İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAĞIT HAMURU HAZIRLAMA SÜRECİ OTOMASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk. Müh. Kerem ÖLMEZ

Anabilim Dalı : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KONTROL ve OTOMASYON MÜH.

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAĞIT HAMURU HAZIRLAMA SÜRECİ OTOMASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elk. Müh. Kerem ÖLMEZ
(504051108)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2007

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Salman KURTULAN
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Cevat ERDAL
Prof.Dr. Dursun Ali ŞAŞMAZ

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda, günümüzde endüstriyel otomasyon uygulamarında kullanılan en önemli birimlerin başında gelen ve kontrol ve kumanda işlemlerini başarıyla gerçekleştiren PLC'ler ile ilgili uygulama yapılmıştır. Bu uygulama kağıt endüstrisindeki kağıt hamuru hazırlama süreci otomasyonu olmuştur. Tez çalışmamda beni yönlendiren değerli danışmanım Doç. Dr. Salman Kurtulan'a; fabrikada bana her zaman yardımcı olan ve her türlü soruma cevap vermeye çalışan değerli büyüğüm Elektrik Mühendisi Suat Ünsal'a; bana her türlü manevi desteği veren arkadaşım Aslı Ulutaş'a ve bu zamana kadar her türlü konuda bana destek olan ve yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi iletirim.

Haziran 2007 Kerem Ölmez

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **ix**
ÖZET **x**
SUMMARY **xi**

1. GİRİŞ **1**

2. SÜREÇ KONTROLÜ **3**
2.1. Giriş 3
2.2. Süreç Kontrolünün Önemi 4
2.3. Süreç Otomasyonu 5
2.3.1. Süreç Otomasyonu Terimleri ve Ekipmanları 6
2.3.2. Süreç Otomasyonu İşlemleri 12

3. KONTROL TÜRLERİ **14**
3.1. Giriş 14
3.2. İki Konumlu Kontrol 14
3.3. Oransal (P) Kontrol 15
3.4. İntegral (I) Kontrolü 19
3.5. Oransal-İntegral (PI) Kontrolü 20
3.6. Oransal-Türev (PD) Kontrolü 22
3.7. Oransal-Türev Integral (PID) Kontrolü 24

4. KAĞIT HAMURU HAZIRLAMA SÜRECİ **26**
4.1. Giriş 26
4.2. Akış Süreci 30
4.2.1. Sürecin Tanıtılması 30
4.2.2. Modelleme 34
4.3. Yoğunluk Süreci 38
4.2.1. Sürecin Tanıtılması 38
4.2.2. Modelleme 40

5. SÜRECİN OTOMASYONU **44**
5.1. Giriş 44
5.2. PLC ile Otomasyon 45
5.3. SCADA ile Süreç İzleme 53

6. SONUÇLAR **59**

KAYNAKLAR **60**

EKLER **61**

ÖZGEÇMİŞ **64**

KISALTMALAR

PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrolör (Programmable Logic Controller)
SCADA	: Veri Tabanlı Kontrol ve Gözetleme Sistemi (Supervisory Control and Data Acquisition)
PV	: Süreç Değişkeni (Process Variable)
SP	: İstenen Değer (Set Point)
CO	: Kontrolör Çıkışı (Controller Output)
TO	: Transmitter Çıkışı (Transmiter Output)
PB	: Oransal Şerit (Proportional Band)
DCS	: Dağıtılmış Kontrol Sistemleri (Distributed Control Systems)
DAC	: Sayısal Analog Çevirici (Digital Analog Converter)
CPU	: Merkezi İşlemci Birimi (Central Processing Unit)
SISO	: Tek Giriş Tek Çıkış (Single Input Single Output)
PI	: Oransal İntegral (Proportional Integral)
PD	: Oransal Türev (Proportional Derivative)
PID	: Oransal İntegral Türev (Proportional Integral Derivative)
WinCC	: Windows Kontrol Merkezi (Windows Control Center)
FB	: Fonksiyon Bloğu (Function Block)
OB	: Organizasyon Bloğu (Organization Block)
DB	: Data Bloğu (Data Block)

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	Sensörlerde giriş ve çıkış sinyalleri ……	8
Tablo 4.1	Zaman sabitine göre sistem yanıtı……..……	41
Tablo 5.1	Akış sistemi örnekleme zamanı ve zaman sabiti……	45
Tablo 5.2	Yoğunluk sistemi örnekleme zamanı ve zaman sabiti……	47

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Basınç kontrol süreci..... 4
Şekil 2.2 : Elle yapılan ve otomatik kontrol süreçleri..... 6
Şekil 2.3 : Süreç otomasyonu blok şeması..... 6
Şekil 2.4 : Kontrolör çeşitleri..... 9
Şekil 2.5 : PLC'nin yapısı 9
Şekil 2.6 : PLC'de analog işaretlerin işlenmesi..... 11
Şekil 2.7 : Pnömatik vana..... 12
Şekil 2.8 : Süreç otomasyonu işlemleri 12
Şekil 3.1 : İki konumlu kontrol..... 15
Şekil 3.2 : Kontrol işareti elde edilmesi..... 16
Şekil 3.3 : Oransal şeritli sıcaklık kontrol süreci..... 17
Şekil 3.4 : Oransal kontrolde sürekli hal hatası..... 18
Şekil 3.5 : P, I ve PI sinyalleri..... 20
Şekil 3.6 : Su tankında su seviyesi kontrol süreci..... 21
Şekil 3.7 : P ve PI kontrolörlü sistem cevapları..... 22
Şekil 3.8 : P, D ve PD sinyalleri..... 23
Şekil 3.9 : Kontrol türlerine göre cevaplar..... 24
Şekil 4.1 : Kağıt hamuru hazırlama süreci..... 27
Şekil 4.2 : Açık çevrim modelleme..... 28
Şekil 4.3 : Birinci mertebeden ölü zamanlı sistem cevabı..... 28
Şekil 4.4 : Akış kontrol süreci..... 30
Şekil 4.5 : Akış sistemi blok şeması..... 31
Şekil 4.6 : Kağır hamuru akışı için akışmetre..... 33
Şekil 4.7 : Doğrusal ve döner tip vanalar..... 33
Şekil 4.8 : Akış süreci kapalı çevrim cevabı..... 34
Şekil 4.9 : Akış süreci referans transfer fonksiyonu cevabı..... 36
Şekil 4.10 : Akış süreci açık çevrim cevabı..... 37
Şekil 4.11 : Yoğunluk kontrol süreci..... 38
Şekil 4.12 : Yoğunluk transmitteri..... 39
Şekil 4.13 : Elyaf kuvveti ve yoğunluk arasındaki ilişki..... 39
Şekil 4.14 : Yoğunluk sistemi kapalı çevrim cevabı..... 40
Şekil 4.15 : Yoğunluk süreci referans transfer fonksiyonu cevabı 42
Şekil 4.16 : Yoğunluk süreci açık çevrim cevabı..... 43
Şekil 5.1 : Akış sistemi modeli fonksiyon bloğu (FB1)..... 50
Şekil 5.2 : Yoğunluk sistemi modeli fonksiyon bloğu (FB2)..... 51
Şekil 5.3 : PI kontrolör modeli fonksiyon bloğu (FB3)..... 52
Şekil 5.4 : Akış ve yoğunluk vana kontrol işaretleri bloğu 53
Şekil 5.5 : WinCC programında sistem arayüzü..... 54
Şekil 5.6 : Akış kontrol sürecinde SP=50lt/dk için PV cevabı..... 55
Şekil 5.7 : Akış kontrol sürecinde SP=10lt/dk için vana işareti..... 55

Şekil 5.8 : Akış kontrol sürecinde SP=100 ve 75 lt/dk için PV cevabı..... 56
Şekil 5.9 : Akış kontrol sürecinde SP=100 ve 75 lt/dk için vana işareti.....56
Şekil 5.10 : Yoğunluk kontrol sürecinde SP=% 4.5 için PV cevabı..... 57
Şekil 5.11 : Yoğunluk kontrol sürecinde SP=% 4.5 için vana işareti..... 57
Şekil 5.12 : Yoğunluk kontrol sürecinde SP=%5.5 ve 3için PV cevabı..... 59
Şekil 5.13 : Akış kontrol sürecinde SP=%5.5 ve 3 için vana işareti..... 59

SEMBOL LİSTESİ

E	**:** Hata işareti
R	**:** Referans
m	**:** Bias
K_c	**:** Kontrolör kazancı
U	**:** Kontrolör işareti
T_i	**:** İntegral zamanı
T_d	**:** Türev zamanı
G_{PI}	**:** PI kontrolör transfer fonksiyonu
G_{PD}	**:** PD kontrolör transfer fonksiyonu
G_{PID}	**:** PID kontrolör transfer fonksiyonu
B	**:** Manyetik indiksiyon
v	**:** Akış hızı
D	**:** Çap
K_s	**:** Sensör sabiti
A	**:** Kesit alanı
Q	**:** Akış
y	**:** Çıkış
y_{max}	**:** Çıkışın maksimum değeri
y_{ss}	**:** Çıkışın sürekli hal değeri
K	**:** Kazanç
τ	**:** Zaman sabiti
L	**:** Ölü zaman
ζ	**:** Sönüm oranı
w_n	**:** Doğal frekans
t_p	**:** Maksimum aşım zamanı
$G_{kap\text{-}akış}$	**:** Akış kapalı çevrim transfer fonksiyonu
$G_{akış}$	**:** Akış açık çevrim transfer fonksiyonu
$G_{kap\text{-}yoğ}$	**:** Yoğunluk kapalı çevrim transfer fonksiyonu
$G_{yoğ}$	**:** Yoğunluk açık çevrim transfer fonksiyonu
G_{ZOH}	**:** Sıfırıncı dereceden tutucu transfer fonksiyonu
A, d, B, K^*	**:** Katsayılar
u_{PI}	**:** PI kontrolör işareti
u_P	**:** Oransal kontrol işareti
u_I	**:** İntegral kontrol işareti

KAĞIT HAMURU HAZIRLAMA SÜRECİ OTOMASYONU

ÖZET

Otomasyon günümüzde ürün kalitesinde tutarlılık ve belli bir standart sağlama, minimum maliyetli üretimi beraberinde getirme ve daha az insan gücüne gereksinim duyma gibi özellikleri sağlama bakımından endüstriyel üretim için vazgeçilmez hale gelmiştir. PLC ve SCADA sistemleri de endüstriyel otomasyonde en çok kullanılan birimlerdir.

Bu tez çalışmasında, PLC ve SCADA sistemlerinin kullanıldığı endüstriyel otomasyon uygulamalarından biri olan kağıt hamuru hazırlama sürecine ait otomasyon işlemi yapılmıştır. Bu doğrultuda, ilk önce süreç kontrolü ve süreç otomasyonuna ait temel kavramlar ve endüstride sıkça kullanılan kontrol türleri incelenmiştir. Daha sonra ise kağıt hamuru hazırlama süreci tanımlanmış olup; bu süreçte yer alan kağıt hamuru akış ve yoğunluk sistemleri ayrı olarak tanıtılmıştır. Bir sistemin doğru ve iyi şekilde kontrol edilebilmesi için modelinin bilinmesi gerektiği prensibinden hareketle, sistemlerin gereken matematiksel modelleri kapalı çevrim birim basamak cevaplarına göre elde edilmiştir. Modelleri elde edilen sistemleri kontrol etmek için uygun kontrolörler seçilmiş ve parametreleri istenen dinamik davranışlara göre hesaplanmıştır. PLC ile kontrol etme sürecinde sistemler uygun örnekleme zamanlarıyla ayrıklaştırılıp, SIMATIC Manager STEP7 programında kullanılmaya hazır hale getirilmiştir. PLC'de program blokları üst seviye dillerden olan SCL diliyle yazılmıştır. Otomasyon sürecinde en son aşamada ise SCADA işlemleri SIMATIC WinCC programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçta kağıt hamuru hazırlama sürecine ait otomasyon işlemi gerçekleştirimiş olup sonuçlar grafiksel olarak elde edilmiştir.

PULP MAKING PROCESS AUTOMATION

SUMMARY

Automation plays vital role for industrial production because of providing of good quality and standartized product, bringing minimum cost production and needing fewer manpower in today. PLC and SCADA systems are the most important units in the industrial automation.

In this study, pulp making process automation which is one of the applications in industrial automation is simulated. First of all, general concepts for process control and process automation and most widely used control types are described for this purpose. After that, pulp making process is defined and the systems of this process which are pulp flow and pulp consistency are introduced seperately. In order to control a process well and accurately, the model of the process has to be known is chosen as the principle of obtaining the mathematical models of these systems. In here this mathematical models is gotten from their closed loop step responses. Then the necessary controllers for the modelled systems are selected and the parameters of these controllers are calculated for the desired dynamics. In the control process with PLC, the systems are discreted with suitable sampling periods and this made it possible to use the systems in SIMATIC Manager STEP 7 software. The codes of the program blocks of the systems are written at SCL which is high level coding. In the final process in the automation, SCADA operation is made by using SIMATIC WinCC software. Finally, pulp making process automation is accomplished and the graphs for the results are obtained.

1. GİRİŞ

Otomasyon, sanayi devriminden sonra buhar gücünün keşfedilmesiyle beraber insan hayatında yer almaya başlamıştır. O zamanlar elektriğin henüz keşfedilmemiş olmasından dolayı mekaniksel olarak denetleme işlemleri yapılmış olup; mekanik bilgisayar olarak adlandırılan mekanik hesaplama ve kontrol sistemleri geliştirilmiştir. Elektiğin icat edilmesinden sonra her türlü sistem elektriksel platformlarda kontrol edilmeye başlanmıştır. İkinci dünya savaşı durumu ve daha sonraki süreçte elektronik devrelerdeki ilerlemeler, kontrol ve otomasyon sistemlerinde de gelişmeyi getirmiştir.

Otomatik kontrolün de ilerlemesiyle birlikte daha az insan gücüyle yapılan otomasyon işlemi, endüstride kolay, güvenilir, kaliteli ve doğru şekilde üretim için vazgeçilmez hale gelmiştir. PLC'lerden önce otomasyon işlemi, röleli kumanda düzenekleri veya çeşitli elektronik kartlarla gerçekleştirilmekteydi. Başlangıçta röleli kumanda devrelerinin yerine kullanılmak üzere gerçekleştirilen sistem, temel lojik işlem komutlarını içerdiğinden programlanabilir lojik kontrolör (PLC) olarak isimlendirildi[1]. PLC'ler yapısının basitliği, yüksek performansı ve teknolojinin ilerlemesine paralel olarak gelişmesi neticesinde endüstriyel otomasyon uygulamalarında çok sıklıkta kullanılmaya başlanmıştır. Bu şekilde, kumanda ya da lojik işlemleri gerçekleştirmek amacıyla tasarlanan PLC'ler, bugün endüstriyel kontrol ve otomasyon için neredeyse olmazsa olmazlar arasında girmiştir. Endüstriyel otomasyon işleminde PLC'lerin yanı sıra veri iletişim sistemleri olan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) yazılımları kullanılmaktadır. SCADA sistemler sayesinde birimler arasında bilginin güvenilir ve hızlı akışı sağlanır[1].

Kağıt endüstrisi, petrol sanayi, tekstil sanayi, yiyecek-içecek sanayi, ilaç endüstrisi, enerji tesisleri gibi birçok alanda süreç otomasyonu kullanılmaktadır. Süreç otomasyonu en genel manada süreç kontrolünün otomatik olarak yapılmasıdır. Süreç kontrolü içinde geçen süreç kavramı ise ürünlerin oluşturulması için ham maddelerin

değiştirilmesi, işlenmesi ya da arıtılması metodlarını içerir. Süreç otomasyonu ürünlerin kalitesinde standart sağlarken; yüksek verimlilik ve düşük maliyeti de beraberinde getirir.

Tez çalışmasında süreç otomasyonuna örnek sanayilerden olan kağıt endüstrisinden uygulama yapılmıştır. Kağıt endüstrisinde kağıdın yüksek ve istenen kalitede olmasını sağlamak amacıyla yapılan kağıt hamuru hazırlama sürecinin otomasyonu büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte, kağıt hamuru akışı ve yoğunluğunu kontrol etmek üzere iki tür sistem vardır. Otomasyon işleminde kontrol süreci PLC'ler ile yapılırken; veri iletişimi ve süreç izleme ise SCADA sistemler ile yapılmaktadır.

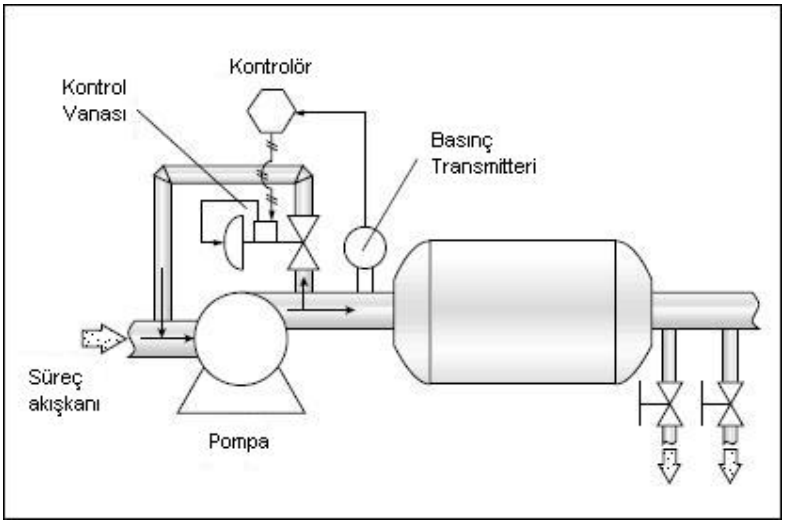
Sağlıklı ve güvenilir bir kontrol işlemi yapabilmek için kontrol edilen süreçlerin matematiksel modelinin bilinmesi gerekmektedir. Bu doğrultudan hareketle ilk aşamada, kağıt hamuru akışı ve yoğunluğu süreçlerine ait birim basamak cevaplarından hareketle yaklaşık modeller bulunmuştur. Daha sonraki aşamada ise sistemler ayrıklaştırılarak seçilen kontrolörlerin parametreleri hesaplanmış ve PLC'de programlar yazılmıştır. Otomasyon sürecinde en son aşamada ise SCADA ile süreç oluşturulup izlenmiş ve grafikler elde edilmiştir.

2. SÜREÇ KONTROLÜ

2.1 Giriş

Endüstride her zaman ürün kalitesi arttırılırken, üretim maliyeti mümkün olduğunca asgariye indirilmeye çalışılır. Bir ürünün imalatı esnasında karı yüksek tutmak için yapılan ayarlama işlemleri, kontrolü doğru bir süreç istemektedir. Bu işlemler, süreçteki ufak değişmelerin elde edilen ürün üzerinde büyük değişiklikler yaratması sonucu potansiyel riski de bünyesinde barındırır. Minimum ham madde, maliyet harcanarak istenen kalitede üretimin gerçekleşmesi için; sıcaklık, akış, basınç, oran ya da buna benzer diğer etkenlerin değişimi dikkatli ve tutarlı bir şekilde kontrol edilmelidir. Bu da ancak iyi bir süreç kontrolüyle mümkün olabilir.

Süreç kontrolü kavramı Şekil 2.1'de basınç sürecini gösteren bir örnekle daha iyi görülebilir. Sistemdeki amaç, akışkanın basıncını istenen değerde tutmaktır. Bu amaçla, basınç transmitteri vasıtasıyla ölçülen ve kontrolöre iletilen basınç değişkeni, kontrolöre girilen istenen değerle karşılaştırılarak kontrol işareti üretilir ve bu kontrol işareti kontrol vanasına uygulanır. Böylece akışkanın basıncı istenen değerde tutulabilcek duruma getirilmektedir. Bu kontrol sürecinde çevriminin cevabını etkileyen en önemli faktör akışkanın hacmidir. Akışkanın hacmine göre sistem cevabı hızlanır ya da yavaşlar. Yüksek hacimli sistemlerin değişimi daha düşük hacimlilere göre daha yavaş olmaktadır.



Şekil 2.1 : Basınç Kontrol Süreci

2.2 Süreç Kontrolünün Önemi

Süreç kontrolü, herhangi bir ürünün imalatı esnasında süreç değişkenlerini kontrol etmeyi hedefler. Buradaki süreç değişkenleri basınç, akış, seviye, sıcaklık, yoğunluk, Ph, iletkenlik, kütle v.b. gibidir. Örnek verilecek olunursa, imalat yapılırken karışımı oluşturan maddelerden birinin diğerine oranı, maddelerin sıcaklığı, karışımın nasıl karıştırıldığı ve maddelere uygulanan basınç gibi değişkenler ürünün kalitesini direk olarak etkiler. Bu yüzden süreç kontrolü hayati önem teşkil etmektedir. Önemleri başlıca şu şekilde sıralanabilir[2]:

- Son üründeki değişkenliği azaltır. Süreç kontrolü imal edilen üründeki değişkenliği azaltarak, tutarlı bir şekilde yüksek kalitede imalat imkanı sağlar. Böylece kalitede belli bir standartın tutturulması sağlanır. Örneğin, belli bir sınıfta benzin üretmek için, benzin karıştırma sürecinde 10 ya da daha fazla bileşen olabilir. Bu durumda eğer rafineri tesisinde karışımdaki bileşenlerin akışı üzerine iyi bir kontrol yoksa, benzin olması gerektiğinden daha yüksek oktanda olabilir. Bu durumda üreticiler para kaybederken, tüketiciler ise ödedikleri paradan daha yüksek oktanda benzin almış olurlar. Bu durumun tersinin olması da söz konusudur. Sonuçta, iyi bir süreç kontrolüyle hem ürün kalitesinde yuksek standart sağlanır; hem de olması gerekenden fazla maliyetin önüne geçilmiş olunur.

