

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASININ
MODELLENMESİ VE DURUM-UZAY MODELİNE DAYANAN
ÖNGÖRÜLÜ KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet BAYKARA**

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Sistem Dinamiği ve Kontrol

MAYIS 2009

**HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASININ
MODELLENMESİ VE DURUM-UZAY MODELİNE DAYANAN
ÖNGÖRÜLÜ KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet BAYKARA
(503061606)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 Nisan 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Mayıs 2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Can ÖZSOY (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ali DEMİR (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Ayhan KURAL (İTÜ)**

MAYIS 2009

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, “Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasının Geliştirilmesi, Prototip Makina Tasarımı ve İmalatı” isim ve 105M134 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında tamamlanmıştır. Yüksek lisans eğitimim boyunca bana sürekli güvenen ve destek olan sayın danışman hocam Prof. Dr. Can ÖZSOY’a; mesleki kariyerim açısından bana çok şeyler kattığına inandığım bu projenin bir parçası olmama imkân veren proje hocalarım Prof. Dr. Ali DEMİR’e ve Dr. Ertan ÖZNERGİZ’e; proje sürecinde iyi niyetli kişilikleriyle çok güzel bir çalışma ortamının oluşmasını sağlayan ve ulaştığımız sonucun bir ekip başarısı olduğunu ispatlayan Salih GÜLŞEN’e ve Alparslan KUTLU’ya; değerli arkadaşlarım Araştırma Görevlisi Mesut ACAR’a; Makina Mühendisi Savaş OK’a; ve her zaman yanımda olan tüm arkadaşlarıma; eğitim hayatımın her alanında bana sürekli destek olan ve anlayışını muhafaza eden aileme teşekkürü borç bilirim.

Nisan 2009

Mehmet BAYKARA

(Endüstri Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Literatür Özeti.....	2
1.3 Tez Kapsamında Yapılanlar	4
2. HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASI.....	7
2.1 Hava-Jeti ile Tekstüre.....	7
2.1.1 Hava-jeti ile tekstüre işleminin prensipleri.....	8
2.1.2 Hava-jeti ile tekstüre edilmiş iplikler	10
2.2 İplik Bükme İşlemi ve İplik Büküm Teknikleri.....	11
2.2.1 Bükümün tanımı, özellikleri ve işlevleri	11
2.2.2 İplik katlama; tek kat, katlı ve kablo iplikler	12
2.2.3 Hava-jeti ile tekstüre işlemi esnasında üretilen ipliğin bükümü	14
3. HAVA-JETİ İLE TEKTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASININ KONTROLÜ VE OTOMASYONU.....	17
3.1 Temel Kontrol Yaklaşımı	17
3.1.1 Açık çevrim kontrol.....	17
3.1.2 Kapalı çevrim kontrol.....	17
3.1.3 Otomatik kontrolün faydaları	17
3.2 Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC).....	19
3.3 Sistemde Kullanılan PLC ve Kontrol Yapısı	21
3.3.1 Donanım seçimi.....	21
3.3.1.1 Merkezi işlem birimi.....	21
3.3.1.2 Dijital giriş/çıkış birimi.....	22
3.3.1.3 Analog giriş/çıkış birimi	24
3.3.1.4 Donanımın yazılımla konfigürasyonu.....	28
3.4 Yazılım.....	29
3.5 Sistemin Akış Diyagramı.....	30
4. HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASININ PNÖMATİK SİSTEMLERİ	31
4.1 Pnömatik Sistemin Ana Unsurları.....	31
4.1.1 Basınçlı havanın üretilmesi ve hazırlanması.....	31
4.1.2 Basınçlı havanın hazırlanması.....	31
4.1.3 Makinada kullanılan kompresör ve hava hazırlama elemanları.....	32
4.1.4 Basınçlı havanın denetlenmesi.....	33
4.1.5 Makinada kullanılan hava denetim elemanları	34
4.1.5.1 Döner elemanlar için yön denetim valfleri.....	34

4.1.5.2 Hava jeti ve su için selenoid valfler	35
4.1.6 Makinada kullanılan iş elemanları	37
4.2 Pnömatik Devre Şeması	38
5. HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASINDA KULLANILAN SENSÖRLER.....	39
5.1 Kodlayıcı (Enkoder).....	39
5.1.1 Artımsal kodlayıcılar	39
5.1.2 Mutlak kodlayıcılar	41
5.2 Optik Sensör (Bobin Doldu Sensörü)	41
5.3 Kapasitif Sensör (İplik Sensörü).....	42
5.4 Kapı Emniyet Anahtarları ve Acil Durum Anahtarları	44
5.5 İplik Gerginliği Ölçüm Sensörü	44
5.6 Basınç Sensörü	46
5.7 PT100 Sıcaklık Sensörü	47
6. VERİ TOPLAMA VE İŞLEME.....	49
6.1 Giriş	49
6.2 Veri Toplama Donanımı	51
6.3 Örnekleme Oranı Seçimi	51
7. SİSTEM TANILAMA	53
7.1 Giriş	53
7.2 Uygulama Yöntemleri	55
7.3 Sistem Tanılama	57
7.3.1 Bilgisayar kontrollü sistemler	57
7.3.2 Ayrık ve sürekli zamanlı sistemler	58
7.4 Sistem Tanılama İlkeleri	60
7.4.1 Deneysel planlama	61
7.4.2 Sistem tanımlarken kullanılan giriş sinyalleri	62
7.4.3 Model yapıları	62
7.4.3.1 Sistem tanılama kriterler	62
7.4.3.2 Model yapısının seçimi	63
7.4.4 Gürültüsüz sistemin model yapısının kestirimi metodu	63
7.4.5 Beyaz gürültülü sistemin model yapısının kestirimi metodu	64
7.5 Parametre Tahmin Metotları	65
7.5.1 En küçük kareler metodu	67
7.5.2 Tekrarlayan en küçük kareler metodu (RLS)	70
7.5.3 Enstrümantal değişken metodu (IVM)	72
7.6 Model Geçerliliğinin Belirlenmesi	74
7.6.1 Beyazlık testi	74
7.6.2 Çapraz ilişki (Cross-Correlation) testi	76
8. MODELE DAYALI ÖNGÖRÜLÜ KONTROL (MPC)	77
8.1 Giriş	77
8.2 Model Öngörülü Kontrol Algoritmalarında Kullanılan Modeller	81
8.2.1 Basamak cevabı modeli	81
8.2.2 Darbe cevabı modeli	82
8.2.3 Transfer fonksiyonu modeli	83
8.2.4 Durum-uzay modeli	83
8.3 Model Öngörülü Sistemlerde Kullanılan Parametreler	85
8.3.1 Amaç fonksiyonu	85
8.3.2 Öngörü ve kontrol ufukları	85
8.3.3 Referans yörüngesi	85

8.4 Durum-Uzay Modele Dayanan Öngörülü Kontrol	87
8.4.1 Durum-uzay gösterimi	87
8.4.2 Çok adımlı öngörülen çıkış	87
8.4.3 Amaç fonksiyonunun yapısı.....	93
9. HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNESİNİN SİSTEM TANILAMASI VE MODEL ÖNGÖRÜLÜ KONTROLÜ.....	95
9.1 Giriş.....	95
9.2 Hava-Jetiyle Tekstüre Yapan Büküm Makinasında Veri Toplama Sistemi.....	96
9.2.1 Örnekleme frekansının seçimi.....	96
9.3 Hava-Jetiyle Tekstüre Yapan Büküm Makinasında İplik Sevkinde Oluşan Gerginliğin Teorik Modeli	97
9.4 Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasının Sistem Tanılaması.....	100
9.5 Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasının Durum-Uzay Modeline Dayanan Öngörülü Kontrolü	108
9.5.1 Büküm, büküm ve tekstüre proseslerinin model öngörülü kontrolü.....	108
9.5.2 Model belirsizliği durumu	110
9.5.3 PID kontrol elemanının deneysel tasarımı.	112
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	115
KAYNAKLAR	117
EKLER.....	121

KISALTMALAR

ADC	: Analog to Digital Convertor
ARMA	: Auto Regressive Moving Average
ARMAX	: Auto Regressive Moving Average with Exogenous Input
ARX	: Auto Regressive with Exogenous Input
BIC	: Bayesian Information Criterion
DAC	: Digital to Analog Convertor
DAQ	: Data Acquisition
DMA	: Direct Memory Access
DMC	: Dynamic Matrix Control
DSP	: Data Signal Processing
FPC	: Functional Predictive Control
GPC	: Generalized Predictive Control
I / O	: Input/Output
IVM	: Instrumental Variable Method
LS	: Least Square
MAC	: Model Algorithmic Control
MIMO	: Multi Input-Multi Output
MPC	: Model Predictive Control
QDMC	: Quadratic Dynamic Matrix Control
PRBS	: Pseudo Random Binary Sequence
PID	: Proportional Integrator Derivative
PLC	: Programmable Logic Controller
RLS	: Recursive Least Square
SISO	: Single Input-Single Output
SSMPC	: State-Space Model Predictive Control

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Dijital giriş/çıkış konfigürasyonu	22
Çizelge 3.2 : Analog giriş/çıkış konfigürasyonu	25
Çizelge 7.1 : Ortalaması 0, varyansı 1 olan normal dağılımlı rassal değişkenin güven aralığı	75
Çizelge 9.1 : Parametre kestimiyle elde edilen parametre değerleri	103

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Hava-jeti ile tekstüre işlemi.....	7
Şekil 2.2 : Hava-jeti ile tekstüre işleminin temel gereksinimleri.....	8
Şekil 2.3 : Tekstüre ipliklerinin genel mukayesesi	10
Şekil 2.4 : İplik büküm yönleri	12
Şekil 2.5 : Tek kat, katlı ve kablo iplik.....	13
Şekil 2.6 : Katlama işleminde uygulanan bükümün yönüyle iplikte lif oryantasyonlarının değiştirilmesi	13
Şekil 2.7 : Hava-jeti ile tekstüre işleminin prensibi	16
Şekil 2.8 : DirecTwist® prensibi ve makinası	16
Şekil 3.1 : PLC genel blok şeması.....	20
Şekil 3.2 : CPU314 resmi	22
Şekil 3.3 : Dijital giriş modülü bağlantı şeması	23
Şekil 3.4 : Dijital çıkış modülü bağlantı şeması.....	24
Şekil 3.5 : Analog giriş kartı gerilim ölçme devre şeması.....	26
Şekil 3.6 : Analog giriş kartı sıcaklık ölçme bağlantı şeması	27
Şekil 3.7 : Analog çıkış kartı gerilim çıkışı bağlantı şeması	27
Şekil 3.8 : Kontrolörün genel görünüşü.....	29
Şekil 3.9 : Sistemin akış diyagramı	30
Şekil 4.1 : Jet 1 ve Jet 2 için kullanılan filtre-regülatörler.....	33
Şekil 4.2 : Döner elemanlar için kullanılan filtre-regülatör.....	33
Şekil 4.3 : 5/2 Tek bobin valf iç yapısı ve sembolü	35
Şekil 4.4 : Makinada kullanılan jet selenoid valfi.....	35
Şekil 4.5 : Jet selenoid valfinin iç yapısı ve sembolü.....	36
Şekil 4.6 : Prototipte kullanılan su selenoid valfi	36
Şekil 4.7 : Jet selenoid valfinin iç yapısı ve sembolü.....	37
Şekil 4.8 : Döner eleman	37
Şekil 4.9 : Pnömatik devre şeması	38
Şekil 5.1 : Kodlayıcı faz sinyalleri ve dönme yönünün belirlenmesi.....	40
Şekil 5.2 : Artımsal kodlayıcının kesiti	40
Şekil 5.3 : Yansıtıcı sensörün temel çalışma prensibi	41
Şekil 5.4 : Prototipte kullanılan optik sensör	42
Şekil 5.5 : Kapasitif iplik sensörü çalışma prensibi	42
Şekil 5.6 : İplik sensörü	43
Şekil 5.7 : Hall effect sensörü çalışma prensibi.....	44
Şekil 5.8 : Gerginlik ölçme sensörü iç yapısı	45
Şekil 5.9 : Gerilim/Gerginlik grafiği	46
Şekil 5.10 : Basınç sensörü	47
Şekil 7.1 : Ayrık zamanlı sistem	57
Şekil 7.2 : Ayrık zamanlı kontrol sistemi blok diyagramı.....	57
Şekil 7.3 : Sistem cevabı.....	58
Şekil 7.4 : Kontrol işareti.....	58

Şekil 7.5 : Sürekli ve ayrık zamanlı transfer fonksiyonları	59
Şekil 7.6 : Sistem tanılama akış diyagramı	61
Şekil 7.7 : Parametre kestirimi prensibi	66
Şekil 7.8 : En küçük kareler yöntemiyle hata üretimi	70
Şekil 8.1 : Model öngörülü kontrol stratejisi	77
Şekil 8.2 : Modele dayanan öngörülü kontrol yapısı	79
Şekil 8.3 : Basamak cevabı	82
Şekil 8.4 : Darbe cevabı	83
Şekil 8.5 : Referans yörüngesi	86
Şekil 9.1 : Makinanın veri toplama sistemi	96
Şekil 9.2 : İplik sevki süreci	97
Şekil 9.3 : Hava-jeti ile tekstüre yapan büküm makinasında iplik transfer sistemi	98
Şekil 9.4 : Sarıcı sevk silindiri	99
Şekil 9.5 : Sisteme gönderilen PRBS sinyali	101
Şekil 9.6 : PRBS girişine karşılık sistemin çıkışı	101
Şekil 9.7 : LS modeli ve sistem çıkışları	104
Şekil 9.8 : IVM modeli ve sistem çıkışları	105
Şekil 9.9 : Sistem tanılama sonuçları	105
Şekil 9.10 : LS sonucunun çıkış hatası-giriş çapraz ilişki testi.	106
Şekil 9.11 : LS sonucunun çıkış hatası-model çıkışı çapraz ilişki testi	107
Şekil 9.12 : IVM sonucunun çıkış hatası-giriş çapraz ilişki testi.	107
Şekil 9.13 : IVM sonucunun çıkış hatası-model çıkışı çapraz ilişki testi	108
Şekil 9.14 : Kapalı çevrim gerginlik kontrol sisteminin blok diyagramı	109
Şekil 9.15 : Büküm prosesindeki model öngörülü kontrol uygulamasının blok diyagramı	109
Şekil 9.16 : Sistemin öngörülen çıkışı ve kontrolcü davranışı	109
Şekil 9.17 : Tekstüre ve büküm prosesindeki model öngörülü kontrol uygulamasının blok diyagramı	110
Şekil 9.18 : Sistemin öngörülen çıkışı ve kontrolcü davranışı	110
Şekil 9.19 : Büküm prosesinin öngörülen çıkışı ve kontrolcü davranışı	111
Şekil 9.20 : Büküm ve tekstüre prosesinin öngörülen çıkışı ve kontrolcü davranışı	112
Şekil 9.21 : Büküm prosesi için kontrolcü davranışlarının karşılaştırılması	113
Şekil 9.22 : Büküm ve tekstüre prosesleri için kontrolcü davranışlarının karşılaştırılması	113
Şekil A.1 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri	122
Şekil A.2 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri	123
Şekil A.3 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri	124
Şekil A.4 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri	125
Şekil A.5 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri	126
Şekil A.6 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri	127
Şekil A.7 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri	128
Şekil A.8 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri	129
Şekil A.9 : Kontrol edilen bozuculu prosesin giriş-çıkış değerleri	130

SEMBOL LİSTESİ

A, B, C, D	: Durum-Uzay Modeli Matrisleri
B_M	: Motorun Sönümlleme Katsayısı
b	: İpliğin Viskoz Sürtünme Katsayısı
d	: Ölü Zaman
E	: Öngörü Hatası
$e(t)$	: Hata
$e^0(t)$	: Öngörü Hatası
f	: Frekans
f_s	: Örnekleme Frekansı
J	: Sevk Silindirinin Atalet Momenti
J_M	: Motorun Atalet Momenti
$J(t)$	: En Küçük Kareler Kriteri
$J(U)$	: Öngörülü Kontrol Amaç Fonksiyonu
k	: İpliğin Yay Sabiti
K_m	: Zaman Sabiti
m, n_u	: Giriş Sayısı
N	: Veri Sayısı
N_1	: Minimum Öngörü Ufuzu
N_2	: Maximum Öngörü Ufuzu
N_u	: Kontrol Ufuzu
n_a	: A Polinomu Mertebesi
n_b	: B Polinomu Mertebesi
Q	: Öngörü Hatası için Ağırlık Katsayısı
q^{-1}, z^{-1}	: Geri Kaydırma Operatörü
p, n_y	: Çıkış Sayısı
$R(i)$	: Otokorelasyon
R	: Kontrol Sinyali için Ağırlık Katsayısı
t	: Zaman
T	: Periyot
T_s	: Örnekleme Zamanı
$u(t)$	: Sistemin Girişi
$v(t)$	: Bozucu Vektörü
$y(t)$	: Sistemin Çıkışı
$\hat{y}(t)$	: Öngörülen Çıkış
$y_r(t)$	: Referans
$w(t)$	: Gürültü Vektörü
θ	: Açısal Yer Değişimi
θ'	: Açısal Hız
$\theta(t)$	: Parametre Vektörü
$\hat{\theta}(t)$	: Kestirilen Parametre Vektörü
Δu	: Kontrol Sinyali
$\Phi(t)$	: Gözlemlleme Vektörü

HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASININ MODELLENMESİ VE DURUM-UZAY MODELİNE DAYANAN ÖNGÖRÜLÜ KONTROLÜ

ÖZET

Günümüz endüstrisi, olabildiğince en kısa sürede en fazla üretimi yaparak pazar koşullarına uyum sağlayabilir. Bu nedenle, endüstriyel sistemlerin verimliliği esas alınarak tasarlanması gereklidir. Üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılan otomatik kontrol sistemlerinin, optimum kontrolünün sağlanması problemi üzerinde durulması gereken bir konudur. Endüstriyel sistemlerde kullanılan kontrol sistemlerinin ayarında genellikle deneysel yöntemler tercih edilmektedir. Bu deneysel yöntemlerin bu sistemler içerisinde kabul edilebilir değerler verip vermediğinin incelenmesi pratik uygulama açısından önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında, TÜBİTAK, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı desteği ile yürütülen 105M134 numaralı “Hava-Jeti İle Tekstüre Yapan Büküm Makinasının Geliştirilmesi, Prototip Makina Tasarımı ve İmalatı” isimli proje kapsamında geliştirilen makinada tekstüre ve büküm işlemi için kullanılacak ipliğin gerginliğini emniyetli çalışma değerinde tutmak amacı ile tekstil makinalarındaki en önemli uygulamalarından biri olan gerginlik kontrolü için bir algoritma geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Gerginlik Kontrolü genelde bir bobin ya da sevk silindirine sarılı bir ipliğin her zaman aralığında mekanik gerginliğinin kontrol edilebilmesidir. Bu kontrol hem dinamik hem de statik durumlar için yapılmalıdır. Böyle bir uygulamada hat hızı temel fonksiyon kabul edilir. Gerginlik kontrolü makinanın hızlanma, yavaşlama ve her hız kademesi için aynı hassasiyeti sağlamalıdır. Acil durma durumları hassas gerginlik kontrolü gerektirmez, fakat kontrol sistemi ipliğin kopmasını engelleyecek şekilde çalışmalıdır.

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinası’nda yapılabilen tekstüre ve büküm işlemleri bir arada gerçekleştirilerek sistemin modeli elde edilmiştir. Daha sonrasında ise Durum-Uzay Modeline Dayanan Öngörülü Kontrol uygulaması yapıp gerginlik kontrol edilmiş ve klasik kontrole göre üstünlükleri simulasyon çalışmaları sonrasında ortaya çıkmıştır.

MODELING AND STATE-SPACE MODEL BASED PREDICTIVE CONTROL OF THE AIR-JET TEXTURING AND TWISTING MACHINE

SUMMARY

In nowadays industry, production has unique importance for industrial companies to survive in today's marketing conditions. Therefore industrial systems should be designed on the basis of their efficiency for obtaining more products in better quality in smaller time periods. Automatic control systems are commonly used in production systems for increasing efficiency. For this reason "optimal control problem" becomes an important issue that is needed to be solved. Moreover experimental methods are preferred for setting up industrial systems. But, examining and investigating results of these experimental setup has such importance that if these results satisfy best performance in practical applications.

This thesis study which is titled as "Air-Jet texturing and twisting machine" is supported by TUBITAK, by "The Scientific and Technological Research Project Support Program" (Research Grant Number: 105M134). Additionally, the project is patented under TPE Document Code: 69065 and Registration No: 2007/02344. In this machine the yarn tension is the most important condition which is needed to be focused for getting the perfect manufacturing. Therefore, stabilizing the tension of yarn is objected. Thus an algorithm is developed.

The tension control information is usually measured from checking tension of yarn which is rolled to a bobbin or a roll in time periods. In addition, the control should be made for both dynamic and stable states. In such application velocity of the roll is accepted as major function of the system. Tension control must be stable while system is accelerating and decelerating. Furthermore, for any velocity system should provide the same sensitivity. Emergency stops do not require sensitive tension but control system should be tuned to prevent tearing of the yarn.

Consequently, this study used for obtaining models of "Air-Jet Texturing process" and "Twisting process". Afterward, Predictive control application, which is in state space model, is tested and the tension is checked. Finally, after simulation process the advantages of the system with respect to classical control, has emerged.

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde mümkün olan en kısa zamanda en fazla üretimi yaparak pazar koşullarına uyum sağlanabilir. Bu nedenle, endüstriyel sistemlerin, verimliliği temel alınarak tasarlanması gereklidir. Çalışan bir sistemde de yapılabilecek küçük her bir iyileştirme, büyük ekonomik katma değerlere neden olacaktır. Üretimde, yaygın olarak kullanılan otomatik kontrol sistemlerinde optimum kontrolün sağlanması problemi üzerinde durulması gereken bir konudur.

Otomatik kontrol uygulama alanlarından bir tanesi, bu çalışmanın da konusu olan tekstil makineleridir. Makinanın etkin olarak üretim gerçekleştirmesi için iplik gerginliğinin kontrolü gerekmektedir. Bu yüzden otomatik kontrol, tekstil endüstrisinin ve makinelerinin teknik gelişiminde ve modernizasyonunda en etkili ve vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir [1]. Otomatik kontrolün gelişmesi makinelerin çok yönlülüğünü, hızlı adaptasyonunu ve güvenilirliğini artırarak; tekstil makinelerinde otomasyonu ve yüksek üretkenliği büyük ölçüde sağlamıştır [1].

Bu çalışmada ele alınan ve özel bir TÜBİTAK Projesi olan “Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan İplik Büküm Makinası” içerdiği birçok algılayıcı, kontrolör ve eyleyiciyle otomatik kontrol sistemleri için eşsiz bir örnek olarak gösterilebilir. Bu süreçte öncelikle makinanın mekanik tasarımı yapılmış, gövde için gerekli parçaların imalatları yaptırılmış, makinanın tahrik mekanizması için gerekli elemanlar, algılama vazifesi için gerekli sensörler, bunları kumanda etmek için gerekli kontrolörler seçilmiş, tüm bu elemanların montajları yapılmış, gerekli elektrik tesisatı çekilmiş, PLC ve operatör paneli programlanmış ve makinanın testleri yapılmıştır. Makinanın dinamiğinin incelenmesi ve kontrol sistemi tasarımı aşamasında ise makinanın teorik modelinin elde edilmesi, sistem tanılaması yaparak sistemin dinamik modelinin elde edilmesi ve sistem verilerinden yararlanarak model öngörülü kontrol metoduyla benzetim çalışmaları yapılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Gerginlik Kontrolü genelde bir bobin ya da sevk silindirine sarılı bir malzemenin her zaman aralığında mekanik gerginliğinin kontrol edilebilmesidir. Bu kontrol hem dinamik hem de statik durumlar için yapılmalıdır. Böyle bir uygulamada hat hızı temel fonksiyon kabul edilir. Gerginlik Kontrolü makinanın hızlanma, yavaşlama ve her hız kademesi için aynı hassasiyeti sağlamalıdır. Acil durma durumları hassas gerginlik kontrolü gerektirmez, fakat kontrol sistemi malzemenin kopmasını engelleyecek şekilde çalışmalıdır.

Bu çalışmada İTÜ Makina Fakültesi Tekstil Laboratuvarı'nda bulunan 105M134 numaralı TÜBİTAK destekli Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinası'nda yapılan deneylerden elde edilen gerçek sistem verilerini çeşitli tanılama metotlarında kullanarak sistemi temsil eden durum-uzay modelini çıkartmak ve sonrasında model öngörülü kontrol çalışması yapılması hedeflenmiştir. Böyle bir kontrol sonucunda ise kullanıcı tarafından ayarlanan bir referans değer ile gerginliğin gerçek değeri sürekli olarak karşılaştırılarak, gerginlik istenilen değerde sabit kalacaktır.

1.2 Literatür Özeti

Chang K. ve diğerleri, hız ve gerginliğin önemli olduğu tekstil makinasının modellenmesi ve kontrolü üzerinde çalışmışlardır. Öncelikle sistemin matematiksel modeli çıkarılmıştır. Daha sonra bu modele dayanarak bir kontrol sistemi tasarlamışlar ve etkili sonuç almışlardır [2].

Chung J.T. ve diğerleri, doğrusal olmayan ağ sisteminde sevk sırasında oluşan gerginliğin modellenmesi ve kontrol sistemi tasarlanması üzerinde çalışma yapılmıştır [3].

Yun S. ve diğerleri, eksenel hareket eden filmin gerginliği için robust kontrol algoritması üzerine çalışmışlardır [4].

Xu Y. ve diğerleri, üç motor ve iki yük hücresinden oluşan doğrusal olmayan bir ağ sarma sistemini ele almışlardır. Optimizasyon metotları kullanılarak model parametreleri tanımlanmıştır. Robust kontrol uygulamasıyla referansı izleyen iyi bir kontrolcü davranışı elde edilmiştir. Bu sayede sinosidial titreşimlerden dolayı oluşan gerginliklerin kompanse edilmesi sağlanmıştır [5].

Zhang Z. ve diğerkleri, ağ sarma sisteminde oluşan gerginlikleri kontrol etmeye yönelik çalışmalar yaparak bir gerginlik problemine çözüm üretmiş oldular [6].

Sistem tanılama, gerçek sistemin giriş çıkış verilerinden modelini elde edebilmek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntemle elde edilecek herhangi bir matematiksel model sistemin yaklaşık olarak çıkışını verecektir. Sistem tanılamının en önemli özelliklerinden biri bozucu etkiye uğrayan sistemi temsil eden modelin kolaylıkla bu metotla elde edilebiliyor olmasıdır. Bu yöntemin prensiplerini ele alan yayınlar arasında Cuenod ve Sage, Bekey, Nieman, Fisher ve Seborg, Aström ve Eykhoff, Bowles ve Straeter ve Landau' nun 1996'da model karmaşıklığının kestirimi için sistemi temsil edecek modelin polinomlarının mertebelerini bulmaya yönelik çalışmaları bulunmaktadır [7-12].

1970'lerin sonuna doğru Model Öngörölü Kontrol yönteminin endüstride uygulanması ile ilgili pek çok makale çıkmaya başlamıştır.

Richalet 1978'de Model Algoritmik Kontrol algoritmasını, Cutler ve Ramakter ise 1980 yılında Dinamik Matris Kontrol algoritmasının ilk prensiplerini ortaya atmışlardır. Her iki algoritmada da gelecekteki kontrol hareketlerinin sistem çıkışı üzerindeki etkilerini öngörebilmek için dinamik bir proses modeli kullanılmıştır. Model Algoritmik Kontrol algoritmasında darbe cevabı katsayıları kullanılırken, Dinamik Matris Kontrol algoritmasında basamak cevabından elde edilen katsayılar kullanılmıştır. Bu çalışmalarda öngörülen kontrol sinyalleri öngörülen hatayı en aza indirecek şekilde seçilmeye çalışılmıştır [13].

Garcia, 1980'li yıllardaki MPC algoritmalarının petrokimya sektöründeki pek çok farklı uygulamasını bir çalışma altında toplamıştır. Bu uygulamaların pek çoğu sınırlandırmalar içeren çok değişkenli sistemlerde kullanılmıştır [13].

Clarke, Genelleştirilmiş Öngörölü Kontrol algoritmasını 1987'deki çalışmasında ortaya atmıştır. Bu algoritma Genelleştirilmiş Minimum Varyans metodunun temellerine dayanmaktaydı. Ayrıca bu temellere dayanmakta olan Richalet'in Öngörölü Fonksiyonel Kontrol ve Söeterboek' in 1992'de çalışmasındaki Birleştirilmiş Öngörölü Kontrol gibi algoritmalar ilerleyen zamanlarda ortaya çıkmıştır [14].

Morari, 1994'deki çalışmasında Model Öngörölü Kontrol algoritmasının durum uzayı formunda uygulanması ile ilgili olarak bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma

durum-uzayı teorilerinin bu algorithmada kullanılmasını sağlamakla beraber çok değişkenli sistemler, lineer olmayan sistemler gibi pek çok kompleks sistemler için bu kontrol yönteminin geliştirilmesinde büyük rol oynamıştır [15].

Genelleştirilmiş Öngörölü Kontrol algoritması üzerine yapılan ilk çalışmalarda dayanıklılık üzerine bazı teoremler geliştirilmiş olsa da öngörölü kontrolörler ile ilgili genel kararlılık sonuçlarının eksikliği bulunmaktaydı. Clarke ve Scattolini 1991 yılında Sınırlandırılmış Kayan Ufuk Öngörölü Kontrol algoritmasını geliştirerek sonlu bir ufuk sonunda çıkışa bir eşitlik sınırlandırması getirerek algoritmanın kararlılığını ispatlamışlardır [16].

D. Q. Mayne kararlılığı kanıtlanmış tüm öngörölü kontrol formülasyonlarını özetlemiştir. Bu çalışmada kararlı ve sınırlandırılmış bir model öngörölü kontrolör tasarlamak için gerekli olan durumlar anlatılmıştır [17].

1.3 Tez Kapsamında Yapılanlar

Bu tez çalışmasında Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasının modellenmesi ve kontrolü üzerinde durulmuş, durum-uzay modeline dayanan öngörölü kontrol algoritması ile sistemde ipliğin taşınması sonucu oluşan gerginliğin kontrol edilmesi sağlanmıştır. İlk olarak, sistemin teorik modeli incelenmiştir. Sistemin modeli elde etmede bazı parametrelerin belirsizliğinden sistem tanılama yoluna gidilmiştir. MIDSYS programı sayesinde, sisteme verilen PRBS giriş sinyali sonucu elde edilen çıkış verilerinden yararlanarak model yapısı seçilip parametre kestirimi yapılmıştır. Daha sonra modelin geçerliliği analiz edilmiştir. Elde edilen modelin doğruluğu sağlandıktan sonra durum-uzay modeli elde edilip model öngörölü kontrol yapmaya hazır hale getirilmiştir. Model öngörölü kontrol aşamasında, sistemde bozucu varken ve bozucu yokken kontrolcü ve sistem davranışları simüle edilmiştir.

Tez şu şekilde düzenlenmiştir. 1.Bölüm'deki girişin ardından, 2.Bölüm'de makinanın kullanıldığı prosesle ilgili özet bilgi, 3.Bölüm'de makinanın kontrol ve otomasyonunda kullanılan kontrolörün detayları, 4.Bölüm'de makinanın temel fonksiyonlarından olan hava-jetinin ve baskı kasnağının çalışmasını sağlayan pnömatik sistem, 5.Bölüm'de makinanın kontrol edilmesini ve gözlenmesini sağlayan çeşitli sensörler, 6.Bölüm'de veri toplama ve işleme, 7.Bölüm'de sistem tanılama, 8.Bölüm'de Model Öngörölü Kontrol, 9.Bölüm'de makinanın teorik

modeli, sistem tanılması ve durum-uzaya modeline dayanan öngörölü kontrolü ele alınmıştır. Çeşitli senaryolar için benzetim çalışmalarının sonuçları da bu bölümde verilmiştir. Son olarak 10.Bölüm’de sonuçlar tartışılmış ve gelecek çalışmalara yönelik önerilere yer verilmiştir.

2. HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASI

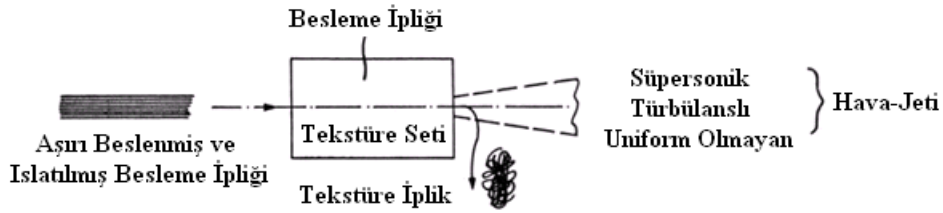
Bu bölümde tekstüre işlemi, tekstüre ipliklerinin özellikleri ve özellikle de hava-jeti ile tekstüre işlemi hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Aşağıdaki 2.1 ve 2.2 olarak numaralanmış bölümler Ali DEMİR'in Sentetik Filament İplik Üretim ve Tekstüre Teknolojileri adlı kitabının ilgili bölümlerinden alınmıştır.

2.1 Hava-Jeti ile Tekstüre

Hava-jeti ile tekstüre işlemi; düz, sürekli sentetik filament iplikleri karmaşık, dolaşık, hacimli, kesikli liflerden eğrilmiş ipliklere benzer bir yapıya dönüştürür (Şekil 2.1).

Hava-jetli tekstüre işlemi, işlem esnasında tüm farklı filament iplikleri “harmanlayabilme” kabiliyetine sahip olduğundan ve bu sayede de doğal liflerden eğrilmiş ipliklere benzer yapı ve özelliklerde iplikler oluşturduğundan, bugüne kadar bilinen en çok amaçlı tekstüre işlemidir. Bu çok amaçlılık, tekstüreciye diğer tüm tekstüre tekniklerinden daha çok geniş bir çalışma ve iplik tasarım imkânı sunar [35].

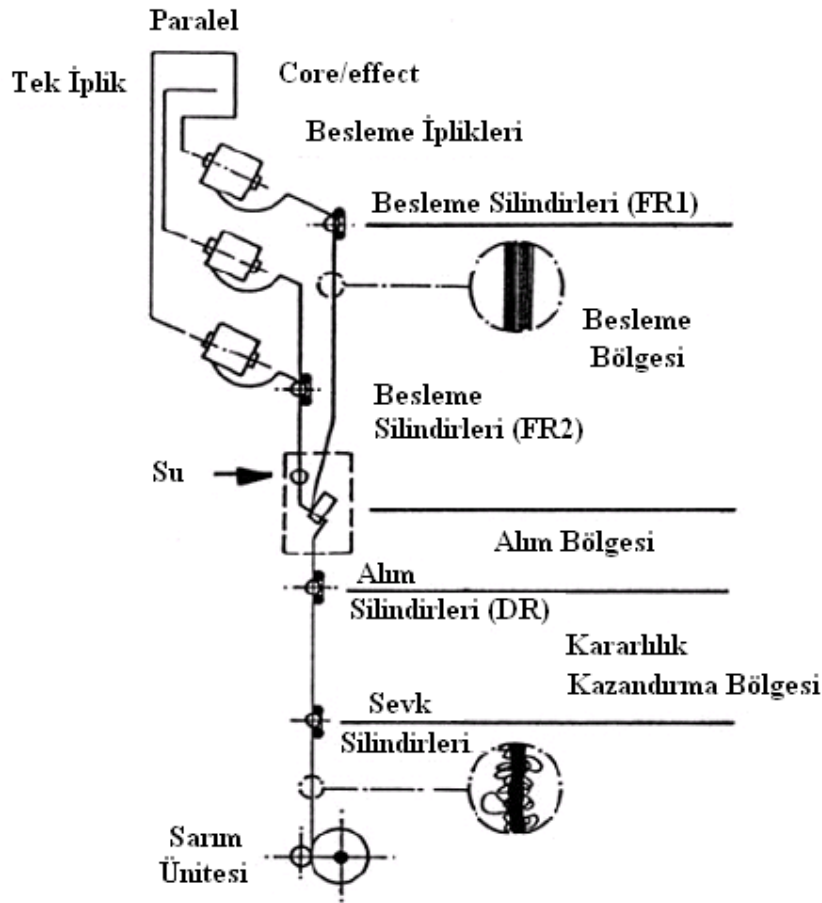


Şekil 2.1 : Hava-jeti ile tekstüre işlemi [35].

