

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**



**JET LOOP REAKTÖRLER İÇİN OTOMASYON SİSTEMİ  
TASARIMI VE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAAN SELİMBEYOĞLU**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**



**JET LOOP REAKTÖRLER İÇİN OTOMASYON SİSTEMİ  
TASARIMI VE UYGULANMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KAAN SELİMBEYOĞLU**

**Jüri Üyeleri : Dr.Öğr.Üyesi Sabri BİÇAKCI (Tez Danışmanı)**

**Doç.Dr. Harun ÇİĞDEM**

**Dr.Öğr.Üyesi Ersin AKYÜZ**

**BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**


## KABUL VE ONAY SAYFASI

**Kaan SELİMBEYOĞLU** tarafından hazırlanan “**JET LOOP REAKTÖRLER İÇİN OTOMASYON SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULANMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 14.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Dr.Öğr.Üyesi Sabri BİCAKCI



Üye  
Doç.Dr. Harun ÇİĞDEM



Üye  
Dr.Öğr.Üyesi Ersin AKYÜZ



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

**Bu tez çalışması TUBİTAK tarafından 115Y615 nolu proje ile desteklenmiştir.**

## ÖZET

**JET LOOP REAKTÖRLER İÇİN OTOMASYON SİSTEMİ TASARIMI  
VE UYGULANMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KAAN SELİMBEYOĞLU  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI: DR.ÖĞR.ÜYESİ SABRİ BİÇAKCI)  
BALIKESİR, HAZİRAN - 2019**

Endüstrinin talebi olan daha kaliteli, daha hatasız ve ucuz üretim ihtiyacı işletmeler için otomasyon talebini hızlandırmıştır. Otomasyon kısaca insan gücü ve insan inisiyatifinde yapılan işlemlerin insan müdahalesine gerek kalmadan gerçekleştirmesini sağlayan sistemler olarak tanımlanabilir.

Atıksu arıtma sistemlerinde kontrol edilmesi talep edilen birçok parametre mevcuttur. Bu parametrelerden bazıları; basınç, sıvı seviyesi, debi, bulanıklık, sertlik, sıcaklık, pH, redoks, iletkenlik, çözünmüş oksijen olarak sayılabilir. Her atıksu arıtma tesisinde bu parametrelerden bir veya birkaçı kontrol edilmektedir. Kontrol edilen parametrelerin sayısının artması tesisten arıtılan su kalitesine etki etmektedir. Bu parametrelerin insan duyuları ile takip edilmesinin zorluğu atıksu arıtma tesislerinde otomasyonu gerekli kılmaktadır. Tesisin etkin çalışabilmesi için proses değişkenleri tam zamanlı izlenmeli ve otomatik olarak kontrolü gerçekleştirilmelidir.

Jet Loop reaktörler atıksu arıtma sistemlerinden biri olan yenilikçi bir arıtma sistemidir. Diğer sistemlere göre daha az yer kaplayan Jet Loop reaktörlerin enerji tüketimi de oldukça düşüktür. Sistemin proses süresi emsallerine göre oldukça kısadır.

Bu çalışmada, Tübitak 115Y615 projesi kapsamında geliştirilmiş olan Jet Loop reaktörün otomasyonu yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında jet-loop membran reaktörün tüm parametreleri PLC üzerinden anlık olarak gözlemlenebilmesi ve sistemin orantısal vanalar ve pompalar yardımıyla kontrol edilebilmesi gerçekleştirilmiştir. Otomasyon sisteminde reaktör üstündeki veriler sensörler vasıtası ile PLC ye aktarılmış ve sistemin kontrolü çalışma kapsamında geliştirilen senaryoya göre gerçekleştirilmiştir. PLC ye bağlanan bir HMI ile veriler ve sistem bileşenlerinin çalışma durumları takip edilmiştir. Ayrıca HMI üzerinden internet vasıtası ile uzaktan erişim sağlanarak sistemin kontrolü uzaktan erişimli hale de getirilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELEER: JET LOOP, HMI, PLC, otomasyon.**

## **ABSTRACT**

### **AUTOMATION SYSTEM DESIGN AND APPLICATION FOR JET LOOP REACTORS**

**MSC THESIS**

**KAAN SELIMBEYOGLU**

**BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSIST.PROF.DR. SABRI BICAKCI )**

**BALIKESİR, JUNE 2019**

The demand for higher quality, more accurate and cheaper production, which is the demand of the industry, has accelerated the demand for automation for enterprises. In short, automation can be defined as systems that enable the operations carried out on the human initiative and manpower to be realized without the need for human intervention.

There are many parameters requested to be controlled in wastewater treatment systems. Some of these parameters are; pressure, liquid level, flow, turbidity, hardness, temperature, pH, redox, conductivity, dissolved oxygen. One or more of these parameters are controlled in each wastewater treatment plant. The increase in the number of controlled parameters affects the quality of the treated water. The difficulty of monitoring these parameters with human senses necessitates automation in wastewater treatment plants. In order for the plant to operate effectively, process variables must be monitored full-time and automatically controlled.

Jet Loop reactor is an innovative treatment system which is one of the wastewater treatment systems. The energy consumption of Jet Loop reactors, which take up less space than other systems, is also very low. The process time of the system is very short compared to its peers.

In this study, the automation of the Jet Loop reactor developed within the scope of Tübitak 115Y615 project was made. In this study, all parameters of jet-loop membrane reactor can be monitored instantly by PLC and system can be controlled by proportional valves and pumps. In the automation system, the data on the reactor was transferred to the PLC by sensors and the control of the system was realized according to the scenario developed within the scope of the study. An HMI connected to the PLC monitors the operating status of the data and system components. In addition, the remote control of the system has been enabled by remote access via the internet using the HMI.

**KEYWORDS:** JET LOOP, HMI, PLC, automation

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ .....	v
TABLO LİSTESİ .....	vi
SEMBOL LİSTESİ .....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1 Atıksuların Özellikleri .....	3
2.1.1 Atıksuların Fiziksel Özellikleri.....	3
2.1.2 Atıksuların Kimyasal Özellikleri .....	4
2.2 Atıksu Arıtımı .....	5
2.2.1 Ülkemizde Atıksu ve Atıksu Arıtımı .....	7
2.2.2 Atık Arıtma Sistemleri.....	8
2.2.2.1 Fiziksel Arıtma Sistemleri.....	8
2.2.2.2 Biyolojik Arıtma Sistemleri .....	8
2.2.2.3 Kimyasal Arıtma Sistemleri .....	10
2.3 Atıksu Arıtımında Kullanılan Yeni Tip Reaktörler ve Jet-Loop Reaktörler.....	11
2.3.1 Jet-loop reaktörler .....	12
2.4 Jet-loop Reaktörlerde Değişkenlerin Kontrol Edilmesi.....	16
3. OTOMASYON VE ENSTRÜMANTASYON .....	17
3.1 Temel Kontrol Yaklaşımı .....	17
3.1.1 Açık Çevrim Kontrol .....	17
3.1.2 Kapalı Çevrim Kontrol .....	18
3.1.3 Otomatik Kontrolün Faydaları.....	20
3.2 Otomasyon Kavramı .....	20
3.2.1 Otomasyonun Tarihi .....	22
3.2.2 Günümüzde Otomasyon ve Endüstri 4.0 .....	23
3.2.2.1 Endüstri 4.0'ın Yapısı .....	24
3.2.2.2 Endüstri 4.0'ın Prensipleri .....	25
3.3 Otomasyon Sisteminde Kullanılan Kontrol Bileşenleri.....	25
3.3.1 PLC .....	25
3.3.1.1 PLC ile Röle Sistemleri Arasındaki Farklar ve Avantajları.....	26
3.3.1.2 PLC Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar .....	26
3.3.2 HMI Ekran .....	28
3.3.3 Debi Metre (Akış Metre) .....	28
3.3.4 Sıvı Seviye Sensörü .....	29
3.3.4.1 Noktasal Seviye Kontrolünde Kullanılan Seviye Şalterleri .....	29
3.3.4.2 Sürekli Tip Seviye Sensörleri .....	30
3.3.5 Manometre (Basınç Ölçer).....	30
3.3.6 PH Metre.....	31
3.3.7 Çözünmüş Oksijen Sensörü .....	31

3.3.7.1	Amperometrik Çözünmüş Oksijen Sensörü.....	31
3.3.7.2	Voltametrik Çözünmüş Oksijen Sensörü.....	32
3.3.7.3	Çözünmüş Oksijen Denge Sensörü.....	33
3.3.8	Pompalar .....	33
3.3.8.1	Santrifüj Pompalar .....	33
3.3.8.2	Peristaltik Pompalar .....	34
3.3.9	Oransal Kontrol Vanası .....	34
3.4	Yazılım Seçimleri .....	35
3.4.1	WPLSoft .....	35
3.4.2	Dopsoft.....	36
3.5	Endüstriyel Haberleşme Protokolleri.....	37
3.5.1	Kapalı Sistem Haberleşme Protokolleri.....	37
3.5.2	Açık Sistem Haberleşme Protokolleri.....	37
3.5.2.1	Fieldbus Protokolü .....	37
3.5.2.2	Profibus Protokolü .....	38
3.5.2.3	Modbus Protokolü.....	38
3.5.2.4	CANBus Protokolü .....	39
3.5.2.5	DeviceNet Protokolü.....	39
3.5.2.6	AS-i Protokolü .....	40
3.5.2.7	INTERBUS Protokolü .....	40
3.5.2.8	HART Protokolü .....	40
<b>4.</b>	<b>YÖNTEM.....</b>	<b>41</b>
4.1	Kullanılan Sistem.....	41
4.2	Hazırlanan Program .....	53
<b>5.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>58</b>
<b>6.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>61</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Konvansiyonel bir jet-loop reaktör şekli. ....	14
Şekil 2.2: Jet-loop reaktörde dispersiyon bölgelerinin gösterimi. ....	15
Şekil 3.1: Açık çevrim kontrol şeması. ....	18
Şekil 3.2: Kapalı çevrim kontrol şeması. ....	19
Şekil 3.3: İleri beslemeli kontrol sistemi şeması. ....	19
Şekil 3.4: PLC giriş bağlantıları. ....	27
Şekil 3.5: Amperometrik çözünmüş oksijen sensörü prensip şeması. ....	32
Şekil 3.6: Santrifüj pompa kesit görünüşleri. ....	34
Şekil 3.7: WPL soft yazılımı. ....	36
Şekil 3.8: Dopsoft yazılımı. ....	36
Şekil 4.1: Reaktörün genel görünümü. ....	42
Şekil 4.2: Deneysel sistemin genel görüntüsü. ....	43
Şekil 4.3: Sistemin otomasyon bileşenleri. ....	43
Şekil 4.4: Sistemin giriş ve çıkış parametreleri. ....	44
Şekil 4.5: FLOMID – MX debi metre. ....	45
Şekil 4.6: Flowtech KF-800 debi metre. ....	46
Şekil 4.7: Shenchen F6 peristaltik pompa. ....	46
Şekil 4.8: DELTA DVP-14SS211R PLC. ....	48
Şekil 4.9: Sıcaklık modülü. ....	48
Şekil 4.10: 0-100mV analog giriş portu genişleme modülü. ....	49
Şekil 4.11: HMI ekran. ....	50
Şekil 4.12: Sisteme bağlanan modüller. ....	51
Şekil 4.13: PLC ve modülleri. ....	51
Şekil 4.14: Otomasyon panosunun iç görünümü. ....	52
Şekil 4.15: Kumanda paneli ve otomasyon panosunun görüntüsü. ....	52
Şekil 4.16: Ölçüm ekranı. ....	53
Şekil 4.17: Kontrol ekranı. ....	53
Şekil 4.18: Peristaltik pompa ayar ekranı. ....	54
Şekil 4.19: Atıksu besleme pompası ve sirkülasyon pompası çalışma algoritması. ....	55
Şekil 4.20: Vanaların elle kontrolü. ....	56
Şekil 4.21: Vanaların otomatik kontrolü. ....	56
Şekil 5.1: Arıtma verimlerinin KOİ giriş konsantrasyonuna bağlı değişimi ....	59
Şekil 5.2: Arıtma verimlerinin KOİ yükleme hızına bağlı değişimi ....	59
Şekil 5.3: $K_{La}$ değerlerinin hava debileriyle değişimi ....	60

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 4.1:</b> FLOMID – MX debi metre özellikleri. ....	45
<b>Tablo 4.2:</b> DELTA DVP-14SS211R PLC özellikleri. ....	47
<b>Tablo 4.3:</b> En dik iniş (steepest descent) arama algoritması. ....	57



## SEMBOL LİSTESİ

<b>HMI:</b>	İnsan Makine Arayüzü
<b>PLC :</b>	Programlanabilir Lojik Denetleyici
<b>CPU :</b>	Merkezi işlem birimi
<b>PC:</b>	Bilgisayar
<b>USB:</b>	Bilgisayar Haberleşme Türü
<b>BOİ :</b>	Biyolojik Oksijen İhtiyacı, mg/L
<b>KOİ:</b>	Kimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/L
<b>JBL :</b>	Jet Loop Biyoreaktör
<b>JMBR:</b>	Jet Loop Membran Biyoreaktör



## **ÖNSÖZ**

Bu tez çalışmasında her konudaki desteğini ve engin bilgisini hiç esirgemeyen danışmanım Sayın Dr.Öğr.Üyesi Sabri BİÇAKCI'ya,

Sistemin hazırlanması esnasından değerli bilgilerini benden esirgemeyen Sayın Doç.Dr. Burhanettin FARİZOĞLU, Arş.Gör. Süleyman UZUNER ve proje ekibine,

Yüksek lisans dönemimde bana her konuda destek olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

**Balıkesir, 2019**

**Kaan SELİMBEYOĞLU**

# 1. GİRİŞ

Hızlı endüstrileşme ve belli bölgelerde artan nüfus yoğunluğu salınan atık miktarını artırmakla birlikte çeşitlenmesine de yol açmaktadır. Bu durum doğal ortam ve kaynakların baskı altına alınmasına yol açmaktadır.

Su, temas ettiği ortamlarda, ortamda bulunan maddeleri çözme yeteneğine sahip olduğu için kolayca kirlenebilmektedir. Evlerde veya endüstride kullanılan su ile yapılan işlemler neticesinde ortaya çıkan atıksunun deşarj edilebilmesi için ihtiva edebileceği üst sınır kirlilik değerleri alıcı ortam standartlarına göre yetkili mercilerce belirlenmiştir. Bu sınır değerlerini aşan atıksular için arıtma işlemi yapılarak kirlilik değerlerinin sınır değerlerin altına indirilmesi gerekmektedir. Atıksu arıtma tesislerine bu noktada ihtiyaç duyulmaktadır.

Endüstriyel atıksular herhangi bir ticari endüstriyel faaliyetin yürütüldüğü alandan, evsel atıksu ve yağmur suyu dışında deşarj edilen atıksu olarak tanımlanabilir. Endüstriyel üretim sürecinde oluşan atıksuların yanı sıra soğutma suları, katı atık bertaraf tesisi atıksuları (sızıntı suyu), rejenerasyon tesisi atıksuları, içme suyu filtreleri, geri yıkama suları da endüstriyel nitelikli atıksu olarak kabul edilmektedir [1]. Endüstriyel amaçla kullanılan su miktarı genellikle bir ülkenin gelişmişlik göstergesi olarak da ele alınmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde temin edilen su içerisindeki endüstriyel kullanım oranı % 5 iken, bu oran Belçika ve Finlandiya gibi gelişmiş ülkelerde % 85'e kadar çıkmaktadır. Ülkemizde ise suyun % 11'i sanayi amaçlı tüketilmektedir [2]. Ancak bu oran gerçek değerlere göre düşüktür. Çünkü halen su tüketimi veya deşarjı kayıt dışı olan veya mevcut kayıtları gerçeğe göre düşük gösterilen sanayi tesisleri bulunmaktadır.

Gelinen noktada yaşanan su kıtlığı ve birçok endüstrinin yüksek miktarlarda suya ihtiyaç duyması endüstriyel kullanımdan sonra suyun geri kazanılarak tekrar kullanımını gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu amaçla yeni nesil reaktörlerin geliştirildiği yüksek performanslı arıtma sistemlerinin kullanılması zorunlu hale gelmiştir.

Bu alışmada TUBİTAK tarafından 115Y615 proje numarasıyla desteklenen “Membran Draft Tüplü Jet Loop Reaktör” isimli proje kapsamında geliştirilen yeni nesil arıtma sisteminin, endüstriyel atıksu arıtımında kullanımının incelenmesi sırasında seçilen kirlilik parametrelerine göre otomasyonu sağlanmıştır.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Atıklar başlıca sıvı, katı ve gaz atıklar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada sıvı atıklar yani atıksuların arıtımı üzerinde durulacaktır.

### 2.1 Atıksuların Özellikleri

Su, etkileşimde bulunduğu ortamlarda ortamda bulunan maddeleri kendi içine alma, çözme yeteneğine sahip olduğu için kolayca kirlenebilmektedir. Evlerden, sanayi tesislerinden, farklı ticari işletmelerden, kurumlardan ve benzer binalardan kullanıldıktan sonra sistemden dışarı atılan sular atıksu olarak tanımlanmaktadır.

Atıksuda bulunan temel kirleticiler; askıda kalan malzemeler, biyolojik olarak parçalanabilir organik malzemeler, ağır metaller, azot, fosfor, ağır metaller, patojenler, çözülmüş inorganik katılar, yağ ve çöktürebilen katı maddelerdir. Atıksuların özelliklerini iki temel başlık altında açıklamak mümkündür:

#### 2.1.1 Atıksuların Fiziksel Özellikleri

**Toplam katı madde:** Toplam katı madde bir atık suyun içerisinde bulunan katı maddelerdir. Günlük kullanımda evsel atıksuların içerisinde bulunan toplam katı madde miktarı yaklaşık olarak 720 mg/l dir. Bu katı maddelerin 500 mg/l'si çözülmüş hâlde, arta kalan kısmı ise askıda katı halindedir.

**Koku:** Atıksuda var olan organik maddelerin çürümesiyle kötü kokuya sahip gazlar meydana gelmektedir. Ayrıca atıksu içerisinde bulunan yağlar, çözücüler ve petrol de atıksuyun kokmasına sebep olur.

**Sıcaklık:** Genellikle atıksuyun sıcaklığı, kışın normal hava sıcaklığından yüksek, yazın ise düşüktür.

Renk: Temiz su kokusuz ve renksizdir. Suyun rengi; içine karışan organik ve inorganik maddeler ile endüstriyel atık maddelere göre farklılaşmaktadır [3].

### **2.1.2 Atıksuların Kimyasal Özellikleri**

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ): Atıksudaki organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu esnasında mikroorganizmalarca kullanılan çözülmüş oksijen miktarıdır.

Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ): Sudaki yükseltgenbilir maddelerin kimyasal yolla oksitlenmeleri için gerekli oksijen miktarıdır. Kimyasal Oksijen İhtiyacı endüstriyel ve evsel atıksuların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir.

pH: Atıksudaki hidrojen iyonu yoğunlaşmasının parametresidir. Atıksuyun pH değeri biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinin belirlenmesinde önemlidir. İçme suyunun pH değeri 6–8 arasında, deniz suyunun 8, doğal suların 7 ve evsel atıksuyun ise 7–8 arasındadır.

Klorür: Evsel atıksularda klorürlerin belli başlı kaynağı insan idrarıdır. Su sertliğinin yüksek olduğu yörelerde, su yumuşatıcılarının kullanılması ile büyük miktarda klorür atıksuya karışmaktadır.

Alkalinite: Atıksuda alkalinite; kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum gibi elementlerin hidroksit, karbonat ve bikarbonatların varlığından veya amonyaktan oluşmaktadır. Atıksu genelde alkalidir.

Azot: Atıksudaki mikroorganizmalar için bir besin maddesidir. Azot yeterli olmadığı durumlarda atıksuyun arıtılması için azot ilavesi gerekebilir. Evsel atıksuda azot, biyolojik arıtım için gerekli miktarda vardır.

Fosfor: Atıksudaki mikroorganizmalar için bir besin maddesidir. Alıcı ortama deşarj edilen arıtılmış atıksuda fosfor varsa alıcı ortamda ötrifikasyona (bitkilerin su içerisinde anormal çoğalması) sebep olabilir.



Kükürt: Sülfat iyonu doğal olarak atıksuda mevcuttur.

Ağır metaller ve zehirli bileşikler: Nikel, kuşun, krom, kadmiyum, çinko, bakır ve cıva gibi ağır metaller ve oluşturdukları bileşikler mikroorganizmalar için zehirlidir. Bu nedenle atıksuyun biyolojik arıtımı safhasında sorun yaratır. Evsel atıksularda ağır metaller ve zehirli elementler bulunmaz.