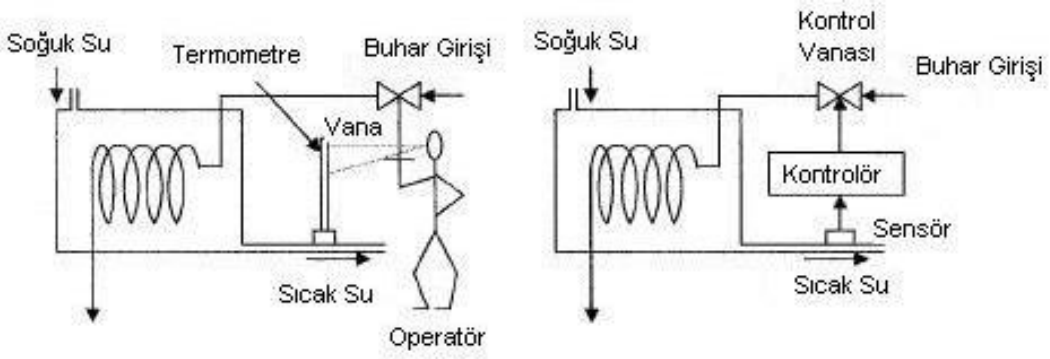
- Yüksek verimlilik sağlar. Bazı süreçlerin verimliğinin arttırılması için özel noktalarda çalışması gerekmektedir. Örneğin, bir kimyasal reaksiyonun en verimli olduğu tepkime sıcaklıkları vardır. Bu sıcaklıkta tepkimenin geçekleşmesi ancak iyi bir süreç kontrolüyle mümkün olabilir. Bu şekilde fabrikatörler imalat için gerekli kaynakları minimuma indirerek para tasarrufu sağlarlar.

- Güvenliği sağlar. Tüm süreç değişkenleri üzerine iyi bir kontrolün yapılamadığı durumlarda kontrolden çıkma gibi durumlar olabilir. Nükleer ya da kimyasal tepkimelerin dahil olduğu bazı süreçlerde bu gibi kontrolden çıkmalar felaketle sonuçlanabilir. Bu açıdan bakıldığında güvenliğin sağlanabilmesi için tam bir kontolün yapılması gerekmektedir.

2.3 Süreç Otomasyonu

Teorik olarak süreç kontrolü elle yapılan (manual) ve otomatik olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Elle yapılan kontrol, süreç otomasyonundan önce olan ve tamamen insan kontrolünde olan kontroldür. Bu tür kontrole basit bir örnek olarak, bir operatörün seviye kontrolünde istenen değere ulaşıldığı zaman vanayı kapatması gösterilebilir. Operatörler tarafından elle yapılan bu tür kontrol, uygulamada hemen hemen kullanılmamaya başlanmıştır. Bunun altında yatan sebepler ise karışık süreçlerde tam istenen sonucun çıkmaması, insanın tepki süresinin uzunluğu, insanın veri işlemedeki kapasitesinin sınırlı olması, tekrarlı işlerde tutarsızlık ve insanın konsantrasyon süresinin azlığı olarak verilebilir[2]. Bu sebeplerden dolayı kontrolün otomatik olarak yapılması istenmektedir.

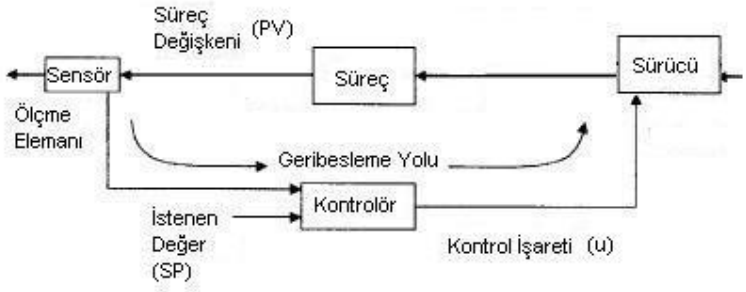
Otomatik süreç kontrolü, sistemdeki değişkenlerinin kontrolünün operatör müdahalesine gerek olmadan yapılması işlemidir. Süreç otomasyonu da dar anlamda otomatik süreç kontrolüne denk düşmekte iken; geniş anlamda ise işin insan ve ekipman arası paylaşımıdır. Toplam işin paylaşım yüzdesi otomasyonun düzeyini belirler. Düşük düzeyli uygulama insan ağırlığında olurken; yüksek düzeyli ise makina ağırlığında olmaktadır. Elle yapılan ve otomatik süreç kontrollerine ait farklar Şekil 2.2'den açıkça gözükmektedir.



Şekil 2.2: Elle Yapılan ve Otomatik Süreç Kontrolü

2.3.1 Süreç Otomasyonu Terimleri ve Ekipmanları

Şekil 2.3'de blok şeması gösterilen süreç otomasyonunun daha iyi anlaşılabilmesi için kullanılan terimler ve ekipmanların tanımlanması gerekmektedir[3]. Bu terim ve ekipmanlar sırasıyla şöyledir:



Şekil 2.3: Süreç Otomasyonu Blok Şeması

- **Süreç Değişkeni (Process Variable - PV):** Süreç kontrolünde çıkış olup; kontrol edilmek istenilen akış, sıcaklık, yoğunluk, seviye, basınç, iletkenlik ve benzeri değişkenlerdir.

- **İstenen Değer (Setpoint – SP):** Kontrol edilen süreç değişkeninin olması istenen değerdir. Bir diğer ifadeyle SP=PV olması amaçlanır.

- **Ölçülen Değer (Measured Value):** Ölçülen değer çoğu zaman kontrol edilmek istenen süreç değişkeni olsa da bazı durumlarda böyle olmayabilir. Örneğin, su

tankındaki su seviyesi kontrolü sürecinde, ölçülen değer tanka gelen su akışı olurken; süreç değişkeni süreçteki su seviyesidir.

- **Kontrol İşareti (u):** Süreç değişkenini istenen değerde tutmak için kontrolör tarafından uygulanan işaretlerdir.

- **Hata (e):** Hata, ölçülen değer ve istenen değer arasındaki fark olup; bazen negatif bazen de pozitiftir. Bütün kontrol sistemlerinin genel amacı hatayı hedeflenen ölçülerde minimuma indirmek ya da çoğu uygulamada olduğu gibi yok etmektir. Hata denklemi

$$e = SP - PV \qquad \textbf{(2.1)}$$

şeklinde ifade edilir.

- **Bozucular:** Süreç değişkeninde istenmeyen şekilde hatalara neden olan yüklerdir.

- **Kontrol Çevrimi:** Çıkış ve giriş arasındaki çevrimi yansıtmakla birlikte açık ve kapalı olmak üzere iki çeşittir. Açık çevrimli kontrol sistemleri basit yapılı ve ekonomik olmaları nedeniyle bazen tercih edilseler de; çıkıştan bilgi alınmadığı için istenen değer ve çıkış arasında fark oluşturduğundan yaygın olarak kullanılmazlar. Bu durumda çoğu uygulamada kullanıldığı gibi çıkıştan bir ya da daha fazla geribesleme alınması durumunda oluşan kapalı çevrimli kontrol tercih edilmektedir.

- **Ölçme Elemanları:** Ölçme elemanları genel itibariyle sensörler, transducerler, dönüştürücüler ve transmitterler olmak üzere sınıflandırılabilir.

a. Sensörler: Fiziksel türdeki işaretleri çıkış olarak değişken sinyallere dönüştüren elemanlardır. Dönüştürülen sinyaller elektriksel ve mekaniksel devrelerde kullanılmak üzere iletilme özelliğine sahiptir. Bu özellik, sensörden uzak çıkış veya kayıt cihazlarına iletim imkanı sağlar. En çok kullanılan sinyal tipleri elektriksel sinyallerde gerilim ve akım iken; mekaniksel sinyallerde yer değiştirme ve kuvvettir. Tablo 2.1'de sensörlerde genel olarak kullanılan fiziksel değişkenleri ve sinyal çeşitleri görülebilir[4].

Tablo 2.1: Sensörlerde Giriş ve Çıkış Sinyalleri

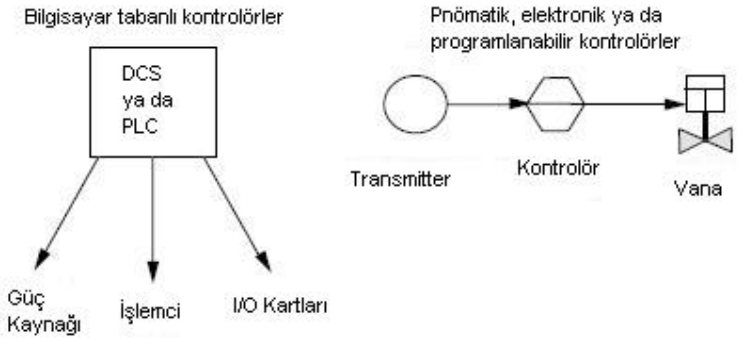
Giriş: Fiziksel Değişkenler	Çıkış: Sinyaller
Kuvvet	Gerilim
Uzunluk	Yer Değiştirme
Sıcaklık	Akım
İvme	Kuvvet
Hız	Basınç
Basınç	Işık
Frekans	Frekans
Kapasite	
Direnç	
Zaman	

b. Transducer: Transducer'ler bir enerji biçimini başka tür enerji biçimine dönüştüren elemanlardır. Sensörler genellikle transducer olarak görev alırlar. Örnek olarak verilecek olunursa, direnç termometreleri sıcaklığı elektriksel dirence dönüştürürken; thermocouple'lar sıcaklığı gerilime çevirirler[4].

c. Donüştürücüler: Bir çeşit sinyali başka çeşit sinyale dönüştüren aygıtlardır. Örneğin bir dönüştürücü akımı gerilime ya da analog sinyali dijital sinyale dönüştürür. Süreç kontrolünde, 4-20 mA'lik sinyal dönüştürücü vasıtasıyla 3-15 psig'lik pnömatik sinyale dönüştürülür ve buna akım basınç dönüştürücüleri denir[4].

d. Transmitterler: Transmitterler, sinyalleri kuvvetlendirip biçimlendirerek uzun iletim için sıfır ya da minimum kayıplı olmalarını sağlayan aygıtlardır. İletilen sinyaller pnömatik, dijital, analog ya da RF (radyo frekansı) olabilir. Günümüzde kontrolörler daha çok bilgisayar tabanlı olduğu ve dijital sinyallerde bilgi kaybı az olduğu için iletilen sinyaller genellikle dijital olur. Analog sinyaller A/D çeviriciler yoluyla dijital sinyallere kolayca dönüştürülebilir.

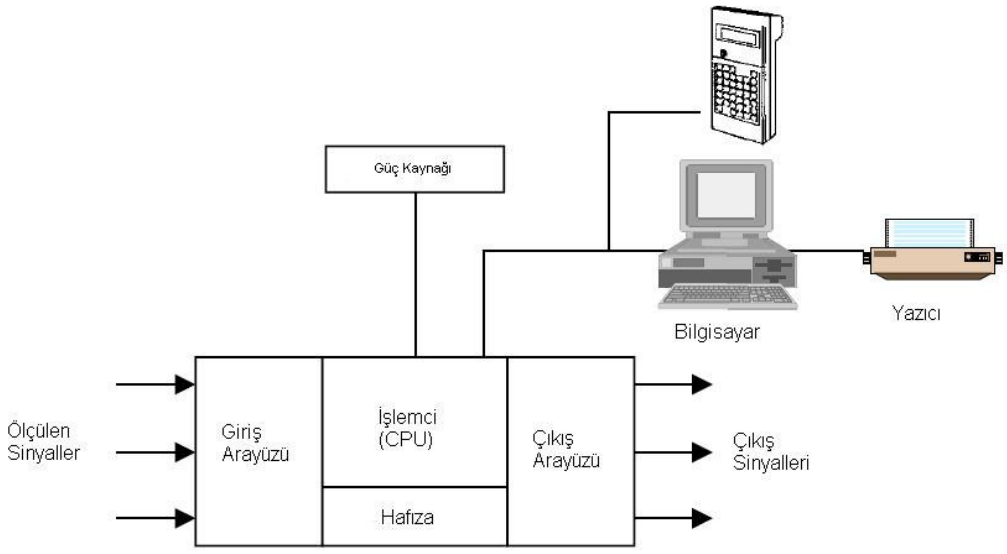
- **Kontrolörler:** Kontrol sisteminin beyni niteliğindedir. Ölçme enstrümanlarından gelen bilgiyi istenen değerle karşılaştırıp içindeki programa göre uygun kontrol işaretleri üretir. Kontrolörler en genel manada elektronik ve pnömatik kontrolörleri içeren analog kontrolörler ve bilgisayar tabanlı dijital kontrolörler olmak üzere ikiye ayrılabilir(Şekil 2.4). Günümüzde teknolojideki gelişmelere bağlı olarak olarak artık yaygın olarak bilgisayar tabanlı kontrolörler kullanılmaktadır. Bunlardan en bilindik olanları DCS (Dağıtılmış kontrol sistemleri) ve PLC'lerdir.



Şekil 2.4: Kontrolör Çeşitleri

a. DCS: DCS yani dağıtılmış kontrol sistemleri, dağıtılmış kontrol fonksiyonlarını gerçekleyebildiği gibi; durumu okuma, gözleme özelliğine ve gelişmiş arayüze sahiptir.

b. PLC: Mikroişlemci tabanlı olan, programlanabilir lojik kontrolörler olarak bilinen PLC'ler, ilk başlarda basit kumanda devrelerinde röleli sistemlerin yerini alması için düşünülmüş olsa da; daha sonra teknolojideki gelişmelere paralel olarak endüstriyel kontrol sistemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. PLC'ler bugün süreç kontrolünde de sıkça kullanılmakta olup veri iletişim sistemlerinden olan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisiton) ile de uyumlu şekilde çalışmaktadır. PLC'nin genel yapısı Şekil 2.5'ten görülebilir:



Şekil 2.5: PLC'nin Yapısı

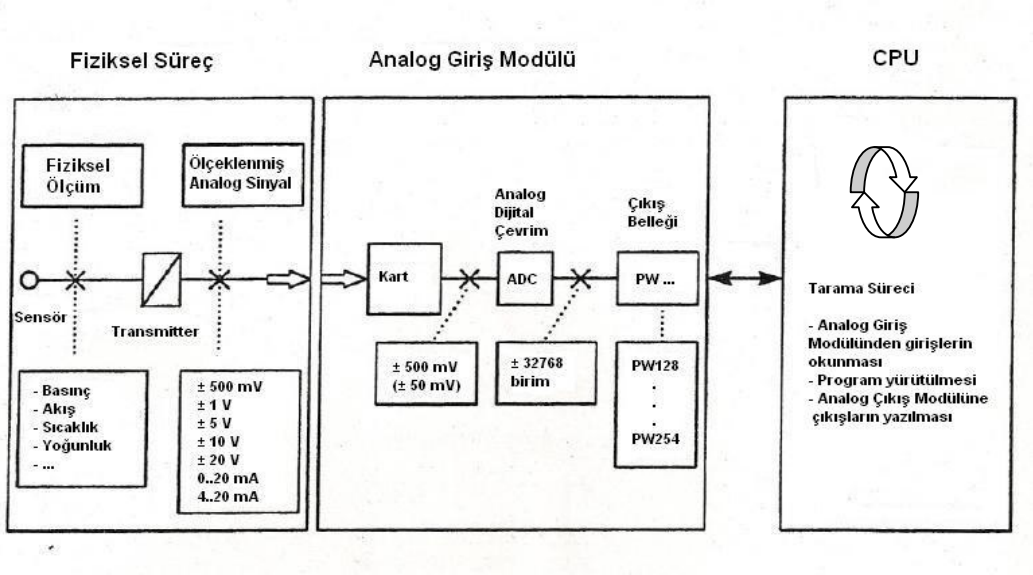
PLC'nin yapısına bakıldığında 3 ana bölümden oluştuğu görülebilir. Bunlar giriş birimi, işlemci birimi ve çıkış birimidir[1]. Giriş biriminde ölçülen sinyaller PLC'de işlenecek şekilde sayısal verilere dönüştürülürken; çıkış biriminde ise PLC'deki programa göre üretilen sayısal işaretlerin kontrol edilen sisteme uygulanmak üzere elektriksel işaretlere dönüştürülme işlemi yapılır. Bir diğer birim olan CPU yani merkezi işlemci biriminde ise PLC sisteminde yapılan işler düzenlenir. CPU'da yazılan program yürütüldüğü gibi I/O kartlarıyla iletişim ve harici aygıtlarla haberleşme sağlanır.

PLC'de önemli olan kısımlardan birisi de bellektir. Bellek ana hatlarıyla işletim sisteminin olduğu sistem belleği ve sayıcıların, zamanlayıcıların ve program bloklarının olduğu kullanıcı belleği olmak üzere iki kısımdan oluşur[4]. İhtiyaca göre salt okunur bellek (ROM), rastgele erişimli bellek (RAM), silinebilir programlanabilir salt okunur bellek (EPROM) ya da elektriksel olarak silinebilir programlanabilir salt okunur bellek (EPROM) tiplerinden seçim yapılabilir.

PLC için en önemli kavramlardan biri de tarama sürecidir. Bu süreçte girişler okunur, program yürütülür ve çıkışlar güncellenir. Tarama bittiğinde tekrar taramanın başlangıcına geri dönülür. Bir diğer ifadeyle, program yürütülmeye başladıktan sonra ilk komuttan son komuta kadar sırayla yürütülür ve program son komutuna erişildiğinde ise tekrar birinci komuta dönülür. Bu tarama çevrimi PLC çalıştığı sürece sonsuz çevrim halinde devam etmektedir[1]. Bu tarama çevrimi süresi PLC'nin işlemcisinin tipine, programın uzunluğuna, giriş çıkışların sayısına göre değişebilir. Bir tarama sürecinde, öncelikle giriş birimindeki değerler okunur ve giriş görüntü belleğine yazılır. Daha sonra program baştan sona kadar taranmaya başlanır ve eğer içinde herhangi bir hata veya tarama süresi aşımı yoksa çıkış görüntü belleği aracılığıyla çıkış birimine iletilir.

PLC'ler ile süreç kontrolü genellikle analog sinyaller üzerinden yapılmaktadır[5]. Analog sinyallerin okunması ve işlenmesi için PLC'lerde analog giriş ve çıkış modüllerinin olması gerekmektedir. Analog girişlerin nasıl okunduğu Şekil 2.6'den anlaşılabilir[1]. Buna göre fiziksel işaretler ilk önce sensörlerde ölçülerek elektriksel sinyallere dönüştürülür. Sensörlerden gelen bu işaretler şekilde gösterilen standart biçimlerde iletimde kayıpları minimuma indirecek şekilde analog giriş modülüne taşınır. Bu modülde analog işaretler ADC vasıtasıyla 12 bitlik sayısal işaretlere

dönüştürülür ve çevresel kelimelerden (peripherial word) oluşan giriş belleğine yazılır. Bu aşamadan sonra CPU giriş görüntü belleğine yazılmış girişleri okur ve istenen değerle karşılaştırarak içindeki programa göre kontrol işareti üretilir. Analog çıkış birimine iletilen bu kontrol sinyali, burda DAC üzerinden sürücülere uygulanır. Sürücüler de sürece üretilen bu kontrol işaretlerini uygulayarak süreç değişkenini istenen değerde tutmaya çalışırlar. Böylece PLC aracılığıyla kapalı bir çevrim tamamlanmış olur.

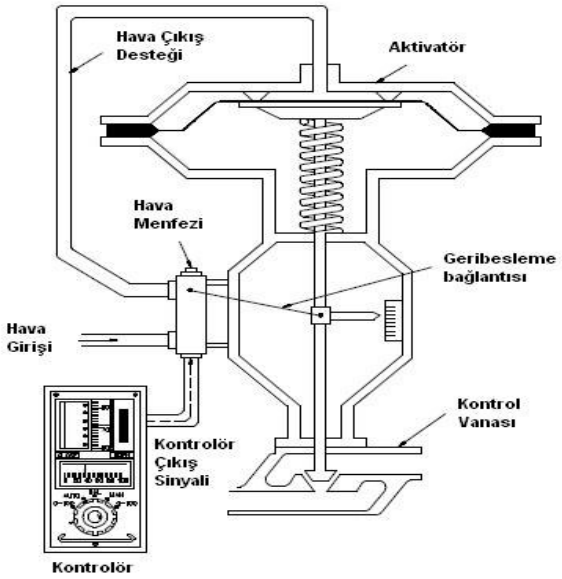


Şekil 2.6: PLC'de Analog İşaretlerin İşlenmesi

• **Sürücüler:** Son kontrol elemanları olarak da bilinirler. Kontrolörden gelen işaretleri kontrol edilen sürece doğrudan uygulamakla görevlidirler. Son kontrol elemanları olarak vanalar, pompalar, konveyörler, elektrik motorları ve diğer kontrol aygıtları örnek olarak verilebilir. Endüstride en çok kullanılan son kontrol elemanı, süreç değişkeninin sıcaklık, basınç, akış gibi kontrol amaçlarını gerçekleştirmek için kullanılan vanalardır.