Bundan da öte, besleme ipliği sentetik termoplastik iplikler ile de sınırlı değildir. Her ne kadar, polyester, poliamid ve polipropilen filament iplikler, bugüne kadar hava-jeti ile tekstüre işleminde en yaygın olarak kullanılan besleme iplikleri olmuş ise de cam elyafı, viskon, asetat ve tüm bunların değişik birleşimleri de özel amaçlar için kullanılabilmektedir [35].

2.1.1 Hava-jeti ile tekstüre işleminin prensipleri

Şekil 2.2, hava-jeti ile tekstüre işleminin temel gereksinimlerini şematik olarak göstermektedir. İşlem, besleme ipliğinin jet içerisine besleme hızının, ipliğin jetten çıkış hızından daha yüksek olduğu “aşırı besleme” prensibini içermektedir. Bu aşırı beslemeyi elde etmek için besleme ipliği, alım silindirleri olan DR’den daha hızlı dönen FR1/FR2 silindirlerinden geçer. Aşırı beslenmiş iplik jete girer ve jetin çıkışından basınçlı hava etkisi ile dışarıya püskürtülür. Uygun bir basınçlı hava sistemi tarafından sağlanan basınçlı havanın oluşturduğu türbülanslı, süpersonik hava jetini etkisi ile iplik tekstüre edilir [35].



Şekil 2.2 : Hava-jeti ile tekstüre işleminin temel gereksinimleri [35].

Besleme silindirleri ile hava-jeti arasında kalan bölge besleme bölgesi ve hava-jeti ile alım silindirleri arasında kalan bölge ise alım bölgesi olarak adlandırılır. Besleme ipliği genellikle hava-jetine girmeden hemen önce ya bir su banyosundan geçerek ya da bir ıslatma ünitesinden geçirilerek ıslatılır. Islatma ünitesi hava-jeti ünitesi ile

bütünleşik halde olabildiği gibi hava-jeti ünitesinden bağımsız da olabilir. Besleme ipliğinin ıslatılması, tekstüre işlemini büyük oranda iyileştirerek tekstüre iplik kalitesini artırır. Öte yandan, hava-jetinin hemen çıkışına yerleştirilen ve bir kürecik ya da düz plaka biçiminde olan çarpma elemanının da tekstüre işlemini iyileştirdiğine inanılmaktadır. Tekstüre jetleri genellikle bir kutucuk içerisine alınmıştır. Bunun amacı sadece hava-jetinden yayılan gürültüyü azaltmak değil aynı zamanda ıslatma ünitesinden dışarıya sıçrayan suyu ve iplikten uzaklaşan spin bitiş yağını da toplamaktır [35].

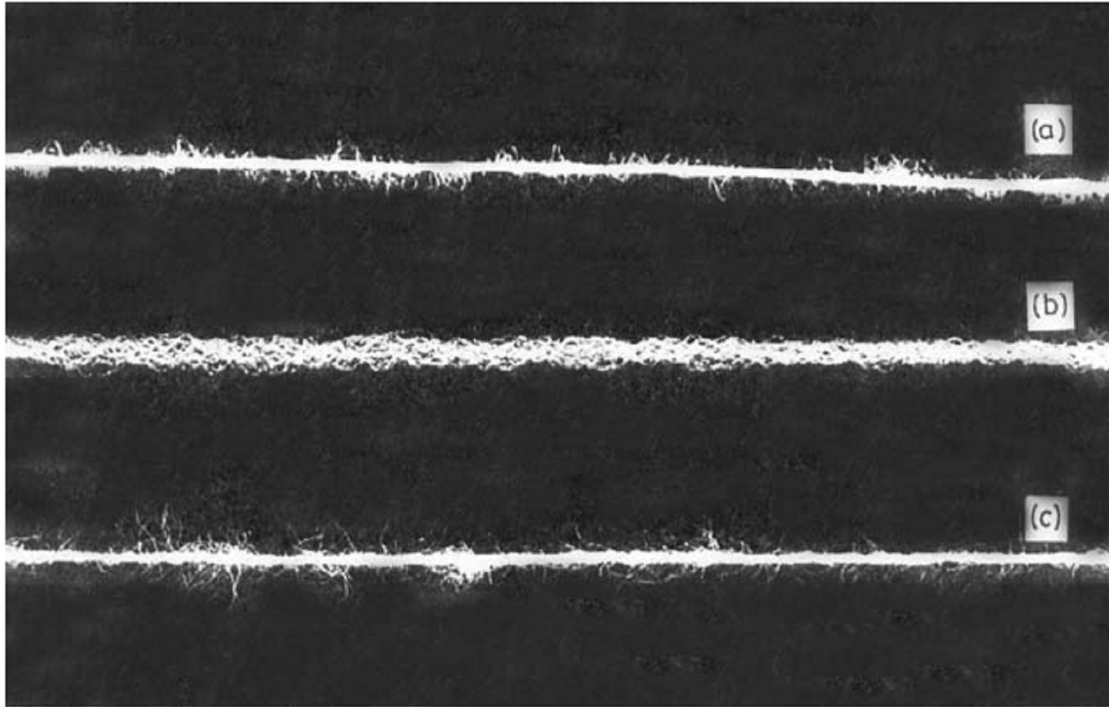
Aşağıdaki üç ana tip, tüm diğer iplik tiplerinin oluşturulmasında kullanılan tiplerdir:

1. Tek-uç tekstüresi,
2. Paralel tekstüre,
3. Core-effect tekstüresi.

Tek-uç tekstüresi, tek bir ipliğin aşırı besleme ile hava-jeti içine sevk edildiği ve oluşan tekstüre ipliğin jetten alındığı durumdur. Paralel tekstüre durumunda ise, iki veya daha fazla iplik aynı aşırı besleme miktarı ile farklı materyalden ipliklerin, farklı inceliklere sahip ipliklerin, farklı renkten ipliklerin ya da farklı filament kesitine sahip ipliklerin bir karışımını oluşturmak amacıyla hava-jeti içine sevk edilir. Tüm bileşenlerin aşırı besleme miktarlarının eşit olması dolayısı ile paralel tekstüre edilen iplikler genellikle homojen bir yapı sergiler. Hava-jeti ile tekstüre işleminin çok-amaçlılığı en iyi core-effect tekstüresinde kendisini ortaya koyar. Core-effect tekstüresinde, bileşenlerden bir tanesi düşük bir aşırı besleme ile jete beslenirken diğeri daha fazla bir aşırı besleme ile jet içerisine sevk edilir. Düşük aşırı beslemeli bileşen ipliğin merkezinde kalarak ipliğe mukavemet kazandırırken, yüksek aşırı beslemeli bileşen de ipliğin yüzeyine yerleşir ve iplikten istenen hacimliliği ve yumuşaklığı oluşturur. Aşırı besleme oranlarının değiştirilmesi ile çok farklı yapı ve özelliklerde iplik oluşturmak mümkündür. Her üç tip çalışma esnasında aşırı besleme miktarı kontrollü bir biçimde dağıtılarak ipliğin uzunluğu boyunca şantuk tabir edilen kalın yerler ve ince yerler oluşturmak ve bu sayede çok farklı fantazi iplikler oluşturmak mümkündür [35].

2.1.2 Hava-jeti ile tekstüre edilmiş iplikler

Mekanik deformasyon esnasında ısıl fıkse yöntemi ile tekstüre edilmiş iplikler (Şekil 2.3), çok küçük kuvvetler altında dahi yüksek uzama kabiliyetine sahiptirler. Bu aşırı uzama kabiliyeti filamentlerin birbirlerinden bağımsız kıvrıkcılık ve açık karakterinden kaynaklanır ve ipliğin “esnek=stretch” olmasına yol açar. Tam aksi olarak, hava-jeti ile tekstüre edilmiş iplikler tamamen farklı yapıdadırlar ve daha çok kesikli liflerden eğrilmiş ipliklere benzer yapıdadırlar. Esnek ipliklerin hacimliliği ipliğe uygulanan gerginlik etkisi ile azalır. Oysaki hava-jeti ile tekstüre edilmiş ipliklerin hacimliliği ipliğin kullanım esnasında karşılaşılabileceği normal kuvvetler altında dahi değişme göstermez. Bu, hava-jeti ile tekstüre edilmiş ipliklerin “kilitlenmiş” yapıdaki filament karmaşıklığından dolayıdır. Hava-jeti ile tekstüre edilmiş ipliklerin kesikli liflerden eğrilmiş ipliklere benzer bir diğer özelliği de, kesikli liflerden eğrilmiş ipliklerin yüzeyini kaplayarak ipliğe yumuşaklık ve durağan hava odacıkları oluşturarak da ipliğe sıcaklık hissi veren tüylere karşılık olarak iplik yüzeyinin sabit havlar ile kaplanmış olmasıdır [35].



Şekil 2.3 : Tekstüre ipliklerinin genel mukayesesi [35].

Hava-jeti ile tekstüre edilmiş ipliklerin sahip olduğu, yüzey havları ve sıkıca kenetlenmiş iplik özü bu ipliklerin kesikli liflerden eğrilmiş ipliklere görünüm ve tuşe olarak çok yakından benzemesine yol açar. Hava-jeti ile tekstüre olmuş iplikler kesinlikle diğer tekstüre ipliklerden çok daha eğrilmiş ipliklere benzerdirler ve bu nedenle de hafif gramajlı dokuma kumaşlarından çok ağır gramajlı “teknik” kumaşlara kadar değişen ve kesikli liflerden eğrilmiş ipliklerin kullanıldığı tüm uygulamalara ile benzer kullanım alanı bulurlar [35].

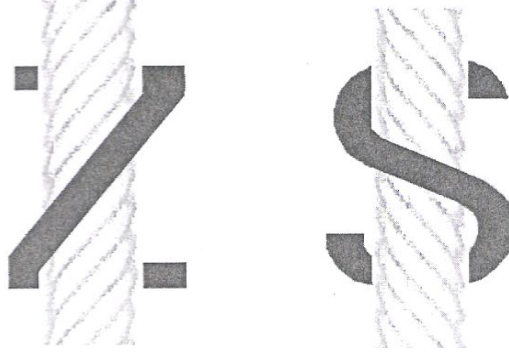
Hava-jeti ile tekstüre edilmiş iplikler dokunduklarında veya örüldüklerinde, yünlü kumaşların hava geçirgenliğine yaklaşan bir geçirgenlik, daha iyi bir örtme kabiliyeti ile yüksek performans sergilerken aynı zamanda da “kilitli filament” yapısından dolayı da asla iplik kaçması göstermez. Tekstüre işleminin filamentin kesitini etkilemediğinden, kumaş en şiddetli güneş ışığında dahi pırıltı ya da parlama yapmaz. Bundan da öte, hava-jeti ile tekstüre edilmiş ipliklerden dokunmuş kumaşları, yünlü kumaşlar ile mukayese edildiklerinde oldukça üstün bir aşınma dayanımı, boyutsal kararlılığı ve kırışıklığa karşı direnme özelliği vardır [35].

2.2 İplik Bükme İşlemi ve İplik Büküm Teknikleri

2.2.1 Bükümün tanımı, özellikleri ve işlevleri

Büküm, ipliğe üretim sırasında yapılan döndürmenin döngü sayısını ve yönünü belirten terimdir. Doğrusal bir forma taşınmış, birbirine paralel dizilmekte olan lif topluluğuna uygulanan büküm; bu yapıyı daha az hacim kaplayan, daha sıkı bir hale getirmektedir. Bu doğrusal yapıya verilen bükümle yanal kuvvetler oluşturulmakta ve eksenî doğrultusunda uygulanacak herhangi bir gerilimde elyafların kayarak birbirinden ayrılmasını engelleyecek sürtünme kuvvetleri var edilebilmektedir. Elyaflar birbirine yaklaşarak daha sıkı tutunduklarından dolayı da ipliğin mukavemeti artmaktadır [35].

Şekil 2.4’te bükümün yönüne gelince büküm yönü S veya Z harflerinin orta kısımlarının bükülmüş ipliklerin yüzeyindeki lif görüntüsüyle eşleştirilmesiyle belirlenmektedir. İstenilen büküm yönüne sahip iplik; istenilen büküm yönü S ise ipliğin bir ucu sabit tutularak diğer ucunun sağa doğru bükülmesiyle, istenilen büküm yönü Z ise bir uç sabit tutularak diğer ucun sola doğru bükülmesiyle elde edilmektedir [35].



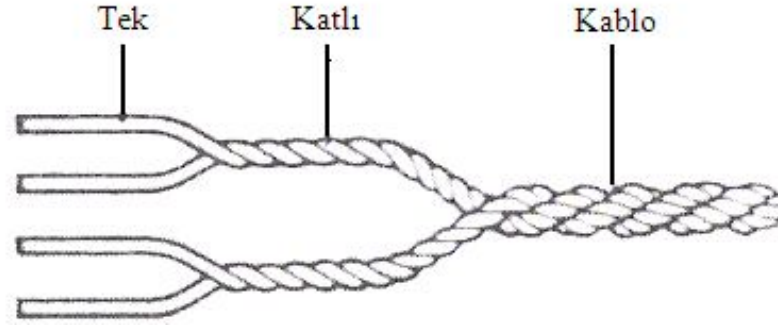
Şekil 2.4 : İplik büküm yönleri [35].

Büküm yönü hem ipliğin hem de yapılan kumaşın; görüntü, performans ve dayanıklılığını da etkiler. Mesela sert bir iplikten ilmekli bir yapı oluşturulması mekanik açıdan bazı zorlukları beraberinde getirdiğinden, örme ipliklerinin dokuma ipliklere nazaran daha yumuşak tutumlu olma zorunlulukları vardır. Sert bükümlü iplikten örme kumaş üretilse bile tuşe ve dönme gibi problemlerle karşılaşma ihtimali artar. Eğrilmiş ipliklerden dokunan kumaşlar genellikle çözgü yönünde Z büküme ve atkı yönünde de S büküme sahiptir. Işık büküm yönü ile ilgili olarak ters yönlerde yansıdığından çözgüde sırayla Z ve S büküm yönlü iplikler kullanılarak kumaşta farklı parlaklıkta çizgiler oluşturulabilir. İpliklere uygulanan diğer bütün işlemler arasında ipliğin en fazla maliyetini artıran işlem büküm işlemidir. Büküm elyaf ve ipliklerin nasıl birbirine bağlandığını ve sonrasında kendi içinde nasıl büküldüğünü gösterir [35].

Büküm elyafa ısı veya buhar yoluyla sabitlenir (fiksaj). İpliklerin kullanım alanlarına göre verilen bükümün miktarı da değişmektedir. Büküm sayısı veya yoğunluğu birim uzunluk başına düşen döngü sayısı (tpm, tpi, tpcm) olarak belirtilir [35].

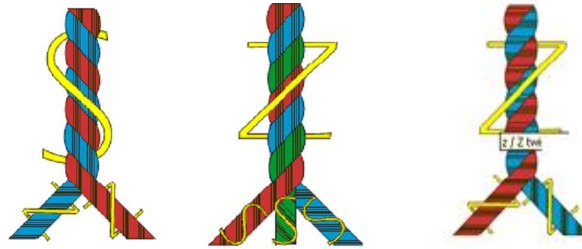
2.2.2 İplik katlama; tek kat, katlı ve kablo iplikler

Tek kat iplik denilince anlaşılan; birlikte bükülmüş değişik uzunluklara sahip kısa liflerden oluşan iplikler ve çok az miktardaki üretici bükümüyle bükülmüş kesiksiz liflerden oluşan ipliklerdir (Şekil 2.5). Çok kat veya katlı iplik iki veya daha fazla sayıda tek kat ipliğin birlikte bükülmesiyle oluşan ipliklerdir. Kaç tane tek kat iplik birlikte büküldüyse katlı iplik o sayı ile adlandırılır. İki kat iplik, üç kat iplik gibi isimlendirilir. Kablo iplik iki veya daha çok kat ipliğin bir arada bükülmesiyle elde edilir [35].



Şekil 2.5 : Tek kat, katlı ve kablo iplik [35].

Tek kat iplikler çok kat ipliklere göre daha kolay üretilmektedir. Dolayısıyla daha az masraflıdır. Ancak katlama işlemiyle iki tek kat ipliğin kalın ve ince yerleri birbirleriyle örtüştüğünden ortalama bir iplik üretilir. Bunun da anlamı her iki tek kat ipliğe göre katlı ipliğin kalınlık açısından daha düzgün olduğudur. Bir ipliğin mukavemeti ipliğin en zayıf yeri ile belirlendiğinden, katlı iplik tek kat ipliğe göre daha mukavimdir. Genellikle uygulamada bir yönde (Z yönünde) bükülmüş iki iplik katlanırken verilen ek bükümün yönü ters yönde (S yönünde) olmaktadır. Z bükülmüş tek kat ipliklere S büküm, S bükülmüş tek kat ipliklere Z büküm verilerek katlanırsa katlanmış iplik daha mukavim olur, çünkü yüzeydeki lifler iplik eksenine neredeyse paralel uzanırlar (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Katlama işleminde uygulanan büküm yönüyle iplikte lif oryantasyonlarının değiştirilmesi [57].

Kaliteli kumaşların sadece çözgü yönündeki katlı ipliklerle üretilmesinin sebebi de budur. Dikiş ipliklerinin ise düzgün dağılan (üniform) bir çapa sahip olması ve çok zayıf yerlerinin olmaması istendiğinden, katlı iplikler dikiş ipliği olarak tercih edilirler. Kablo iplikler ise giyim endüstrisinde çok fazla kullanılmazlar. Ancak taşıyıcı konveyör kayışları gibi endüstriyel kumaşlarda kullanılmaktadır [35].

2.2.3 Hava-jeti ile tekstüre işlemleri esnasında üretilen ipliğin bükümü

Hava-jeti ile tekstüre işlemleri, sentetik filament ipliklere, hacimlilik, sıcaklık hissi, esneklik ve doğal ve/veya kesikli liflerden eğrilmiş ipliklere benzeme gibi ilave özellikler kazandırarak daha yaygın kullanılır hale dönüştüren belli başlı tekstüre işlemlerinden birisidir [57].

Hava-jeti ile tekstüre işlemleri, filamentlerin basınçlı hava ile buluştuğu bir kanal içine beslendikleri hızdan daha düşük hızlarda (aşırı besleme) alınması sonucunda kanal çıkışında basınçlı havanın oluşturduğu, ses üstü, türbülanslı ve simetrik olmayan hava jeti etkisi ile birbirleri ile sıkıca karışması sonucu pamuk ve yün ipliğine benzer bir iplik oluşturur. Bu şekilde elde edilen iplik, çok sayıda birbirine paralel düz filamentlerden oluşan besleme ipliğine daha yumuşak, hacimli, dokunana sıcaklık hissi veren ve doğal bir görünüm kazandırır [57].

Şekil 2.7’de şematik olarak gösterilen hava-jeti ile tekstüre işleminin doğası gereği paralel filament ipliklerin sadece iplik içerisindeki yerleşimi bozularak karmaşık ve dolayısı ile hacimli bir hale getirilir. Bu işlem ile ipliği oluşturan filamentlerin sadece paralelliği bozulmuştur. Ancak filamentlerin birbirleri ile dolaşıklığından ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinden başka onları bir arada tutan herhangi bir kuvvet ya da neden yoktur [57].

Bu hali ile doğal ve/veya kesikli liflerden eğrilmiş ipliklere benzediğinden dolayı bu iplikler tekstil endüstrisi tarafından geniş kabul görmüş ve kullanılmaktadır. Ancak, bu ipliklerin yaygın kullanımını sınırlayan iki önemli etken mevcuttur. Bunlar; 300 veya 400 metre/dakika ile sınırlı olan işlem hızlarının, hızı 1000 veya 1200 metre/dakika’ları bulan diğer yaygın tekstüre işlemleri olan yalancı-büküm tekstüre işlemine kıyasla, düşük olması ve elde edilen ipliğin dokuma, örme gibi daha sonraki işlemler ve kullanım esnasında maruz kaldığı kuvvetler etkisi ile filamentlerine ayrılması. “Hava-jeti ile tekstüre ipliklerin stabilitesi (kararlılığı)” konu başlığı altına giren bu problem uzun yıllardır araştırma konusudur ve günümüze kadar çözüm yerine bu özelliğin ölçümü ve işlem parametrelerinin bu özellik üzerine etkisi incelenmiştir [57].

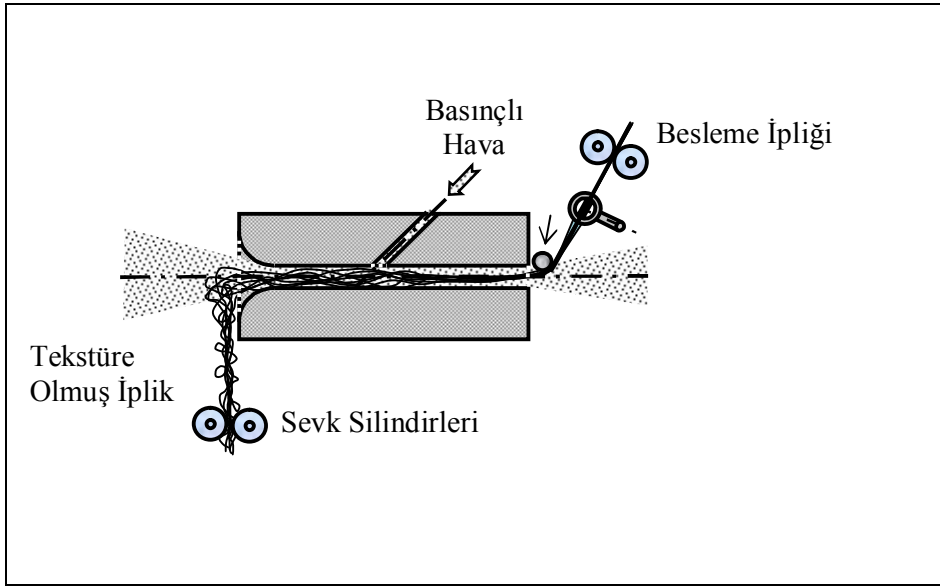
Bu prototipte, hava-jeti ile tekstüre işleminin sahip olduğu işlem hızı dezavantajı bir üstünlük olarak değerlendirilmiş ve geliştirilen yeni işlem ile ikinci dezavantaj ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Projede, hava-jeti ile tekstüre işleminin

oluşturduğu ipliği, bir Türk patenti olan DirecTwist® prensibi (Şekil 2.8) ile üretim esnasında bükerek filamentlerin dolaşıklığına ilave, ancak kalıcı katkıda bulunacak ve bu sayede filamentler her türlü kuvvet etkisi altında asla ayrışıp yeniden paralel hale gelemeyecektir [57].

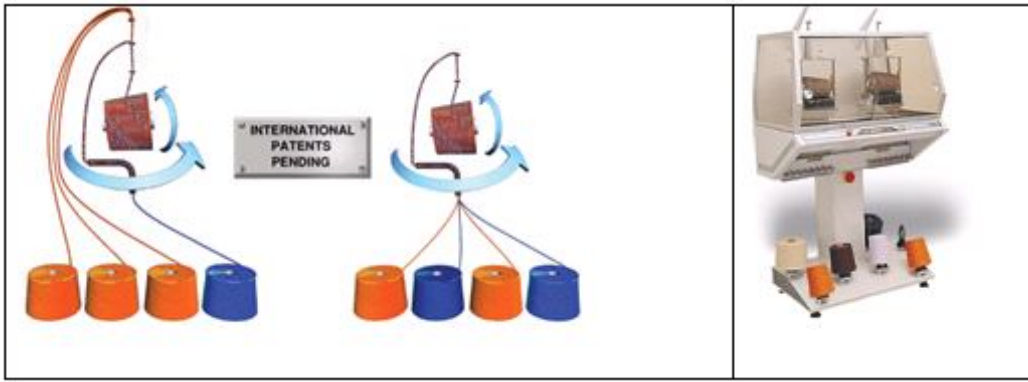
Bu yenilikçi işlem, hava-jeti ile tekstüre olmuş ve karışmış filamentlere ilave bir birliktelik kazandıracağı için iki farklı üstünlük elde edilecektir. Bunlardan ilkinde tekstüre için kullanılan basınçlı hava basıncında azaltma yapılarak daha ekonomik çalışma ile işlem gerçekleştirilecektir. Diğer üstünlük ise ipliğe kazandırılan yeni karakter ile elde edilecektir. Hava-jeti ile tekstüre işlemi her türden filamenti karıştırarak fantezi iplik üretme fırsatı sağlarken geliştirilmiş olan bu yeni kombine işlem tekstüre olmuş filament iplik ile kesik elyaftan eğrilmiş ipliklerin de büküm ile birleşimine imkân vererek fantezi iplik elde etme potansiyelini iki katına çıkaracaktır. Bu sayede filament ipliklerin mukavemet ve aşınma dayanımları ile kesik elyaftan eğrilmiş ipliklerin görsel, tuşe ve sıcaklık özellikleri birleştirilmiş olacaktır [57].

Bu yenilikçi işlemin diğer bir üstünlüğü de iki veya daha fazla sayıda hava-jeti ile tekstüre olmuş ipliğin bükümle birleştirilerek (katlanarak) daha yumuşak bir ipliğin elde edilmesidir. Bilindiği gibi özellikle kesik elyaftan gerek ring gerekse de open-end eğirme işlemleri ile eğrilmiş iplikler tek kat iplik olarak eğrilirler. Bu tek kat ipliklerin doğal olarak sahip oldukları düşük mukavemet, yüksek düzgünlük ve sertlik gibi eksik karakteristikleri bu ipliklerin katlanması ile iyileştirilir. Buna benzer biçimde tek kat olarak hava-jeti ile tekstüre edilmiş ipliğin sahip olduğu sertliği yan yana ayrı jetler ile tekstüre edilmiş iki ipliğin büküm işleminde katlanması ile sertliği azaltılır veya giderilir [57].

Bu makina 2 ve 3 boyutlu CAD imkanları kullanılarak geliştirilen bir prototip tasarımı olup, mümkün oldukça CAM imkanları kullanılarak imal ettirildikten sonra montajı yapılmış, gerekli olan motor kontrol yazılımları geliştirilmiş ve iplik ile üretim (tekstüre + büküm) denemeleri yapılmıştır. Geliştirilen bu yeni işlemin ipliğe kazandıracağı yeni özellikler ve işlemin daha farklı uygulama biçim ve alanları özellikle iplik teknolojisi ağırlıklı başka çalışmaların konusu olacaktır [57].



Şekil 2.7 : Hava-jeti ile tekstüre işleminin prensibi [57].



Şekil 2.8: Direct Twist® prensibi ve makinası [57].

3. HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASININ KONTROLÜ VE OTOMASYONU

3.1 Temel Kontrol Yaklaşımı

Kontrol sistemleri çevremizde her yerde hatta içimizdedirler. Çoğu karmaşık kontrol sistemleri insan bedeninin fonksiyonlarının içindedir. Ayrıntılı bir kontrol sistemi beynin hypothalamusunda yer alır ve vücut sıcaklığını fiziksel aktivitelerdeki değişiklere rağmen 37°C’de tutar [2].

Bir kontrol sistemi sistemdeki diğer değişkenin değerini işleterek istenilen sonucu koruyan bileşenler grubudur. Kontrol sistemleri temelde Açık Çevrim Kontrol ve Kapalı Çevrim Kontrol olarak ikiye ayrılır.

3.1.1 Açık çevrim kontrol

Bir Açık Çevrim Kontrol sistemi, kontrol hareketini belirlemek için gerçek sonuçla istenilen sonucu karşılaştırmaz. Bunun yerine, istenilen sonucu elde etmek için daha önceden bir çeşit ayarlama prosedürüne ya da hesaplamasına göre belirlenmiş değerler kullanılır.

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

3.1.2 Kapalı çevrim kontrol

Geri besleme, gerçek sonuçla istenilen sonuç arasındaki farkı ölçme ve bu farkı kullanarak gerçek sonucu istenilen sonuca doğru sürme hareketidir. Sinyal kontrol edilen sistemin çıkışından başlar ve girişinde sona erer. Kontrolörün çıkışı kontrol edilen sistemin girişidir. Böylece ölçülen sinyal değeri kontrol edilen sistemin

çıkışıından girişine beslenir. Kapalı çevrim terimi geri besleme yolu tarafından yaratılan bu çevrimden bahsetmektedir.

Geri Besleme Kontrol Sisteminin temel öğeleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- a. Ölçüm: Kontrol edilen değişkenin değerini ölçmedir.
- b. Karar: Hatayı hesaplama (İstenilen Değer-Ölçülen Değer) ve hatayı kontrol hareketi oluşturmada kullanmadır.
- c. İşletme: Kontrol hareketini işteki herhangi değişkendeki hatayı azaltacak şekilde işletmek için kullanmadır.
- d. Süreç: Süreç, kontrolör ve son kontrol elemanı dışındaki kontrol edilen veya süreç değişkenini etkileyen her şeyi içerir. Örneğin ev ısıtma sisteminde, süreç ev ve içindekilerdir. Bu süreçteki en önemli iki değişken dış duvarların ısı direnci ve içerdeki hava ve eşyaların ısı kapasitesidir.
- e. Ölçüm Cihazı: Ölçüm cihazı ya da sensör kontrol edilen değişkenin değerini hisseder ve kullanılabilir bir sinyale dönüştürür. Ölçüm cihazı tek blok olarak gösterilmesine rağmen asıl hissetme elemanı ve sinyal dönüştürücüden meydana gelir.
- f. Kontrolör: Kontrolör hata bulucu ve kontrol biçimlerini uygulayan birimi içerir. Hata bulucu kontrol edilen değişkenin ölçülen değeri ile istenilen değerin (ya da ayarlama noktası) arasındaki farkı hesaplar. Kontrol biçimleri hatayı, hatayı azaltacak eğilimde kontrolör çıkışına veya kontrol hareketine çevirir.
- g. İşleten Eleman: İşleten eleman kontrolör çıkışını işletilen elemanı düzenlemek için kullanır ve iki parçadan oluşur. İlk parça işletici ve ikinci parça da son kontrol elemanıdır. İşletici kontrolör çıktısını son kontrol elemanı üzerinde harekete çevirir ve son kontrol elemanı doğrudan işletilen değişkenin değerini değiştirir. Valfler, damperler, fanlar, ısıtma elemanları, pompalar işleten eleman örnekleridir. Ev ısıtma sistemindeki yakıt akışını kontrol eden valf işleten elemanın başka bir örneğidir.

Kapalı çevrim kontrolün temel avantajı sürecin daha doğru kontrolünü sağlamasıdır. Dezavantajları ise: (1) Kapalı çevrim kontrol açık çevrim kontrolden daha pahalıdır ve (2) Kapalı çevrim kontrolün geri besleme özelliği sistemin kararsız olmasına yol açabilir.

3.1.3 Otomatik kontrolün faydaları

Kontrol sistemleri toplumda gittikçe daha önemli olmaktadır. Otomatik kontrol yetenekli işçileri rutin işlerden kurtararak ve her işçinin yaptığı iş miktarını artırarak her işçinin verimliliğini artırmıştır. Kontrol sistemleri üretilenlerin kalitesini geliştirir ve birbirinin aynı olmasını sağlar. Birçok ürünün otomatik kontrolsüz neredeyse üretilmesi imkânsızdır. Özet olarak otomatik kontrolün faydaları aşağıdaki bölümlere ayrılır:

- Arttırılmış verimlilik,
- Geliştirilmiş kalite,
- Arttırılmış etkinlik,
- Güç yardımı,
- Güvenlik,
- Konfor ve hayatı kolaylaştırmadır.

3.2 Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC)

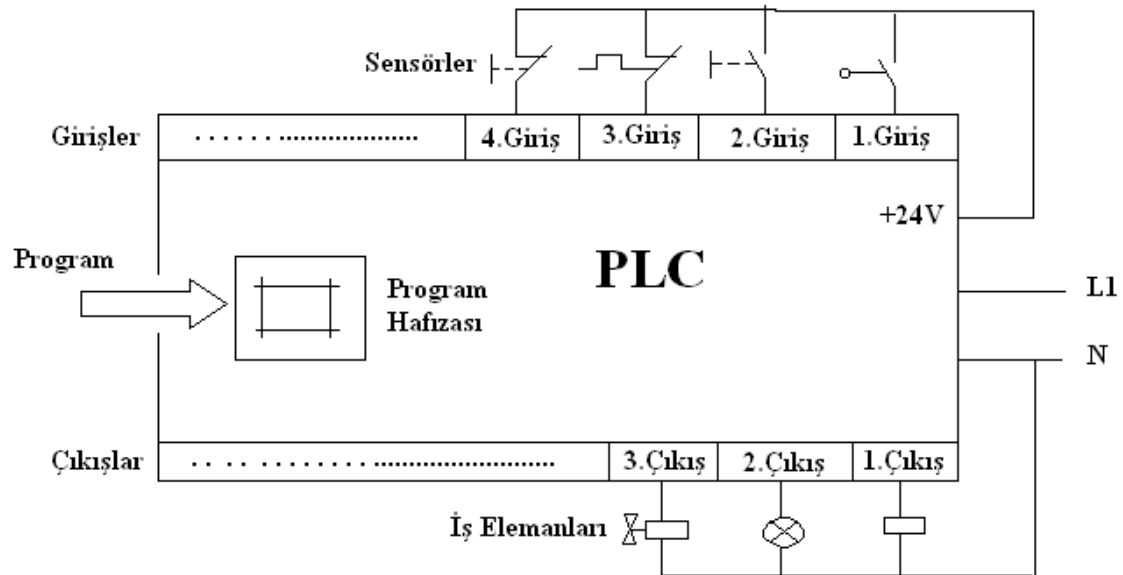
Endüstriyel uygulamaların her dalında yapılan genel amaçlı kumanda ve otomasyon çalışmalarının bir sonucu olan Programlanabilir Lojik Kontrolör (PLC) tekniği, kullanıcılara A'dan Z'ye her türlü çözümü getiren komple bir teknoloji alt grubudur.