Gazlar: Evsel atıksularda bulunan gazlar; azot, oksijen, karbondioksit amonyak ve metandır. Atıksulardaki oksijen miktarı, mikroorganizmaların oksijen tüketimi sebebi ile çok düşüktür. Atıksuda bulunan organik maddelerin anaerobik parçalanmasının yan ürünlerinden biri metan gazıdır. Bu gaz çabuk alev alan ve patlama tehlikesi olan bir gazdır. H<sub>2</sub>S gazının ise toksik etkisi çok fazladır [3].

## 2.2 Atıksu Arıtımı

Atıksu arıtımı, çeşitli kullanımlar sonucu oluşan atıksuların deşarj edildikleri alıcı ortamın fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirmek için uygulanan fiziksel kimyasal ve biyolojik proseslerin birini ya da birkaçını kapsamaktadır. Atıksu içindeki kirleticilerin uzaklaştırılması amacı ile atıksu karakterine göre birincil, ikincil ve ileri arıtma yöntemleri kullanılır. Birincil arıtma, atıksudaki yüzen ve çökebilen katı maddelerin uzaklaştırılması işlemlerini kapsayan fiziksel arıtma ünitelerini içerir. İkincil arıtma organik, maddelerin gideriminde kullanılan biyolojik veya kimyasal arıtma ünitelerini içerir. İleri arıtma bu işlemlere ilaveten ikincil arıtmada giderilmeyen kirleticilerin uzaklaştırılmasında kullanılan prosesleri kapsar.

Kimyasal ve fiziksel ayrıştırma yöntemleri ayrı ayrı kullanılabileceği gibi birbirini ardına gelecek şekilde de kullanılarak atıksu arıtma işlemi yapılabilir.

Atıksu arıtma tesisi yapılması planlanırken göz önüne alınması gereken kriterler mevcuttur. Atıksu arıtma tesisi kurarken arıtma prosesi, işletim maliyetleri, arıtma tesisinin yapımında kullanılan ekipman ve imalat kalitesi arıtma tesisi için önemli parametrelerdir.

Atıksu arıtma tesisi kurulurken alet ve ekipman seçimi çok önemlidir. Atıksu kullanılan ekipmanlarda arızalara, korozyona ve tıkanmalara neden olmaktadır. Eğer kaliteli ve dayanıklı ekipman seçilmemiş ise kısa sürede aşınmalar ve bozulmalar başlayacaktır. Bu durum kısa zaman içinde ekipmanların amortisman bedellerinin artmasına ve kısa sürede ekipman değişimine neden olacaktır.

Günümüzde atıksuların arıtılması için uygulanan birçok alternatif sistem mevcuttur. Kalkınmasını tamamlamış ülkelerde bu alternatiflerin sayısı istenilen çıkış suyu kalitesinin çok sıkı tedbirlerle sınırlandırılması nedeniyle daha az sayıdadır. Ekonominin, hükümet yönetimlerinin ve politikaların sürekli değiştiği kalkınmakta olan ülkelerde ise deşarj ölçütleri sıkıdan rahata kadar geniş bir ölçekte yer almaktadır. Bunun yanında arıtma tesisinin maliyet bileşenleri ve işletme gereksinimleri kalkınmış ülkelerde önemliyen kalkınmakta olan ülkelerde arıtma tesisi tipinin seçiminde karar verici bir unsur olarak rol oynamaktadır [4].

Atıksu arıtma, çevre ve halk sağlığını korumak için sudaki kimyasal ve biyolojik kirleticileri gidermede önemli bir rol üstlenmiştir. Geçtiğimiz yıllarda atıksu arıtma tesislerinde, yıldan yıla daha kısıtlayıcı olan yasaların belirlediği deşarj limitlerine uymak, ıslah verimliliğini artırmak için yeni sistemler ve teknolojiler geliştirilmektedir.

Atıksu arıtma tesisi endüstrisinin asıl meselesi, halkın güvenini sağlamak için her zaman su kalitesi standartlarını karşılamak olmuştur [5]. Geleneksel bir atıksu arıtma tesisinde işletme maliyetlerinin %25-40'ının enerji tüketiminden kaynaklandığı literatürden ve yönetsel tecrübelerden bilinmektedir [6, 7, 8]. Bu değer, arıtılan atıksuyun m<sup>3</sup> ü başına yaklaşık olarak 0,3-2,1 kW-saat aralığında değişmektedir [9].

Tipik olarak geleneksel bir atıksu arıtma tesisinde enerji tüketiminin %55-70'i karışık sıvının havalandırılması, %15'i çamur pompalama ile birincil ve ikincil çöktürme ve %7'si çamur susuzlaştırmadır [6].

### 2.2.1 Ülkemizde Atıksu ve Atıksu Arıtımı

Ülkemizde; Türkiye İstatistik Kurumu tarafından köyler haricinde tüm belediyelere uygulanan 2010 yılı Belediye Atıksu İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre, 2950 belediyeden 2235'ine kanalizasyon şebekesi ile hizmet verildiği tespit edilmiştir.

2016 yılı Belediye Atıksu İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre, 1397 belediyeden, 1338'ine kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilmiştir. Kanalizasyon şebekesi ile toplanan 4,5 milyar m<sup>3</sup> atıksuyun %40,4'ü denize, %48'i akarsuya, %2,8'i baraja, %1,8'i göl-gölete, %0,5'i araziye ve %6,5'i diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir [10].

2010 yılı itibariyle belediyelere ait 55'i fiziksel, 492'si biyolojik, 135'i gelişmiş ve 199'u doğal arıtma sistemi olmak üzere toplam 881 atıksu arıtma tesisi bulunmakta ve bu tesisler ile 438 belediyeye hizmet verilmektedir [11].

Kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 3,58 milyar m<sup>3</sup> atıksuyun 2,72 milyar m<sup>3</sup> ü (%76'sı) atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Arıtılan atıksuyun %37,9'una gelişmiş, %34,3'üne biyolojik, %27,6'sına fiziksel ve %0,2'sine doğal arıtma uygulanmıştır.

2010 yılında kanalizasyon şebekesi ile hizmet verilen belediye nüfusunun Türkiye nüfusu içindeki payı %73, toplam belediye nüfusu içindeki payı ise %88 olarak tespit edilmiştir.

Atıksu arıtma tesisleri ile hizmet verilen belediye nüfusunun oranı ise Türkiye nüfusu içinde %52, toplam belediye nüfusu içinde %62 olarak hesaplanmıştır.

2010 yılı verilerine göre belediyelerden kanalizasyon şebekesi ile alıcı ortamlara deşarj edilen kişi başı günlük atıksu miktarının ortalama 182 litre olduğu tespit edilmiştir.

## 2.2.2 Atık Arıtma Sistemleri

Atıksu arıtımında üç temel sistem kullanılır. Bunlar fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma sistemlerdir.

### 2.2.2.1 Fiziksel Arıtma Sistemleri

Atıksu içerisindeki kirletici maddelerin fiziksel işlemlerle atıksudan alınması amacı ile kullanılan proseslerdir. Uygulamaları; elekler, ızgaralar, kum tutucular, yüzdürme sistemleri, çöktürme havuzları, dengeleme havuzlarıdır.

**Elekler:** Atıksu içerisindeki katı maddelerin tutulması ve arıtma sistemine giriş yapan atık suların kirlilik yüklerinin azaltılması amacı ile kullanılırlar. Elekler manuel ve otomatik olarak kontrol edilebilirler.

**Dengeleme Havuzları:** Atıksuyun kirlilik yüklerinin ve debilerinin dengelenmesi amacı ile kullanılırlar.

**Çökeltme Havuzları:** Sudan daha fazla yoğunluğa sahip katı maddelerin durağan koşullarda yer çekimi etkisi ile çöktürülerek uzaklaştırılması amacı ile kullanılırlar. Çöktürme havuzları, ön çöktürme veya biyolojik ve kimyasal arıtım işlemi ardından, son çöktürme amacı ile kullanılabilirler.

**Yüzdürme Sistemleri:** Yüzdürme işlemi, çökeltme işleminin tersidir ve sudan daha düşük özgül ağırlığa sahip taneciklerin sıvı üzerinde yükselmesi esasına dayanır. Yüzdürme sistemleri, atıksu içerisinde bulunan yağ, sabun, ahşap parçaları gibi sudan hafif maddeleri tutmak için kullanılırlar.

### 2.2.2.2 Biyolojik Arıtma Sistemleri

Biyolojik arıtma, atıksu içerisindeki çözülmüş organik maddelerin bakteriyolojik faaliyetlerle ayrıştırılarak giderilmesi işlemidir. Bakterilerin arıtma işlemi gerçekleştirilebilmeleri için pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen, toksik maddeler gibi parametrelerin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Eğer ortam uygunsuzsa ve

ortamda yeteri kadar besin elementi varsa bakteriler çok hızlı biçimde ikiye bölünerek çoğalabilirler. Besin olduğu sürece bu durum devam eder. Uygulama alanlarına örnek olarak aktif çamur sistemleri, biyofilm sistemleri, dengeleme havuzları, havalandırılmalı lagünler ve damlatmalı filtreler verilebilir.

**Aktif Çamur:** Aktif çamur sistemi sırasıyla atıksuyun anlık değişimlerinin giderildiği dengeleme tankı, oksijen kazanımı için havalandırma ünitesi, katı maddelerin çökelişi için çöktürme tankı ve dezenfeksiyon ünitesini oluşturmaktadır. Aktif çamur arıtma tesisleri en yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Aktif çamur arıtma tesislerinde arıtma işini yapan bakterilerdir. Aktif çamur, koloidal çözünmüş maddelerin mikroorganizmalar ile çökebilir biyolojik floklara dönüştürüldüğü süreçtir ve bu süreçte havalandırma havuzu içindeki mikroorganizmaların askıda tutulması esastır. Biyolojik arıtma ünitesi havalandırma sonucu, organik maddelerin askıda büyüyen mikroorganizmalar tarafından parçalanması prensibiyle çalışır. Askıda büyüyen mikroorganizmalar suyun içerisinde bulunan organik maddeleri parçalayarak H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub>'e çevirirler. Mikroorganizmaların organik maddeleri oksitlemesi sonucu, organik maddeler okside olur ya da biyokütleye dönüşür. Havalandırma havuzunda gereken arıtma veriminin sağlanması amacıyla, havuz içerisinde faaliyet gösteren mikroorganizma sayısını (MLSS) sabit bir değerde tutmak gerekmektedir. Bu nedenle biyokütlenin bir kısmı çöktürme kademesinde fazla çamur olarak sistemden atılırken, diğer kısmı havalandırma bölümüne geri devrettirilir. Aktif çamur sistemlerinde bakteriler en önemli mikroorganizmalardır. Çünkü organik maddelerin parçalanmasından sorumludurlar. Aktif çamur sistemlerinin dizaynında çeşitli parametreler kullanılır. Bu parametrelerden bazıları çamur yükü, çamur yaşı ve bekletme süresidir.

**Stabilizasyon Havuzları:** Stabilizasyon havuzlarının işletilmesi basittir ve fazla mekanik ekipmana ihtiyaç göstermezler. Bu sistemler, atıksuların ağırlıklı olarak doğal metotlarla tabii tutulduğu, büyük hacimli, geniş alanlı, uzun bekletme süreli, arıtma üniteleridir. Bu tesisler arıtmayı gerçekleştiren biyokimyasal faaliyetlerin özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Söz konusu faaliyetler sıcaklık ve güneş radyasyonu gibi ortam özelliklerine bağlı oldukları gibi havuzların hacimsel kirlilik yüklemeleri ve geometrik özelliklerine de bağlıdır. Lagün olarak da adlandırılan bu

havuzlar genellikle toprak yapılar şeklinde inşa edilirler. Bu sistemler aerobik, anaerobik ve fakültatif stabilizasyon havuzları olarak sınıflandırılır.

**Havalandırılmalı Lagünler:** Bu sistemler havalandırma için doğal alanları kullanır. Gerekli oksijen difüzör veya yüzeysel havalandırıcılar vasıtasıyla temin edilir.

**Anaerobik sistem:** Anaerobik atıksu arıtımı, atıksuyun oksijensiz ortamda metan, karbondioksit ve amonyak gibi organik olmayan maddelere dönüştürülmesi sürecidir. Atıksuyun anaerobik olarak ayrışması yine bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Konsantre endüstriyel atıksuların arıtımı işleminde sıklıkla kullanılırlar.

### **2.2.2.3 Kimyasal Arıtma Sistemleri**

Kimyasal arıtma sistemleri; atıksuda bulunan katı maddelerin kimyasal maddelerin (koagülant, polielektrolit vb.) ilavesiyle çökeltmeleri prensibi ile çalışırlar. Çökeltilen maddeler çamur halinde sudan ayrılır.

**Nötralizasyon:** Asit ve baz dengesizliği bulunan atıksuların arıtma için gerekli ortamı sağlamak amacı ile istenilen pH değerine getirilmesi işlemidir.

**Koagülasyon:** Atıksuya koagülant eklenmesi ile atıksuyun bünyesindeki katı maddelerin birleşerek flok oluşturulması işlemidir.

**Flokülasyon:** Atıksuyun gerekli hızda karıştırılması ile flokların birbiriyle birleşmesi çökebilecek büyük flokların oluşturulmasıdır.

**Ozonlama:** Aktif oksijen (Ozon O<sub>3</sub>), bilinen en etkili mikrop öldürücü ve koku gidericidir. Güneşin ultraviyole ışını ve yıldırım anında ortaya çıkan elektrik arkları ile oluşan ozon, dünyanın etrafında koruyucu kalkan olarak mevcuttur ve canlıları güneşin radyasyon etkisine karşı korur.

### 2.3 Atıksu Arıtımında Kullanılan Yeni Tip Reaktörler ve Jet-Loop Reaktörler

Son yirmi yıldan beri daha iyi seçicilik ve yüksek dönüştürme kapasitesine sahip ve aynı zamanda da doğal çevreye en az zarar verecek şekilde küçük miktarlarda atık üreten reaktörler geliştirme eğilimi giderek artmaktadır. Ayrıca enerji tasarrufu da reaktör çeşidi ve dizaynının seçimini oldukça fazla etkilemektedir. Sonuçta bir bölümünde reaksiyon gerçekleşirken, geriye kalan bölümlerinde reaksiyondan bağımsız bir şekilde kütle, sıcaklık ve momentum transferlerinin meydana geldiği reaktör sistemleri geliştirilmektedir. Ortaya çıkan bu durum, yeni ve çok fonksiyonlu reaktör olarak adlandırılan reaktör konfigürasyonlarının doğmasına neden olmaktadır. Aslında çok fonksiyonlu reaktörler, birden çok proses fonksiyonu olan performansı artırılmış reaksiyon ekipmanı olarak tanımlanabilirler. Bu reaktörlerden istenen fayda ya ürün ve verim gibi teknik özelliklerden ya da esneklik ve güvenlik gibi daha nitel faktörlerden sağlanır. Buna ilaveten kar ve işletme maliyeti gibi ekonomik parametrelerden de istenildiği ölçüde yararlanılmaktadır [12]. Bu çok fonksiyonlu reaktörlerin modifiye edilerek biyolojik arıtımda kullanılması ile çevre sorunlarına başarılı çözümler getirilebilir.

Oksijen transferi, biyoproseslerin işletilmesinde metabolik aktiviteyi, proses verimini ve enerji maliyetini etkileyen en önemli hidrodinamik parametredir. Atıksu ortamındaki oksijen dengesi hem bakteriyel solunuma hem de kütle transfer hızına bağlıdır. Evsel ve endüstriyel atıksu arıtımında uzun yıllardan beri kullanılmakta olan klasik arıtma sistemleri artık istenilen miktarda ve verimde kütle transferine olanak sağlayamamaktadır. Son yıllarda özellikle biyo-reaksiyon mühendisliğinde geliştirilen yeni ve modern biyoreaktörler daha etkin ve düşük maliyette atıksu arıtımı sağlamaktadır.

Kimya sanayinde kullanılan yüksek gaz hızlarının temin edilerek sistem verimlerinin artırıldığı “gaz kaldırmalı reaktörler”, klasik karıştırılmalı reaktörlerle karşılaştırıldığında büyük avantajlar sağlamaktadır. Gaz kaldırmalı reaktörler mekanik karıştırıcı kullanılmadan, yüksek gaz hızları ve büyük spesifik ara yüzey alanları sağlayabilmektedirler. Bu avantajları atıksu arıtımında kullanmak amacıyla önce

“kabarcık kolonlar”, sonra hava “kaldırmalı reaktörler” ve daha sonra da “jet-loop reaktörler” geliştirilmiştir.

### 2.3.1 Jet-loop reaktörler

Son yıllarda özellikle fermantasyon, biyoteknoloji ve atıksu arıtma sistemlerinde loop (çevrim) reaktörler üzerindeki ilgi oldukça artmıştır. Jet-loop reaktörler ise performansları artırılmış loop reaktörlerdir. Jet-loop reaktörlerde oluşturulan jet akışın hidrodinamik gücü ile oldukça yüksek derecede sıvı sirkülasyonu ve gaz dispersiyonu sağlanmaktadır. Bu jenerasyona ait geliştirilen ilk reaktörler reaktör tabanına yerleştirilmiş iki akışlı bir püskürtme başlığının ve merkezlenmiş bir emme tüpünün bulunduğu reaktör dizaynına sahiptir.

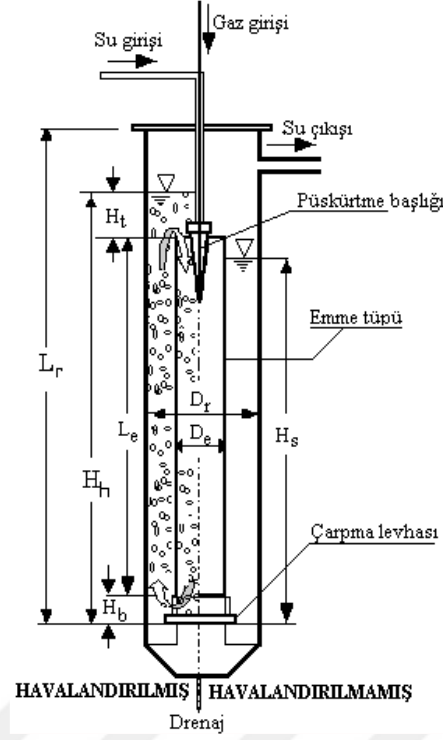
Jet loop reaktörlerde püskürtme başlığı ile üretilen sıvı jeti yüksek miktarda karışım ve türbülans meydana getirir ki bu da optimum kütle transferi ve iyi bir biyolojik çevrimin oluşmasını sağlar. Genellikle Jet-loop reaktörler ufak hacimlere, ufak kurulum alanına, düşük kurulum ve işletme maliyetlerine ve az enerji ihtiyacına sahip reaktörler olarak karakterize edilirler ve tanımlanırlar [19].

Çift akıma sahip püskürtme başlığının reaktör tabanına yerleştirildiği ve sıvı çıkışının reaktör üstünden verildiği modifikasyon birtakım dezavantajlar getirmektedir. Özellikle jet loop reaktörün bir çamur reaktörü olarak kullanıldığı atıksu arıtımında, püskürtme başlığının tıkanma ihtimalinin bulunması ve reaktörün proses gereği çözünmüş gaz içermesi halinde gaz fazın yeteri kadar sistemde kalamadan reaktörü terk etmesi nedeniyle kalış süresinin az olması bu dizaynın sakıncaları olarak sayılabilir. İki akışlı püskürtme başlığının reaktörün üstüne yerleştirildiği reaktör dizaynı jet-loop reaktörün geliştirilmiş bir versiyonudur. Jet-loop reaktörlerin diğer bir modifikasyonu ise çarpışan akımlı loop reaktörlerdir. Klasik jet loop reaktörle karşılaştırıldığında aynı güç tüketiminde daha yüksek kütle transfer yeteneğine sahip bu reaktörün temel prensibi iki ayrı püskürtme başlığı ile reaktör içerisinde su ve hava karışımının çarpıştırılarak ön bir karışımın sağlanmasından ibarettir [13]. Püskürtme başlığının reaktörün üstünde, emme tüpünün içerisine doğru tasarlanması ile sadece püskürtme başlığının tıkanması önlenmekle kalmayıp aynı zamanda gaz kabarcıkları suyun kaldırma kuvvetinin aksi yönde hareket etmeye zorlandığından kabarcıkların



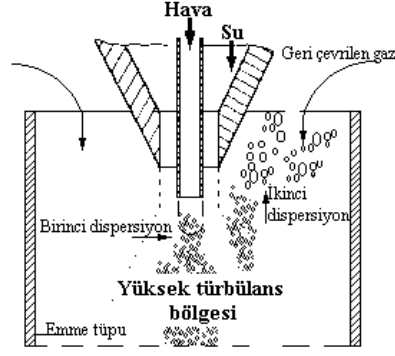
sistemde kalış süreleri de artırılmış olmaktadır. Bununla beraber yapılan ilk çalışmalarda suyun çıkışı reaktör tabanından yapılmaktaydı. Çıkışın reaktör tabanından yapılması halinde, suyun sadece bir bölümü sirkülasyona sokulurken önemli bir kısmı ise sirkülasyona sokulmadan reaktörden ayrılmaktadır. Bu nedenle sıvı fazın reaktör içerisinde kalış süresi azalmaktadır.