Otomatik ya da elle ayarlanan (manual) olsun, hiçbir vananın tek başına açılıp kapanma özelliği yoktur. Elle ayarlanan vanalar açılmak veya kapanmak için bir operatöre ihtiyaç duyar. Diğer vana olan otomatik yani uzaktan kontrol edilebilen vanalar ise bu özellikleri gerçekleştirmek için aktivatörler gibi özel aygıtlara ihtiyaç duyarlar. Bu aygıltlar, son kontrol elemanlarının parçaları olarak bilinirler ve kontrolörden gelen kontrol işaretlerini süreçte değişikler yapacak şekilde son kontrol

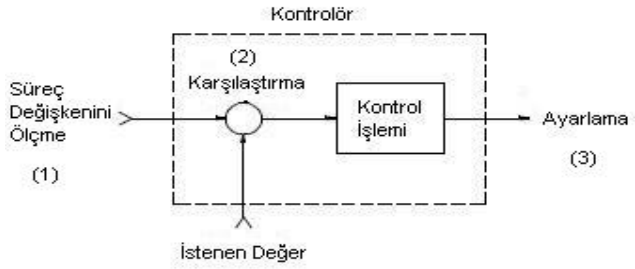
elemanlarını etkilerler[4]. Örnek verilecek olunursa, akış kontrol sürecinde akış kontrol vanası kullanılır ve burada aktivatörler bu vanayı açıp kapama görevini üstlenmektedir. Aktivatörler elektriksel, pnömatik ya da hidrolik olabilir. Aşağıda bulunan Şekil 2.7'de bir pnömatik vanaya ait şema gözükmektedir:



Şekil 2.7: Pnömatik Vana

2.3.2 Süreç Otomasyonu İşlemleri

Süreç otomasyonunun temel amacı, süreçteki çıkış değişkenini istenen değerde tutmaktır. Hemen hemen tüm süreç otomasyonlarında bu hedefe varabilmek için Şekil 2.8'de de görüldüğü gibi başlıca 3 tür işlem yapılmaktadır[2]:



Şekil 2.8: Süreç Otomasyonu İşlemleri

1. Ölçme: Kontrol edilmek istenen süreç değişkeninin ölçme elemanları vasıtasıyla kontrolöre geribeslenmesi olayıdır. Ölçme işleminde genellikle sensör ve transmitterlerin birleşimi kullanılmakla beraber bazı uygulamalarda sadece sensör yeterli olmaktadır. Sensörler aracılığıyla ölçülen fiziksel işaretler, burada genellikle elektriksel işarete dönüştürülür. Transmitterler ise sensörden gelen işaretleri 0-20 mA, 4-20 mA, 0-10 V, 0-5 V gibi standart formlara sokarak kontrolöre iletmekle yükümlüdür. Örnek olarak verilen Şekil 2.1'deki basınç kontrolünde, basınç transmitteri bu vazifeleri üstlenerek kontrolöre belli standartta elektriksel sinyaller göndermektedir.

2. Karşılaştırma: Karşılaştırma işlemi süreç kontrolünde hayati önem niteliğindedir. Ölçme elemanlarıyla gelen süreç değişkenine ait bilgi, istenen değerle karşılaştırılarak süreç değişkenini istenen değerde tutmak için kontrolörün karar verme safhasıdır.

3. Ayarlama: Karşılaştırma işlemininin sonucunda kontrolör içindeki programa göre uygun kontrol işaretleri üretilir. Üretilen işaretler genellikle son kontrol elemanları vasıtasıyla sürece uygulanmaktadır. Yine Şekil 2.1'deki basınç kontrol sürecinden örnek verilecek olunursa, burada da son kontrol elemanı kontrol vanasıdır.

3. KONTROL TÜRLERİ

3.1 Giriş

Tek giriş tek çıkışlı (SISO) geleneksel kontrol sistemlerine ait çözümler yıllar öncesinden beri bilinmektedir. Oransal, integral ve türev bileşenlerinin kombinasyonları şeklinde oluşturulan kontrolörlerle hemen hemen tüm süreçlerde etkili, basit ve maliyeti az sonuçlar elde edilmektedir. Bu yüzden PID ve türevlerinden oluşan kontrolörler, günümüzde hala endüstride en çok tercih edilen kontrol tiplerindendir ve bu kontrolörlerle yeterli sonuçlar yakalanmaktadır. Geleneksel kontrol sistemleri bu sebeple hemen hemen tüm kontrol sistemlerinin belkemiğini oluşturmaktadır. Son yıllarda teknolojinin her alanındaki büyük gelişmelere paralel olarak geleneksel kontrol sistemlerinde de büyük ilerlemeler olmuştur. İlerlemiş (Advanced) kontrol sistemleri denilen bu sistemler daha karmaşık yapıda olmakla birlikte önemli derecede performans arttırımları sağlayabilmektedir[6].

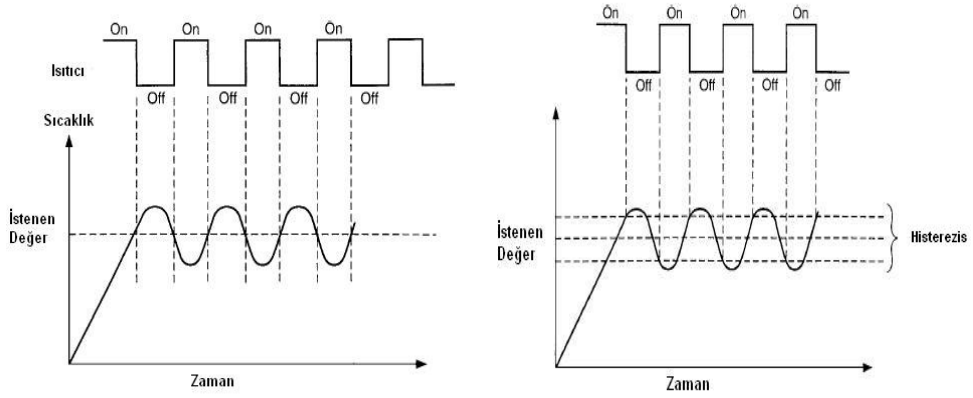
Değinildiği gibi, kontrol sistemlerinin son derece ilerlemiş olmasına ve çok sayıda çözümler üretilmesine rağmen, PID kontrolörler endüstride hala en geniş şekilde kullanılan kontrolör türüdür. Süreç kontrolünde kontrol edilen süreçler genellikle tek giriş ve çıkışlı olduğu; PID kontrolörünün çözümlerinin yeterliliği; yapısının basitliği gibi sebeplerle süreç kontrolünde çoğunlukla PID kontrolörü ve türevleri kullanım dahilindedir[1]. Sonuçta süreç kontrolünde en çok kullanılan kontrol türleri iki konumlu, oransal, integral, oransal-integral, oransal-türev ve oransal-integral-türev şeklinde sıralanabilir. Bu bölümde kontrolör tipleri sırasıyla incelenecektir.

3.2 İki Konumlu Kontrol

İki konumlu kontrol yapısı itibariyle en basit kontrol türüdür. Kontrol işareti lojik devre mantığıyla kapalı ve açık olarak üretilir. Üretilen bu bilgi 1 bitlik işaret olabilir. Bu tip kontrolde eğer ölçülen süreç değişkeni, istenen değerden küçük olursa

kontrol işaret üretilir (açık durumu) ve sistem devredir; aksi halde kontrol işareti kesilir (kapalı durumu) ve sistem devreden çıkartılır.

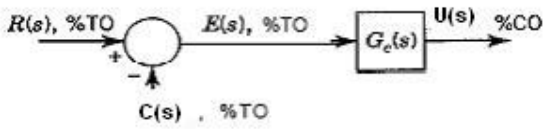
Bir sıcaklık kontrol sürecinde, ısıtıcının sıcaklığın istenen değerden büyük ya da küçük olmasına göre devreye girip çıktığı gözlenmektedir. Burada devreye girmeler ve devreden çıkmalar çoğunlukla kontaktör, yarı iletken eleman ya da vanalar aracılığıyla olduğu için anahtarlamalarda bazı süreçlerde sorunlar çıkabilir. Bunun önüne geçmek için istenen değer bir histerezis bandı oluşturulur[7]. Bantın genişliği kontaklama sürelerini direk etkilemektedir. Bir odanın ısıtma süreç kontrolüne ait iki konumlu kontrolde histerezis bandının olmadığı ve olduğu durumlara ait grafikler ait Şekil 3.1'daki gibi görülebilir.



Şekil 3.1: İki Konumlu Kontrol

3.3 Oransal (P) Kontrol

İki konumlu kontrol genellikle bir odanın sıcaklık kontrolünde ya da buna benzer basit uygulamalarda kullanılmaktadır. Endüstriyel süreçlerde ise daha karmaşık yapılar, değişik süreçli durumlar vardır. Burada sistemler daha dinamiktir ve istenen kontrolde aşım ve yükselme gibi cevap zamanları sürecin sınırları dahilinde mümkün olduğunca minimuma indirilmeye çalışılır. Bu şekilde kontrol edilmek istenen sistem çıkışlarını istenen seviyelere çekmek için endüstrideki birçok uygulamada oransal kontrol kullanılmaktadır. Oransal kontrolde, kontrol işaretleri sürekli olarak ayarlandığı için süreç değişkeni ve istenen değer arasında belli bir denge kurulur



Şekil 3.2: Kontrol İşareti Elde Edilmesi

Oransal kontrol işlemi son derece basittir. Kontrol edilen süreç değişkeni ölçme düzenekleriyle standart elektriksel sinyallere dönüştürülüp istenen değerle karşılaştırılır ve sonuçta sistemde (3.1) nolu denklemde görüldüğü gibi bir hata işareti elde edilir.

$$e(t) = r(t) - c(t) \tag{3.1}$$

S tanım bölgesinde ise hata

$$E(s) = R(s) - C(s) \tag{3.2}$$

biçiminde ifade edilir(Şekil 3.2). Hata ile K_c denilen kontrolör kazancı çarpılır ve bias(m) denilen sabit kontrolör çıkışıyla toplanır. Kontrolör kazancı, kontrolör çıkışının (% CO) transmitter çıkışına (% TO) oranı şeklinde tanımlanır.

$$K_c = \frac{\%CO}{\%TO} \tag{3.3}$$

Bias değeri denilen sabit kısım ise hata sıfır olduğunda ve kontrolör elle modunda olduğunda üretilen kontrol işaretidir. Genellikle sabit kısım kontrolör işaretinin %50'si kadardır[2]. Sonuçta kontrol işareti

$$u(t) = m + K_c e(t) \tag{3.4}$$

biçiminde olup, s tanım bölgesinde ise

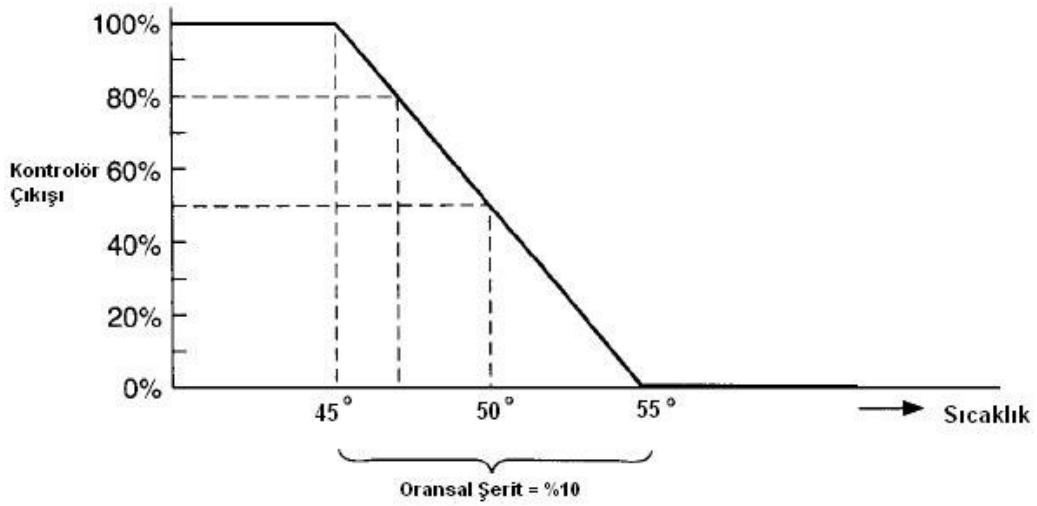
$$U(s) = K_c E(s) \tag{3.5}$$

şeklinde gösterilebilir.

Oransal kontrolde, kontrolör kazancı olan K_c'nin büyümesi demek kontrolörün hataya daha duyarlı hale gelmesi ve sürekli hal hatasında azalma demektir. Fakat

K_c'yi çok büyültmek her zaman etkili çözümler getirmeyebilir. Her sistemin kararlılık sınırlarında olduğu kazanç değerleri vardır. K_c'nin çok büyük değerlerinde sistem kararsızlığa gidebilir. Bu yüzden tasarım yapılırken kararlılık sınırları dikkate alınarak yapılmalıdır.

Oransal kontrol için en önemli tanımlardan biri de oransal şerittir (proportional band). Oransal şerit sayesinde değişik kontrol süreçlerinde kararlı kontrol işlemi sağlanır. İstenen değer çevresine kontrol edilen sürecin belli yüzdesi uzaklığında şerit genişliği seçilir. Örnek olarak verilecek olunursa, bir sıcaklık kontrol sürecinde eğer 100 ^oC'lik bir kontrol aralığı ve % 10'luk bir oransal şerit varsa, 10 ^oC'lik bir şerit aralığı olur. Bu şerit Şekil 10'da görüldüğü gibi istenen değerin 5 ^oC üstünde ve 5 ^oC altında olmak üzere paylaştırılır. Burada istenen değer 50 ^oC seçilmiştir ve buna göre şerit 45 ile 55 ^oC'leri arasındadır. PV 45 ^oC'nin altında ısıtıcıya verilen güç yani kontrolör çıkışı %100 iken; 45 ile 55 ^oC'leri arası kontrolör çıkışı ile lineer karakteristik gösterir. 55 ^oC'nin üstünde ise kontrolör çıkışı sıfırdır. Burada hatanın sıfır olduğu yani 50 ^oC sıcaklık durumunda bias etkisi nedeniyle kontrolör çıkışının % 50 olduğu unutulmamalıdır.



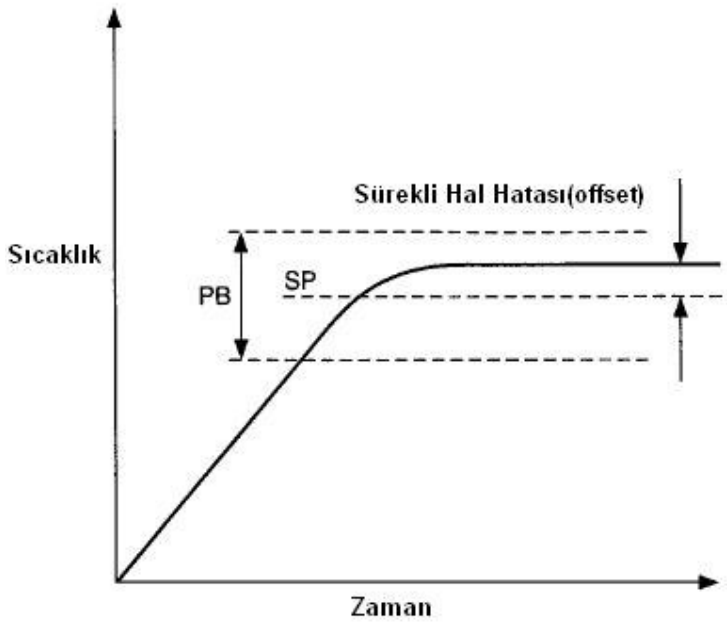
Şekil 3.3: Oransal Şeritli Sıcaklık Kontrol Süreci

Endüstride çoğu uygulamada kontrolör kazancı ile oransal şerit arasında denklem (3.6) gibi değerlendilir.

$$K_c = \frac{\%100}{\%(PB)} \qquad \textbf{(3.6)}$$

(3.6) nolu denklemden de yola çıkılarak, küçük kontrol kazançları için yüksek oransal şerit ve hataya az duyarlı kontrolör; büyük kontrolör kazançları için ise düşük oransal şerit ve hataya daha duyarlı kontrolör olduğu sonucuna varılır[2].

Sürekli hal hatası (offset) denilen kavram, sistem sürekli halde iken istenen değer ile süreç değişkeni arasındaki fark şeklinde tanımlanır(Şekil 3.4). Bu fark sürece, kontrolör kazancına ve istenen değere bağlı olarak değişir. Oransal şerit içindeki sürekli hatası ancak oransal şeritin daraltılması yani kontrolör kazancının büyütülmesi ile olabilir. Fakat daha önce de değinildiği gibi Kc'nin kararlılık içinde büyütülmesi gerekmektedir.



Şekil 3.4: Oransal Kontrolde Sürekli Hal Hatası

Oransal kontrolü sürekli hal hatasını bünyesinde barındırdığı için, sürekli hal hatasına göz yumulabilecek, oransal şerit içinde kontrole izin verilebilen uygulamalarda kullanılabilir. Bu tür uygulamaya örnekleri bir tanktaki seviye kontrolü; bir evdeki termostattaki sıcaklık kontrolü ya da arabadaki hız kontrolü olarak verilebilir. Endüstrideki birçok süreçte ise istenen değerle kontrol edilen

istenen değişken arasında fark istenmez; bu sebeple bu tür durumlarda oransal kontrol yeterli olmaz.

3.4 Integral (I) Kontrolü

İntegral kontrolü ile yapılan bir kontrol işleminde, kontrolör çıkışının değeri olan u(t)'nin değişme oranı hata işareti e(t)'nin büyüklüğüne bağlıdır. Bu kontrol işareti ise matematiksel olarak entegrasyon yapıldığı için integral kontrolü olarak adlandırılır. Söz konusu kontrol işareti

$$u(t) = m + \frac{1}{T_i}\int_o^T e(t)dt \qquad \textbf{(3.7)}$$

şeklindedir. Burada m yine hata sıfır olduğunda üretilen bias denilen sabit kontrol çıkışıdır. T_i ise entegral zamanı olarak adlandırılan katsayıdır. Dakika ya da saniye ile belirtilebilir. (3.7) nolu denklemin laplace dönüşümü alınırsa

$$U(s) = \frac{1}{T_i s}E(s) \qquad \textbf{(3.8)}$$

s tanım bölgesinde kontrol işareti elde edilir. İntegral kontrolünde kontrolör çıkışı değişimi denklem (3.2)'de tanımlanan hata işleminin büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Eğer hata çok büyükse kontrolör de hızlı işaretler üreterek örneğin vananın hızlı açılıp kapanmasını sağlar. Tersi durumda yani hatanın küçük olduğu durumda ise vana yavaş olarak ayarlanır. Kontrolör çıkışı değişim oranı şu şekilde tanımlanabilir:

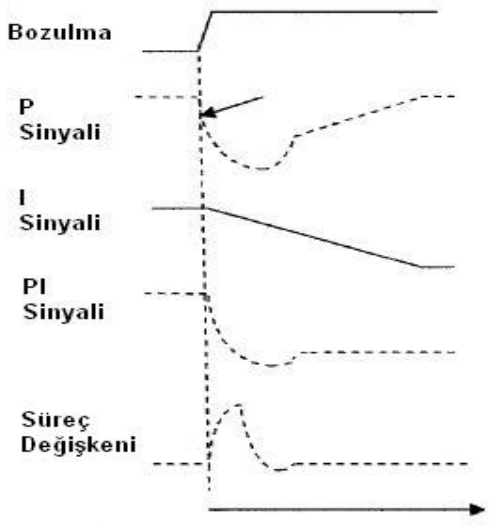
$$\frac{du(t)}{dt} = \frac{1}{T_i}e(t) \qquad \textbf{(3.9)}$$

Denklem (3.9)'dan yola çıkarak bir örnek verilebilir: T_i=0.1 s^{-1} entegral zaman sabitine sahip bir kontrolörde, hatadaki %10'luk lik bir değişim durumunda kontrolör çıkışında her saniyede %1'lik bir değişim söz konusudur. İntegral kontrolörü çıkış değişkeni istenen değere eşit olana yani hata sıfır oluncaya kadar kontrol işaret uygulamaya devam eder.

Sonuç olarak integral kontrolünün en önemli özelliği olarak, süreç devam ederken herhangi bir bozulma sonucu süreç değişkenini tam olarak istenen değere getirmek olarak belirtilebilir. Fakat integral kontolü hataya karşı geç cevap verdiği, başlangıçta çok sapmalara yol açabildiği ve sistemi kararsızlığa götürme gibi durumlara yol açabildiği için genellikle tek başına kullanılmazlar. Genellikle diğer kontrol tipleriyle beraber kullanılırlar.

3.5 Oransal-Integral (PI) Kontrol

Şu ana kadar değinilen oransal ve integral kontrolleri, tek başlarına kullanıldıkları zaman çeşitli avantajlar sunmasına rağmen, bazı dezavantajlar yaratmaktadır. Mesela oransal kontrol hataya karşı hızlı cevap verme özelliğine sahip olmasına rağmen sürekli hal hatasına sebep olduğu için çoğu uygulamada tek başına tercih edilmez. İntregral kontrolünde ise hata sıfır olana kadar kontrol işlemi devam etmesine rağmen cevabın yavaş olması tek başına kullanılmasını engeller. İşte bu iki kontrolörün avantajlarını birleştirecek şekilde yapılan kontrol işlemi oransal-integral (PI) kontrolüdür. PI kontrolör sayesinde hem hataya hızlı cevap imkanı sağlanır hem de sürekli hal hatası sıfırlanır. Endüstride çoğu süreçte PI kontrolör kullanılmaktadır. Şekil 3.5'e bakılacak olunursa, sistemde herhangi bir bozulma olduğunda P, I ve PI sinyallerinin ayrı ayrı uygulanmış görüntüsü ve PI kontrolörlü sistemin cevabı gözükmektedir[3].