Endüstriyel kontrolün gelişimi PLC'lerin gerçek yerini belirlemiştir. İlk önce analog kontrolle başlayan elektronik kontrol sistemleri zamanla yetersiz kalınca, çözüm analog bilgisayar adını verebileceğimiz sistemlerden, dijital kökenli sistemlere geçmiştir. Dijital sistemlerin zamanla daha hızlanması ve birçok fonksiyonu, çok küçük bir hacimle dahi yapılabilmeleri onları daha da aktif kılmıştır. Fakat esas gelişim, programlanabilir dijital sistemlerin ortaya çıkması ve mikroişlemcili kontrolün aktif kullanıma geçirilmesinin bir sonucudur. Mikroişlemcili kontrolün, mikroişlemci tabanlı komple sistemlere yerini bırakmak zorunda kalması, Z80 ile aylarca süren tasarlama süresinin yanında, baskı devre yaptırmak zorunda kalınması ve en küçük değişikliğin bile ağır bir yük olmasının sonucudur. İşte bu noktada PLC'ler kendini göstermeye başlamıştır [18].

Programlanabilir lojik kontrolörlerin çıkışı 60'li yılların sonu ile 70'li yılların başlarına dayanır. İlk kumanda kontrolörleri bağlantı programlamalı cihazlardı. Bu cihazların fonksiyonları, lojik modüllerin birbirine bağlantı yapılarak birleştirilmesi ile gerçekleştiriliyordu. Bu cihazlarla çalışmak hem zordu, hem de kullanım ve programlama olanakları sınırlıydı. Bugünkü PLC'ler ile karşılaştırıldığında son derece basit cihazlardı. PLC'lerin ortaya çıkarılma amacı, röleli kumanda sistemlerinin gerçekleştirdiği fonksiyonların mikroişlemcili kontrol sistemleri ile yerine getirilebilmesidir. Lojik temelli röle sistemlerine alternatif olarak dizayn edildiklerinden Programlanabilir Lojik Kontrolör (Programmable Logic Controller) adı verilmiştir [18].

İlerleyen zaman içinde çeşitli firmalar muhtelif kapasitelerde PLC'ler üretmişlerdir. Bu firmalar arasında Mitsubishi, Toshiba gibi firmalar küçük tipte, kapasite bakımından alt ve orta sınıf PLC'ler üretmişlerdir. Siemens, Omron, Allen-Bradley, General Electric, Westinghouse gibi firmalar da PLC sistemlerini daha geniş bir tabana yayarak alt, orta ve üst sınıflarda PLC'ler üretmişlerdir [18].

Günümüzde endüstride hemen hemen her alanda el değmeden eğitim sürecine girilmiştir. El değmeden gerçekleştirilen üretimlerde PLC'ler kullanılmaktadır. Şekil 3.1'deki PLC bir bilgisayara benzetilirse; girişlerinde Mouse ve klavye yerine basit giriş bağlantıları vardır. Yine çıkışlarında ekran yerine basit çıkış bağlantıları vardır.



Şekil 3.1 : PLC genel blok şeması [18].

Girişlere bağlanan elemanlara sensör, çıkışlara bağlanan elemanlara da iş elemanı denir.

Üstteki Şekil 3.1’deki blok diyagramda gösterildiği gibi PLC sensörlerden aldığı bilgiyi kendine göre işleyen ve iş elemanlarına göre aktaran bir mikroişlemci sistemidir. Sensörlere örnek olarak, herhangi bir metali algılayan endüktif sensör, PLC girişine uygun gerilim vermede kullanılan buton ve anahtarlar verilebilir. İş elemanları için PLC çıkışından alınan gerilimi kullanan kontaktörler, bir cismi itme veya çekmede kullanılan pnömatik silindirlere süren elektro-valfler, lambalar uygun örneklerdir [18].

3.3 Sistemde Kullanılan PLC ve Kontrol Yapısı

3.3.1 Donanım seçimi

Makinanın otomasyonu için yukarıda anlatılan bilgiler ışığında bir PLC kullanılmasına karar verilmiştir. Alternatif olarak özel üretim bir mikro kontrolör veya bir PC kullanılabilirdi. Ancak PLC’nin özellikle endüstriyel uygulamalarda saha elemanlarıyla doğrudan bağlantı sağlayabilmesi, genişletilebilir olması, programlamasının esnek olması, diğer alternatiflere kıyasla daha yüksek akımlarda çalışmaya müsaade etmesi, analog modüllerinin esnek bir şekilde konfigüre edilebilmesi, endüstriyel prosesler için hazır fonksiyon blokları içermesi, arıza tespiti ve tamirinin kolay olması gibi sebeplerden dolayı tercihte PLC ön plana çıkmıştır. Marka araştırması sonucunda da Siemens marka PLC, CPU hızlarının yüksek, genişleme modüllerinin çeşitli, yazılımının çok kullanışlı olması ve Simülasyon fonksiyonu içermesi, Siemens markasının bilinirliğinin ve hizmet kalitesinin yüksek olması, gelecekte ticarileştirilmesi düşünülen bu projenin başarısında etkili olabilecek faktörler olarak düşünülmüş, dolayısıyla bu marka PLC tedarik edilmiştir.

3.3.1.1 Merkezi işlem birimi

Makinada Siemens’in orta ölçekli otomasyon projeleri ve makinalar için geliştirdiği S7-300 Serisinden CPU 314 seçilmiştir. Bu CPU, makinanın temel Giriş/Çıkış konfigürasyonu sağlayabilecek ve gelecekteki mevcut genişlemelere müsaade edebileceği için tercih edilmiştir. Şekil 3.2’de kullanılan CPU’nun fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 3.2 : CPU314 fotoğrafı.

3.3.1.2 Dijital giriş/çıkış birimi

Makina üzerinde kullanılacak Dijital Giriş Çıkışlar Çizelge 3.1 ’deki gibidir.

Çizelge 3.1 : Dijital giriş/çıkış konfigürasyonu.

	Dijital Giriş	Dijital Çıkış
Servo Motor Çalışıyor	8 Adet	0
Servo Motor Arıza	8 Adet	0
Acil Durum Butonları (Makina Gövdesi)	8 Adet	0
Acil Durum Butonu (Pano)	1 Adet	0
İplik Sensörü	1 Adet	0
Bobin Doldu Sensörü	1 Adet	0
“Servo Motor Çalış”	0	8 Adet
“Pnömatik Motor Çalış”	0	6 Adet
“Jet Valfi Çalış”	0	2 Adet
“Su Valfi Çalış”	0	2 Adet
Basınç Okuma Valfleri	0	3 Adet
Isıtmalı Kasknak Çalış	0	4 Adet
Kesici	0	2 Adet
Korna	0	1 Adet
TOPLAM	27 Adet	28 Adet

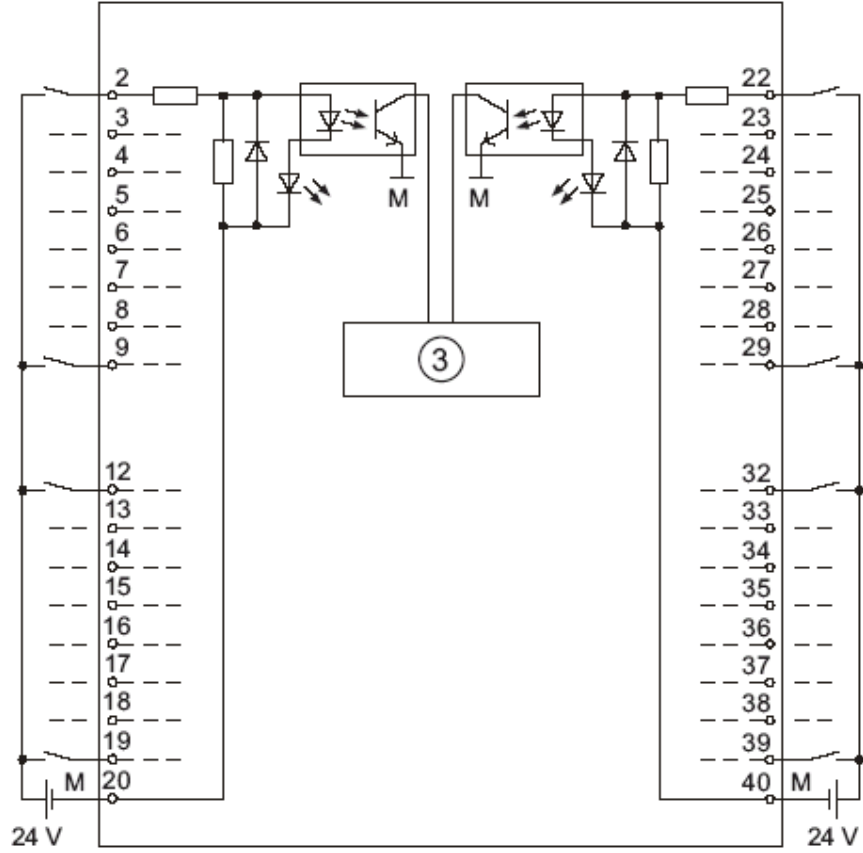
Çizelge 3.1’den de görüldüğü gibi makinanın Giriş/Çıkış (G/Ç) konfigürasyonu gereğince sistemde 32 Dijital Giriş Modülü ve 32 Dijital Çıkış modülü kullanılmıştır.

Kullanılan modüller şunlardır:

- 32 Dijital Giriş Modülü: 6ES7321-1BL00-0AA0

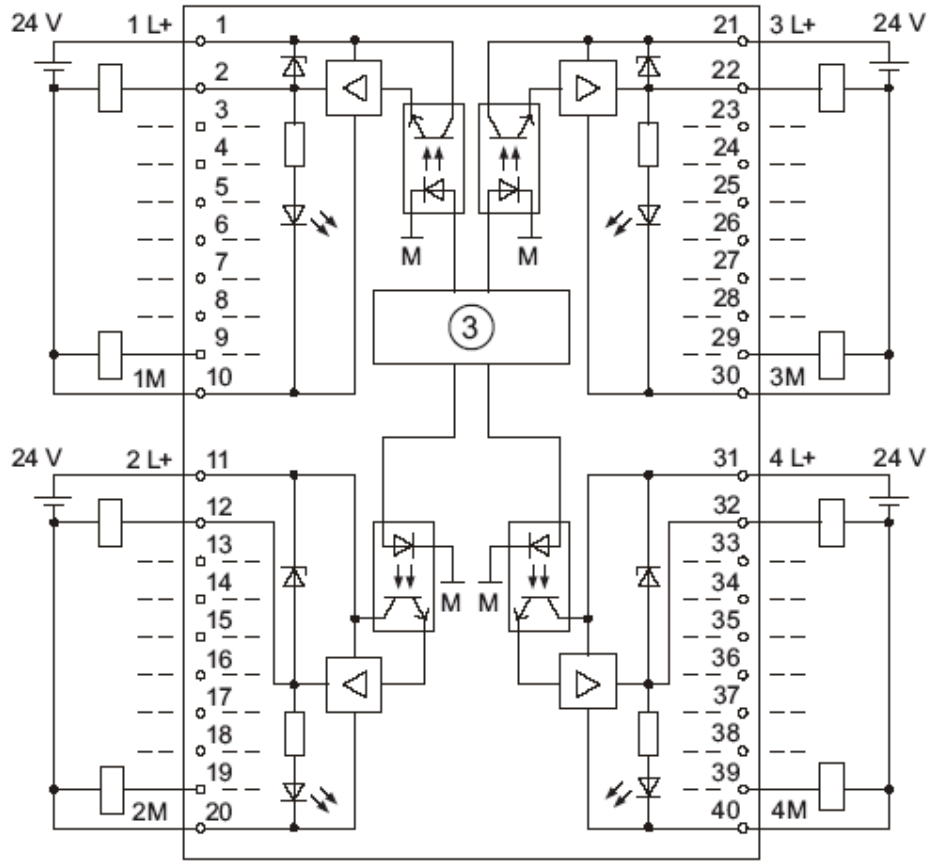
- 32 Dijital Çıkış Modülü: 6ES7322-1BL00-0AA0

Dijital Giriş Modülünün bağlantıları Şekil 3.3’deki gibi yapılmıştır.



Şekil 3.3 : Dijital giriş modülü bağlantı şeması [19].

Dijital çıkış modülünün bağlantı şeması ise Şekil 3.4’deki gibidir.



Şekil 3.4 : Dijital çıkış modülü bağlantı şeması [19].

3.3.1.3 Analog giriş/çıkış birimi

Makinada kullanılan Servo Motorlara Hız Kontrol uygulanmıştır. Hız Kontrol Bilgisi PLC’den sürücülere analog çıkış kartından analog işaret olarak gönderilmiş, aynı zamanda sürücünün kodlayıcı vasıtasıyla toplayarak analog sinyale çevirdiği gerçek hız bilgisi de analog giriş kartından analog olarak okunmuştur. Bunun yanında bazı analog sensörler de kullanılmıştır. Kullanılan analog giriş çıkışlar aşağıdaki Çizelge 3.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 3.2 : Analog giriş/çıkış konfigürasyonu.

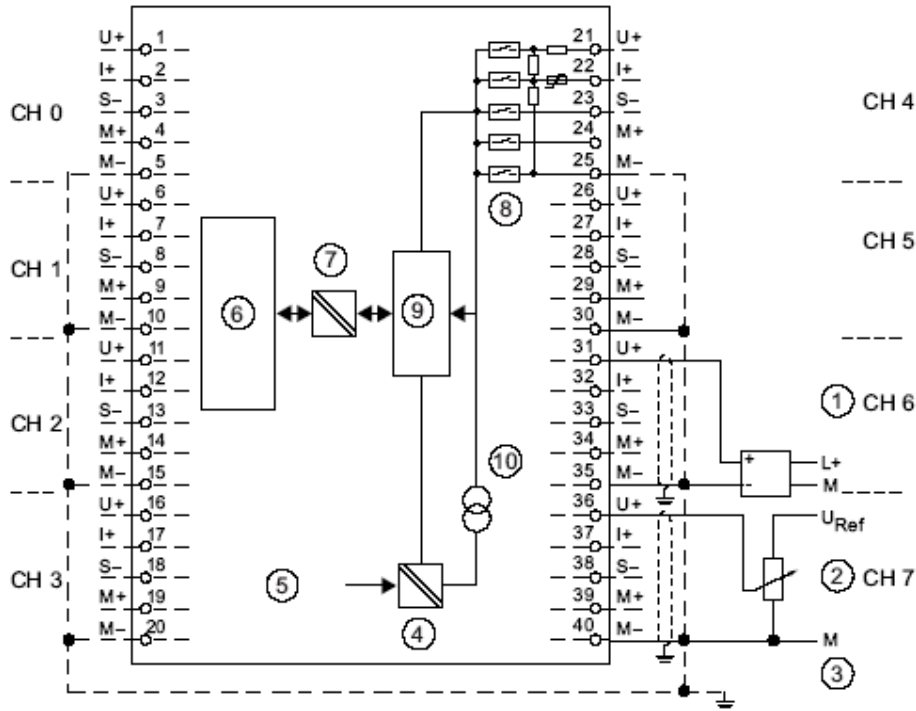
	Analog Giriş	Analog Çıkış
Servo Motor Hız Bilgisi Sürücülerden PLC' ye	8 Adet	0
PT100 Sıcaklık Sensörü	2 Adet	0
Basınç Sensörü	1 Adet	0
Gerginlik Ölçme Sensörü	2 Adet	0
Servo Motor Hız Komutu PLC' den Sürücüye	0	8 Adet
TOPLAM	13 Adet	8 Adet

Verilen konfigürasyona göre aşağıdaki kartlar seçilmiştir;

- Analog Giriş Modülü: 2 Adet 6ES7331-1KF01-0AB0 (8 Kanal Analog Giriş Modülü),
- Analog Çıkış Modülü: 1 Adet 6ES7332-5HF00-0AB0 (8 Kanal Analog Çıkış Modülü),
- Analog Çıkış Modülü: 1 Adet 6ES7332-5HB01-0AB0 (2 Kanal Analog Çıkış Modülü).

Dolayısıyla Giriş olarak 16 Kanal, çıkış olarak 10 Kanal bir Analog kapasiteye ulaşılmıştır. İhtiyaç duyulanın üzerindeki bu kapasite, sisteme ileride yapılması planlanan muhtemel eklentilere de müsaade edecektir ve sistem ek donanıma ihtiyaç duymadan genişletilebilecektir.

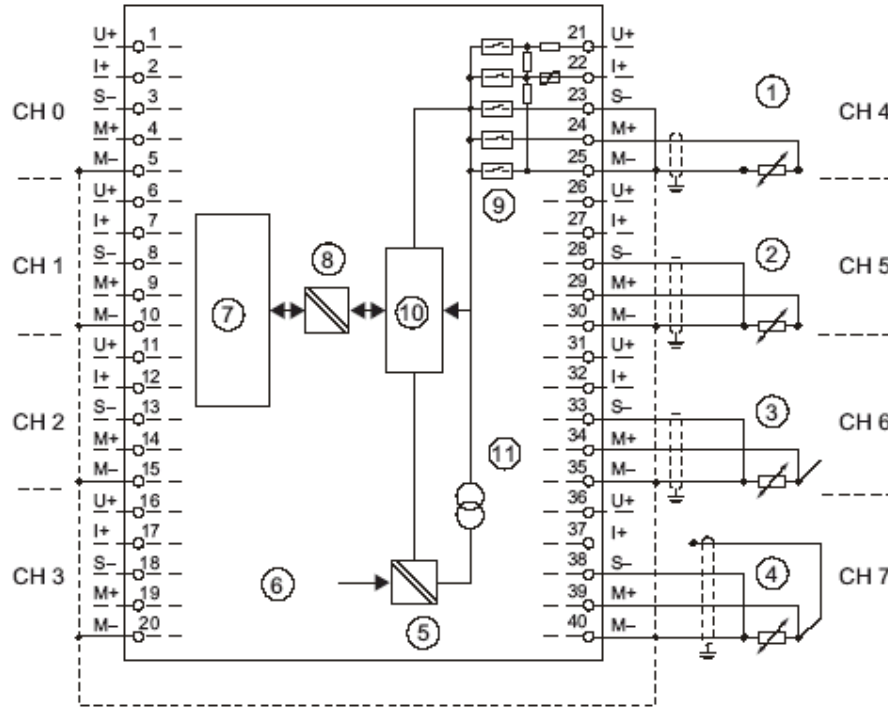
Analog girişlerden 8 tanesi servo motor sürücülerinden gelen hız bilgisini okumaktadır. Sürücünün kodlayıcıdan alarak analog sinyale çevirdiği hız bilgisi PLC'nin analog girişine 0-10 V arasında bir analog işaret olarak gelmektedir. Servo motor sürücüsü ve PLC arasında hız okuma bağlantısı aşağıdaki Şekil 3.5'teki gibi yapılmıştır.



Şekil 3.5 : Analog giriş kartı gerilim ölçme devre şeması [20].

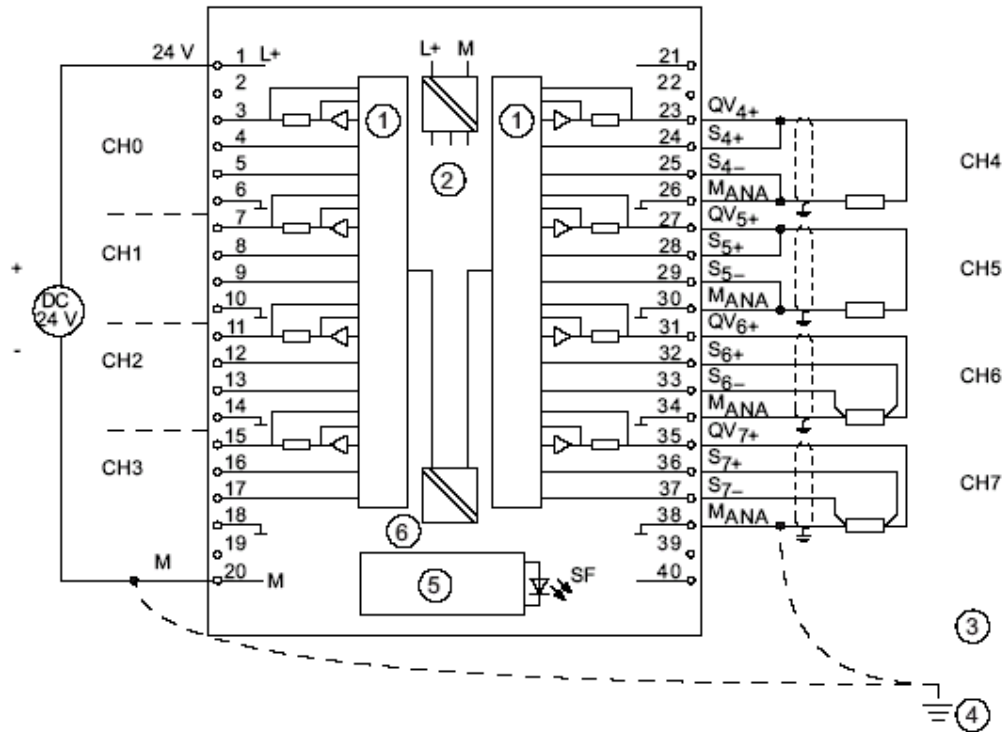
Benzer şekilde basınç okuma sensörü ve gerginlik ölçme sensörleri de ölçtükleri basınç ve gerginlik değerine orantılı olarak 0-10 Volt arasında bir gerilim oluşturmaktadır. Bu değer de Şekil 3.5'te gösterildiği gibi analog giriş kartından okunmaktadır.

Bunun yanında analog giriş kartıyla okunan bir başka değer de PT100 sıcaklık sensörleridir. PT100 sensörleri analog giriş kartına Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bağlanmaktadır. Makinada kullanılan PT100 sensörleri 2 kablolu sıcaklık sensörleri olduğundan bağlantı Kanal 4 (CH4)'te görüldüğü gibi yapılmıştır.



Şekil 3.6 : Analog giriş kartı sıcaklık ölçme bağlantı şeması [20].

Sürücülere gönderilen Hız Komutu bilgisi ise 0-10 Volt arasında bir gerilim olarak gönderilmektedir. Bu bağlantı da Şekil 3.7’de gösterildiği gibi yapılmıştır.



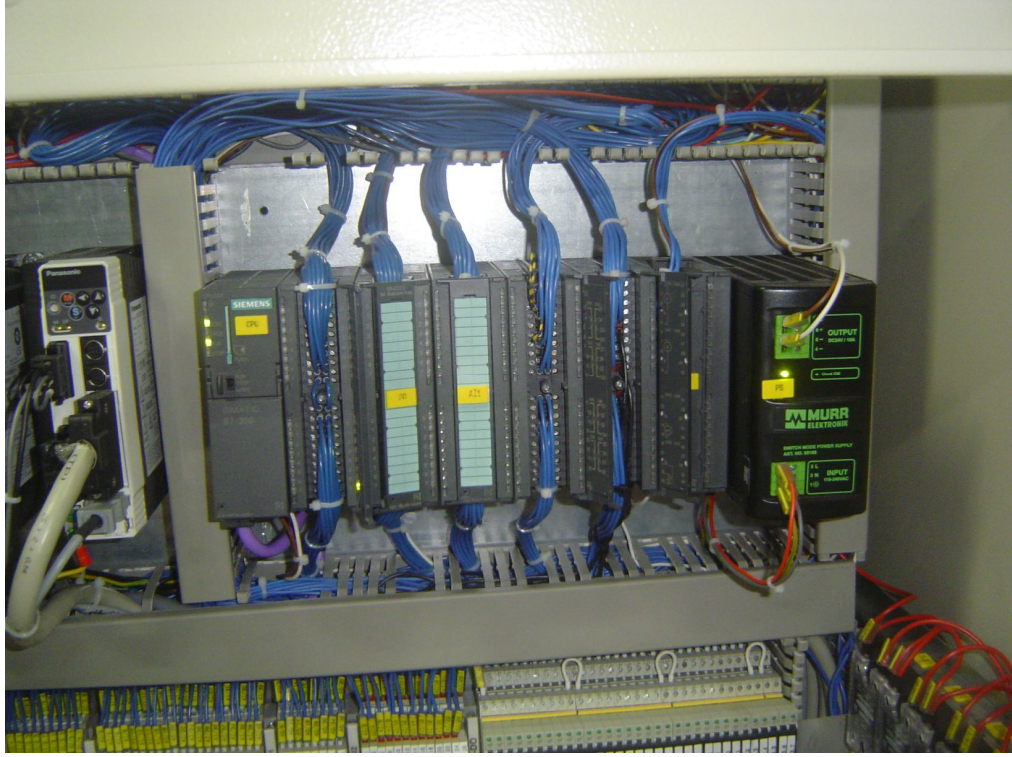
Şekil 3.7 : Analog çıkış kartı gerilim çıkışı bağlantı şeması [20].

3.3.1.4 Donanımın yazılımla konfigürasyonu

Siemens PLC'leri programlamak için firmanın S7-300 ve S7-400 Serisi PLC'leri için geliştirdiği Simatic STEP7 yazılımı kullanılmaktadır. Yazılım, PLC'nin tüm özelliklerinin kullanılabildiği farklı programlar içeren bir paket yazılımdır. Donanım ayarları STEP7'nin alt programlarından biri olan HW Config programıyla yapılmaktadır. Bu program Simatic Manager programında yeni bir proje açıldıktan sonra bu projeye yeni bir CPU eklenmesi ve bu CPU'nun çift tıklanmasıyla otomatik olarak açılmaktadır. Açılan bu yazılımdan kullanılan CPU modeli, Giriş/Çıkış modülleri seçilerek bir yapı oluşturulur ve derlenerek kaydedilir. Proje, Simatic Manager programıyla PLC'ye yüklenirken donanım bilgisi de otomatik olarak PLC'ye gönderilir.

Seçilen CPU, Dijital Giriş ve Çıkış Modülleri, Analog Giriş ve Çıkış Modüllerinin ayarları bu programda yapılır. Özellikle analog modüllerin programlanmasında hangi kanalda ne tür bir analog işaret olduğunun doğru bir şekilde girilmesi büyük önem arz etmektedir, zira burada yapılan yanlış bir ayarlama yanlış bilgilerin okunmasına ve üretilmesine neden olabilir. Ayrıca kullanılmayan kanalların da devre dışı bırakılması gerekmektedir. Nihai olarak Şekil 3.8'de görüldüğü gibi bir kontrolör yapısı ortaya çıkmıştır. Bu yapı, sırasıyla raya yerleştirilen aşağıdaki modüllerden oluşmaktadır.

1. 6ES7 314-1AF10-0AB0: CPU Ünitesi,
2. 6ES7321-1BL00-0AA0: 32 Nokta Dijital Giriş Birimi,
3. 6ES7322-1BL00-0AA0: 32 Nokta Dijital Çıkış Birimi,
4. 6ES7331-1KF01-0AB0: 8 Kanal Analog Giriş Modülü,
5. 6ES7332-5HF00-0AB0: 8 Kanal Analog Çıkış Modülü,
6. 6ES7331-1KF01-0AB0: 8 Kanal Analog Giriş Modülü,
7. 6ES7332-5HB01-0AB0: 2 Kanal Analog Çıkış Modülü.



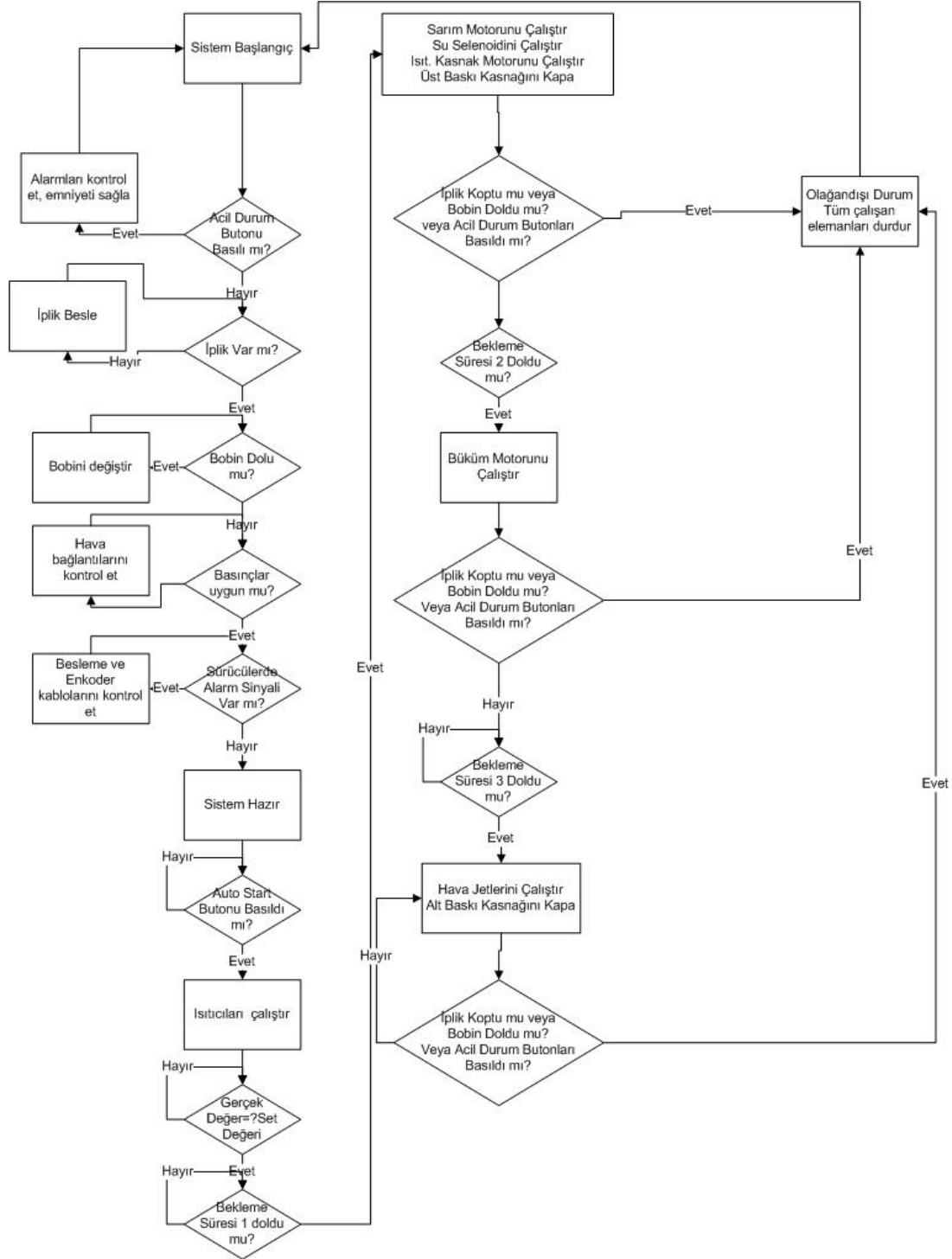
Şekil 3.8 : Kontrolörün genel görünüşü.

3.4 Yazılım

Program Ladder (Merdiven) programlama diliyle yazılmıştır. Programlama sırasında standart kütüphaneden birçok temel komut kullanılmıştır. Bu komutlardan bazıları Normalde Açık Kontaklar, Normalde Kapalı Kontaklar, RS (Reset Set) Flip Flopları, Move (Belleğe yazma) komutları, Convert (Verilerin birbirlerine çevrilmesi, örnek verilse; DI-Double Integer-verisinin Real-Reel-formata çevrilmesi), sayıcılar, zamanlayıcılardır. Ancak bu komutların çok standart olmaları ve ayrıntılarının kolay erişilebilir olması göz önüne alınarak burada detaylandırılmamışlardır.

3.5 Sistemin Akış Diyagramı

Şekil 3.9’da sistemin akış diyagramı verilmiştir. Program burada verilen algoritma üzerine temellendirilmiştir.



Şekil 3.9 : Sistemin akış diyagramı [57].

4. HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASININ PNÖMATİK SİSTEMLERİ

4.1 Pnömatik Sistemin Ana Unsurları

4.1.1 Basınçlı havanın üretilmesi ve hazırlanması

Pnömatik sistemlerde kullanılan basınçlı havanın üretimi kompresörler tarafından gerçekleştirilir. Basınçlı hava üretimi genellikle merkezi bir basınç kaynağından sağlanır ve sisteme boru ya da hortumlarla iletilir. Böylece her kullanıcı için ayrı basınç kaynağı kullanmaya gerek kalmaz. Yer değiştiren makina ya da el aletleri için seyyar kompresörlerden yararlanılır [29].

Kompresör seçiminde tesisin hava ihtiyacının belirlenmesi (kapasite tayini) seçimi etkileyen en önemli unsurdur. İhtiyaçtan daha düşük kapasiteli bir kompresör seçimi, üretim verimini düşürdüğü gibi kompresörün sürekli olarak devreye girip çıkması nedeniyle ömrünü de etkiler. İhtiyacın çok üzerindeki bir kompresör seçimi ise gerek yatırım gerekse işletme maliyetini arttırır [29].

Uluslararası standartlar tarafından yapılan tanımlamaya göre;

Kompresör kapasitesi, giriş noktasında standart sıcaklık, standart basınç v.b. koşullarda sıkıştırılan gazın çıkış noktasındaki gerçek hacimsel debisidir.

Kompresörlerin tanımlanması çıkış debisi ve basınç değerleri ile yapılır. "Çıkış debisi" standart basınç ve sıcaklık koşulları altında $\text{Nm}^3/\text{dakika}$ ya da Nlt/dakika , çevre koşulları altında ise m^3/dakika veya lt/dakika olarak ifade edilir. "Çıkış basıncı" ise bar olarak ifade edilir. Kompresör tipine bağlı olarak çıkış debisi birkaç lt/dakika 'dan $50000 \text{ m}^3/\text{dakika}$ 'ya kadar, çıkış basıncı ise 1000 bar 'a kadar değişebilir [29].

4.1.2 Basınçlı havanın hazırlanması

Atmosfer havası pnömatik sistemlerde doğrudan kullanılamaz. Bilindiği gibi atmosfer havasında toz ve nem vardır. Basınçlı hava içerisindeki toz ve nem soğutucuda ve tankta yoğunlaşır. Fakat daima ileriye taşınan bir miktar toz ve nem

sisteme zarar verecektir. Ayrıca yağ parçacıkları, aşınmış sızdırmazlık malzemeleri ve borulardan kopan metalik parçalar yapışkan maddeler oluşturlar [29].

Bütün bu istenmeyen parçalar pnömatik elemanların çalışma yüzeylerine zarar vermekte, bu sayede verimsiz çalışmayı, ömür ksalmasını ve yüksek sürtünme kuvvetlerinden kaynaklanan enerji kayıplarını beraberinde getirmektedir [29].

Sisteme zarar veren bu maddeleri uzaklaştırmak için hava, kullanma noktasına mümkün olduğu kadar yakın bir noktada tekrar temizlenmelidir. Havayı şartlandırma işlemi ayrıca basınç ayarlama ve duruma göre yağlama işlemlerini de içerir. Pnömatik sistemlerde yaşanan arıza veya aksaklıkların birçoğu daha hava hazırlama ünitelerinde yani işin başında yapılan hatalardan ve eksikliklerden kaynaklanmaktadır [29].

4.1.3 Makinada kullanılan kompresör ve hava hazırlama elemanları

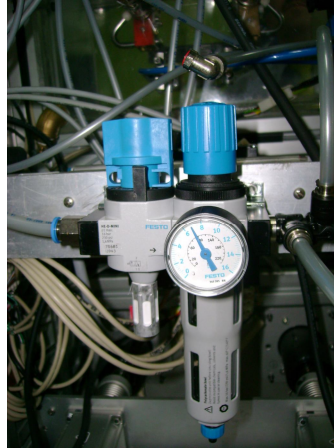
Prototip makinanın hava beslemesi hali hazırda çalışma laboratuvarında kurulu olan vidalı kompresörden temin edilmektedir. Ancak ticarileşmesi beklenen 2. prototip sanayi tesislerinde çalıştırılacaktır ve beslemesi tesisteki mevcut kompresörden sağlanacaktır. Laboratuvarında kullanılan kompresör 12 bar çıkış basıncı verebilecek kapasitede bir kompresördür. Aynı zamanda kompresöre bir hava tankı bağlanmış olup sürekli devreye girmesinin önüne geçilmiştir.

