıları giriş debisi, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), giriş atıksuyunun sıcaklığı, pH seviyesi, alkalinite, tank sıvı (çamurlu su) seviyesi, çıkış sıvı ve gazlarının (metan-CH₄ ve karbondioksit-CO₂) debisi, basıncı ve kalitesidir. Evsel veya endüstriyel atıksularda bulunan parçalanabilir organik maddenin miktarının bir göstergesi olarak Kimyasal Oksijen ihtiyacı ya da Biyokimyasal Oksijen ihtiyacı (BOİ) parametreleri ölçülmektedir. BOİ tayini sularda belli bir süre içerisinde (5 günlük) mikroorganizmalarca ayrıştırılabilecek organik maddenin miktarını gösterirken, KOİ ise organik maddenin redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır. Bu değişkenler birbirlerini etkilemekte ve sistemin doğrusal olmayan karakteristiklerini kuvvetlendirmektedir. Prosesin etkin bir

biçimde çalışması için sistemin dinamik davranışını iyi ifade eden bir matematiksel modeli elde edilmeli, proses değişkenlerinden seçilecek büyüklüklerin gerçek-zamanlı izlenmesi ve otomatik kontrolü gerçekleştirilmelidir. Bu tez çalışmasında, bir araştırma projesi kapsamında kurulan pilot ölçekli iki aşamalı havasız atıksu arıtma tesisinin mekanik ve elektriksel donanımı, PLC ve SCADA temelli otomasyonu verilmiş , SCADA kullanımının artıları anlatılmış, sürecin matematiksel denklemleri yardımıyla yapılan simülasyon deney sonuçları sunulmuş ve bu sonuçlara dayanarak geliştirilebilecek kontrol yöntemleri üzerinde durulmuş, konu tartışmaya açılmıştır.

2. VERİ TABANLI KONTROL ve GÖZETLEME SİSTEMİ (SCADA)

2.1 Özet

Bugünün veri toplama ve kontrol sistem kullanıcıları, gereksinimleri için güçlü, esnek, kolay uygulanabilir ve aynı zamanda pahalı olmayan çözümler aramaktadır. Veri tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi (Supervisory Control And Data Acquisition-SCADA); endüstriyel bilgisayarlar ve iş istasyonları için tasarlanmış bir gerçek-zamanlı (real-time), çok-görevli (multi-tasking) yazılım paketi olup, birçok uygulamanın gereksinimlerini karşılamaktadır. Yüksek düzey operatör iş istasyonları veya bilgisayarlara uyarlanacak SCADA paketleri, haberleşme sisteminin vasıtasıyla, kontrol panoları yerleştirilmiş Programlanabilir Elektrik Kontrol Ünitelerine bağlanmakta ve işletmenin kontrolü için gerekli veri, bilgi ve komut alışverişini yapabilmektedir. Şekil 2.1 'de örnek bir kontrol sisteminin scada sayfaları görülmektedir.



Şekil 2.1 Bir Scada ekranından üç ayrı sunum bir arada.

Kuşkusuz, SCADA sistemi operatörler için ileri düzeyde kontrol ve gözetleme özellikleri sağlamalıdır. Genel olarak SCADA sistemi, uygulamada şu faydaları sağlayabilir:

- Kullanıcı tarafından tanımlanmış işletmeye ait mimikler (İşletme Simülasyonu) ve mimik ekranlarda kullanılacak nesnelere vasıtasıyla işletmenin takibi (seviye, sıcaklık, basınç, dijital sinyaller, vana ve motor durumları, sistem durumu vb.),
- Reçete ekranları vasıtasıyla, üretim tariflerinin girilmesi ve işleyen reçeteler hakkında operatörün bilgilendirilmesi,
- Parametre ekranları vasıtasıyla, sistem için gerekli olan parametrelerin girilmesi (setpoint, alt ve üst alarm değerleri vb.),
- PID parametrelerinin girilmesi ve gözetlenmesi,
- İşletme değerinin tarihsel ve gerçek zamanlı eğilimlerinin tutulması,
- Anlık ve periyodik raporların (üretim, reçete, stok vb.) alınması,
- Otomatik çalışan sisteme, SCADA ekranlarından manuel müdahale yapılabilmesi,
- Alarm ve durumların (event) gösterilmesi ve yazıcıya ve/veya veri tabanına kayıt edilmesi,
- İleri düzeyde kalite kontrol, örneğin İstatistiksel Proses Kontrol (Statistical Process Control-SPC) desteği.

Standart SCADA paketleri, kontrol sistemlerine entegre olurken, uygulanabilir kod ve dökümantasyon özelliklerine sahip olmak zorundadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Gerçek-zamanlı nüve (real-time engine),
- Uygulama editörü,
- Dağılık mimarisi,
- Farklı dillerde programlanabilme yeteneği,
- Farklı veri tiplerini destekleme,
- Birçok cihaz ile haberleşme,
- Farklı operatör girişi ve şifreleme,
- Dağıtılmış alarm yöntemi,
- Rapor üretimi,
- İnternet/İntranet desteği,
- Kullanıcı haberleşme arabirimlerini ve SCADA modüllerini yazabilme yeteneği (Open System & Programmer Access Kit.)

2.2 SCADA Sisteminde İletişim

SCADA paketinin bir modülü olan Harici Cihaz Ara Birimi (External Device Interface-EDI), kontrol sisteminde fiziksel olarak yayılmış tüm çevre birimlerinin SCADA ile iletişimini sağlar. İşletmenin otomatik kontrolü veya gözetlenmesi için gerekli olan dinamik bilgileri kontrol eder ve güncelleştirir. SCADA uygulama programı, Dinamik Veri Değişimi (Dynamic Data Exchange-DDE), OLE (Object Linking and Embedding), OPC (OLE for Process Control) veya ODBC (Open DataBase Connectivity)'yi kullanarak, Windows 95/98, Windows NT, UNIX veya OS-2 altında çalışan programlar ile sürekli bilgi alış-verişini sağlamaya imkan tanır.

Programlanabilir Elektronik Kontrol üniteleri ile ; işletmeye veya prosese ait veri tabanındaki değişiklikleri, "trend" veri kütüklenmesini (logging) desteklenmektedir. SCADA paketi, Windows 95/98, Windows NT, OS/2, UNIX, Sun Solaris veya bilinen güçlü, gerçek zamanlı, çok işlemlili, insan makina iletişimi ve "Windows özelliği taşıyan yazılımlara dayandırılmalıdır. Böyle bir sistemin kullanım kolaylığına ek olarak, işletmenin tüm işlem ve çalışmalarını bir çok ekranda görebilme olanağını da sağlamaktadır. Şekil 2.2 'de bir PLC örneği mevcuttur.



Şekil 2.2 Programlanabilir lojik kontrol ünitesi (PLC)

SCADA paketleri, aynı anda bir çok farklı programlanabilen elektrik kontrol ünitesinin sürücü ve protokolüne destek verebilmelidir. Bazı paketlerin, tek çevrim (single-loop)

denetleyicisi, uzak terminal üniteleri (RTU), programlanabilir elektronik kontrol üniteleri (PLC) ve çeşitli tipte kontrol üniteleri için 100'den fazla farklı imalatçı protokolü olan kütüphaneleri mevcuttur.

SCADA paketinin bir çok işletim sistemi üzerinde çalışması gerektiği gibi aynı anda birden fazla çok bilinen güçlü haberleşme ağ ve tiplerini desteklemelidir. Oracle, İnformix, dBASE IV, Sysbase, DB 2/2 ve ODBC gibi veri tipleri ile alışveriş yapılabilmesi, SCADA'nın kullanımı işletmedeki diğer sistemlerle entegrasyonunu da kolayca sağlar.

2.3 Gerçek-Zamanlı Veri ve İhbar İşleme

Günümüzün SCADA paketleri, aşağıdaki durumlarla ilgili tüm gerçek-zamanlı verileri işleyebilmektedir:

- Analog girişleriyle, lineer ve non-lineer gibi mühendislik birimleri dönüşümleri,
- Analog çıkışlar
- Vuru (Pulse) üniteleriyle ayarlı ölçümler , dahili olarak saatlik, günlük, aylık ve yıllık aralıklarla hesaplanır.

2.4 Ekran Tipleri

SCADA paketi insan-makine iletişimi sağlarken; kontrol sisteminin ve işletmenin değişik durum ve hallerini, farklı ekran tipleri ile görüntüleme imkanı sağlar.

SCADA paketi, birkaç ekranın aynı anda izleyebilme imkanını sağlamalıdır. Trend ve mimik ekranlarının boyutları ayarlanarak izlenebilmelidir. Örneğin operatör, proses analog değerlerinin güncel değerlerini mimik ekranda izlerken oluşturdukları eğriyi de aynı anda trend ekranlarından izleyebilir.



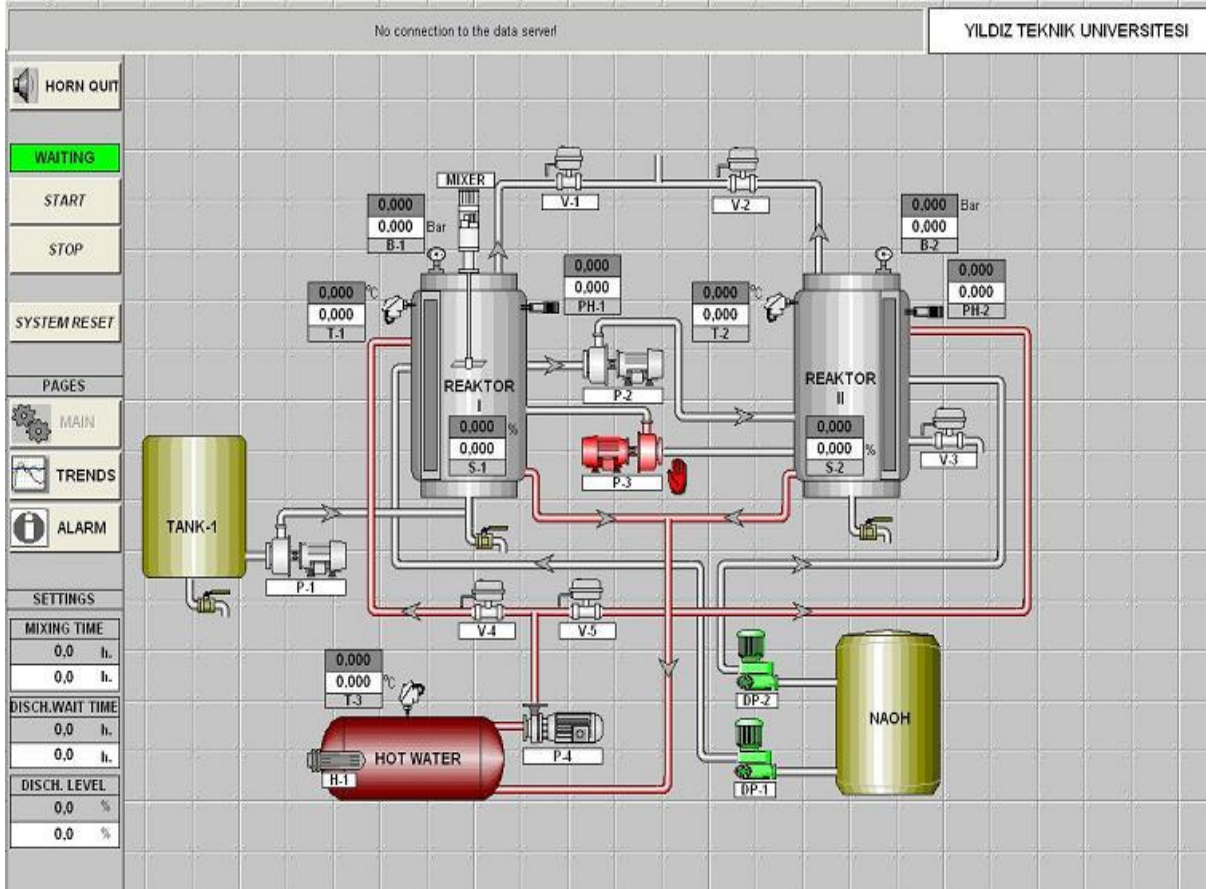
Şekil 2.3 Ekran tipleri

2.4.1 Genel Görünüm Ekranları

Bu ekranlarıda, objeler (nesneler) , işletme veya proses bölümlerine bağlı olarak gruplar halinde ekranlara getirilir. Detaylara girmeden genel durum görüntülenir.

2.4.2 İşletme Ekranları

Bu ekranlar, kontrol sistemleri terminolojisinde "mimik" ekranlar olarak adlandırılır.



Şekil 2.4 İşletme detayını gösteren bir "mimik" ekran

Tümüyle ardışık işlemler, ölçüm noktaları vs. ile tanımlanmış ve belirli uygulamalara yönelik olarak dinamik noktaların (motor, vana, ölçü noktası, vb.) ve çalışan işletme bölümlerinin durumlarının izlendiği ekranlardır. Bu ekranlarda işletmedeki bölümler sembolik resimlerle gösterildiği gibi, dinamik noktaların renk değişiklikleri ile veya hareketlendirerek gösterilmesi mümkündür.

2.4.3 Obje (Nesne) Ekranları

Mimik ekranlarda gösterilen dinamik noktaların detayları, "pop-up" ekranlardır. Vana, sıcaklık algıyıcıları gibi tekil nesnelere hakkında mevcut olan tüm bilgileri ekrana yansıtırlar. Bazı ekranlar ürün özelliklerini gösterirken bazıları parametre girmekte kullanılırlar.

2.4.4 Rapor Ekranları

İşletmeye ait bilgi ve verileri tablolar şeklinde gösteren ekranlardır. İşletmenin belirlediği ve işletme açısından önemli olan veriler "trendlerde" olduğu gibi, belirlenen bir veritabanı formatında sabit diske veya sisteme bağlı bir veri sunucuya (SQL server gibi) kayıt edilirler. Operatör bu verileri istediği anda (anlık) veya periyodik olarak ekrana, yazıcıya ve sabit diske raporlar. Raporlar, yerel bir yazıcıya veya ağ üzerindeki başka bir operatörün istasyonuna bağlı yazıcıya gönderilebilir.

...	Date	Time	Priori	Source	Event	Status	Info	Comm	Batch name
1	09/08/06	14:40:50.278	0	CFC(2)/meas	HighHigh Alarm				
2	09/08/06	14:40:50.278	0	CFC(2)/meas	High Alarm				
3	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM1/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART1 Motor Protecting				
4	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM2/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART2 Motor Protecting				
5	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM4/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART4 Motor Protecting				
6	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM6/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART6 Motor Protecting				
7	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM8/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART8 Motor Protecting				
8	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM10/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART10 Motor Protecting				
9	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM3/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART3 Motor Protecting				
10	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM5/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART5 Motor Protecting				
11	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM7/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART7 Motor Protecting				
12	09/08/06	44:34:32.453	0	17L01VM9/M	VIBRO MOTOR FILTER UNIT PART9 Motor Protecting				
13	09/08/06	44:34:32.453	0	17L14/MM	Switch time monitoring				

Trend	Tag Connection	Value	DateTime
Kurve 1		###	###
Trend 2	CFC(2)/meas.U	200.000000	08/09/06 12:16:42.109 PM

Şekil 2.5 Bir alarm rapor ekranı örneği

SCADA sistemlerinin üretebileceği rapor tipleri şöyledir.

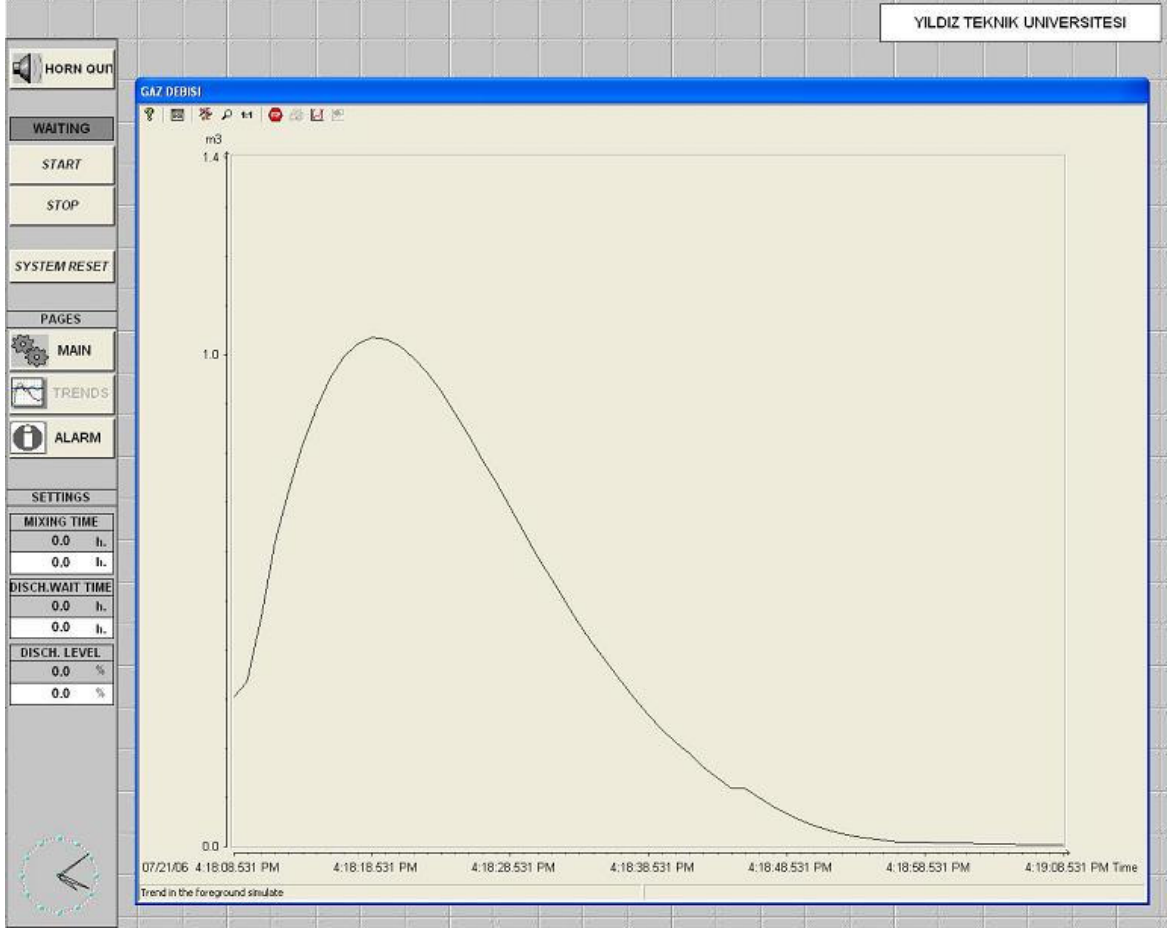
- Standart ve önceden programlanmış rapor formatları. Bunlar; haberleşme özeti, ölçü özeti, aktif arıza bildirim özeti, tarihsel alarm/durum tüketim, stok ve üretim raporlarıdır.
- Otomatik olarak yazılmış, belirli bir duruma saate veya operatörün isteğine dayandırılmış raporlar.
- Sistemin tüm işletmeyle ilgili istatistik rakamlar veya bilgilerine ihtiyaç duyulan her tip bilgiyi içeren raporlar.