Şekil 3.5: P, I ve PI Sinyalleri

PI kontrol işareti,

$$u(t) = m + Kc\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int_o^T e(t)dt \right) \quad \textbf{(3.10)}$$

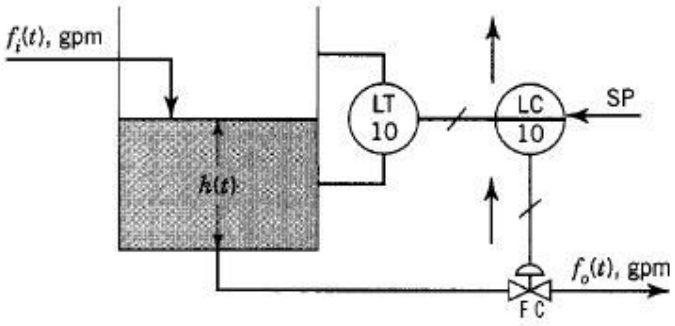
denklemiyle ifade edilebilir[2]. Laplace dönüşümü alınırsa,

$$U(s) = Kc\left(E(s) + \frac{1}{T_i s}E(s) \right) \quad \textbf{(3.11)}$$

ifadesi elde edilir[1]. PI kontrolöre ait transfer fonksiyonu ise,

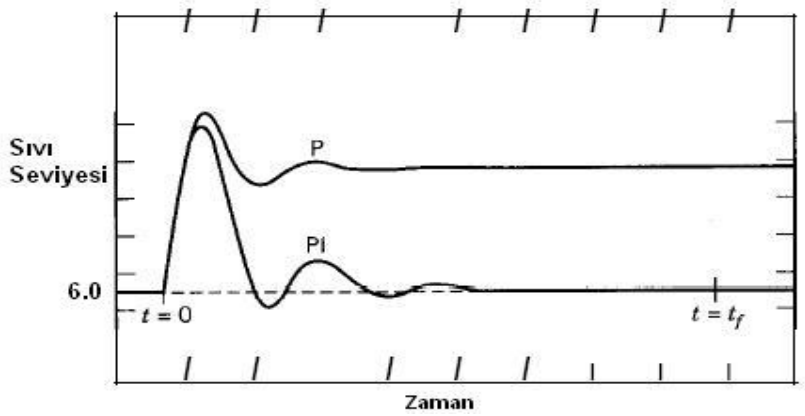
$$G_{PI}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = Kc\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) = Kc\left(\frac{T_i s + 1}{T_i s}\right) \quad \textbf{(3.12)}$$

şeklinde bulunur. P ve PI kontrolörlü bir sistem cevaplarını daha iyi görebilmek için Şekil 3.6'da gösterilen bir tanktaki su seviye sistemi incelenmelidir[2].



Şekil 3.6: Su Tankında Su Seviyesi Kontrol Süreci

Tankın su seviyesi tanka giren (f_i) ve tanktan çıkan su akışı (f_o) ile alakalıdır. Kontrolör de tanktan çıkan su akış hızına vanalar aracılığıyla etkide bulunarak su seviyesini kontrol etmektedir. Tanka giren su akış hızının arttığı düşünülürse, bu durumda tanktaki seviye de artacaktır. Sonuçta kontrolör tanktan çıkan su akış hızını vanayı açarak arttırarak, tanktaki su seviyesini istenen değerde tutmaya çalışacaktır. SP=6 m yükseklik için, kontrolörlerin P ve PI olması durumundaki sonuçlar aşağıdaki Şekil 3.7'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.7: P ve PI Kontrolörlü Sistem Cevabı

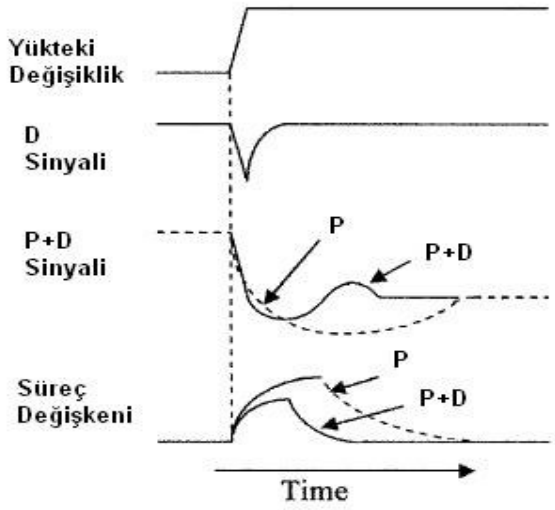
Bu örnekten, daha önce bahsedilen P ve PI kontrolör arasındaki fark açıkça görülmektedir. Sadece P kontrolünde sürekli hal hatası oluşmuşken; PI kontrolünde böyle bir hata yoktur. Buradan yola çıkarak PI kontrolör ile ilgili önemli bir konuya değinilebilir. İntegral sarması (integral windup) denilen ve başlangıçta büyük hatalara ve hata dalgalanmalarına yol açan terim, zaman zaman sıkıntılara yol açmaktadır. Şekil 3.7'deki örnekten de görüldüğü gibi sistemde ilk başlarda büyük bir hata oluşur ve bu hata belli bir süre salınım yapmaktadır. Burada kontrolörün sınırlarını zorladığı için süreç değişkenini sıfıra götürebilme gibi sonuçlar doğurabilir[2]. Bu da kontrolör tasarımını etkileyen unsurlardan olarak değerlendirilir.

PI kontrolörünün ayarlanabilir parametreleri, kontrolör kazancı olan K_c ve integral zamanı T_i'dir. Sistemlerin modelleri ve davranışlarına göre bu parametreler ayarlanabilir. PI kontrolör sayesinde sürekli hal hatası sıfırlanmaktadır. Zaman zaman aşım ve entegral sarması bu kontrolör tipi için negatif özellikler teşkil etse de endüstrideki kontrolör tiplerinin birçoğu PI yapısındadır.

3.6 Oransal-Türev (PD) Kontrolü

Bazı sistemler kontrolördeki ufak değişikliklere çok yavaş cevap verirler. Örneğin su tankı seviye kontrolünde kontrol çıkışlarındaki küçük değişmelere sistem bir hayli geç cevap vermektedir. İşte oransal kontrolörün tek başına yaptığı ayarlama işlemlerini daha çabuk yapmak için oransal elemanın yanına türev elemanı eklenerek PD kontrolör yapısı elde edilmektedir. Burada türev elemanı hatanın değişme oranı

üzerine (eğimine) etki ederek kontrolörün sisteme cevap hızını arttırmaktadır. PD tipi kontrolör, süreç değişkeninin değişim hızına bakarak yine bu değişme oranını etkileyecek şekilde kontrolör işaretleri üretir. P ve PD tipi kontrolörlerin cevap sinyalleri aşağıdaki Şekil 3.8'deki gibidir[3]:



Şekil 3.8: P, D ve PD Sinyalleri

PD kontrol işareti,

$$u(t) = m + K_c\left(e(t) + T_d\frac{de(t)}{dt}\right) \qquad \textbf{(3.13)}$$

denklemiyle ifade edilebilir[2]. Laplace dönüşümü alınırsa,

$$U(s) = K_c\left(E(s) + T_d sE(s)\right) \qquad \textbf{(3.14)}$$

ifadesi elde edilir. PD kontrolörü transfer fonksiyonu ise,

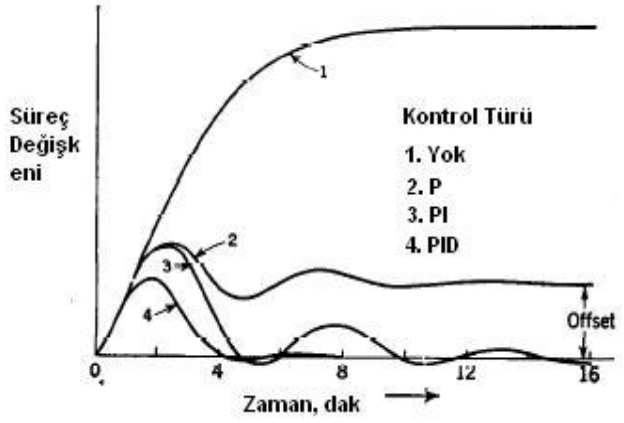
$$G_{PD}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_c\left(1 + T_d s\right) \qquad \textbf{(3.15)}$$

şeklinde bulunur. Formüllerde gösterilen T_d türev zamanıdır; saniye ya da dakika olabilir. PD tipi kontrolörün daha çok yüksek kapasiteli ve cevabı yavaş sistemlerde kullanıldığını söylenebilir. Hızlı cevabı olan sistemlerde PD tipi kontrolör kullanmaya gerek yoktur. Türev elemanı, direkt olarak hatanın büyüklüğü değil de

değişimi üzerine etkide bulunduğu için tek başına kullanılmaz. PD yapısındaki kontrolörün sistem cevap hızı ve aşım gibi geçici hal karakteristiğini etkilediği ve sürekli hale etkide bulunmadığı için sistemde sürekli hatasının var olmasını engelleyemediği düşünülmelidir. Sonuçta PD kontrollörünün sistem kararlılığını arttırdığı gözlenirken, sürekli hal hatasına tolerans edilebilecek durumlarda tercih edilmesi gerektiği belirtilmelidir.

3.7 Oransal-Integral-Türev (PID) Kontrolü

Kontrol edilmek istenen sürece göre kontrolör tipi seçilmektedir. Bazı süreçlerde iki konumlu bile yeterken; bazı durumlarda ise PI kontrolör bile yetersiz kalmaktadır. Sürekli hal hatasının istenmediği, kararlılığın çok olması, yanıtın hızlı olması, aşımın az olması gibi istenen durumlar olabilir. Bu durumları karşılayacak şekilde oransal, integral ve türev elemanlarının birleşimi şekilde kullanılan kontrolörlere PID kontrolörleri denir. PID kontrolörlerde daha önce açıklanan oransal, integral ve türev elemanlarının tüm avantajları birleştirilmiştir. Bu açıdan bakıldığında PID kontrolörler neredeyse tüm istenen özelliklere göre kontrol olanakları sunmaktadır. Tipik bir kontrol sistemine ait kontrolörsüz, P, PI ve PID kontrolörleriyle ilgili cevap aşağıdaki Şekil 3.9'da verilmiştir:



Şekil 3.9: Kontrol Türlerine Göre Cevaplar

PID kontrol işareti,

$$u(t) = m + K_c\left(e(t) + \frac{1}{T_i}\int e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad \textbf{(3.16)}$$

denklemiyle ifade edilebilir[2]. Laplace dönüşümü alınırsa,

$$U(s) = K_c\left(E(s) + \frac{1}{T_i s}E(s) + T_d s E(s) \right) \quad \textbf{(3.17)}$$

ifadesi elde edilir[1]. PID kontrolörü transfer fonksiyonu ise,

$$G_{PID}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_c\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \textbf{(3.18)}$$

şeklinde bulunur.

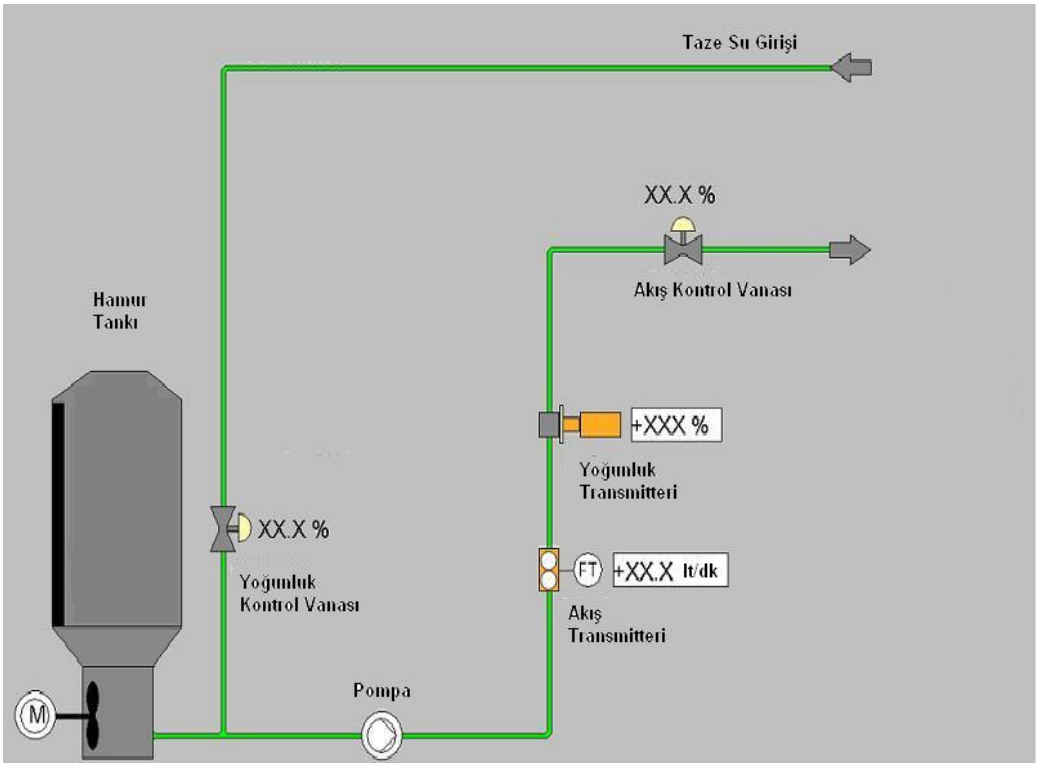
4. KAĞIT HAMURU HAZIRLAMA SÜRECİ

4.1 Giriş

Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi süreç kontrolünün amacı, ürünün imalatını yüksek verimlilik, düşük maliyette üretmek üzere; süreç değişkenlerini kontrol etmek üzeredir. Kağıt endüstrisinde de aynı mantık işlemektedir. Son ürün olan kağıdın yüksek kalitede olması, çeşitli bölümlerden ve süreçlerden geçmesiyle mümkün olmaktadır. Burada fan pompasında basınç kontrol süreci, elekteki motorların hız kontrol süreçleri, presteki motorların tork kontrol süreci, kalenderdeki kağıt gergisi kontrol süreci ya da kağıt hamurunun kontrol süreci gibi birçok süreç kontrolü sayılabilir. Tez çalışmasında, kağıt hamurunun dolayısıyla kağıdın istenen kalitede olmasını sağlamak amacıyla kağıt hamurunun süreç otomasyonu yapılmıştır. Kağıt hamuru selülozun suyla süspansiyonundan elde edilen ve kağıdı oluşturan hammaddedir. Kağıt hamuru hazırlama sürecinde kontrol edilen süreç değişkenleri şunlardır:

- Kağıt Hamuru Akışı (Debi, Flow)
- Kağıt Hamuru Yoğunluğu (Kesafet, Consistency)

Kağıt hamuru hazırlama süreç otomasyonuna ait şema Şekil 4.1'deki gibidir:



Şekil 4.1: Kağıt Hamuru Hazırlama Süreci

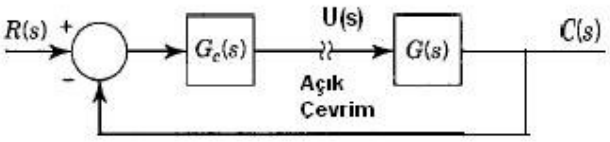
Şekil 4.1'deki blok şemadan da görüldüğü gibi kağıt hamuru hazırlama sürecinde iki tane kontrol çevrimi vardır. Bu çevrimler birbirlerinden bağımsız olup birbirleri üzerine etkide bulunmamaktadırlar. Bu sebeple bu iki süreç birbirinden ayrı iki kontrol çevrimi olarak düşünülmektedir. Bir diğer ifadeyle bu iki sistem ayrı ayrı kontrol edilmektedirler.

Herhangi bir sistemin kontrolünün yapılabilmesi için kontrol edilecek bu sistemin karakteristiğinin bilinmesi gerekmektedir. Eğer bu karakteristikler yani sistem yanıtları bilinebilirse sistem matematiksel olarak ifade edilebilir. Sistemlerin davranışlarına göre matematiksel olarak ifade edilmeleri sonucu matematiksel modelleri elde edilir. İyi bir kontrol işlemi yapabilmek için bu modeller ölçüt alınarak kontrolör tasarımı yapılır . Bu açıdan modelleme kontrol mühendisliği için hayati önemdedir.

Uygulamada sistemlere kara kutu (black box) olarak bakıldığı için modelleri süreç işlerken genellikle önemsenmez. Kontrolör tasarımı yapılırken ise bu modellerin

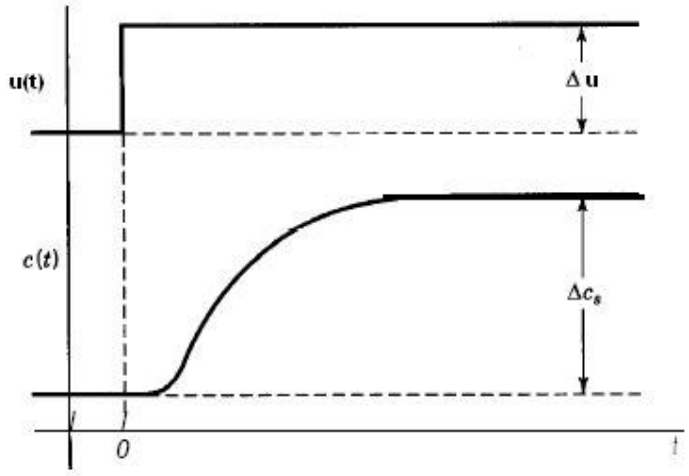
bulunması gerekmektedir. Kontrol edilen bir sürecin modelini elde etmek için süreç basamak testi denen yöntem kullanılmaktadır[2]. Bu yöntem iki aşamalı olmaktadır:

a. Kontrol elle yapılan (manual) konumuna geçilir yani kontrolör devreden çıkartılarak açık çevrim blok elde edilir(Şekil 4.2). Burada sistemin girişine ölçülebilecek büyüklükte bir basamak uygulanmalıdır.



Şekil 4.2: Açık Çevrim Modelleme

b. Ölçme elemanlarından gelen çıkış bilgilerini uygun düzeneklerle zamana bağlı olarak kayıt edilmeli ve sistem cevap eğrisi çizdirilmelidir. Bu test sisteme göre değişen sürelerde birkaç dakika ya da saatlerce sürebilir. Burada sürekli hale gelinceye kadar gözlem devam etmelidir. Aşağıdaki şemada ölü zamanlı, birinci mertebeden bir sisteme ait cevap eğrisi Şekil 4.3'te gözükmektedir.



Şekil 4.3: Birinci Mertebeden Ölü Zamanlı Sistem Cevabı

Bu şekilde açık çevrim cevap eğrileri elde edilebilen sistemlerin modelleri çeşitli modellere benzetilerek yaklaşık olarak modellenebilir. Fakat çoğu uygulamada süreç

devamlı olduğu için kontrolörü devreden çıkartmak mümkün olmayabilir. Bu gibi sürekli işleyen süreçlerin modellenmesi bu yüzden biraz daha karmaşık olup elde edilen cevaplar ancak kapalı çevrim olabilmektedir. Bu tür durumlarda, bakım ya da arıza olduğunda sistem devreye girerken ya da istenen değerlerde dikkate alınabilecek bir değişim olduğu zamanlarda kapalı çevrim sistem cevapları elde edilmekte ve daha sonra buradan açık çevrim cevaplarına geçilmektedir.

Tez çalışmasındaki süreçlerde de kontrolörü devreden çıkartma şeklindeki müdahaleye izin verilmediği için kapalı çevrim cevaplar üzerinden modelleme yapılmıştır. Akış sistemi için sistemi devreye alınırkenki cevaptan yola çıkarak; yoğunluk sistemi için ise istenen değerdeki değişimi gözleyerek cevaplar elde edilmiştir. Modelleme detayları şu şekildedir:

- Çıkıştaki değişim gözlenebilcek ölçüde sistemlerde istenen değerlerde değişiklikler yapılmıştır.

- Elde edilen cevaplar kapalı çevrimdir.

- Kapalı çevrim sistemde kullanılan kontrolörler PI yapısındadır ve kontolör pararametreleri bellidir.

Buna göre iki sistemin de modelini elde etmek için sırasıyla şu yollar izlenmiştir:

1. Sistemlere belli zaman dilimlerinde uygun istenen değerler uygulanarak sürekli hal olana kadar kayıt işlemi yapılmıştır. Böylece kapalı çevrim cevap eğrileri elde edilmiştir.

2. Kapalı çevrim cevaplara göre kapalı çevrim sistemin transfer fonksiyonu bulunmuştur. Bu transfer fonksiyonuna referans transfer fonksiyonu adı verilmiş olup; sistemler modellendikten sonra oluşturulan kapalı çevrim transfer fonksiyonunda bu referans transfer fonksiyonuna ulaşılmak istenmektedir.

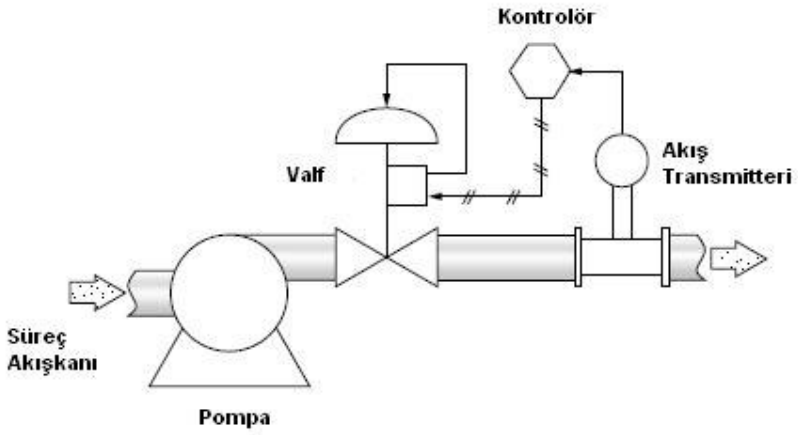
3. Kontrolör parametreleri belli olduğundan kontrolörün transfer fonksiyonu bulunmuştur.