Hava hazırlama ünitesi olarak üç farklı grup tasarlanmıştır. Birinci grup birinci Hava Jetinin besleme hattı için, ikinci grup ikinci Hava Jetinin besleme hattı için, üçüncü grup ise pnömatik döner elemanların besleme hattı. Birinci ve ikinci hat için ½” Filtre-Regülâtör, üçüncü hat için de ¼” Filtre-Regülâtör kullanılmıştır. Bu sayede her hattın farklı basınçlar altında çalıştırılmasına imkân sağlanmıştır. Her hatta farklı basınçla çalışılması sayesinde jetlere farklı basınçlar uygulanarak basıncın prosese etkisinin daha ayrıntılı gözlenmesi sağlanmış, aynı zamanda döner elemanların basınçlarının ayarlanması suretiyle baskı kasnağında elde edilen kuvvet kontrol edilebilir olmuştur. Jet1 ve Jet2 için kullanılan Filtre-Regülâtör Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Jet1 ve Jet2 için kullanılan filtre-regülatörler.

Pnömatik döner elemanlar için kullanılan Filtre-Regülatör ise Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu Filtre-Regülatör ünitesinin girişinde havanın elle açılıp kapatılmasını sağlayan 3/2 Aç/Kapa Valfi bulunmaktadır.



Şekil 4.2 : Döner elemanlar için kullanılan filtre-regülatör.

4.1.4 Basınçlı havanın denetlenmesi

Pnömatik devreden gelen basınçlı havanın istenilen yere, istenilen şekilde gönderilebilmesi için kontrol edilmesi gereklidir. Bu amaç doğrultusunda kullanılan elemanlara kontrol valfleri denir. DIN 24300'e göre valfler şu şekilde tanımlanır. Valfler, bir hidropompa, kompresör veya vakum pompası tarafından üretilen ya da bir kaptan depolanmış olan basınçlı ortamın akışını başlatma, durdurma veya kontrolünü sağlayan aletlerdir. Valf, sürgülü, küresel, tabak-valfler, musluklar ve benzeri tüm yapı şekilleri için geçerli uluslararası kullanıma uygun genel bir adlandırmadır. Bir pnömatik kumanda'da valfin yapı şekli genellikle ikinci plandadır.

Önemli olan sadece gerçekleşen işlev, devreye sokma şekli ve bağlantı büyüklüğüdür. Bağlantı büyüklüğü ile ilişkili olarak debi miktarı da belirlenmiş olur. Pnömatikte valfler genellikle kumanda da kullanılırlar. Kumanda; bir işlev ya da büyüklüğü başlatmak, değiştirmek, saptırmak ya da kaldırmak amacını güder. Kumanda için kumanda enerjisi gereklidir. Amaç küçük sarfiyat ile en büyük etkiyi sağlamaktır. Kumanda enerjisi valfin çalışma şekline bağlı olarak manüel, mekanik, elektrik/elektronik, hidrolik veya pnömatik olarak uygulanır [30].

Valfler fonksiyonlarına göre üç grupta toplanabilir:

1. Basınç denetim valfleri: Basıncı kontrol eden ve ayarlanan değerde tutan valflerdir.
2. Yön denetim valfleri: En geniş ve önemli gruptur. Bu grup, girişten çıkışa havanın geçişini açıp kapayan veya yönünü değiştiren valfleri kapsar.
3. Akış denetim valfleri: Kısma ile akış hacmini ayarlarlar [30].

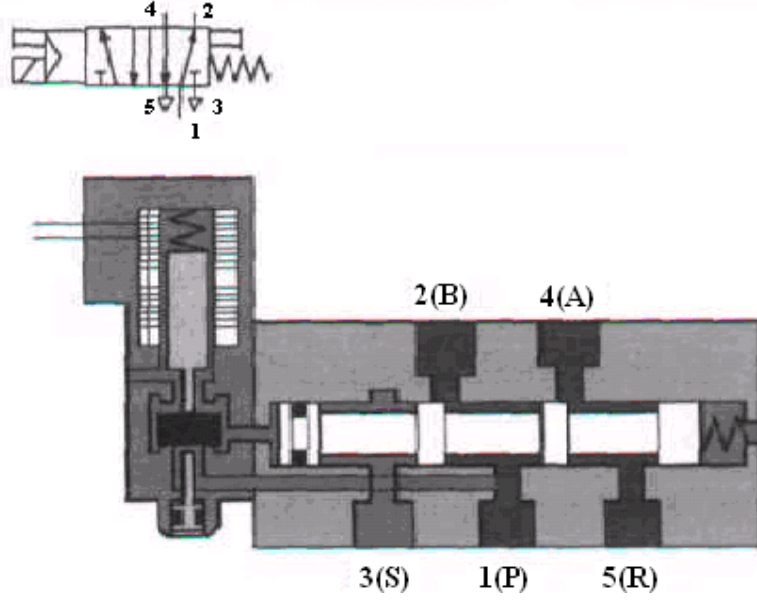
4.1.5 Makinada kullanılan hava denetim elemanları

4.1.5.1 Döner elemanlar için yön denetim valfleri

Valflerin üzerinde özelliklerini belirtecek semboller bulunur. Bu semboller valflerin fonksiyonları ile ilgili bilgi verirler, içyapıları ile ilgili bilgi vermezler. Sembollerdeki kare sayısı konumu, karelere dışarıdan yapılan bağlantı sayısı yol sayısını belirler. İşaretleme; 5/2, 5/3, 3/2, 2/2 vs. şeklinde yapılır. Burada ilk rakam yol sayısını (ön kumanda, pilotlar hariç) ikinci rakam konum sayısını belirtir.

Prototip makinada döner elemanların açılıp kapatılmasını sağlamak üzere 5/2, 1/8” Tek Bobinli Valfler kullanılmıştır.

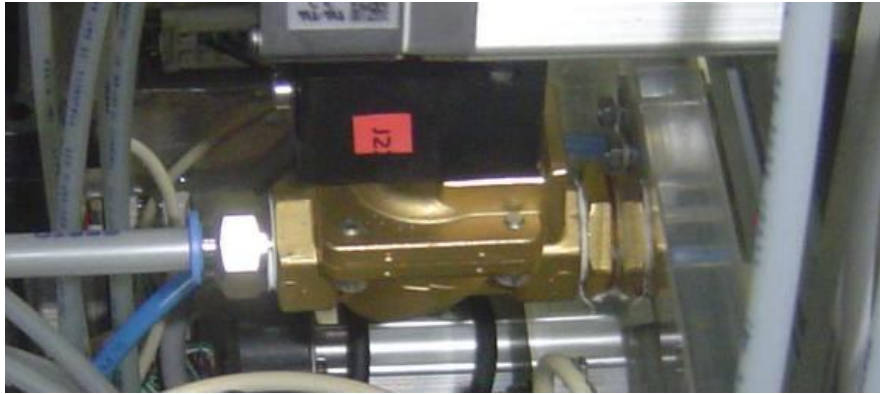
Pnömatik döner elemanların kontrolü için toplam 4 adet 5/2, 1/8” Tek Bobin valf kullanılmış ve tüm valfler montaj kolaylığı ve estetik bir görüntü sağlaması nedeniyle bir valf adası üzerine monte edilmiştir. Şekil 4.3’de kullanılan valfin iç yapısı ve sembolü görülmektedir.



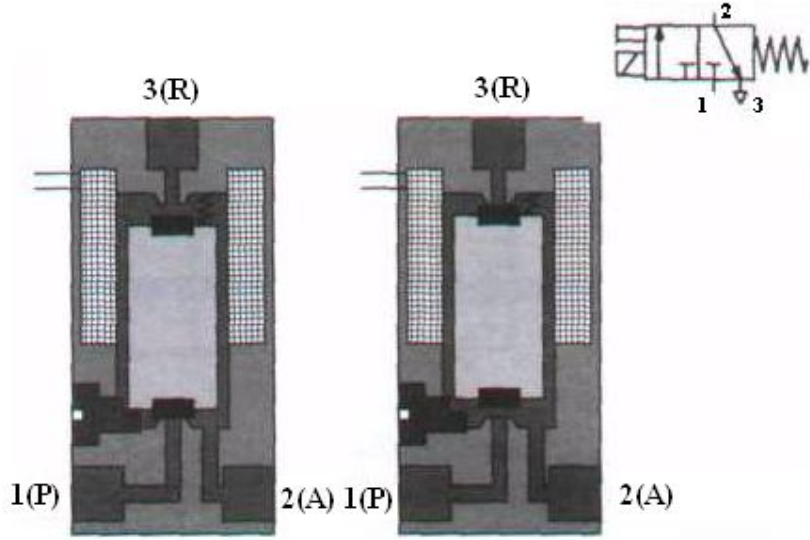
Şekil 4.3 : 5/2 Tek bobin valf iç yapısı ve sembolü [30].

4.1.5.2 Hava jeti ve su için selenoid vafler

Prototip makinada tekstüre işleminin yapılması için Hava-Jeti kullanılmaktadır. Tekstüre işleminde, basınçlı havanın yüksek debiyle özel bir jet mekanizması aracılığıyla ipliğe uygulanmasıdır. Bu işlemin sağlanması için havanın elektriksel olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Bunun için makinada iki adet 3/2 1/2" Selenoid valf kullanılmıştır. Bu işlem için selenoid valf kullanılmasının sebebi yüksek debiye ihtiyaç duyulmasıdır. Kullanılan Jet Selenoid valfinin resmi Şekil 4.4' de, iç yapısı ve sembolü ise Şekil 4.5'de verilmiştir.

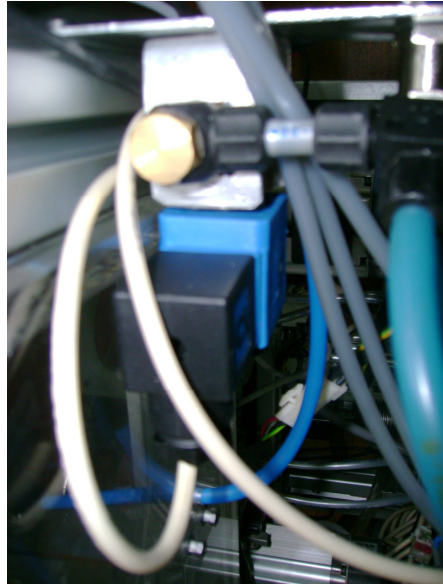


Şekil 4.4 : Makinada kullanılan jet selenoid valfi.

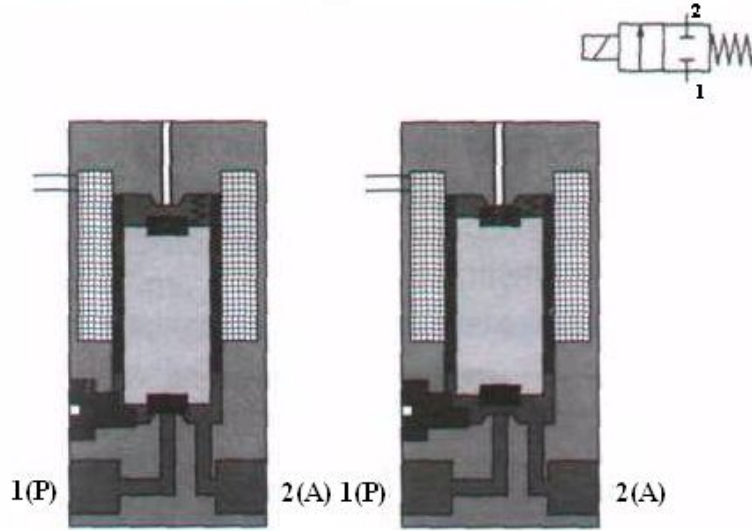


Şekil 4.5 : Jet selenoid valfinin iç yapısı ve sembolü [30].

Aynı zamanda prototip makinada, ipliğin ısıtılması için su selenoid valfleri kullanılmıştır. Bu valfler 2/2 1/2" olarak seçilmiştir. 2/2 olarak seçilmesinin nedeni valfin su için kullanılacak olması dolayısıyla herhangi bir şekilde suyun dışarıya tahliye edilmemesi gerekmesidir. Su selenoid valfinin resmi Şekil 4.6'da, iç yapısı ve sembolü de Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.6 : Prototipte kullanılan su selenoid valfi.



Şekil 4.7 : Jet selenoid valfinin iç yapısı ve sembolü [30].

Her iki valf te PLC'den gelen 24 VDC sinyalle uyarılmakta ve bu sinyale göre Aç/Kapa vazifesini yerine getirmektedir.

4.1.6 Makinada kullanılan iş elemanları

Prototip makinada pnömatik iş elemanı olarak 4 adet Döner eleman kullanılmıştır. Festo firmasının DSM kodlu bu elemanlarında dönme hareketi basınçlı havanın kanatlı bir mekanizmayı döndürmesi prensibiyle elde edilir. Bu elemanlarda dönme hareketi 0°-270° arasında değişir ayrıca gövdeye entegre edilen harici dayama parçaları ile elemanın dönüş açısı 0°-270° aralığında sınırsız olarak ayarlanabilmektedir. Elemanın resmi Şekil 4.8'de görüldüğü gibidir.



Şekil 4.8 : Döner eleman.

5. HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASINDA KULLANILAN SENSÖRLER

5.1 Kodlayıcı (Enkoder)

Kullanılan servo motorlardan hız bilgisi almak için her servo motorun üzerinde bir artımsal kodlayıcı bulunmaktadır. Artımsal kodlayıcıdan gelen elektriksel işaretler (darbe treni şeklinde) sürücü tarafından değerlendirilerek hız/konum bilgisine çevrilir [23].

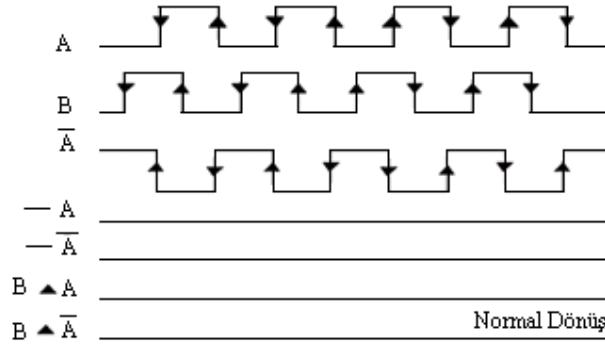
Kodlayıcılar temelde ikiye ayrılır. Aşağıda artımsal ve mutlak kodlayıcılarla ilgili temel bilgiler verilmiştir. Kullanılan servo motorların üzerinde artımsal kodlayıcı bulunduğu için artımsal kodlayıcılar daha detaylı anlatılmıştır [23].

5.1.1 Artımsal kodlayıcılar

Artımsal kodlayıcılar mutlak kodlayıcılara oranla ucuz olmaları ve yapılarının basit olması sebebi ile tercih edilmektedir [24].

Tipik bir kodlayıcıda A B ve Z şeklinde üç farklı sinyal çıkışı mevcuttur. Bunlardan A ve B fazına ait sinyaller, aralarında 90° faz farkı olan iki sinyaldir. Z sinyali ise referans sinyali olarak adlandırılır ve sayıcıyı reset etmekte veya bir dönüşe ait mutlak pozisyon bilgisinin belirlenmesinde kullanılır. Bununla birlikte bazı artımsal kodlayıcı mekanizmaları A, B ve Z sinyallerine ek olarak bunların değerlerini de çıkış olarak veren yapıda yapılmaktadır. Kodlayıcıdan elde edilen çıkış darbeleri mutlak pozisyon bilgisini göstermez. Kodlayıcının verdiği darbe sayısı bağlı olduğu şaftın dönme miktarı ile orantılıdır. Eksen dönme miktarının mutlak değeri kodlayıcıdan alınan çıkış darbelerinin bir sayıcı (counter) devresi kullanılmak suretiyle depolanması ile elde edilir. Kodlayıcıdan alınan darbe sayısının düşük olduğu durumlarda kodlayıcı çıkış darbeleri 4 ile çarpılmak suretiyle darbe sayısı arttırılır ve sonra bu darbeler sayma işlemine tabi tutulur.

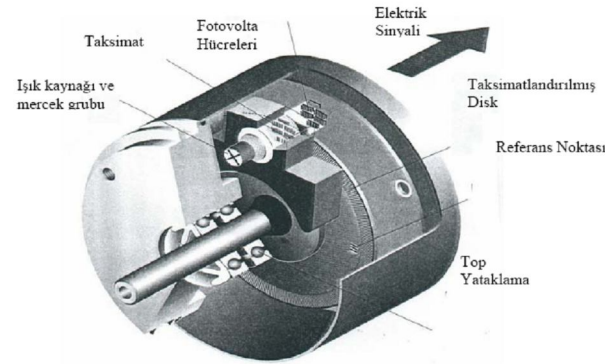
Şekil 5.1’de kodlayıcıdan alınan çıkış sinyalleri ve rotor dönüş yönünün belirlenmesi esası gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : Kodlayıcı faz sinyalleri ve dönme yönünün belirlenmesi [23].

Şekil 5.2’de bir artımsal kodlayıcının kesiti gösterilmektedir. Döner kodlayıcılar fotoelektriğe dayalı tarama prensibi ile çalışır. Ölçme belirli bir standartta taksimatlandırılmış disk üzerinden yapılır. Disk üzerinde dairesel olarak dağılan taksimat çizgileri ve boşlukları vardır. Koyu tonlu bu çizgiler ile boşluklar aynı genişliktedirler. Çizgiler arkasını göstermeyecek şekilde koyu, boşluklar ise şeffaf olacak şekilde özel bir cam alaşım üzerine yerleşmişlerdir [25].

Diskin yüzeylerinden birinde ışık kaynağı, diğer yüzeyinde ise iki ışık detektörü vardır. Işık kaynağı ve arada kullanılan bir mercek grubu ile ışık taksimatlandırılmış diske düşürülerek detektörler tarafından algılanması sağlanır.



Şekil 5.2 : Artımsal kodlayıcının kesiti [25].

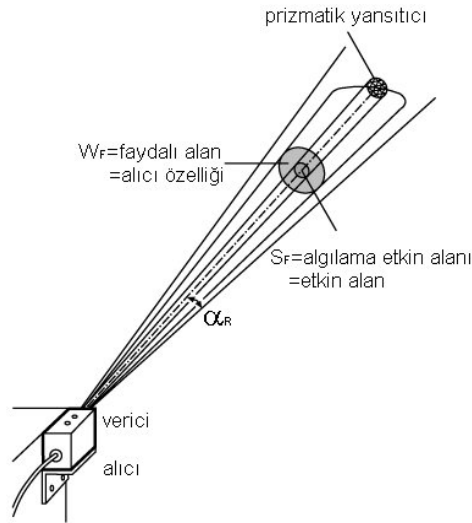
Prototipte kullanılan servo motorlardaki artımsal kodlayıcılar 2500 darbe/tur çözünürlüktedir. Yani servo motorun her bir turunda kodlayıcı 2500 adet darbe üretmektedir.

5.1.2 Mutlak kodlayıcılar

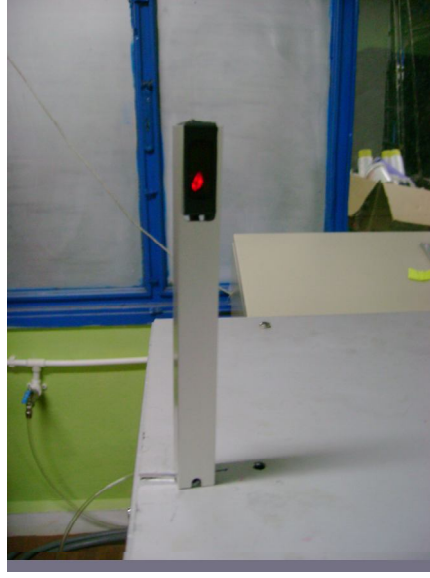
Mutlak kodlayıcılarda ölçme için standart bir cam disk kullanılır. Bu disk taksimatlandırılmış ve kodlanmıştır. Tarama prensibi artımsal kodlayıcılarla aynı olmakla birlikte daha fazla sayıda bölüme (hücreye) sahiptir. Mutlak kodlayıcılar herhangi bir sayıcı, konum belirleyici, dönme yönünü çözecek elektronik bir çevrime ihtiyaç duymaz. Ölçülen değerler direkt olarak taksimatlandırılmış disk üzerindeki modeller üzerinden alınırlar ve çıkışlar kodlanmış sinyaller olarak gönderilirler [25].

5.2 Optik Sensör (Bobin Doldu Sensörü)

Bu sensör büküm kafasındaki iplik bobininin dolduğunu algılamak için kullanılır. Sensör, optik prensiple çalışmaktadır. Alıcı ve verici sensör gövdesinde olmakla birlikte bobin mekanizmasının üzerine bir yansıtıcı yerleştirilir. Vericide bulunan LED'in yansıttığı ışık bobin belli bir doluluğa gelmeden geri yansımaz çünkü yansıtıcı bobinle birlikte hareket etmektedir. Bobin dolduğunda ise yansıtıcı ışığı yansıtacak pozisyona gelmiş olur (tam dik pozisyon) ve alıcıya vericinin gönderdiği sinyal yansır. Alıcının bu yansımaya algılamasıyla birlikte sensör elektroniği bir fototranzistörü anahtarlayarak sensörün 24 VDC bir çıkış gerilimi vermesini sağlar. Bu çıkış ta PLC dijital girişine bağlanarak sensör pozisyonu sürekli olarak kontrol edilir. Şekil 5.3'te yansıtıcılı optik sensörün temel çalışma prensibi, Şekil 5.4'te ise prototipte kullanılan optik sensörün resmi verilmiştir.



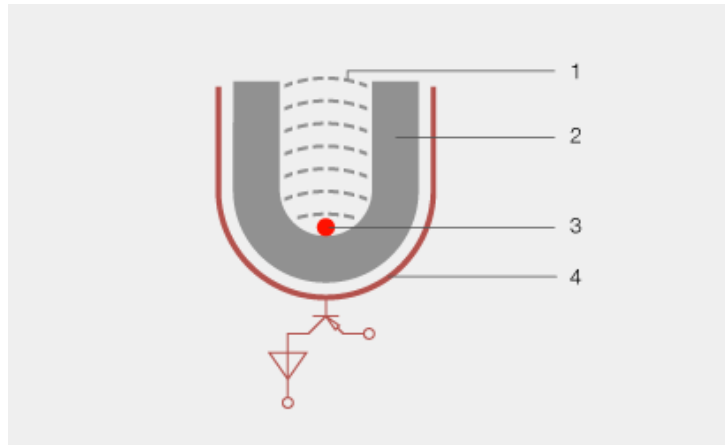
Şekil 5.3 : Yansıtıcılı sensörün temel çalışma prensibi [31].



Şekil 5.4 : Prototipte kullanılan optik sensör.

5.3 Kapasitif Sensör (İplik Sensörü)

Makina üzerinde herhangi bir sebeple iplik akışının durduğunu yani ipliğin koptuğunu algılamak için 1 Adet İplik Sensörü kullanılmaktadır. Bu iplik sensörü kapasitif sensör temelinde çalışmaktadır. İplik, elektrik alanındaki dielektrik sabitini değiştirir, sensör elektroniği tarafından algılanan bu değişim değerlendirilir ve çıkış sinyali olarak kontrolöre gönderilir. Şekil 5.5'te kapasitif iplik sensörünün çalışma prensibi görülmektedir.



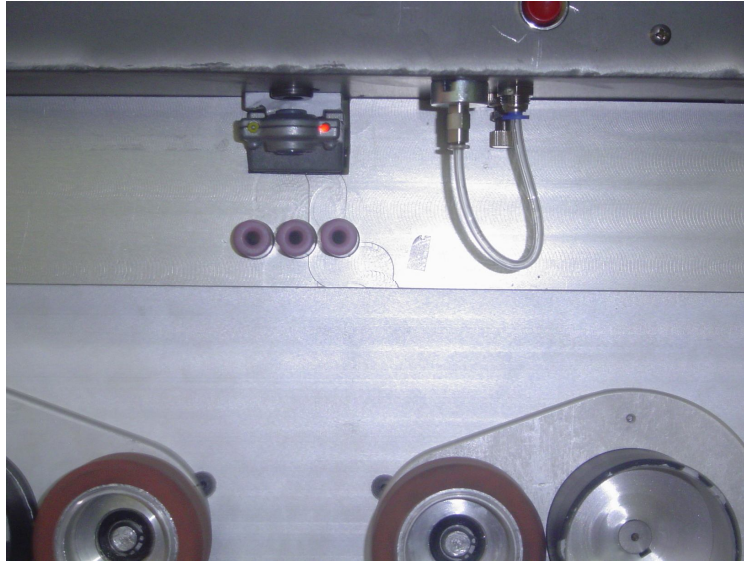
Şekil 5.5 : Kapasitif iplik sensörü çalışma prensibi [32].

Şekilde numaralanan bölgeler aşağıdakileri göstermektedir.

1. Elektrik alanı,
2. Seramik kılavuz,
3. İplik,
4. Elektrot.

Sensörün üzerinde bir adet LED ve buton bulunmaktadır. LED sensörün durumunu göstermektedir, eğer sensör OFF durumundaysa yani iplik akıyorsa LED yanmakta, sensör ON konumuna geçtiğindeyse LED sönmektedir. Buton ise sensörü başlangıç konumuna getirmek için kullanılmaktadır. İplik koptuktan sonra operatör makineyi tekrar iple beslemeli ve butona basarak prosesin hazır olduğunu kontrolöre bildirmelidir.

Sensör 800 metre/dakika hıza kadar iplik okuyabilmekte ve kopmaya çok hızlı cevap verebilmektedir. (50 metre/dakika hızda 8 mm iplik boyunda) Sensör pnp çıkışı vasıtasıyla ON konumuna geçtiğinde kontrolöre 24 VDC çıkış göndererek kopma bilgisini iletmektedir. İplik sensörünün resmi Şekil 5.6'da görülmektedir.



Şekil 5.6 : İplik sensörü (Kırmızı LED yanan).

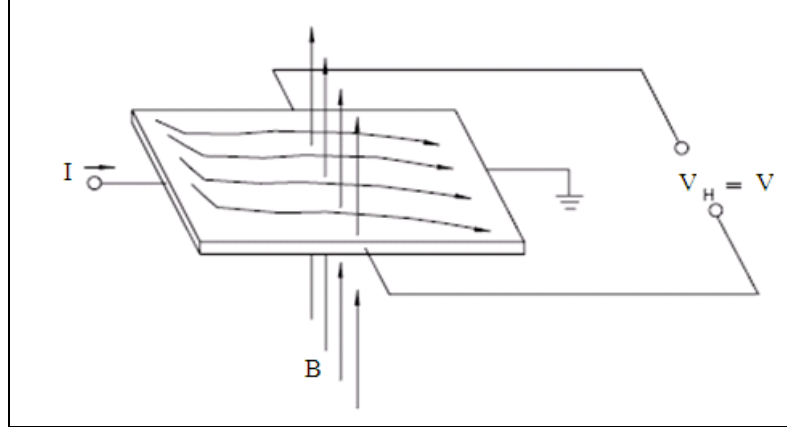
5.4 Kapı Emniyet Anahtarları ve Acil Durum Anahtarları

Büküm kafasının emniyetini sağlamak üzere yapılan kapakların açılıp kapandığını algılamak için normalde kapalı kontaklı 2 Adet anahtar kullanılmıştır. Kapak çalışma esnasında açılırsa kontak üzerinden kontrolöre geçen hat açılmış olacak dolayısıyla PLC kapının açıldığını anlayarak emniyet tedbiri olarak makina çalışmasını durduracaktır.

Bunun yanında normalde açık kontaklı 8 adet anahtar da gövde boyunca yerleştirilmiştir. Bunlar da operatörün makinada herhangi bir anormallik gözlemlemesi durumunda problemin hangi bölgeden kaynaklandığını bildirmesi için kullanılmaktadır.

5.5 İplik Gerginliği Ölçüm Sensörü

Makinada, akan ipin gerginliğini ölçmek amacıyla 3 Adet Gerginlik Ölçme Sensörü kullanılmaktadır. Bu sensör “Hall Effect” prensibiyle çalışmaktadır. “Hall Effect” prensibi Şekil 5.7’de anlatılmıştır.

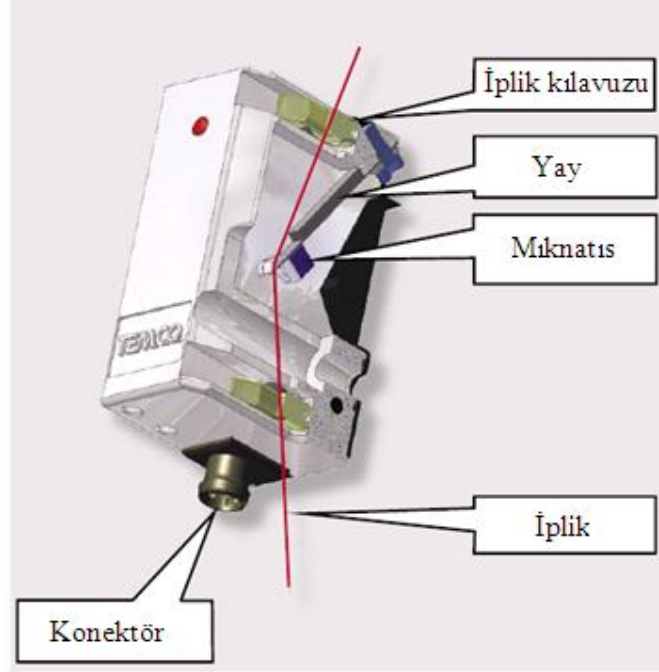


Şekil 5.7 : Hall effect sensörü çalışma prensibi [33].

Şekil 5.7’den de görüleceği gibi Hall Effect prensibinde üzerinden akım geçen bir iletken, (sensör) akım yönüne dik bir manyetik alana girerse hem akıma hem de manyetik alana dik; akıma ve manyetik alanın şiddetine orantılı bir gerilim oluşur.

Prototipte kullanılan sensör, Analog Hall Effect sensöre bir örnektir. Analog Hall Effect sensörlerde ölçülen fiziksel değişkene orantılı olarak bir gerilim oluşmaktadır.

İplik Gerilimi ölçme sensörü, özel tasarımı sayesinde ipliğin gerilimine göre analog bir işaret oluşturmaktadır. Sensörün tasarımı Şekil 5.8’de verilmektedir.

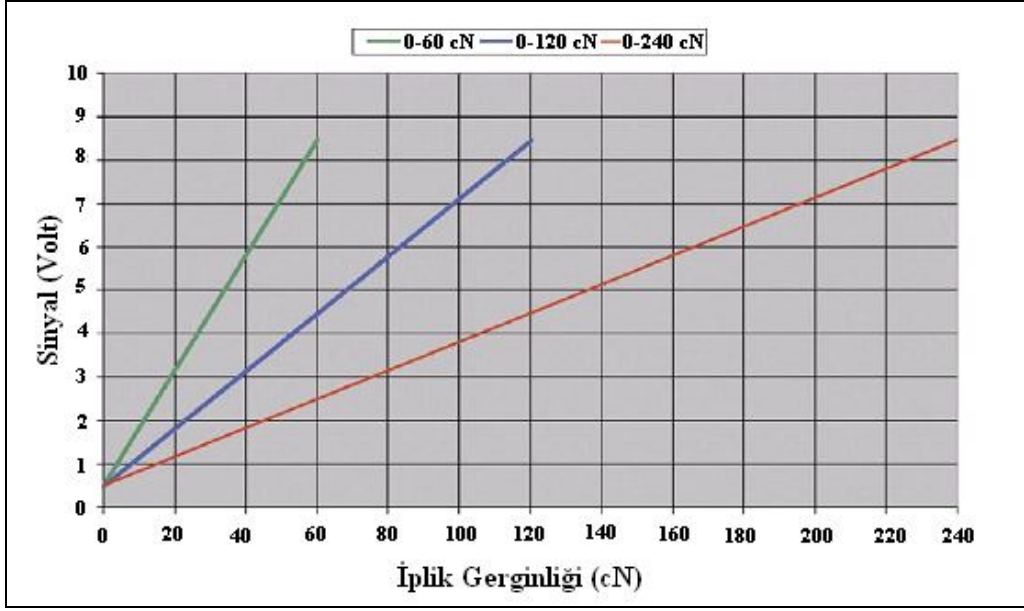


Şekil 5.8 : Gerginlik ölçme sensörü iç yapısı [32].

Sensörün şekilde gösterilen parçaları şunlardır;

- İplik kılavuzu,
- Yay,
- Mıknatıs,
- İplik,
- Elektrik bağlantı konektörü.

Sensör şu şekilde çalışmaktadır: İplik, sensörün ortak eksenli giriş ve çıkış kılavuzlarından ekseni sensörün içinde kaydırılarak geçirilir. Eksen sensörün içinde kaydırıldığından, ipliğin gerginliği belirgin hale gelir. İplik, ucunda bir mıknatıs olan yaya gerginliği oranında bir baskı uygular ve yayın dolayısıyla mıknatısın pozisyonunu değiştirir. Mıknatısın pozisyonunun değişmesiyle sensöre uygulanan manyetik alan değişir, bunun sonucu olarak da gerginliğe orantılı olarak bir gerilim oluşur. Sensörün Gerilim/Gerginlik grafiği Şekil 5.9’de verilmiştir.



Şekil 5.9 : Gerilim/Gerginlik grafiği (Prototipte kullanılan: mavi doğru).

5.6 Basınç Sensörü

Makinada toplam 3 farklı basınç noktası vardır. Bu noktalar, birinci hava jeti, ikinci hava jeti ve valf adasıdır. Bu farklı noktalardaki basınçları ölçmek, görüntülemek ve PLC'ye aktarmak suretiyle operatör panelinde göstermek amacıyla bir adet dijital basınç göstergesi kullanılmıştır. Üç farklı noktanın tek bir sensörlerle okunabilmesi amacıyla üç selenoid valf değişik aralıklarla anahtarlanarak sensöre tek bir noktadan basınç gelmesi sağlanmıştır. Sensör okuduğu basınç değerine göre 0-10 V arasında analog bir işaret üreterek PLC'ye basınç bilgisini iletmektedir.

Kullanılan basınç sensörü piezorezistif bir basınç sensörüdür. Piezorezistif basınç sensörlerinde, basınca duyarlı bölge, bir silikon taban üzerinde oluşturulmuş olan ve uygulanan basınçla eğilebilen bir diyaframdır. Bu eğilme sonunda silikonun kristal yapısında bir bozulma olur ve bu bozulma da silikonun enerji band yapısında değişmelere sebep olur. Dolayısıyla, diyafram üzerine yerleştirilen piezodirençlerin öz dirençlerinde değişimler oluşur. Bu değişimler, dirençlerin diyaframın kenarlarına göre konumlarına göre artma ya da azalma şeklinde olabilir. Kullanılan basınç sensörünün resmi Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10 : Basınç sensörü.

5.7 PT100 Sıcaklık Sensörü

Makinada ısıtmalı kasnakların sıcaklıklarını okumak için kasnakların gövdesinde bulunan PT100 sıcaklık sensörleri kullanılmıştır. Her bir kasnakta bir adet bulunan sensörler, PLC'nin analog giriş modülüne PT100 bağlantısına uygun şekilde bağlanmış ve PLC donanım ayarlarında tanıtılmıştır.