2.4.5 Eğri veya Trend Ekranlar

Bu ekranların işlevi, herkesçe bilenen kalemli kayıt edici ve yazıcılara benzemektedir. Her trend ekranı, 16 değişkene kadar olan tarihsel verileri ekrana getirebilir. Her değişken bir kalem olarak adlandırılır. Her kalem farklı bir renk ile gösterilir. Birden fazla trend ekranı

tanımlanabilir. Trend ekranlarını iki modda izlemek mümkündür:

- **Tarihsel:** Geçmişe dönük kayıtlı verilerin incelenmesini sağlar. Sabit diskte veya veri sunucusuna kayıt edilen miktar kadar geriye gidilebilir (1 dakikadan birkaç aya kadar).



Şekil 2.6 Trend ekranı

Trend ekranında sadece işletmenin anlık değerleri değil, geçmişe dönük bilgilerde sunulmaktadır.

- **Gerçek zamanlı:** Verilerin güncel değerlerinin ekranda izlenmesidir. Ekrandaki alan belirli bir zaman dilimin kapsar (1 ile 120 dakika gibi).

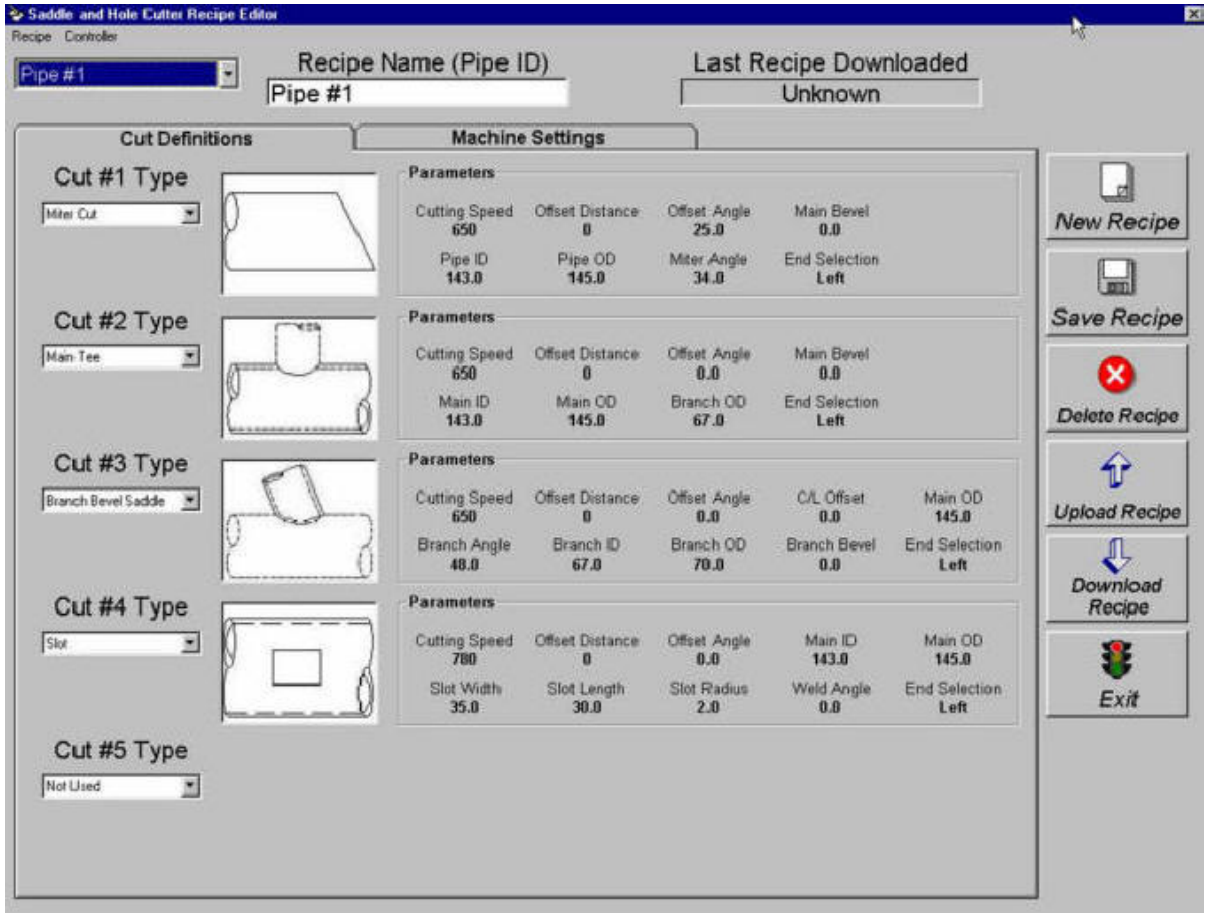
Trend verileri sabit diske veya SCADA yerel ağı üzerindeki veri sunucusuna kayıt edilirler. Trend verileri, zamana göre; sıcaklık, akış bilgisi gibi analog veriler veya, motor çalışma-durma, nihayet şartlarının açık,kapalı (on-off) bilgileri vb. dijital veriler olabilir.

2.4.6 Reçete Ekranları

Genellikle proses otomasyonunda, işletmeye ve üretimi yapılan ürüne ait bilgi ve verilerin tablolar şeklinde takdim edildiği ekranlardır. Bu ekranlar kullanılarak, ürünlerin üretimi için

gerekli olan parametre (örneğin karışım miktarları , süreleri gibi) değişiklikleri kolaylıkla yapılabilir.

SCADA paket programının getirdiği imkanla reçetelere ait dinamik veriler, operatör istasyonlarında devamlı olarak görünecek ve yeni bir ekran seçilene kadar sürekli olarak güncelleştirilecektir. Ekranların, operatörün ihtiyaç duyduğu bilgilere acilen ulaşabileceği ve müdahale edebileceği şekilde organize edilmesi çok önemlidir. Bu organizasyon, sistemin gereksinimlerine göre yapılandırılmaktadır. Örnek bir reçete ekranı Şekil 7.7 'de verilmiştir.



Şekil 2.7 Örnek bir reçete ekranı ve sunduğu imkanlar

2.4.7 Arıza ve İhbar Ekranları

Proses ile ilgili arıza ve ihbarların izlendiği ekranlardır. Elektronik kontrol sisteminin, işletmeye ait durumlar ile makina ve enstrüman bazında arıza ihbarı ve sistem arıza ihbarları arasında ayırım yapılması zorunludur. İşletmeye ait olaylar, işletim değişkenleri ve hesaplanmış değişkenler işlendiği sürece oluşan durum değişiklikleridir. Olaylar sürekli olarak operatörlere rapor edilir. İşletmeye ait arızalar, operatör ve bakım elemanları tarafından

alındıklarına dair onaylanması gerekli olan durumlardır.

Kontrol sistemine ait arızalar, sistemde kendiliğinden ortaya çıkan durum değişiklikleri olup, tamamlanması ve onaylanmaları zorunludur. Bu arızalar sisteme ait herhangi bir üniteye veya haberleşme ağında gelişebilir. Örnek bir arıza ihbar ekranı Şekil 7.8’ de verilmiştir.

Time / Date	Description	Value	Priority	Type	Area	Comment
6:22:18 AM 6/11/2005	Low flow alarm Water Main 1	11	500	LCLO	Water North	
7:21:05 AM 6/11/2005	Under-current alarm SPS65	2	500	LO	Sewer North	Check Impeller
7:30:44 AM 6/11/2005	Intruder alarm WTP Banana Pt	ON	500	HI	Water North	
7:18:34 AM 6/11/2005	Insulation resistance alarm SPS156	4.9	500	LO	Sewer East	
7:18:33 AM 6/11/2005	High High level alarm SPS73	90	500	HHI	Sewer West	
6:59:55 AM 6/11/2005	Low pressure alarm WPS16	8.6	500	LO	Water North	
6:58:11 AM 6/11/2005	Seal fault SPS18	ON	500	HI	Sewer East	Intermittent - ignore
6:55:10 AM 6/11/2005	High level alarm SPS73	75	700	HI	Sewer West	
6:48:18 AM 6/11/2005	Under-voltage alarm SPS73	ON	700	HI	Sewer West	Supply outage til 7:30am

Şekil 2.8 İhbar takib ekranı

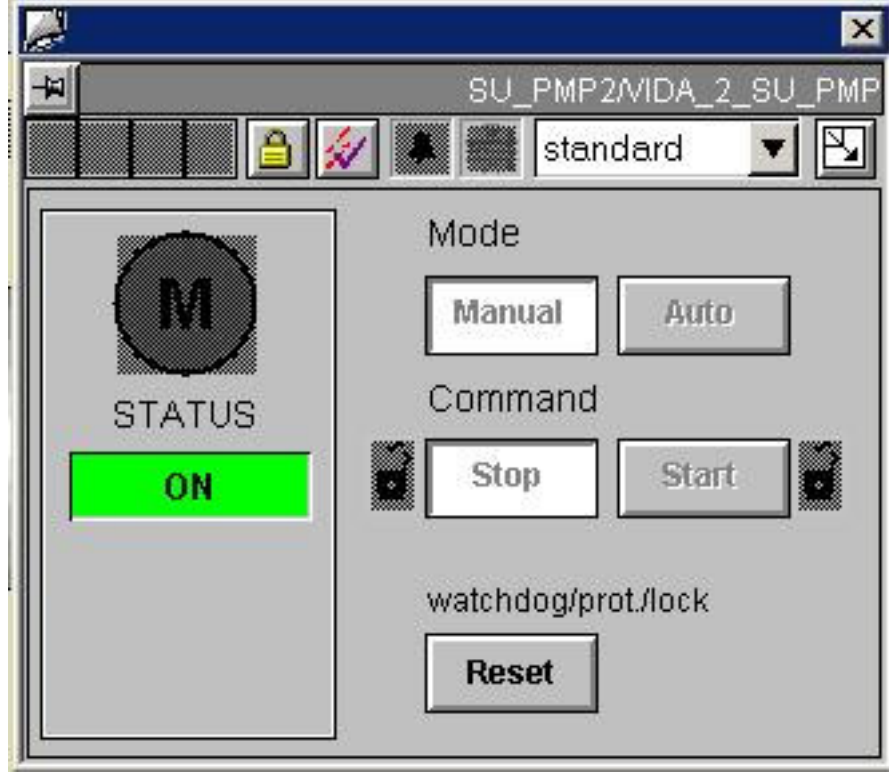
Arıza ihbar ve çalışma durumları, iş istasyonlarına haberleşme ağı ile rapor edilmekte ve bilgiler kronolojik sırada görüntülenmek üzere depolanmaktadır. Alarm mesajlarının, alarm ekranında çıkmasıyla beraber ekranlarda ilgili nesnelere renkleri kırmızı ile değiştirilerek alarm durumu ihbar edilir. Aynı zamanda nesne, alarm durumu geçene kadar veya operatör tarafından onaylanıncaya kadar yanıp sönmeye devam eder.

Arıza ihbar işlemleri aşağıdaki imkanların bir çoğunu kapsar:

- Saha cihaz ve noktalarından elde edilen gerçek-zamanlı arızalar;
- Arıza ve ihbar öncelik seviyeleri. Örneğin: olay, alarm, uyarı, kritik;
- Tarihsel arıza ve ihbar özeti;
- Arıza ve ihbarlar, önem sırasına göre (grup) veya işletmenin hangi bölgesinde olduğu dikkate alınarak filtrelenebilmesi.
- Her arıza için operatör veya bakımçı tarafından yapılan bakım ile ilgili not düşülebilmesi.
- Aktif tüm arıza ve ihbar mesajlarının kağıt çıktısının alınması
- Sabit diske veya veri sunucuya kayıt edilmesi.

2.5 Manuel Kontrol

Burada anlatılan "manuel kontrol" dan kasıt; operatörün, kontrol sistemi kumandasını üstlenip, otomatik kontrol fonsiyonlarını da aşarak, sistemin direk denetim imkanını elde etmesi demektir. Kontrol sistemi, birçok operatör istasyonunun ve çalışma noktasının aynı kontrol cihazına (PLC, RTU v.b.) bağlama imkanı sağlamalıdır. Böyle bir manuel kontrol imkanı veren ekran örneği Şekil 7.9' da verilmiştir.



Şekil 2.9 Operatörün manuel müdahalesine imkan veren butonlar

Bu arada, aynı nesneyi aynı anda birden fazla operatörün müdahale etmesini engelleyecek bir seçim mekanizmasına sahip olmak çok önemlidir.

Ayrıca bir nesne veya işlem hakkındaki bilgilerin tüm çalışma noktalarının elde edilebilmesi de (belirli bir vananın manuel kumandaya geçtiğine dair ekranların üst kısım bir uyarı yazısının çıkması veya vananın renginin değişmesi gibi) gerekmektedir.

Manuel kontrol, sisteminin emniyet kilitlemelerini ve şartlarını ortadan kaldırmadan yapılan bir müdahaledir.

Denetim parametrelerinin değiştirilmesi gibi bazı özel işlemler, yetkisiz kullanımı önlemek için yazılım programında bir şifre ile korunmaktadır.

2.6 Şifre Sistemi ile Koruma

SCADA uygulamasında, kontrol sistemine ulaşmak ve şartlı müdahalelerde bulunmak için, şifre kullanılması gerekmektedir.

Şifreleme ile aşağıdaki imkanlar sağlanır:

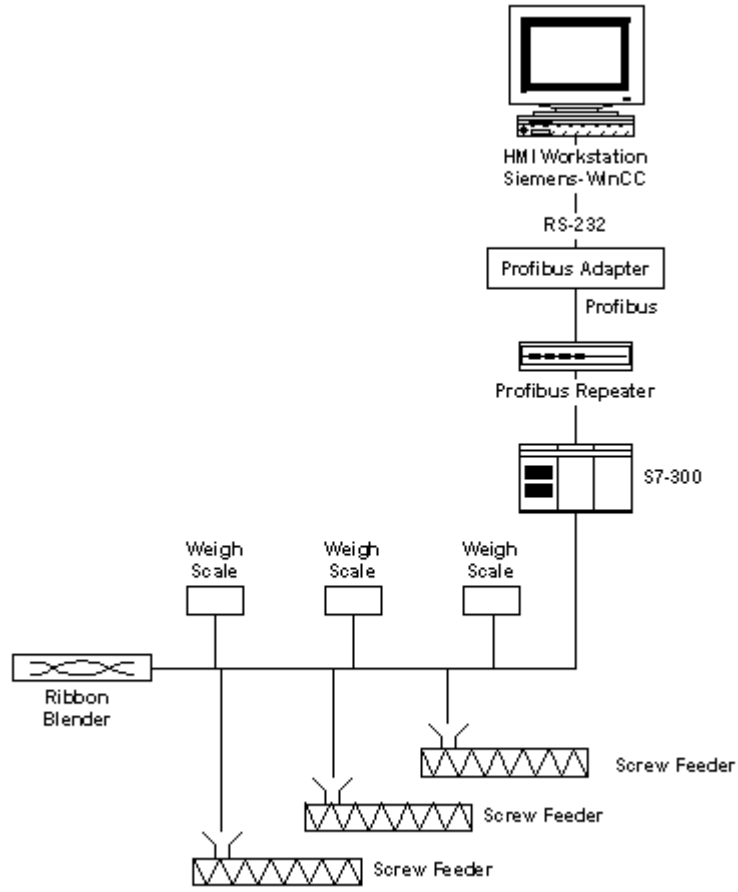
- Sisteme erişimi denetlemek,
- Operatör işlevlerini belirlemek ve kullanıcıları seviyelendirmek,
- İstenmeyen kullanıcı hatalarını önlemek, ve dolayısıyla sistem emniyetini sağlamak.

3. HABERLEŞME

3.1 Haberleşme Ağı Özellikleri

3.1.1 Ağ Yapısı

SCADA sistemi yerel ağ (Local Area Network LAN) ve geniş ağ (Wide Area Network WAN) için sunucu (client/server) yeteneğine sahip bir ağ türünü desteklemektedir. Heterojen sistemleri birbirlerine bağlayabilmelidir. Ağ haberleşmelerinde dağıtık operasyonları (Distributed Operation) desteklemelidir. Ağ yapısı TCP/IP standartlarına uymalıdır. Örnek bir haberleşme ağ yapısı Şekil 3.1' de sunulmuştur.



Şekil 3.1 SCADA haberleşme ağ yapısı.

- Düğümler (Nodes) arasında dağıtık ağ operasyonları,
- Ethernet veya seri (RAS, PPP) ağ bağlanabilmeli,
- Kullanıcı değişiklikleri için peer-to-peer haberleşme,
- Desteklenen sistemler arasında heterojen bağlantı. Örn. HPUNIX, Win NT,

- Yedeklemeli ağ yeteneği (redundancy capable),
- Kullanıcının tanımladığı gruplara veri gönderebilmeli,
- Her ağ topolojisinde müsaade edilen maksimumun istasyon sayısını desteklemelidir.
- Tüm düğümlerin ağ durumlarını gözetip gösterebilmelidir.
- Ağ en az şu dosya fonsiyonlarına sahip olmalıdır: COPY, DELETE, RENAME, PRINT, TYPE ve DIR.

3.1.2 Ağ Protokolleri ve Konfigürasyonları

Sistem, ağ transfer protokol bazlı açık standartları desteklemeli ve OSI/ISO ağ modellerine uymalıdır. TCP/IP protokolü tavsiye edilmektedir.