4. Kontrolör transfer fonksiyonu ve referans transfer fonksiyonu belli olduğundan geriye bir tek sürecin transfer fonksiyonunu elde etmek kalmıştır. Burada sistem

dinamiğini etkilemeleri açısından kutuplar dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Sistemin tahmini modelleri ortaya koyularak; kontrolör ile oluşturulan kapalı çevrim modelin karakteristik denklemi ile referans modelin karakteristik denklemi birbirine taraf tarafa eşitlenmiştir. Böylece sistemlerin tahmini modellerinde bilinmeyen parametreler bulunmuş ve sistem yaklaşık olarak modellenmiştir.

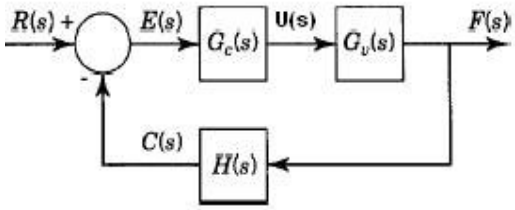
4.2 Akış Süreci

4.2.1 Sürecin Tanıtılması



Şekil 4.4: Akış Kontrol Süreci

Kağıt hamurunun akış kontrol sistemi Şekil 4.4'teki gibidir. Akış transmitterinden gelen akışa ait bilgiler kontrolörde istenen değerle karşılaştırılır. Oluşan hata işareti sonucu, kontrolör içindeki programa göre vanaya gerekli konrol işaretleri üretir. Bu kontrol işaretlerine göre vana çıkışında akış hızı değişir. Böylece kapalı çevrim tamamlanmış olmaktadır. Burada dikkat çekici bir husus kontrol edilen değişken olan akışın, vananın çıkışı olmasıdır. Bir diğer ifadeyle akış kontrol sürecinde süreç bloğu yoktur. Vana açılıp kapanarak akış direk olarak kontrol edilmektedir. Sistemin blok şeması Şekil 4.5'teki gibidir:



Şekil 4.5: Akış Sistemi Blok Şeması

Blok şemadaki birimler başlıca şu şekildedir:

- R(s): İstenen Akış Değeri (SP)
- E(s): Hata
- Gc(s): Kontrolör bloğu
- U(s): Kontrol işareti
- $G_v(s)$: Vana bloğu
- F(s): Akış (PV)
- H(s): Akış transmitteri bloğu

Sistemde kullanılan elemanlar ise akışmetre (akış transmitteri), kontrolör ve kontrol vanası olmak üzere üç kısımda incelenebilir:

1. Akışmetre: Endüstride akış ölçümü için akışmetre (debimetre-flowmeter) olarak bilinen ölçme elemanları kullanılır. Akış ölçümü için kullanılan yöntemler, akışkanların tipine göre, hattın yapısına göre ve özel ihtiyaçlara göre değişmektedir. Uygulamda akış ölçümü için başlıca şu yöntemler kullanılmaktadır:

- Elektromanyetik Akışmetreler: İletkenliği ve akışkanlığı yüksek sıvılar için akış ölçümünde kullanılmaktadır.
- Vortex ve swirl akışmetreleri: İletkenliği düşük, akışkanlığı yüksek sıvılar, gazlar ve buharlar için kullanılmaktadır.

- Coriolis tipi akışmetreler: İletkenliği ve akışkanlığı düşük sıvıların ve petrol türevlerinin ölçümünde uygulanmaktadır.

- Termik Gaz Kütle Akışmetresi: Temiz, konsantrasyonu bilinen gazların akışkanlık ölçümünde kullanılmaktadır.

- Değişken Alanlı Akışmetre (Rotametre): Dikey atış hattı uygulamalarında kullanılır.

- Fark basınç tipi akışmetreler: Geleneksel yöntem olup basınç farkı ölçümü prensibine dayanır.

Tez çalışmasındaki süreçteki akışmetre elektromanyetik tipte akışmetredir. Bu yüzden kısaca bu elemanın incelemesi yapılacaktır. Bu tip akışmetreler Faradayın indüksiyon pensibine göre çalışmaktadır. Faraday kanununa göre manyetik alan içerisinde bir iletkende iletkenin hızıyla orantılı bir gerilim endüklenir. Kullanılan sürece uygun şekilde endüklenen gerilim denklem ifadesi ise

$$V = B \cdot D \cdot v \cdot K_s \qquad \textbf{(4.1)}$$

şeklindedir. Denklem (4.1)'deki ifadelerdeki değişkenler sırasıyla V, sensör çıkış gerilimi; B, manyetik endüksiyon; D, iletken çapı; v, akışkan hızı ve K_s, sensör sabiti şeklindedir. Buradan yola çıkarak sensör çıkışından okunan gerilim ve akışkan hızı arasında doğru bir orantı kurulabilir. Eğer akış

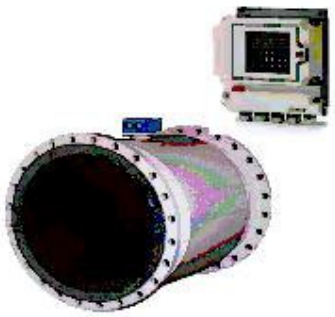
$$Q = A \cdot v \qquad \textbf{(4.2)}$$

şeklinde gösterilirse, akış ile gerilim arasında

$$U \approx Q \qquad \textbf{(4.3)}$$

şeklinde doğrusal bir ilişki olduğu ortaya çıkar.

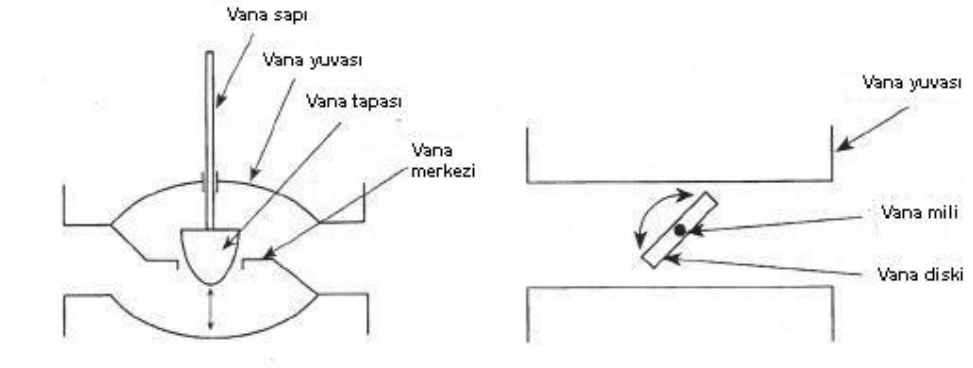
Temel çalışma prensibi bu şekilde olan elektromanyetik tipte akışmetreler uygulama tipine göre de özel olarak yapılabilmektedir. Örneğin su uygulamalı sistemde, kağıt endüstrisinde, dolum tesislerinde ya da kapasitif sistemlerde değişik tipte elektromanyetik akışmetreler kullanılmaktadır. Kağıt endüstrisi için ise aşağıdaki Şekil 4.6'da görülen MAG-SM kodlu akışmetre kullanılmaktadır.



Şekil 4.6: Kağıt Hamuru Akışı İçin Akışmetre

2. Kontrolör: Akış sistemi için bilgisayar tabanlı kontrolörlerden olan PLC ile PI yapısında kontrol işlemi yapılmıştır.

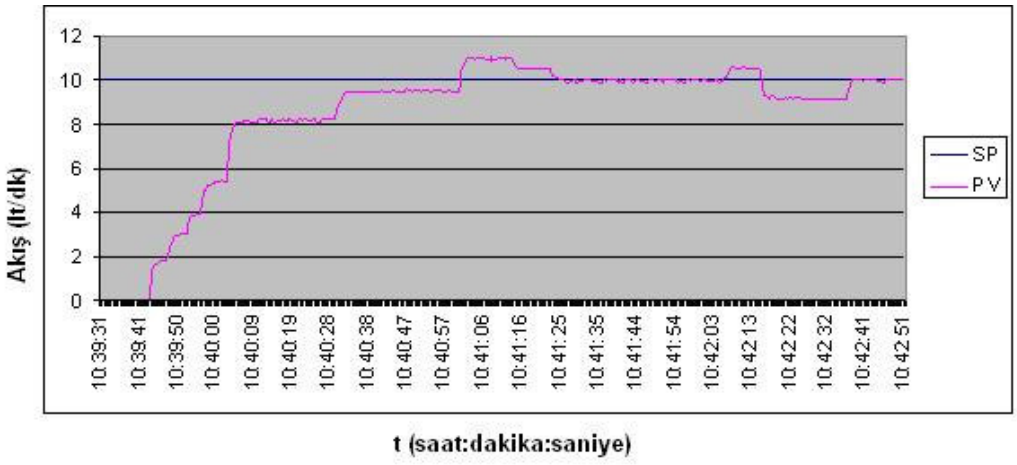
3. Kontrol Vanası: Bölüm 2'de son kontrol elemanları kısmında belirtildiği gibi akış sisteminde de son kontrol elemanlarının aktivatör ve vana oluşur olduğu söylenebilir. Akış bilgisine ve istenen değere göre kontrolörden gelen işaretler aktivatör aracılığıyla kontrol vanasına uygulanır. Böylece kontrol vanası da süreç değişkenini istenen değerde tutmak için uygun şekilde açılıp kapanmaktadır. Kontrol vanaları genelde doğrusal ve döner tip olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Doğrusal vanalar akış kontrolünü vana tıpasının doğrusal olarak hareket etmesiyle gerçekleştirirken; döner vanalar ise akış kontrolünü vana diskinin döner hareketiyle gerçekleştirir. Aşağıdaki Şekil 4.7'de doğrusal ve döner tipte vanalar gözükmektedir. Akış kontrol vanaları genellikle hızlı cevap verirler ve bir kazançla ifade edilebilirler.



Şekil 4.7: Doğrusal ve Döner Tip Vanalar

4.2.2 Modelleme

Akış sistemi modellemesi 4. bölümdeki giriş kısmında anlatılan yollar vasıtasıyla yapılmıştır. Akış sistemine belirli SP uygulayarak sürekli hale ulaşana kadar kayıt yapılmıştır. Buna göre 10 lt/dk'lık bir SP için 13 dakika boyunca sistem cevabı Şekil 4.8'deki gibi oluşmuştur.



Şekil 4.8: Akış Süreci Kapalı Çevrim Cevabı

Bu kapalı çevrim cevabına göre sistemin transfer fonksiyonunun bulunması hedeflenmektedir. Bu cevap 2. mertebeden, ölü zamanlı bir sistem olduğundan, transfer fonksiyonu elde edilebilir. Bunu gerçekleştirmek için, ölü zaman, aşım, aşımın olduğu zaman gibi bilinen karakteristiklerin yanında sönüm oranı ve doğal frekans gibi değişkenler de bulunmalıdır. Bunlar ancak 2. mertebeden sistemlere ait bilinen geçici hal denklemleri vasıtasıyla bulunabilir. Sistem karakteristikleri,

- Maksimum aşımın olduğu zaman (t_p) = 89 + 12 =101 s
- Ölü zaman (L) = 12 s
- Kazanç (K) = 1
- $$\text{Aşım}(\%) = \frac{y_{max} - y_{ss}}{y_{ss}} \qquad \textbf{(4.4)}$$

$$\text{Aşım}(\%) = \frac{y_{max} - y_{ss}}{y_{ss}} = \frac{11.0437 - 10}{10} \cdot 100 = \%\,10.437$$

■ Sönüm oranı(ζ)= $\sqrt{\frac{[\ln(y_{max}-y_{ss})]^2}{\Pi^2+[\ln(y_{max}-y_{ss}]^2}}$ **(4.5)**

Sönüm oranı(ζ)= $\sqrt{\frac{[\ln(1.10437-1)]^2}{\Pi^2+[\ln(1.10437-1)]^2}}=0.5845$

■ $\text{Doğal Frekans}=w_n=\frac{\Pi}{t_p\sqrt{1-\zeta^2}}$ **(4.6)**

$\text{Doğal Frekans}=w_n=\frac{\Pi}{89\sqrt{1-0.5845^2}}=0.0435\ \text{rad/s}$

şeklinde belirlenir. İkinci dereceden ölü zamanlı bir sistem

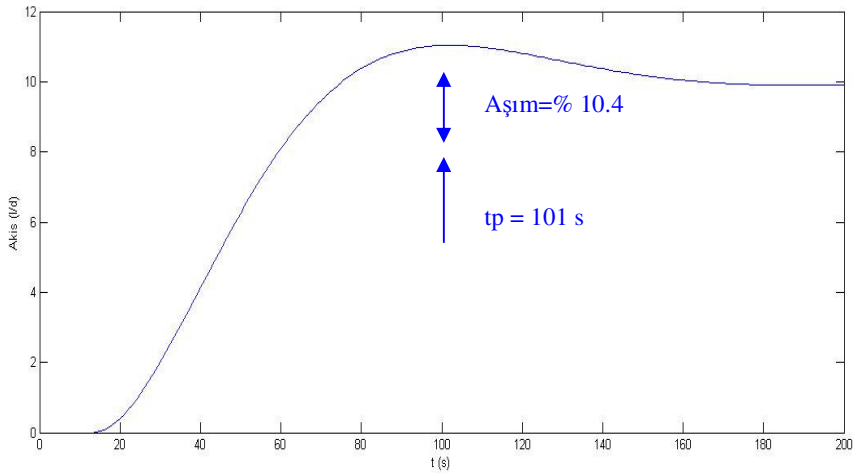
$$G_{kap\text{-}akış}=\frac{Kw_n{}^2}{s^2+2w_n\zeta s+w_n{}^2}e^{-sL} \quad \textbf{(4.7)}$$

şeklinde ifade edilir[1]. K, w_n, ζ ve L gibi sistem parametreleri (4.7) nolu denklemde yerine koyulursa referans transfer fonksiyonu

$$G_{kap-akış}=\frac{1(0.0435)^2}{s^2+2(0.5845)(0.0435)s+(0.0435)^2}e^{-12s}$$

$$G_{kap-akış}=\frac{0.0019}{s^2+0.0509s+0.0019}e^{-12s}$$

biçiminde bulunur. Bu referans transfer fonksiyonunun SP=10 lt/dak için cevabı ise Şekil 4.9'da gösterilmiştir:



Şekil 4.9: Akış Süreci Referans Transfer Fonksiyonu Cevabı

Kontrolör transfer fonksiyonu ise (3.11) nolu denklemde oransal (K_c=1) ve integral (T_i=0.2) katsayıları girilerek

$$G_{PI}(s) = K_c\left(1+\frac{1}{T_i s}\right) = \left(1+\frac{1}{0.2s}\right) = \frac{s+5}{s}$$

şeklinde bulunur. Referans ve kontrolör transfer fonksiyonları belirlendikten sonra sıra akış sistemi transfer fonksiyonunu bulmaya gelmektedir. Akış sistemi için tahmin edilen model birinci mertebeden, ölü zamanlı sistemdir[7]. Bu sistem

$$G_{akış}(s) = \frac{K}{\tau s+1} e^{-sL} \qquad \textbf{(4.8)}$$

denklemiyle ifade edilir. Akış sistemi için parametrelerin bulunabilmesi için, (ölü zaman ihmal edilerek) referans karakteristik denklemi kullanılmıştır. Karakteristik denklem

$$\Delta s = 1 + G_{PI}(s)\, G_{akiş}(s) = 0 \qquad \textbf{(4.9)}$$

denklemiyle ifade edilir. Kontrolör transfer fonksiyonu, akış modeli transfer fonksiyonu (4.9)'da yerine koyulur ve referans transfer fonksiyonunun karakteristik denklemine eşitlenirse,

$$1 + G_{PI}(s)\,G_{akiş}(s) = s^2 + 0.0509s + 0.0019$$

$$1 + \left(\frac{s+5}{s}\right)\left(\frac{K}{\tau s+1}\right) = s^2 + 0.0509s + 0.0019$$

$$s^2 + \left(\frac{K+1}{\tau}\right)s + \left(\frac{5K}{\tau}\right) = s^2 + 0.0509s + 0.0019$$

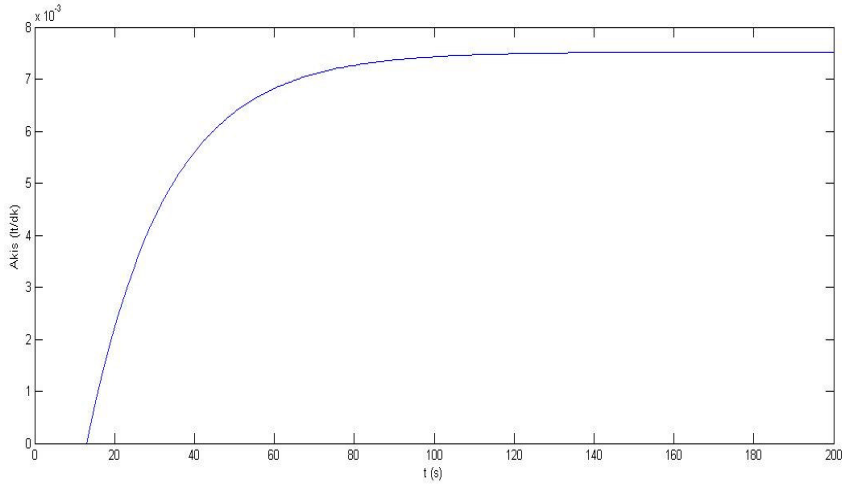
sistem parametreleri

- Sistem Kazancı (K) =0.752 10^{-2}
- Zaman Sabiti (τ) = 19.792 s

olarak bulunur. Sonuçta akış sistemi için transfer fonksiyonu

$$G_{akış}(s) = \frac{0.007521}{19.792s+1}e^{-s12}$$

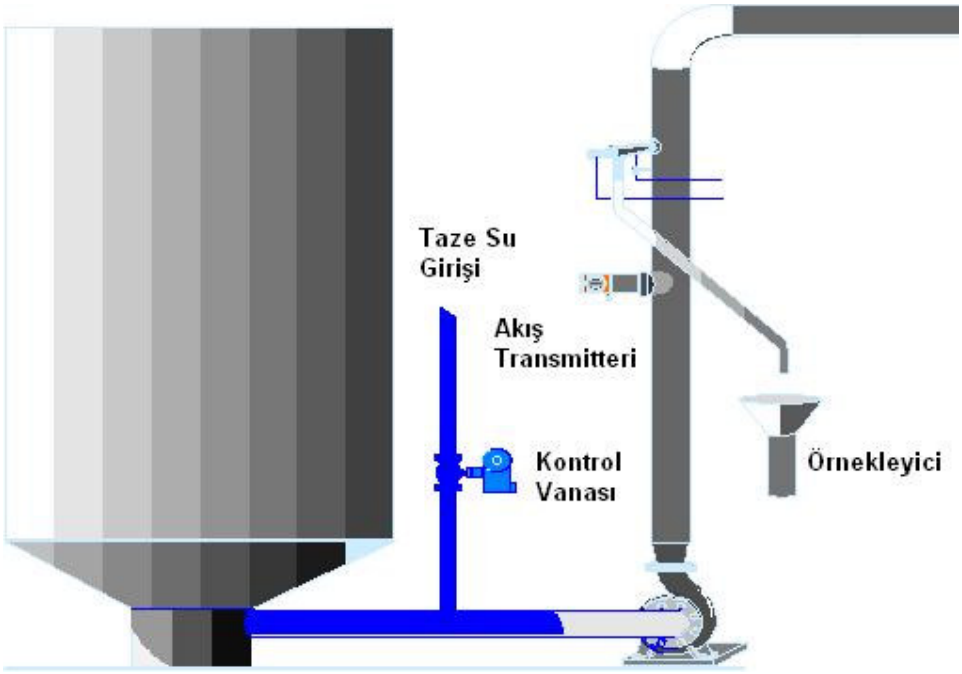
biçimindeyken, açık çevrim cevabı ise Şekil 4.10'daki gibidir:



Şekil 4.10: Akış Süreci Açık Çevrim Cevabı

4.3 Yoğunluk Süreci

4.3.1 Sürecin Tanıtılması

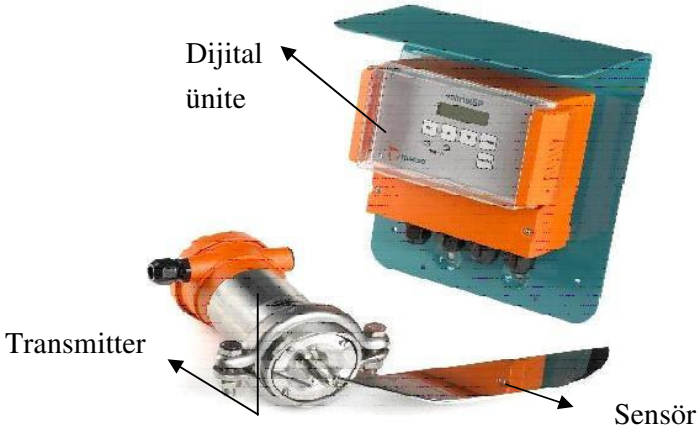


Şekil 4.11: Yoğunluk Kontrol Süreci

Kağıt hamuru kalitesi belirlemede en önemli kriterlerden biri de hamurun yoğunluğudur (kesafet). Yoğunluk yüzde olarak ifade edilmektedir ve buradaki yüzde kağıt hamurunun karışımdaki yüzdesidir. Şekil 4.11'da gösterilen yoğunluk çevrimi yoğunluğun ölçülmesi ile başlamaktadır. Yoğunluk transmitteri ile ölçülen ve standart olarak elektriksel sinyallere çevrilen işaret, kontrolörde girilen istenen değerle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma neticesinde kontrolör, içindeki programa göre uygulanması gereken kontrol işaretlerini kontrol vanasına uygular. Böylece kontrol vanası açılıp kapanarak taze su girişi ayarlanmaktadır. Vananın biraz açıldığı durumda su girişi artar dolayısıyla yoğunluk azalırken; vana biraz kapanırsa su girişi azalır ve yoğunluk artar. Bu şekilde bir çevrim tamamlanmış olur ve süreç değişkeni olan kağıt hamuru yoğunluğu istenen değere çekilmiş olunur.