Jet loop reaktörün son modifikasyonu ise püskürtme başlığının reaktörün üstüne emme tüpünün içerisine doğru yerleştirildiği ve çıkışın da yine reaktörün üstünden verildiği dizayndır. Hava ve su püskürtme başlığında karışarak büyük bir hızla emme tüpünün içerisinden aşağıya doğru püskürtülmektedir. Sağlanan jetin yardımıyla emme tüpü boyunca aşağı doğru harekete zorlanan gaz ve sıvı karışımı, reaktörün altında bulunan çarpma levhasına çarparak buradan yanlara doğru yayılır ve emme borusu ile reaktör arasında kalan bölgedeki boşluktan yukarı doğru çıkar. Kesitteki değişimden dolayı burada sıvı hızı değişir. Reaktörün en üstüne gelen gaz kabarcıkları ve sıvı taneciklerinin bir kısmı püskürtme başlığından çıkan sıvının sürüklenme kuvvetlerinden doğan hareket nedeniyle tekrar emme tüpüne girebilirler. Böylece su-hava karışımının reaktör içerisindeki kalış süresi ve buna bağlı olarak da  $\epsilon$  ve  $K_{La}$  artırılmış olur [13,14,15] Bu versiyona ait bir jet-loop reaktör Şekil 2.1’de gösterilmektedir. Çalışmamızda da bu reaktör tipi kullanılmıştır.



Şekil 2.1: Konvansiyonel bir jet-loop reaktör şekli.

Jet-loop reaktörlerde gaz fazın sıvı içerisindeki dispersiyonu iki şekilde gerçekleşir. İlk dispersiyon sıvı ve gaz fazların ilk buluştukları püskürtme başlığının çıkışında, diğeri ise sıvının reaktör içerisindeki dağılması sırasında meydana gelmektedir. Birinci dispersiyon bölgesinde son derece yüksek bir hızla gelen sıvı gaz fazı çok küçük kabarcıklara parçalar. Daha sonra reaktörün altına doğru sürüklenen bu küçük kabarcıklar ikinci dispersiyon bölgesine girerler. Burada sıvı basıncının artmasıyla gaz fazın çözünürlüğü de yükselmektedir. Bunun sonucu olarak da kütle transferi artmaktadır. Özellikle reaktörün ortasında, merkezlenmiş bir şekilde duran emme tüpü yardımıyla sıvının birkaç defa sirkülasyona uğraması sıvı faz içerisine dağılmış olan gaz fazın sistemde kalış süresini arttırmaktadır. Diğer bir önemli dispersiyon bölgesi ise sıvı ve gaz fazın emme tüpünü terk ettikten sonra reaktör tabanındaki çarpma levhasına çarparak gaz kabarcıklarının dağılması esnasında gerçekleşir [16,17,18]. Şekil 2.2’de jet loop reaktörlerde oluşan dispersiyon bölgeleri gösterilmektedir.



**Şekil 2.2:** Jet-loop reaktörde dispersiyon bölgelerinin gösterimi.

Kesitteki değişimden dolayı burada sıvı hızı değişir. Reaktörün en üstüne gelen gaz kabarcıkları ve sıvı taneciklerinin bir kısmı püskürtme başlığında çıkan sıvının sürüklenme kuvvetlerinden doğan hareket nedeniyle tekrar emme tüpüne gidebilirler. Böylece su - hava karışımının reaktör içerisinde kalış süresi ve buna bağlı olarak da gaz tutunma yüzdesi ve  $K_L a$  arttırılmış olur [13, 14, 20, 21].

Ters akışlı jet-loop reaktörler klasik reaktörlerle karşılaştırıldığında gerek performans gerekse verim açısından oldukça fazla avantaja sahiptirler. Bu avantajları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Oldukça basit inşaat ve işletme,
- Düşük yatırım ve işletme maliyeti,
- Tamamen kontrol edilebilen sirkülasyon hızı,
- Çok iyi seviyede gaz dispersiyonu,
- Oldukça yüksek karıştırma ve kütle transferi performansı,
- Klasik sistemlere göre düşük enerji gereksinimi,
- Reaktörlerde hareketli parçanın bulunmaması,
- Oldukça homojen konsantrasyon ve ısı profilinin sağlanabilmesi.

## 2.4 Jet-loop Reaktörlerde Değişkenlerin Kontrol Edilmesi

Arıtma sistemlerinin performanslarını, tesisin türüne göre birçok değişik parametre etkilemektedir. Bu parametreler başlıca su debisi, su seviyeleri, çözünmüş oksijen miktarı ve Ph dır. Parametrelerin izlenmesi ve kontrolünde klasik kontrol sistemlerinin yanı sıra bilgisayarlı kontrol sistemleri de tercih edilebilir. Bilgisayarlı kontrol sistemlerinin kullanılmasının arıtma tesisinin verimliliği, enerji tüketimi ve arıtılmış suyun kalitesi gibi performans kriterlerinin olumlu etkilenmesine ve optimize edilmesine yardımcı olduğu bugüne kadar yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur. Araştırmacılar benzetim ortamında, Active Sludge Model No:1'i kullanarak, aktif çamur arıtma tesisini sistemdeki çözünmüş oksijen konsantrasyonu [23] ve amonyak miktarı parametreleri [24] üzerinden MPC (Model Predictive Control) yöntemini kullanarak kontrol etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalarda klasik PI (Proportional, Integral) yöntemine göre daha başarılı bir şekilde sistem kontrol edilmiş ve performans artışı sağlanmıştır. Başka bir çalışmada ise benzetim ortamında aktif çamur arıtma tesisinin çıkış suyu kalitesini yedi parametrenin yönetmeliklerde belirlenen sınırlarda tutulabilmesi için, MPC yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada enerji tüketimi ve performans açısından iyileştirmeler sağlandığı belirtilmektedir [25]. Diğer bir çalışmada benzetim ortamında Barcelona'da bulunan arıtma tesisinin havalandırma ünitesinin enerji tüketimini minimize edebilmek için doğrusal olmayan MPC yöntemini kullanmışlar ve enerji tüketiminde kayda değer azalma elde edebilmişlerdir [26]. Bunların dışında atıksu arıtımında P, Fuzzy Logic [27], Linear Quadratic [28] ve ANN [29] gibi birçok kontrol tekniği benzetim ortamında kullanılmıştır. Fakat kontrol sistemini tasarlayanların süreç hakkında detaylı bilgiye sahibi olamaması ve sistemin doğasının tam anlamıyla çözülememesi nedeniyle geliştirilen bu kontrol tekniklerinin hiçbiri sahada tam olarak denenememiştir [30].

Jet-loop membran biyoreaktörler yeni yeni geliştirilen arıtma sistemi türüdür [31, 32, 33] JLMBR sisteminin otomatik kontrolü yada daha basitinden sistem parametrelerinin izlenmesinin bilgisayarla yapılması çalışmalarına literatürde rastlanmamıştır.

### 3. OTOMASYON VE ENSTRÜMANTASYON

#### 3.1 Temel Kontrol Yaklaşımı

Kontrol sistemleri çevremizde her yerde hatta içimizdedirler. Çoğu karmaşık kontrol sistemleri insan bedeninin fonksiyonlarının içindedir. Kan şekerinin kontrolü, vücut dengesinin sağlanması insan bedeninde var olan çok karmaşık kontrol sistemlerine örnektir.

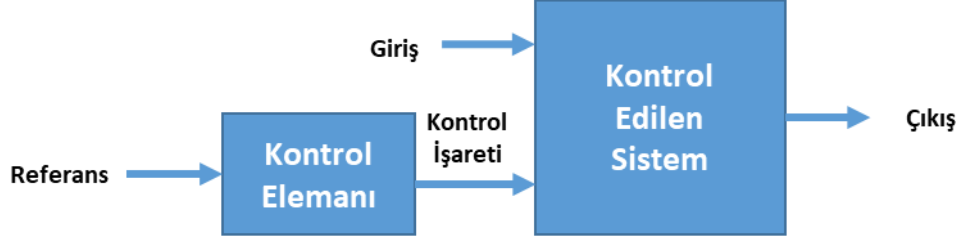
Kontrol sistemleri günlük hayatımızda sıkça kullandığımız cihazlarda ısıyı kontrol eder, sistemin hızını veya çalışma süresini belirler. Hayatımızın her kısmında bir otomatik kontrol sistemi mevcuttur.

Kontrol sistemi; kendi sistemini veya başka bir sistemi, sistemdeki değişkenin değerini işleterek düzenlemek, kontrol etmek veya takip etmek amacı ile sisteme bağlanmış ekipmanlar bütünü olarak tanımlanabilir.

Kontrol sistemleri temelde Açık Çevrim Kontrol ve Kapalı Çevrim Kontrol olarak ikiye ayrılır.

##### 3.1.1 Açık Çevrim Kontrol

Kontrol edilen sisteme uygulanan giriş işareti, sistem çıkışından bağımsız olan yani sistem çıkışından girişine bilgi geri beslemesi yapılmayan kontrol sistemlerine açık çevrim kontrol sistemi denir. Açık çevrim kontrol sisteminin temel şematığı Şekil 3.1' de verilmiştir. Buna göre zamana göre çalışan tüm sistemler açık çevrimli çalışır. Trafik kontrolü, otomatik kapılar, bulaşık makineleri vb. gibi sistemlerde çıkış girişe etki etmez. Hassas olmayan cihazlar için kullanılan bir yöntemdir. Sistemde mevcut bozucuların etkisi kontrol edilemez ve algılama için insana ihtiyaç duyulur. Açık çevrim kontrol, sistemin davranışı ve tüm giriş çıkış değerlerinin tahmin edildiği uygulamalarda kullanılır [34].



**Şekil 3.1:** Açık çevrim kontrol şeması.

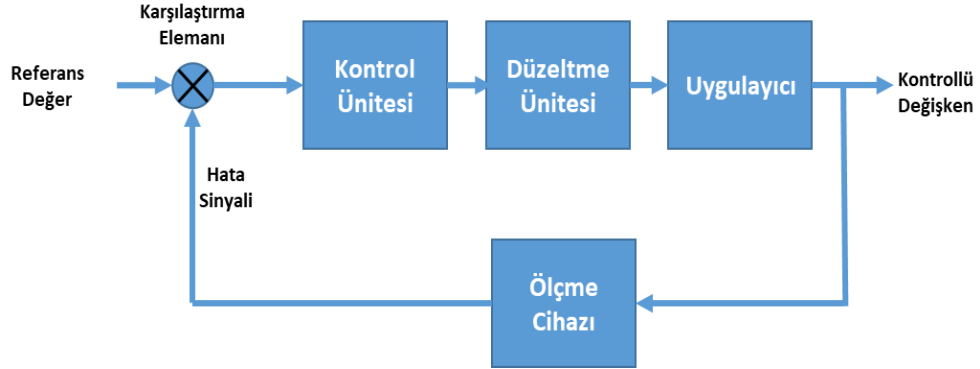
Farklı bir örnek ise, bir trafik kavşağında trafik lambalarının kontrolü açık kontrol sistemini ile yapıldığında, kavşaktaki trafik lambaları hep aynı şekilde çalışacaktır. Kırmızı 30 saniye yanıyor, yeşilde 20 saniye yanıyor, günün her anında aynı çevrim devam etmektedir. Kavşaktaki trafik yoğunluğu ile ilgili bir karar mekanizması veya denetim mevcut değildir.

Açık çevrim kontrolün en büyük avantajı kapalı-döngü kontrolden daha ucuz olmasıdır. Çünkü gerçek sonucu ölçmek gerekli değildir. Buna ek olarak kontrolör çok daha basittir çünkü hataya dayalı düzeltme hareketi gerekmez. Dezavantajı ise beklenmeyen durumların sebep olduğu hatalar düzeltilemez. Çoğunlukla operatör elle, değişen durumlara karşı hatayı yavaş yavaş düzeltmelidir. Bu durumda insan operatör döngüyü geri besleme sinyali sağlayarak kapatmaktadır [35].

### 3.1.2 Kapalı Çevrim Kontrol

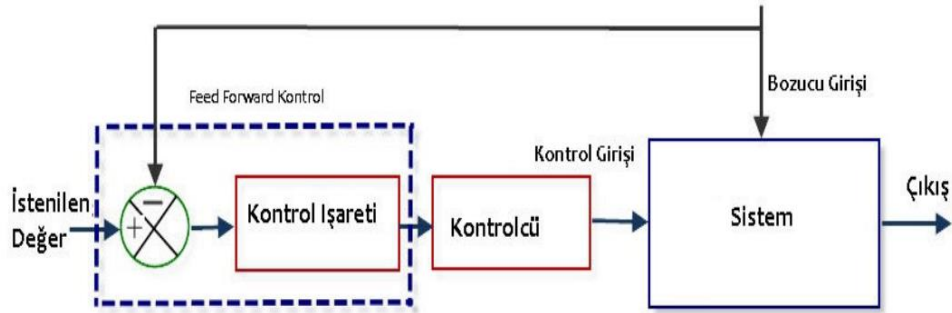
Kapalı çevrim kontrol, çıkışın girişle fiziksel olarak bir bağlantıyla kontrol edildiği ve mevcut değişimlerin değerlendirilip kontrol işaretinin buna bağlı olarak yeniden düzeltme işareti olarak uygulandığı sistemlerdir. Kapalı çevrim kontrol sisteminin şematığı Şekil 3.2'de verilmiştir. Kapalı çevrim kontrol sistemi geri beslemeli kontrol olarak da bilinir. Kontrol sistemlerinde geri beslemenin en yaygın kullanıldığı yapı negatif geri beslemedir. Negatif geri beslemede, çıkıştaki değişimler girişe negatif olarak eklenerek etki yapar. Negatif geri besleme için çıkış arzu edilen noktaya göre artış yapacak olursa kontrolcü azaltma yönünde çalışır. Ters durumlarda, çıkış istenilen değere göre azalma gösteriyorsa denetim etkisini arttırıp, çıkış değerini istenilen değere yükseltir. Negatif geri beslemede, çıkış değerinin istenilen değere getirilmesi ve bu değerde sabit tutulması için her zaman çıkış ve giriş

değerlerinin farkı alınır. Hatayı azaltarak minimuma indirmesi sebebiyle negatif geri besleme endüstriyel kontrol sistemlerinin önemli bir parçasıdır.



Şekil 3.2: Kapalı çevrim kontrol şeması.

Şekil 3.3’de şematığı verilen ileri beslemeli kontrol (Feed Forward Control), giriş kontrol işareti, mevcut bozucu işaret ile referans işaret arasındaki farka veya toplamına göre değişen bir kontrol sistemidir [34].



Şekil 3.3: İleri beslemeli kontrol sistemi şeması.

Trafik lambalarının kontrolünü kapalı çevrim kontrole örnek verirsek; trafiğin denetlenmesi yine lambalarla olacak fakat, yoldaki trafik yoğunluğu da her zaman sensörlerden alınan geri besleme ile ölçülecektir. Sensörlerden alınan geri bildirim göre trafiğin yoğun olduğu tarafa daha fazla yeşil lamba aktif edilerek trafik sıkışıklığı önlenir. Ayrıca, hep aynı güzergâh üzerinde seyreden taşıtlar, şehir içi hız limitlerinde gittiği zaman, tekrar tekrar kırmızı ışığa yakalanma ihtimali azaltılır. Bu örnekte sinyalizasyonun çalışma zamanlaması sistemin girişi ise, taşıtların durumu da çıkışıdır. O halde iyi bir çıkış için yolun doluluk ve boşluk oranları dikkate alınarak zamanlama değiştirilebilir.

Kapalı çevrim kontrolün esas amacı sürecin daha doğru ve kesin sonuçlarla kontrolünün sağlanmasıdır. Dezavantajları ise; kapalı çevrim kontrol, açık çevrim sistemlerine göre pahalıdır ve kapalı çevrim kontrol sistemlerinin geri besleme özelliği sistemin kararsız olmasına yol açabilir.

### 3.1.3 Otomatik Kontrolün Faydaları

Kontrol sistemleri toplumda gittikçe daha önemli olmaktadır. Otomatik kontrol yetenekli çalışanları rutin işlerden kurtararak ve her işçinin yaptığı iş miktarını artırarak işçilerin birim zamanda çıkardığı iş miktarını ve verimliliğini artırmıştır. Kontrol sistemleri, ürünlerin standart ve hatasız olarak üretilmesini sağlar. Birçok ürünün otomatik kontrolsüz üretilmesi neredeyse imkânsızdır. Özetle otomatik kontrolün avantaj ve dezavantajları şu şekildedir:

Avantajlar:

- Kalite artışı
- Üretim maliyetinin düşmesi
- Rekabet gücünün artması
- İş kazalarının azalması
- Zamandan tasarruf

Dezavantajlar:

- İlk montaj maliyetinin yüksek olması (Maliyet, uzun zamanda çoğu otomasyon sistemlerinde kendini amorti etmektedir.)
- Çalışan sayısında azalma (İşgücü istihdam oranının düşmesi)
- Yatırım maliyetlerinin yükselmesi

## 3.2 Otomasyon Kavramı

Otomatik, Yunanca'dan gelme, “kendi kendine yeten” anlamına gelen bir kelimedir. Bugün otomatik kelimesinin anlamı geliştirilerek “kendi kendine çalışan ve kendi kendini ayarlayan haline gelmiştir [36]. Otomasyon, insan gücü yerine otomatik



bir sistem kullanılmasıdır. Sistem, otomatik olarak çalışmasını sağlayacak algılama ve kontrol cihazlarından oluşmaktadır. Proses planlamasında en önemli konu, otomasyona ihtiyaç olup olmadığına karar verilmesidir. Otomasyon ihtiyacına karar verildikten sonra ortaya çıkan yeni problem otomasyon derecesidir. Otomasyon derecesi, tamamıyla otomasyona geçmiş bir firmadan sadece belli bir işlemin otomasyona geçirilmesine kadar, geniş bir yelpaze üzerinde değiştirilebilmektedir [37].

Otomasyon, insan gücüne kıyasla birçok avantaj sunmaktadır. Öncelikle otomasyonda hata payı ve sapmalar çok küçük bir düzeydedir. İnsandan belli bir işi hep aynı kalitede, aynı sürede ve devamlı yapmasını beklemek mümkün değildir. Üretimde dengesizlik, istenen kaliteye ulaşılması ve arzulan planın gerçekleşmesini engellemektedir [38].

Genellikle otomasyon, rekabet için gerekli bir strateji olarak düşünülmüştür. Ancak otomasyonun, bazı konularda olumsuz yönleri de mevcuttur. Öncelikle otomasyonun; ilk yatırım maliyeti yüksektir. Yüksek maliyetlerin üstesinden gelebilmek için yüksek miktarda çıktı ile çalışmak gerekir. Otomasyon insan kadar esnek değildir. Ayrıca otomasyon insanlarda işlerini kaybetme korkusuna da yol açmaktadır [39].

Otomasyon ve otomasyon düzeyine karar verilirken veri ve çıktıların en iyi şekilde değerlendirilmesi ve analiz edilmesi gereklidir. Aynı zamanda, otomasyonun hayata geçirilebilmesi için çok iyi bir planlama şarttır. Aksi takdirde otomasyon, önemli birtakım sorunlara yol açabilmektedir.

İmalatın gelişimi 5 aşama olarak düşünülebilir.

1. Manuel idare: İnsanları el aletlerini kullandılar.
2. Makineleşme: Makineler, insanlar tarafından idare edildi.
3. Otomasyon, mekanik kumanda: Makineler, mekanik teçhizatlarla kumanda edildi.
4. Otomasyon, programlı kumanda: Makineler, program yüklü bilgisayarla kumanda edildi.
5. Bilgisayar destekli imalat: Makineler ve proses hatları, üretimin değişik kademelerinde aldıkları verileri değerlendiren bilgisayarla kumanda edildi.

Veriler scada yardımıyla takip edilip, internet ortamından da kontrol edilebilir hale geldi.