Burada Ethernet ve "Token Ring" ağ konfigürasyonları desteklenmelidir.

"Client/server" yapısının konfigürasyonu, ağ üzerinden bir veya birden fazla düğüme veri göndermeye müsaade etmelidir. Ağ yapısı, platform işletim sistemlerinde, eş zamanlı ağ bağlantılarına uygun olmalıdır.

3.1.3 Veri Transfer Metotları

Sistem düğümleri arasında "exception" ve / veya polling" metodlarıyla veri transferi yapılabilir. İhtiyaç duyulan veriler gerçek zamanlı olarak güncellenmelidirler.

Veri transfer metodları aşağıda açıklanmıştır:

Exception data - Server'dan istenen veriler sadece değiştiği zaman client'a gönderilir. Bu network trafiğini azaltmak ve performansı yükseltmek için çok kullanılan, genel bir methodtur.

Polled data - Server'dan istenen veriler, sabit aralıklarla, değişken aralıklarla veya herhangi bir olaya bağlı olarak client'a gönderilirler.

Ayrıca düğümler arasında veri tipi dönüşümleri de yapılabilir.

3.2 Saha ile Haberleşme

Burada, dağınık yerleşimli kontrol cihazlarının (RTU, remote I/O ve küçük yedek işlemci üniteler) birbirleriyle ve SCADA ile haberleşmesi sağlanır. Durum bilgileri, manuel komutlar, arıza ve durum ihbarları, ekran güncelleştirme bilgileri prosese ait tüm veriler bu ağ üzerinden transfer edilmektedir. SCADA sisteminin sağlıklı çalışması ve hız performansını etkileyen en önemli kısım, haberleşme ağıdır. Kontrolü yapılan sistemlerin çeşitli otomasyon seviyelerini birbirine bağlayan arabirimler arasındaki veri transferi ve güncelleştirilmesini içeren tüm işletim

haberleşme ağları üzerinden yapıldığından, kontrol edilen sistemlerin büyüklüğü de göz önüne alındığında, konunun önemi açıkça ortaya çıkmaktadır.

SCADA tabanlı sistemlerde, geniş alan haberleşme ağı (WAN) ve yerel haberleşme (LAN, Fieldbus vb.) sistemleri sıkça kullanılmaktadır. WAN ve LAN ağları ile kontrol sisteminde geniş bir alana yayılmış birden fazla operatör istasyonu ve kontrol sisteminin birbirine bağlanması ve işletmeye ait tüm verilerin transferi mümkündür. Kontrol sistemine göre geriye kalan kısımları, iletişim fonsiyonlarından efektif olarak izole edilmiş olmak zorundadır. Bu haberleşme ağlarının, uygulama programına herhangi bir etki yapılmadan gelişmesine veya yeniden yapılanmasına imkan vermektedir.

3.3 SCADA Sistemleri Arası Haberleşme

SCADA sisteminin donanımlarının birbirleri ile haberleşmeleri için zaman zaman ikinci bir LAN ağı kurulur. SCADA istasyonlarının haberleşme ağı üzerinde hangi yetkilere ait olduğu bir ağ sunucusu tarafından tayin edilir.

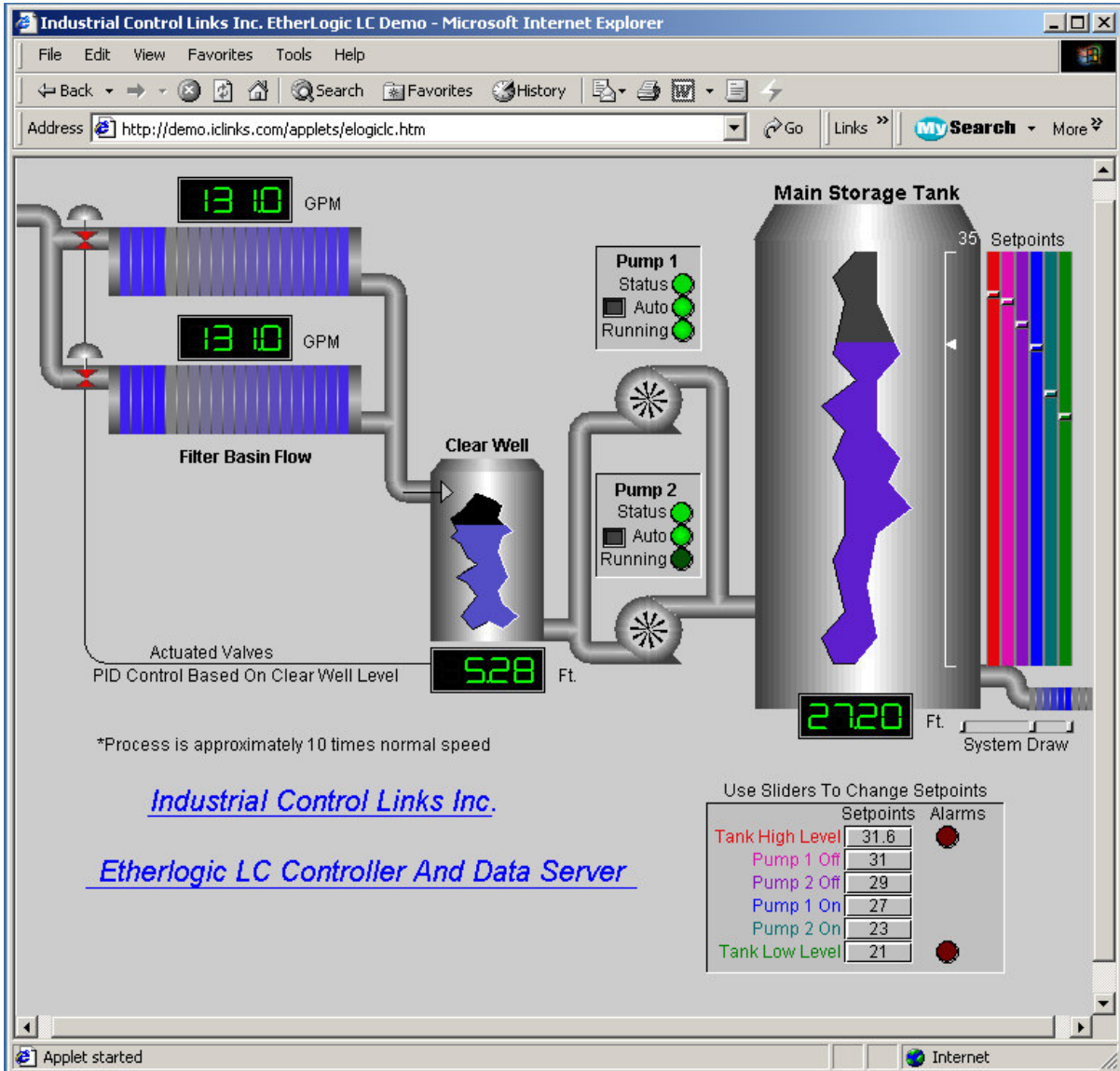
Sistemin bütün imkanları ağ üzerindeki her bilgisayar ünitesine açık hale getirilmektedir. Örneğin, sistemde herhangi bir bilgisayara bağlı bir yazıcıdan, diğer bilgisayarlar da çıkış almakta ve hatta, herhangi bir bilgisayar diğerinin sabit diskindeki bir dosyayı görüp üzerinde işlem yapabilmektedir. Bu da, sistemin dosyalama işlemlerinin tek bir makineden kolaylıkla yapılabilmesini sağlamaktadır. SCADA istasyonlarından girilen parametreler, oluşturulan reçeteler, çeşitli mesajlar ağ üzerinden diğer istasyonlara gönderilir.

3.4 SCADA'da Veri Kaydı

SCADA sisteminde tarihsel trend verileri, arıza ve ihbar verileri, ve reçete verileri gibi vericiler sabit diske kayıt edilirler. Bu bilgilerin artması, işlenmelerini zorlayabilir. Bu durum, yukarıda bahsedilen client / server mimarisi dahilinde LAN ağı üzerinde bir veri sunucu (örneğin, SQL server) yerleştirilerek aşılabilir. Böyle bir sunucu, verilere erişimde ve sorgulamada hız sağlar.

3.5 Intranet / Internet Bağlantısı

SCADA sistemi, dağıtık durumdaki şirketler ve müşterilere açılabilir. Intranet ile aynı gruba ait değişik işletmeler birbirine bağlanarak kontrol sistemine direk müdahale yapılabilir. Bir işletmenin internet üzerinden görüntülenen sayfası Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 İnternet üzerinden bir işletmenin gözetlendiği ekran

İnternet ise yöneticilerin yapılan üretimleri veya stok durumunu direk görmelerini sağlayabilir. İnternet ve İnternet bağlantıları TCP/IP protokolü üzerinden gerçekleştirilir. SCADA sistemine erişim işletmenin izin verdiği ölçüde olacağından sisteme erişim kısıtlanarak gerekli güvenlik sağlanabilir.

4. PROGRAMLANABİLİR LOJİK KONTROL ÜNİTELERİ

4.1 Özet

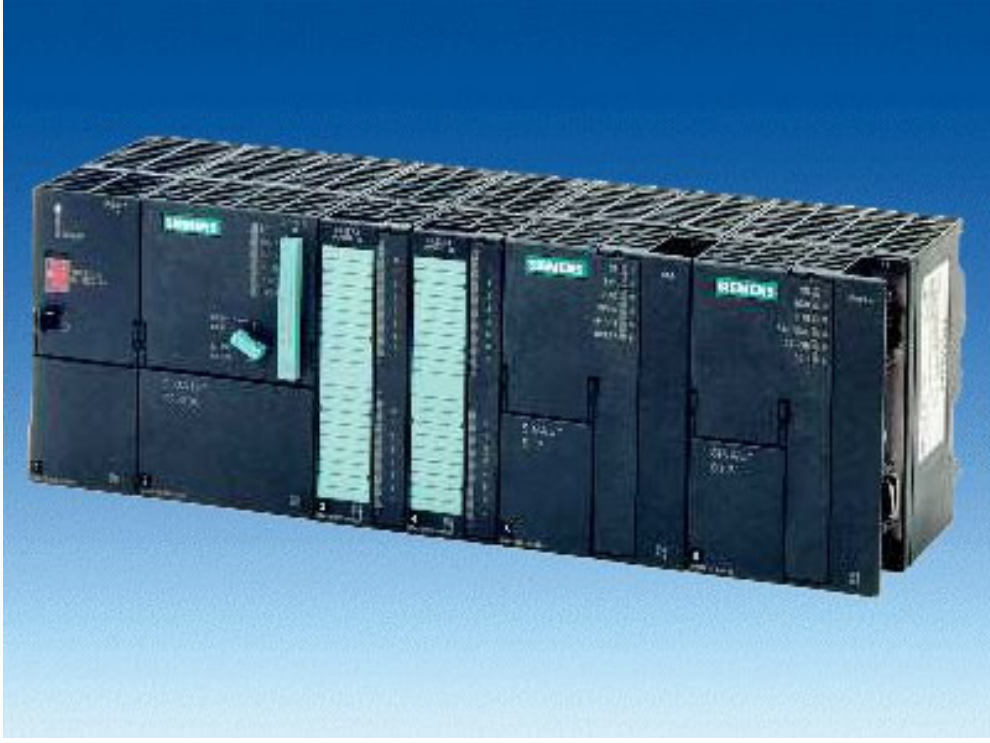
Programlanabilir elektronik kontrol üniteleri, ikili (binary), düzenli (regulatory) ve üst denetimsel (supervisory) kontrol sağlayan, mikro işlemci tabanlı elektronik ünitelerdir.

Bu üniteler, bir kontrol sisteminde tek veya entegre bir işlem istasyonu olarak, diğer programlanabilir elektronik kontrol üniteleri ve ekipmanlarla haberleşme ağı üzerinde iletişim kurarak kullanılabilir. Bu ünitelerin çoğu, zor çevre ve işletme şartlarında çalışılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Programlanabilir elektronik kontrol ünitelerinin çoğu, bir temel yapıya, gerekli yazılım ve modüler ekipman ilavelerinin yapılmasına imkanı tanımaktadır.

PLC 'ler 1960'lı yılların sonundan itibaren dünyada çeşitli endüstri dallarında başarıyla kullanılmaya başlanmıştır. PLC'lerin önemli özelliklerinden bazıları şunlardır :

- Uygulama alanında kolaylıkla yeniden programlanabilme,
- Güvenilirlik,
- Mekanik sistemlere oranla düşük maliyet,
- Dayanıklılık,
- Çeşitli sistemlere bağlanabilirlik.

PLC yazılımı ile istenilen işletme fonsiyonlarının bir komut dizisi halinde, işletmenin istenen birimleri ile, I/O kartları, haberleşme kartları, PID kontrol kartları üzerinden iletişim kurmaktadır. Bu komutlar işletmenin makina ve ekipmanlarının otomatik çalışmalarını sağlar. Örnek bir programlanabilir kontrol ünitesi Şekil 4.1' de verilmiştir.



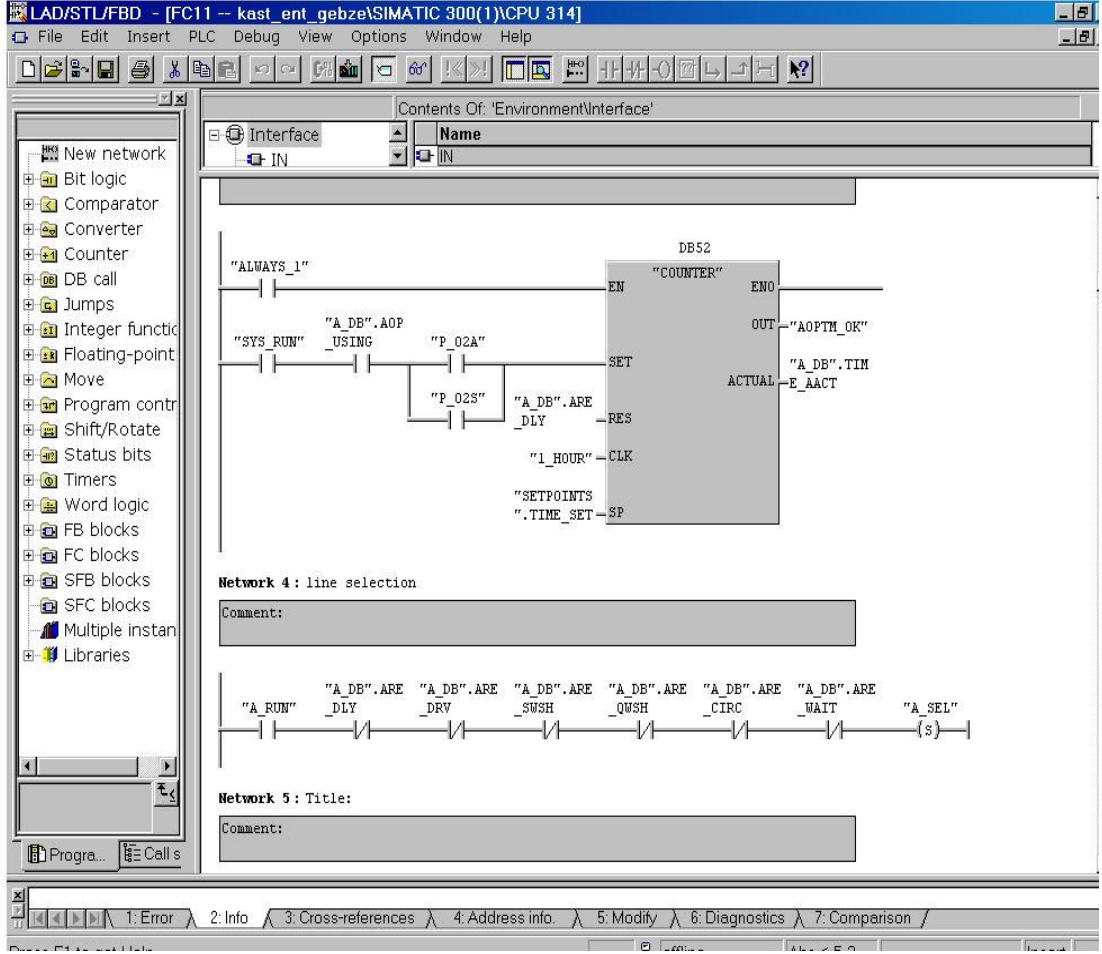
Şekil 4.1 Bir modüler PLC ünitesi

4.2 PLC Programlama Dilleri

Kontrol sistem uygulamalarının en önemli özelliği, elektronik kontrol ünitelerinin söz konusu sistemin işlevlerine göre programlanabilmesidir.

Dil, her fonksiyonun giriş ve çıkış (input ve output) olan bir bina bloğu gibi karakterize edilebilir. Böylesine bir bloğun fonksiyonu lojik AND fonksiyonu gibi basit ve komple PID regülatörü gibi karmaşık olabilir. Genellikle yazılımlar modüler program yazmaya müsaittirler. Modüler farklı zaman devresi ve öncelikleri verilebilmekte, böylece aynı yazılım programıyla hem hızlı hem de yavaş kontrol operasyonları yönetilebilmektedir. Bir elemanın giriş ve çıkışları bir başka elemanın giriş ve çıkışına veya I/O işlemine bağlanabilmektedir. Bu bağlanma işlemi, bir programlama ünitesi vasıtasıyla icra edilen programlama işini oluşturmaktadır. Neticede elde edilen program, servis ünitesi kullanılarak grafik olarak yazılır.

PLC ve RTU ünitelerinin başlıca programlama dilleri, Ladder, STL, FB ve ISaGRAF'dır. Daha önceleri diller arasında bir standart bulunmamakla beraber son yıllarda IEEE tarafından oluşturulmuş standartlar yaygınlık kazanmıştır. Bir çok üretici bu standartları desteklemeye başlamıştır. Şekil 4.2'de ladder programlama dili örneği verilmektedir.



Şekil 4.2 Ladder programlama dili

PLC' yi oluşturan ana ve çevre birimler ilerleyen bölümlerde anlatılmıştır.