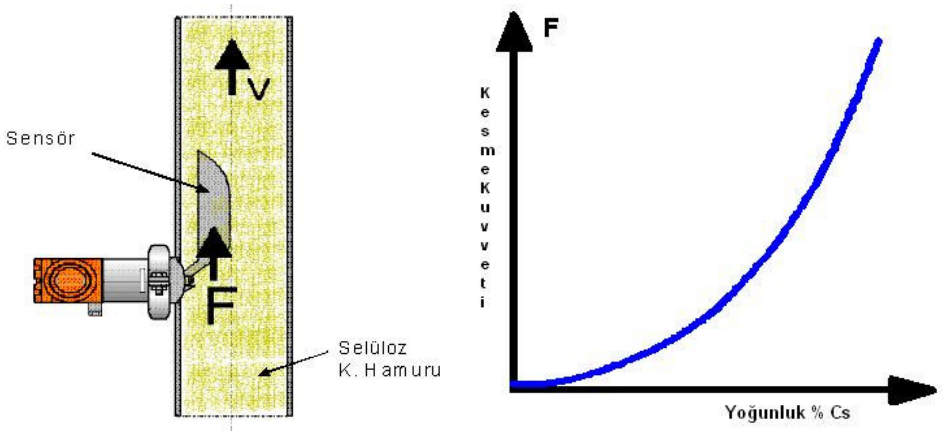
Yoğunluk sistemi de akış sistemi gibi yoğunluk transmitteri, kontrolör ve kontrol vanası olmak üzere üç kısımda incelenebilir:

1. Yoğunluk ölçümü için yoğunluk (kesafet) transmitterleri kullanılmaktadır. Yoğunluk transmitterleri Şekil 4.12'de de görüldüğü gibi sensör, transmitter ve dijital ünite olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 4.12: Yoğunluk Transmitteri

Ölçme prensibi bakımından ise mekanik, optik ve mikrodalga olmak üzere üç tip yoğunluk sensörü olduğu söylenebilir. Bu kontrol sisteminde bıçaklı yani mekaniksel tipte yoğunluk sensörü kullanılmıştır. Şekil 4.13'te de görüldüğü gibi sensör hareketli elyaf ağlarını keserek bir kuvvet oluşturur. Yine bu şekilden elyaf ağları kesme kuvvetiyle yoğunluk arasındaki değişim görülebilir:



Şekil 4.13: Elyaf Kuvveti ve Yoğunluk Arası İlişki

Yoğunluk transmitterleri genellikle %1 ile %16 ölçüm aralığında çalışır. İçinde transmitter barındığı için çıkış sinyalleri 4-20 mA standart sinyallerdir. Böylece bu transmitterden elde edilen sinyaller PLC için uygun hale gelmektedir. Bu

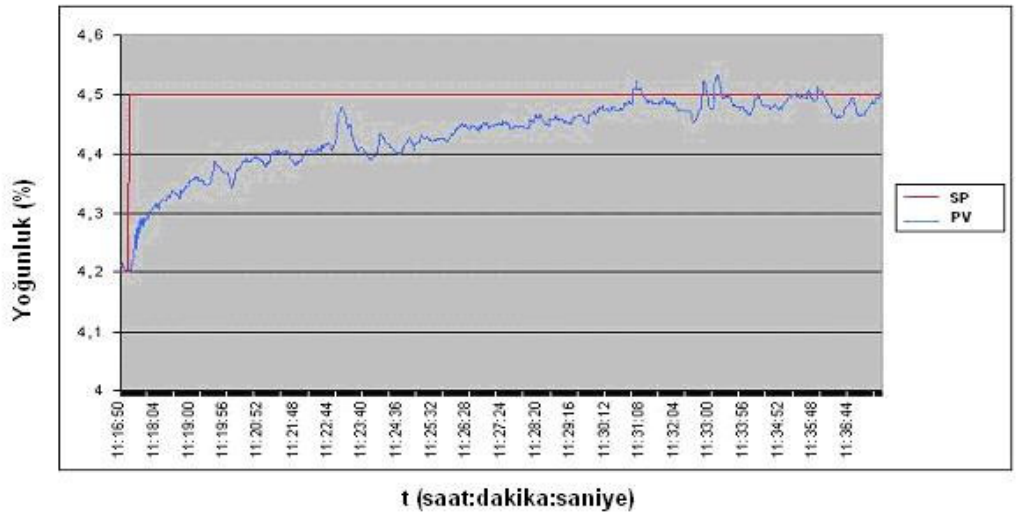
transmitterde bulununan bir diğer ünite ise konfigürasyon ve kalibrasyon için gerekli üniteleri içeren dijital birimdir. Bu birim sayesinde, gerek duyulduğunda transmitterle ilgili bütün problemler dijital üniteden izlenmekte, problemle ilgili teşhisler çabuk konulmakta ve yine bu ünite ile problemler anında giderilmektedir.

2. Kontrolör: Yoğunluk sisteminde de akış sisteminde olduğu gibi PLC tabanlı ve PI yapısında kontrolör kullanılmıştır.

3. Kontrol Vanası: Yoğunluk akış kontrol vanası üzerinden kontrol edildiği için, kullanılan vana akış sistemindeki vanayla aynı özelliktedir. Burada yoğunluğu etkileyen vana taze su girişini ayarlamaktadır. Vananın açılmasıyla taze su girişi artıp yoğunluk azalırken; vananın kapandığı durumda taze su girişi azalıp yoğunluk artmaktadır.

4.3.2 Modelleme

Yoğunluk sistemi için modelleme akış sistemiyle benzer metotla yapılmıştır. Yoğunluk sisteminde süreç devamlı işlediği için istenen değerde sistemin çalışmasını ve kararlılığını etkilemeyecek şekilde belli değişiklik yaparak değişim gözlenmeye çalışılmıştır. Sistemin yoğunluğu (PV) % 4.2 iken istenen değer (SP) % 4.5'a çekildiğinde sistemin cevabı kaydedilmiştir. Buna göre kapalı çevrim cevabı aşağıdaki Şekil 4.14'teki gibidir.



Şekil 4.14: Yoğunluk Sistemi Kapalı Çevrim Cevabı

Bu kapalı çevrim cevaba bakıldığında 1. mertebeden bir sistem veya 2. mertebeden kritik sönümlü bir sistem görüntüsünde olduğu söylenebilir. Sistemde herhangi bir ölü zamana rastlanmamıştır. Sistem bir PI kontrolörle kontrol edildiği ve yoğunluk sistemi tahmini modelinin birinci mertebeden bir sistem olduğu için; bu kapalı çevrim cevabı ikinci mertebeden kritik sönümlü bir sistem olarak alınabilir. Kritik sönümlü bir sistemin birim basamak yanıtı

$$y(t) = K(1 - e^{-t/\tau} - \frac{t}{\tau} e^{-t/\tau}) \quad \textbf{(4.10)}$$

biçimindedir[1] ve τ şeklinde ifade edilen zaman sabitine ait tablo değişim Tablo 4.1'tedir.

Tablo 4.1: Zaman Sabitine Göre Sistem Yanıtı

t/τ oranı	y(t)
0.5	0,0902
1	0.264
1,5	0.442
2	0.593
2,5	0.712
3	0.8
4	0.908
5	0.959
6	0.982
7	0.992
8	0.996
9	0.998
10	0.999

Bu tür sistemlerde sönüm oranının (ζ) 1 olduğu ve transfer fonksiyonunun

$$G_{kap\text{-}yoğ}(s) = \frac{K}{(\tau s + 1)^2} \quad \textbf{(4.11)}$$

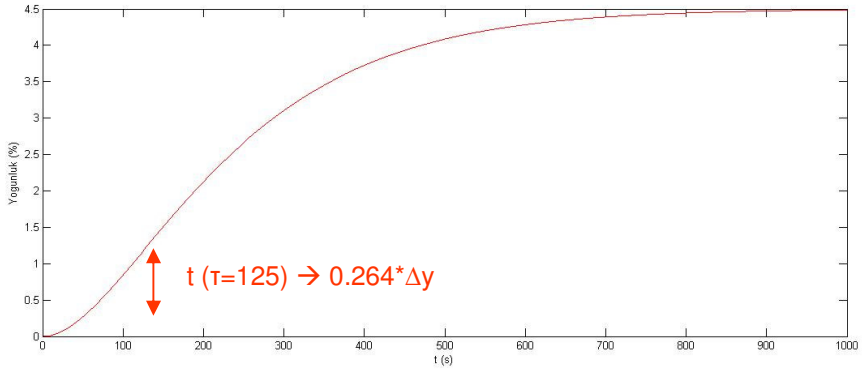
şeklinde ifade edildiği görülür[1]. Şekil 4.14'deki cevap için sistem için parametreleri ise

- Zaman sabiti (τ) = 125 s
- Kazanç (K) = 1

biçiminde bulunur. Bu parametreler denklem (4.11)'de yerine koyulursa referans transfer fonksiyonu

$$G_{kap\text{-}yoğ}(s) = \frac{1}{(125s+1)^2} \qquad \textbf{(4.12)}$$

biçiminde olup; cevabı aşağıdaki Şekil 4.15'teki gibidir:



Şekil 4.15: Yoğunluk Süreci Referans Transfer Fonksiyonu Cevabı

PI yapısında olan kontrolör parametreleri denklem (3.12)'de yerine koyulursa elde edilen transfer fonksiyonu

$$G_{PI}(s) = K_c\left(1+\frac{1}{T_i s}\right) = 2\left(1+\frac{1}{2s}\right)$$

$$G_{PI}(s) = \frac{2s+1}{s}$$

şeklindedir. Kapalı çevrim ve kontrolör transfer fonksiyonları bilindiğine göre, tek bilinmeyen olan kağıt hamuru yoğunluğu tahmini modeli artık bulunabilir. Burada akış sisteminde olduğu gibi yine kapalı çevrim (referans) karakteristik denkleminden yararlanılacaktır. Kağıt endüstrisinde kağıt hamuru yoğunluğuna ait model genellikle birinci mertebeden ya da birinci mertebeden ölü zamanlı sistemler olarak bilinir[9]. Yoğunluk transfer fonksiyonu

$$G_{yoğ}(s) = \frac{K}{\tau s+1}$$

şeklinde ifade edilip karakteristik denklem ifadeleri yerine yazılırsa,

$$1 + G_{PI}(s)\, G_{yoğ}(s) = (125s + 1)^2$$

$$1 + \left(\frac{2s+1}{s}\right)\left(\frac{K}{\tau s + 1}\right) = s^2 + 0.0160s + 6.4 \cdot 10^{-5}$$

$$s^2 + \left(\frac{2K+1}{\tau}\right)s + \left(\frac{K}{\tau}\right) = s^2 + 0.0160s + 6.4 \cdot 10^{-5}$$

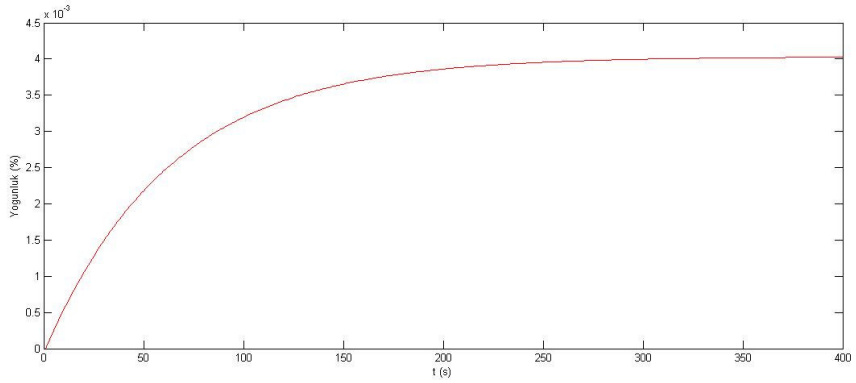
sistem paremetreleri

- Sistem Kazancı (K) =0.403 10^{-2}
- Zaman Sabiti (τ) = 63.004 s

olarak bulunur ve sonuçta yoğunluk sistemi için transfer fonksiyonu

$$G_{yoğ}(s) = \frac{0.00403}{63.004s + 1}$$

biçimindedir. Sistemin açık çevrim cevabı Şekil 4.16'taki gibidir.



Şekil 4.16: Yoğunluk Süreci Açık Çevrim Cevabı

5. SÜRECİN OTOMASYONU

5.1 Giriş

Bir sürecin etkili ve doğru bir şekilde kontrol edilebilmesi için sürecin modelinin bilinmesi gerektiği daha önceden belirtilmişti. Bir önceki bölümde matematiksel olarak modeli çıkarılan sistemlerin kontrolü yine PI yapısında kontrolörler ile olacaktır. Akış ve yoğunluk olarak belirtilen bu sistemlerin süreç otomasyonları sırasıyla aşağıdaki şekilde yapılacaktır:

- Sistemler uygun örnekleme zamanı seçilerek ayrıklaştırılacaktır. Burada her iki sistem de tek bir PLC'den kontrol edildiği için sistemler için ortak bir örnekleme zamanı öngörülecektir.

- Daha önce sürekli hal denklemleri yazılan kontrolörler, sistemlerle aynı örnekleme zamanıyla ayrıklaştırılacaktır.

- Hızlı ve aşımsız bir cevap için kontrolör parametreleri, ayrık denklemlemler kullanılarak kutup sıfır silme yöntemi ile bulunacaktır.[1]

- Ayrıklaştırılan sistemler ve kontrolörlerin fark denklemleri yazılarak PLC'de programlanmaya uygun hale getirilecektir.

- SCADA sistemler ile süreç oluşturulacak ve izlenecektir.

Otomasyon sürecinde kullanılan yazılımlar ise sırasıyla şu şekildedir:

- SIMATIC Manager STEP 7 V5.2: PLC ile programlama için,

- S7-PLCSIM V5.2: Simulasyonlar için,

- SIMATIC WinCC V6.0.0.1: SCADA işlemi için kullanılmıştır.

5.2 PLC ile Otomasyon

Belirtildiği üzere, sistemleri PLC ile kontrol etmek için önce belirlenen örnekleme zamanı ile ayrıklaştırmak gerekmektedir. Akış sistemi bir önceki bölümde bulunduğu gibi birinci mertebeden, ölü zamanlı bir sistemdi. Uygulamada bu tür sistemler için $0.05\tau<T_s<0.2\tau$ koşulunu sağlayan ve ölü zamanın tam katı olan bir değer seçilebilir[1]. Buna göre örnekleme zamanı için şu tablo yazılabilir:

Tablo 5.1: Akış Sistemi Örnekleme Zamanı ve Zaman Sabiti

T_s	T_s/τ
0.9897	0.05
1.18764	0.06
1.38558	0.07
1.58352	0.08
1.78146	0.09
1.9794	0.1
2.9691	0.15
3.9588	0.2

Bu tablodan da anlaşıldığı gibi zaman sabiti τ=19.794 olan akış sistemi için örnekleme zamanı 1s ile 4s arasında seçilebilir.Bu süreç için 3s. seçilmesi uygun görülmüştür. Sıfırıncı dereceden tutucu (ZOH) ile sistem sırasıyla şu şekilde ayrıklaştırılabilir[1]:

$$G(z) = Z\{G_{zoh}(s)G(s)\} \quad \textbf{(5.1a)}$$

$$G(z) = Z\{\frac{1-e^{-sT_S}}{s}\frac{K/\tau}{s+1/\tau}e^{-sL}\} \quad \textbf{(5.1b)}$$

$d = L/T_s$ ve $A = e^{-T_s/\tau}$ için, **(5.2)**

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{K(1-A)}{z-A}z^{-d} \quad \textbf{(5.3)}$$

PLC'de kullanılmak üzere fark denklemi ise

$$y(k) = Ay(k-1) + K(1-A)u(k-1-d) \quad \textbf{(5.4)}$$

biçiminde yazılabilir. Daha önce akış sistemi için PI tipinde kontrolör kullanıldığı belirtilmişti. Bu tip kontrolöre ait ayrık zamanda denklem

$$G_{PI}(z) = K_c(1+\frac{T_s}{T_i}\frac{1}{z-1}) = K_c(\frac{z-\frac{T_i-T_s}{Ti}}{z-1}) = K_c(\frac{z-B}{z-1}) \quad \textbf{(5.5)}$$

şeklinde yazılabilir[1]. Bu kontrolöre ait K_c oransal katsayı ve T_i integral zamanı gibi parametrelerin hesaplanması için kutup sıfır silme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ancak B=A seçilerek yapılır ve

$$G_{PI}(z)G(z) = K_C\frac{K(1-A)}{z-1}z^{-d} = \frac{K^*}{z-1}z^{-d} \quad \textbf{(5.6)}$$

$$K^* = K_C K(1-A) \quad \textbf{(5.7)}$$

denklemleri elde edilir[1]. Kapalı çevrim transfer fonksiyonu ise

$$T(z) = \frac{Y(z)}{R(z)} = \frac{G_{PI}(z)G(z)}{1+G_{PI}(z)G(z)} = \frac{\frac{K^*}{z-1}z^{-d}}{1+\frac{K^*}{z-1}z^{-d}} = \frac{K^*}{z-1+K^*z^{-d}} \quad \textbf{(5.8)}$$

şeklindedir. Buna göre birinci mertebeden ölü zamanlı bir sistemin kapalı ve açık dinamik davranışlarının eşdeğer olmasını sağlayan PI yapısındaki kontrolöre ait parametreler kapalı çevrim kutbunun z=A seçilmesiyle aşağıdaki bağıntılardan elde edilebilir[1]:

$\tau_c = \tau$ ve $A_c = A$ için

$$T_i = \frac{T_s}{1-A_c} \quad \textbf{(5.9)}$$

$$K_C = \frac{A_c^d}{K} \quad \textbf{(5.10)}$$

$$G_{akış}(s) = \frac{0.007521}{19.794s+1}e^{-s12}$$

şeklinde ifade edilen akış sistemi için (5.2) nolu denklemdeki ifadeler kullanılarak

$$A = e^{-T/\tau} = e^{-3/19.792} = 0.86$$

$$d = L/T_s = 12/3 = 4$$

olarak bulunur. Sonuçta akış sistemine ait PI kontrolörünün katsayıları ise (5.9) ve (5.10) nolu denklemler kullanılarak sırasıyla aşağıdaki gibi bulunur:

$$T_I = \frac{T_s}{1-A} = \frac{3}{1-0.86} = 21.33s$$

$$K_C = \frac{A^d}{K} = \frac{0.86^4}{0.007521} = 72.51$$

Yoğunluk sistemini PLC ile kontrol etmek için belirli örnekleme zamanlarında sistemi ve PI kontrolörü ayrıklaştırmak gerekmektedir. Dördüncü bölümde, yoğunluk sisteminin birinci mertebeden olan modeli çıkartılmıştı. Burada örnekleme zamanı seçimi için tıpkı akış sisteminde olduğu gibi uygulamada kullanılan $0.05\tau<T_s<0.2\tau$ koşulu aranacaktır. Buna göre zaman sabiti (τ) 63.004 s. olan sistem için olası örnekleme zamanı aşağıdaki Tablo 5.2'de gösterilmektedir.

Tablo 5.2: Yoğunluk Sistemi Örnekleme Zamanı ve Zaman Sabiti

T_s	T_s/τ
3,1502	0.05
3,78024	0.06
4,41028	0.07
5,04032	0.08
5,67036	0.09
6,3004	0.1
9,4506	0.15
12,6008	0.2

Tablo 5.2'den da görüldüğü gibi yoğunluk sistemi için örnekleme zamanı yaklaşık olarak 3s ile 12s arasında seçilmelidir. Akış ve yoğunluk sistemleri aynı PLC ile kontrol edileceği için örnekleme zamanlarını benzer şekilde seçmek kolaylık sağlayacaktır. Bu bakımdan akış sistemi için 3s olarak seçilden örnekleme zamanı yoğunluk sistemi için de seçilebilir. Sıfırıncı dereceden tutucu (ZOH) ile sistem sırasıyla şu şekilde ayrıklaştırılabilir[1]:

$$G(z) = Z\{G_{zoh}(s)G(s)\}$$

$$G(z) = Z\{\frac{1-e^{-sT}}{s}\frac{K/\tau}{s+1/\tau}\}$$

$A = e^{-T_s/\tau}$ için,

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{K(1-A)}{z-A}$$

PLC'de kullanılmak üzere fark denklemi ise

$$y(k) = Ay(k-1) + K(1-A)u(k-1) \quad \textbf{(5.11)}$$

biçiminde yazılır.

$$G_{yoğ}(s) = \frac{0.00403}{63.004s+1}$$

şeklinde ifade edilen yoğunluk sistemi için (5.2) nolu denklem kullanılarak

$$A = e^{-T_s/\tau} = e^{-3/63.004} = 0.9534$$

olarak bulunur. Sistemi kontrol etmek için PI yapısındaki kontrol (5.5) numaralı denklemde olduğu gibi

$$G_{PI}(z) = K_C(1+\frac{T_s}{T_i}\frac{1}{z-1}) = K_C(\frac{z-\frac{T_i-T_s}{Ti}}{z-1}) = K_C(\frac{z-B}{z-1})$$

şeklindedir ve bu kontrolöre ait K_c ve T_i parametreleri B=A yapılarak ve kapalı çevrim kutubunun z=A seçilmesiyle

$$T_i = \frac{T_s}{1-A} \quad \textbf{(5.12)}$$

$$K_C = \frac{1}{K} \quad \textbf{(5.13)}$$

biçiminde elde edilir[1]. T_s, A ve K değişkenleri (5.12) ve (5.13) nolu denklemlerde yerlerine koyularak yoğunluk sistemi için kontrolör parametreleri

$$T_I = \frac{3}{1-0.9534} = 64.51s$$

$$K_C = \frac{1}{K} = \frac{1}{0.00403} = 248.139$$

olarak bulunur.