### 3.2.1 Otomasyonun Tarihi

Bilgisayar destekli otomasyon, yaklaşık 60-70 yıllık bir geçmişe sahiptir. Ancak yeni teknolojiye metotların uygulamaya geçişi 1970 den önce başlamıştır. Aşağıda, otomasyonun bugünkü durumuna katkısı bulunan birtakım temel oluşumlar sıralanmıştır;

- İlk modern bilgisayar 1946 yılında icat edilmiş ve 1951 yılında satışa sunulmuştur. Mini bilgisayarlar ve mikrobilgisayar 1960 yılında ortaya çıkmış ve iş istasyonları 1980 de piyasaya sürülmüştür.
- İlk nümerik kontrollü tezgah 1950 yıllarında yapılmıştır.
- İlk robotlar 1946 yılında yapılmıştır. Üretimde kullanılmak üzere 1962 yılında devreye sokulmuştur. Robotlar, 1970 li yıllarda üretimde önemli roller almıştır.
- Otomatik stoklama ve stoktan çekme sistemleri, 1950 li yıllarda ortaya çıkmıştır.
- Toplam kalite kontrolün temel fikirler 1961 yıllarında konuşulmaya başlanmış, fakat 1970 yılına kadar pek uygulanmamıştır.
- Barkod, ilk defa 1965 yılında, demiryolu araçlarını takip etmek amacı ile kullanılmıştır.
- İlk esnek imalat sistemi, 1965 yılında oluşturulmuş ve bir atölyede “Sistem 24” olarak devreye sokulmuştur. Sistem, günde 16-24 saat insan desteği olmadan çalışabiliyordu. Fakat bu sistem, 1980’li yıllarda akademik düzeyde kalmıştır.
- Programlanabilir Kontrol Elemanı (PLC); 1969 yılında geliştirilmiş. İlk olarak Bedford Associates (Bedford, MA) firması Modular Digital Controller (MODICON) adlı bir cihazı Amerikan araba üreticilerine tanıtmıştır. Başka diğer firmalar da o sıralarda bilgisayar tabanlı sistemlerini ilan etmişlerdir. Ancak MODICON 084 dünyanın ilk ticari PLC si olarak piyasaya girmiştir.
- İlk elektronik veri alışverişi sistemi 1970 yılında kamyon taşımacılığında kullanılmıştır.
- Bilgisayar destekli üretim, 1974 yılında ortaya çıkmış ve 1980 yılından sonra geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

- Bilgisayar destekli bakım sistemleri 1970'lerde ortaya çıkmıştır.
- Tam zamanlı üretim, 1970 yılında Japonya'da ortaya çıkmıştır.
- Proses planlama, 1960'lara kadar elle yapılmıştır. Bilgisayar destekli proses planlama sonraki 20 yıl içerisinde büyük gelişme göstermiştir [37].
- 2.Dünya Savaşından sonra dünyada büyük bir imalat yarışı başlamıştır ve firmalar ulusal pazarlar haricinde yabancı pazarlara da yönelmeye başlamıştır. Üretim kapasitesi kavramı, kâr için önemli bir kriter haline gelmiştir. İkinci Dünya Savaşı sonrasında, elektronik, bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişimiyle birlikte üretimin otomasyonu sağlanmıştır. Programlanabilir mantıksal denetleyici PLC'lerin gelişmesi sonucunda üretimde otomasyon ileri aşamalara taşınmaya başlanmıştır. Birinci Endüstri Devrimi üretimin makineleşmesi, İkinci Endüstri Devrimi üretimin serileşmesi olarak tanımlanırken, Üçüncü Endüstri Devrimi ise üretimin otomasyonu ve sayısallaşması olarak tanımlanmıştır. Bu dönemde bilgisayar, mikroelektronik, fiber optik, lazer gibi teknolojilerin, telekomünikasyon, nükleer, biyotarımlar ve biyogenetik gibi bilimlerin gelişimi üretimin yönünü ve biçimini etkilemiştir [41].

### 3.2.2 Günümüzde Otomasyon ve Endüstri 4.0

Endüstri 4.0, yapay zeka, 3D (üç boyutlu) yazıcılar, robotik ve biyo, nano ve uzay teknolojisi alanlarında yaşanan gelişmeler ile birlikte belirli bir ekonomik değere sahip canlı-cansız her nesnenin internet bağlantılarıyla diğer nesnelere iletişime ve etkileşime geçebileceği akıllı üretim dönemi olarak tanımlanmaktadır. Üretimde dijitalleşmenin yaşanmaya başladığı bu dönemde sanal ve fiziksel sistemlerin birbirine entegre olduğu ve internete bağlı olan nesnelerin böylelikle akıllanacağı üretim sisteminden söz edilmektedir [42].

Endüstri 4.0'ın öncü ülkesi Almanya olarak kabul edilmektedir. İlk kez Alman Yapay Zeka Araştırma Merkezi öncülüğünde (içinde Siemens'in de bulunduğu Almanya'nın önde gelen 20 endüstriyel ve araştırma ortağı ile birlikte) Kaiserslautern şehrinde oluşturulan küçük bir akıllı fabrikada sistemin nasıl çalışacağı uygulanmıştır. Burada ürünler ile makinelerin birbirleriyle nasıl haberleşeceği ve etkileşime geçeceğini göstermek için sabun şişeleri kullanılmıştır. Sabun şişelerinin üzerine

Endüstri 4.0'ın önemli unsurlarından olan radyo frekans tanımlayıcı (RFID) etiketler yapıştırılmış ve bu etiketlerin aslında şişenin rengi, boyutu, hacmi ile ilgili bilgileri makineye aktarması sağlanmıştır. Daha sonra bu etiketler aracılığıyla akıllı makineler, şişeleri tanımlanan özelliklerine göre tanır ve bir ayrıma gider. Örneğin; rengine göre uygun sabunu şişeye doldurur. Bu sistem sayesinde bir ürünün radyo sinyalleriyle ilettiği bilgiler, üretimin başında itibaren dijital ortamda saklanmasına olanak sağlamaktadır. Bu bir siber-fiziksel sistem çalışma şeklidir [43].

### 3.2.2.1 Endüstri 4.0'ın Yapısı

Endüstri 4.0 kavramının temeli; endüstriyel üretimde ilgili tüm birimlerin birbiriyle haberleşmesine, bütün verilere gerçek zamanlı olarak ulaşılabilmesine ve bu veriler sayesinde optimum katma değer sağlanmasına dayanmaktadır [44]. Endüstri 4.0, Siber-Fiziksel sistem kavramına ve nesnelerin ve hizmetlerin internetine dayalıdır. Bu yapı akıllı fabrikalar vizyonunun oluşmasına büyük katkı sağlamaktadır. Endüstri 4.0 genel olarak aşağıdaki 3 yapıdan oluşmaktadır:

- Nesnelerin İnterneti: Aklınıza gelebilecek her nesnenin bir şekilde internete bağlı olarak, diğer cihazlarla haberleşme halinde olmasıdır.
- Siber – Fiziksel Sistemler: İnsanlardan destek almadan üretim aşamalarını organize edip, planlayıp, yönlendirebilen sistemlerdir.
- Hizmetlerin İnterneti: Bu yapı ile birlikte siber – fiziksel sistemler insanlarla ve diğer yapılarla hizmet bağı kurarak kendi sürekliliklerini sağlayabilirler.

Endüstri 4.0 ile modüler yapıllı akıllı fabrikalar kapsamında, fiziksel işlemleri siber-fiziksel sistemlerle izlemek, fiziksel dünyanın sanal bir kopyasını oluşturmak ve merkezi olmayan kararların verilmesi hedeflenmektedir. Nesnelerin interneti ile siber-fiziksel sistemler birbirleriyle ve insanlarla gerçek zamanlı olarak iletişime geçip işbirliği içinde çalışabilecektir. Hizmetlerin interneti ile hem iç hem de çapraz örgütsel hizmetler sunulacak ve değer zincirinin kullanıcıları tarafından değerlendirilecektir.

### 3.2.2.2 Endüstri 4.0'ın Prensipleri

Endüstri 4.0, 6 prensibe dayanmaktadır.

1. Karşılıklı Çalışabilirlik: Siber fiziksel sistemlerin yeteneği ile (örn. iş parçası taşıyıcıları, montaj istasyonları ve ürünleri) nesnelere interneti ve hizmetlerin interneti üzerinden insanların ve akıllı fabrikaların birbirleriyle iletişim kurmasını kapsamaktadır.
2. Sanallaştırma: Bu yapı akıllı fabrikaların sanal bir kopyasıdır. Sistem, sensör verilerinin sanal tesis ve simülasyon modelleri ile bağlanmasıyla oluşur.
3. Özerk Yönetim: Siber-Fiziksel sistemlerin akıllı fabrikalar içinde kendi kararlarını kendi verme yeteneğidir.
4. Gerçek-Zamanlı Yeteneği: Verileri toplama ve analiz etme yeteneğidir. Bu yapı sistemin karar verme yetisinin temelini oluşturmaktadır.
5. Hizmet Oryantasyonu: Hizmetlerin interneti üzerinden siber-fiziksel sistemler, insanlar ve akıllı fabrika servisleri sunulmaktadır.
6. Modülerlik: Bireysel modüllerin değişen gereklilikleri için akıllı fabrikalara esnek adaptasyon sistemi sağlar.

### 3.3 Otomasyon Sisteminde Kullanılan Kontrol Bileşenleri

Bu bölümde Jet-Loop arıtma sisteminin otomasyonu için kullanılan kontrol ekipmanları tanıtılacaktır.

#### 3.3.1 PLC

Yaptığımız çalışmada kontrolör olarak klasik kumanda yerine PLC kullanılmıştır. Temel anlamda PLC (Programmable Logic Controller ) girişlerinden gelen bilgileri CPU'da yazılı programda işleyerek çıkışlarına bağlı olan cihazları istenildiği gibi çalıştıran programlanabilir kontrol ekipmanlarıdır. Hızlı gelişen teknoloji ile birlikte PLC'ler, lojik kontrol aygıtları olmakla beraber Analog Kontrol, Pozisyon Kontrol ve Farklı Haberleşme sistemleri ile birlikte daha geniş bir kontrol alanında kullanılmaktadır.

### 3.3.1.1 PLC ile Röle Sistemleri Arasındaki Farklar ve Avantajları

- Kontrol devresinin işlevi yazılımla sağlandığından, kontrol devresini tasarlamak, röleli bir devrenin tasarımından daha kolaydır.
- PLC'li sistemlerde bütün kontrol işlevleri yazılımla gerçekleştiğinden, farklı uygulama ve çalışma programlarını sağlamak son derece kolaydır ve donanımın değiştirilmesine gerek kalmaksızın yazılımın değiştirilmesi yeterlidir.
- Sistemler klasik kontrol devrelerine göre çok daha az yer kaplarlar.
- Küçük kontrol devrelerinde röleli kontrol sistemi daha ucuz olur.
- PLC'li sistemlerin güvenilirliği yüksek, bakımı kolaydır. Devrelerde arıza aramayı kolaylaştırır.
- PLC'li sistemlerin bilgisayarla ve diğer kontrolörle haberleşme olanağı vardır.
- Arıza yapma ihtimali azdır. Bir PLC için arızalar arası ortalama süre yaklaşık olarak 8000 saattir.
- PLC'li sistemler kötü çevre koşullarında, özellikle tozlu ve kirli ortamlarda, röleli kumanda devrelerine göre daha güvenlidir.

### 3.3.1.2 PLC Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar

PLC uygulamalarımızda aşağıdaki özellikleri göz önünde bulundurarak PLC konfigürasyonu çıkarmak önemlidir. Yanlış yapılmış PLC konfigürasyonları proje maliyetini artırmakta, eksik seçilen konfigürasyonlar ise projenin talep edilen şekilde çalışmamasına yol açmaktadır. Her iki durumda uygulamamızı maliyet açısından zarara uğratacaktır.

PLC seçiminde en önemli kriterler giriş-çıkış sayısı ve tipidir. İlave olarak aşağıda belirtilen durumlar da göz önüne alınmalıdır:

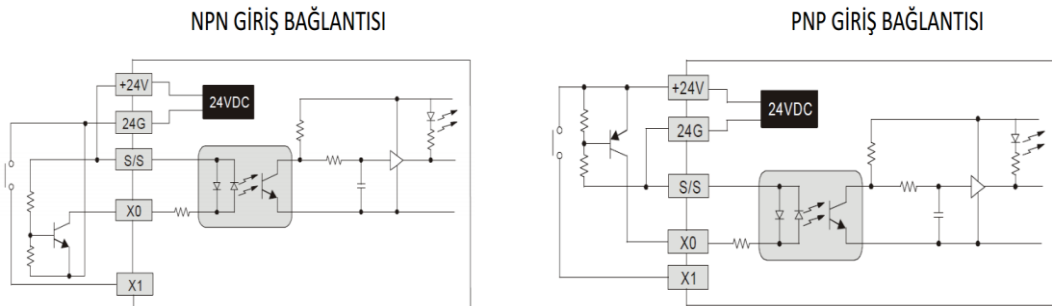
- Programlama imkanları
- Çalışma hızı
- Sistem genişlemesi
- Haberleşme yapısı

### 3.3.1.2.1 Giriş-Çıkış Sayısı

Uygulamada PLC'nin giriş bölümünde kullanılacak olan sensör, buton, limit switchler vb. ürünlerin ve PLC'nin çıkış bölümünde kullanılacak olan alıcıların, motorların, servoların, lambaların, valflerin vb. ekipmanların adetlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Uygulamanın gerçekleştirileceği PLC'nin ihtiyaç duyulan giriş/çıkış adetlerini karşılaması gerekmektedir.

### 3.3.1.2.2 Giriş-Çıkış Tipleri

PLC nin temelde analog ve dijital olmak üzere iki tip giriş ve çıkışı bulunur. Analog giriş ve çıkışlar PLC iç yapısında bulunan DAC ve ADC birimleri ile dış dünyadaki analog sinyalleri algılar yada dış dünyaya analog sinyal yollar. Dijital girişler ise iç yapısında kullanılan transistörün çeşidine bağlı olarak NPN veya PNP olmak üzere iki tipe sahiptir. Şekil 3.4 de NPN ve PNP giriş bağlantı şekilleri görülmektedir. Girişlerde kullanılacak ürünlerde PNP, NPN özelliklerine dikkat etmeniz gerekmektedir. Tüm giriş ürünlerinin hepsinin aynı olması yani hepsinin PNP veya NPN olması kablolamayı kolaylaştıracaktır [47]. Dijital çıkışlarda transistör yada röle olmak üzere iki ayrı yapıya sahiptirler. Röle çıkışları yüksek akım ve voltaj taşıma kapasitesine sahiptirler fakat hızlı çalışmazlar. Konum kontrol uygulamaları gibi hız gerektiren durumlarda giriş biriminin benzeri bir yapıda olan transistör tipli çıkışlar tercih edilir.



Şekil 3.4: PLC giriş bağlantıları.

### 3.3.2 HMI Ekran

Açılımı “Human-Machine Interface” olarak bilinen HMI terimi, “İnsan-Makine Arayüzü” anlamına gelmektedir. HMI, kullanıcının makine ve üretim tesisleri ile iletişim kurmasına olanak sağlayan bir cihaz veya yazılım bütünü olarak da adlandırılabilir. HMI’ın temel görevi kullanıcıdan aldığı komutları otomasyon sistemine iletmek ve otomasyon sisteminden aldığı proses değerlerini de ekranında görüntülemektir. Otomasyon sisteminin ölçeğine göre veriler birkaç sayfada gösterilebileceği gibi, onlarca ana ve alt sayfadan oluşan karmaşık bir yapıda da gösterilebilir. HMI, bütün bu olayları gerçekleştirebilecek donanıma sahiptir [48].

### 3.3.3 Debi Metre (Akış Metre)

Sıvı ve gazların hacimsel akış hızını ölçmek için kullanılan araca debimetre denir. Akışkan debisinin ölçümü (akış miktarı) proses kontrolünün en önemli noktalarından biridir ve belki de proseslerde en sık kullanılan ölçümdür. Akışkan debisi genel olarak, akışkanın belirli bir bölgedeki hızı ile ölçülür. Bu dolaylı metod ile ölçülen hacimsel debidir.

Borudan geçen akışkana etkiyen ana faktörler:

- Akışkanın hızı
- Akışkanın boru ile kesişen noktalarındaki sürtünme
- Akışkanın viskozitesi
- Akışkanın yoğunluğu

Akışkanın hızı, akışkanı boruya doğru iten ekipmanın basıncına bağlıdır. Ekipman basıncı arttıkça, akış oranı (diğer bütün faktörlerin sabit kalması koşulu ile), akış oranı arttıkça akışkan hacmi artacaktır. Boru çapı da akış oranını etkiler. Örneğin; çapı iki katına çıkarmak potansiyel akış oranının dört katına çıkmasına neden olur.

Boru sürtünmesi, akış oranını azaltıcı etki yaptığından negatif bir faktör olarak alınır. Bu sürtünmeden dolayı akış oranı, boru cidarlarına yakın bölgelerde, borunun



merkezindeki akışa göre daha azdır. Boru yüzeylerinin temizliği, yumuşaklığı ve büyüklüğü ölçüsünde, bu sürtünme kuvveti de azalacaktır.

Viskozite ya da moleküler sürtünme de akış oranını negatif etkiler. Viskozite ve boru sürtünmesi, cidarlardaki akış oranını azaltır. Viskozite sıcaklık ile artar veya azalır ama bu değişim her zaman beklendiği gibi olmayabilir. Sıvılarda viskozite sıcaklık artışı ile genellikle azalır. Ancak bazı sıvılarda viskozite belirli bir sıcaklığın üstünde iken artmaya başlar. Genellikle sıvı viskozitesi yüksek ise (diğer faktörler sabit iken) akış oranı azalır. Viskozite ‘centipoise’ ile ölçülür. Diğer bir viskozite tipi ise ‘kinematik viskozite’ dir ve ‘centistroke’ ile ölçülür. Centistroke, centipoise’un akışkanın özgül ağırlığına bölünmesi ile elde edilir.

Akışkanın yoğunluğu, akış oranını şu şekilde etkiler; daha yoğun bir akışkanda istenen debiyi elde edebilmek için daha güçlü bir kafa baskısı gerekir. Gazların sıkıştırılabilir olmasına rağmen sıvıların tam tersi olarak sıkıştırılmamasından dolayı, gazların, sıvıların ve hatta gaz içeren sıvıların, ölçüm yöntemleri birbirinden farklıdır [49].

### **3.3.4 Sıvı Seviye Sensörü**

Sıvı seviye sensörleri isminden anlaşılacağı gibi sıvının sistemdeki seviyesini ölçmek ve kontrol etmek için kullanılan sensörlerdir.

Bu sensörler genel anlamda algıladıkları seviye konumuna göre üzerinde bulundurduğu kontaklar ile çıkış vererek devresinde bağlı bulunan motor yardımı ile doldurmayı ve boşaltmayı sağlamaktadır.

#### **3.3.4.1 Noktasal Seviye Kontrolünde Kullanılan Seviye Şalterleri**

Seviye şalterleri genellikle temaslı enstrümanlardır ve kabın içerisindeki ürünün belirli bir noktadaki varlığının veya yokluğunun belirlenmesi için kullanılır. Nereye monte edildiklerine bağlı olarak kabın, tankın, deponun dolu, boş veya aradaki bir seviyede olduğunun sinyalini verirler. Bu tip seviye şalterlerinin bazıları, ultrasonik

şalterler, kuru ve katı malzemeler için pedallı seviye şalterleri, kapasitif problemler, iletken problemler, hem sıvı hem katı malzemelerde kullanılan titreşim problemleri, yatay veya dikey olarak monte edilen tekli veya çoklu şamandıralı seviye şalterleridir.

### **3.3.4.2 Sürekli Tip Seviye Sensörleri**

Temaslı veya temassız enstrümanlardır. Temaslı enstrümanların içerisinde, yük hücreleri, hidrostatik basınç sensörleri, kapasite problemleri, rölelerin çekilip bırakılması prensibi ile çalışan elektromekanik cihazlar, radar ve manyetostriktif (mıknatısal büzülme) prensibi ile çalışan cihazlar bulunur. Temassız sürekli seviye sensörleri ise ultrasonik, açık hava radarları, lazerli veya nükleer seviye sensörlerini içermektedir.

Bu sensörler arasından ultrasonik seviye sensörleri atık su arıtım tesislerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ultrasonik seviye sensörleri bir yüksek frekanslı ses sinyali üretebilen kaynaktan çıkan ses dalgalarının sıvı içerisinde yayılıp sıvının son noktasından yani yansıtıcı yüzeyden geri dönmesi prensibine dayalı olarak çalışmaktadırlar. Sesin kaynağından çıkışı ile geri dönüşü arasındaki zamana göre sıvının seviyesi belirlenir. Ses dalgası yolu üzerindeki diğer sınırlardan da yansımalar oluşacaktır. Bu özellik, temiz su ve atıklar arasındaki sınırı araştırmak için kullanılır [45].

### **3.3.5 Manometre (Basınç Ölçer)**

Basınç ölçer, monte edilmiş oldukları prosesin basınç seviyesini algılayarak, basınç değerinin ayarlanan set değerinin üzerine çıkması veya altına inmesi durumunda çıkış üreten ürünlerdir. Basınç ölçer, hemen hemen bütün alanlarda kullanılmaktadır.