4.3 Merkezi İşlem Birimi (Central Processing Unit)

Gelişmiş programlanabilir elektronik kontrol ünitelerinin merkezi işlem birimi (CPU), yüksek performanslı 16 veya 32bit mikro işlemcilerdir. Sistemin yazılımı arzulan fonsiyonel konfigürasyonu oluşturmak üzere bir veya daha çeşitli ana kartlardaki salt oku bellek (ROM Read Only Memory veya EPROM Erasable Programmable Rom) modüllerinde depolanmaktadır. Uygulama programları ise pil destekli oku/yaz, diğer adıyla "rastgele erişimli" (RAM) bellekte depolanmaktadır.

Programlanabilir elektronik kontrol ünitelerinin sistem yazılım, bir gerçek-zamanlı işletim sistemi ve bir de uygulama mekanizması ihtiva etmek zorundadır. Bu ünitelerin programları, öncelik düzeylerinde çevrimli olarak yürütülür. Çevrim süreleri 1ms ile 10ms arasında değişmektedir.



Şekil 4.3 Merkezi işlem ünite kartları

Birçok denetleyici foksiyon, sistemin işletmelerini otomatik olarak düzenleyerek, tespit edilen herhangi bir hatayı gösterir ve rapor eder. Denetleme foksiyonları, gerçek zamanlı, Watch-Dog, arka plan denetimi ihtiva eder. Arızalar, PLC kartları üzerindeki LED'lerin yanıp sönmeleri ile veya SCADA ekranlarından gösterilmektedir. Güç kesiminden sonraki çalışma adımı, uygulama programının denetimi altında yer almak zorundadır. Böylece; güç kesintisinin süresine bağlı olarak çeşitli başlatma dereceleri seçilebilir.

Denetleyiciler, gerçek zaman ve saati ve takvimi ihtiva etmek zorundadır. Bunları servis üniteleri yardımıyla kurmak ve ayarlamak mümkün olmalıdır. Dağıtılmış kontrol sisteminin girişi (port) ağa bağlandığında, denetleyiciler ağ vasıtasıyla diğer istasyonlara otomatik olarak sekronize edilmektedir. Salt oku (read-only) bellek (EPROM), uygulama programlarını kayıt etmek için kullanılmaktadır. Bu enerji kesintilerinde veya yedekleme pilinin bitmesi durumunda programın korunmasını sağlar.

Soğuk çalıştırma (cold start-up) durumunda EPROM'un içeriği uygulama programları için normal RAM ayarlarına kopyalanır.

4.4 Giriş-Çıkış Kartları

PLC, dijital ve analog giriş-çıkışlar (I/O) kartları içermek zorundadır.

I/O kartları direk saha cihaz ve algılayıcılarına bağlanabildiği gibi, kontrol panosunda mevcut alçak gerilim cihazlarına da bağlanabilir.

Saha cihazlarının I/O kartları ile bağlantıları, sinyal kabloları yardımıyla sağlanmaktadır. Veri tabanı da tüm I/O sistem konfigürasyon bilgisini ihtiva etmektedir. I/O sistemini yapılandırmak, her kart ve kanal için veri tabanını ilgili parametreler ile doldurmak demektir. Tipik parametreler; sinyal kapsamı, filtre zamanı vs.'dir.

4.5 Uzaktan Kumanda (Remote Control)

Giriş-Çıkış üniteleri elektrik güç ve sinyal kabloları ve buna ait tesisat, kontrol sistemi maliyetinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu yüzden monte edilen kablo miktarını optimize eden teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerin biri, kontrol edilecek ekipmanın yakınına monte edilen uzak I/O (remote Input / O.utput) üniteleridir.

Uzak I/O üniteleri PLC 'lere, yüksek hızlı seri haberleşme ağları ile (CANbus, Profibus vb.) bağlanır.

Uzak I/O üniteleri vasıtasıyla PLC'lere bağlanan işlem değişiklikleri, sistemin veri tabanında aynen lokal olarak bağlanan dağişikler gibidir.

Bu seri haberleşme protokollerinin yüksek performansı, birçok uygulamada, taramalardaki seri iletişiminden dolayı meydana gelebilecek gecikmeleri önemsiz hale getirmektedir. Uzak I/O çoğunlukla karar verici bir ünite değildir. Ancak çoğu zaman kendi güç kaynağına sahiptir ve muhtemelen haberleşme amaçları için bir haberleşme modülü ihtiva ederler.

4.6 PID Esaslı Kontrol

SCADA kontrol sistemi, PLC ünitelerinin sağladığı nesneye yönelik görünüm, PID çevrimi veya çeşitli kullanıcılar tarafından tanımlanmış kontrol fonsiyonları gibi sıkça kullanılan fonsiyonlara sahiptir. Bu kontrollerin çoğu geri besleme (feed-back) fonsiyonuna sahiptir. Geri besleme kontrolü, aşağıdakileri PID fonsiyonları aracılığıyla, kontrol istasyonlarınca gerçekleştirebilir:

- P, PI, PD, PID algoritması
- Kademeli girişler
- Ayar noktası (set point) ve çıkış sinyallerinin sınırlandırılmasının, genlik (amplitude) ve değişim oranına göre cebri kontrol imkanı
- Genlik ve değişim oranıyla ilişkili olarak ayar noktası ve çıkış sınırlamaları
- Operatör istasyonlarında manuel kontrol fonsiyonları ve güç prezantasyonu.

5. ARITMA TESİSLERİNDE OTOMASYON VE ENSTRÜMANTASYON

5.1 Neden Otomasyon ?

Günümüz ekonomisinin gerektirdiği daha kaliteli, daha hatasız, daha ucuz üretim ihtiyacı, işletmelerin otomasyon uygulamalarına olan geçişlerini hızlandırmıştır. Otomasyonu gerçekleştirilecek bir proje için, ofis ortamından başlayıp sahadaki kontrol edilecek en küçük birime kadar (vana, pompa vb.) denetim altına alınacak olan işlerin tamamı olarak tanımlayabiliriz.

Ofis ortamında otomasyona bir örnek vermek gerekirse otomasyonu yapılacak tesisin projelerinin AUTOCAD aracılığıyla çizilip, gerekli malzemelerin saptanması, fiyatlandırılması ve siparişinin verilmesidir. Buraya kadar olan tüm bu işlemler bilgisayar ortamında hazır paket yazılım programlarının kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Ofis ortamındaki bu otomasyon standartlaşmayı ve bunun neticesinde zamanı en iyi şekilde kullanmayı ve maksimum verim elde edilmesini sağlayacaktır. Buradaki diğer önemli nokta da ofis otomasyonu, saha otomasyonu için gerekli olan bilgi bankasının en iyi şekilde elde edilmesini sağlamasıdır. Örneğin bir su yumuşatma veya demineralize tesisi için kaç adet vana kullanılacağı ve bunlardan kaçının otomatik, kaçının manuel olacağını saptanması, otomatik olanlardan kaçının on-off, kaçının oransal kontrollü olacağını saptanması gibi.

Saha otomasyonu için çeşitli tipte kontrol cihazları varsa da özellikle su şartlandırma ve arıtma tesisleri ile endüstriyel çevreler için üretilmiş olan doğrudan doğruya uygulama alanındaki aletlere bağlanabilen ve kullanıcının kolaylıkla kullanabileceği PLC' ler (Programmable Logic Controllers) en uygun olanıdır.

Otomasyonu yapılacak bir su tesisinde aşağıdaki parametrelerden bir veya birkaçı kontrol edilmektedir. Bunları aşağıdaki gibi örnekleyebiliriz :

Basınç, seviye, debi, bulanıklık, sertlik, sıcaklık, pH, redoks, iletkenlik, çözünmüş oksijen, KOI (Kimyasal oksijen İhtiyacı).

İşte tüm bu parametrelerin PLC ile kontrolü vasıtasıyla bu su şartlandırma veya arıtma tesisinin kararlı ve bir işletme için en önemli nokta olan karlı bir şekilde çalıştırılması mümkün olacaktır. Örneğin otomatik dozlama ile sarfedilen kimyasal malzeme miktarının minimuma indirilmesi gibi. Bu noktada bir adım daha atarak, işletmenin tesisini daha da karlı bir hale getirmek için kontrol sistemine (PLC' ye) bir SCADA eklenir. Bu yazılımlar, işletme için kullanım kolaylığının artırılmasının yanında prosesle ilgili tüm süreçlerin ve işlerin bir

veya birkaç ekrandan takip edilmesini sağlayacaktır. SCADA sistemiyle elde edilecek özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir :

- Mimik ekranlar yardımıyla prosesin gözlenmesi ve kontrolü,
- Gerekli alarmların operatörlere bildirilmesi,
- Merkezi bir kontrol odasından operatörlerin prosesi denetim altında tutabilme kolaylığı,
- Anlık, saatlik ve vardiya bazında arıza ve işletme durum kaydı ve gösterimi,
- Geçmişe yönelik proses bilgilerinin saklanabilmeleri,

Proses ile ilgili çeşitli programların zamana veya olaya bağlı print edilmesi.

PLC ve SCADA sistemlerinden oluşan kontrol sistemi, otomasyonu tamamlamak için gerek koşul olup tek başına yeterli olmayacaktır. Buradaki diğer önemli nokta saha elemanlarının da doğru seçilmesidir. Yani, bir basınç ölçüm cihazının doğru ölçüm aralığında seçilmesi ve doğru yerde kullanılması gibi veya bir vananın kontrol mantığına uygun şekilde seçilmesi gibi. Sonuç olarak PLC ve SCADA ile otomasyonu gerçekleştirilmiş bir tesiste elde edebileceğimiz avantajlar şu şekilde sıralanabilir.

- Tesis sürekli takipte olduğu için herhangi bir arıza halinde en kısa zamanda müdahale edebilmek.
- Prosesle ilgili verilerin izlenmesi neticesinde, süreç sırasında meydana gelen değişimlerin saptanmasıyla prosesi analiz edebilme.
- Tesisin büyütülmesi gerektiğinde otomasyon temelini hazır olması.
- Motorların çalıştırılmalarındaki optimizasyon ile enerji tasarrufu sağlanması, bakım gereksinimlerinin azaltılması.
- Otomatik dozajlama ile kimyasal madde tasarrufu.
- Sertlik kontrolü ile tesise sert su gönderilmesinin önlenmesi.

Bu maddeler kısaca özetlenirse daha kaliteli, daha ucuz, daha çok ve daha hatasız üretim ve işletme için otomasyon şarttır.

5.2 Atıkların Arıtımı

Atıklar başlıca sıvı, katı ve gaz atıklar olarak sınıflandırılmaktadır. Burada daha çok sıvı atıklar yani atıksuların arıtımı üzerinde durulacaktır.

Mevcut atık ve atıksu uzaklaştırma ve arıtma problemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım yöntemleriyle bazen küçük bazen de büyük yatırımlar yapılarak zamanla çözüme ulaştırılabilmesine rağmen, sonuç olarak daima arıtılması çok güç konsantre arıtma çamurları ve katı atıklar kalmaktadır. Bu nedenle mali kaynakları zayıf olan ülkelerde basit, pahalı olmayan, geri kazanma ve yeniden kullanma metodlarıyla bağlantılı uygun arıtma tekniklerinin kullanılması ve bu tesislerden çıkacak atıkların ihmal edilmeden takip edilmesi gerekmektedir.

Bir çok atık türünün arıtılmasında kullanılan yöntemlerden birisi biyolojik arıttır. Doğada kendiliğinden var olan bu arıtım yöntemi teknolojik imkanlar kullanılarak çok miktarda atığın hızlı ve kontrollü olarak arıtılmasını temin etmektedir. Biyolojik arıtım *aerobik* (havalı) ve *anaerobik* (havasız) arıtım olmak üzere başlıca iki gruba ayrılmaktadır.

Tezin esas konusu olan anaerobik atıksu arıtımı bazı özellikleri dolayısıyla son yıllarda gerek mühendisler gerekse de sanayiciler tarafından tercih edilmeye başlanmış ve üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bilhassa konsantre sanayi atıksularının arıtımı maksadıyla çok sayıda anaerobik arıtma tesisi kurulmuştur. Ülkemizde ise son yıllarda yurtdışı firmalardan lisans almak suretiyle inşa edilmiş sınırlı sayıda da olsa anaerobik tesis mevcuttur. Aşağıda daha detaylı olarak açıklandığı gibi anaerobik arıtma birçok atıksu çeşidi için uygulanabilmesi, enerji gerektirmemesi, hatta fazladan enerji üretebilmesi ve düşük teknoloji ve maliyetlerle inşa edilebilmesi gibi üstünlüklere sahiptir.

İzleyen bölümlerde biyolojik atıksu arıtım yöntemleri kısaca açıklanarak anaerobik arıtım ve biyogaz elde edilmesi hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

5.3 Temiz ve Pis Su Arıtma Sistemleri

Günümüzde çevre kirliliği artık herkes tarafından bilinen önemli bir problemdir. Doğal kaynakların kötü kullanımı, oluşan her türlü atığın bilinçsizce çevreye (deniz, göl, akarsu vb.) bırakılması atıkların nitelik ve niceliklerini giderek arttırmış ve bu durumda ekolojik denge üzerinde çoğu kez geri dönüşü olmayan olumsuz etkiler yaratılmıştır. Bu nedenle artık köklü çözümlerin yapılması gereklidir.

Kalkınmanın gerektirdiği sanayileşme planlı bir şekilde yapılmadığı ve çevre kirliliği kavramı

hiç düşünülmediği için büyük ölçüde kirlilikle karşı karşıyayız. Endüstriyel tesislerin arıtma tesisi bulundurmaları bir zorunluluktan öte çevreye saygının bir gereğidir. Bunun için de gerek halkın, gerekse sanayicilerimizin su kirliliği ve arıtım mekanizmaları konusunda bilgili ve deneyimli insanlar tarafından bilgilendirilmeleri gerekir.

Çevre kirlenmesi daha çok sanayileşmekte olan ülkelerin problemidir. Çünkü, sanayisi olmayan ülkelerde sadece tabiatın kendi kendine arıtabildiği evsel atıklar mevcut iken teknolojik olarak gelişmiş ülkelerde ise atıklar en uygun teknolojiler kullanılarak kaynağında yani tesis içinde en aza indirilmekte veya arıtıldıktan sonra yetkili birimler tarafından dikkatli bir şekilde kontrol edilerek koruma altına alınmakta veya bertaraf edilmektedir. Sanayileşmekte olan ülkeler ise, daha çok kazanç ve daha çok tüketim isteğiyle hem eski teknolojileri kullanmakta hem de sanayileşmiş ülkelerin pahalı iş gücü gerektiriyor diye kapattığı fabrikaları kendi toprakları içine taşımaktadır. Ülkemizde bir övünç kaynağı olarak andığımız tekstil ve otomotiv endüstrilerinin çevresel etkileri gözönüne alınmadan plansız ve kontrolsüz olarak belirli merkezlerde toplanması buna bir örnektir.

Arıtım sistemlerini temiz ve atık su arıtımı olarak iki ana başlıkta toplayabiliriz. Temiz su arıtımında yaygın olarak kullanılan “paket içmesuyu arıtımı” sistemleridir. Bu kavramlar ilerleyen kısımlarda anlatılmıştır.

5.3.1 Temiz Su Arıtımı

Temiz su arıtımında içmesuyu olarak kullanılacak suyun Türk Standartları’nda belirtilen içmesuyu kalitesine getirilmesi için bir dizi arıtım gereklidir.

İçmesuyu arıtımında suyun analizi dikkate alınarak bir proses dizaynı yapılır. Şebeke suyunda istenmeyen maddelerin bulunması durumunda, su içinde bulunması muhtemel partikülleri tutmak için bir kum filtresi ve suyun sertliğini içmesuyu kalitesine getirmek için bir su yumuşatma ünitesi yapılır. Bu tür sistemlerin işletilmesi manuel çalıştırılmakla birlikte son yıllarda ülkemizde de oldukça yaygın şekilde kullanılan, tank üzerine veya gövdesine yerleştirilen ve otomatik olarak çalışan beşyollu vanalarla sağlanır. Sistemin rejenerasyon işlemi de zamana veya debiye bağlı olarak vananın ayarlanmasıyla otomatik olarak gerçekleştirilir. En son etap olarak da suyun dezenfeksiyonunun sağlanması amacıyla bir ultraviyole cihazından geçirilir. Kum filtresinde de bir miktar bakteri tutulmaktadır, ancak tutulamayan bakterilerin ultraviyole cihazı ile nihai dezenfeksiyonu sağlanır. Böylece su içmesuyu standartlarına getirilmiş olunur. Bu sistemler tercihe göre yedekli (tandem) de yapılabilir.

Bunun gibi küçük çaplı içmesuyu arıtma ünitelerinin dışında şehir içmesuyu arıtımı gibi çok büyük kapasiteli tesisler inşaat ağırlıklı dizayn edilir. Bu tür arıtma tesislerinde suyun sertliğinin giderilmesi için suya kireç-soda eklemesi yapılır. Bu büyüklükteki tesislerde dezenfeksiyon veya demir giderme gibi ünitelerde ekipman olarak *ozonlama* tercih edilir. Ozonlama son yıllarda sıkça kullanılan bir dezenfeksiyon ünitesi olmasının yanında, su içinde fazla miktarda bulunan demir, mangan, kükürt gibi okside edilebilir metalleri okside ederek kolay çözülebilir hale getirir.

5.3.2 Atık Su Arıtımı

Atıksu arıtımını da evsel ve endüstriyel atıksu arıtımı olarak iki ana başlıkta toplayabiliriz.

5.3.2.1 Evsel Atık Su Arıtımı

Evsel atıksuların tasfiye edilmeden çevreye deşarj edilmesi; mikrobik kirlenmeye, oksijen azalmasına, azot ve fosfor konsantrasyonunun artmasına, kısacası doğadaki alıcı ortamların kirlenmesine neden olmaktadır.

Evsel atıksuların arıtımında ana prensip atıksuyun havalandırılması ve mikroorganizmalar tarafından organik maddelerin ayrıştırılıp çökeltilerek uzaklaştırıldığı biyolojik arıtma metodudur.

Evsel atıksu arıtma tesislerinde ilk önce atıksu içindeki katı partiküllerin tutulduğu bir kaba ızgara bulunur. Büyük kapasiteli sistemlerde ise bazen kaba ızgaranın ardından bir de ince ızgara konabilir.