PT100 (Platinum Resistance Thermometers) -200°C 'den $+850^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan sıcaklık aralığında yüksek doğruluk seviyesi ile kullanılabilen sıcaklık sensörüdür. Makinalar, tanklar, borular, gaz ve sıvı ortamlar ve yüzey ölçümleri gibi proseslerde kullanılır.

Sıcaklık ölçümünün prensibi platin elementinin direncini ölçmektir. En yaygın kullanılan rezistans termometre tipi olan PT100, 0°C 'de 100 Ohm ve 100°C 'de 138.4 Ohm dirence sahiptir.

PT100'lerde sıcaklık ile direnç arasındaki ilişki küçük bir sıcaklık aralığı ele alındığında doğrusala yakındır.

6. VERİ TOPLAMA VE İŞLEME

6.1 Giriş

Bugün çoğu mühendis ve bu alanda uğraşan teknik personel, endüstriyel kontrol ve laboratuvar araştırmaları için kişisel bilgisayarlardan faydalanırlar. Bir PC tabanlı veri toplama (DAQ) sistemi için PC'ye, dönüştürücüye, DAQ donanımına ve özel bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bir veri toplama sistemi için öncelikle sırasıyla,

- Giriş çıkış sinyallerini tanımlamak gerekir.
- Sinyal koşullama metodu tipi belirlenmelidir.
- Uygun veri toplama I/O kartı seçilmelidir.
- DAQ kartına uygun kablo seçimi yapılmalıdır.
- Bir yazılım programlaması seçilmelidir.

Aşağıda bir DAQ sistemi için gerekli bilgiler verilmiştir [36].

a. Kişisel Bilgisayar (PC): Bilgisayar, veri toplama sisteminde kullanılır. Sürekli veri toplayabilmek için maksimum hızda bir bilgisayara ihtiyaç vardır. PCI teknolojisine sahip Pentium ya da üstü işlemciye sahip bilgisayarla bu işlem kolaylıkla yapılabilir. Uzaktan veri toplama uygulaması için, RS232 ya da RS485 seri haberleşme portları kullanılır [59].

Bilgisayarın veri transfer kapasitesi, DAQ sisteminin performansını doğrudan etkiler. Tüm PC'ler, programlanmış I/O (giriş/çıkış) ile kesme transferlerine sahiptir. DMA (Direct Memory Access) transferi tüm bilgisayarlarda olmayabilir. Sözü edilen donanım kullanılarak veri, sistem hafızasına doğrudan aktarılır. Kullanılan bu metot sayesinde işlemci, veri toplama işi yaparken aşırı yüklenmez; böylece daha karmaşık işlemleri yapar hale gelir. Çok büyük miktarda veri toplanması esnasında kullanılan hard diskin boyutu da önem taşır. Diske ulaşma zamanı ve harddisk bölümlendirilmesi diske yazılacak veri için maksimum oranda olması gerekir. Yüksek frekansta veri toplama sistemi için, PC üzerinde yüksek hızda çalışan bir harddisk seçimi yapılmalıdır. Aynı zamanda veriyi kayıt yapabilecek bir nitelikte

bölünmelidir. Yüksek hızda ve yüksek frekansta sinyallerin gerçek zamanlı işlendiği uygulamalarda, 32 bit bir işlemci ya da sinyal işleme kapasiteli bir işlemci seçimi yapılmalıdır [59].

b. Dönüştürücüler (Transdüser): Dönüştürücüler, fiziksel büyüklükleri elektriksel işaretlere çeviren aygıtlardır. Termokupl, RTD ve termistörler sıcaklık bilgilerini analog işaretlere çevirirler [37]. Her bir durumda, izlenecek fiziksel parametreye bağlı olarak dönüştürücüler elektrik sinyali üretirler [59].

c. Sinyal Koşullama: Sinyal koşullanması, tüm ölçüm aygıtlarının en temel ögesidir. Sinyal koşullandırma sistem, tanımlı sinyal tiplerini alır ve sistem için sunulan ek olanakları da kullanır. Dönüştürücüler tarafından üretilen elektrik sinyalleri, DAQ kartının giriş değerlerine uygunlaştırılır. Sinyal koşullama ile düşük genlikli sinyaller istenen seviyeye yükseltilir [59].

Bir termokupl ile ölçülen sıcaklık değerini gösteren düşük seviyeli gerilim değerleri, yüksek çözünürlük ve kazanç ile düşük sinyal gürültü oranına koşullanır. Aynı şekilde, bir RTD, bir termistör, bir zorlanma ölçer (strain gauge) için de kullanılan veri toplama (DAQ) donanımına uygun giriş sağlayan bir koşullama yapılmalıdır. Sinyal koşullama için gerekli tanımlar aşağıda verilmiştir [59].

d. Çoğullama: Birden fazla ölçüm sinyallerini toplamada bir diğer teknik, tek ölçüm cihazı kullanıldığında çoğullama tekniğini kullanmaktır. Sinyal koşullaması yapılırken yavaş değişen sinyaller kullanılarak çoğullama yapılır [59].

ADC (analog sayısal çevirici) ile bir kanal örnekleme yapılırken diğer kanal anahtarlanır. Diğer kanal örneklenirken bir sonraki kanal anahtarlama yapılarak devam eder. Birden fazla örnekleme yapılan bir kanal için örnekleme aralığı, tek kanal örnekleme yapılan kanala göre daha az olacaktır [59].

e. Filtreleme: Filtrelemenin amacı, ölçmek istenen sinyaller üzerinde istenmeyen sinyalleri arındırmaktır. Sinyaller, DAQ kartı aracılığıyla sayısallaştırılmadan önce alçak geçiren bir filtre ile gürültüler atılır. Bir gürültü filtresi, DC sınıflı sinyaller ile kullanılır. AC sınıflı sinyaller, vibrasyon gibi farklı tipte bir filtrelemeye ihtiyaç duyarlar [59].

f. Doğrusallaştırma: Çoğu zaman sensör çıkışındaki sinyal ile ölçülen fiziksel büyüklükler arasında doğrusal bir ilişki bulunmaz. Bir termokuplun ölçülen sıcaklık değeri ile ürettiği gerilim arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. Doğrusallaştırma,

sensör sinyalleri ile dönüştürücü genlik değerinin aynı oranda değişimi şeklinde tanımlanabilir [59].

g. İzolasyon: İzolasyon, gerçek dünya ile sayısallaştırılacak veri arasında bir koruyucu görevi üstlenir. Ölçüm sistemini, gerilim ya da akım hasarlarına karşı korur. Giriş sinyalini başka bir giriş kanalına veya sistemin dışına geçmesini önler. İzolasyon, sinyal kalitesini düşüren topraklama döngülerinin ürettiği gürültüyü önler [59].

h. Dönüştürücü Uyarımı: Dönüştürücüler, sinyal üretmek için güce gereksinim duyarlar. Buna zorlanma ölçer ve RTD'ler de dâhildir. Sinyal koşullama ile dış güç kaynağına gereksinim duymaksızın karşılanır [59].

i. Yükseltme: Sinyal koşullamada en çok rastlanan modül yükselteç kısmıdır. Düşük genlikli dönüştürücü sinyalleri, gürültü seviyesini azaltacak ve çözünürlüğü arttıracak şekilde yükseltilir. Mümkün olabilecek en yüksek hassasiyette ve doğrulukla sinyaller yükseltilir. Koşullanmış sinyalin maksimum değeri, A/D çevirici girişinin maksimum değeri olmalıdır [59].

6.2 Veri Toplama Donanımı

Analog girişler: DAQ ürünlerinin, doğruluk ve kapasite bilgilerine bağlı olarak analog giriş değerleri belirlenir. Giriş aralığı, çözünürlük, örnekleme aralığı, kanal sayısı gibi bilgiler çoğu DAQ ürünlerinin temel özelliklerindendir. Analog kanal girişleri, tek uçlu ve diferansiyel giriş olmak üzere iki tiptedir [38]. Tek uçlu girişlerde tüm referanslar ortak bir toprakla birleştirilmiştir. Eğer sinyal bu kriterlere uymuyorsa, diferansiyel girişler kullanılmalıdır. Diferansiyel girişlerle her bir giriş, kendi toprak bağlantısı ile irtibatlaşır. Böylelikle gürültü azalır [59].

6.3 Örnekleme Oranı Seçimi

Bu parametre, sinyalin ne kadar sıklıkla alınacağını saptamada kullanılır. Hızlı bir örnekleme aralığı ile aynı zaman diliminde daha fazla noktadan bilgi toplanır. Bu sayede bilgi işaretine daha iyi yaklaşımda bulunulur. Örneğin, mikrofon kullanılarak elektrik sinyallerine çevrilen bir ses sinyali, 20 KHz frekans bileşenine sahiptir. Bu sinyalin gerçek sayısal değeri için Nyquist örnekleme teoremine göre; işaretin frekans bileşeninin maksimum iki katı ile örneklenmesi gerekmektedir [39]. Bu

yüzden kart örnekleme oranı, 40000 örnek/saniye'den daha yüksek seçilmelidir. Birden fazla kanalın aynı ADC ile örneklenmesi istendiğinde, kanal başına örnekleme oranı düşer. 1 MB/saniye örnekleme oranına sahip bir kart için; tek kanla örnekleme oranı 1 MB/saniye iken 10 kanal iletimi istendiğinde, $1 \text{ Mb/saniye}/10=100 \text{ KS/saniye}$ ile bir örnekleme gerçekleşir [59].

7. SİSTEM TANILAMA

7.1 Giriş

Sistem tanılama, dinamik bir sistemin modelinin giriş-çıkış ölçümleriyle bulunması anlamına gelir. Eğer bir model; birçok çıkış (veya ölçüm) ile birçok giriş (veya kumanda) arasındaki değişimi inceliyorsa; çok değişkenli (multivariable) model olarak adlandırılır. Sistem tanılama süreci, modellerin kurulması ve deney verilerinden bilinmeyen sistem parametrelerinin tahmin edilmesini içerir. Modelin bilinmesi, yüksek performanslı kontrol sistemlerinin tasarımı ve gerçekleştirilmesi için önemlidir.

Tanılamada kullanılan matematiksel modeller lineer ve lineer olmayan olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Lineer olmayan modellerin karmaşıklığının yanı sıra çok iyi tesis edilmiş genel teorilerinin olmaması, bu modellerin belirli bir çalışma bölgesi civarında lineerleştirilmiş olarak kullanılmasına yol açmaktadır. Uygun bir giriş sinyalinin seçimi, tanılama problemlerinin en önemli adımlarından biridir. Bu seçimdeki temel ölçüt, giriş-çıkış verilerinin farklı modeller arasında ayırım yapmaya yetecek ölçüde bilgi içerip içermemesidir. Giriş-çıkış verileriyle sistem tanılama yapılırken frekans cevabı, basamak cevabı vs. teknikleri kullanan parametrik olmayan modeller, transfer fonksiyonu, diferansiyel veya fark denklemleri vs. tekniklerle parametrik modeller kullanılabilir.

Günümüzde bilgisayarların da gelişimi ile parametrik modellerin diğer yaklaşımlara karşı üstünlükleri de ortaya çıkmıştır. Ardışık formülasyonu olan yüksek performanslı tanılama algoritmaları, gerçek zamanlı tanılama problemlerini bile gerçekleştirebilecek seviyeye ulaşmıştır.

Sistem tanılama, ölçülmüş veriler kullanılarak dinamik bir sistemin matematiksel modelinin çıkarılmasıdır. Temel olarak, verilen bir modelin parametrelerinin, model çıkışının ölçülmüş olan verilere uyacak hale getirilmesi ile sağlanır.

Model belirlenmesinde kullanılmamış veri kümesinin model çıkışı ile tekrar karşılaştırılması iyi bir kontrol yöntemidir (Doğrulama Verisi). Modelin çıkışının, model oluşmasını sağlayan veriden ne gibi farklılıkları var dikkat edilmelidir.

Teknikler genel modellere uygulanır. Genel modeller; ARX ve ARMAX gibi fark denklemleri tanımlamaları ve durum uzayı modelleridir.

Parametrik modelleme için yapı tanımlanması zorunludur. Bu, tek bir sayı; model derecesi seçmek kadar kolay da olabilir ya da birçok seçenek içerebilir. Sistemin lineer olduğu varsayılırsa, bu sistemin basamak ya da darbe cevabı korelasyon analizi ya da spektral analizi kullanılarak bulunabilir. Bu sayede diğer tahmin edilen modellerle kullanışlı karşılaştırmalar yapılabilir. Sistem tanılamada kullanılan genel terimler;

- a. Tahmin Verisi: Tahmini bir model oluşturmayı sağlayacak veri kümesidir.
- b. Doğrulama Verisi: Model doğrulama sürecinde kullanılacak olan veri kümesidir. Bu süreç modeli doğrulama verisi için simülasyonu ve artıkları hesaplamayı içerir.
- c. Model Setleri-Model Yapıları: Ayarlanabilir parametreleri olan model aileleridir.
- d. Parametre Tahmini: Model yapıları için kullanılacak en iyi parametrelerin bulunmasıdır. Sistem tanımanın amacı en iyi model yapısını ve o model için kullanılacak en iyi parametreleri bulmaktır.
- e. Parametrik Sistem Tanıma Metotları: Model yapılarında verilen parametreleri tahmin etmeye yarayan tekniklerdir. Temel anlamda, parametrelerin model çıkışı ile ölçülen değerleri en yakın hale getirecek şekilde atanmasıdır.
- f. Parametrik Olmayan Sistem Tanıma Metotları: Model davranışını parametrelendirilmiş model setleri kullanmadan tahmin etmeyi sağlayan tekniklerdir. Tipik parametrik olmayan metotlara örnek olarak sistemin darbe cevabına göre tahminde bulunan korelasyon analizi ve sistemin frekans cevabına göre tahminde bulunan spektral analiz gösterilebilir.

Sistem parametrelerinin ve sistem durumunun tahmin son yıllarda birçok farklı açıdan makalelerde, kitaplarda, konferanslarda ve derslerde ele alınmış, tartışılmıştır. Bu alana olan ilginin artmasının nedenleri şunlardır:

- Endüstriyel uygulamalardaki pratik mühendislik süreçlerinde belirli bir çalışma aracına ilişkin daha iyi bilgi sahibi olarak kontrolünü kolaylaştırmak, operasyon maliyetlerini azaltmak ve bu sayede verimi arttırmak,
- Hava ve uzay araçlarında, kara taşımacılığında ha çok bilgiye sahip olarak yüksek performans elde etmek,
- Süreçleri öğrenirken, hareket durumlarını daha iyi takip edebilmek ve kontrolünü kolaylaştırmak,
- Biyolojik sistemleri daha iyi anlayabilmektir.

Tahmin teorisinin gelişmesi ve olan ilginin artması yalnızca sistem performansının iyileştirilmesine olan ihtiyaçtan kaynaklanmaz. Günümüz bilgisayarlarının modern yazılım ve donanımları, değişen olasılıklara göre tahmin teorisinin uygulanmasında ve geliştirilmesinde önemli rol oynamıştır.

Mühendislik bilimlerinin dışında, bu alandan bağımsız olarak, yine dinamik modeller üzerinde çalışan ve sistem dinamiklerinin tespiti ve ilgilenen ekonomistlerden ve istatistikçilerden gelen talepler doğrultusunda tahmin teorisi sosyal bilimler alanında da gelişmiştir. Bu aynı zamanda, genel matematik teorilerinin bir sisteme uygulanabilirliğinin sistemin türünden bağımsız olduğunun güzel bir örneğidir.

7.2 Uygulama Yöntemleri

Kontrol mühendisliğinin hangi uygulama ya da araştırma alanında kullanılacak olursa olsun; parametre tahmininin amacı uygulama ve tahmin süreci başlamadan önce açık bir şekilde ide edilmelidir. Bu sayede hem sarf edilecek çaba azalır hem de tahminin gerçeğe yakın olma olasılığı artar.

a. Tanı Uygulamaları: Bu kategoride; sistemin darbe fonksiyonuna olan cevabının bulunması, sistemin transfer fonksiyonlarının kutup ve sıfırlarının yerlerinin belirlenmesi, doğrusal olmayan etkilerin öngörülmesi gibi sürecin karakteristik özelliklerini ortaya çıkaran ölçümler yer almaktadır.

Elektriksel, elektronik ve mekanik uygulamaların dışında; kimya mühendisliğinde kimyasal reaksiyonların oran sabitlerinin elde edilmesi, endüstriyel süreçlerde ısı transferi katsayılarının belirlenmesi bu alanda gösterilebilecek örneklerden birkaçıdır. Ayrıca biyoloji ve tıp alanında; insan karakteristiklerinin belirlenmesinde,

öğrenme ve ilaçlar gibi çevresel faktörlere adaptasyon gibi değişen özelliklerinin çıkarılmasında yine aynı yöntemler kullanılmaktadır.

b. Kontrol Uygulamaları: Eğer sistem tanıma işlemi bir kontrol sistemi tasarlamak için yapılıyor ise, problemin karakteri kontrol probleminin doğasına göre değişebilir.

Kararlı bir doğrultucu tasarlamak için sistemin dinamiklerinin yaklaşık olarak modellenmesi yeterliyken bir durumdan bir diğerine optimal geçişi sağlayan bir kontrol programı yazmak için sistem dinamiklerinin gerçeğe oldukça yakın modellenmesi gerekmektedir.

c. Endüstriyel Uygulamalar: Ölçümler: Endüstriye uygulamalar özellikle ekonomik açıdan ele alındığından ölçüm hızı büyük önem kazanmaktadır. Sıkça karşılaşılan bir uygulama olan empedans ölçümünde empedansın türevsel denklemlerle ifadesi;

$$c. \dot{u} + \frac{1}{R} \cdot u - i = 0 \quad (7.1)$$

şeklindedir.

Öngörülen model $y. \dot{u} + p. u - i = e$ ifadesini sağlamalıdır. Bu enstrumantasyona göre; hata işaretinin sıfıra yaklaşmasıyla, başka bir ifadeyle ortalama karekökünün minimizasyonu, modelin doğrulanacağı görülmektedir. Bu prensip genişletilerek birçok farklı problemin çözümünde kullanılabilir.

d. Karar Verme: Bu kategorideki uygulamalarda bilgi işleme sürecinin hızı büyük önem taşımaktadır. Hatta bir insanın ulaşamayacağı hızlarda bilgi iletimi ve karar verme süreci tamamlanmalıdır.

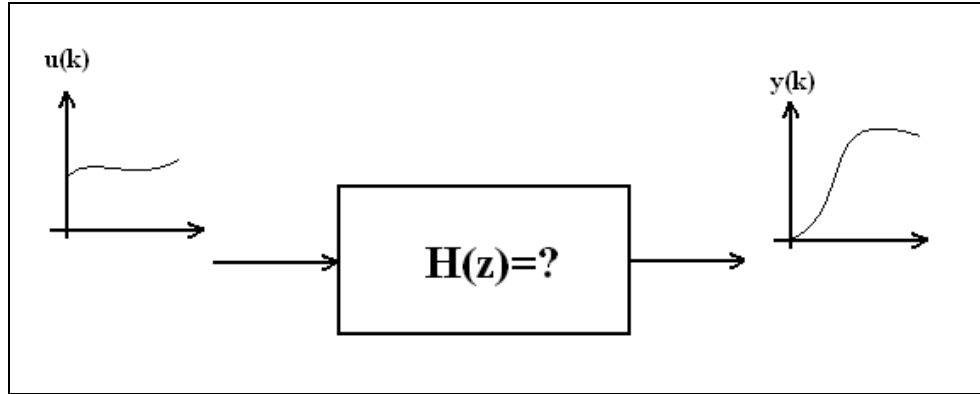
Örneğin; Bir elektrik güç istasyonunun dağıtım şebekesinde meydana gelebilecek bir kısa devre durumunda, yetkili kişinin onayı beklenmeksizin şebekeden güç kesilmelidir.

e. Ayarlar: Bu kategorideki otomatik ayarlar, devam eden bir ayarlama sürecinde tekrarlanan kararlar serisi olarak ele alınabilir. Ve aynı otomatik karar verme işlemlerinde olduğu gibi, uygulamalarda bilgi işleme ve ayarlama sürecinde değişiklikler hızlı yapılmalıdır.

7.3 Sistem Tanılama

Sistem tanılamamanın amacı, deneysel yollarla giriş ve çıkış işaretlerinden elde edilen verileri kullanarak sistemin modelini tespit etmektir.

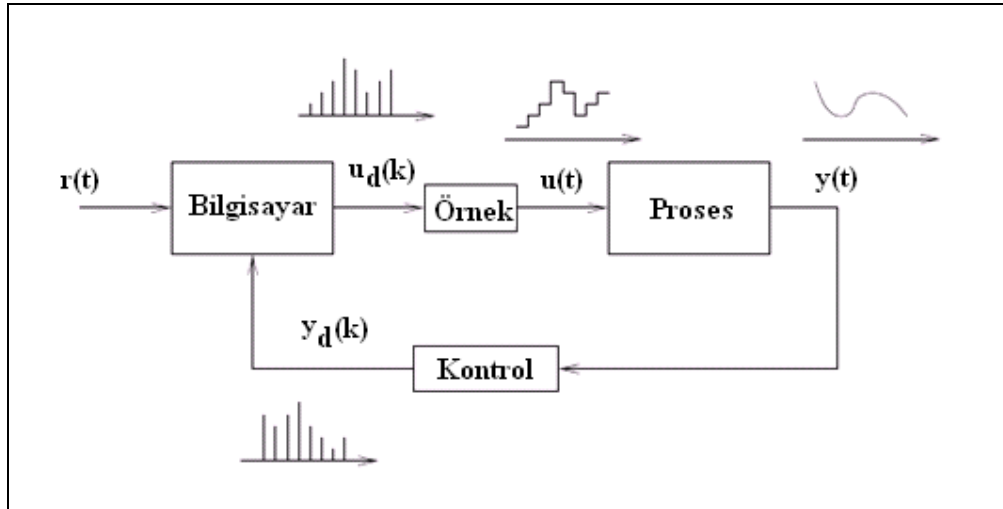
Örneğin; Bir sisteme belirli bir ayrık zamanlı $u(k)$ işareti uygulanarak, çıkışta gözlemlenen ayrık zamanlı $y(k)$ işaretinin ölçülmesiyle sistemin transfer fonksiyonu belirlenebilir.



Şekil 7.1 : Ayrık zamanlı sistem [12].

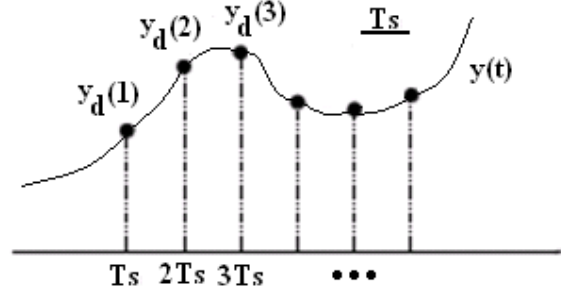
7.3.1 Bilgisayar kontrollü sistemler

Şekil 7.2’de dijital bir bilgisayar kullanılarak tamamlanan tipik bir kontrol sisteminin blok diyagramı görülmektedir.



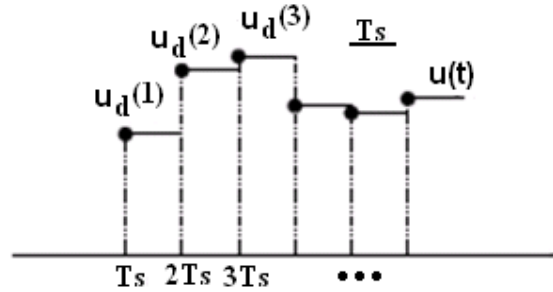
Şekil 7.2 : Ayrık zamanlı kontrol sistemi blok diyagramı [12].

Sistemin cevabı $y(t)$, fiziksel sistemlerin çoğunda zamanın bir fonksiyonu olarak değişmesine rağmen, yalnızca ayırık zaman dilimlerinde ölçülebilmektedir. Bu nedenle Şekil 7.3’de de görüldüğü gibi periyodik olarak örneklenmektedir.



Şekil 7.3 : Sistem cevabı [12].

Benzer şekilde; Şekil 7.4’teki kontrol işareti $u(t)$, sürekli değişebilen bir işaret değildir. Ve örnekleme zamanları arasında sabit tutulmaktadır.



Şekil 7.4 : Kontrol işareti [12].

Dolayısıyla bu süreçte kontrol edilen sistemi girişleri ve çıkışları ayırık zamanlı işaretler olan ayırık zamanlı bir sistem olarak ele almak daha elverişlidir.

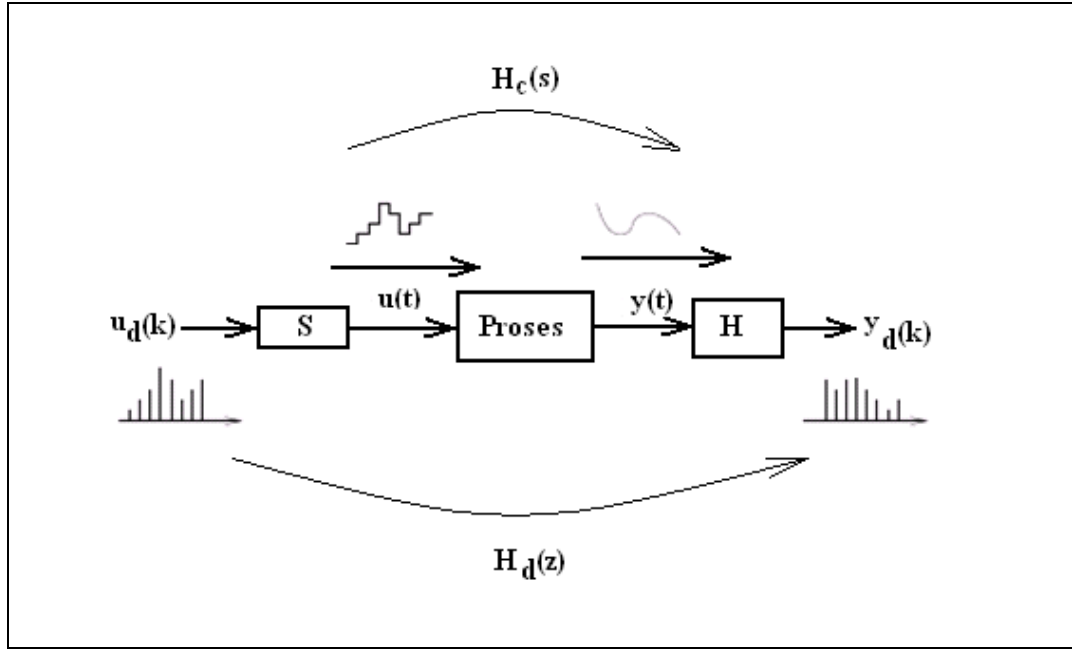
$$y_d(k) = y(k T_s); u_d(k) = u(k T_s); k \in \{1, 2, \dots\} \quad (7.2)$$

7.3.2 Ayırık ve sürekli zamanlı sistemler

T_s örnekleme zamanı, çok kısa olduğunda sürekli zaman transfer fonksiyonundan ayırık zamandaki transfer fonksiyonun elde etmek oldukça kolaydır (Şekil 7.5). Bunun nedenini anlamak için, $\dot{y} = u$ şeklinde tanımlanan ve transfer fonksiyonu

$$H_c(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{s} \quad (7.3)$$

olan bir sürekli zaman integratörü incelenebilir.



Şekil 7.5 : Sürekli ve ayırık zamanlı transfer fonksiyonları [12].

y ve u işaretleri, her T_s 'lik zaman kesitinde örnekleniyor olsun;

$$y_d(k) = y(k \cdot T_s); u_d(k) = u(k \cdot T_s); k \in \{1, 2, \dots\} \quad (7.4)$$

$u(t)$ sürekli zamanlı kontrol işaretinin, T_s zaman aralığı boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığı kabulüyle, ve sonlu farklar yaklaşımı ile $\dot{y} = u$ türev işlemi gerçekleştirilebilir.

$$\frac{y(t + T_s) - y(t)}{T_s} = u(t) \quad (7.5)$$

Benzer şekilde, t yerine $k \cdot T_s$ konulduğunda;

$$\frac{y_d(k+1) - y_d(k)}{T_s} = u_d(k) \quad (7.6)$$

eşitliğine ulaşılır. Bu eşitliğe z -dönüşümü uygulandığında ise,

$$\frac{z \cdot Y_d(z) - Y_d(z)}{T_s} = U_d(z) \Leftrightarrow H_d(z) = \frac{Y_d(z)}{U_d(z)} = \frac{1}{\frac{z-1}{T_s}} \quad (7.7)$$

sonucu elde edilir.

Dönüşüm sırasında uygulanan işlemler incelendiğinde, bir sistemin sürekli zaman transfer fonksiyonundan ayrık zamanlı transfer fonksiyonuna doğrudan ulaşılabildiği görülmektedir. Bu yöntem Euler dönüşümü adıyla anılmaktadır.

$$s \mapsto \frac{z-1}{T_s} \Leftrightarrow z \mapsto 1 + s \cdot T_s \quad (7.8)$$

Daha iyi bir yaklaşıklık yöntemi ise sonlu farklar metoduyla yapılan türev işleminin $u(k)$ ve $u(k+1)$ 'in ortalamasına eşitlenmesi ile geliştirilmiştir. Bu yönteme ise Tustin veya bilineer dönüşüm denilmektedir.

$$s \mapsto \frac{2 \cdot (z-1)}{T_s \cdot (z+1)} \Leftrightarrow z \mapsto \frac{2 + s \cdot T_s}{2 - s \cdot T_s} \quad (7.9)$$

7.4 Sistem Tanılama İlkeleri

Sistem tanılama proses modellemeye deneysel bir yaklaşımdır. Sistem tanılama şu dört aşamadan oluşur [40].

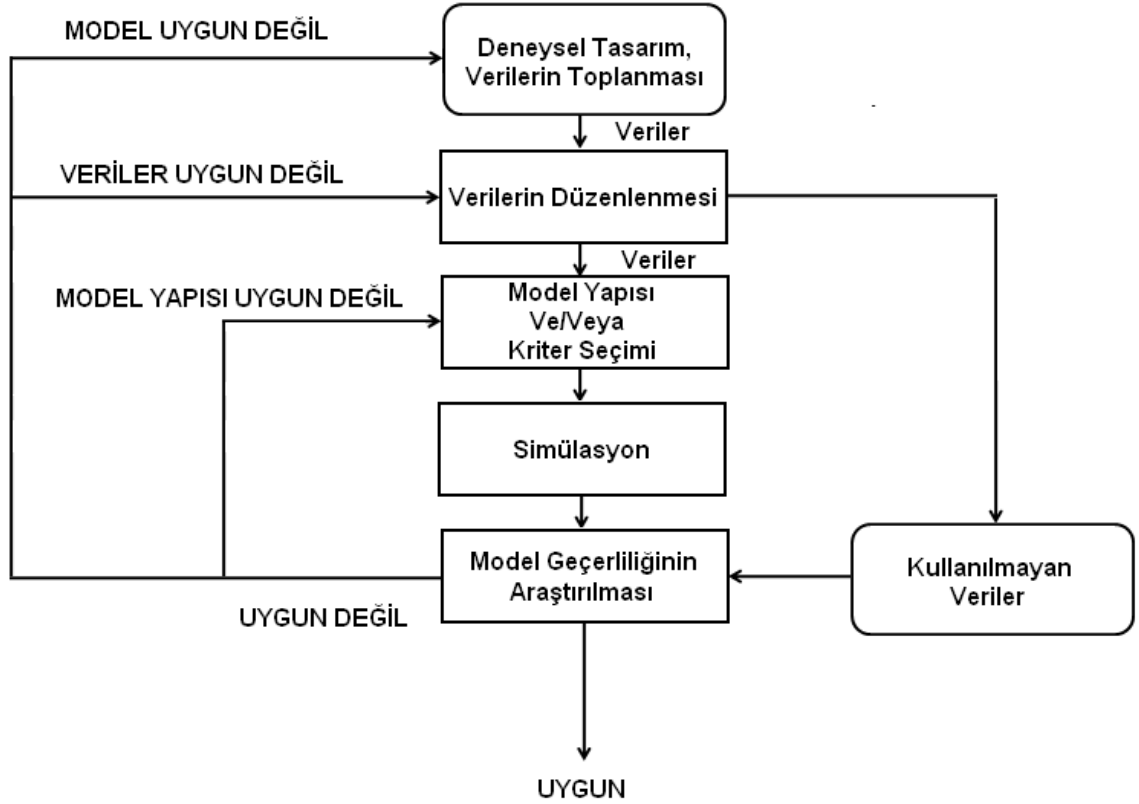
- Deneysel olarak sistemin tasarımı ve veri toplama,
- Model yapısının seçimi,
- Parametre tahmini,
- Model geçerliliğinin araştırılmasıdır.

Tam bir tanılama işleminin yukarıda belirtilen dört aşamayı da içermesi zorunlu olup; her aşamada kullanılacak yöntemler istenen model tipine (parametrik, parametrik olmayan, sürekli zamanlı, ayrık zamanlı vs.) bağlıdır.

Pratikte sistem tanılamanın prosedürü yenilemedir. Bir proses incelenirken ön bilgilerin yetersiz kaldığı durumlarda, sistem dinamiğinin ve bozucuların kaba bir tahminini yapabilmek için geçici rejim veya frekans cevabı analiziyle başlamak daha uygundur.

Elde edilecek sonuçlar ileride yapılacak deneyleri planlamak için kullanılabilir. Elde edilen veriler, modeldeki bilinmeyen parametreleri tahmin etmekte kullanılır. Alınacak sonuçlara göre model yapısı geliştirilebilir veya yeniden

yapılandırılabilir [40]. Sistem tanılama sürecini pratik olarak Şekil 7.6’de verilen şema ile özetleyebiliriz.



Şekil 7.6 : Sistem tanılama akış diyagramı [40]

7.4.1 Deneysel planlama

Endüstriyel proseslerde deney yapılması sistem itibarıyla genellikle zor ve pahalıya mal olan bir işlemdir. Bu yüzden özel giriş sinyalleri gerektirmeyen tanılama metodu tercih edilir. Birçok klasik metot giriş sinyali olarak sinüs darbe veya basamak formundaki giriş sinyalleri kullanılmaktadır.

Giriş sinyalinden istenen, prosesin bütün modellerini uyarmasıdır. Burada giriş sinyalinin frekansı da önemlidir. Bu nedenle zengin bir frekans içeriğine sahip, genliği sabit değişik genişlikte darbe formundaki PRBS sinyali kullanılması iyi sonuçlar almak için tavsiye edilebilir.

Sistem tanılamayı prosesin kapalı çevrim kontrolünde elde edilen veriler üzerine kurmak da mümkün olmaktadır. Örneğin adaptif kontroller çoğunlukla kapalı çevrim tanılama üzerine kurulmuşlardır. Bir prosteden veriler elde edilirken ana zorluk modelin gereksinim duyduğu bütün parametreleri belirlemenin güçlüğüdür.

kaynaklanmaktadır. Bu parametreler açık çevrim deneylerden sağlansa bile sistem tanılanamamaktadır [40].

7.4.2 Sistem tanımlarken kullanılan giriş sinyalleri

1. Basamak Fonksiyonu,
2. PRBS,
3. Ardışık Bağımlı Kayan Ortalama (Autoregressive Moving Average) Prosesi (Beyaz Gürültü),
4. Sinusoidlerin Toplamı.