Akış ve yoğunluk sistemleri seçilen örnekleme zamanlarında ayrıklaştırıldıktan ve kontrolör parametreleri hesaplandıktan sonra sıra kağıt hamuru hazırlama sürecinin PLC ile kontrol edilmesine gelmiştir. Bu sürecin kontrolünü PLC'de gerçekleyebilmek için akış sistemi için (5.4) nolu; yoğunluk sistemi için ise (5.11) nolu fark denklemlerinden faydalanılmıştır. PI kontrolör için fark denklemi ise oransal ve integral terimlerin ayrı ayrı hesaplanıp toplanması

$$U_{PI}(z) = U_P(z) + U_I(z) \qquad \textbf{(5.14)}$$

şeklinde bulunabilir. Bu durumda PI kontrolör için fark denklemi (5.5) nolu denklemden yola çıkılarak ve kontrolör U_P ve U_I şeklinde ayrı ayrı hesaplanarak

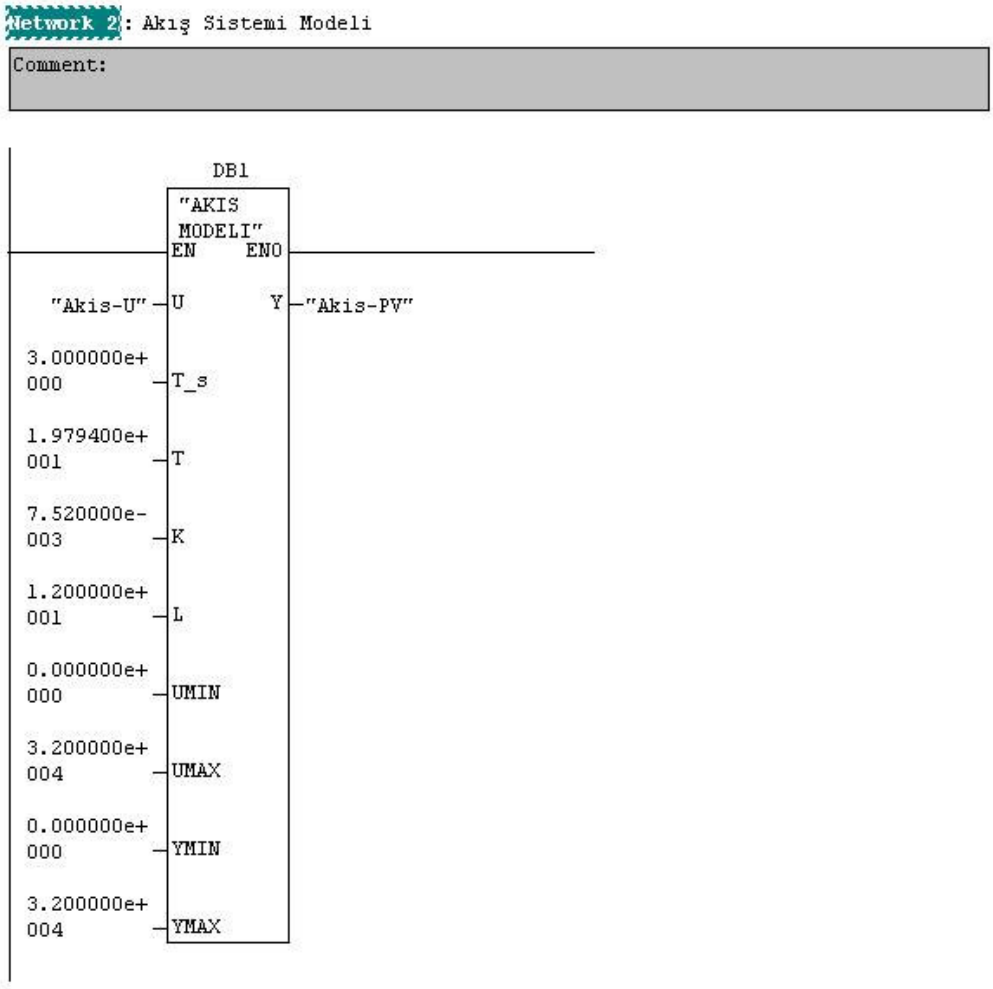
$$U_{PI}(z) = U_P + U_I = K_c E(z) + \frac{K_c T_s}{T_i (z-1)} E(z) \qquad \textbf{(5.15)}$$

$$u_{PI}(k) = u_p(k) + u_I(k) = K_c e(k) + u(k-1) + \frac{K_c T_s}{T_i} e(k-1) \qquad \textbf{(5.16)}$$

biçiminde oluşturulur. Oluşturulan fark denklemlerinden yola çıkılarak PLC'de STEP 7 programında üst seviye dillerden biri olan SCL dilinde yazılım sağlanarak, kontrolör ve süreç için fonksiyon blokları oluşturulmuştur.

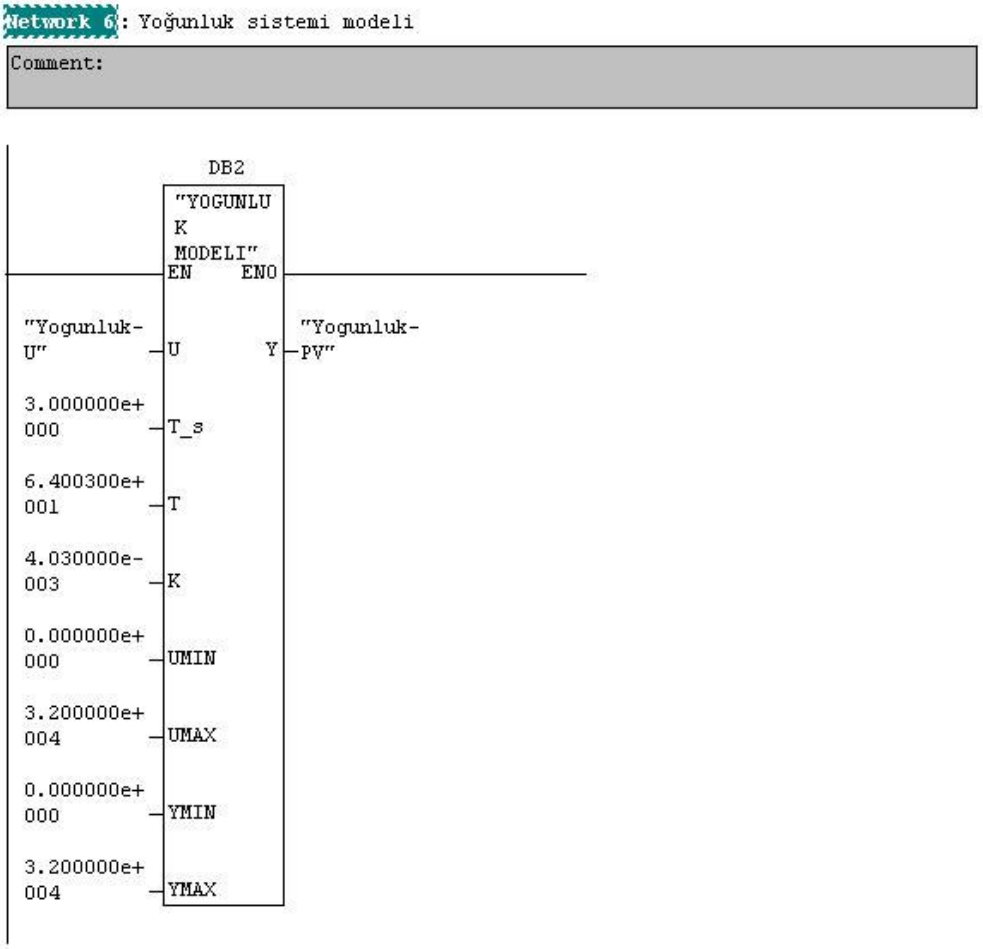
PLC ile bu tip kontrol süreçlerinin uygulanabilmesi için kesmeli çalışma yapılmalıdır. Bunun için OB35 adlı organizasyon bloğu kullanılmıştır. Bu blok berlirlenen örnekleme zamanına bağlı olarak kesmeli çalışma yaparak, her örnekleme zamanı süresinde devreye girmektedir. Böylece PLC ile gerçek zamanda kontrol sağlanabilmektedir. Örnekleme zamanının her iki sistem için 3s. olduğu daha önceden belirtilmişti. Oluşturulan fonksiyon blokları (FB), 3s. kesmeli çalışmaya göre ayarlanmış olan OB35'ten çağrılmıştır. Sonuçta SIMATIC Manager STEP 7 programında yazılan FB'ler sırasıyla şu şekildedir:

• FB1: Akış sistemi modeli Şekil 5.1'dedir (SCL kodu Ek-1'de). Data bloğu ise DB1'dir.



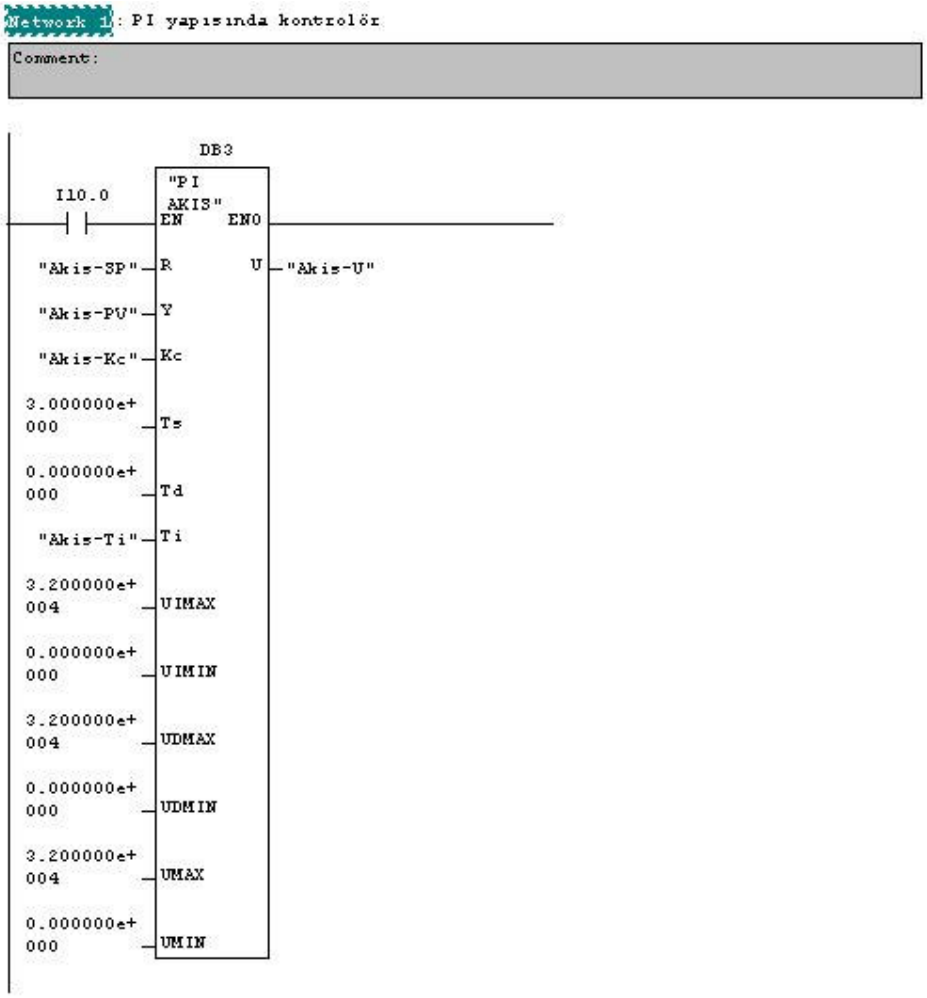
Şekil 5.1: Akış Sistemi Modeli Fonksiyon Bloğu (FB1)

• FB2: Yoğunluk sistemi modeli Şekil 5.2'dedir (SCL kodu Ek-2'de). Data bloğu ise DB2'dir.



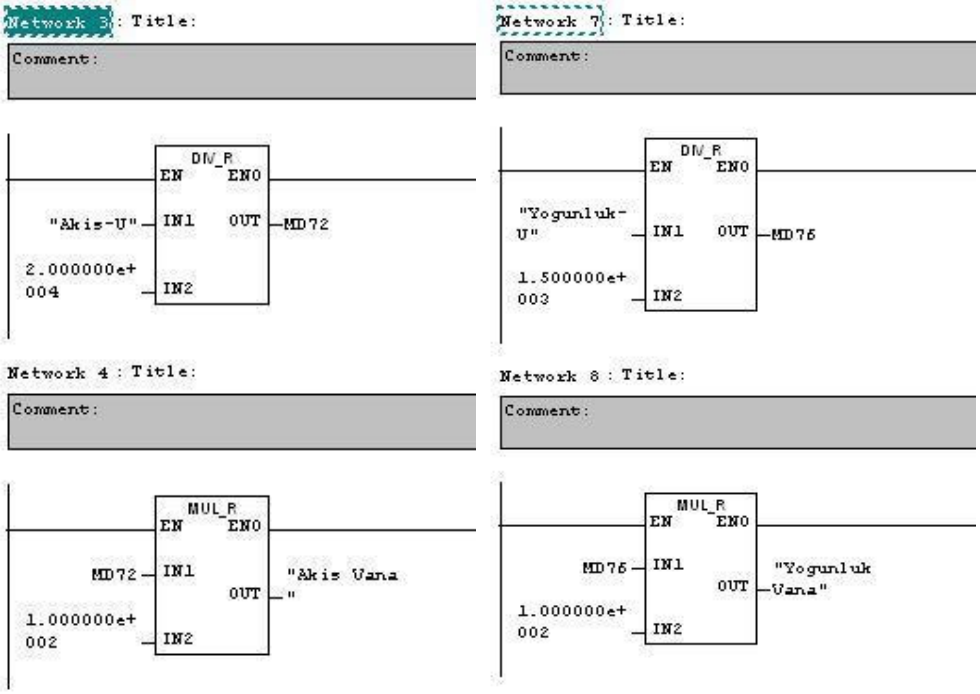
Şekil 5.2: Yoğunluk Sistemi Modeli Fonksiyon Bloğu (FB2)

- FB3 ve FB4: Bu iki fonksiyon bloğu PID yapısındadır ve kodları aynıdır (SCL kodu Ek-3'tedir). Burada isteğe göre türev elemanı da devreye girebilir. Bu süreçte kontrolörler PI yapısında olduğu için T_d parametresi sıfır olarak alınmıştır. Akış ve yoğunluk sistemleri için kontrolör parametrelerinin birbirinden farklı olmasından dolayı akış sistemi için FB3; yoğunluk sistemi için ise FB4 adlı fonksiyon blokları oluşturulmuştur. Data blokları ise DB3 ve DB4'tür. I 10.0 normalde açık (NA) kontağı sayesinde pompa çalışmaya başlamakta ve sistem için kontrol süreci başlayabilmektedir. Bu giriş olmadığı taktirde kontrolör parametreleri başlangıçta girilmediği için kontrolör çıkışı ve PV'ler sonsuza gidecektir. Modeller aynı olduğu için sadece birinin gösterilmesi yeterli olacaktır. FB3 bloğunun yapısı Şekil 5.3'teki gibidir.



Şekil 5.3: PI Kontrolör Modeli Fonksiyon Bloğu (FB3)

Akış Süreci 0-150 lt/dk ve yoğunluk sistemi ise % 2-6 olarak çalıştığı için ayrıca vana açıklığını % olarak belirtmek amacıyla aritmetik işlemler yapılmıştır. Bu durumda kontrolör çıkışlarında sayısal olarak akış için 0-20000 arası; yoğunluk için ise 500-1500 arası çalışma yapılacaktır. Bu işlemlerin SIMATIC Manager programındaki görüntüsü Şekil 5.4'teki gibidir:

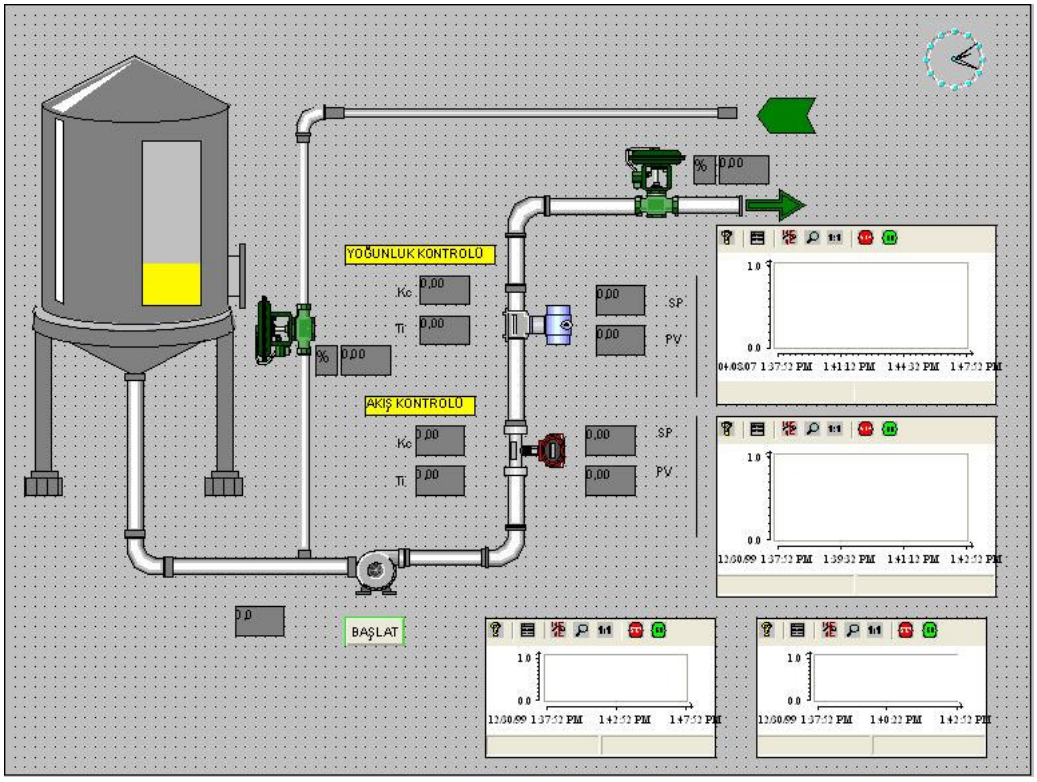


Şekil 5.4: Akış ve Yoğunluk Vana İşaretleri Blokları

5.3 SCADA ile Süreç İzleme

PLC ile kontrol ile ilgili programlar yazıldıktan sonra kağıt hamuru hazırlama süreç otomasyonunda son işlem SCADA ile süreci izlemektir. Bunu gerçekleştirebilmek için daha önceden de belirtildiği gibi SIMATIC WinCC programı kullanılmıştır. Şekil 5.5'te gösterilen sistemin şemasında, sistemi çalıştırmak için pompanın çalışması gerektiği görülmektedir (PLC'deki I10.0 kontağı aracılığıyla). Programın arayüzünden de görüldüğü gibi bu ekrandan kontrolörlere ilişkin K_c ve T_i parametreleri, sistemlerin SP'leri belirlenebildiği gibi; SP'ler, PV'ler ve vana çıkışları gerçek zamanla birebir olarak grafiksel olarak izlenebilmektedir.

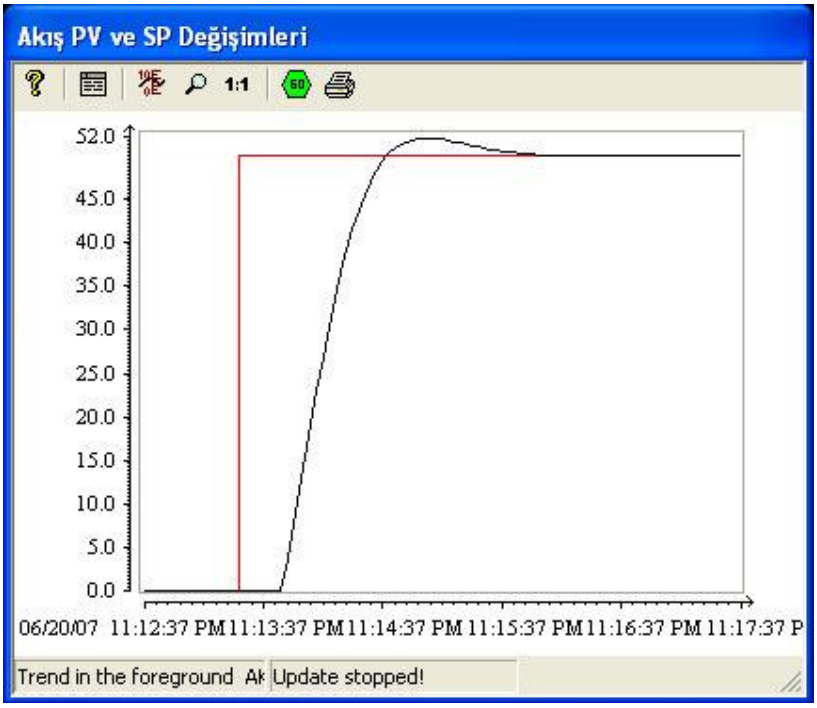
:



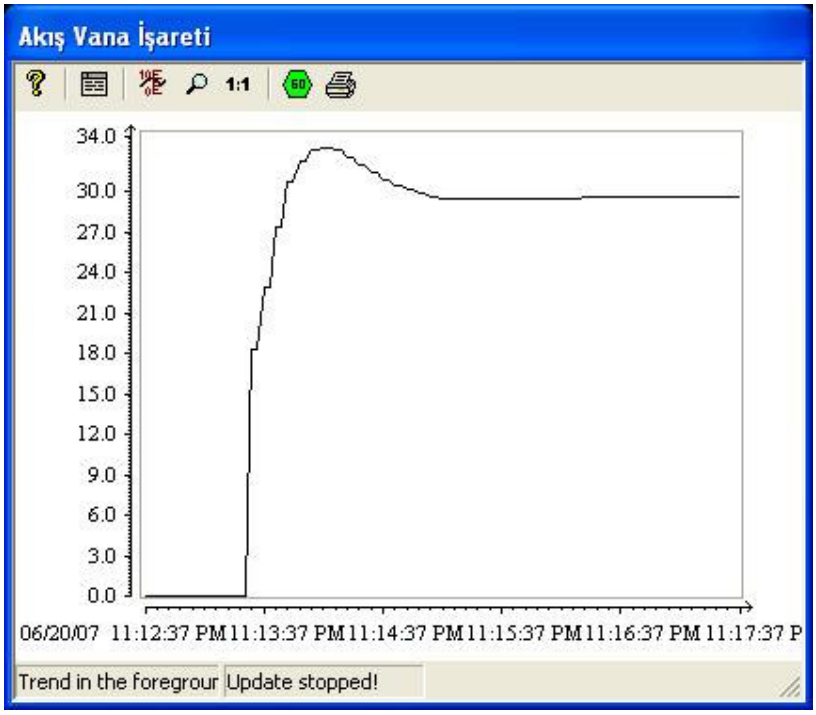
Şekil 5.5: WinCC Programında Sistem Arayüzü

Sistem WinCC'de oluşturulduktan sonra simulasyonların sonuçları alınmıştır. Akış ve yoğunluk sistemlerinin her ikisi için de ikişer farklı kontrol işlemi yapılmıştır. Toplam 4 ayrı simulasyonun sonuçları sırasıyla şu şekildedir.