Atıksu arıtma tesislerinde kum tuzakları, kum,çakıl, kül, cam, metal vb. maddeleri atıksudan uzaklaştırmak içindir. Kumdaki maddelerin büyük bir bölümü aşındırıcıdır, pompa ve çamur susuzlaştırma ekipmanlarının mekanik aksamında aşınmaya neden olabilir.

Atıksu arıtma tesisinde atıksu debilerinin değişken olduğu durumlarda farklı noktalardan gelen atıksuların homojen bir şekilde karışımının sağlanması için dengeleme havuzları yapılır. Dengeleme havuzuna yerleştirilen difüzörler veya mekanik karıştırıcılarla havuz karıştırılarak homojenlik sağlanırken bir miktar da BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) giderimi olduğundan sistemin yükü hafifletilmiş olunur.

Biyolojik arıtma ünitesinde, biyolojik reaksiyonun gerçekleşmesi için gerekli oksijen havuza yerleştirilen difüzörler veya aeratörler vasıtasıyla verilir. Böylece sudan uzaklaştırılmasını istediğimiz organik maddeler havalandırma bölümündeki mikroorganizmalar tarafından

özümleir ve biyokütleye dönüşürler. Buradan çökeltme havuzuna savaklanan atık sular burada katı partiküllerinden arındırılır. Dibe çöken çamurun bir kısmı pompa vasıtasıyla havalandırma havuzuna geri sevk edilir, böylece havalandırma havuzundaki mikroorganizma miktarı dengelenir. Çökeltme bölümünde savaklanan duru su son olarak sodyum hipoklorit ile klorlanır. Böylece hastalık yapıcı maddeler etkisiz hale getirilir.

Arıtılan su, ortam deşarj kriterlerine uygun olarak alıcı ortama verilir. Son yıllarda yaygınlaşan bir metot ise arıtılan suyun bir filtreden geçirilerek bahçe sulamasında kullanılmasıdır. Kum filtresinden geçirilen su hidroforlarla yeşil alan sulaması için sulama sistemine basılmaktadır. Böylece hem arıtılmış su kullanılmış olur, hem de sudan tasarruf sağlanmış olur.

Son teknolojiler böyle bir tesisin elemana ihtiyaç duyulmadan otomatik olarak işletilmesine imkan vermektedir. PLC programları ,ilgili sensor ve diğer saha cihazları ile tesisler otomatik çalışabilmektedir. Bu sayede tesisin hangi etaplardan geçip nasıl çalıştığı bir bilgisayar ekranından izlenip, kontrol edilebilmektedir.

Atık su arıtımında diğer bir konu endüstriyel atıksu arıtımıdır.

5.3.2.2 Endüstriyel Atık Su Arıtımı

Deniz kenarında kurulan endüstriler doğrudan doğruya, iç kısımlarda bulunanlar ise akarsular vasıtasıyla atıksularını denize boşalttıkları zaman önemli kirlenme sorunları yaratmaktadırlar. Bunun sonucunda deniz, göl ve akarsularda oksijen azalmasına, sudaki askıdaki katı maddelerin artmasına, yağ, ağır metal ve toksik kimyevi maddelerin konsantrasyonunun artmasına, ve hatta alıcı ortamın sıcaklığının değişmesine neden olmaktadır. Bu da alıcı ortamlarda yaşayan bitki ve canlıların ölümüne neden olarak doğal ortamı geri gelmeyecek şekilde bozmaktadır.

Endüstriyel atıksuların karakterleri, endüstrinin türüne göre çok değişken bir yapıya sahiptir. Bunlar esas olarak;

- Proses ve işlemlerden kaynaklanan atıksular,
- Soğutma suları,
- Temizlik, yıkama suları,
- Yardımcı işletmelerden kaynaklanan sular.

Endüstriyel atıksuların arıtımında uygulanan prosesler birkaç başlık altında toplanabilir :

a - Kimyasal arıtım gerektiren atıksular : Bu tür atıksular büyük oranda toksite içerirler. Bu tür arıtmalara metal sanayiini örnek verebiliriz.

b - Kimyasal + Biyolojik arıtım gerektiren atıksular : Bu tür atıksularda çok farklı proseslerden gelen değişik karakterdeki atıksular bir araya getirilerek hem kimyasal hem de biyolojik arıtım birlikte uygulanır. Bu tür arıtmalara tekstil sanayiini örnek verebiliriz.

c -Biyolojik arıtım gerektiren atıksular : Yağ endüstrisi, meşrubat, süt endüstrisi vb. endüstrilerden kaynaklanan atık suların arıtımında biyolojik arıtım uygulanır.

Bu başlıkları daha detaylı inceleyelim. Burada anlatılan prosesler tez yazarının çalıştığı firma tarafından uygulanmış projelerden örneklerdir.

a- Kimyasal arıtım gerektiren atıksular :

Metal endüstrisinde atıksu içinde alkali-siyanürlü ve asitli-kromatlı sular bulunur. Bu tür metallerin kimyasallarla muamele edilerek çöktürülmesi gereklidir. Bunun için öncelikle farklı karakterdeki atıksular ayrı ayrı havuzlarda toplanır ve atıksuların homojenitesi elde edilmeye çalışılır. Bunun için havuzların herbirine hava verilerek mekanik karıştırma ile suyun karışması sağlanır.

Bu havuzlardan ayrı ayrı toplanan suların her biri birer reaksiyon tankına gönderilir. Burada karıştırma yapılır, siyanür ve kromatın parçalanması için kimyasal maddeler ilave edilir (siyanür için bisülfid ve kostik, kromat için sodyum bisülfid ve asit). Reaksiyon tanklarında kimyasal işlemler gerçekleştirildikten sonra bu tanklardan gelen alkali ve asit karakterli sular pH ayarlama havuzuna gönderilir. Burada alkali ve asidik sular kısmen birbirini nötralize ederler. Daha sonra pH 7 civarına ayarlanır.

Daha sonra çökme işlemini kolaylaştırmak için polielektrolit dozlanarak pH 8-9' a yükseltilir ve çöktürme ünitesine basılır. Burada su yavaş karıştırma işlemi ile flokleştirilerek flokların dibe çökmesi sağlanır. Floklardan ayrılan su arıtılmış olarak alıcı ortama verilir. Çökelen çamurlar ise pompalarla filtre prese basılır. Katı kek haline getirilir ve bertaraf edilir.

b - Kimyasal + Biyolojik arıtım gerektiren atıksular :

Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksular için biyolojik arıtım ve bazen de bunun yanında kimyasal arıtım uygulanabilir.

Bu tür atıksular öncelikle bir kaba ızgaradan geçirilir. Fakat tekstil endüstrisi gibi suyun

içindeki elyaf türü materyal miktarının çok olduğu atıksularda ince ızgaralar da gereklidir. Bunlardan sonra değişik proseslerden gelen farklı karakterdeki atıksuların dengelenmesi için bir dengeleme havuzu kullanılır. Dengeleme havuzuna hava verilerek atıksuyun karıştırılması sağlanır.

Daha sonra biyolojik arıtma öncesi suyun pH değerini 7'ye getirebilmek için pH ayarlaması yapılır. Bunun için nötralizasyon havuzunda atıksuya asit veya kostik dozlanarak atıksu nötralize edilir. Atıksuyu nötralize etmek için kullanılan yeni bir metot ise atıksuyun bacagazı ile nötralizasyonudur. Bunun için atıksu bir sıyırıcıdan (scrubber) geçirilerek bacagazı ile karıştırılır, gaz içinde bulunan karbonik asit vasıtasıyla atıksu nötralize edilir bu sayede bacagazı temizlenerek hava kirliliği onlenmiş olur. Bu arada atıksuyu nötralize etmek için kullanılacak olan asit sarfiyatı da minimize edilmiş olunur.

pH ayarlaması yapıldıktan sonra atıksu havalandırma havuzunda difüzörler veya aeratörler yardımıyla havalandırılarak organik maddelerin parçalanarak ayrışması sağlanır. İyi bir ayrışma sağlamak için oksijenin yanısıra atıksuya üre, daf gibi kimyasal maddeler de katılır. Buradan çıkan atıksu çökeltme havuzuna gönderilir ve ayrışan organik maddelerin çökmesi sağlanır. Arıtılmış duru su alıcı ortama verilirken, dibe çöken çamurlar çamur yoğunlaştırma havuzuna sevk edilir. Burada çamurun yoğunluğunu arttırmak için polielektrolit dozlanır. Daha sonra bir filtre presden geçirilerek katı kek halinde bertaraf edilir.

c - Biyolojik arıtım gerektiren atıksular :

Yağ, süt, çikolata vb. endüstrilere ait atıksular büyük oranda yağ içerirler. Bu tür atıksularda öncelikle yağın giderilmesi gerekir.

Atıksular öncelikle bir dengeleme havuzunda toplanır. Farklı proseslerden kaynaklanan atıksular bu havuzda toplanarak homojen bir atıksu oluşması sağlanır. Dengeleme havuzuna hava verilerek suyun karışması sağlanır. Belli aralıklarla hava verilmesi durdurularak yüzeyde biriken yağlar bir sıyırıcı vasıtasıyla yüzeyden toplanır ve bir savağa boşaltılır. Biriken bu yağlar toplama tankına gönderilir.

Daha sonra bir tankta basınçlandırılan atıksu flotasyon tankına alınır. Basınçlandırılan atıksu burada ani olarak atmosferik şartlara açılır. Atıksu içerisindeki erimiş hava, küçük zerrecikler halinde su yüzeyine çıkarken su içerisinde bulunan partikülleri, askıda (suspense) yağ ve diğer yüzer maddeleri beraberinde yukarı çıkarır. Yüzeye çıkan maddeler sıyırıcı vasıtasıyla bir hopere oradan da toplama tankına alınır.

Bundan sonra atıksu, havalandırma havuzuna gönderilmeden önce pH'nın ayarlanması için nötralizasyon havuzuna gönderilir. Havalandırma havuzunda atıksuya oksijen verilerek su havalandırılır. Havalandırma havuzundan çıkan atıksular çökeltme havuzuna gönderilir.

Burada ayrışan organik maddelerin çökmesi sağlanır. Çökeltme havuzundan sonra atıksu klorlanarak alıcı ortama deşarj edilir. Çökeltme havuzu dibinde çöken aktif çamur ise çamur yoğunlaştırma tankına gönderilir. Burada atıksuya polielektrolit dozlanarak çamur yoğunlaştırılır. Fazla su sisteme geri gönderilirken aktif çamur bir filtre prese basılır ve katı kek halinde bertaraf edilir .

5.3.3 Proses Suyu Arıtımı

Arıtımın bir diğerkolu ise endüstriye yönelik olarak proses suyu arıtımıdır.

Proses suyu arıtımı suyun kullanılacağı endüstriye göre ve istenen çıkış suyu şartlarına göre değişiklik gösterir.

Proses suyu arıtımında kullanılan metotlardan biri demineralize tesislerdir. Demineralize tesisleri istenen çıkış suyu şartlarına göre şekillenir, katyon ve anyon tanklarından meydana gelir. Katyon tankında su içinde bulunan (+) yüklü iyonlar, anyon tankında ise (-) yüklü iyonlar tutulur.

Özellikle kazan besleme suyu hazırlama ünitelerinde demineralize su gereklidir, çünkü su içinde bulunan silis yüksek buhar basıncı olan yerlerde istenmemektedir. Bu nedenle demineralize tesislerde silis kaçağı ve iletkenlik (kondaktivite) kontrolü yapılmaktadır. Çok kaliteli bir çıkış suyu istendiğı durumlarda (buhar kazanları gibi yüksek basıncın gerekli olduğu yerlerde kondaktivite değerinin çok düşük olması gerekir) katyon ve anyon tanklarından sonra karışık yatak (mixed bed) ünitesi de sisteme eklenir. Karışık yatak çıkışında kondaktivite ve silis kaçağı kontrolü yapılarak sistemin işletilmesi ve rejenerasyon etapları kontrol edilir. Katyon tankının rejenerasyonunda asit, anyon tankının rejenerasyonunda kostik kullanılır . Rejenerasyon işlemi ters akım veya düz akım olarak iki şekilde uygulanabilir. Mixed bed de ise asit ve kostik kullanılır. Son dönemde reçineci firmalar tarafından geliştirilen ve firmamızın da lisanslı kullanıcısı olduğu (Rohm& Haas firmasının geliştirdiğı) Amberpack sistemi ile tank boyutları küçülmekte ve asit ve kostik sarfiyatları azalmaktadır.

Demineralize ünitelerde kullanılan tanklar sac veya galvaniz olup tank üzerine lastik veya neopren kaplama yapılmaktadır. Sistemde kullanılan vanalar ise pnömatik aktuatörlü diyafram vanalardır.

Demineralize ünitelerine alternatif olarak su içindeki TDS (Toplam Çözülmüş Katılar) oranının çok yüksek olduğu durumlarda bu sistemin bir ileri aşaması olan RO sistemi kullanılır. Bu sistem membran teknolojisine dayanır.

Son yıllarda oldukça yaygın şekilde kullanılan RO (Ters Ozmoz) üniteleri yüksek basınçta gelen suyun membranlardan geçirilerek iyonlarından ayrıldığı ve istenen saflıkta elde edildiği sistemlerdir. İçinde iyonların bulunduğu konsantrasyon olan kısım ise atılmaktadır. RO ünitelerinde geri kazanım (recovery) diye isimlendirilen oran vardır. Bu, giriş ve çıkış suyu arasındaki kapasite oranı olarak tanımlanabilir. Bu oranın artırılıp azaltılmasıyla atıksu olarak deşarj edilen suyun miktarı ayarlanabilir. Geri kazanım oranı düştükçe drenaja giden atıksu miktarı arttığından bu oranının yüksek tutulması gereklidir. Böylece su tasarrufu sağlanmış olunur. Ancak bu durum suyun kaynağına ve bulunabilirliğine, suyun kalitesine ve maliyetine bağlı olarak değişir. RO üniteleri ile istenen çıkış şartlarına ulaşamaması durumunda RO sonrası bir karışık yatak ünitesi ile istenen çıkış şartları sağlanır. Su içinde bulunan demir ve serbest klorun membrana zarar vereceğinden RO öncesi muhakkak giderilmesi gerekir. Bunun için bir aktif karbon filtre kullanılır. Bu tür önlemlerle RO ünitesinin membranları korunarak daha uzun süre dayanması sağlanmış olunur.

Proses suyu olarak sıfır sertliğinde yumuşak su istendiği durumlarda su yumuşatma üniteleri kullanılır. Su yumuşatma üniteleri ile su içinde bulunan ve sertliğe sebep olan iyonlar reçineler ile tutularak istenilen kalitede su elde edilir. Su yumuşatma ünitelerinin rejenerasyonunda son dönemde kullanılan metot ise bir tuz hazırlama tankında tuzlu suyun hazırlanması ve istenilen yoğunluğa getirilerek sisteme verilmesi şeklindedir. Sistemin rejenerasyon işlemine başlamasına birkaç yöntemle karar verilir. Bunlardan birincisi tankların çıkış hattına bağlanan bir sertlik ölçüm cihazı ile karar verilmesidir. Çıkış hatlarından alınan numunelerin sertliği, istenilen çıkış değerini aştığı anda sistem kendini otomatik olarak rejenerasyona alır. Bir diğer metot ise çıkış hatlarında bulunan debimetreler vasıtasıyla rejenerasyon işlemine geçiştir. Debimetreye set edilen kapasitede su geçtiğinde sistem otomatik olarak rejenerasyon işlemine başlar.

Su yumuşatma ünitelerinden önce ise sisteme kum filtreleri konularak su içinde bulunan katı partiküller tutularak su yumuşatma amacıyla kullanılan reçinenin daha uzun ömürlü olması sağlanır. Kum filtresinin ters yıkama işlemine otomatik olarak fark-basınç sensorleri yardımıyla karar verilir. Suyun giriş ve çıkış hatları arasındaki basınç farkı cihazdaki set edilen değeri aştığı durumda sistem otomatik olarak ters yıkama işlemine geçer.

Bu sistemlerde de kullanılan tanklar sac üzerine epoksi kaplama olup kullanılan vanalar pnömatik aktuatörlü diyafram vanalardır.

Buraya kadar anlatılan konulardan anlaşılacağı gibi hızla gelişmekte olan sanayileşme, çevre koruma ve enerji tasarruf politikalarını da beraberinde getirmektedir. Bunun sonucu olarakta gelişmiş firmalar ileri bir arıtma yöntemi olan anaerobik arıtma tesisleri kurmaya başlamışlardır.

6. ANAEROBİK ARITMA

6.1 Aerobik Arıtma (Aktif Çamur Tesisleri)

Bu proseste yumak halindeki bakteriyel kültür, karıştırılan ve havalandırılan bir havuzda atıksu ile beslenerek organik maddeler CO₂ ve suya dönüştürülür. Verimli bir arıtma temini için BOİ₅/N/P=100/5/1 oranı sağlanmalıdır. Atıksular, mikroorganizmaların çoğalması için gerekli temel besi maddelerinden olan azot ve fosfor yönünden fakir ise bu maddeler aktif çamur havuzuna dışarıdan eklenmek zorundadır. Tipik bir aktif çamur arıtımında, 0.2-0.4 kgBOİ/kg biyokütle organik yüklemelerinde, 4-8 saatlik havalandırma süresinde %90 kadar verim elde edilebilmektedir. Organik yükü fazla olan atıksular için doğrudan aktif çamur prosesi kullanmak aşırı enerji ihtiyacından dolayı mümkün olmamaktadır. Bu durumda, aktif çamur prosesi anaerobik arıtmadan sonra ikinci kademe arıtma olarak kullanılmaktadır.

6.2 Anaerobik Arıtım

Anaerobik atıksu arıtımı, organik maddelerin oksijensiz ortamda metan (CH₄), CO₂ ve amonyak (NH₃) gibi inorganik maddelere dönüştürüldüğü bir işlemdir. Biyolojik olarak ayrışabilen organik maddelerin anaerobik olarak parçalanması farklı bakteri grupları tarafından gerçekleştirilen bir arıtım yöntemidir.

Anaerobik atıksu arıtımı bir kısım avantajları nedeniyle son yıllarda önem kazanmış ve üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bilhassa, konsantre sanayi atıksularının arıtımı maksadıyla çok sayıda anaerobik arıtma tesisi kurulmuştur. Ülkemizde ise son yıllarda yurtdışı firmalardan lisans almak suretiyle inşa edilmiş sınırlı sayıda anaerobik tesis mevcuttur.