7.4.3 Model yapıları

Model yapısı proses ve bozucuların ön bilgilerinden tayin edilir. Bazı durumlarda önbilgi sadece prosesin belirli bir işlem aralığında doğrusal olarak tanımlanabilmesidir.

Bu durumda doğrusal sistemlerin genel özelliklerini kullanmak doğaldır. Buna tipik bir örnek;

$$y(t) + a_1 \cdot y(t-1) + \dots + a_n \cdot y(t-n) = b_1 \cdot u(t-1) + \dots + b_m \cdot u(t-m) \quad (7.10)$$

Denklemden y çıkış u ise giriş olarak tanımlanmıştır.

7.4.3.1 Sistem tanılamada kriterler

Bir tanılama problemini formüle ederken modelin deneysel verileri ne kadar karşıladığının ölçümü için bir kriter verilir. Kriter bir ön gerçek olarak ifade edilebilir. İstatistiksel varsayımlar yapılarak kriteri olasılık argümanlarından da elde etmek mümkündür.

Ayrık zaman sistemlerinde kriter genellikle aşağıdaki bağıntı 7.11'deki gibi ifade edilir.

$$J(\Theta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 \quad (7.11)$$

Burada ε giriş hatası, çıkış hatası veya bir genelleştirilmiş hatadır. Bir tanılama probleminin ilk formülasyonu, çözümü ve uygulaması Ceres Astroid'inin yörüngesini belirleyebilmek için Gauss tarafından verilmiştir. Gauss tanılama problemini bir optimizasyon problemi olarak formüle etti ve en küçük kareler

prensibini önerdi. Bu metot hataların karelerinin toplamının minimum hale getirmek üzerine kurulmuştur. Sonraları en küçük kareler kriteri yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

En küçük kareler metodu oldukça basit ve anlaşılması kolaydır. Bazı durumlarda yanlış ortalamalı değerler verse de değişik eklemelerin kullanılmasıyla bu sorunun üstesinden gelinebilmektedir. En küçük kareler metodu bilinmeyen parametrelerin doğrusal olduğu model yapısında kullanılabilir [40].

7.4.3.2 Model yapısının seçimi

Model yapılarının seçiminde kullanılan iki önemli metot vardır. Bunlar;

7.4.4 Gürültüsüz sistemin model yapısının kestirimi metodu

Bozucuların olmadığı ayrık zamanlı bir sistemin darbe transfer fonksiyonu şu şekilde ifade edilir [42]:

$$y(t) = \frac{q^{-d} \cdot B(q^{-1})}{A(q^{-1})} \cdot u(t) \quad (7.12)$$

Buradaki A ve B polinomları aşağıdaki görüldüğü gibi ifadelendirilir;

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 \cdot q^{-1} + \dots + a_{n_A} \cdot q^{-n_A} \quad (7.13)$$

$$B(q^{-1}) = b_1 \cdot q^{-1} + \dots + b_{n_B} \cdot q^{-n_B} \quad (7.14)$$

Gürültüsüz sisteme ait model yapısının tahminindeki amaç, doğrudan sistemin giriş ve çıkış verilerinden yararlanarak sisteme ait A ve B polinomlarının derecelerini ve ölü zamanı tahmin etmeye çalışmaktır. Eğer bir sistemde gürültü mevcut değilse model mertebenin tahmini için rank testine başvurulur;

$$\hat{n} = \text{maksimum}(n_A, n_B + d) \quad (7.15)$$

Buradaki $\hat{n}$ model mertebesini, n_A A polinomunun derecesini, n_B B polinomunun derecesini ve d ise ölü zamanı temsil eder.

Eğer

$$\tilde{y}(0) = \begin{bmatrix} y(0) \\ y(-1) \\ \vdots \\ y(-N+1) \end{bmatrix} \quad (7.16)$$

ise

$$[\tilde{y}(0):R(\hat{n})] \quad (7.17)$$

matrisi tanımlanır [42].

$$R(\hat{n}) = \begin{bmatrix} y(-1) & u(-1) & y(-2) & u(-2) & \cdots & y(-\hat{n}) & u(-\hat{n}) \\ y(-2) & u(-2) & y(-3) & u(-3) & \cdots & y(-\hat{n}-1) & u(-\hat{n}-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y(-N) & u(-N) & y(-N-1) & u(-N-1) & \cdots & y(-\hat{n}-N-1) & y(-\hat{n}-N+1) \end{bmatrix}$$

Eğer $[\tilde{y}(0):R(\hat{n})]$ matrisinin rank tam ise $\hat{n} < n$, tam değil ise $\hat{n} \geq n$ anlamına gelir.

N ilk olarak 1 olarak alınıp $\hat{n} \geq n$ sağlanıncaya kadar N değeri artırılır ve model mertebesi bulunur.

7.4.5 Beyaz gürültülü sistemin model yapısının kestirimi metodu

Sistemin modeli aşağıdaki gibi tanımlanacak olursa;

$$y(t) = -a_1 \cdot y(t-1) + b_1 \cdot u(t-1) \quad (7.18)$$

Yukarıdaki bağıntıda şimdiki çıkış değeri $y(0)$ ve önceki değerlerin indeksi ise - i olacaktır. A matrisinde ilk kolon $y(0)$ 'ı, diğer kolonlar ise önceki değerleri içerecektir.

$$A = \begin{bmatrix} y(0) & \vdots & y(-1) & u(-1) \\ y(-1) & \vdots & y(-2) & u(-2) \\ y(-2) & \vdots & y(-3) & u(-3) \end{bmatrix} \quad (7.19)$$

Bu matris iki kısımdan meydana gelir. İlk kolon $\tilde{y}$ vektörü olup şimdiki ve önceki çıkış değerlerini içinde bulundurur.

Sistemde bulunan gürültüden dolayı model mertebesini tahmin etmek için en küçük kareler tahminini içeren bir test uygulanabilir;

$$V_{LS}(\hat{n}) = \min \frac{1}{N} \left\| \tilde{y}(0) - R(\hat{n}) \cdot \hat{\theta} \right\|^2 \quad (7.20)$$

Buradaki $\hat{\theta}$, $\tilde{y}(0)$ 'ın $R(\hat{n})$ 'nın kolonlarına lineer olarak bağımlılığını ifade etmektedir.

7.5 Parametre Tahmin Metotları

Parametre tahmin probleminin çözümü için prosese ait giriş ve çıkış verileri, modelin türü ve bir kriter gerekmektedir.

Parametre tahmini bir optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir. Verilen kritere göre sistem verilerine mümkün olduğunca uyan model en iyi modeldir.

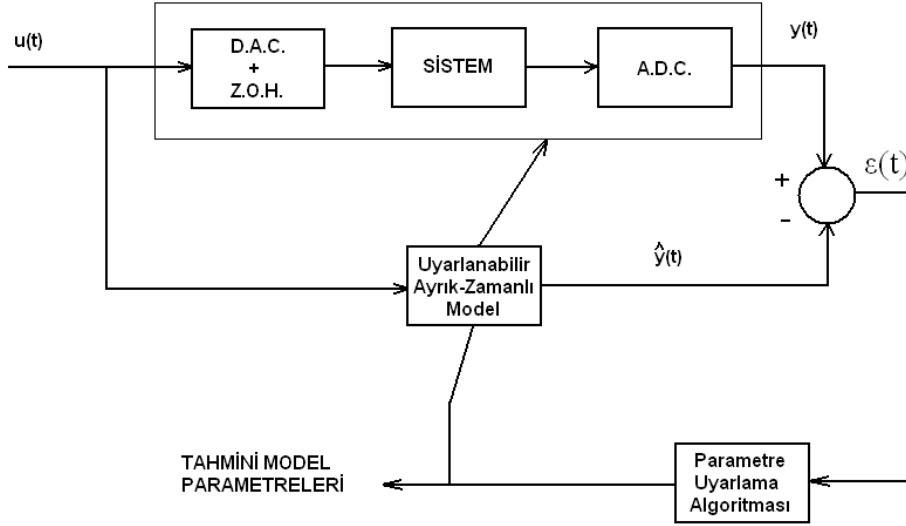
Problemin tahmin sonuçları problemin nasıl formüle edildiği ile ilgilidir. Deney şartlarını, model tiplerini ve kriterleri birleştirmek için birçok olasılık vardır. Aynı zamanda hesaplamaları düzenlemek için birçok değişik yol vardır. Bu ikisini göz önüne aldığımızda çok fazla sayıda değişik tanılama metotları bulunabilir. Genel olarak model tiplerini ikiye ayırmak mümkündür.

- On-line modeller,
- Off-line modeller.

On-line metotlar, sistemden ölçümlerin alınmasıyla tahminleri aynı zamanlı olarak verir. Sistem tanılama için adaptif kontroller kullanılıyorsa ve proses zamanlı değişkenlik gösteriyorsa on-line metot tek alternatiftir.

Birçok durumda off-line metotlar daha güvenilir ve doğru tahminler vermektedir [40]. Bu çalışmada model geliştirme işlemi off-line olarak yapılmaktadır.

Parametrik örneklenmiş modellerin çok pratik kullanımları vardır ve çok avantajlıdırlar. Örneklenmiş bir model için parametre tahmini aşağıdaki Şekil 7.7'de gösterildiği gibi yapılır.



Şekil 7.7 : Parametre kestirimi prensibi

Ayrık zamanlı model uyarlanabilir parametrelerle bilgisayara girilir. t anındaki $y(t)$ sistem çıkışı ve $\hat{y}(t)$ modeli tarafından tahmin edilen çıkışın hatası (öngörü hatası $e(t)$) her örnekleme anında parametre uyarlama algoritması tarafından kullanılır. Bu sayede model parametreleri hatayı minimize edecek biçimde güncellenecektir.

Giriş olarak genelde çok düşük seviyede PRBS-Pseudo Random Binary Sequence uygulanır. Model elde edilince, amacın doğrulaması $e(t)$ öngörü hatasında ve $\hat{y}(t)$ öngörü çıkışında istatistiksel testler uygulanılarak elde edilir. Doğrulama testi en iyi modelin seçimine imkan verir.

Sonuç olarak ta, sistemin basamak cevabı, tanımlı sistemin frekans cevabı ve sürekli zaman modelinin karakteristiğine ait grafikler basitçe yine bilgisayar yardımıyla elde edilir.

Bu modern yaklaşım klasik metotların bütün hatalarını elemine edip çeşitli avantajlar sağlarlar;

- Çalışma esnasında kontrolcünün yeniden ayarlanmasına izin veren gerçek zamanlı sistem parametrelerinin değişimlerini izleme,
- Bozucu modellerin tanımlanması,
- Değiştirici bozucuların modelden elemine edilmesi,
- Titreşim frekanslarının ölçülmesi ve belirlenmesi,
- Spektral sinyallerin analizi.

Sistem modelinin tanılması yaklaşımında diğ er bir anahtar eleman ise parametre uyarlama algoritmasıdır. Her bir örnekleme anında sistemden elde edilen verilerden öngörüleme modelinden parametre türetilir. Bu algoritma tekrarlayan bir yapıdadır.  rnek; parametre kestiriminin yeni değeri önceki değer ile son ölçümlere dayanan bir düzeltme teriminin toplamına eşittir.

Genel olarak, bir parametre vektörünün tanımı, tanımlanmış çeşitli parametre takımlarından oluşan bir vektördür [41].

 l me fonksiyonu vektörü gözlemci vektörü olarak bilinmektedir. Tekrarlayan tanılama algoritmalarının tekrarlamayan algoritmalara karşı şu üstünlükleri vardır;

- Sisteme uygun model için kestirim,
- Kaydadeğer biçimde verilerde azalma, çünkü tekrarlayan algoritmaların her bir anında bütün giriş/çıkış çifti yerine sadece bir giriş/çıkış çifti kullanılır,
- Düşük hafıza ve hesaplanma gücü gerektirir,
- Bilgisayarlarda uygulama kolaylığı,
- Gerçek zamanlı tanılama sistemleri için olanak sağlar,
- Zaman değişimli sistemlerin parametrelerin çizimine imkân sağlar.

Çeşitli parametre tahmin metotları vardır. Bunlardan en önemlileri;

- En küçük kareler metodu,
- Tekrarlayan en küçük kareler metodu (RLS),
- Genişletilmiş en küçük kareler metodu,
- Tekrarlayan en çok olasılık metodu (RML),
- Enstrümental Değişken metodu (IVM).

7.5.1 En küçük kareler metodu

En küçük kareler metodu transfer fonksiyonu ya da fark denklemi modellerinin parametrelerini tahmin etmede kullanılır. Mertebesi n olan bir fark denklemi;

$$y(t) + a_1 \cdot y(t-1) + \dots + a_n \cdot y(t-n) = b_1 \cdot u(t-1) + b_2 \cdot u(t-2) + \dots + b_n \cdot u(t-n) \quad (7.21)$$

olarak ifade edilir.

Bir prosesin transfer fonksiyonu ise

$$G(q^{-1}) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} \quad (7.22)$$

biçimindedir.

Buradaki A ve B polinomları aşağıdaki görüldüğü gibi ifadelendirilir;

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 \cdot q^{-1} + \dots + a_{n_A} \cdot q^{-n_A} \quad (7.23)$$

$$B(q^{-1}) = b_1 \cdot q^{-1} + \dots + b_{n_A} \cdot q^{-n_A} \quad (7.24)$$

Giriş-çıkış veri dizisi $[y(1), u(1), \dots, y(N+n), u(N+n)]$ verildiğinde merteye n olarak varsayılırsa a_i ve b_i parametreleri tahmin edilebilir. Bunu yapabilmek için hatayı tanımlarsak;

$$y(t) + a_1 \cdot y(t-1) + \dots + a_n \cdot y(t-n) = b_1 \cdot u(t-1) + \dots + b_n \cdot u(t-n) + \varepsilon(t) \quad (7.25)$$

ya da

$$A(q^{-1}) \cdot y(t) = B(q^{-1}) \cdot u(t) + \varepsilon(t) \quad (7.26)$$

7.26' deki bağıntı ARX (AutoRegressive with eXogenous input) modeli olarak adlandırılır ve $\varepsilon(t)$ hatayı temsil eder [43]. 7.25'teki bağıntıyı yeniden yazacak olursak;

$$\begin{aligned} y(t) &= -a_1 \cdot y(t-1) - \dots - a_n \cdot y(t-n) + b_1 \cdot u(t-1) + \dots + b_n \cdot u(t-n) + \varepsilon(t) \\ &= \varphi(t) \cdot \theta + \varepsilon(t) \end{aligned} \quad (7.27)$$

$\varphi(t)$ Veri vektörüdür. Aşağıdaki bileşenlerden oluşur;

$$\varphi(t) = [-y(t-1), \dots, -y(t-n) \quad u(t-1) \dots u(t-n)] \quad (7.28)$$

θ , parametre vektörü olup aşağıdaki bağıntı 7.29'daki gibi ifade edilir;

$$\theta = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \\ b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad (7.29)$$

Veri dizisini kullanarak N bağıntıyı şekillendirebiliriz. ($N \gg 2n$)

$$y = \phi \cdot \theta + \varepsilon \quad (7.30)$$

$$y = \begin{bmatrix} y(n+1) \\ y(n+2) \\ \vdots \\ y(N) \end{bmatrix}, \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon(n+1) \\ \varepsilon(n+2) \\ \vdots \\ \varepsilon(N) \end{bmatrix} \quad (7.31)$$

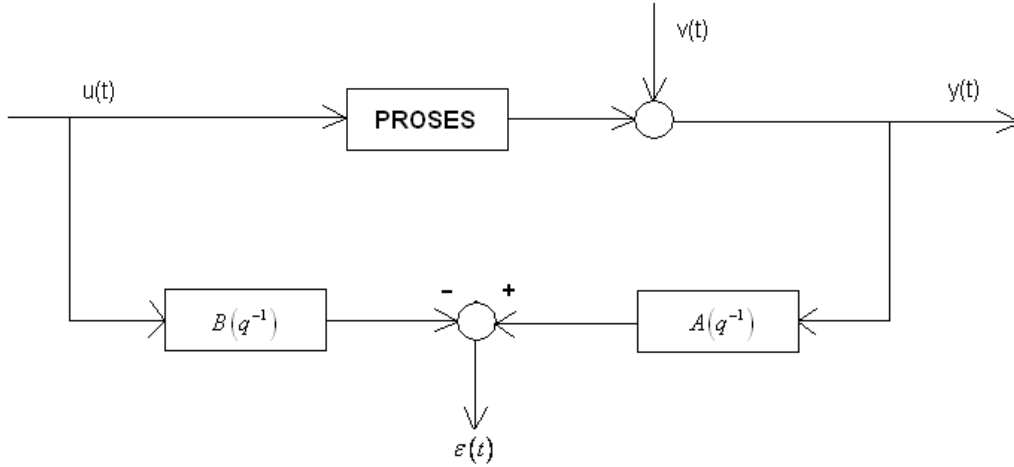
$$\phi = \begin{bmatrix} \varphi(n+1) \\ \varphi(n+2) \\ \vdots \\ \varphi(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -y(n) & \cdots & -y(1) & | & u(n) & \cdots & u(1) \\ -y(n+1) & & \vdots & | & u(n+1) & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & | & \vdots & & \vdots \\ -y(N-1) & \cdots & -y(N-n) & | & u(N-1) & \cdots & u(N-n) \end{bmatrix} \quad (7.32)$$

En küçük kareler prensibine göre kayıp fonksiyonunu (7.33) minimize eden kestirim aşağıdaki 7.34' teki bağıntıdaki gibi tanımlanır;

$$V_{LS} = \sum_{t=n+1}^N \varepsilon(t)^2 = \sum_{t=n+1}^N |y(t) - \varphi(t) \cdot \theta|^2 \quad (7.33)$$

$$\theta = \left[\phi^T \cdot \phi \right]^{-1} \cdot \phi^T \cdot y = \left[\sum_{t=n+1}^N \varphi^T(t) \cdot \varphi(t) \right]^{-1} \cdot \left[\sum_{t=n+1}^N \varphi^T(t) \cdot y(t) \right] \quad (7.34)$$

$$\phi^T \cdot \phi = \sum_{t=n+1}^N \varphi^T(t) \cdot \varphi(t) \text{ matrisi tekil değilse çözüm vardır.}$$



Şekil 7.8 : En küçük kareler yöntemiyle hata üretimi [43]

En küçük kareler yöntemiyle parametre tanılaması yapmanın avantajlarından biri sayısal hesaplama kolaylığıdır. Bu metot kapalı bir çözümdür. Hata, a_i ve b_i parametrelerinde doğrusaldır ve kuadratik yapıda olan kayıp fonksiyonu minimize edilir. Model mertebesi doğru seçildiğinde ve hata seviyesi düşük olduğunda çok iyi sonuçlar verir.

7.5.2 Tekrarlayan en küçük kareler metodu (RLS)

Bozucuların bulunmadığı ayrık zamanlı bir sistemin darbe transfer fonksiyonu aşağıdaki bağıntıdaki gibidir;

$$y(t) = \frac{q^{-d} \cdot B(q^{-1})}{A(q^{-1})} \cdot u(t) \quad (7.35)$$

7.35bağıntısını daha açık olarak yazacak olursak;

$$y(t+1) = -\sum_{i=1}^{n_A} a_i \cdot y(t+1-i) + \sum_{i=1}^{n_B} b_i \cdot u(t-d+1-i) = \theta^T \cdot \phi(t) \quad (7.36)$$

$$\theta^T = [a_1, \dots, a_{n_A}, b_1, \dots, b_{n_B}] \quad (7.37)$$

$$\phi(t)^T = [-y(t), \dots, -y(t-n_A+1), u(t-d), \dots, u(t-d-n_B+1)] \quad (7.38)$$

Yukarıdaki ifadelere benzer şekilde RLS için önceki kestirimci aşağıdaki gibi yazılabilir [42];

$$\hat{y}^o(t+1) = -\sum_{i=1}^{n_A} \hat{a}_i \cdot y(t+1-i) + \sum_{i=1}^{n_B} \hat{b}_i \cdot u(t-d+1-i) = \hat{\theta}(t)^T \cdot \phi(t) \quad (7.39)$$

$$\hat{\theta}(t)^T = [\hat{a}_1(t), \dots, \hat{a}_{n_A}(t), \hat{b}_1(t), \dots, \hat{b}_{n_B}(t)] \quad (7.40)$$

Buradan önceki kestirim hatası $\varepsilon^o(t+1)$

$$\varepsilon^o(t+1) = y(t+1) - \hat{y}^o(t+1) = y(t+1) - \hat{\theta}(t)^T \cdot \phi(t) \quad (7.41)$$

Buradan hedeflenen, aşağıdaki en küçük kareler ölçütünü minimize eden bir tekrarlayan parametre kestirim algoritmasının bulunmasıdır [42];

$$\min_{\hat{\theta}(t)} J(t) = \sum_{i=1}^t [y(i) - \hat{\theta}(t)^T \cdot \phi(i-1)]^2 \quad (7.42)$$

$$\hat{\theta}(t)^T \cdot \phi(i-1) = -\hat{a}_1(t) \cdot y(i-1) + \hat{b}_1(t) \cdot u(i-1) = \hat{y}(\hat{\theta}(t)) \quad (7.43)$$

Tekrarlayan en küçük kareler parametre tahmin algoritmasının formülasyonu ise F(t) kestirim kazanç matrisi olmak üzere;

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + F(t+1) \cdot \phi(t) \cdot \varepsilon^o(t+1) \quad (7.44)$$

$$F(t+1) = F(t) - \frac{F(t) \cdot \phi(t)^T \cdot F(t)}{1 + \phi(t)^T \cdot F(t) \cdot \phi(t)} \quad (7.45)$$

$$\varepsilon^o(t+1) = y(t+1) - \hat{\theta}(t)^T \cdot \phi(t) \quad (7.46)$$

7.44, 7.45 ve 7.46 bağıntıları yeniden düzenlenecek olursa;

$$[\hat{\theta}(t+1) - \hat{\theta}(t)] = F(t+1) \cdot \phi(t) \cdot \varepsilon^o(t+1) = F(t) \cdot \phi(t) \cdot \frac{\varepsilon^o(t+1)}{1 + \phi(t)^T \cdot F(t) \cdot \phi(t)} \quad (7.47)$$

elde edilir [42].

Sonraki kestirim hatası ise; $(\varepsilon(t+1))$

$$\begin{aligned}\varepsilon(t+1) &= y(t+1) - \hat{\theta}(t+1)^T \cdot \phi(t) = y(t+1) - \hat{\theta}(t)^T \cdot \phi(t) - [\hat{\theta}(t+1) - \hat{\theta}(t)]^T \cdot \phi(t) \\ &= \varepsilon^o(t+1) - \phi(t)^T \cdot F(t) \cdot \phi(t) \cdot \frac{\varepsilon^o(t+1)}{1 + \phi(t)^T \cdot F(t) \cdot \phi(t)} = \frac{\varepsilon^o(t+1)}{1 + \phi(t)^T \cdot F(t) \cdot \phi(t)}\end{aligned}\quad (7.48)$$

bulunur [42]. 7.48'deki bağıntı, “önceki” ve “sonraki” kestirim hataları arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. 7.48 bağıntısı, 7.47’de yerine yazılarak aşağıdaki en küçük kareler parametre tahmin algoritması bulunur;

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + F(t) \cdot \phi(t) \cdot \varepsilon(t+1) \quad (7.49)$$

$$F(t+1)^{-1} = F(t)^{-1} + \phi(t) \cdot \phi(t)^T \quad (7.50)$$

$$F(t+1) = F(t) - \frac{F(t) \cdot \phi(t) \cdot \phi(t)^T \cdot F(t)}{1 + \phi(t)^T \cdot F(t) \cdot \phi(t)} \quad (7.51)$$

$$\varepsilon(t+1) = \frac{y(t+1) - \hat{\theta}(t)^T \cdot \phi(t)}{1 + \phi(t)^T \cdot F(t) \cdot \phi(t)} \quad (7.52)$$

Buradaki dikkat edilmesi gereken $F(t)^{-1}$ ’in bir ilk değerinin olması gerektiğidir. Bu aşağıdaki biçimde düzenlenir:

$$F(0) = \frac{1}{\delta} \cdot I = G_I \cdot I \quad (I : \text{Birim Matris}, 0 < \delta \ll 1) \quad (7.53)$$

Genellikle $\delta = 0,001$ veya $G_I = 1000$ olarak alınır [42].

7.5.3 Enstrümantal değişken metodu (IVM)

Enstrümantal değişken metodundaki ana amaç, değişkenlerle ilişkili yeni bir gözlemci matrisi oluşturmaktan ibarettir. Bu metod, ARX modeline dayanan θ parametre vektörünün kestiriminde kullanılır. Ayrık zamanlı sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki bağıntıdaki gibidir [12];

$$y(t) = \frac{q^{-d} \cdot B(q^{-1})}{A(q^{-1})} \cdot u(t) + w'(t+1) \quad (7.54)$$

Buradaki $w'(t+1) = A(q^{-1}) \cdot w(t)$ olarak tanımlanır ve $w(t)$ girişten bağımsız sıfır ortalamalı, sonlu varyansı olan bir bozucudur.

7.54 bağıntısını daha basit olarak düşünecek olursak;

$$y(t+1) = -a_1 \cdot y(t) + b_1 \cdot u(t) + w'(t+1) \quad (7.55)$$

$$w'(t+1) = (1 + a_1 \cdot q^{-1}) \cdot w(t+1) \quad (7.56)$$

Yukarıdaki ifadelerden benzer şekilde RLS için önceki kestirimci aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\hat{y}^o(t+1) = -\hat{a}_1(t) \cdot y(t) + \hat{b}_1(t) \cdot u(t) = \hat{\theta}(t)^T \cdot \phi(t) \quad (7.57)$$

$$\hat{\theta}(t)^T = [\hat{a}_1(t), \hat{b}_1(t)]; \quad \phi(t)^T = [-y(t), u(t)] \quad (7.58)$$

Buradan;

$$\hat{y}(t+1) = \hat{\theta}(t+1)^T \cdot \phi(t) \quad (7.59)$$

Kestirim hataları aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\varepsilon^o(t+1) = y(t+1) - \hat{y}^o(t+1) \quad (7.60)$$

$$\varepsilon(t+1) = y(t+1) - \hat{y}(t+1) \quad (7.61)$$

Enstrümental değişkeni tanımlayan yardımcı kestirim modeli aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$y_{IV}(t) = -\hat{a}_1(t) \cdot y_{IV}(t-1) + \hat{b}_1(t) \cdot u(t-1) \quad (7.62)$$

Yeni gözlemci matrisi;

$$\Phi(t)^T = \phi_{IV}(t)^T = [-y_{IV}(t), u(t)] = [-y_{IV}(t), -y_{IV}(t-1), \dots, u(t-d), u(t-d-1), \dots] \quad (7.63)$$

Enstrümental değişken y_{IV} aşağıdaki bağıntıdan elde edilir;

$$\hat{A}(t, q^{-1}) \cdot y_{IV}(t) = q^{-d} \cdot \hat{B}(t, q^{-1}) \cdot u(t) \quad (7.64)$$

$$\hat{A}(t, q^{-1}) = 1 + \hat{a}_1(t) \cdot q^{-1} \dots \quad \hat{B}(t, q^{-1}) = \hat{b}_1(t) \cdot q^{-1} + \hat{b}_2(t) \cdot q^{-2} + \dots \quad (7.65)$$

RLS metodundaki bağıntı 7.49, 7.50 ve 7.52'ye enstrümental değişken metodunda bağıntı 7.63'e karşılık gelir [12].

7.6 Model Geçerliliğinin Belirlenmesi

Model yapısı seçilip parametre tasarımı yapıldıktan sonra ki aşama model geçerliliğinin belirlenmesidir [46]. Model yapısının seçimi ve modelin geçerliliğinin belirlenmesi sistem tanımlamanın en önemli iki adımıdır.

Fazla parametrelili model yapısının seçimi gereksiz hesaplamalara ve işlem karmaşıklığına yol açabilir. Diğer bir yandan yetersiz parametrenin seçimi sonucu doğru olmayan bir sonuç elde edilebilir [45].

Sistemden ölçülen veriler yardımıyla bir model oluşturulduğunda, modelin varsa yetersiz kaldığı yerleri görmek için modeli kontrol etmek yani geçerliliğini araştırmak gereklidir.

Modelin geçerliliğini araştırmak için bulunan modelin basamak, darbe veya sinüs girişe cevabı incelenerek model hataları ve tahmin hataları gibi faktörlerin belirlenmesi gerekir. Modelde değişimlere duyarlı veri bölümlerinin ve bunun nedenlerinin araştırılmasına olanak sağlar. Bu sayede model geliştirilebilir veya değişiklik yapılabilir [40].

En yaygın olarak kullanılan model geçerliliğini belirleme metotları;

1. Beyazlık Testi,
2. Çapraz İlişki (Cross-Correlation) Testidir.

7.6.1 Beyazlık testi

Beyazlık testi, 7.66'teki kestirim hatası $\varepsilon_i(t)$ 'yi, $i=1,2,\dots,p$ için beyaz gürültü olarak varsayıldığındaki doğrulamaya yönelik bir testtir [44].

$$\begin{aligned} \varepsilon_i(t + \hat{n}_i + 1) = & y_i(t + \hat{n}_i + 1) - \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^{\hat{n}_{ij}} \hat{a}_{ijk} \cdot y_j(t + k) - \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{\hat{n}_i} \hat{b}_{ijk} \cdot u_j(t + k) \\ & - \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^{\hat{n}_i} \hat{c}_{ijk} \cdot \varepsilon_j(t + k) \end{aligned} \quad (7.66)$$

Bu bağıntı 7.67’da verilmiş normalleştirilmiş ardışık bağımlı fonksiyonunun (normalized autocorrelation function) hesaplanmasıyla bulunur [44].

$$\sqrt{N} \cdot \frac{\Gamma_{\varepsilon_i}(\tau)}{\Gamma_{\varepsilon_i}(0)} \quad \tau=1,2,\dots,\tau_{\max} \quad (7.67)$$

Kestirim hatası ($\varepsilon_i(t)$) sinyalinin ardışık bağımlı fonksiyonu (autocorrelation function);

$$\Gamma_{\varepsilon_i}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-\tau} \varepsilon_i(t + \tau) \cdot \varepsilon_i(t) \quad (7.68)$$

Eğer kestirim hatası ($\varepsilon_i(t)$) beyaz gürültü ise $\sqrt{N} \cdot \frac{\Gamma_{\varepsilon_i}(\tau)}{\Gamma_{\varepsilon_i}(0)}$ asimptotik olarak sıfır ortalamalı, varyansı bir olan normal dağılımdır [44]. Ardışık bağımlılığın normalleştirilmesi önceden tanımlanan güven aralığına göre sıfır limite karar vermeye imkân tanır [44].

Güven aralığının fonksiyonu olan $\sqrt{N} \cdot \left(\frac{\Gamma_{\varepsilon_i}(\tau)}{\Gamma_{\varepsilon_i}(0)} \right)$ $\tau \neq 0$ için, limit değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir [44].

Çizelge 7.1 : Ortalaması 0, varyansı 1 olan normal dağılımlı rassal değişkenin güven aralığı.

GÜVEN ARALIĞI	%91	%92.8	%94.2	%95	%97	%99
LİMİTLER	± 1.7	± 1.8	± 1.9	± 2.0	± 2.13	± 2.6

Bu test uygulandığında, $\tau \geq 1$ için ardışık bağımlı fonksiyonun (autocorrelation function) değeri seçilen güven aralığı limitinden küçük olmalıdır.

7.6.2 Çapraz ilişki (Cross-Correlation) testi

Bu metot (7.69), çıkış hatasının girişiyle ve/veya model çıkışıyla olan ilişkisini doğrulamadan oluşur [44].

$$\varepsilon_i(t) = y_i(t) - \hat{y}_i(t) \quad (7.69)$$

$\hat{y}_i(t)$ model çıkışı olup aşağıdaki bağıntıdaki gibi gösterilir;

$$\hat{y}_i(t + \hat{n}_i + 1) = \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^{\hat{n}_j} \hat{a}_{ijk} \cdot \hat{y}_j(t + k) + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{\hat{n}_j} \hat{b}_{ijk} \cdot u_j(t + k) \quad (7.70)$$

Normalleştirilmiş çapraz ilişki fonksiyonu (normalized crosscorrelation function);

$$\sqrt{N} \cdot \frac{\Gamma_{\varepsilon_i \cdot \hat{y}_j}(T)}{\sqrt{\sum_{\tau=-K}^K \Gamma_{\varepsilon_i}(\tau) \cdot \Gamma_{\hat{y}_j}(\tau)}} \quad T=1,2,\dots,\tau_{\max} \quad (7.71)$$

Bağıntı 7.71’de, $i = 1, 2, \dots, p$ ve K büyük bir sayı (genellikle $N/5$ olarak alınır) olup aşağıdaki bağıntıdaki (7.73) gibi yazılabilir [44];

$$\Gamma_{\varepsilon_i \cdot \hat{y}_j}(\tau) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=1}^{N-\tau} \varepsilon_i(t + \tau) \cdot \hat{y}_j(t) \quad (7.72)$$

$$\sqrt{N} \cdot \frac{\Gamma_{\varepsilon_i \cdot u_j}(T)}{\sqrt{\sum_{\tau=-K}^K \Gamma_{\varepsilon_i}(\tau) \cdot \Gamma_{u_j}(\tau)}} \quad T=1,2,\dots,\tau_{\max} \quad (7.73)$$

Bağıntı 7.74’de, $i = 1, 2, \dots, p$ ve K büyük bir sayı olup genellikle $N/5$ olarak hesaplanır.

$$\Gamma_{\varepsilon_i \cdot u_j}(\tau) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{t=1}^{N-\tau} \varepsilon_i(t + \tau) \cdot u_j(t) \quad (7.74)$$

Kestirim hatası ($\varepsilon_i(t)$), $\hat{y}_j(t)$ ’den (veya $u_j(t)$) bağımsızsa, rassal değişken (7.71 veya 7.73) asimptotik olarak ortalaması sıfır, varyansı bir olan normal dağılımdır. Çapraz ilişki fonksiyonunun normalleştirilmesi önceden tanımlanan güven aralığına göre sıfır limite karar vermeye imkân tanır. Çizelge 7.1’de, 7.71 (veya 7.73) bağıntısındaki normalleştirilmiş değişkenin limit değerlerini verilmiştir [44].

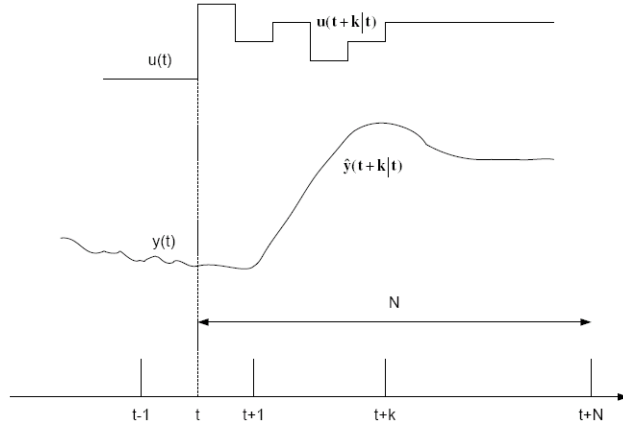
8. MODELE DAYALI ÖNGÖRÜLÜ KONTROL

8.1 Giriş

Modele Dayalı Öngörülü Kontrol'ün geniş bir tarihi vardır. 1970'lerde ortaya atılmış Modele Dayalı Öngörülü Kontrol stratejisi günümüzde büyük gelişmeler göstermiş olup önemi gün geçtikçe daha da artmaktadır. Endüstriyel uygulamalarla ilgili ilk uygulamalardan biri Richatel'e aittir [48].