Sistemin basınç değerlerini ölçerek, ölçtüğü basıncı elektriksel sinyale çeviren cihazlardır. Basınç ölçer, arıtma sistemlerinde, gıda sektörlerinde, ilaç endüstrisinde, kimya sektörlerinde, tekstil firmaları, arıtma endüstrisi gibi pek çok otomasyon alanına giren konularda yaygın olarak kullanılmakta olan ürünlerdir.

### **3.3.6 PH Metre**

Çözeltilerin asitlik ve bazlığı 0 ile 14 arasındaki değerlerden birine denk gelecek düzende ölçülür. PH metre cihazı elektrot ile aldığı elektriksel sinyal değerini pH birimine çevirerek potansiyometrik bir ölçüm sağlar. Ph ölçümünde algılama elektrotu ve referans elektrotunun sağladığı gerilimler arasındaki fark pH değerini verir.

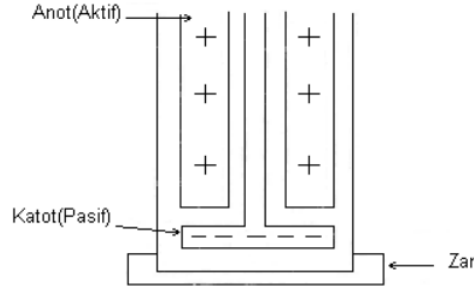
Yüksek iletkenli çözeltilerde platinium tipi diyafram, sulu çözeltilerde seramik diyafram tipi kullanılır. PH elektrotlarının üzerinde bulunan cam membranlar kullanım şekline göre değişkenlik gösterir [50].

### **3.3.7 Çözünmüş Oksijen Sensörü**

Çözünmüş oksijen (DO, Dissolved Oxygen) sensörü, bir sıvı içerisinde çözünmüş halde bulunan oksijen miktarını ölçer. Çözünmüş oksijen miktarına bağlı olarak çıkışında elektriksel sinyal üretir. Çözünmüş oksijen sensörünün üç farklı tipi bulunmaktadır. Bunlar amperometrik, voltametrik ve denge tipidir.

#### **3.3.7.1 Amperometrik Çözünmüş Oksijen Sensörü**

Amperometrik prob, bir zarın içinden sabit ve tek bir yönde sürekli oksijen transferi ilkesine bağlı difüzyon tipi bir probtur. Oksijen, zar yardımıyla difüze olurken (yer değiştirirken) elektroliz durumunda katod ve anod arasında bir elektrokimyasal reaksiyon oluşur. Sonuç akım yönü, zar tarafından difüze edilen oksijen miktarıyla orantılıdır. Amperometrik Çözünmüş Oksijen sensörünün prensip şeması Şekil 3.5’de görülmektedir [45].



**Şekil 3.5:** Amperometrik çözünmüş oksijen sensörü prensip şeması.

Sıcaklık kompanzasyonuna gereksinim duyulur ve bu kompanzasyon genellikle bir PT100 direnç probunun kullanılmasıyla sağlanabilir. Tipik bir DO sensörü, 0 - 20 ppm veya %0- 250 doyma bölgesinde ölçüm yapabilir. Buna karşılık, probun ölçüm değeri, harcanmış oksijeni yeniden yerine koymak için akış üzerindeki bazı büyüklüklere bağlıdır. Buna ek olarak; elektrokimyasal reaksiyonların bozucu etkileri, elektrod temizliği, değişikliği veya yeniden yüklenmesini gerekli kılmaktadır. Prob üzerindeki zar, genellikle teflondan oluşur ve gerektiğinde değiştirilebilir [45].

### 3.3.7.2 Voltametrik Çözünmüş Oksijen Sensörü

Voltametrik veya potansiyometrik oksijen ölçüm metotları doğrudan oksijen içeriğine orantılı olan bir elektrik akımı üretmek için moleküler oksijenin elektrolitik azalmasına bağlı olarak değişmesini kullanır [45].

Günümüzde kullanılan iki tip voltametrik elektrot sistemi vardır. Bunlar aktif ve pasif sistemler oksijen elektrotlarıdır.

Aktif oksijen elektrotları, katottaki moleküler oksijeni azaltarak oksijen konsantrasyonunu ölçer. Moleküler oksijenin düşürülmesi için gerekli olan elektronlar hücreden temin edilir. Bu aktif hücre benzer olmayan metalleri ve elektrolizi kullanır.

### 3.3.7.3 Çözünmüş Oksijen Denge Sensörü

Denge probu, prob içindeki ve dışındaki “eşit oksijen parça basıncı” ilkesi üzerine çalışır. Katottaki oksijen azaldığında anot eşit miktarda oksijen üretir. Bu oksijen parça basıncı, reaksiyon dengeye gelene kadar devam eder [45].

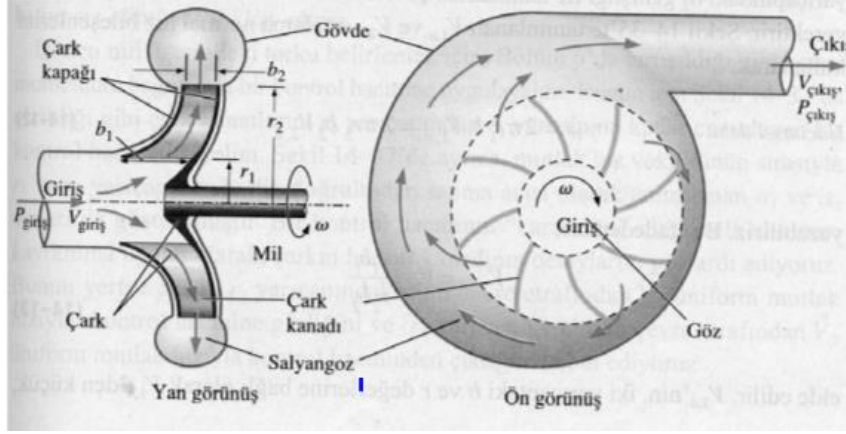
### 3.3.8 Pompalar

Havayı veya akışkanı bulunduğu alandan başka bir alana transfer için kullanılan ekipmana pompa denir. Pompalar, tesis prosesindeki katıları, temiz havayı ve atıksuyu çeşitli işlem noktalarına iletmek üzere kullanılırlar. Atıksu endüstrisi dahilinde sıvının akışının kontrolünde kullanılan pompalar genellikle santrifüj pompalar ve peristaltik pompalardır.

#### 3.3.8.1 Santrifüj Pompalar

Santrifüj pompa, adını sıvının içindeki kanatların yardımıyla dışarı atılması durumundan almıştır. Sıvı, yavaşça artan kesit alan geçidiyle iletiğinden sıvı hızı azalır; hızdaki bu düşüş giren ve çıkan sıvı arasında basınç artışına sebep olur.

Pompanın deşarj bölümü kapatılır, kapatıldıktan sonra basınç pompa için maksimum noktaya çıkar ve pompa verimli bir şekilde sıvıyı yukarı yönde iter. Santrifüj pompalar katı partiküller içeren sıvılar için de kullanılabilir. Santrifüj pompanın kesit görünüşleri Şekil 3.6’de görülmektedir [46].



Şekil 3.6: Santrifüj pompa kesit görüntüleri.

### 3.3.8.2 Peristaltik Pompalar

Peristaltik pompa ("hortum pompası", "dozaj pompası", "dozajlama pompası" veya "dağıtım pompası" olarak da bilinir), pozitif deşarj pompasının bir türüdür. Peristaltik pompalar çeşitli sıvıları pompalayabilirler ve kimyasal transfer, farmasötik işleme, atıksu arıtımı gibi birçok işlemin kritik ve güvenilir bir parçasıdır.

Peristaltik pompa benzersiz bir tasarıma sahiptir. Bir tahrik sistemi bir dizi silindiri döndürür ve silindirlere döndükçe esnek hortumu sıkıştırır ve serbest bırakır. Bu sıkıştırma işlemi, hortumun içine sıvıyı çeken bir vakum oluşturur. Esnek hortum işlem sırasında ıslanan tek kısımdır ve bu durum kullanım kolaylığı açısından büyük bir avantaj sunar.

### 3.3.9 Oransal Kontrol Vanası

Oransal Kontrol Vanası; gaz ve benzeri akışkanların sistemin ihtiyacını karşılama doğrultusunda herhangi bir kayba uğramadan amaçlarına uygun olarak taşınabilmesini ve kontrol edilmesini sağlar. Otomatik kontrol vanası genel olarak bir boru sistemindeki akışkanı, istenilen zamanda ve kontrol-emniyet fonksiyonlarını yerine getirecek şekilde durduran, kısar (ayarlayan) veya akışkana yol vermeye yarayan son kontrol ekipmanıdır.

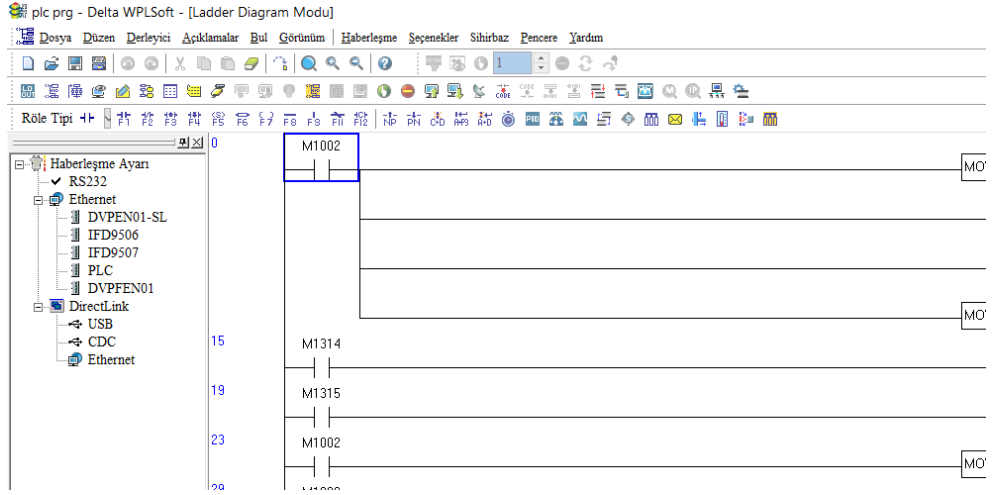
Oransal kontrol vanalarının uygulama alanları endüstriyel tesislerden santrallere, besleme ve dağıtım sistemlerine kadar uzanır. Kontrol vanaları, vana ve tahrik ünitesinden oluşur. Opsiyonel olarak pnömatik, elektrikli ve elektrohidrolik veya el kumandalı tahrik üniteleri mevcuttur. Kontrol amaçlı olarak pozisyoner, limit switch ve selenoid vanalar gibi aksesuarlar vanalara ilave edilebilirler. Vana gövde malzemesi olarak pik döküm, sferoidal grafit döküm, dökme çelik, paslanmaz veya soğuğa dayanıklı döküm çelik, dövme çelik, paslanmaz dövme çelik veya özel malzemeler kullanılabilir. Komple olarak korozyona dayanıklı versiyonlar da mevcuttur.

Elektro pnömatik pozisyonerler, kontrol sistemlerinden gelen elektriksel sinyallerin kontrol vanalarının kullandığı pnömatik sinyallere çevrilmesi ve bu sayede vanaya uygun pozisyonu vermek amacıyla kullanılır.

### **3.4 Yazılım Seçimleri**

#### **3.4.1 WPLSoft**

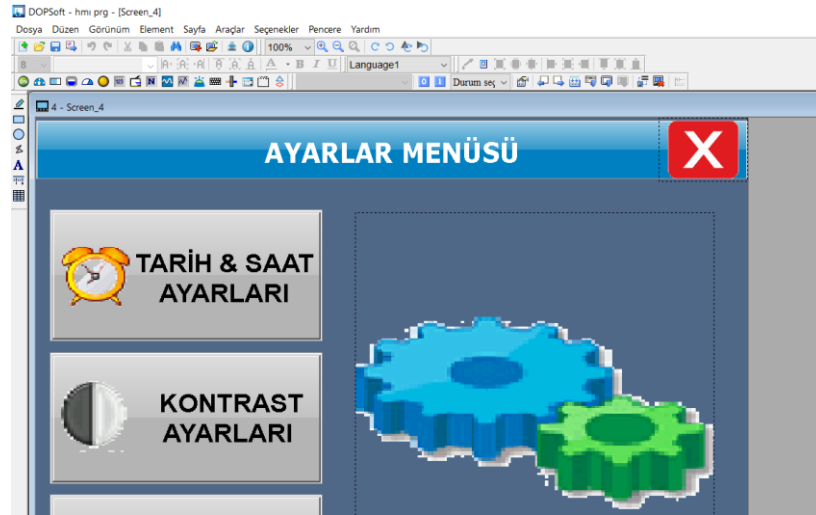
WPLsoft programı, Delta firmasının üretmiş olduğu PLC'lerin programlanması için kullanılan bir yazılımdır. Yazılım ile sistemde kullanılan PLC içerikleri eş zamanlı olarak görüntülenebilmekte ve PLC kontrolü sağlanabilmektedir. Program aynı zamanda simülasyon da yapabilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: WPL soft yazılımı.

### 3.4.2 Dopsoft

Dopsoft yazılımı, Delta firmasının üretmiş olduğu HMI olarak adlandırılan ve açılımı “Human Machine Interface” olan ekranları programlamak için kullanılan bir editör programdır. Program vasıtası ile ara yüzler oluşturulur ve HMI içerisine yüklenir. Program içerisine yazılan adresler vasıtasıyla PLC ile iletişim sağlanır. Program aynı zamanda simülasyon da yapabilmektedir (Şekil 3.8) [51].



Şekil 3.8: Dopsoft yazılımı.



### **3.5 Endüstriyel Haberleşme Protokolleri**

Sistemlerdeki işleme ve analiz işlemleri, sistemler arası veri toplama, otomasyon sistemlerinin bilgisayar ve PLC sistemleriyle haberleşmesi sonucu gerçekleştirilmektedir. Haberleşmede verici ve alıcı arasındaki iletişimin hızlı ve güvenilir olması için kullanılan cihazlara göre bazı kuralların belirlenmesi gerekir. Bu kuralların belirlenmesiyle haberleşme protokolleri belirlenmiş olur. Tüm protokollerin kendine has özellikleri belirlenmiştir. Cihazların da bu protokollere uygun olması gerekmektedir.

#### **3.5.1 Kapalı Sistem Haberleşme Protokolleri**

Kapalı sistem haberleşme protokolleri, üretici firmanın sadece kendi ürünleri arasında haberleşme sağlayacak şekilde geliştirdiği haberleşme protokoller olup açık sistem haberleşme protokollerine göre daha az tercih edilmektedir [52].

#### **3.5.2 Açık Sistem Haberleşme Protokolleri**

Açık sistem haberleşme protokolleri, üretici firmadan bağımsız, aynı işlevleri sergileyen bütün ekipmanlar arasında haberleşme sağlayacak bir şekilde geliştirilen haberleşme protokolüdür. Bu protokolde farklı firmalar arası ürünler birbiri ile haberleşme sağlayabilirler [52].

Açık sistem haberleşme protokolleri temel olarak 8'e ayrılır;

##### **3.5.2.1 Fieldbus Protokolü**

Fieldbus, otomasyon ürünleri ve bilgisayardan oluşan alan ağıdır. Yüksek çözünürlüklü ölçme ve yüksek güvenilirlik sağlayan Fieldbus, aynı zamanda kendini test edebilme özelliğine sahiptir ve bu protokolde yuvarlama kaybı da yoktur. Çok fonksiyonlu saha birimlerinin olması dolayısıyla birçok yerde kullanılmaktadır. Kurduğu döngülerle PLC sistemlerini kendi aralarında haberleştirebilir. Aynı zamanda

bu döngüler yardımıyla tesislerde, geniş ölçekli elektronik elemanlar arasında herhangi bir arıza durumunda arızanın yerini önceden belirleyerek kullanıcıya tam olarak gösterebilir.

### **3.5.2.2 Profibus Protokolü**

Harici bir çevirme ekipmanına gerek duymaksız farklı üreticilerin cihazları arasında haberleşmeyi sağlayan profibus, cihazların üreticilerinden bağımsız açık saha protokolüdür. Hızlı veri alışverişi sağlar. Böylelikle yüksek hız gerektiren kritik uygulamalar ve karmaşık yapıdaki haberleşme işlerinde yaygın olarak tercih edilirler. Geniş ölçekli üretim ve proses otomasyonu için tasarlanmıştır. Bu protokolde cihazların değiştirilebilmesi mümkündür. Profibus'ta her bir bus bölümüne 32 olmak üzere, toplamda 126 katılımcı bağlanabilir. Çevre birimleri, slave ler ve saha elemanları çalışma esnasında sisteme dahil edilebilir veya çıkarılabilir. İki damarlı blendajlı kablo veya optik iletkenler yardımıyla veri transferi gerçekleştirilir.

### **3.5.2.3 Modbus Protokolü**

Modbus, PLC'ler arası seri haberleşme protokolü olarak MODICON firması tarafından üretilmiştir. Basit ve güçlü yapısı sayesinde endüstride en çok kullanılan protokoldür. Farklı cihazlar arasındaki haberleşmeyi sağlayabilen sunucu istemci tabanlı bir protokoldür. Dolayısıyla verilerin bir cihazdan alınıp bir veri merkezinde toplanabildiği ağ sistemidir. Açık bir protokoldür. Üreticiler herhangi bir ödeme yapmaksızın kullanabilirler.

Modbus, aygıtları programlamak ve Master/Slave sistemlerini izlemek için de kullanılır. Modbus ağında 1 Master ile birlikte 247 Slave cihaz bulunabilir. Master cihaz, Slave cihazlardan aldığı verilere göre yine Slave cihazlara komut gönderebilir.

Kısa mesafeli bağlantılarda RS232 seri haberleşme standardını kullanan Modbus, uzun bağlantılarda ise RS485 seri haberleşme standardını kullanır. Bu protokolde veriler 1 ve 0'lardan oluşan bitler halinde taşınır.

Esnekliği yüksek olan Modbus, algılayıcılar ve diğer aygıtları birbirleriyle haberleştirmek için veya alan içerisindeki cihazları uzaktan bilgisayar ile kontrol edebilmek için kullanılabilir. Aynı zamanda sadece PLC ve bilgisayar sistemlerinde değil, gelişmiş sensörlerde de kullanılmaktadır.

#### **3.5.2.4 CANBus Protokolü**

CANBus (Controller Area Network Bus/Kontrol Alan Ağı Veriyolu) protokolü, Robert Bosch tarafından geliştirilmiştir. Canbus ile birden çok kablo yerine tek bir kablo kullanılarak veri transferi hedeflenmiştir. Otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. İstatistiksel olarak 100 yılda 1 tane mesaj hatası yapabildiği tespit edilmiştir. Bu yüksek güvenilirliği sayesinde endüstriyel kontrol uygulamalarında da kullanılır. Akıllı binalar ve laboratuvar ortamları, akıllı sensörler, motor kontrolü, otomobil elektroniği, makine kontrol birimleri gibi uygulama alanlarında en fazla 1Mbit/sn'lik iletişim hızına sahiptir. Aynı zamanda bu protokolde tüm üniteler, hattına veri yollamada eşit önceliğe sahiptir. Buna “multimaster” denir. Bu durum sonucu üniteler bir anda veri yollamaya çalışırsa çatışmalar yaşanır. Bunu önlemek için de sistem tüm üniteleri izler ve hattın boş olduğu anı yakalamaya çalışır. Hattı boş gören ünite verisini gönderir.

#### **3.5.2.5 DeviceNet Protokolü**

Akıllı sensör ve aktüatörler için Allen-Bradley tarafından geliştirilen endüstriyel iletişim protokolü olan DeviceNet ile düşük seviyeli aygıtlara bağlanılabilir ve PC veya PLC gibi daha üst seviyeli aygıtlarla haberleşme sağlanabilir. CAN mimarisi üzerine kurulan DeviceNet açık ve düşük maliyetlidir. Güvenilirlik ve performans ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmış, kararlı yapıya sahip DeviceNet, kararlı bir yapıya sahip olmasıyla kendini ispatlamış bir protokoldür. Bu protokolde her aygıt ve kontrolör ağda bir düğümdür.

Mesaj sıralama önceliği bulunan DeviceNet protokolü, çok yönlü iletişim yapısına sahip üretici-tüketici protokolüdür. I/O ve açık mesajlaşmayı destekler. Endüstriyel kontrolörlerle I/O cihazlarını birbirine bağlar ve bu cihazlar arasında

iletişim sağlar. Önemli özelliklerinden birisi de ağdan güç elde etmesidir. Bunun sonucunda sınırlı güç gereksinimi durumunda ağdan güç almalarını sağlar. En güç durumlarda bile aygıt seviyesi hata teşhisi ve tespitlerini yapabilir.