6.2.1 Anaerobik Arıtmanın Bazı Üstünlükleri

Anaerobik arıtmanın mühendisler ve uygulayıcı sanayiciler açısından başlıca faydaları şöyle sıralanabilir :

- Yüksek konsantrasyonlu atıksu (KOİ>1500 mg/L) arıtımında anaerobik arıtma, aerobik arıtmaya göre daha ucuzdur.
- Enerjinin tüketimi yerine üretimi söz konusudur. Özellikle yüksek konsantrasyonlu atıksu arıtımında tesis kendi ihtiyacını rahatlıkla karşılamakta hatta fazladan enerji üretebilmektedir. Bu durum ayrıca, atıksu arıtmanın çok pahalı olduğunu ve enerji gerektirdiğini düşünen sanayici için dikkat çekici bir husus olmaktadır. Bazı yakıt

kaynakları ile biyogazın karşılaştırılması Tablo 1’de verilmektedir.

- Anaerobik arıtma tesisi aerobik tesislere göre daha az yer kaplamaktadır. Özellikle yeni geliştirilen yüksek hızlı arıtma sistemleri için bunu söylemek daha kolay olacaktır.
- Alet ve teçhizat donanımı açısından da anaerobik arıtma nispeten düşük maliyetli teknolojidir.
- Dönemlik ya da mevsimlik çalışan sanayiler için anaerobik arıtma özel bir ilgi görmektedir. 150 °C’ nin altındaki sıcaklıklarda anaerobik çamur, besleme yapılmaksızın biyolojik aktivitesini ve çökelme özelliğini kaybetmeden uzun bir süre saklanabilmektedir.
- Anaerobik arıtma sistemleri çok küçük boyutlarda olduğu gibi çok büyük boyutlarda da inşa edilebilir.
- Anaerobik arıtma daha az nütrient ihtiyacı gerektirir ve daha az çamur oluşumu meydana gelir. Ayrıca, çıkış suyu kısmen patojenlerden arındırılır.

Tablo 1. Bazı yakıt türlerinin biyogaz ile karşılaştırılması.

Yakıt Türü	Birim Enerji Değeri(MJ)	Yanma Verimi %	Kullanılabilir Değeri (MJ)	Biyogaz Enerji Eşdeğeri
Biyogaz (m ³)	20	60	11.8	1
Elektrik (kWh)	3.6	70	2.5	4.7
Gazyağı (L)	38	50	19	0.62
Bütan(kg)	46	60	27.3	0.43

6.2.2 Anaerobik Arıtımın Kullanıldığı Atıksu Türleri

Anaerobik arıtım, geçmiş yıllarda birçok organik bazlı atıksuyun arıtılmasında kullanılmıştır. Ayrıca, son yıllarda daha seyreltik atıksuların hatta kanalizasyon sularının anaerobik arıtımının geliştirilmesine çalışılmaktadır.

Literatürde mevcut olan anaerobik arıtımın başarıyla uygulandığı atıksu çeşitleri şunlardır :

Süt endüstrisi, yiyecek endüstrisi, alkol distilasyonu, soya fasulyesi işleme, bira fabrikası, kabuklu deniz ürünleri şişeleme, pancar işleme, meşrubat sanayi, pektin, malt sanayi, mayalanmış süt ürünleri, hayvan gübresi, salça sanayi, melas, patases atıksuları, melas distilasyonu, sebze-meyve atıkları, sebze konservesi, mısır nişastası, kağıt, buğday nişastası, sülfütlü kağıt hamuru, hurma yağı, karışık kimyasal atıklar, zeytin yağı, fenolik atıklar, ekmek sanayi atıksuları, petrokimyasal atıklar, ilaç sanayi, tekstil endüstrisi.

Anaerobik arıtım konusunda mevcut bilgilerle ekonomik bazda bir inceleme yapılırsa, 1-2 gKOİ/L konsantrasyonuna kadar seyreltik suların anaerobik arıtımı başarı ile uygulanabilmektedir. Anaerobik arıtımın bir ön arıtım olarak kullanıldığı durumlarda dateknik ve ekonomik birçok faydası olmaktadır.

Her arıtma türünde olduğu gibi anaerobik atıksu arıtımının da bazı mahzurları olmasına rağmen teknoloji ve kimya, mikrobiyoloji gibi bilim dallarındaki ilerlemelerle anaerobik arıtmanın dezavantajları oldukça azalmıştır. Anaerobik arıtma çoğunlukla atıksu, çamur veya katı atıklardan kaynaklanan organik kirleticileri gidermek için kullanılır. Aerobik yada diğer çeşit arıtımların uygulandığı proseslerde anaerobik arıtma en azından bir ön arıtım olarak uygulanmaktadır. Başlıca mahzurları sıralanırsa :

- Anaerobik arıtmanın en önemli mahzuru, diğer biyolojik arıtım yöntemlerine benzer şekilde metanojenik mikroorganizmaların birçok kimyasal bileşiğe, özellikle xenobiyotiklere karşı hassas olmasıdır. Fakat son yıllarda yapılan çalışmalarla bu soruna da çözüm getirilmektedir.
- Reaktörlerin, özellikle ilk kez devreye alınmasında gereken sürenin uzunluğu anaerobik arıtmanın diğer bir önemli sakıncasıdır. Ancak, fazla anaerobik çamur uzun süreler bozulmadan korunabildiği ve farklı tür atıksularda kullanılabilirdiği için yakın bir gelecekte bu soruna kısmende olsa çözüm bulunabilecektir.
- Anaerobik arıtmada hidrojen sülfür (H_2S) oluşarak kötü bir kokuya neden olabilir. Fakat araştırmalar bu sorunun basit yöntemlerle çözülebileceğini göstermiştir.

6.2.3 Bazı Maliyet Rakamları

Ülkemizde bazı anaerobik arıtım tesisleri kurulmuş olmasına rağmen bunların maliyeti ile ilgili rakamlar yayınlanmış değildir. Bu nedenle anaerobik arıtım maliyetine ait yurtdışı rakamlar verilecektir. Fransa'da çeşitli organik atıklar içeren bir kimya sanayi fabrikasında mevcut olan havalı biyolojik arıtımın önüne konulan 16 ton KOİ/gün yüklemeli havasız arıtmada ortaya çıkan maliyetler Euro olarak Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Organik kimya sanayiinde havasız arıtımın mali faydası.

	Havalı Arıtım	
	Var	Yok
Camur Üretimi(% 100 katı içeriği)	4.303	2.531

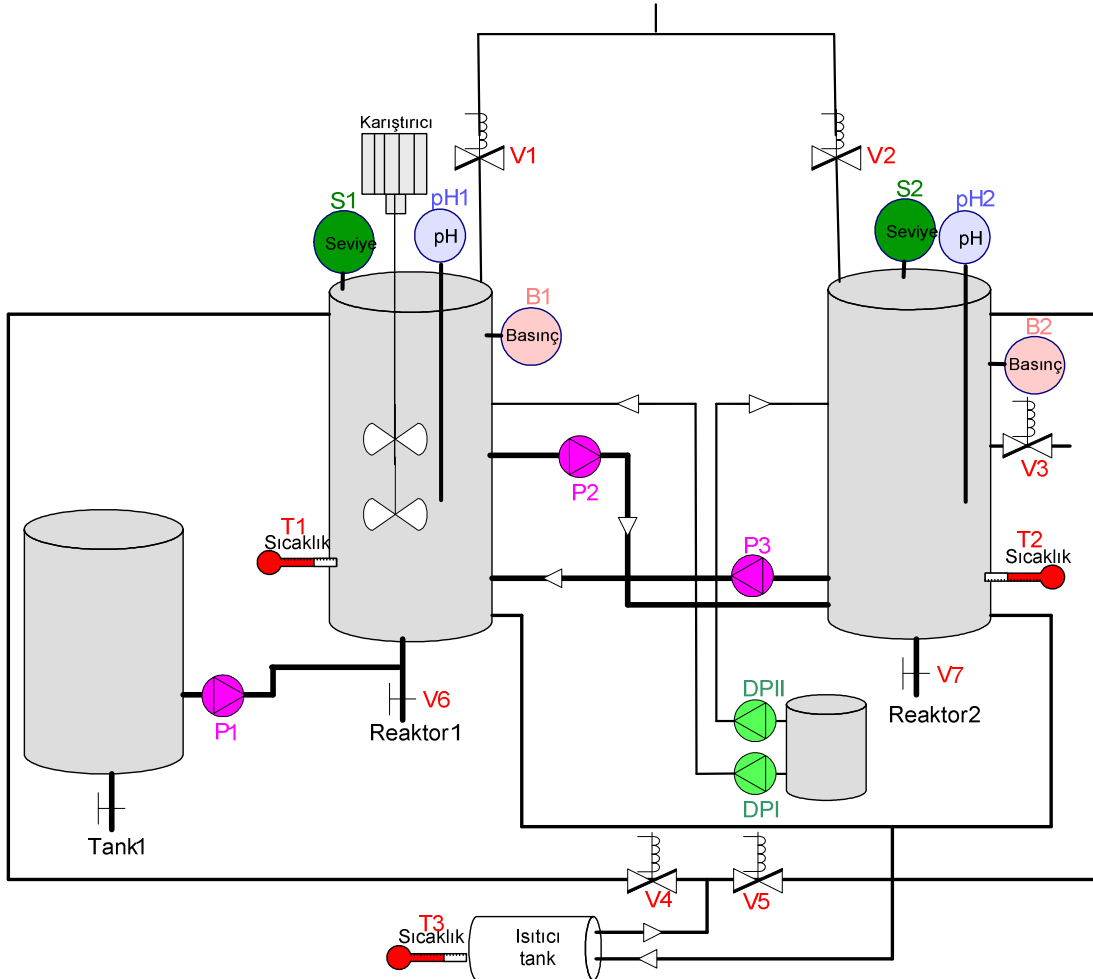
Havalı arıtmıdan (ton/yıl)	0	380
Havasız arıtmıdan (ton/yıl)	4.303	2.911
Nötralizasyon için kostik (ton/yıl)	3.252	2.125
Biogaz üretimi (Nm3)	0	3.326.400
Elektrik tüketimi (kW)	6.500.000	4.202.500
Havalı arıtım	0	404.400
Havasız arıtım	6.500.000	4.606.900
İşletme Masrafları	1.905.000	1.252.800
Kostik soda (400 FF/ton)	192.700	128.500
FeCl3 (730 FF/ton)	555.800	461.000
H3P04- %75 (4260 FF/ton)	0	154.600
Nütrient-iz element		
Çamur uzaklaştırma	154.500	66.200
Enerji	1.300.000	921.000
Biogaz	0	1.578.000
Toplam yıllık işletme masrafları	4.128.000	1.606.300
Havasız arıtım ile yıllık işletme tasarrufu	-	2.521.700

Sonuç olarak, ülkemizde yeterli alt yapısı mevcut olmadığından yeterince uygulama alanı bulamamış olan, biyogaz üretimi gibi bir avantaj sağlayan anaerobik arıtmıdan daha yaygın ve verimli bir şekilde faydalanabilmek için sanayicilerin de içinde bulunduğu ilgili birimler tarafından bir plan dahilinde işbirliği yapılarak, gerek yurt içi çalışmalarla gerekse de yurt dışındaki teknolojiden mühendislerimizi yararlandırarak teknolojik alt yapımızı geliştirmemiz gerektiği söylenebilir. Bu tez çalışmasında böyle bir gayeye hizmet etmesi umulmaktadır.

7. ANAEROBİK ARITMA SİSTEMİNİN PLC ve SCADA OTOMASYONU

7.1 Sistemin Donanımı ve Çalışması

Havasız atıksu arıtma sistemlerinde çeşitli tesis mimarileri vardır. Yapılan araştırmalar sonucunda tek kademeli reaktor yerine iki kademeli sürekli karıştırılmalı (CSTR) asidifikasyon reaktörü ile bunu takip eden sabit yataklı metan reaktörü yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 7.1). Böylece göreceli olarak asidifikasyon bakterilerine oranla daha yavaş büyüyen metan bakterilerinin inhibisyona maruz kalması engellenmiş olacaktır. Literatürde belirtildiği gibi asidifikasyon tankının tam karıştırılmalı olması atıksu KOİ'sinin düşürülmesinde önemli bir etki oluşturmaktadır. (İ. Öztürk, "Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları", Su Vakfı Yayınları, 2000) KOİ' nin düşürülmesi arıtma sonrası çıkış suyunun kirliliğinin azaltılması anlamına gelir.



Şekil 7.1 İki aşamalı havasız atık su arıtma tesisi.

7.2 Deney Düzeneđi

Yukarıda belirtildiği gibi kurulan sistemde esas olarak beş tank bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla, besleme tankı, sürekli karıştırmalı asitleştirme reaktörü, bunu takip eden sabit yataklı metan reaktörü, kostik soda (NaOH) tankı ve ısıtıcı tankından oluşmaktadır. Tankların hacimleri sırasıyla 42, 67, 67, 4, 10 litredir. Reaktörler sıcaklık kontrolü amacıyla suyla ısıtmalı çift cidarlı, paslanmaz çelikten (316), sızdırmaz ve 2 bar basınca dayanıklı olarak imal edilmiştir. Her iki reaktör de (Tank 2 ve Tank 3) havasız şartları sağlamak üzere oksijen sıyırma sistemi ile teçhiz edilmiştir. Tanklar arası tesisat, paslanmaz çelik borularla basınca ve aside dayanıklı PVC borularla yapılmıştır. Çeşitli kontrol ve otomasyon senaryolarını uygulamak amacıyla tanklar arası sıvı akışını sağlamak için üç adet debi ayarlı, sıvıyla temassız peristaltik pompa (P1, P2, P3), pH ayarı için iki adet dozaj pompası (DP1, DP2), sıcaklık kontrolü için ise bir adet devir-daim pompası kullanılmıştır. Kullanılan pompalarda istenildiğinde daha hassas hız ayarı yapabilmek için harici girişler bulunmaktadır. Sıvı/gaz akışını açma-kapama ve yönlendirme, beş adet solenoid valf (V1, V2, V3, V4, V5) ve reaktör tahliye çıkışları ise birer adet manüel vana (V6, V7) ile sağlanmıştır.

7.3 Enstrümantasyon

Sistemdeki ölçümler için çeşitli algılayıcılar kullanılmıştır. Tesis, sıvı seviye bilgisi için her iki reaktörde birer ultrasonik seviye sensörü; sıcaklık kontrolü için her iki reaktörde ve ısıtıcı tankta birer olmak üzere üç adet PT 100 sıcaklık sensörü; her iki reaktörde birer basınç sensörü (>1 bar) ve birer pH sensörü ile teçhiz edilmiştir. Sistem isteğe bağlı olarak sıvı ve gaz debimetreleriyle de donatılmaktadır. Özellikle arıtma süreç veriminin en önemli göstergesi olan CH₄ (metan gazı) ölçümü için gaz ölçüm cihazı kullanılmaktadır. Bu cihaz CH₄'ün yanı sıra CO₂ ve H₂ gazlarının konsantrasyonlarını da ölçmektedir. Arıtma esnasında oluşan biyogaz yaklaşık olarak %65-85 CH₄, %15-35 CO₂ ve %1-3 H₂ karışımından oluşmaktadır.

7.4 Kontrol ve Otomasyon

Proses kontrolü için Siemens S7 300 serisi PLC, veri izleme ve insan-makine ara yüzü olarak ise WinCC SCADA programı tercih edilmiştir. Mikroorganizmaların organik madde parçalama etkinlikleri, çıkışın KOİ değerlerinin istenen değerlerde olması veya deşarj standartlarını sağlaması ve prosesin sürekliliği gibi hedefleri gerçekleştirmek için reaktörlerde aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir:

- Sıcaklık 35 °C,
- pH 6.5,
- basınç 1 bar'ın altında.

Buna göre tipik bir sistem işletimi aşağıdaki temel adımlardan oluşmaktadır:

- 1) Besleme tankındaki (T1) atıksu, içinde anaerobik mikroorganizma aşısının bulunduğu asitleştirme reaktörüne (T2) seçilen bir debide (1.7 – 5400 ml/dk) pompalanır.
- 2) T2'nin 2/3'ü dolduğunda pompa durdurularak mikroorganizmaların faaliyete başlaması için gereken süre boyunca beklenir. Bu esnada karıştırıcı 30 devir/dk hızla çalışmaya başlar.
- 3) Sekiz saat bekleme süresinden sonra karıştırıcı durur ve T2 reaktöründeki üst sıvı fazından T3 reaktörüne metan fazının tamamlanması için atıksu geçirilir.
- 4) T3'de 16 saatlik bir metanlaşma fazından sonra arıtılmış su tahliye edilir.