İlk uygulamalarında darbe veya basamak cevabı modellerine dayanırken sonraki uygulamalarda daha etkili modeller esas alınmıştır. Başlarda güç reaktörlerindeki ve petrol rafinerilerindeki kontrol gereksinimlerine bağlı olarak özel geliştirilmiş olan bu yöntemler, günümüzde kimya, gıda, otomotiv, havacılık, metalürji ve kağıt endüstrilerini kapsayan geniş bir alana da uygulanmaktadır. Günümüzde başarıyla kullanılan birçok model öngörülü kontrol denetimi vardır. Sadece süreç endüstrisinde değil, aynı zamanda robot manipülatörlerinden klinik anesteziye kadar birçok farklı alanlarda uygulamalarına rastlanmaktadır [49].

Modele Dayalı Öngörülü Kontrol (Model Based Predictive Control-MPC) terimi tek bir kontrolör tasarım yöntemini değil, çok geniş bir kontrol tasarım yöntemleri bütününe tanımlar. Bu yöntemlerin ortak özelliği sistem modelinin doğrudan kullanılması ve kontrol işaretinin belirli bir ölçüte göre minimumlaştırarak elde edilmesidir. Bu tasarım yöntemleri ile elde edilen kontrolörler lineer yapıdadır.



Şekil 8.1 : Model öngörülü kontrol stratejisi [13].

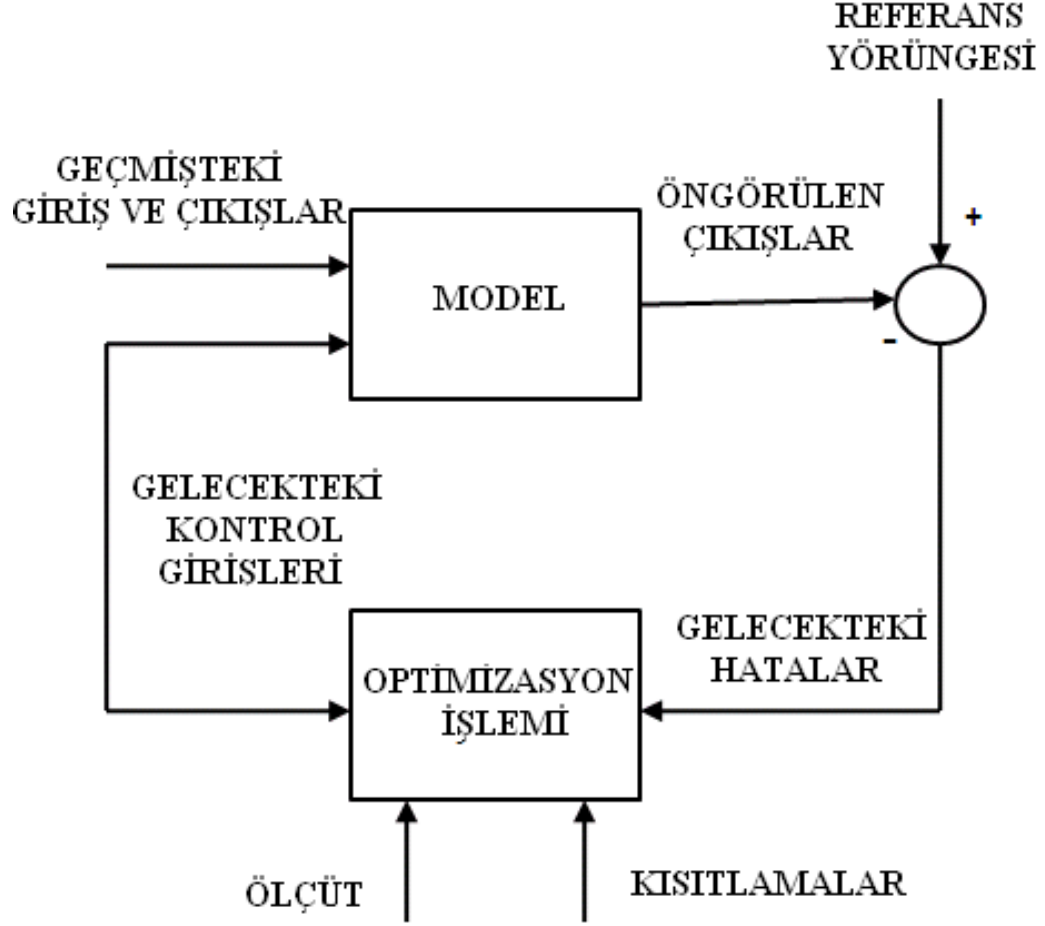
Modele Dayalı Öngörülü Kontrol, sistemin gelecekteki davranışını optimize etmek için uygulanması gereken kontrol dizisini hesaplayan bir kontrolör sınıfını nitelemektedir. Bu yöntemin temel düşüncesi Şekil 8.1’de anlatılmaya çalışılmıştır [13]. Modele Dayalı Öngörülü Kontrol yöntemleri sadece kullanılan sistem modeli, gürültü modelleri ve minimize edilecek olan ölçütler bakımından farklılık gösterirler.

Modele Dayalı Öngörülü Kontrol stratejisinin ana prensipleri;

- Gelecekteki bir zaman dilimindeki sistem cevabını öngörebilmek için sistem modelinin kullanılması,
- Bir ölçütü minimumlaştırarak bir kontrol girişi dizisinin hesaplanması,
- Kaydırma işlemi, yani her örnekleme anında ufkun geleceğe doğru bir kaydırılması, her adımda elde edilen kontrol işareti dizisinin ilk elemanının uygulanması olarak verilebilir [13].

Modele Dayalı Öngörülü Kontrol algoritmalarının temel basamakları şu şekilde sıralanabilir:

- Sistem modelinden yararlanarak, öngörü ufku denilen, belirlenmiş bir ufuk boyunca gelecekteki sistem cevabı hesaplanır. Bu cevaplar o ana kadar bilinen değerler (geçmişteki girişler ve sistem cevapları), o andaki sistem cevabı ve gelecekteki kontrol çıkışları kullanılarak hesaplanır [13].
- Geleceğe ilişkin kontrol işareti dizisi bir başarımlı ölçütünü minimumlaştırarak, genellikle öngörülen sistem çıkışı ile referans yörüngesi arasındaki hatayı minimumlaştırarak hesaplanır [13].
- Sadece o andaki kontrol çıkışı sisteme uygulanır. Bir sonraki örnekleme zamanında ölçülür ve birinci adım tekrarlanır. Böylece kaydırma yöntemi ile hesaplanmış olur. Minimumlaştırılan ölçüt genellikle öngörülen çıkış ile referans yörüngesi arasındaki hatanın karesel fonksiyonudur. Eğer model doğrusal, ölçüt karesel ise ve modelde sınırlandırmalar yoksa analitik bir çözüm bulunabilir, aksi durumlarda iteratif optimizasyon yöntemlerini kullanmak gerekir. Modele Dayalı Öngörülü Kontrolün temel yapısı Şekil 8.2’de verilmiştir [13].
- Model önceki sistem giriş ve çıkışları ve öngörülen kontrol girişlerine bağlı olarak sistemin gelecekteki cevaplarını öngörmekte kullanılır. Bu kontrol girişleri optimizasyon işlemi ile elde edilir [13].



Şekil 8.2 : Modele dayanan öngörülü kontrol yapısı [13].

Geliştirilmiş pek çok Modele Dayalı Öngörülü Kontrol algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalarda kullanılmakta olan farklı modeller vardır. En yaygın olarak kullanılan modellerden biri basamak cevabı modelidir. Bu modelin yaygın olarak kullanılmasının sebebi sisteme basamak girişi uygulandığında sistem çıkışını ölçmek model parametrelerini bulmak için yeterlidir. Bu modelin başka bir avantajı ise çok değişkenli sistemler için de kullanılabilir olmasıdır. Bu model çok sayıda parametreden oluşur ve sadece açık çevrim olarak kararlı sistemlerde kullanılabilir [13].

Darbe Cevabı modeli ise bu modele çok benzer bir modeldir. Darbe Cevabı modelinde sisteme darbe girişi uygulanarak model parametreleri bulunur [13].

Transfer fonksiyonu modeli, parametre sayısı az ve her türlü sistem için uygun olduğundan akademik dünyada en yaygın olan ve çoğu kontrolör tasarımı yöntemlerinde kullanılan bir modeldir [13].

Durum-uzayı modeli ise çok değişkenli sistemleri kolaylıkla tanımlayabildiğinden dolayı bazı algoritmalarda kullanılmaktadır. Durum-uzayı kavramının Modele Dayalı Öngörülü Kontrol kuramına aktarılmasıyla ölçülen değişkenlerde rastlantısal bozucuların bulunması gibi daha karmaşık problemlerin ele alınmasını sağlamıştır [13].

Modele Dayalı Öngörülü Kontrol yöntemlerinin geliştirilmesinde optimizasyon işlemi önemli bir konudur. Eğer ölçüt karesel ise çözüm geçmiş giriş ve çıkışlara ve gelecekteki girişlere bağlı olarak lineer bir fonksiyonla ifade edilebilir. Sınırlandırmaların olması durumunda ise çözüm daha çok işlem gerektiren iteratif yaklaşımlar ile elde edilebilir [13].

Modele Dayalı Öngörülü Kontrol teknikleri kullanılan model ve seçilen başarımlar ölçütleri bakımından birbirlerinden farklılaşmaktadırlar. Aşağıda bazı temel Modele Dayalı Öngörülü Kontrol teknikleri verilmiştir:

a. Dinamik Matris Kontrol (Dynamic Matrix Control, DMC): Bu yöntem ilk olarak 1973 yılında Shell tarafından kullanılmıştır. Bu yöntemde basamak cevabı modeli kullanılır. Bu algoritma kullanılarak sistem giriş ve çıkışlarındaki sınırlandırmaları göz önünde bulunduran ve kuadratik programlama kullanan Kuadratik Dinamik Matris Kontrolü (Quadratic Dynamic Matrix Control (QDMC)) yöntemi geliştirilmiştir. Bu algoritma ayrık durum uzay modeli için de uygulanmaya uygundur [13].

b. Model Algoritmik Kontrol (Model Algorithmic Control, MAC): Bu algoritma, yalnız açık çevrimde kararlı sistemler için uygun olan darbe cevabı modelini kullanır. Algoritma, sistem çıkışı ile birinci derece bir sistem olarak elde edilen giriş yörüngesi arasındaki farkı minimize etmektedir [13].

c. Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol (Generalized Predictive Control, GPC): İstenilen bir ağırlıkta kontrol performansının yer aldığı karesel bir başarımlar ölçütü ve ARMAX model yapısı kullanılır. Kısıtlamaların olmadığı durumda analitik bir çözüm mevcuttur [50].

Bu yöntemler içerisinde Dinamik Matris Kontrol ve Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol en yaygın kullanılan yöntemlerdir.

Modele Dayalı Öngörülü Kontrolün diğer kontrol yöntemlerine göre üstünlüklerinden bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz [13];

- Kavramlar sezgisel olduğu ve aynı zamanda parametre ayarları diğer yöntemlere göre kolay olduğu için kontrol bilgisi sınırlı olan çalışanlara çekici gelmektedir.
- Çok basit dinamiğe sahip olan proseslerden kararsız, minimum fazlı olmayan, çok uzun ölü zamanı bulunan prosesler gibi daha karmaşık dinamiklere sahip olan çok çeşitli proseslerin kontrolünde kullanılabilir.
- Çok değişkenli sistemlerin kontrolünde kullanılabilir.
- Ölü zaman etkisini giderme özelliğine sahiptir.
- Uygulaması kolay doğrusal bir kontrol kuralı elde edilir.
- Geleceğe ilişkin giriş işareti bilindiğinde oldukça yararlı ve kullanışlıdır.

Belirli temel ilkeler üzerine kurulmuş geliştirilmeye tamamen açık bir yöntemdir. Bu üstünlüklerin yanı sıra Modele Dayalı Öngörülü Kontrolün eksik yönleri de vardır [13]:

Sistem dinamiğinin değişmediği durumlarda kontrolörün elde edilme işlemi önceden yapılabilir ancak uyarlamalı kontrol yapılıyorsa tüm hesap işlemleri her örnekleme zamanında tekrarlanır.

En önemli sorun ise sisteme ilişkin uygun modelin elde edilmesidir. Algoritma sistem modelinden yararlanılarak geleceğe ilişkin sistem cevabının elde edilmesine dayandığından dolayı gerçek sistemle yanıt arasındaki farklılık arttıkça istenilen sistem cevabını elde etmekte sorunlar yaşanır.

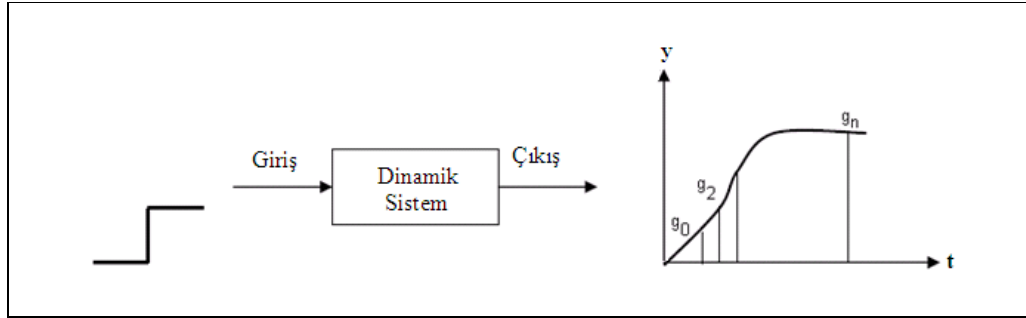
8.2 Model Öngörülü Kontrol Algoritmalarında Kullanılan Modeller

Çeşitli model öngörülü kontrol yöntemleri vardır. Sırasıyla bu tür kontrol algoritmalarında kullanılan modeller ve özellikleri aşağıda incelenmiştir:

8.2.1 Basamak cevabı modeli

Model Öngörülü Kontrol algoritmalarında yaygın olarak kullanılan modellerden biri basamak cevabı modelidir. Açık çevrim basamak cevabı Şekil 8.3'te verilmiştir. Dinamik Matris Kontrol yöntemi bu modeli kullanmaktadır. Giriş-çıkış ilişkisi (8.1) ile verilir. Buradaki g_i 'ler sisteme basamak giriş uygulandığında elde edilen çıkışın örneklenmiş değerleridir. Görüldüğü gibi sistem çıkışına ilişkin N değer göz önüne alınmıştır. Ama sonsuz toplam yapılmamıştır. Bu yüzden bu model integrator

bulundurmayan ve kararlı doğrusal sistemler için idealdir. $G(z^{-1})$ sistemin ayrık transfer fonksiyonu ve z^{-1} geri kaydırma operatörüdür [13].



Şekil 8.3 : Basamak cevabı.

$$y(t) = y_0 + \sum_{i=1}^N g_i \cdot \Delta u(t-i) = y_0 + G(z^{-1}) \cdot (1 - z^{-1}) \cdot u(t) \quad (8.1)$$

Bu model kullanılarak öngörü ifadesi 8.2 bağıntısındaki gibi yazılabilir;

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot \Delta u(t+k-i) \quad (8.2)$$

8.2.2 Darbe cevabı modeli

Bu modeli, Model Algoritmik Kontrol (MAC) algoritmasını kullanmaktadır. Giriş-çıkış ilişkisi 8.3 bağıntısı ile verilir. h_i 'ler sisteme bir darbe giriş uygulandığında elde edilen çıkışın örneklenmiş değerleridir.

$$y(t) = \sum_{i=1}^N h_i \cdot u(t-i) = H(z^{-1}) \cdot u(t) \quad (8.3)$$

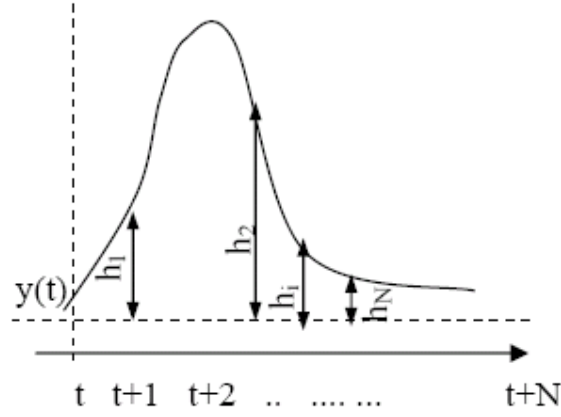
8.4 ve 8.5 bağıntıları, darbe cevabının katsayılarıyla basamak cevabın katsayıları arasında bulunan ilişkiyi göstermektedir;

$$h_i = g_i - g_{i-1} \quad (8.4)$$

$$g_i = \sum_{j=1}^i h_j \quad (8.5)$$

Bu model kullanılarak öngörü ifadesi 8.6 bağıntısındaki gibi yazılır;

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^N h_i \cdot \Delta u(t+k-i) = H(z^{-1}) \cdot u(t+k|t) \quad (8.6)$$



Şekil 8.4 : Darbe cevabı.

8.2.3 Transfer fonksiyonu modeli

Bu model, parametre sayısı az olduğu için ve her türlü lineer sistemler için uygundur. Bu nedenle birçok uygulama alanında kullanılmaktadır [13]. Giriş $u(t)$ ve çıkış $y(t)$ olmak üzere;

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2} + \dots + a_{n_a} \cdot z^{-n_a} \quad (8.7)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2} + \dots + b_{n_b} \cdot z^{-n_b} \quad (8.8)$$

$$A(z^{-1}) \cdot y(t) = B(z^{-1}) \cdot u(t-1) \quad (8.9)$$

model eşitlikleri verilebilir. Bu model kullanılarak elde edilen öngörü ifadesi aşağıdaki gibidir;

$$\hat{y}(t+k | t) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \cdot u(t+k | t) \quad (8.10)$$

8.2.4 Durum-uzay modeli

Durum-uzay modeli, çok değişkenli sistemlerin tanımlanmasında kolaylık sağladığından dolayı Öngörüsül Fonksiyonel Kontrol (Predictive Functional Control) gibi bazı Model Öngörülü Kontrol algoritmalarında kullanılmaktadır. Gösterimi 8.11 bağıntısında ifade edildiği şekilde yapılmaktadır [13].

$$x(t+1) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t)$$

$$y(t) = C_y \cdot x(t) \quad (8.11)$$

$$z(t) = C_z \cdot x(t)$$

Burada x , n boyutlu durum vektörü, u , l boyutlu giriş vektörü, y , ölçülen çıkışların m_y boyutlu vektörü ve z kontrol edilecek olan çıkışların m_z boyutlu vektörüdür. y ve z 'deki değişkenler genellikle geniş bir kapsam ile örtüşmektedir ve bunlar sıklıkla aynı olur. Bu da tüm kontrollü çıkışlar sıklıkla ölçülmesi demektir. Çoğunlukla y , z olarak kabul edilir ve C 'yi hem C_y hem de C_z , m 'yi de hem m_y hem de m_z olarak kullanılır. t indeksi ise zaman adımlarını göstermektedir.

Bu formatta bir standart kullanılmasının sebebi lineer sistemlerin ve kontrolün standart teorisi ile paralel olmasını sağlamaktır. Bu modeli ölçülen veya ölçülmeyen hataların ve ölçme gürültüsünün etkilerini dâhil etmek için genelleştirilebilir.

Davranışların t zaman adımlarındaki sırası şu şekilde kabul edilir.

1. Ölçme değerleri alınır $y(t)$,
2. Gerekli sistem girişleri hesaplanır $u(t)$,
3. $u(t)$ sisteme uygulanır.

Ölçülen $y(t)$ ve sisteme uygulanan $u(t)$ arasında daima bir gecikme söz konusudur. Dolayısıyla ölçülen çıkış eşitliğinde, $u(t)$ 'dan $y(t)$ 'ya asla bir “doğrudan besleme” olmayacaktır. Bu sebeple model “tam anlamıyla uygun” denilebilir. Kontrol edilen çıkışlar $z(t)$ prensip olarak $u(t)$ 'ya bağlı olabilir [52].

Öngörü modeli aşağıdaki gibidir;

$$\hat{y}(t+k|t) = C \cdot \hat{x}(t+k|t) = C \cdot \left[A^k \cdot x(t) + \sum_{i=1}^k A^{i-1} \cdot B \cdot u(t+k-i|t) \right] \quad (8.12)$$

Bu gösterimin avantajlarından biri, tek değişkenli sistemlerdeki gösterim aynı şekilde çok değişkenli sistemlerde de kullanılabilmesidir. Kontrol kuralı, durum vektörünün lineer bir kombinasyonun geri beslemesi olarak elde edilmiştir. Eğer bazı durumlar izlenemiyorsa bu durumda bir gözlemleyici tasarlanıp öngörü algoritmasına eklenmesi gerekmektedir [52].

8.3 Model Öngörülü Sistemlerde Kullanılan Parametreler

8.3.1 Amaç fonksiyonu

Farklı Model Öngörülü Kontrol algoritmaları kontrol kuralını belirlemek amacıyla farklı amaç fonksiyonları belirler. Amaç fonksiyonundaki genel amaç istenen öngörü ufukunda gelecekteki sistem çıkışının daha önceden belirlenmiş bir referans sinyalinin takip etmesi ve aynı zamanda gerekli kontrol sinyalinin de belli sınırlar içinde tutulup cezalandırılmasıdır. Tüm bu amaçları sağlayan amaç fonksiyonu için genel ifade 8.13 bağıntısı ile ifade edilir [52].

$$J(N_1, N_2, N_u) = \sum_{j=N_1}^{N_2} \delta(j) \cdot [\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \lambda(j) \cdot [\Delta u(t+j-1)]^2 \quad (8.13)$$

8.3.2 Öngörü ve kontrol ufukları

Amaç fonksiyonunda ifade edilen N_1 ve N_2 sırasıyla minimum ve maksimum öngörü ufuklarına karşılık gelmekte olup, N_u ise kontrol ufuğu olarak adlandırılmaktadır. $\delta(j)$ ve $\lambda(t)$ katsayıları ise amaç fonksiyonunda gelecekteki sistem davranışını belirleyen ağırlık katsayılarıdır. Bu katsayılar genellikle sabit değerler veya üstel ifadeler olarak seçilebilirler. Örnek olarak, (8.14)'de gösterildiği gibi seçildiğinde bu durumda üstel bir ağırlık katsayısı seçilmiş olur [13].

$$\delta(j) = \alpha^{N_2-j} \quad (8.14)$$

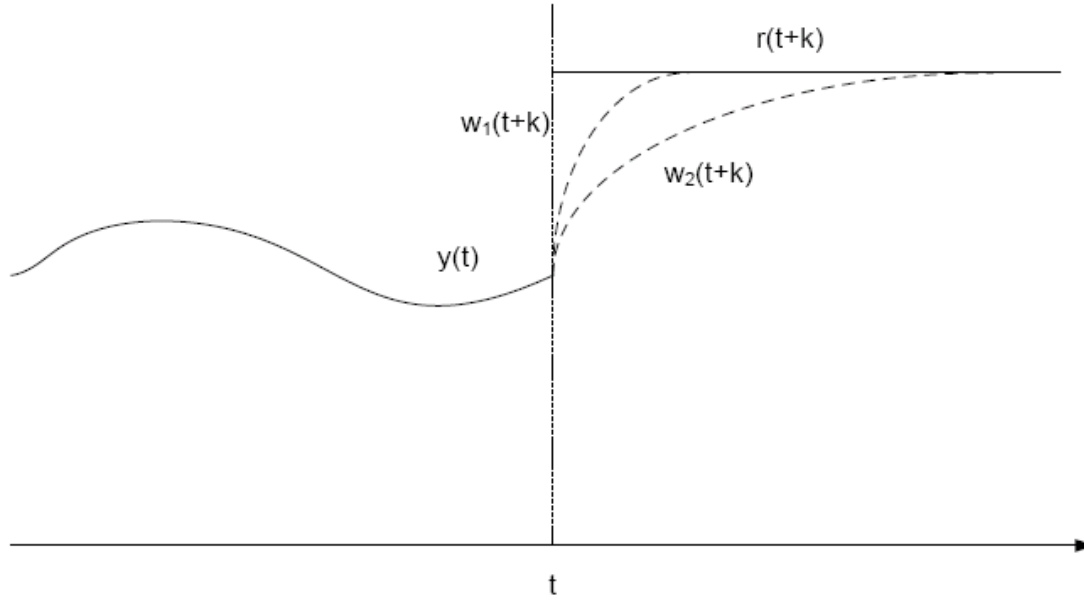
Eğer $0 < \alpha < 1$ seçilirse bu durumda t anından en uzaktaki hatalar, t anına daha yakın hatalara göre daha fazla cezalandırılırken sistem cevabının istenilen referans değerine yükselmesine daha düz bir şekil verir ve daha az bir kontrol sinyali uygulanmasını sağlar. Öte yandan, eğer $1 > \alpha$ seçilirse bu durumda ilk hatalar daha fazla cezalandırılıp daha sıkı bir kontrol sinyali uygulanmış olur. Anlatılan katsayıların tamamı, standart bir kontrol sinyalinden özel prosesler için ölçüm yapılarak hesaplanan tüm kontrol sinyallerine kadar endüstride kullanılan tüm model öngörülü kontrol algoritmaları için ayar parametreleri olarak kullanılabilirler [13].

8.3.3 Referans yörüngesi

Model Öngörülü Kontrol algoritmalarının avantajlarından biri de eğer gelecekteki referans değerleri biliniyorsa, referans değişikliği sistemin cevabını etkilemeden

sistem bu değişikliğe kendini adapte ederek sistem cevabında olabilecek gecikmelerin önüne geçilecektir (Şekil 8.5).

Robot çalışmaları, servolar ve kesikli prosesler gibi pek çok uygulamada referansın gelecekteki durumu olan $r(t+k)$ daha önceden bilinmektedir. Model Öngörülü Kontrol algoritmalarının büyük bölümünde, sistemin o andaki çıkış değerinden istenilen referansa doğru düzgün yaklaşım olan $w(t+k)$ kullanılır [53].



Şekil 8.5 : Referans yörüngesi.

$$w(t) = y(t) \quad w(t+k) = \alpha \cdot w(t+k+1) + (1-\alpha) \cdot r(t+k) \quad k = 1, \dots, N \quad (8.15)$$

$0 < \alpha < 1$ değeri ayarlanabilen bir değer olup, sistemin dinamik cevabını etkilemektedir. Şekilde görüldüğü gibi $r(t+k)$ referans değeri sabit seçilmiş olup α parametresinin iki farklı değeri için durum incelenmiştir.

Şekil 8.5’de gösterildiği gibi parametresinin küçük değerleri için referansı hızlı takip edebilme yeteneği (w_1) ön plandayken, daha büyük α değerlerinde referans yörüngesine daha düzgün bir yükselme cevabı (w_2) sağlamaktadır [13].

8.4 Durum-Uzay Modele Dayanan Öngörülü Kontrol

8.4.1 Durum-uzay gösterimi

Herhangi bir sisteme ait durum-uzay gösterimini en kapsamlı olarak aşağıdaki gibi gösterebiliriz;

$$x(t+1) = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + P \cdot v(t) \quad (8.16)$$

$$y(t) = C \cdot x(t) + w(t)$$

Burada x , durum vektörü, u , giriş vektörü, y , ölçülen çıkışların vektörü, v , bozucuların vektörü ve w , ölçülebilir gürültünün vektörüdür.

t indeksi ise zaman adımlarını göstermektedir.

8.4.2 Çok adımlı öngörülen çıkış

Öngörü modelini kullanarak gelecekteki $t+1$ anında çıkış aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\begin{aligned} y(t+1|t) &= C \cdot x(t+1|t) + w(t+1|t) \\ &= C \cdot A \cdot x(t|t) + C \cdot B \cdot u(t|t) + C \cdot P \cdot v(t|t) + w(t+1|t) \end{aligned} \quad (8.17)$$

Bu öngörülen çıkış bağıntısından (8.17), $t+1$, $t+2, \dots$, $t+N_2$ anlarındaki çıkışlar durum gözlemleyicisi tarafından aşağıdaki biçimde tanımlanır:

$$x(t+1|t) = A \cdot x(t|t) + B \cdot u(t|t) + P \cdot v(t|t) \quad (8.18)$$

Gelecek için öngörülen durumlar;

$$x(t+1|t) = A \cdot x(t|t) + B \cdot u(t|t) + P \cdot v(t|t)$$

$$x(t+2|t) = A \cdot x(t+1|t) + B \cdot u(t+1|t) + P \cdot v(t+1|t)$$

$$= A^2 \cdot x(t|t) + A \cdot B \cdot u(t|t) + B \cdot u(t+1|t) + A \cdot P \cdot v(t|t) + P \cdot v(t+1|t)$$

$$x(t+3|t) = A \cdot x(t+2|t) + B \cdot u(t+2|t) + P \cdot v(t+2|t)$$

$$= A^3 \cdot x(t|t) + A^2 \cdot B \cdot u(t|t) + A \cdot B \cdot u(t+1|t) + B \cdot u(t+2|t)$$

$$+ A^2 \cdot P \cdot v(t|t) + A \cdot P \cdot v(t+1|t) + P \cdot v(t+2|t)$$

$$\begin{aligned}
x(t + N_2 | t) &= A \cdot x(t + N_2 - 1 | t) + B \cdot u(t + N_2 - 1 | t) + P \cdot v(t + N_2 - 1 | t) \\
&= A^{N_2} \cdot x(t | t) + A^{N_2-1} \cdot B \cdot u(t | t) + \dots + B \cdot u(t + N_2 - 1 | t) \quad (8.19) \\
&\quad + A^{N_2-1} \cdot P \cdot v(t | t) + A^{N_2-2} \cdot P \cdot v(t + 1 | t) + \dots + P \cdot v(t + N_2 - 1 | t)
\end{aligned}$$

Yukarıdaki bağıntıda, girişin $t, (t+1), \dots, (t+N_u-1)$ anında değiştiği bundan sonraki adımlarda sabit olduğu varsayılmıştır.

Bu yüzden, $N_u \leq i \leq N_2-1$ için $u(t+i|t)=u(t+N_u-1)$ eşitliği sağlanacaktır. t anındaki $u(t-1)$ girişi bilindiğinden dolayı öngörülecek kontrol sinyali dizisinin zamanla değişimi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\begin{aligned}
\Delta u(t | t) &= u(t | t) - u(t - 1) \\
\Delta u(t + 1 | t) &= u(t + 1 | t) - u(t | t) \\
&\vdots \\
\Delta u(t + N_u - 1 | t) &= u(t + N_u - 1 | t) - u(t + N_u - 2 | t)
\end{aligned}$$

Buradan öngörülen kontrol sinyali dizisi;

$$\begin{aligned}
u(t | t) &= \Delta u(t | t) + u(t - 1) \\
u(t + 1 | t) &= \Delta u(t + 1 | t) + \Delta u(t | t) + u(t - 1) \\
&\vdots \\
u(t + N_u - 1 | t) &= \Delta u(t + N_u - 1 | t) + \dots + \Delta u(t | t) + u(t - 1)
\end{aligned}$$

olarak bulunur.