### **3.5.2.6 AS-i Protokolü**

AS-i (Aktüatör Sensör-Arayüzü), PLC, DCS ve PC tabanlı otomasyon sistemlerinde kullanılan bir endüstriyel iletişim protokolüdür. Paralel kablolamaya göre en basit alternatiftir. Henüz tam anlamıyla standartlaşmaya gidememiştir. Son derece basit ve ucuz olmasının yanı sıra oldukça güvenilir bir sistemdir. Özel veri dönüştürücülerle Profibus DP sinyalleri AS-i formatına çevrilerek kullanılabilir. Temelde algılayıcıdan gelen sinyalleri işler ve aktüatörleri yöneten valfleri kontrol eder. Bu iş için standart giriş/çıkış modülleri vardır. Sisteme Master ve buna bağlı en fazla 31 alt düzey kontrol sistemi bağlanabilir. AS-i, doğrudan bağlanabildiği otomasyon sisteminde, başka bir alt sistemin mantıksal komponent grubu olarak da bulunabilir.

### **3.5.2.7 INTERBUS Protokolü**

Kontrol sistemleri arasında (PC, PLC, otomasyon kontrolörleri vb.) veri aktaran seri bus sistemidir. Phoenix Contact firması tarafından geliştirilmiştir. Çift yönlü veri iletişimi gerçekleştiren sistem, kapalı alan topolojisi ile haberleşme sağlar.

### **3.5.2.8 HART Protokolü**

HART (Highway Addressable Remote Transducer), akıllı sistemler ile izleme sistemi arasında analog kablolar kullanarak dijital bilgileri göndermemizi ve almamızı sağlayan protokoldür. Ana sistemler ile akıllı cihazlar arasındaki veri iletişimini çift yönlü olarak sağlar. Maksimum iletim hızı kullanılan fiziksel katmana bağlıdır. En önemli özelliği 4-20 mA üzerinden kablolama gereçleriyle iletişim kurabilir olmasıdır.

## 4. YÖNTEM

Gerçekleştirilen çalışmada, deneysel olarak hazırlanan Jet-Loop Mebran reaktör düzeneği referans yapı olarak seçilmiştir. Balıkesir Üniversitesi Çevre Mühendisliği öğretim üyeleri tarafından hazırlanmış olan Tübitak projesi kapsamında kurulmuş bu tesis Balıkesir Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında manuel olarak çalıştırılmaktaydı. Sistemin sürekli değişen parametreleri ve sürekli izlenmesi zorunluluğu otomasyon sisteminin hazırlanmasını zorunlu kılmaktadır.

Çalışma metodolojik olarak iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada; deney düzeneği üzerinde kontrol edilecek parametreler ve kontrol mekanizmaları belirlenmiş, ikinci aşamada sistemin PLC ortamında kontrolünü sağlayacak program yazılmıştır. İşlemler sonucunda otomatik olarak kontrol edilebilen ve takip edilmesi istenen parametrelerin kaydedilebildiği deneysel bir izleme, kontrol etme ve raporlama sistemi geliştirilmiştir.

Bu bölümde, hazırlanan Jet loop Mebran Reaktör sistemi, sistemde kullanılan ekipmanların seçimi ve hazırlanan PLC programı anlatılmıştır.

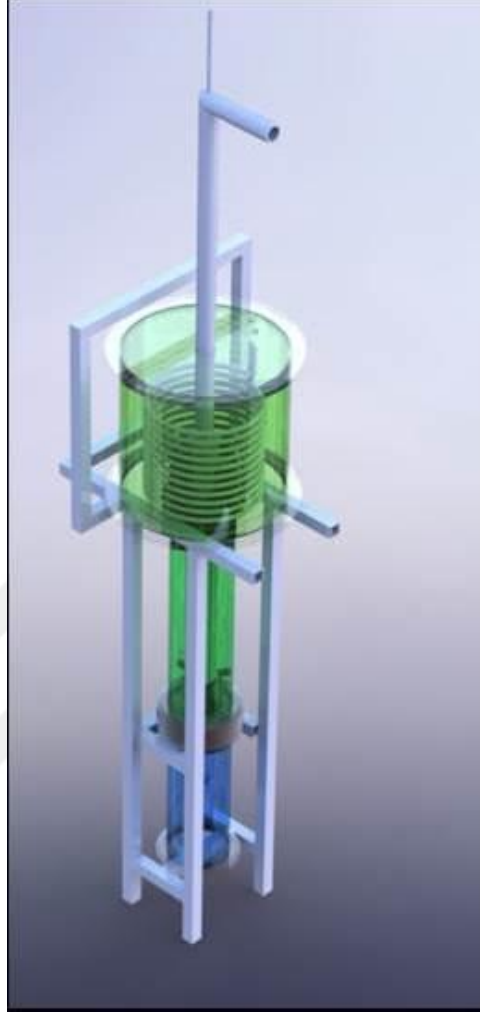
### 4.1 Kullanılan Sistem

Sistemde kullanılan bütün borular ve su ile temas halindeki parçalar plastik malzemeden seçilmiştir. Püskürtme başlığını tam olarak ortalayan ve paslanmaz çelikten imal edilmiş hava borusu 1 mm et kalınlığına sahiptir.

Çalışma kapsamında biyoreaktörde oksijensiz bir bölge oluşturulmuştur. bölmenin tabanına çarpma levhası olarak değişik geometride fan yerleştirilmiştir. Bu fanlar jetin gücünü, karıştırıcı ve kanada aktarmak üzere üretilmiştir. Fanlar 3D yazıcıdan farklı malzemeler kullanılarak üretilmiştir. En son olarak (ABS, PLA filamentleri) bu malzemelerden uygun olanı PLA ile üretilmiştir.

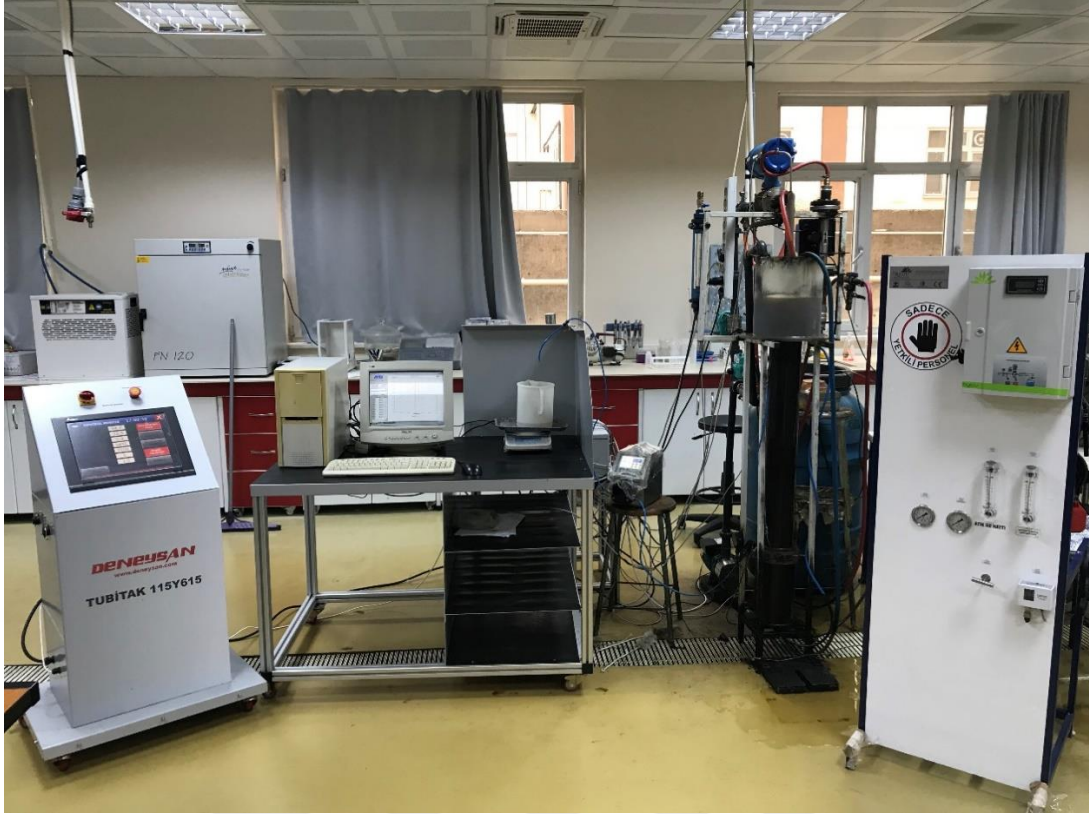
Reaktör 120 cm toplam yüksekliğe ve 12 cm dış çapa sahip, 3 mm et kalınlığında akrilik borudan imal edilmiştir. Reaktör iki parça imal edilmiş ve

ürettirilen flanşlar yardımıyla birleştirilmiştir. Reaktörün genel görünümü Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

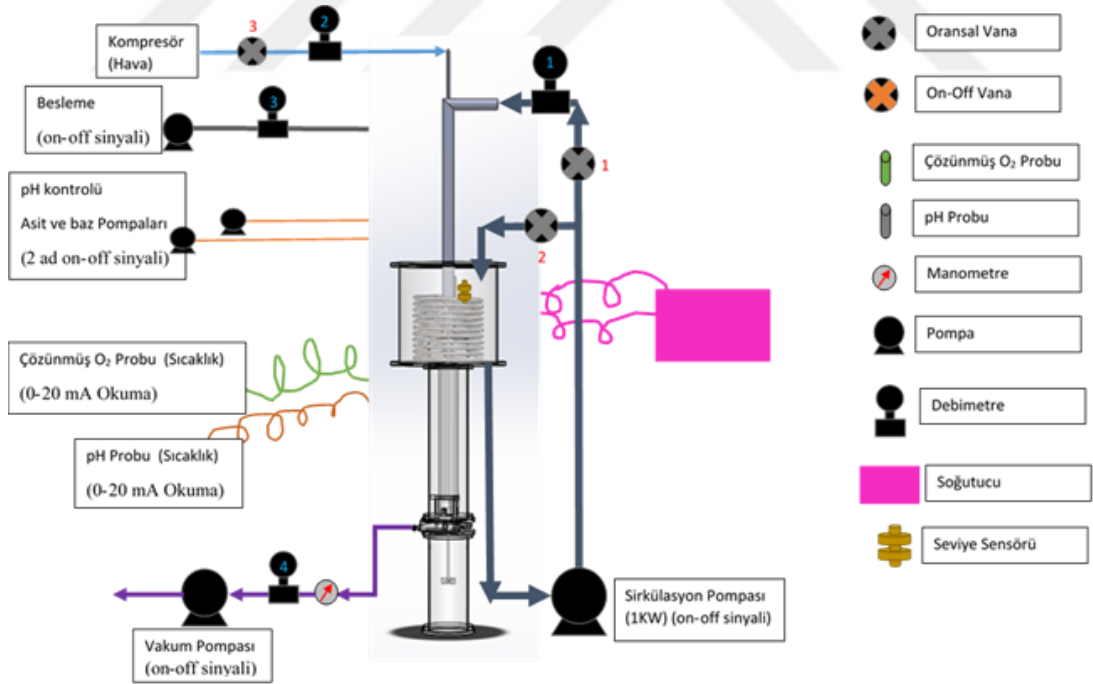


Şekil 4.1: Reaktörün genel görünümü.

Proje kapsamında geliştirilen reaktörün çalışma şartlarının ve performansının gözlemlenebilmesi ve sistemin veriminin artırılabilmesi için otomasyon sistemi kurulmuştur. Kurulan deneysel sistemin genel görüntüsü Şekil 4.2’de, sistemin otomasyon bileşenleri Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.2: Deneysel sistemin genel görüntüsü.



Şekil 4.3: Sistemin otomasyon bileşenleri.

Sistemin kontrolü için sistem tarafından alınan giriş parametrelerinin, PLC tarafından değerlendirilip çıkış olarak sunulması gereklidir. Sistemimizde kullanılan giriş ve çıkış parametreleri Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Sistemin giriş ve çıkış parametreleri.

Geliştirilen reaktörün en önemli özelliği atıksu arıtım sürecinde çözülmüş oksijen miktarının çok yüksek olmasını sağlaması ve buna bağlı olarak arıtım süreçlerini hızlandırmasıdır. Reaktörde atıksuya yüksek seviyede oksijen transferini sağlayan, etken jet akımının oluşumu ile jet akımına karışan havanın küçük kabarcıklara ayrılarak tüm atıksu kütlesi içerisinde yüksek düzeyde transfer yüzeyi oluşturmasıdır. Transfer yüzeyinin artmasını sağlamanın iki yöntemi vardır. Bunlardan birisi jet akımına karıştırılan hava miktarının artırılması diğeri ise havanın jet akış gücü ile küçük kabarcıklara parçalanmasıdır. Oksijen transfer miktarının artırılması için jet akımının artırılması gerekir. Fakat reaktör içerisine verilen hava miktarının fazlaşması jet akımını oluşturan pompanın arızalanmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle jet akımına verilen hava miktarı belirli bir değerin üzerine çıkartılmamalıdır. Jet akımının da enerji sarfiyatı ve arıtma performansındaki kazanım dikkate alınarak optimum değerde tutulması gerekir. Bunların sonucunda; jet akımının otomasyon sistemi tarafından ayarlanabilmesi gereklidir. Geliştirilen reaktörde jet akımının oluşturulması için LEO marka 1 kW gücünde tek fazlı sirkülasyon pompası kullanılmaktadır. Pompanın devreye alınıp devreden çıkartılabilmesi için pompanın elektrik hattına elektriksiz olarak kontrol edilebilen açma kapama kontaktörü bağlanmıştır. Pompa doğrudan şebeke üzerinden sabit güç ile çalıştırıldığından debi ayarının yapılabilmesi için pompa çıkışındaki jet hattına paralel olarak bir bypass hattı bağlanmıştır. Pompa çıkışında bulunan bu hatlar üzerinden geçen debilerin pompayı zorlamayacak şekilde ayarlanabilmesi için her iki hat üzerine Altigen Kosplus KE005-8G model oransal atıksu vanası (Şekil 4.3’deki 1 ve 2 nolu oransal vanalar)



bağlanmıştır. Bu vanaların açıklık oranları elle ya da üzerlerinde bulunan 4-20 mA kontrol girişleri vasıtası ile elektriksel olarak kontrol edilebilmektedir. Jet hattındaki akış debisinin ölçülebilmesi için bu hatta Tecfluid FLOMID-MX marka atıksu debimetresi (Şekil 4.3'deki 1 nolu debimetre) bağlanmıştır. Bu debimetre 100 - 5000 L/h ölçüm aralığına sahip, 4-20 mA elektriksel ölçüm çıkışı verebilmektedir (Şekil 4.5). Kullanılan debimetrenin özellikleri Tablo 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4.5: FLOMID – MX debi metre.

Tablo 4.1: FLOMID – MX debi metre özellikleri.

Özellik	Değer
Hassasiyet	$\pm 0.5$ %
Debi ölçme aralığı	100 - 5000 L/h
Ölçüm Bilgi Çıkışı	4-20 mA
Sıcaklık değeri	PP: -20...+80°C

Reaktörde oluşturulan jet akışının içerisine hava karıştırılma işlemi kompresör vasıtası ile sağlanan basınçlı hava kullanılarak yapılmaktadır. Enjekte edilen havanın debisinin ölçülebilmesi için basınçlı hava giriş hattı üzerine Flowtech KF-800 marka hava debimetresi (Şekil 4.3'deki 2 nolu debimetre) bağlanmıştır. Bu debimetre 0,6 – 16 m<sup>3</sup>/saat ölçüm aralığına sahip, 4-20 mA elektriksel ölçüm çıkışı verebilmektedir (Şekil 4.6). Hava debisinin kontrol edilebilmesi için ise hava giriş hattı üzerine 4-20mA elektriksel kontrol girişine sahip Altıgen Kosaplus KE005-8G model oransal hava vanası (Şekil 4.3'deki 3 nolu oransal vana) bağlanmıştır.



Şekil 4.6: Flowtech KF-800 debi metre.

Reaktördeki çözülmüş oksijen miktarı Eutech marka ECDOGEN-S model çözülmüş oksijen probu vasıtası ile ölçülmektedir. Ölçüm probu, 0-100mV analog çıkış vermektedir.

Reaktör içerisinde bulunan atıksuyun pH seviyesinin ölçülmesi için Eutech marka EC100GTSO05B model pH probu kullanılmaktadır. Atıksuyun pH seviyesinin istenilen değere göre ayarlanabilmesi için reaktöre asit ve baz karıştırılmasını sağlayan iki adet elektriksel olarak açma kapama özelliğine sahip Shenchen marka F6 model peristaltik pompa bağlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: Shenchen F6 peristaltik pompa.

Reaktöre atıksu beslemesi için Longer Pump marka bir besleme pompası bağlanmıştır. Bu pompa elektrik hattı üzerine bağlanan kontaktör vasıtası ile elektriksel olarak açılıp kapatılabilmektedir. Reaktör içerisine yerleştirilen elektromekanik seviye sensörü vasıtası ile reaktördeki atıksu miktarı ölçülebilmekte ve besleme pompası çalıştırılmaktadır. Seviye sensöründen düşük seviye ve yüksek seviye olmak üzere iki seviye bilgisi okunabilmektedir. Seviye bilgileri dijital çıkış olarak alınmaktadır.

Reaktörde arıtılan atıksu, sisteme bağlanan Shenchen marka F6 model peristaltik pompa ile membranların içinden vakumlanarak alınmaktadır. Vakum yapan peristaltik pompanın kontrolü elektrik hattı üzerine bağlanan elektriksel kontrollü kontaktör vasıtası ile aç kapa şeklinde sağlanmaktadır. Vakum hattında oluşan basınç, arıtılmış su hattına bağlanan manometre (Şekil 4.3'deki 1 nolu debimetre) ile ölçülmektedir. Bu debimetre 4-20 mA elektriksel ölçüm çıkışı verebilmektedir.

Reaktör içerisindeki atıksuyun ısı kontrolü, reaktör içerisine yerleştirilen eşanjör ve ona bağlı elektriksel açma kapama özelliğine sahip soğutma ekipmanı sayesinde yapılmaktadır.

Çalışmada bölüm 3.3.1.2 deki seçim parametreleri değerlendirilerek alınması gerekli ölçümler başta olmak üzere, gerekli kontrol işlemlerin yerine getirmek üzere Şekil 4.8 de verilen DELTA marka DVP-14SS211R PLC tercih edilmiştir. PLC biriminin dış aygıtlardan bilgi alabilmesi için elektronik dönüşüm yapan modüller kullanılmıştır. Tablo 4.2 de kullanılan PLC nin teknik özellikleri verilmiştir.

**Tablo 4.2:** DELTA DVP-14SS211R PLC özellikleri.

<b>Özellik</b>	<b>Açıklama</b>
İşlemci	32 Bit
Program Kapasitesi	8k Step
Haberleşme	RS232 + RS485
Giriş Sayısı	8 Dijital Giriş
Çıkış Sayısı	6 Röle Çıkışı



**Şekil 4.8:** DELTA DVP-14SS211R PLC.

Mevcut PLC sistemi ile yetersiz kanal yapısı ve tipi nedeniyle bütün verileri izlemek mümkün değildir. Bu nedenle sistemimizde PLC genişletme modülleri kullanılmıştır. Kullanılan genişletme modülü yerleşimleri genel görünümü Şekil 4.13’de verilmiştir. Kullanılan modüller aşağıdaki gibidir:

Sıcaklık modülü; sistemdeki PT100 ler tarafından alınan sıcaklık bilgisinin PLC tarafından algılanabilmesi için DELTA DVP-04PT-S(16 bit çözünürlüklü, 4 adet PT100/PT1000 girişi) modellen sıcaklık modülü kullanılmıştır (Şekil 4.9).



**Şekil 4.9:** Sıcaklık modülü.

Dijital giriş, çıkış modülü; sistemden daha fazla bilgi alabilmek için ilave giriş ve çıkış modülü kullanılmıştır. Modül olarak DVP-16SP11R (8 girişli / 8 röle çıkışlı) tercih edilmiştir.

Analog giriş modülü; sistemdeki analog verileri okuyabilmek için analog giriş modülü kullanılmıştır. Modül olarak DVP-04AD-S2 (4 adet analog giriş) tercih edilmiştir. Bu modül analog giriş sayısını arttırmak amaçlı 2 adet kullanılmıştır.

Bunların haricinde Ph ve çözünmüş oksijen sensöründen alınan 0-100mV analog çıkışları okuyabilmek için 4 kanallı özel üretim 0-100mV analog giriş portu kullanılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: 0-100mV analog giriş portu genişleme modülü.