1. Akış sistemi için başlangıçta SP=50 lt/dk yapılmıştır. Bu durumda 5 dakika için SP ve PV değişimleri Şekil 5.6'daki gibi iken; vana kontrol işareti değişimi ise Şekil 5.7'deki gibidir.

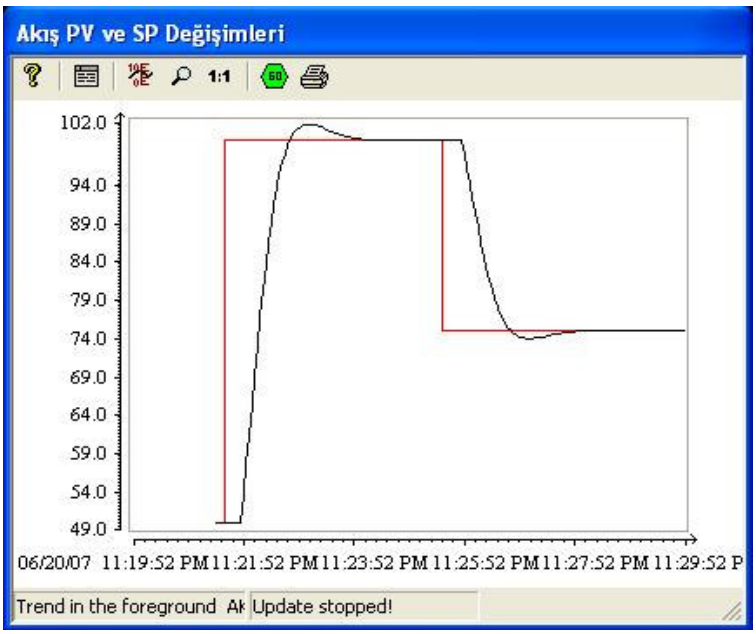


Şekil 5.6: Akış Kontrol Sürecinde SP=50 lt/dk için PV Cevabı

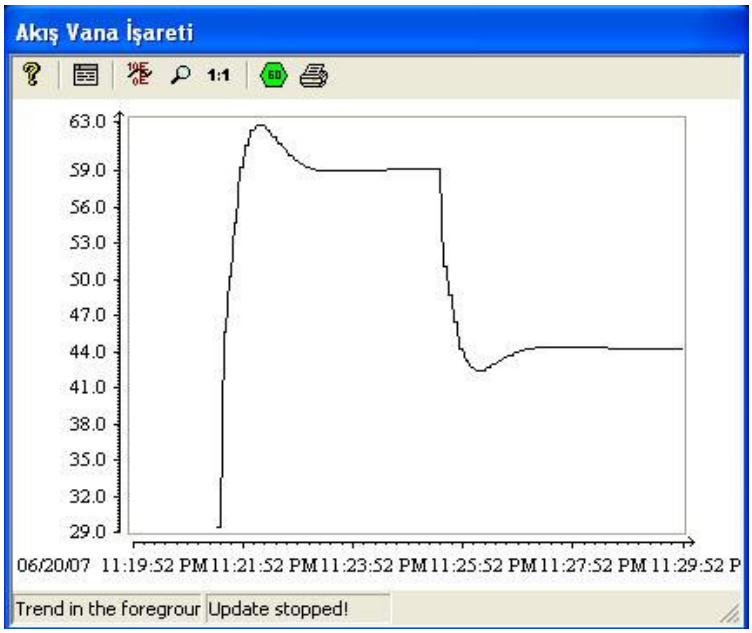


Şekil 5.7: Akış Kontrol Sürecinde SP=50 lt/dk için Vana Kontrol İşareti

2. Akış sisteminde PV=50 lt/dk iken önce SP=100 lt/dk yapılarak PV'nin 100 lt/dk olması beklenmiştir. PV=100 lt/dk iken ise SP=75 lt/dk yapılmıştır. Bu durumda 10 dakika için SP ve PV değişimleri Şekil 5.8'daki gibi iken; vana kontrol işareti değişimi ise Şekil 5.9'deki gibidir.

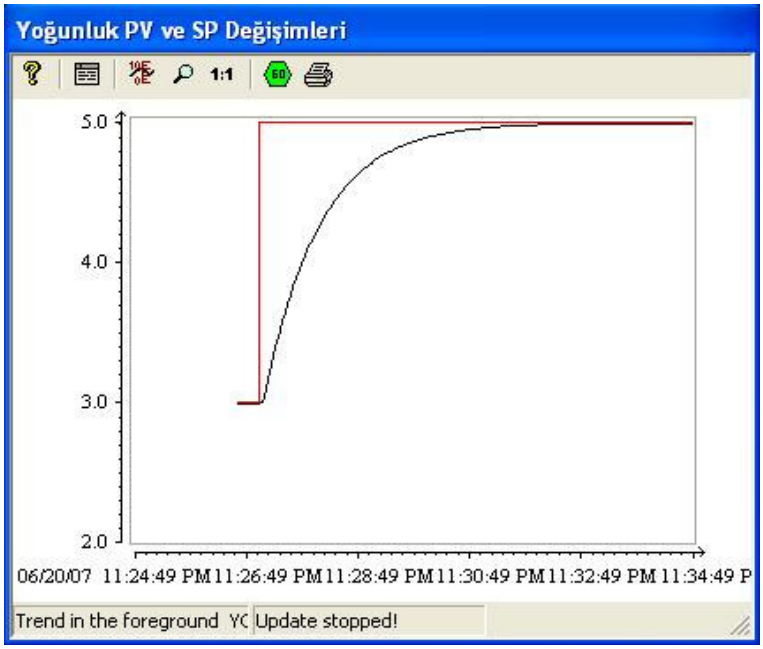


Şekil 5.8: Akış Kontrol Sürecinde SP=100 ve 75 lt/dak için PV Cevabı

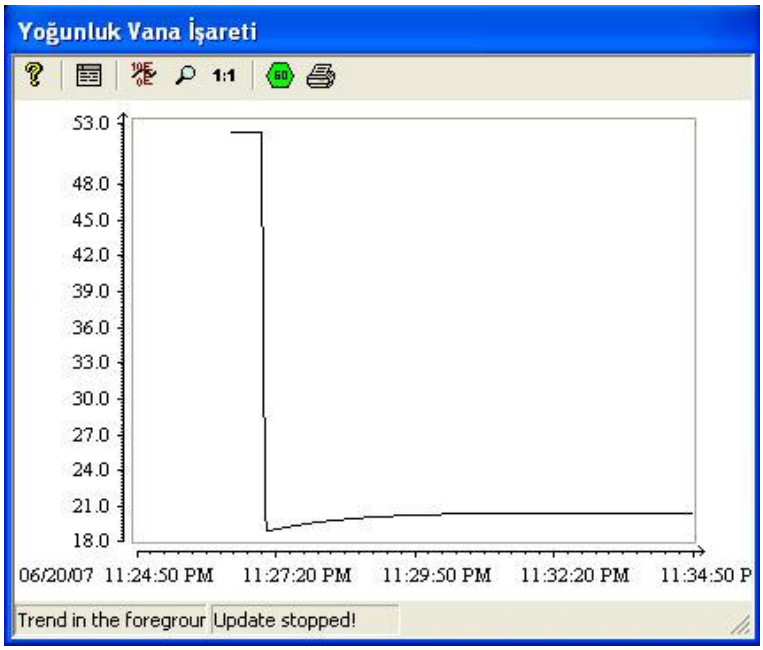


Şekil 5.9: Akış Kontrol Sürecinde SP=100 ve 75 lt/dk Vana Kontrol İşareti

3. Yoğunluk sistemi için PV=%3 iken SP=% 4.5 yapılmıştır. 10 dakika boyunca SP ve PV değişimleri Şekil 5.10'da gösterilmişken; vana işareti değişimi ise Şekil 5.11'deki gibidir.

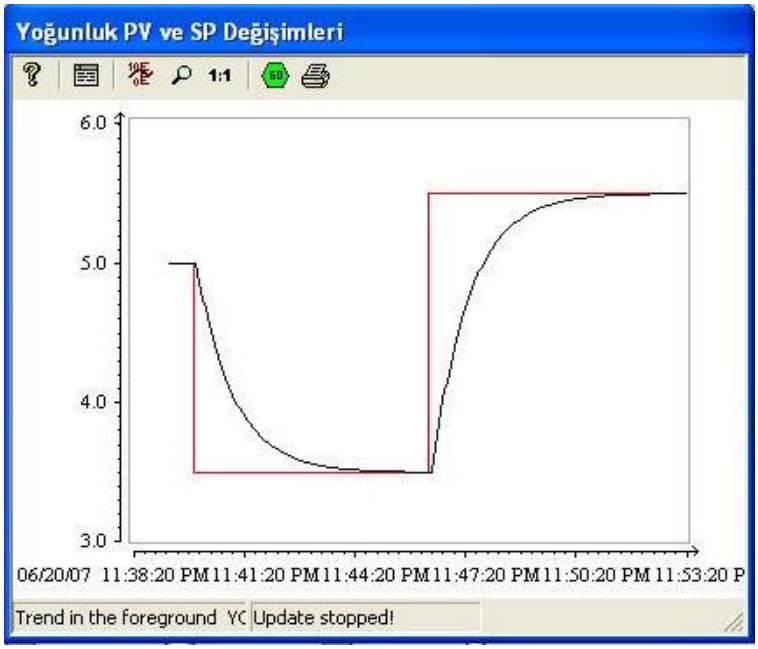


Şekil 5.10: Yoğunluk Kontrol Sürecinde SP=% 4.5 için PV Cevabı

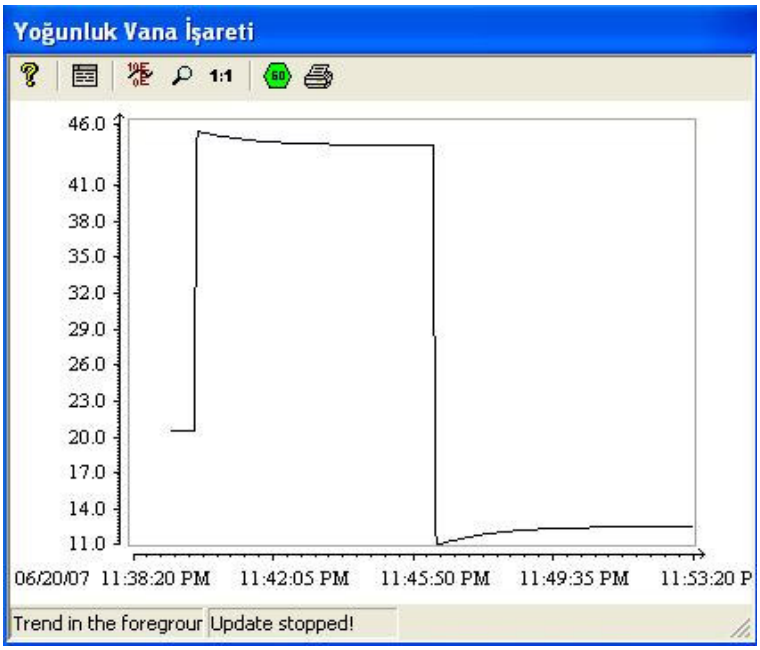


Şekil 5.11: Yoğunluk Kontrol Sürecinde SP=% 4.5 için Vana Kontrol İşareti

4. Yoğunluk kontrol sürecinde çıkış % 4.5 iken SP ilk önce % 3.5 daha sonra ise % 5.5 yapılarak değişimi 15 dakika boyunca gözlenmiştir (Şekil 5.12). Bu durumda vana işareti değişimi ise Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.12: Yoğunluk Kontrol Sürecinde SP=% 3.5 ve 5.5 için PV Cevabı



Şekil 5.13: Yoğunluk Kontrol Sürecinde SP=% 3.5 ve 5.5 için Vana Kontrol İşareti

6. SONUÇLAR

Tez çalışmasında kağıt hamuru hazırlama süreci otomasyonu kapsamında kağıt hamuru akışı ve kağıt hamuru yoğunluğu değişkenlerinin kontrolü yapılmıştır. Daha önceden de belirtildiği gibi, iyi ve doğru bir kontrol işlemi yapabilmek için kontrol edilen süreçlerin matematiksel modellerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu uygulamadaki süreçlerde sadece kapalı çevrim cevapları alınabildiği için; direk açık çevrim cevapları dolayısıyla doğrudan modelleri elde edilememiştir. Bu kapalı çevrim modellerden yola çıkılarak, bu cevaplara yol açan kontrolör katsayılarına göre sistemlerin yaklaşık matematiksel modelleri elde edilmiştir. Bu modeller vasıtasıyla daha etkili bir kontrol için kontrolör parametreleri, kapalı çevrim dinamiğinin açık çevrim cevabı dinamiğine eşit olacak şekilde hesaplanmıştır. Sistemler ve kontrolörler uygun örnekleme zamanlarının seçilmesi ile ayrıklaştırıldıktan sonra, fark denklemlerinin elde edilmesi neticesinde PLC ile programlanmaya hazır hale gelmiştir. Otomasyon sürecinde en son aşamada ise PLC ile kontrol ve SCADA ile veri iletişimi sağlanmıştır. Kağıt hamuru hazırlama sürecine ilişkin otomasyon işleminin sonuçları Bölüm 5.3'te "SCADA ile Süreç İzleme" bölümündeki Şekil 5.6 - Şekil 5.13 arasındaki 8 şekilde gösterilmiştir. Bu şekiller incelendiği taktirde akış ve yoğunluk sistemleri için hesaplanan kontrolör parametrelerine göre sistem cevaplarının istenen şekilde olduğu görülür.

PID yapılı kontrolörler, kontrol sistemlerindeki gelişmelere rağmen; iyi, etkili, ucuz ve bilinen çözümler getirdikleri için endüstride hala en yaygın olarak kullanılan kontrolörlerdir. Sonuç olarak, süreçlerin modelinin bilinmesi durumunda, bu tip kontrolörlerin parametreleri istenen kapalı çevrim dinamiklerine göre hesaplanabilmektedir. Bu da süreç kontrolünde kontrol edilen sistemin modelinin bilinmesinin ne kadar hayati önemde olduğu sonucunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Kurtulan, S.,** 2005. PLC ile Endüstriyel Otomasyon, 4. Baskı, Birsen Yayınevi Ltd Şti., İstanbul.

[2] **Smith, C.A. and Corripio, A.B.**, 1997. Principles and Practice of Automatic Process Control, 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., New York

[3] **Dunn, W.,** 2005. Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control, McGraw-Hill, London.

[4] **Webster, J.G.**, 1999. The Measurement, Instrumentation, And Sensors Handbook, CRC Press LLC, Florida.

[5] **Parr, E.A.**, 2003. Programmable Controllers An Engineer's Guide, Newnes, An imprint of Elsevier, Burlington.

[6] **Burns, R.S.,** 2001. Advanced Control Engineering, Butterworth-Heinemann, Linacre House Jordan Hill, Oxford.

[7] **Mcmillan, R.S.,** 1999. Process/Industrial Instruments and Control Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill, New York.

[8] **Levine, W.S.**, 1996. The Control Handbook, *Chapter 72 - Bialkowski W.L., "Control of the Pulp and Paper Making Process",* CRC Press and IEEE Press, Florida.

[9] **Kuo, B.C.**, 1997. Otomatik Kontrol Sistemleri, Yedinci Baskı, *Çeviren ve Uyarlayan: Prof. Dr. Atilla Bir,* Literatür Yayıncılık, Istanbul.

EK-1

Akış sistemi modelinin SCL dilindeki kodlarıdır.

```
FUNCTION_BLOCK FB1
VAR_INPUT
   U:REAL;
   T_s,T,K,L:REAL;
   UMIN,UMAX, YMIN,YMAX:REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
   Y:REAL;
END_VAR
VAR
   Y_1, Y_R:REAL;
   U_R:ARRAY [0..255] OF REAL;
END_VAR
VAR_TEMP
   A:REAL;
   I, d:INT;
  END_VAR
BEGIN
IF T_s>0.0 & T>0.0 THEN
   A:=EXP(-T_s/T);
   d:=REAL_TO_INT(L/T_s);
END_IF;
IF d>=255 THEN
   d:=255;
END_IF;
Y_R:=A*Y_1+K*(1.0-A)*U_R[d+1];
U_R[5]:=U_R[4];
U_R[4]:=U_R[3];
U_R[3]:=U_R[2];
U_R[2]:=U_R[1];
U_R[1]:=U_R[0];
U_R[0]:=U;
IF U_R[0]>=UMAX THEN
   U_R[0]:=UMAX;
END_IF;
IF U_R[0]<=UMIN THEN
   U_R[0]:=UMIN;
END_IF;
IF Y_R>=YMAX THEN
   Y_R:=YMAX;
END_IF;
IF Y_R<=YMIN THEN
   Y_R:=YMIN;
END_IF;
IF OK THEN
 Y_1:=Y_R;
Y:=Y_R;
ELSE
Y_1:=0.0;
Y_R:=0.0;
Y:=0.0;
END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK
```

EK-2

Yoğunluk sistemi modelinin SCL dilindeki kodlarıdır.

```
FUNCTION_BLOCK FB2
VAR_INPUT
   U:REAL;
   T_s,T,K:REAL;
   UMIN,UMAX, YMIN,YMAX:REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
   Y:REAL;
END_VAR
VAR
   U_1, U_R,Y_1,Y_R:REAL;
END_VAR
VAR_TEMP
   A:REAL;
END_VAR
BEGIN
IF T_s>0.0 & T>0.0 THEN
   A:=EXP(-T_s/T);
END_IF;
U_R:=U;
IF U_R>=UMAX THEN
   U_R:=UMAX;
END_IF;
IF U_R<=UMIN THEN
   U_R:=UMIN;
END_IF;
Y_R:=A*Y_1+K*(1.0-A)*U_1;
IF Y_R>=YMAX THEN
   Y_R:=YMAX;
END_IF;
IF Y_R<=YMIN THEN
   Y_R:=YMIN;
END_IF;
IF OK THEN
U_1:=U_R;
Y_1:=Y_R;
Y:=Y_R;
ELSE
Y_1:=0.0;
Y:=0.0;
END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK
```

EK-3

PI yapısındaki kontrolere ait modelin SCL dilindeki kodlarıdır.

```
FUNCTION_BLOCK FB3
VAR_INPUT
R,Y:REAL;
Kc,Ts,Td,Ti,UIMAX,UIMIN,UDMAX,UDMIN,UMAX,UMIN:REAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
U:REAL;
END_VAR
VAR_TEMP
E,UR:REAL;
UP,UD,UI:REAL;
END_VAR
VAR
UP_1, UI_1, U_1:REAL:=0.0;
END_VAR
BEGIN
E:=R-Y;
UP:=KC*E;
UI:=UI_1+(Ts/Ti)*UP_1;
IF UI>=UIMAX THEN
UI:=UIMAX;
END_IF;
IF UI<=UIMIN THEN
UI:=UIMIN;
END_IF;
UD:=Td*(UP-UP_1)/Ts;
IF UD>=UDMAX THEN
UD:=UDMAX;
END_IF;
IF UD<=UDMIN THEN
UD:=UDMIN;
END_IF;
UR:=UP+UD+UI;
IF UR>=UMAX THEN
UR:=UMAX;
END_IF;
IF UR<=UMIN THEN
UR:=UMIN;
END_IF;
IF OK THEN
UP_1:=UP;
UI_1:=UI;
U_1:=UR;
U:=UR;
ELSE
U_1:=0.0;
UR:=0.0;
END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK
```

ÖZGEÇMİŞ

15 Ağustos 1983'te Çorlu'da doğdu. Çorlu'da sırasıyla 1994 yılında Uncular S.P. İlkokulunu, 1998 yılında ise Çorlu MAE Anadolu Lisesini bitirdi. 2 yıl Edirne Fen Lisesinde okuduktan sonra son yıl Çorlu Lisesinde okuyarak 2001 yılında lise öğrenimini tamamladı. 2001 yılında girdiği İTÜ Elektrik Mühendisliğini 2005 yılında bitirerek Elektrik Mühendisliği ünvanını kazandı. Mezun olduğunda ara vermeden İTÜ Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programında yüksek lisansa başladı.