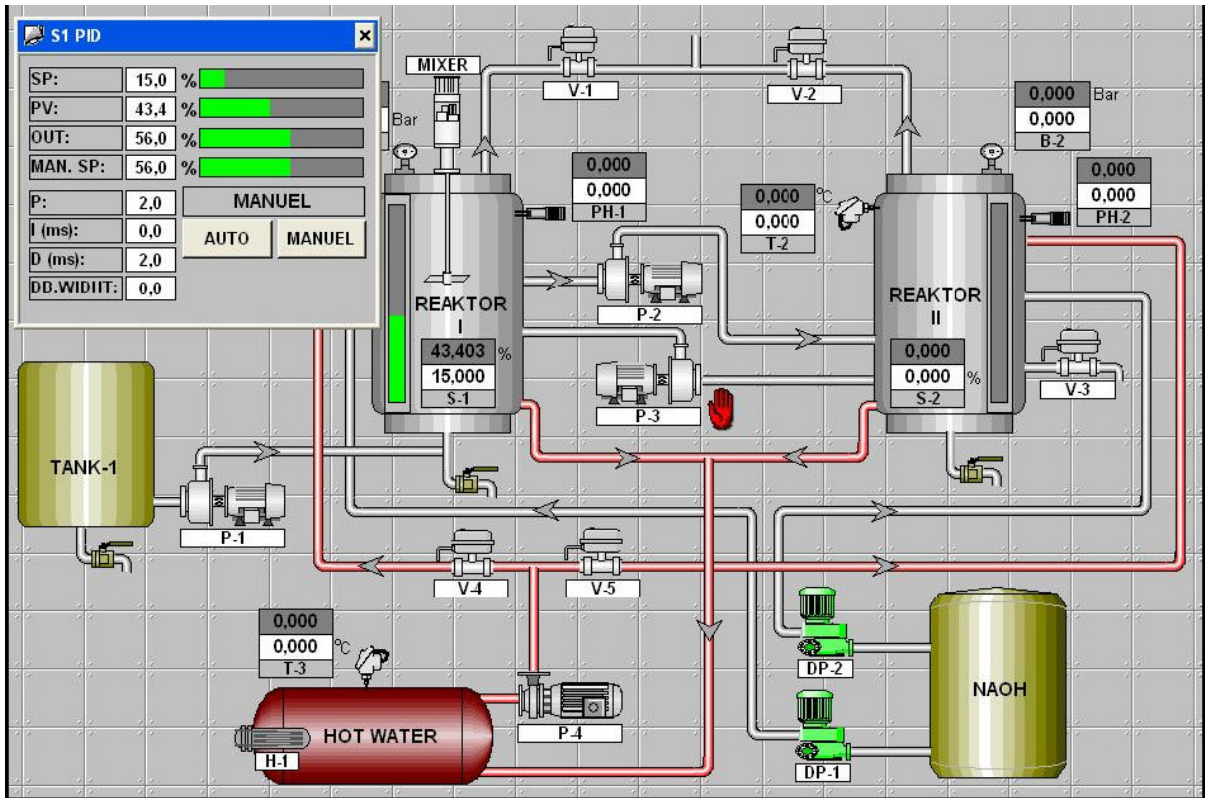
Anaerobik atıksu arıtma deney düzeneğimizin yukarıda anlatılan şekilde kontrol ve otomasyonunu sağlayan PLC programı Ek-1 de verilmiştir.

Mikroorganizmaların test etmek amacıyla tahliye çıkışlarından KOİ, amonyak azotu vb. değerleri ölçmek üzere numuneler alınmaktadır. Bu değerlerin ölçümleri laboratuvarında (off line olarak) yapılmaktadır. Havasız atıksu arıtma süreci sonunda hedeflenen %85-95'lik giderim verimi olduğu düşünülürse Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki "Evsel Atıksu Deşarj Standartları"nın yakalanması mümkün olmaktadır.

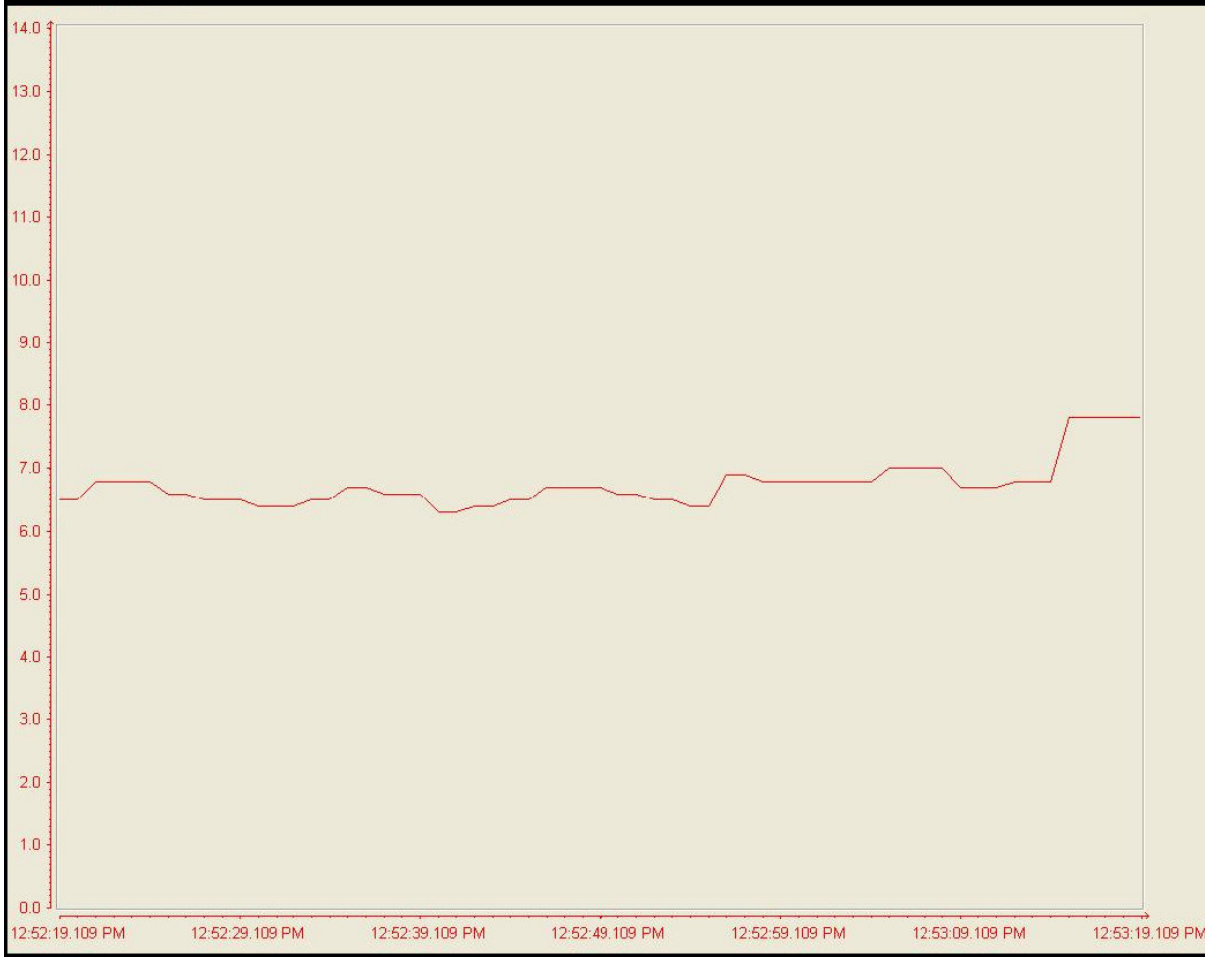
Tablo 3. Tipik evsel atık su değerleri.

Madde	Konsantrasyon (mg/litre)
BOİ ₅	220
KOİ	500
Toplam organik karbon	160
Toplam katı maddeler	720
Askıda katı maddeler	500
Alkalinite (kalsiyum karbonat, CaCO ₃ olarak)	100
Toplam azot	40
Toplam fosfor	8
pH	6-9

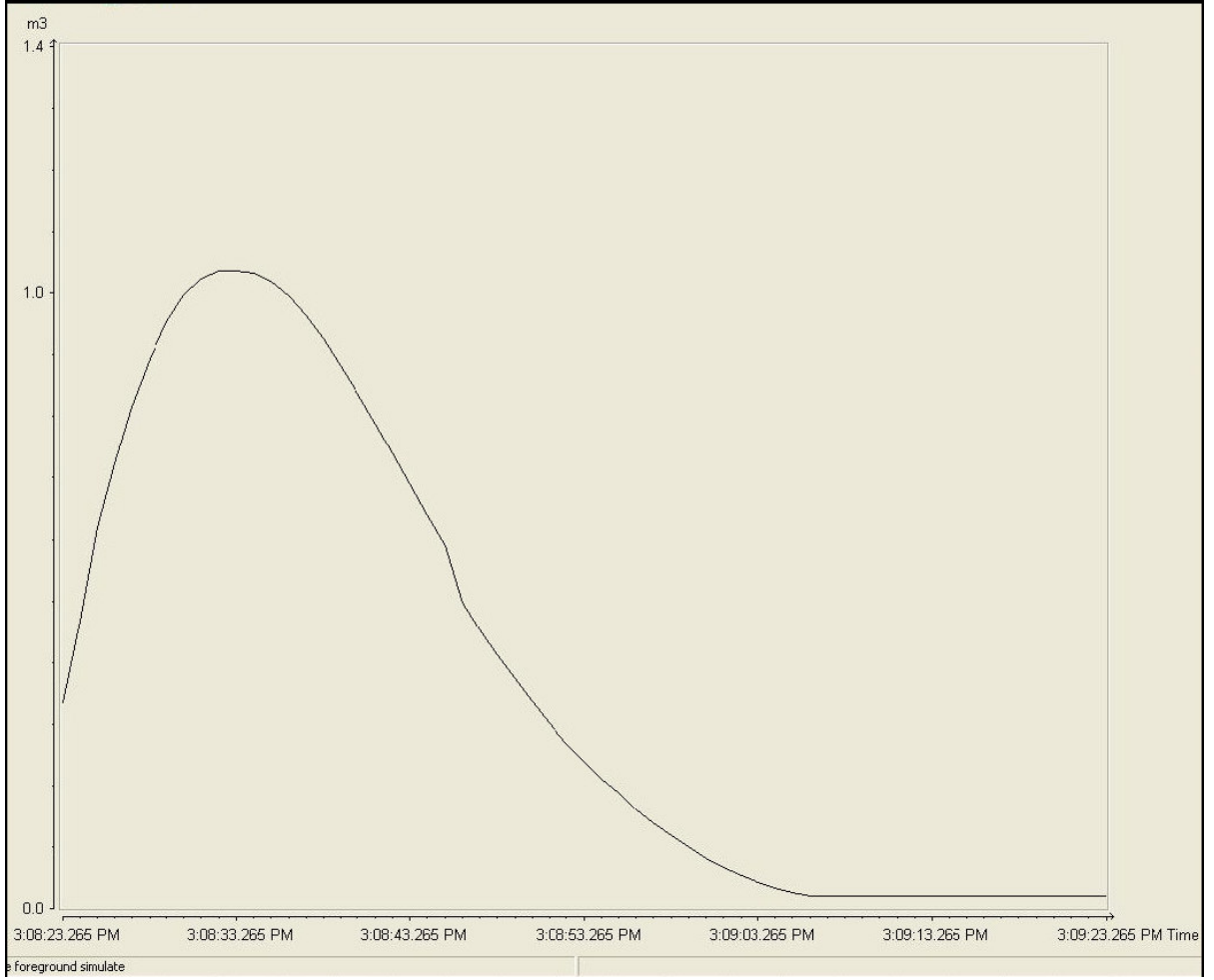
Sistemin optimum verim ve süreklilikte çalışabilmesi için sıcaklık, pH, seyreltme oranı (debi / hacim) ve sıvı seviyesi gibi kritik parametreler, başlangıçta endüstride yaygın olarak kullanılan klasik kontrol yöntemleriyle kontrol edilmiştir. Sürecin dinamik davranışı ve buna bağlı olarak gerçekleştirilen kontrol uygulamaları ilerideki bölümlerde sunulmuştur. Hazırlanan SCADA programından elde edilen “proses mimik diyagramı” ve örnek “trend” ekranları Şekil 7.2 , Şekil 7.3 ve Şekil 7.4 'de verilmiştir.



Şekil 7.2 Sürecin SCADA mimik diyagramı.



Şekil 7.3 Tipik PH 'trend' ekranı.



Şekil 7.4 Kesikli çalışmada tipik bir biogaz çıkış 'trend' ekranı.

7.5 Sürecin Matematiksel Modeli

Sistemin optimum kontrolünü sağlamanın temel yolu, atıksu arıtma sürecinin dinamik davranışlarını en iyi biçimde matematiksel olarak ifade etmekten geçer. Süreç üç aşamada gerçekleşmektedir: hidroliz, asit ve metan fazları. Buna göre Hill ve grubunun geliştirdiği üç aşamalı sürece ait durum denklemleri aşağıdaki gibidir.(R. Antonelli, J. Harmand, J-P. Steyer, A. Astolfi, "Set-Point Regulation of an Anaerobic Digestion Process With Bounded Output Feedback," IEEE Transaction on Control Systems Technology, vol. 11, No. 4, pp. 495-504, July 2003)

$$\begin{aligned}
\frac{dX_1}{dt} &= [\mu_1 - D] X_1 \\
\frac{dX_2}{dt} &= [\mu_2 - D] X_2 \\
\frac{dS_1}{dt} &= [D(S_1^{in} - S_1) - \mu_1 k_1 X_1] \\
\frac{dS_2}{dt} &= [D(S_2^{in} - S_2) - \mu_1 k_2 X_1 - \mu_2 k_3 X_2]
\end{aligned} \tag{1}$$

Burada X_1 (gMLVSS/l) asidojenik bakteri konsantrasyonunu, X_2 (gMLVSS/l) metanojenik bakteri konsantrasyonunu, S_1 (gKOİ/l) substrat konsantrasyonunu, S_2 (gUYA/l) Uçucu Yağ Asitleri konsantrasyonunu ifade etmektedir. S_1^{in} (gKOİ/l) giriş substrat konsantrasyonu, S_2^{in} (mmolUYA/l) giriş uçucu yağ asitleri konsantrasyonu (UYA), D (1/gün) seyreltme oranı, k_1 (gKOİ/gMLVSS₁) KOİ yıkım verimi katsayısı, k_2 (mmolUYA/gMLVSS₂) UYA üretimi verim katsayısı, olarak belirtilmektedir.

Doğrusal olmayan davranış gösteren asetojenik ve metanojenik mikroorganizmaların büyüme oranı (sırasıyla μ_1 ve μ_2) aşağıda verilen Monod Kanunu ile ifade edilir. (R. Antonelli, J. Harmand, J-P. Steyer, A. Astolfi, "Set-Point Regulation of an Anaerobic Digestion Process With Bounded Output Feedback," IEEE Transaction on Control Systems Technology, vol. 11, No. 4, pp. 495-504, July 2003)

$$\mu_1 = \frac{\mu_{m1} S_1}{k_{S1} + S_1}, \quad \mu_2 = \frac{\mu_{m2} S_2}{k_{S2} + S_2} \tag{2}$$

Burada, μ_{m1} maksimum asidojenik biyokütle büyüme oranı (gün⁻¹), μ_{m2} maksimum metanojenik biyokütle büyüme oranı (gün⁻¹), k_{S1} (gKOİ/litre) ile alakalı doyum parametresi, k_{S2} (mmolUYA/litre) ile ilgili doyum parametresidir. Sistemin biyogaz üretim miktarı q_M (litreCH₄ /Litre/gün) ve q_C (litreCO₂/Litre/gün) ise (3) denklemiyle ifade edilir.

$$q_M = Y_g \mu_2 X_2, \quad q_C = k_L a (C + S_2 - Z - K_H P_C) \tag{3}$$

(3) denkleminde Y_g (litre/g) gaz üretim katsayısı, $k_L a$ (litre/gün) sıvı gaz transfer katsayısı, K_H (mol/litre.atm) Henry sabiti, P_C karbondioksit basıncı (atm) ve P_T toplam basınçtır (atm). P_C , (4) denklemi kullanılarak hesaplanır.

$$P_C = \frac{\phi - \sqrt{\phi - 4 \cdot K_H \cdot P_T \cdot (C + S_2 - Z)}}{2 \cdot K_H} \tag{4}$$

$$\phi = C + S_2 - Z + K_H \cdot P_T + \frac{Y_g}{k_L a} \cdot \mu_2 \cdot X_2$$

Bernard ve arkadaşları, (O. Bernard, Z. Hadj-Sadok, D. Dochain, A., Genovesi, and J.-P. Steyer, “Dynamical Model Development and Parameter Identification for an Anaerobic Wastewater Treatment Process”, *Biotechnol. Bioeng.*, vol. 75, pp. 424-438, 2001) tarafından geliştirilen modelde ise Hill denklemlerine ilaveten toplam alkalinite konsantrasyonu (Z , g/litre) ve toplam inorganik karbon konsantrasyonu (C , g/litre) ifadeleri ile pH değeri de sisteme dâhil edilmiştir, denklem (5).

$$\begin{aligned}\frac{dZ}{dt} &= D.(Z_{in} - Z) \\ \frac{dC}{dt} &= D.(C_{in} - C) - q_c + k_4 \cdot \mu_1 \cdot X_1 + k_5 \cdot \mu_2 \cdot X_2 \\ pH &= -\log \left(K_b \frac{C - Z + S_2}{Z - S_2} \right)\end{aligned}\quad (5)$$

Burada, K_b eğilim sabitidir, Z_{in} ve C_{in} ise giriş değerleridir.

Denklemlerin çözümünde kullanılan durum değişkenlerinin başlangıç şartları ile katsayıların sürekli-hal değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}q^t &= [\mu_{m1} \mu_{m2} k_1 k_2 k_3 Y_g k_{s1} k_{s2}] \\ q^{t=0} &= [0.4 \ 0.4 \ 1 \ 40 \ 0.909 \ 1 \ 3.6 \ 3.6] \\ X^t &= [X_1 \ X_2 \ S_1 \ S_2 \ Z \ C] \\ X^{0t} &= [0.36 \ 3.18 \ 15.66 \ 0.18 \ 1 \ 1] \\ D &\in [0.25 \ 0.75]\end{aligned}$$

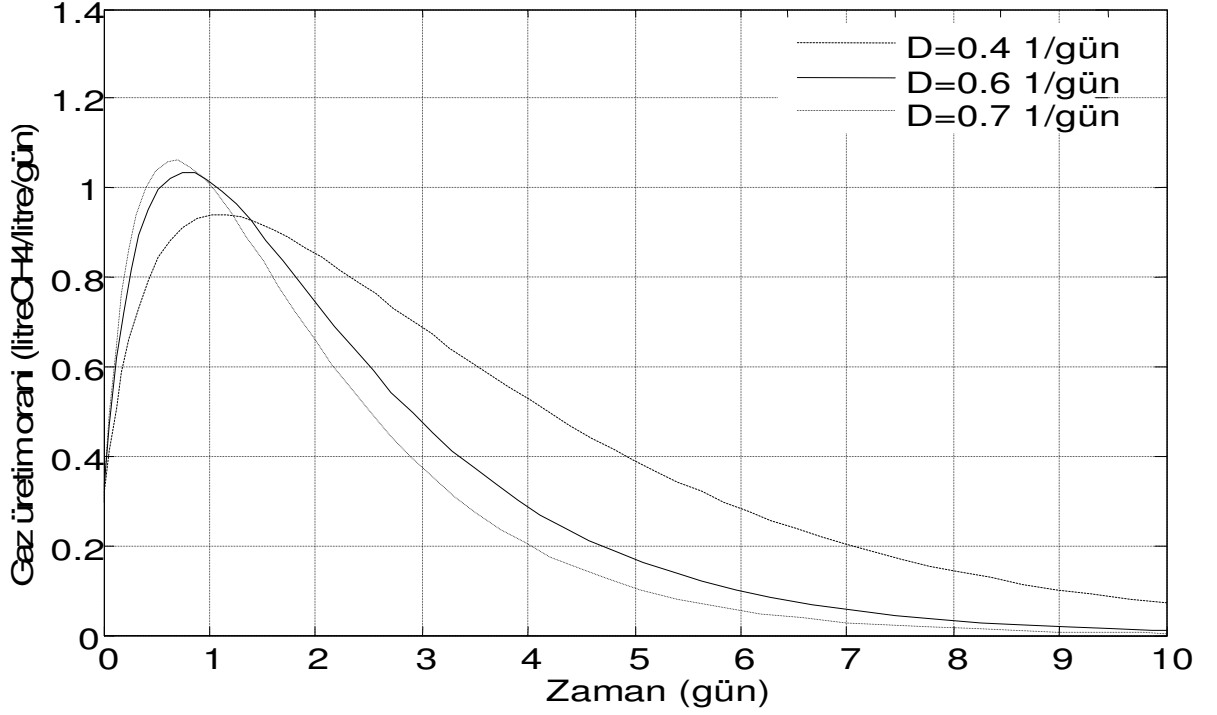
Yukarıdaki değerler verilen denklemlerde kullanılarak elde edilen modelleme benzetim sonuçları bir sonraki bölümde sunulmuştur.