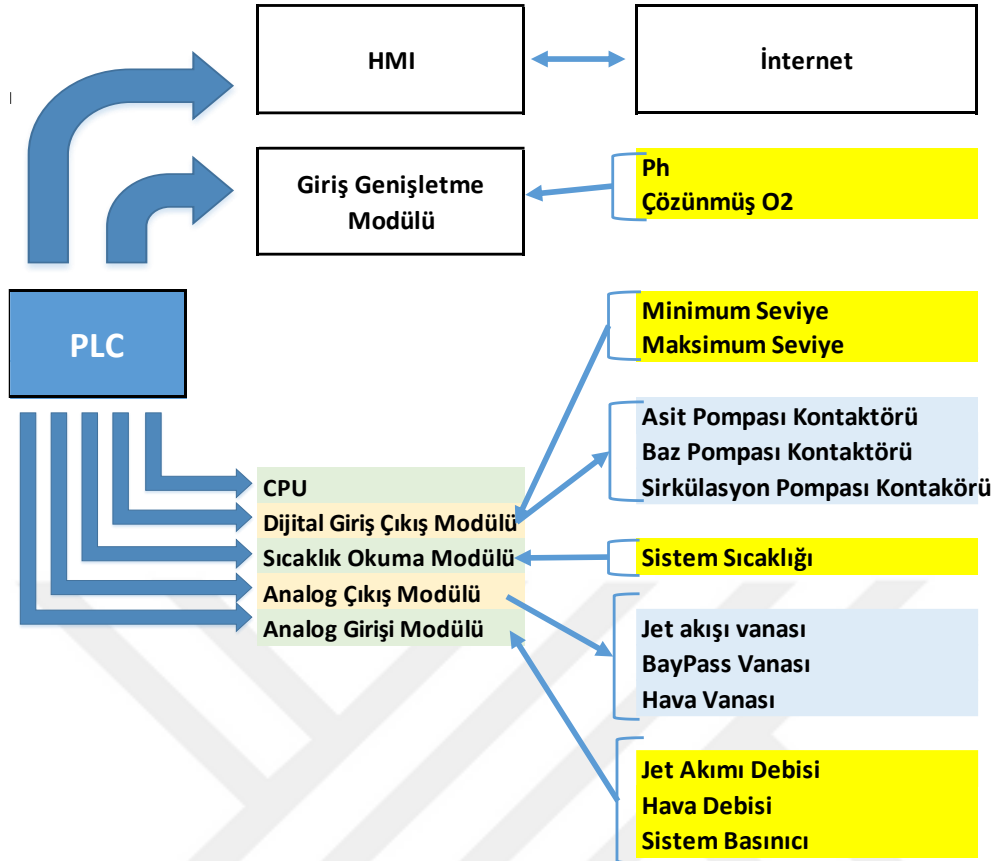
Geliştirilen otomasyon yazılımının kullanıcı tarafından kumandasının kolayca yapılabilmesi ve verilerin görselleştirilebilmesi için Delta marka DOP-W157B model ekran sisteme dahil edilmiştir (Şekil 4.11). Kullanılan HMI ekran 15" boyutunda olup veri girişi dokunmatik olarak sağlanmaktadır. 1024x768 pixel ekran çözünürlüğüne sahip olup gerçek zaman saati, dahili sesli ikazı gibi özelliklere sahiptir. USB, COM1 (RS-232), COM2&COM3 (RS-232/485/422), RJ-45 ethernet haberleşme portları mevcuttur. Çalışmamızda ethernet haberleşme protokolü tercih edilmiştir. Alüminyum kasa HMI ekran IP64 koruma sınıfına sahiptir. Ayrıca bu ekran sayesinde internet üzerinden de kumanda paneli izlenebilmekte ve kumanda edilebilmektedir. Kumanda

panelinin internet üzerinden görüntülenebilmesi ve kumanda edilebilmesi için VNC programı kurulu bir bilgisayar yada mobil cihazda VNC programına IP adresi girilmesi yeterlidir.

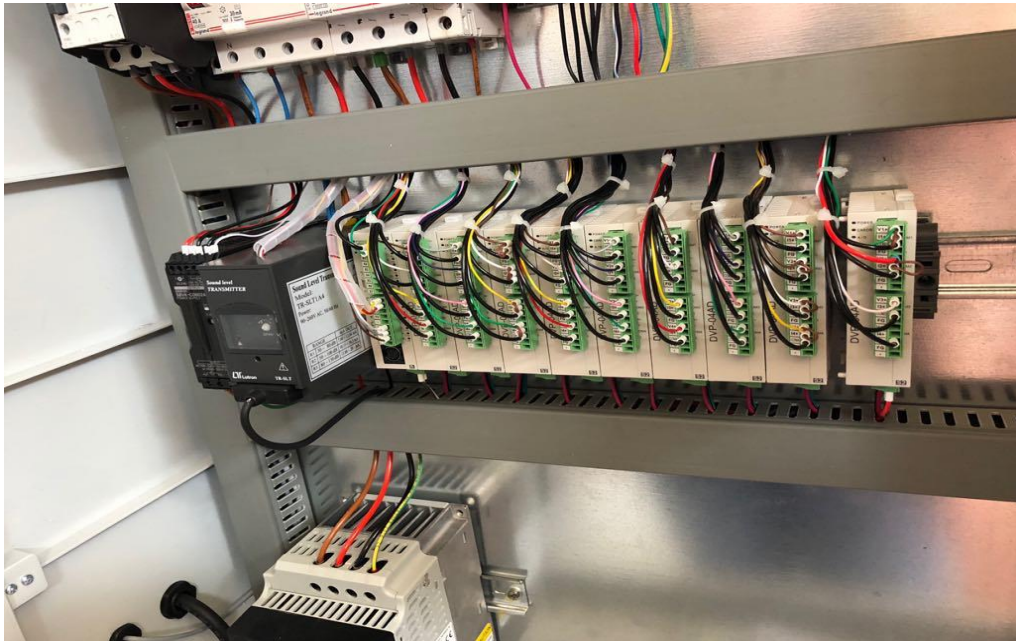


Şekil 4.11: HMI ekran.

Sistemde kullanılan modüllerin özet şeması Şekil 4.12’de verilmiştir. Giriş genişletme modülü ve HMI ekran harici modüller CPU üzerine direkt takılan ürünler olup ek bir haberleşme protokolüne ihtiyaç duyulmamaktadır. HMI ekran Ethernet, giriş genişletme modülü ve MODBUS haberleşme alt yapısını kullanmaktadır. PLC için gerekli 24 VDC gerilimi sağlamak için Omron marka 10A’lık güç kaynağı kullanılmıştır. PLC ve modülleri Şekil 4.13’ de gösterilmiştir.



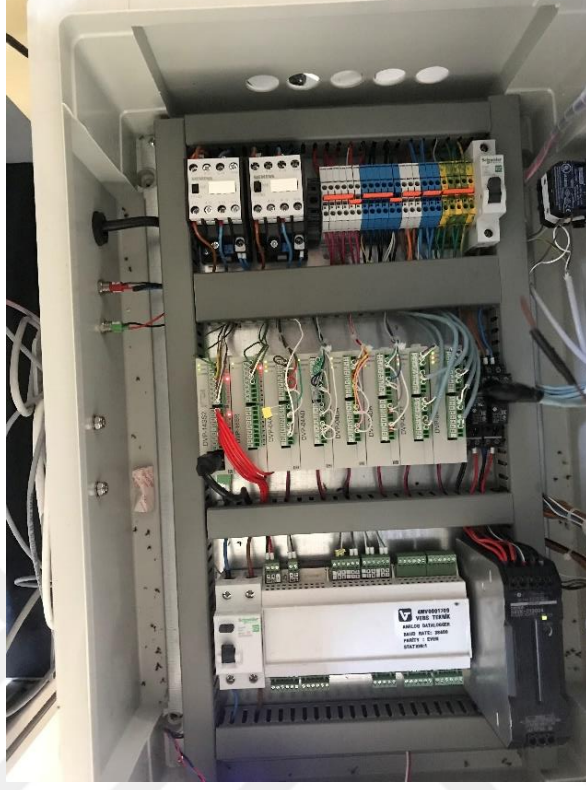
Şekil 4.12: Sisteme bağlanan modüller.



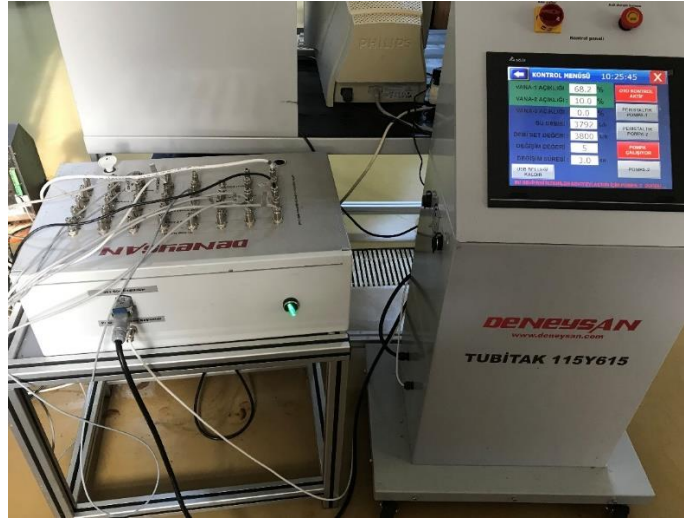
Şekil 4.13: PLC ve modülleri.



Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de sırasıyla oluşturulan otomasyon panosun iç-dış görünümünü ve kumanda panelinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.14: Otomasyon panosunun iç görünümü.



Şekil 4.15: Kumanda paneli ve otomasyon panosunun görüntüsü.

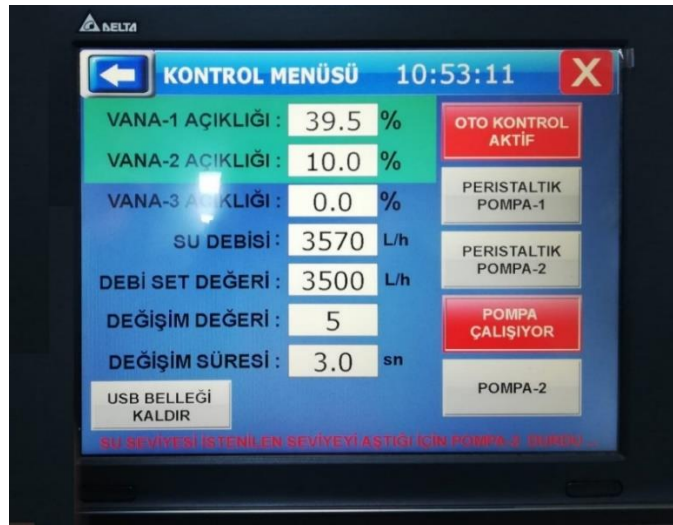


## 4.2 Hazırlanan Program

Geliştirilen otomasyon sisteminde iki temel çalışma prensibi benimsenerek kontrol yazılımı oluşturulmuştur. İlk çalışma şeklinde, sisteme bağlı tüm sensörlerin değerleri ölçülüp USB bellek üzerine kaydedilmekte ve aynı zamanda kontrol paneli üzerinde görüntülenmektedir. Ayrıca sisteme bağlı yukarıda anlatılmış olan tüm kontrol ekipmanları da (oransal vanalar, pompalar ve soğutucu) kumanda paneli üzerinden el ile kumanda edilebilmektedir. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de ölçüm ekranı ve elle kontrol ekranı görülmektedir.

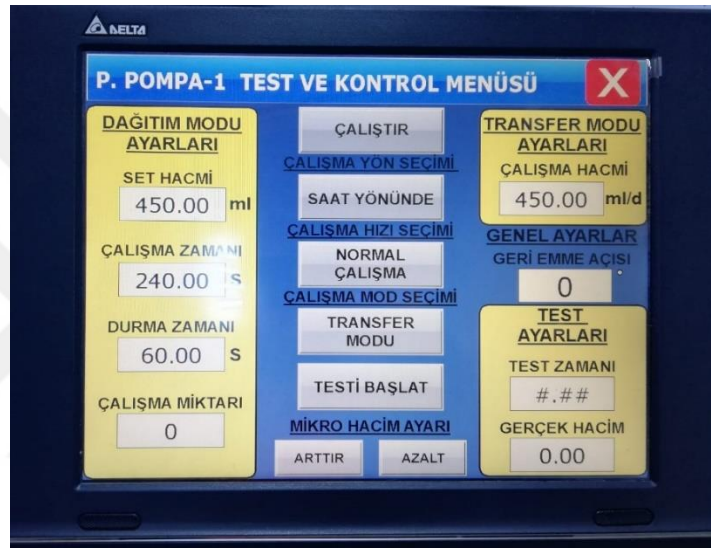


Şekil 4.16: Ölçüm ekranı.



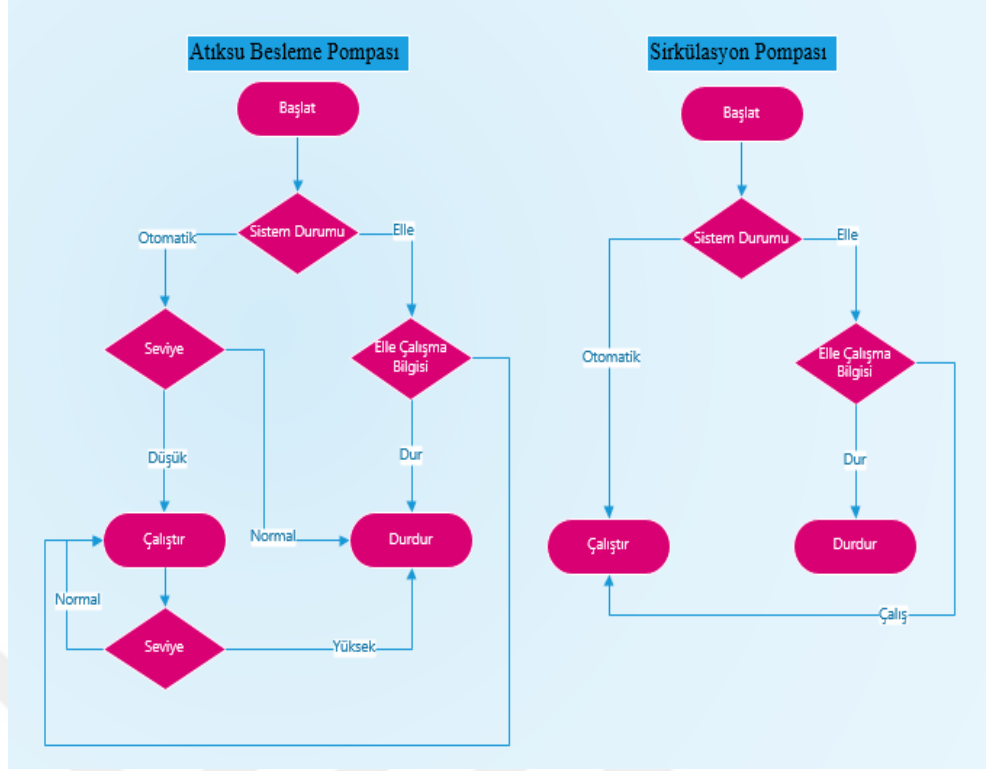
Şekil 4.17: Kontrol ekranı.

İkinci çalışma şeklinde ise sistem otomatik olarak çalışmaktadır. Bu çalışma şeklinde de sensörlerin tamamından alınan ölçümler USB bellek üzerine kaydedilmekte ve kumanda paneli üzerinde de gösterilmektedir. Sistemde oluşan pH değerinin 7 civarında tutulması için asit ve baz pompalama işlevlerini yerine getiren peristaltik pompalar pH probundan okunan değere göre çalıştırılmaktadır. Peristaltik pompalar PLC'ye MODBUS haberleşme protokolü üzerinden bağlı olduklarından çalışmaları için gereken ayar işlemleri de Şekil 4.18'de verilen ekran vasıtası ile yapılabilmektedir.



Şekil 4.18: Peristaltik pompa ayar ekranı.

Arıtılmış suyun alınabilmesi için bağlanan vakum pompası ve jet akımını oluşturmak için bağlanan sirkülasyon pompası otomatik çalışma modu aktif edildiğinde sürekli olarak çalıştırılmaktadır. Aynı modda atıksu besleme pompası da seviye sensöründen gelen düşük seviye sinyali geldiğinde otomatik olarak çalışmakta ve yüksek seviye bilgisi geldiğinde durmaktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19: Atıksu besleme pompası ve sirkülasyon pompası çalışma algoritması.

Jet akımının debisinin ayarlanması için deney başlangıcında kullanıcı tarafından kumanda panelinden girilen debi hedef değerine göre jet akı hattındaki ve bypass hattındaki oransal vanalar otomatik olarak ayarlanmaktadır. Şekil 4.3'deki 2 nolu oransal vananın değeri, girilen hedef değerın 2000 L/h değerinden küçük, 2000 L/h – 3000 L/h aralığında ve 3000 L/h değerinden büyük olması durumlarına göre sırasıyla %42.5, %20 ve %5 açıklıklarında sabit tutulur. Şekil 4.3'deki 1 nolu oransal vana ise Tablo 4.3'da verilen en dik iniş (steepest descent) arama algoritmasına göre ayarlanmaktadır. Akış sistemlerinde sıcaklık, basınç, akışındaki madde düzensizlikleri vb. gibi tahmin edilemeyen çevresel değişkenlerden dolayı sabit vana açıklıklarına karşın debi sabit kalmamaktadır. Bu durumla başa çıkabilmek için Tablo 4.3'deki arama algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmanın çalışması; başlangıçta vana açıklık oranı ( $K_{açıklık}$ ) sıfır, debi hedef değeri ( $R_{hedef}$ ) kullanıcı tarafından ayarlanan değer, vananın gecikmeli çalışmasından dolayı kararsız çalışmaya sebep olmamak adına bir sonraki çevrime geçmek için beklenilmesi gereken süreyi ( $T_{bekleme}$ ) 5sn, tepkisiz kalınacak en küçük hata değeri ( $E_{histeresis}$ ) 5 ve arama adım değeri Kadim 3 olarak ayarlanmaktadır. Daha sonra debimetreden akış debi bilgisi okunmakta ( $D_{akış}$ )

ve buna bağlı olarak debi hata değeri (E) belirlenmektedir. Hata değerinin duyarsızlık değerine ( $E_{\text{histeresis}}$ ) göre durumuna bakılarak bir sonraki vana açıklık oranı belirlenmektedir. Daha sonra sistemin tepki verme süresi ( $T_{\text{bekleme}}$ ) beklenmekte ve 2. adımdan sonsuz döngü halinde devam edilmektedir. Şekil 4.20’de vanaların elle kontrol ekranı, Şekil 4.21’de ise otomatik olarak kontrolünün göründüğü ekran verilmiştir.



Şekil 4.20: Vanaların elle kontrolü.



Şekil 4.21: Vanaların otomatik kontrolü.

Benzer Şekilde jet akımına karıŐtırılacak olan hava miktarı da ilgili debimetreden gelen debi bilgisi ve ilgili oransal vana kullanılarak yine kullanıcı tarafından belirlenen hedef akış değerine göre ayarlanmaktadır. Hava hattındaki oransal vana ile jet akış hatlarında kullanılan vanalar aynı mekanik özelliklere sahip

olduğundan bu vananın da açıklık oranı Tablo 4.3’de verilen algoritma kullanılarak belirlenmektedir.

**Tablo 4.3:** En dik iniş (steepest descent) arama algoritması.

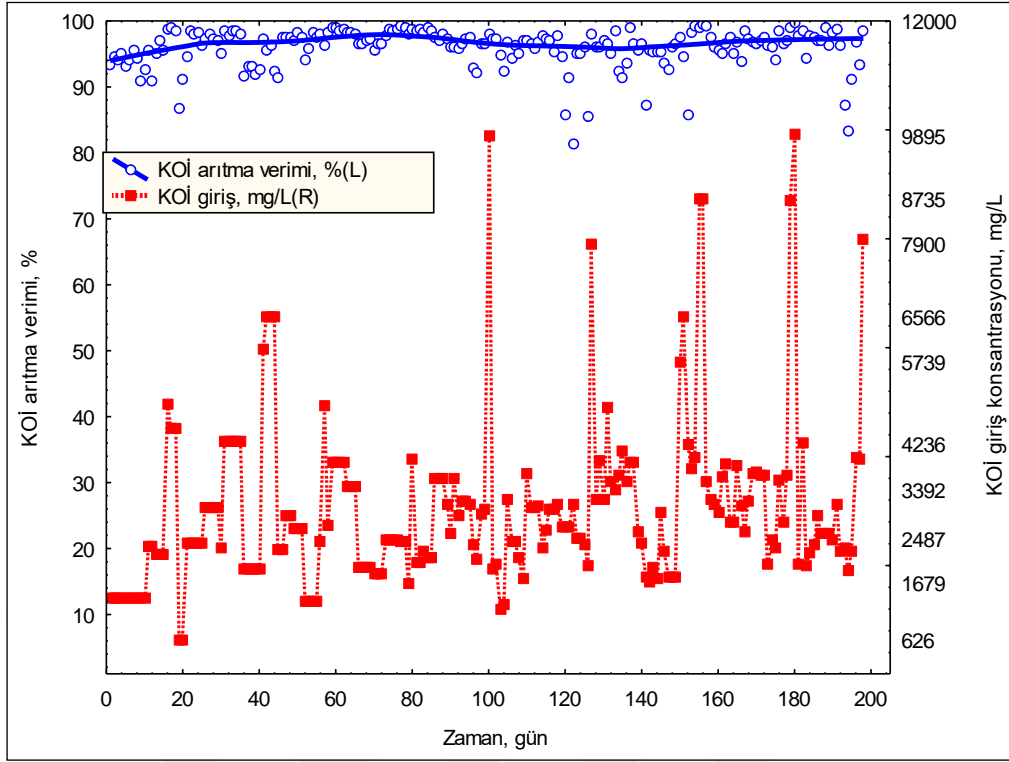
Adım	İşlem
1	Vana açıklık oranını belirle, $K_{açıklık} = 0$ Hedef değeri ayarla, $R_{hedef}$ Bekleme süresini ayarla, $T_{bekleme} = 5$ Duyarsızlık değerini belirle, $E_{histeresis} = 5$ Artım/azaltım değerini ayarla, $K_{adım} = 3$
2	Debimetreden akış debisini oku, $D_{akış}$
3	Hatayı hesapla, $E = R_{hedef} - D_{akış}$
4	Eğer $E > E_{histeresis}$ ise $K_{açıklık} = K_{açıklık} + K_{adım}$ Değilse Eğer $E < -E_{histeresis}$ ise $K_{açıklık} = K_{açıklık} - K_{adım}$ Değilse $K_{açıklık} = K_{açıklık}$
5	Tepki süresi $T_{bekleme}$ kadar bekle
6	Adım 2 ye git

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

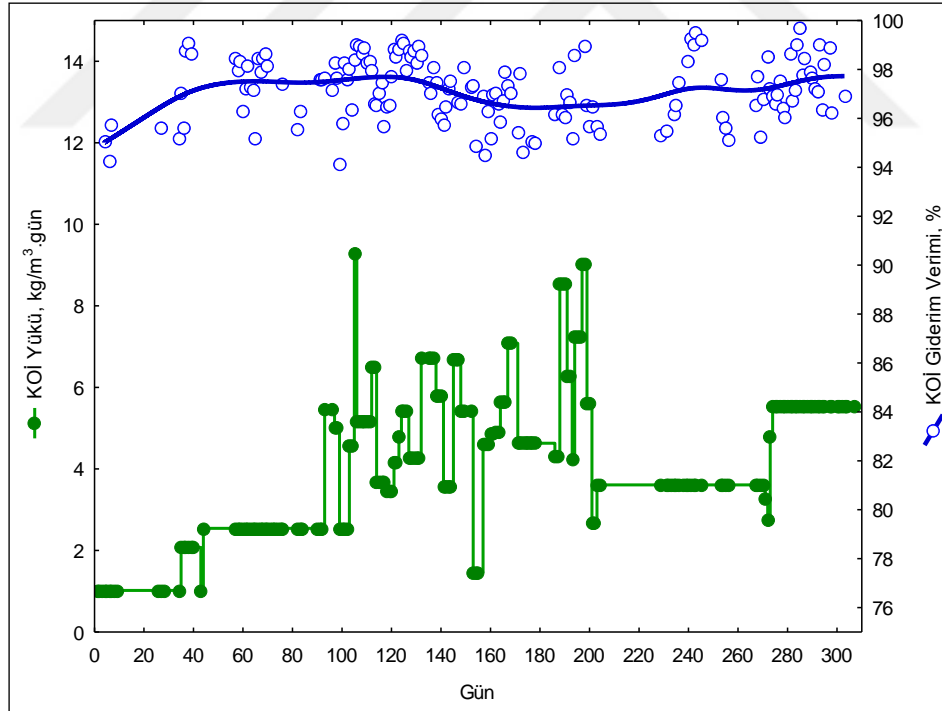
Bu çalışmada TUBİTAK tarafından 115Y615 proje numarasıyla desteklenen “Membran Draft Tüplü Jet Loop Reaktör” isimli proje kapsamında geliştirilen yeni nesil arıtma sisteminin tam otomasyonu gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen otomasyon sisteminde düşük maliyetli bir PLC donanım seti ve kullanıcı etkileşimi için internet üzerinden erişilebilirliği sağlayan bir HMI ekran kullanılmıştır. Arıtma sisteminin izlenmesi ve kontrol edilmesi için gereken tüm ölçüm parametreleri otomasyon sistemi tarafından hem HMI ekran üzerinden görselleştirilmiş hem de bir USB bellek üzerine veri kaydının yapılması sağlanmıştır. Sistem çalışma parametreleri HMI ekran vasıtası ile internet bağlantısının bulunduğu herhangi bir konumdan gözlemlenebilmekte ve aynı zamanda değiştirilebilmektedir. Sistemin internet erişimli olması dolayısı ile Endüstri 4.0 kapsamında daha gelişmiş çalışmalar için zemin hazırlanmıştır.

Otomasyonu yapılan arıtma sisteminin sürekli değişen ve lineer olmayan parametreler barındırması ve kontrol probleminin PID gibi klasik yöntemlerle çözülememesi dolayısıyla en dik iniş yöntemi tabanlı adaptif bir kontrol algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrol algoritması sayesinde sistem çalışma parametrelerinin değişkenliklerine rağmen sistem veriminin ve arıtma tesisi çıkış parametrelerinin stabil kalması sağlanmış ve arıtma performansı arttırılmıştır.

Geliştirilen otomasyon sistemi ile birlikte arıtma sistemi 300 gün boyunca çalıştırılmış ve tüm sistem parametreleri takip edilmiştir. Elde edilen sonuçlar otomasyon sisteminin başarılı bir şekilde çalıştığını göstermiştir. Arıtma verimini etkileyen en önemli parametrelerden biri olan ve sisteme giriş yapan atıksuyun kirlilik düzeyini gösteren KOİ değerinin değişken olmasına rağmen arıtma verimi %90 ın üzerinde tutulmuştur. Bu durum sisteme verilen çözünmüş oksijen miktarının sabit değerinde tutulması ile sağlanmıştır (Şekil 5.1, Şekil 5.2).



Şekil 5.1: Arıtma verimlerinin KOİ giriş konsantrasyonuna bağlı değişimi



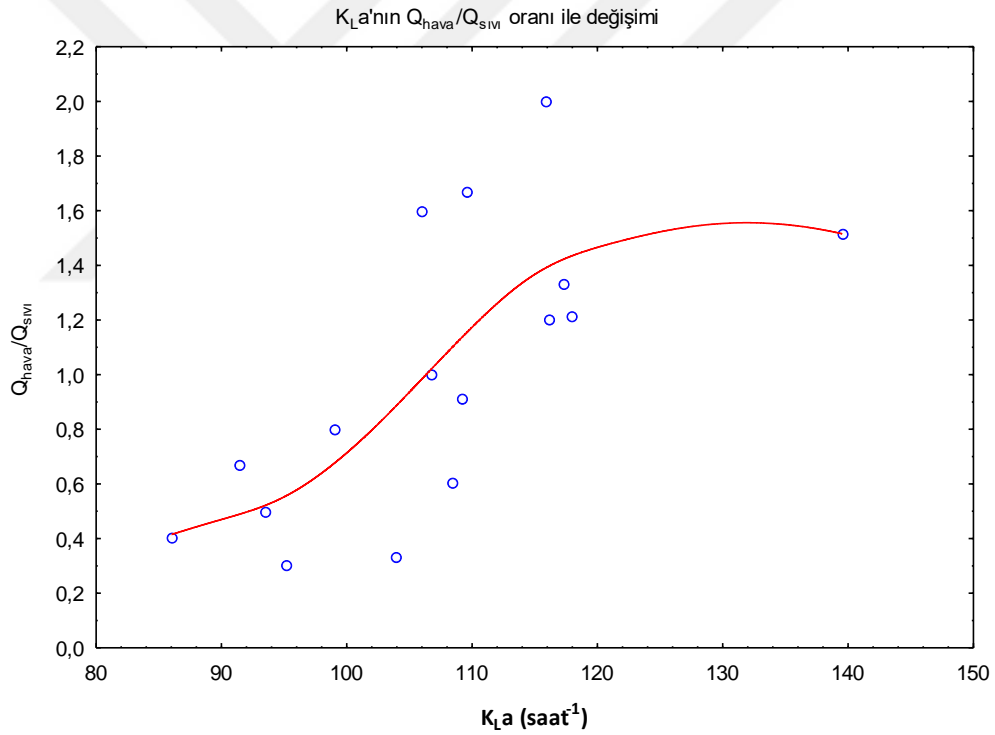
Şekil 5.2: Arıtma verimlerinin KOİ yükleme hızına bağlı değişimi

Üretilen membran emme tüplü biyoreaktörde reaktörün kütle transferi katsayısı ( $K_{La}$  değerleri) üzerine işletme değişkenlerinin (hava ve su debisi) etkileri

incelenmiştir. Reaktörde ölçülen ve zamana karşılık kaydedilen çözülmüş oksijen değerleri kullanılarak en uygun eğrileri veren Simplex ve Quasi-Newton metodu ile  $K_{La}$  değeri hesaplanmıştır.

Jet loop biyoreaktörün güç tüketim hızı püskürtme başlığının suyun geçtiği kesit alanına bağlı olarak, sıvı jetinin kinetik enerjisi cinsinden hesaplanmaktadır. Denemeler 1000-5000 L/saat hava debisi, 2000-3300 L/saat su debisi aralığında gerçekleştirilmiştir. Sağlanan sıvı debilerinin püskürtme başlığının (jet nozzle) çıkışında ürettiği enerji ise 0,498-2,237 kW/ m<sup>3</sup> arasında hesaplanmıştır.

Sisteme sağlanan hava debisi / su debisi oranının  $K_{La}$ 'ya olan etkisi incelenmiştir. Bu oran  $K_{La}$ 'nın artmasında doğrudan etkilidir. Bu durum sağlanan sistemde hava ve suyun başarılı bir şekilde karıştığını da göstermektedir. (Şekil 5.3)



Şekil 5.3:  $K_{La}$  değerlerinin hava debileriyle değişimi

Geliştirilmiş olan otomasyon ve online izleme sistemi ile jet-loop membran reaktörün başarılı bir şekilde kontrol edilmesi ve izlenmesi sağlanmıştır. Yapmış olduğumuz bu çalışma neticesinde sistem üzerinde matematik modellerinin elde edilebilmesi ve ileri seviye kontrol ve optimizasyon algoritmalarının geliştirilebilmesi için yapılabilecek akademik çalışmalara da zemin hazırlamıştır.



## 6. KAYNAKLAR

- [1] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği - Resmî Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmî Gazete Sayısı: 25687.
- [2] "Annual freshwater withdrawals, industry (% of total freshwater withdrawal)1 " [online]. (10 Mayıs 2019), <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWIN.ZS>
- [3] Megeb, *Aile Ve Tüketici Hizmetleri Atıksular*, 850CK0103, (2011).
- [4] Von Sperling M., "Comparision Among the Most Frequently Used Systems for Wastewater Treatment in Devolving Counties", *Water Science and Technology*, 33(3), 103-110, (1996).
- [5] Focus on Energy, *Water and wastewater energy best practice guidebook* Prepared for Wisconsin Department of Administration by the Focus on Energy Program. Madison, WI, US, (2006).
- [6] Tchobanoglous G., Burton F.L., and Stensel H.D., *Metcalf and Eddy Inc., Wastewater engineering: Treatment and reuse*, New York: McGrawHill, (2006).
- [7] Elías-Maxil JA., Peter van der Hoek J., Hofman J., and Rietveld L., "Energy in the urban water cycle: actions to educe the total expenditure of fossil fuels with emphasis on heat reclamation from urban water", *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, 30, 808-820, (2014).
- [8] Venkatesh G., and Brattebø H., "Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: case study of Oslo (Norway)", *Energy*, 36, 792-800, (2011).
- [9] Liu H., Ramnarayanan R., and Logan BE., "Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell", *Environmental Science and Technology*, 38, 2281-2285, (2004).

- [10] TÜİK, *Belediye Atıksu İstatistikleri - 2017* [online]. (09 Temmuz 2019), <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24875>
- [11] TÜİK, *Belediye Atıksu İstatistikleri - 2011*.
- [12] Agar, D.W., “Multifunctional reactors: Old preconceptions and new dimensions”, *Chem. Eng. Science*, 54, 1299-1305, (1999).
- [13] Gaddis, E.S., Vogelpohl, A., “The impinging-steam reactor: a high performance loop reactor for mass transfer controlled chemical reactions”, *Chem. Eng. Science*, 47, 2877-2882, (1992).
- [14] Velan, M., Ramanujam, T.K., “Gas-liquid mass transfer in a down flow jet loop reactor”, *Chem. Eng. Science*, 47, 2871-2876, (1992).
- [15] Prasad, K.Y., Ramanujam, T.K., “Enhancement of gas-liquid mass transfer in a modified reversed flow jet loop reactor with three phase system”, *Chem. Eng. Science*, 2997-3000, (1995).
- [16] Wachsmann, U., Rabiger, N., Vogelpohl, A., “The compact reactor - a newly developed loop reactor with a high mass transfer performance”, *Ger. Chem. Eng.*, 8, 411-418, (1984).
- [17] Dirix, C.A.M.C., Van der Wiele, K., “Mass transfer in jet loop reactors”, *Chem. Eng. Science*, 45, 2333-2340, (1990).
- [18] Vogelpohl, A., “Wastewater treatment by the HCR-Process”, *Acta. Biotechnol.*, 20, 119-128, (2000).
- [19] Bloor, J.C., Anderson, G.K., Willey, A.R., “High rate aerobic treatment of brewery wastewater using the jet loop reactor”, *Water Res.*, 29, 1217-23, (1995).
- [20] Atay, I., Gordon, L., Trattner, R., “Fluid flow and gas absorption in an ejector venturi scrubber”, *Environ. Prog.*, 6, 198-203, (1987).

- [21] Ahmetovic´ E., Ibric´ N., and Kravanja Z., "Optimal design for heat-integrated waterusing and wastewater treatment networks", *Applied Energy*, 135, 791–808, (2014).
- [22] Bitton, G., *Wastewater Microbiology*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., s. 225, (2005).
- [23] Holenda, B., Domokos, E., Rédey, A., Fazakas, J., "Dissolved oxygen control of the activated sludge wastewater treatment process using model predictive control", *Computers and Chemical Engineering*, (2008).
- [24] Stare, A., Hvala, N., Vrecko D., "Modelling and validation of reduced-order model for model predictive control of ammonia nitrogen in a wastewater treatment plant", *Elektrotehniški vestnik* 72(4), 225-230, (2005).
- [25] Shen, W., Chen, X., PierreCorriou, P., " Application of model predictive control to the BSM1 benchmark of wastewater treatment process", *Computers & Chemical Engineering*, 32 (12), 2849-2856, (2008).
- [26] Cristea, S., De Prada, C., Sarabia, D., Gutiérrez, G., "Aeration control of a wastewater treatment plant using hybrid NMPC", *Computers & Chemical Engineering*, 35 (4), 638-650, (2011).
- [27] Sanchez-Reillo, R., Sanchez-Avila, C., Gonzalez-Marcos, A., " Biometric identification through hand geometry measurements", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1168 - 1171, (2000).
- [28] Abouzlama, M., Ouvrarda, R., Mehdi, D., FlorencePontlevoy, F., Gombert, B., Leitner, N., Boukari, S., " An optimal control of a wastewater treatment reactor by catalytic ozonation", *Control Engineering Practice*, 21 (1), 105-11, (2013).
- [29] Mingzhi, H., Jinquan, W., Yongwen, M., Yan, W., Weijiang, L., Xiaofei, S., " Control rules of aeration in a submerged biofilm wastewater treatment process using fuzzy neural networks", *Expert Systems with Applications*, 36 (7), 10428-10437, (2009).

- [30] Olsson, G., Carlsson, B., Comas, J., Copp, J., Gernaey, K., Ingildsen, P., Jeppsson, U., Kim, C., Rieger, L., Rodríguez-Roda, I., Steyer, J-P., Takács, I., Vanrolleghem, P., Vargas, A., Yuan, Z., Åmand, L., " Instrumentation, control and automation in wastewater – from London 1973 to Narbonne 2013", *Water Sci Technol*, 69 (7), 1373-1385, (2014).
- [31] Farizoglu, B., Keskinler, B., Yildiz, E., Nuhoglu, A., " Cheese whey treatment performance of an aerobic jet loop membrane bioreactor", *Process Biochemistry*, 39 (12), 29 , 2283-2291, (2004).
- [32] Keskinler, B., Yildiz, E., Nuhoglu, A., " Mathematical modelling of the activated sludge process—the Erzincan case", *Process Biochemistry*, 40 (7), 2467-2473, (2005).
- [33] Farizoglu, B., Uzuner, S., " The investigation of dairy industry wastewater treatment in a biological high performance membrane system", *Biochemical Engineering Journal*, 57, 46-54, (2011).
- [34] Balci, M., Bicakci, S., Akyüz, E., Akyol, T., Aşnaz, M.S.K., *Rüzgar Enerji Santralleri Eğitim Notları*, Balıkesir Üniversitesi Sürekli Eğitim Merkezi, (2018).
- [35] Çalışkan, Ö. (2007). Çok Sayıda Servomotor, Sensör Ve Elektropnömatik Eleman İçeren Tekstürebüküm Makinası Otomasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [36] Shingo, S., *A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint*, Productivity Press, (1989).
- [37] Vanderspek, P., "Planning For Factory Automation – A Management Guide to World Class Manufacturing, McGraw-Hill, (1993).
- [38] Meisler, D., *Behavioral Foundation of System Development*, John Wiley & Sons, (1976).
- [39] Nickerson, R.S., *Looking Ahead, Human Factors Challenges in a Changing World*, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, (1992) .

- [40] Küçük,A., (1995). Otomasyon Yönetiminde İnsan Faktörü ve Türk Otomatik Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [41] Kent,E., *Endüstrinin Gelişimine Bakış*, [online] (10 Mart 2019), <https://www.endustri40.com/endustrinin-gelisimine-bakis/>
- [42] Aksoy,S.,"Değişen Teknolojiler Ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0'ı Anlamaya Dair Bir Giriş", *Sosyal Araştırmalar Vakfı Dergisi*, 4, (2017).
- [43] Kesayak,B., *Endüstri Tarihine Kısa Bir Yolculuk*, [online], (10 Şubat 2019), <http://www.endustri40.com/endustri-tarihine-kisa-bir-yolculuk/>
- [44] Eldem, M.,O., *ENDÜSTRİ 4.0*, [online], (5 Ekim 2018), [http://www.emo.org.tr/ekler/09287020c96f18a\\_ek.pdf?dergi=1111](http://www.emo.org.tr/ekler/09287020c96f18a_ek.pdf?dergi=1111)
- [45] Katebi,R., Johnson, M.A. and Wilkie, J., *Control and Instrumentation for Wastewater Treatment Plants*, Springer- Verlag London Limited, (1999).
- [46] Sümen, H., Enstrümantasyon, "Seviye Ölçme Yöntemleri ve Teknolojileri", *Otomasyon Dergisi*, Ekim, (2001).
- [47] MEGEB, *Temel Plc Sistemleri*, 523EO0052, (2011).
- [48] Bulut,C., *Otomasyon Sektörünün Geleceği |HMI Sistemler*, [online], (20 Aralık 2018), <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/hmi-sistemlerini-yakindan-taniyalim/16489#ad-image-0>
- [49] "Kütleli Akış Ölçümü ve Coriolis Debimetreler Çalışma Prensipleri", [online], (04 Ocak 2019), [http://www.us-kon.com.tr/haberdetay-Kutlesel\\_Akis\\_Olcumu\\_ve\\_Coriolis\\_Debimetreler\\_Calisma\\_Prensibi-69](http://www.us-kon.com.tr/haberdetay-Kutlesel_Akis_Olcumu_ve_Coriolis_Debimetreler_Calisma_Prensibi-69)
- [50] "Ph Metre Nedir ve Nerede Kullanılır?", [online], (20 Ocak 2019), <https://www.rst-elektronik.com/blog/ph-metre-nedir-ve-nerede-kullanilir>
- [51] Aydın, M., "DOPSoft Nedir?", [online], (13 Temmuz 2018), <http://www.derstagram.com/dopsoft-nedir/>

[52] Şırın,M., "Endüstriyel Haberleşme Protokolleri", [online], (05 Temmuz 2019) ,  
<https://www.elektrikport.com/makale-detay/endustriyel-haberlesme-protokolleri/16448#ad-image-0>