7.6 Benzetim Sonuçları

Sürecin dinamik davranışını temsil eden denklemlerde $S_1^{in} = 10$ g/litre, $S_2^{in} = 4$ mmol/litre ve $D = 0.5$ gün⁻¹, $Z = 1$ g/litre, $C = 10$ g/litre alındığında çıkıştaki spesifik gaz üretim oranı q_M değişimi Şekil 7.5’te verilmiştir. (A.B. Ülkü, Yüksek Lisans Tezi, “Anaerobik Arıtma Sisteminin Modellenmesi Ve Kontrolü”, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2006)

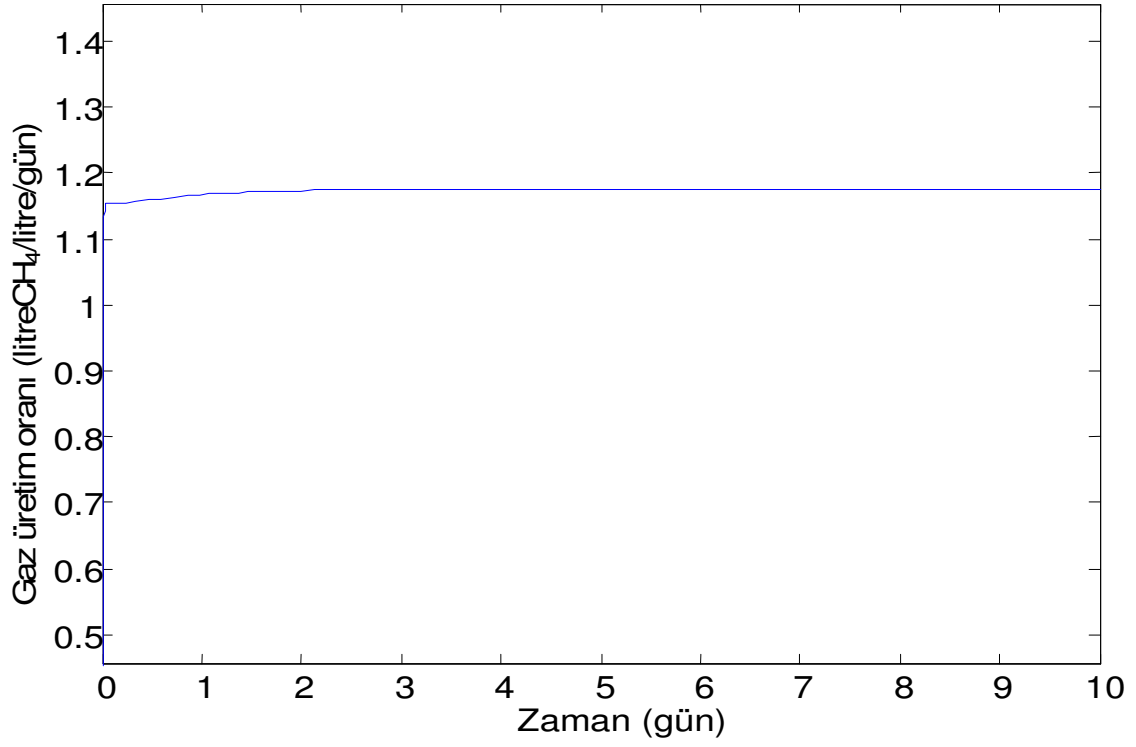
Grafiklerden de görüldüğü gibi seyreltme oranı, D , arttıkça gaz üretim oranının tepe değeri artmakta ancak minimuma düşme süresi kısalmaktadır. Bu ise seyreltme oranı yüksek

değerlerde seçildiği zaman, aynı miktar atık suyun daha çabuk sürede arıtılacağı anlamına gelmesi demektir. Gaz üretim oranının bir süre sonra sıfıra inmesi ise atık suyun istenilen oranda arıtıldığına işaret eder.

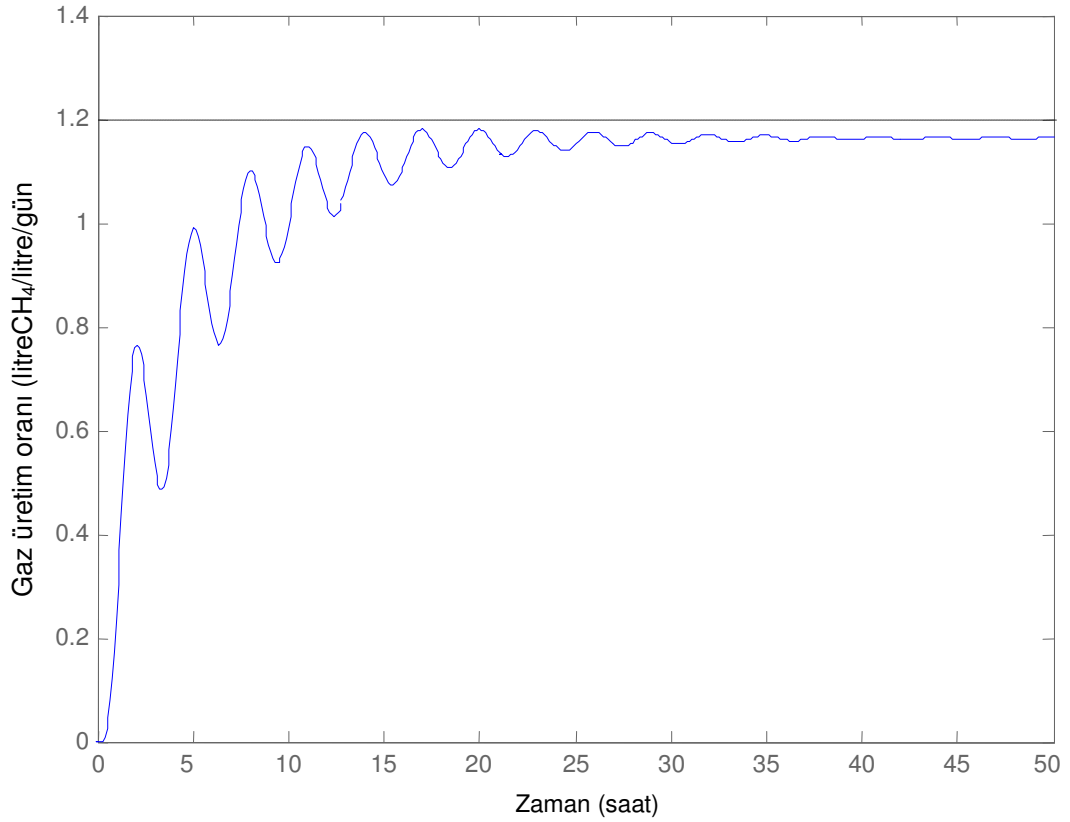


Şekil 7.5 Seyreltme oranının (D) farklı değerlerine göre gaz üretim değişimleri.

Seyreltme oranı D'nin sıfırdan büyük tutulması, bir başka deyişle besleme tankından, T1, birinci reaktöre, T2, sürekli sıvı girişinin sağlanması ve ikinci reaktörün, T3, biyogaz çıkışının on-line ölçülmesiyle sistem geri-beslemeli hale gelir ve *kesikli*den *sürekli* çalışma şartlarına kavuşur. Kapalı çevrimli hale gelen bu çok giriş – çok çıkışlı (MIMO) sistemde, başlangıç çalışması olarak, sistemin verimi hakkında doğrudan bilgi vermesi açısından çok önemli bir parametre olan biyogaz çıkışının istenen seviyede tutulması sağlanmıştır. Bu amaçla PID ve Bulanık Mantık kontrolleri denenmiştir. Bu çalışma çerçevesinde matematiksel modeldeki ilgili denklemin doğrusallaştırılması ve belirsizliklerin dikkate alınmamasıyla seyreltme oranı (yani giriş debisi) manipüle edilerek biyogaz üretim oranı arzu edilen seviyede tutulmuştur, Şekil 7.6.



Şekil 7.6 PID kontrollü sistemde gaz üretim oranı değişimi ($K_p = 10$, $K_I = 7$, $K_D = 3$).



Şekil 7.7 PID kontrollü sistemde gaz üretim oranı değişimi (0 – 50 saat arası).

SONUÇLAR

Yapılan literatür taraması göstermiştir ki, mikro-organizmaların organik madde parçalama dinamiklerinin yüksek orandaki lineersizlikleri, sistemdeki parametre belirsizlikleri, karşılıklı etkileşimleri ve giriş atık suyundaki konsantrasyon dalgalanmaları havasız atıksu arıtma sürecinin kontrolünü güçleştirmektedir. Mikroorganizmaların davranışlarını temsil eden denklemler, yaygın kabul gören Monod yasasına dayansa da, sistemi tamamıyla modelleyememektedirler. Dolayısıyla literatürde sunulan durum denklemleri, uygulamabağımlı olmakta, her giriş ve çevre koşullarında aynı modelleme başarısını gösterememektedir. Bu da ele alınan sistemin farklı çalışma şartlarında işletilerek bir sistem tanıma incelemesini gerektirmektedir.

Bu zorlukları göz önüne alarak, PID ve model temelli kontrol gibi kontrol yöntemlerinin yanında, Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları gibi akıllı yöntemleri kullanan çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır. (E. Becker Murnleitner, T.M., A. Delgado, “State Detection and Control of Overloads in the Anaerobic Wastewater Treatment Using Fuzzy Logic”, Water Research, Pergamon, pp.201-211, 2002). Bunun yanısıra gerek doğrusal olmayan kontrol yöntemlerindeki gelişmeler gerekse de hızlı veri toplama, işleme ve denetleme donanımları, dayanıklı kontrol, lineer ve nonlinear gözlemci tasarımı gibi gelişmiş kontrol yöntemlerinin (C. Schaper, D. Mellicham ve D. Seborg, “Robust control of a wastewater treatment system”, Proc. of 29th Conf. on Decision and Control, Honolulu, Hawaii, pp. 2035-2040, Dec. 1990) endüstriyel uygulamalarını gündeme getirmektedir. Bu çalışmada, yukarıda anılan ve daha çok teorik aşamada benzetim uygulamaları olarak karşımıza çıkan gelişmiş kontrol yöntemlerinin, laboratuvar ölçeğinde kurulan havasız atıksu arıtma sistemine uyarlanarak endüstriye yönelik PLC ve SCADA ile kontrol ve otomasyonu yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- A.B. Ülkü, Yüksek Lisans Tezi, “Anaerobik Arıtma Sisteminin Modellenmesi Ve Kontrolü”, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2006
- Alvarez, M.J., 2003. Biomethanization of The Organic Fraction Of Municipal Solid Wastes, pp. 1-43, Iwa Publishing, London.
- C. Schaper, D. Mellicham ve D. Seborg, “Robust control of a wastewater treatment system”, Proc. of 29th Conf. on Decision and Control, Honolulu, Hawaii, pp. 2035-2040, Dec. 1990
- D. Dochain, ve P. Vanrolleghem, “Dynamical Modeling and Estimation in Wastewater Treatment Processes” <http://www.iwapublishing.com/pdf/dyncontentsdraft.pdf>, IWA Publishing, in print, 2006
- E. Becker Murnleitner, T.M., A. Delgado, “State Detection and Control of Overloads in the Anaerobic Wastewater Treatment Using Fuzzy Logic”, Water Research, Pergamon, pp.201-211, 2002
- E. Sanchez, J-F. Beteau, and S. Carlos-Hernandez, “Fuzzy supervisory control for a wastewater anaerobic treatment plant” Proc. of IEEE Int. Symp. on Intelligent Control, Mexico, pp. 343-347, Sept. 5-7, 2001
- I. Rocha, ve E.C. Ferreira, “Design of estimators for specific growth rate control in a fed-batch E. coli fermentation”, Proc. 5th MATHMOD Symp. on Math. Modeling, A-Verlag, Vienna, 1.1 - 1.9.2006
- İ. Öztürk, “Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları”, Su Vakfı Yayınları, 2000
- J-P Steyer , M. Estaben and M. Polit, “Fuzzy Control of an Anaerobic Digestion Process for the Treatment of an Industrial Wastewater” pp.1245-1249, Fuzz-IEEE 1997
- J.C. Spall, J.A. Cristion, “A Neural Network Controller for Systems with Unmodeled Dynamics with Applications to Wastewater Treatment” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, Vol. 27, No. 3, pp.369-375, June
- Metcalf & Eddy, 1999. Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse. McGraw- Hill International Editions.
- M.R. Katebi, M.A. Johnson, J. Wilkie and G. McCluskey, “Control and Management of Wastewater Treatment Plants”, IEE - UKACC Int. Conf. on Control 1-4 Sept. pp. 433-438, 1998.
- O. Bernard, Z. Hadj-Sadok, D. Dochain, A., Genovesi, and J.-P. Steyer, “Dynamical Model Development and Parameter Identification for an Anaerobic Wastewater Treatment Process”, Biotechnol. Bioeng., vol. 75, pp. 424-438, 2001.
- Oliveira, R., Ferreira, E.C. and Azevedo, F.S., “Stability, dynamics of convergence, and tuning of observer-based kinetics estimator” Journal of Process Control, 12:2, 311-323, 2002.
- R. Antonelli, J. Harmand, J-P. Steyer, A. Astolfi, “Set-Point Regulation of an Anaerobic Digestion Process With Bounded Output Feedback,” IEEE Transaction on Control Systems Technology, vol. 11, No. 4, pp. 495-504, July 2003.
- Rittmann, B.E. and McCarty, P.L., 2001. Environmental Biotechnology: Principles and Applications, pp. 570-596, McGraw-Hill, Inc., New York.

- Speece, R.E., 1996. *Anaerobic Biotechnology For Industrial Wastewaters*, pp. 3, 6, 36, Archae Press, USA.
- S. Yordanova, "Fuzzy Two-Level Control for Anaerobic Wastewater Treatment", Second IEEE International Conference on Intelligent Systems, pp. 348-352, June 2004 1997.
- Ş. Naci Engin, Fatma Yıldız, A. Bora Ülkü, Güleda Engin "Pilot Ölçekli Bir Havasız Atıksu Arıtma Sürecinin İzlenmesi, Modellenmesi, Kontrolü ve Otomasyonu Üzerine" TOK2006 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 6-8 Kasım, Ankara (sunulacak)
- Tchobanoglous, G. and Burton, F.L., 1991. *Wastewater Engineering*, pp. 423-425, McGraw-Hill, Singapore.
- UNIDO, 1992. *Anaerobic Treatment, How to Staff Manufacturing Industries*, File:z18,Austria.
- V.V. Lira, J.S.R. Neto, P.R Barros and A.C. Haandel, "Automation of an Anaerobic-Aerobic Wastewater Treatment Process", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.52, No.3, pp. 909-915, 2003.
- Weijma, J., Gubbels, F., HulshoffPol, L.W., Stams, A.J. M., Lens, P. and Lettinga, G., 2002. Competition For H₂ Between Sulfate Reducers, Methanogens and Homoacetogens In A Gas-Lift Reactor, *Water Science and Technology*, 45, 10, 75-80.

EKLER

- Ek 1 Anaerobik atıksu arıtma prosesinin kontrol ve otomasyonunu sağlayan PLC programı.

Ek 1 Anaerobik atıksu prosesinin kontrol ve otomasyonunu sağlayan PLC programı.

Prosesin I/O (giriş/çıkış) listesi:

Digital Girişler

MIXER_FB	I	0.0
MIXER_PR	I	0.1
P1_FB	I	0.2
P1_PR	I	0.3
P2_FB	I	0.4
P2_PR	I	0.5
P3_FB	I	0.6
P3_PR	I	0.7
P4_FB	I	1.0
P4_PR	I	1.1
EMERGANCY	I	1.2

Digital Çıkışlar

MIXER	Q	0.0
DP1	Q	0.1
DP2	Q	0.2
P1	Q	0.3
P2	Q	0.4
P3	Q	0.5
P4	Q	0.6
V1	Q	0.7
V2	Q	1.0
V3	Q	1.1
V4	Q	1.2
V5	Q	1.3
HEATER	Q	1.4
HORN	Q	1.5

Analog Girişler

R1_LEV	PIW	128
R2_LEV	PIW	130
R1_TEMP	PIW	132
R2_TEMP	PIW	134
R1_PH	PIW	136
R2_PH	PIW	138
R1_PRES	PIW	140
R2_PRES	PIW	142
HEATER_TEMP	PIW	144

Analog Çıkışlar

P1_AQ	PQW	256
P2_AQ	PQW	258
P3_AQ	PQW	260
MIXER_AQ	PQW	262

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 14.06.1980

Doğum yeri Sakarya

Lise 1993-1997 Pendik Süper Lisesi

Lisans 1998-2002 Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak.
Elektrik Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2003-2004 F.A.S.T Otomasyon Ltd. Şti.

2004-Devam ediyor Artı Endüstriyel Otomasyon Ltd. Şt