Bir sonraki adım olarakta bu kontrol sinyali dizisi öngörülen durum dizisinin içine yerleştirilir.

$$x(t+1|t) = A \cdot x(t|t) + B \cdot [\Delta u(t|t) + u(t-1)] + P \cdot v(t|t)$$

$$x(t+2|t) = A^2 \cdot x(t|t) + A \cdot B \cdot [\Delta u(t|t) + u(t-1)] + B \cdot [\Delta u(t+1|t) + \Delta u(t|t) + u(t-1)]$$

$$+ A \cdot P \cdot v(t|t) + P \cdot v(t+1|t)$$

$$= A^2 \cdot x(t|t) + (A+I) \cdot B \cdot \Delta u(t|t) + B \cdot \Delta u(t+1|t) + (A+I) \cdot B \cdot u(t-1)$$

$$+ A \cdot P \cdot v(t|t) + P \cdot v(t+1|t)$$

$$\vdots$$

$$x(t+N_u|t) = A^{N_u} \cdot x(t|t) + (A^{N_u-1} + \dots + A + I) \cdot B \cdot \Delta u(t|t) + \dots + B \cdot \Delta u(t+N_u-1|t)$$

$$+ (A^{N_u-1} + \dots + A + I) \cdot B \cdot u(t-1) + A \cdot P \cdot v(t|t) + P \cdot v(t+1|t)$$

$$x(t+N_u+1|t) = A^{N_u+1} \cdot x(t|t) + (A^{N_u} + \dots + A + I) \cdot B \cdot \Delta u(t|t) + \dots$$

$$+ (A+I) \cdot B \cdot \Delta u(t+N_u-1|t) + (A^{N_u} + \dots + A + I) \cdot B \cdot u(t-1)$$

$$+ A^{N_u} \cdot P \cdot v(t|t) + A^{N_u-1} \cdot P \cdot v(t+1|t) + \dots + P \cdot v(t+N_u|t)$$

$$x(t+N_2|t) = A^{N_2} \cdot x(t|t) + (A^{N_2-1} + \dots + A + I) \cdot B \cdot \Delta u(t|t) + \dots$$

$$+ (A^{N_2-N_u} + \dots + A + I) \cdot B \cdot \Delta u(t+N_u-1|t)$$

$$+ (A^{N_p-1} + \dots + A + I) \cdot B \cdot u(t-1)$$

$$+ A^{N_2-1} \cdot P \cdot v(t|t) + A^{N_2-2} \cdot P \cdot v(t+1|t) + \dots + P \cdot v(t+N_2-1|t)$$

Yukarıda elde ettiğimiz durum öngörüsü aşağıdaki gibi matris – vektör biçiminde yazılabilir:

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} x(t+1|t) \\ x(t+2|t) \\ \vdots \\ x(t+N_u|t) \\ x(t+N_u+1|t) \\ \vdots \\ x(t+N_2+1|t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} A \\ A^2 \\ \vdots \\ A^{N_u} \\ A^{N_u+1} \\ \vdots \\ A^{N_2} \end{bmatrix} \cdot x(t|t) + \underbrace{\begin{bmatrix} B \\ A \cdot B \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_u-1} A^i \cdot B \\ \sum_{i=0}^{N_u} A^i \cdot B \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_2-1} A^i \cdot B \end{bmatrix}}_{GEÇMİŞ} \cdot u(t-1) \\
 &+ \underbrace{\begin{bmatrix} B & \dots & 0 \\ A \cdot B + B & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_u-1} A^i \cdot B & \dots & B \\ \sum_{i=0}^{N_u} A^i \cdot B & \dots & A \cdot B + B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_2-1} A^i \cdot B & \dots & \sum_{i=0}^{N_2-N_u} A^i \cdot B \end{bmatrix}}_{GELECEK} \cdot \begin{bmatrix} \Delta u(t|t) \\ \Delta u(t+1|t) \\ \vdots \\ \Delta u(t+N_u-1|t) \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} P & 0 & \dots & 0 \\ A \cdot P & P & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{N_u-1} \cdot P & A^{N_u-2} \cdot P & \dots & 0 \\ A^{N_u} \cdot P & A^{N_u-1} \cdot P & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{N_2} \cdot P & A^{N_2-1} \cdot P & \dots & P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v(t|t) \\ v(t+1|t) \\ \vdots \\ v(t+N_u-1|t) \\ v(t+N_u|t) \\ \vdots \\ v(t+N_2-1|t) \end{bmatrix} \quad (8.20)
 \end{aligned}$$

Buradan $t, (t+1), \dots, (t+N_u-1)$ anındaki öngörülen çıkış değerleri kolaylıkla bulunabilir:

$$\begin{aligned}
 y(t+1|t) &= C \cdot x(t+1|t) + w(t+1|t) \\
 y(t+2|t) &= C \cdot x(t+2|t) + w(t+2|t) \\
 &\vdots \\
 y(t+N_2|t) &= C \cdot x(t+N_2|t) + w(t+N_2|t)
 \end{aligned} \quad (8.21)$$

Buradan çıkışın öngörüsü aşağıdaki gibi (8.22) matris-vektör biçiminde yazılabilir:

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} y(t+1|t) \\ y(t+2|t) \\ \vdots \\ y(t+N_u|t) \\ y(t+N_u+1|t) \\ \vdots \\ y(t+N_2+1|t) \end{bmatrix} = C \cdot \begin{bmatrix} A \\ A^2 \\ \vdots \\ A^{N_u} \\ A^{N_u+1} \\ \vdots \\ A^{N_2} \end{bmatrix} \cdot x(t|t) + C \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} B \\ A \cdot B + B \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_u-1} A^i \cdot B \\ \sum_{i=0}^{N_u} A^i \cdot B \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_2-1} A^i \cdot B \end{bmatrix}}_{\text{GFCMS}} \cdot u(t-1) \\
 & + C \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} B & \dots & 0 \\ A \cdot B + B & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_u-1} A^i \cdot B & \dots & B \\ \sum_{i=0}^{N_u} A^i \cdot B & \dots & A \cdot B + B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_2-1} A^i \cdot B & \dots & \sum_{i=0}^{N_2-N_u} A^i \cdot B \end{bmatrix}}_{\text{GFLCBK}} \cdot \begin{bmatrix} \Delta u(t|t) \\ \Delta u(t+1|t) \\ \vdots \\ \Delta u(t+N_u-1|t) \end{bmatrix} \\
 & + C \cdot \begin{bmatrix} P & 0 & \dots & 0 \\ A \cdot P & P & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{N_u-1} \cdot P & A^{N_u-2} \cdot P & \dots & 0 \\ A^{N_u} \cdot P & A^{N_u-1} \cdot P & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{N_2} \cdot P & A^{N_2-1} \cdot P & \dots & P \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v(t|t) \\ v(t+1|t) \\ \vdots \\ v(t+N_u-1|t) \\ v(t+N_u|t) \\ \vdots \\ v(t+N_2-1|t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w(t+1|t) \\ w(t+2|t) \\ \vdots \\ w(t+N_u-1|t) \\ w(t+N_u|t) \\ \vdots \\ w(t+N_2-1|t) \end{bmatrix} \quad (8.22)
 \end{aligned}$$

8.22 bağıntısındaki ifade daha kısa şekilde yazılacak olursa;

$$F = C \cdot \begin{bmatrix} A \\ A^2 \\ \vdots \\ A^{N_u} \\ A^{N_u+1} \\ \vdots \\ A^{N_2} \end{bmatrix},$$

$$H_p = C \cdot \begin{bmatrix} B \\ A \cdot B + B \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_u-1} A^i \cdot B \\ \sum_{i=0}^{N_u} A^i \cdot B \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_2-1} A^i \cdot B \end{bmatrix},$$

$$H_n = C \cdot \begin{bmatrix} B & \dots & 0 \\ A \cdot B + B & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_u-1} A^i \cdot B & \dots & B \\ \sum_{i=0}^{N_u} A^i \cdot B & \dots & A \cdot B + B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{N_2-1} A^i \cdot B & \dots & \sum_{i=0}^{N_2-N_u} A^i \cdot B \end{bmatrix},$$

$$H_d = C \cdot \begin{bmatrix} P & 0 & \dots & 0 \\ A \cdot P & P & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{N_u-1} \cdot P & A^{N_u-2} \cdot P & \dots & 0 \\ A^{N_u} \cdot P & A^{N_u-1} \cdot P & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{N_2} \cdot P & A^{N_2-1} \cdot P & \dots & P \end{bmatrix} \quad (8.23)$$

$$Y(t+j|t) = [y(t+1|t), \dots, y(t+N_2|t)]^T$$

$$X(t+j|t) = [x(t+1|t), \dots, x(t+N_2|t)]^T$$

$$\Delta U(t+j-1|t) = [\Delta u(t|t), \dots, \Delta u(t+N_u-1|t)]^T$$

$$V(t+j-1|t) = [v(t|t), \dots, v(t+N_2-1|t)]^T$$

$$W(t+j|t) = [w(t+1|t), \dots, w(t+N_2-1|t)]^T$$

Sistemin çıkışının öngörüsü en genel halde aşağıdaki gibi yazılır:

$$Y(t+j|t) = F \cdot x(t|t) + H_p \cdot u(t-1) + H_n \cdot \Delta U(t+j-1|t) + H_d \cdot V(t+j-1|t) + W(t+j|t) \quad (8.24)$$

$$\begin{aligned} Y^*(t+j|t) &= F \cdot x(t|t) + H_p \cdot u(t-1) + H_n \cdot \Delta U(t+j-1|t) \\ \varepsilon(t+j|t) &= H_d \cdot V(t+j-1|t) + W(t+j|t) \end{aligned} \quad (8.25)$$

$$Y(t+j|t) = Y^*(t+j|t) + \varepsilon(t+j|t)$$

8.4.3 Amaç fonksiyonunun yapısı

$$J(N_1, N_2) = E \left\{ \sum_{i=N_1}^{N_2} q(j) \cdot [Y(t+j|t) - Y_r(t+j|t)]^2 + \sum_{i=1}^{N_u} \lambda(j) \cdot [\Delta u \cdot (t+j-1|t)]^2 \right\} \quad (8.26)$$

Genel amaç, hedeflenen ufuktaki gelecek çıkış belirlenmiş referansı takip etmeli ve aynı anda gerekli kontrol performansı ile ağırlıklandırılmalıdır. Çeşitli MPC algoritmaları farklı amaç fonksiyonları sunarlar. N_1 ve N_2 minimum ve maksimum amaçlanan ufuk olup N_u kontrol ufuğudur. N_1 ve N_2 tamamen sezgiseldir. Anlık limitleri belirtir. Bu limitler referansı takip eden çıkış için istenilir. İkinci terim kontrol performansını temsil eder ve hesaba katılmayabilir. Eğer model lineer ve de kısıtlamalar yoksa kuadratik amaç fonksiyonu için analitik bir çözüm elde edilir. Aksi takdirde çeşitli iteratif optimizasyon metotlarına başvurulur. Amaç fonksiyonu minimize edildiğinde optimal kontrol kanunu aşağıdaki 8.26 bağıntısında gösterildiği gibi elde edilir.

$$U = (H_n^T \cdot q(j) \cdot H_n + \lambda(j))^{-1} \cdot H_n^T \cdot [Y_r(t+j|t) - (F \cdot x(t|t) + H_p \cdot u(t-1))] \quad (8.27)$$

9. HAVA-JETİ İLE TEKSTÜRE YAPAN BÜKÜM MAKİNASININ SİSTEM TANILAMASI VE MODEL ÖNGÖRÜLÜ KONTROLÜ

9.1 Giriş

Sistem tanılama, sistem üzerinden ölçülen giriş-çıkış verilerini kullanarak, dinamik sistemlerin matematiksel modelini oluşturma olarak tanımlanır. Bu işlem esas olarak verilen bir model üzerinde parametrelerin sistem çıkışıyla uyuşuncaya kadar ayarlanmasıyla yapılır. Elde edilen modelin geçerliliği için tanılama işleminde kullanılmamış olan veriler model çıkışıyla sınanır. Bu teknik çok genelleşmiş modellere uygulanır.

En çok kullanılan, fark denklemleri tanımlaması şeklinde olan ARX, ARMAX v.b. zaman serisi modeller yanında, bütün doğrusal durum-uzay modeli tiplerine de uygulanır. Parametrik modelleme için model yapısının tanımlanması gereklidir. Bu işlem basitçe model mertebesinin belirlenmesiyle yapılır [29].

Dinamik sistemlerin giriş-çıkış verilerinden faydalanarak tanılamasını yapmak için üç temel unsura ihtiyaç duyulur;

- Sisteme ait giriş-çıkış veri seti,
- Öncede tanılanmış olan model yapılarından birinin seçimi,
- Tanılama metodudur.

Tanılama prosesi boyunca model yapılarının hepsi denenerek sisteme en uygun olan model yapısı belirlenir.

Sistem tanılama aşamaları;

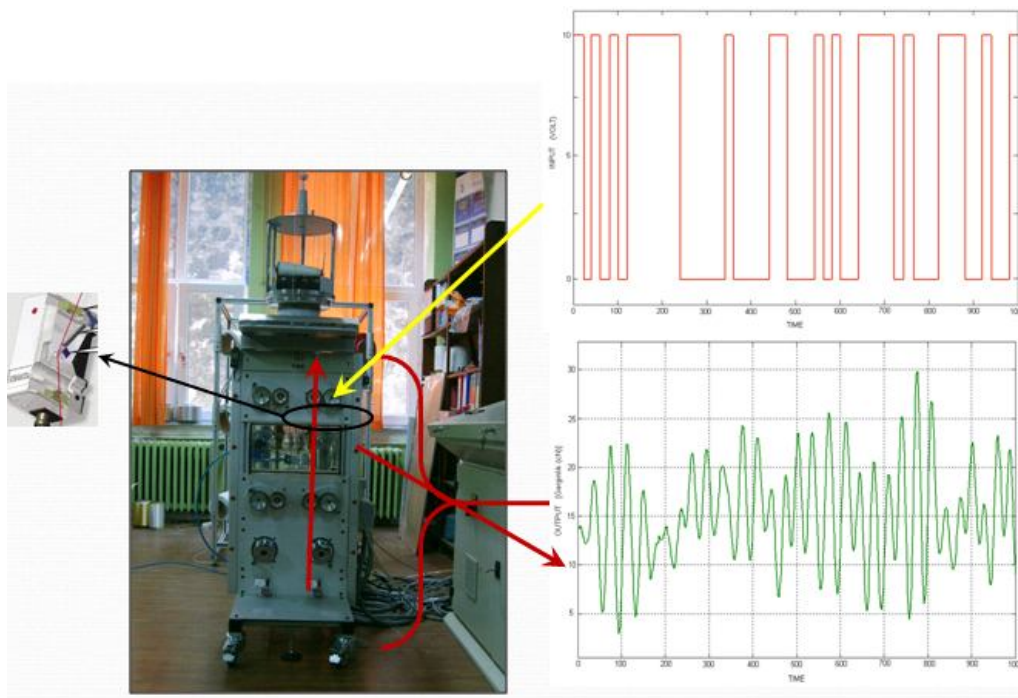
1. Tanılanacak sistemin deney tesisatının tasarlanarak, giriş-çıkış verisinin elde edilmesi,
2. Veriler incelenerek gerekiyorsa filtreleme yapılması,
3. Bir model tipi seçilerek yapısının tanımlanması,
4. Giriş-çıkış değerlerine bakılarak, en optimum modelin verilen bir eğri uyarlama kriterine göre hesaplanması,
5. Model özelliklerinin araştırılması,

6. Model yapısının belirlenmesi,
7. Modelin geçerliliğinin test edilmesi,
8. Eğer model yeterliyse sistem tanılama işlemi sonlandırılır. Aksi takdirde başka model denenir.

9.2 Hava-Jetiyle Tekstüre Yapan Büküm Makinasında Veri Toplama Sistemi

Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasındaki PLC'de veri toplama birimleri sırasıyla aşağıda açıklanmıştır (Şekil 9.1).

1. Dijital Giriş/Çıkış Birimi,
2. Analog Giriş/Çıkış Birimi,
3. İplik Gerginliği Ölçüm Sensörleridir.



Şekil 9.1 : Makinanın veri toplama sistemi.

9.2.1 Örnekleme frekansının seçimi

Dijital kontrol sistemlerinde örnekleme frekansı tanımlanan sistemin ya da kapalı çevrimli sistem için istenilen bant genişliğine göre seçilir (Genelde aynı boydadırlar).

Sistemin dinamik karakteristiği ya da istenilen kapalı çevrimli sistemin performansı nasıl tayin edilirse edilsin mutlaka sistemin bant genişliğiyle ilgilenilecektir.

Örnekleme frekansını seçiminin ana kuralı;

$$f_s = (6 - 25) \cdot f_b \quad (9.1)$$

f_s örnekleme frekansı olup, f_b ise sistemin bant genişliğidir. Bu kural zaman domenine de uyarlanabilir. Buradaki ana kural basamak cevabı t_r aşma zamanında örnekleme sayısı 3'ten büyük 12'den küçük olmak zorundadır. Örnek, örnekleme periyodu T_s olarak verilsin;

$$T_s = t_r / (3 - 12) \quad (9.2)$$

Özel olarak T zaman sabiti tarafından temsil edilen 1. mertebeden sürekli zamanlı sistemin örnekleme periyodu şu şekilde seçilir;

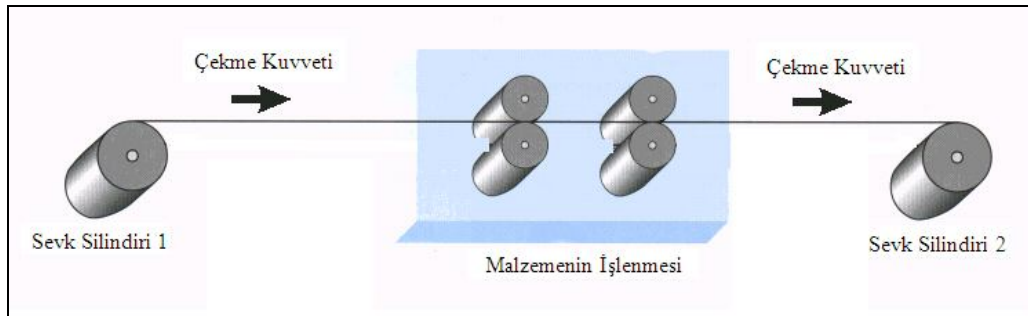
$$\frac{T}{4} < T_s < T \quad (9.3)$$

Doğal rezonans frekansı $\omega_0 (rad/s)$, sönüm oranı 0.7 ve 1 arasında olan 2. mertebeden sürekli zamanlı sistem için örnekleme periyodu şu ilişkiyi sağlamalıdır;

$$0.25 < \omega_0 \cdot T_s < 1.5 \quad (9.4)$$

9.3 Hava-Jetiyle Tekstüre Yapan Büküm Makinasında İplik Sevkinde Oluşan Gerginliğin Teorik Modeli

Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasında iplik transfer sistemi mekanik bir sistem olup gerginlik, ipliğin bir sevk silindirinden (boşalan bobin) diğer bir sevk silindirine (sarılan bobin) doğru hareket etmesi sonucunda meydana gelir (Şekil 9.2).

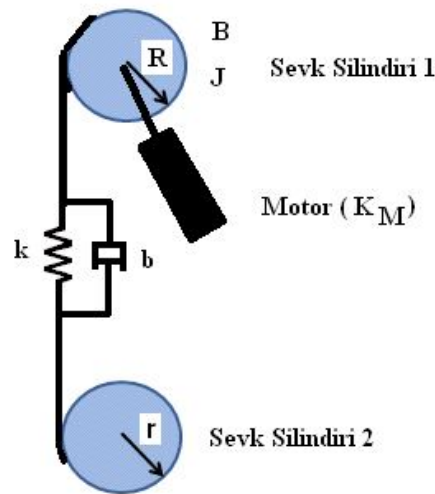


Şekil 9.2 : İplik sevki süreci [58].

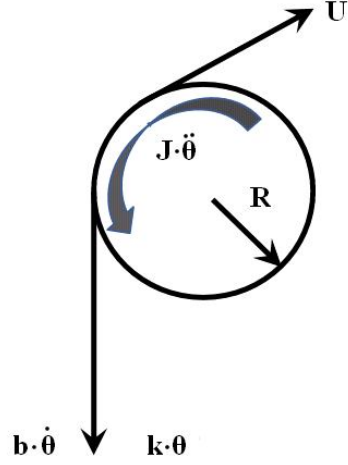
Bu çalışmada, motorun sadece sarıcı sevk silindirini tahrik ettiği varsayımında bulunulmuştur. Dolayısıyla diğer sevk silindiri sabittir. İpliğin hassasiyet süreci gerginlikle alakalıdır ve ipliğin taşındığı sevk silindirleri arasındaki hız farkı ile değişmektedir. Bu yüzden bir iplikte oluşacak gerginliği kontrol etmek için iplik sevk silindirinin hızını kontrol edecek bir mekanizmaya ihtiyaç duyulur. Bu sistem modelinde, 4 varsayım yapılmıştır:

1. İplik yay ve damper elemanından meydana gelir.
2. Sarıcı sevk silindiri sadece hareketlidir.
3. Her bir sevk silindirinin yarıçapı iplik transfer edildikçe değişmez.
4. Sürtünme kuvveti küçük olup ihmal edilmiştir.

İpliğin transferini temsil eden sistem aşağıdaki şekilde gibidir [30-31]. Denge konumundaki ip Şekil 9.3'te gösterildiği gibi yay-damper sistemi gibi düşünülebilir ve belli bir noktaya kadar gerilebilmektedir. Daha sonrasında iplik kopmakta ve hatalı üretime neden olmaktadır. Makina 3 adet FDY 167/48 Polyester iplik ile beslenildiğinde yapılan deneyler sonucunda gerginlik değerinin 40-50 cN'den sonrası tehlikeli olmakta, güvenilir çalışma gerginliğinin sağlanabilmesi için 18 cN civarında sabitlenmesi amaçlanmaktadır. Şekil 9.4'de herhangi bir konumda, silindir ek olarak θ açısı kadar bir açısal yer değiştirme yapmaktadır ve ipte $k\theta$ kadar bir gerilim oluşmaktadır. Buradaki k ve b değerleri sistem tanılama sonucunda ortaya çıkmış olacaktır.



Şekil 9.3 Hava-jeti ile tekstüre yapan büküm makinasında iplik transfer sistemi.



Şekil 9.4 Sarıcı sevk silindiri.

Sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibidir;

$$(J_{Motor} + J_{Makara}) \cdot \ddot{\theta} = (-b \cdot R^2 - B_M) \cdot \dot{\theta} + (-k \cdot R^2) \cdot \theta + (K_M \cdot U) \quad (9.5)$$

Bu bağıntıdaki J sevk silindirinin, J_M ise motorun atalet momentini, k ipin gerginlik katsayısını, R silindirlerin yarıçapını, b ipliğin sönümleme katsayısını, B_M motorun sönümleme katsayısını, K_M motor zaman sabitini ve U ise giriş sinyalini temsil etmektedir.

Tek Giriş-Tek Çıkışlı (SISO) olan bu sistemin teorik olarak durum-uzay gösterimini aşağıdaki biçimde elde edebiliriz;

$$\dot{x} = A \cdot x + B \cdot u$$

$$y = C \cdot x + D \cdot u$$

$$x_1 = \theta$$

$$\dot{x}_1 = x_2 = \dot{\theta}$$

$$\dot{x}_2 = \frac{(-k \cdot R^2)}{(J_{Motor} + J_{Makara})} \cdot x_1 + \frac{(-b \cdot R^2 - B_M)}{(J_{Motor} + J_{Makara})} \cdot x_2 + \frac{K_M}{(J_{Motor} + J_{Makara})} \cdot U$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{(-k \cdot R^2)}{(J_{Motor} + J_{Makara})} & \frac{(-b \cdot R^2 - B_M)}{(J_{Motor} + J_{Makara})} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_M}{(J_{Motor} + J_{Makara})} \end{bmatrix} \cdot U$$

$$y = \begin{bmatrix} k & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

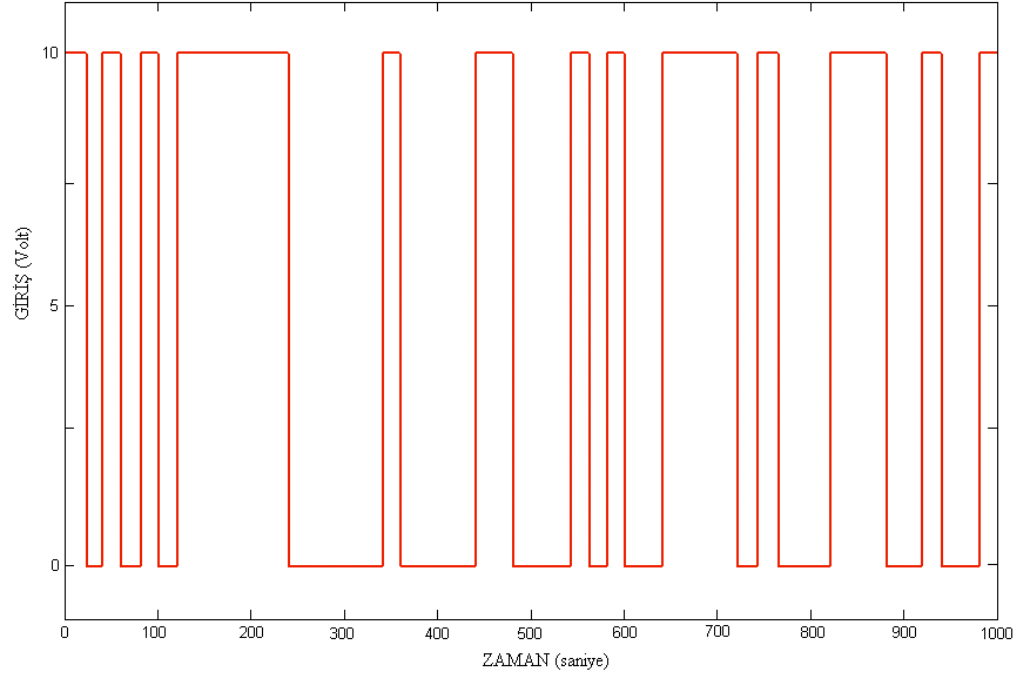
9.4 Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasının Sistem Tanılaması

Sistem tanılamada sonuç olarak elde edilecek parametrelerin doğru kestirilmesi için giriş sinyali karakteristiğinin önemi çok büyüktür. Giriş sinyalinin dağılımı sistemi tanımlayabilmek için sistemin bazı özelliklere sahip olması gerekir. Sisteme uygulanan giriş sinyalinin farklı frekanslardaki bileşenleri içermesi gerekir. Açıklayıcı örnek olarak, n adet parametreden oluşan bir sistemin tanınması yapılacaksa, giriş sinyali en az $(n+1)/2$ adet sinüzoidal bileşeni içermesi gerekir. Diğer bir deyişle, iyi bir parametre tanınması, frekans bakımından zengin bir giriş sinyaline ihtiyaç duyar. Bu nedenle, yaygın olarak kullanılan giriş fonksiyonları;

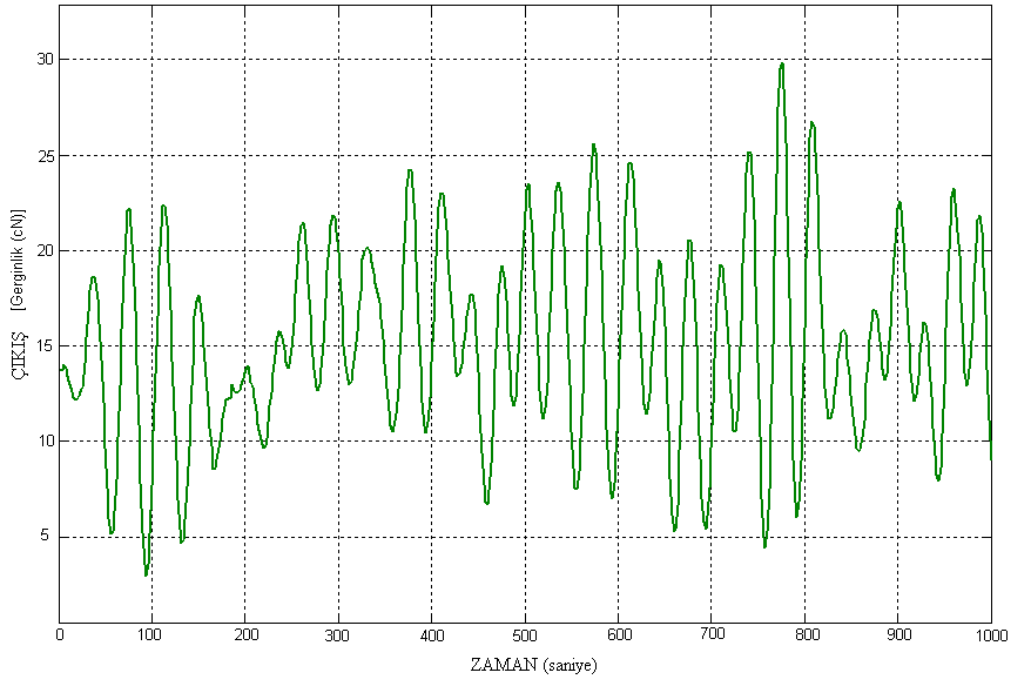
- Sözde-Rastgele İkili Diziler (PRBS-Pseudo Random Binary Sequence),
- Basamak Fonksiyonu,
- ARMA Prosesi.

Pratik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan çözüm, çok zengin frekans içeriğine sahip olan beyaz gürültü karakteristiğindeki PRBS sinyali. PRBS sinyali, kare dalga formundaki bir dizi darbelerden oluşur. Bu darbelerin genişlikleri modülasyonlu olup frekans yönünden zengin, ayrık zamanlı beyaz gürültüye yakın bir yapıdadır. Bu sinyali kullanmanın avantajı ise, sinyal genliğinin sabit olması ve darbe genişlik modülasyonu ile tanımlı sinyalin frekans içeriğinden bağımsız olmasıdır. PRBS sinyali dizi uzunluğuyla karakterize edilir. Zaman ekseninde bu sinyal periyodiktir ve bu periyot dizi uzunluğu ile ifade edilir [44].

Hava-Jeti ile Tektüre Yapan Büküm Makinasındaki sarıcı görevi olan sevk silindirine PLC yardımıyla Şekil 9.5'deki gibi 100 ms örnekleme zamanı olan PRBS sinyali gönderildikten sonra sisteme ait çıkış elde edilmiştir (Şekil 9.6).



Şekil 9.5 : Sisteme gönderilen PRBS sinyali.



Şekil 9.6 : PRBS girişine karşılık sistemin çıkışı.

Bu tez çalışmasında, Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasında 3 adet FDY 167/48 Polyester tipi ipliğin tekstüre işlemi yapılmadan sevkini gürültüsüz sistem olarak varsayıp ARX zaman serisi modeli kullanılarak sistemin deneysel modeli elde edildi. Bu model yapısının tahminindeki amaç, doğrudan sistemin giriş-çıkış verilerinden yararlanarak sisteme ait A ve B polinomlarının derecelerini ve ölü zamanı tahmin etmeye çalışmaktır. Eğer bir sistemde gürültü mevcut değilse model mertebesinin tahmini için rank testine başvurulur;

$$\hat{n} = \text{maksimum}(n_A, n_B + d) = \text{maksimum}(2, 1 + 0) = 2 \quad (9.6)$$

Buradaki $\hat{n}$ model mertebesini ($\hat{n} = 2$), n_A A polinomunun derecesini ($n_A = 2$), n_B B polinomunun derecesini ($n_B = 2$) ve d ise ölü zamanı ($d = 0$) temsil eder.

Giriş-çıkış veri dizisi $[y(1), u(1), \dots, y(N+n), u(N+n)]$ verildiğinde rank testinden mertebe $n=2$ olarak bulunduğundan a_i ve b_i parametreleri kolaylıkla tahmin edilebilir. ARX modeli aşağıdaki gibidir;

$$y(t) + a_1 \cdot y(t-1) + \dots + a_n \cdot y(t-n) = b_1 \cdot u(t-1) + \dots + b_n \cdot u(t-n) + \varepsilon(t) \quad (9.7)$$

ya da

$$A(q^{-1}) \cdot y(t) = B(q^{-1}) \cdot u(t) + \varepsilon(t) \quad (9.8)$$

Buradaki A ve B polinomları aşağıdaki görüldüğü gibi ifadelendirilir;

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 \cdot q^{-1} + \dots + a_{n_A} \cdot q^{-n_A} \quad (9.9)$$

$$B(q^{-1}) = b_1 \cdot q^{-1} + \dots + b_{n_A} \cdot q^{-n_A} \quad (9.10)$$

Çizelge 9.1 : Parametre kestimiyle elde edilen parametre değerleri.

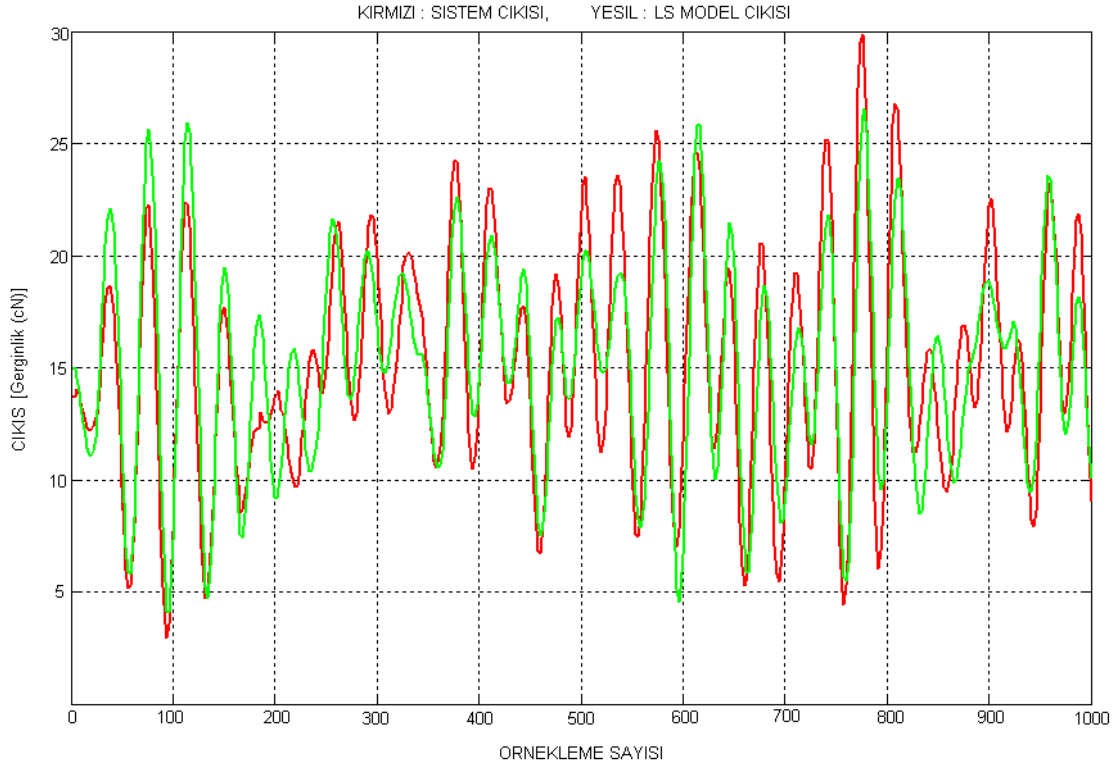
Veri Grubu	a ₀	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂
1	1	-1.5894	0.9545	0.0309	0.0877
2	1	-1.9286	0.9623	0.0305	0.0703
3	1	-1.8499	0.9532	0.0378	0.0921
4	1	-1.7101	0.9932	0.0109	0.0502
5	1	-2.0185	0.9011	0.0504	0.1140
Ortalama	1	-1.8193	0.9543	0.0307	0.0821

Bu denemelerin aritmetik ortalaması sonucu bulunan parametre değerleri $a_1 = -1.8193$, $a_2 = 0.9543$, $b_1 = 0.0307$, $b_2 = 0.0821$ olarak alındığında sistemi temsil eden modelin durum-uzay gösterimi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.9543 & 1.8193 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.0307 \\ 0.1380 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} x$$

En küçük kareler (LS) algoritmasına göre bulunan bu modelin cevabı Şekil 9.7’de gerçek sistemin cevabıyla mukayese edilmiştir.



Şekil 9.7 : LS modeli ve sistem çıkışları.

Aynı şekilde ARX tabanlı bir yöntem olan IVM algoritması sonucundaki parametre değerleri ise aşağıdaki biçimdedir;

$$a_0 = 1$$

$$a_1 = -1.8213$$

$$a_2 = 0.9643$$

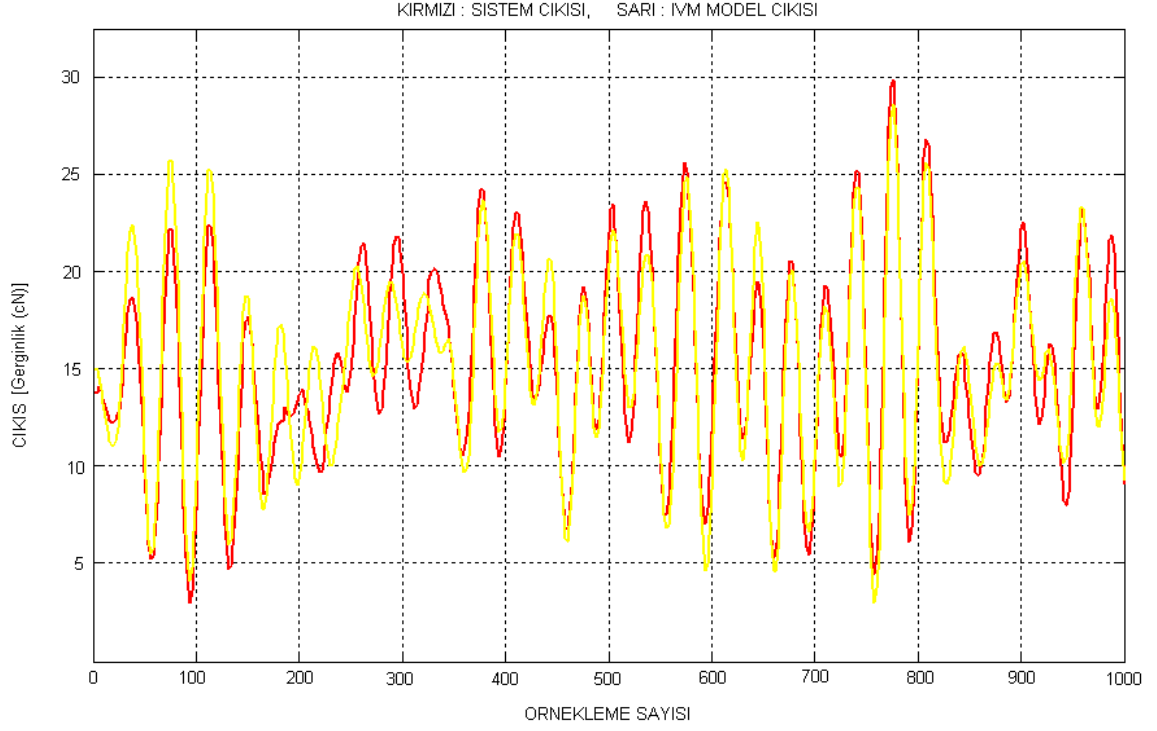
$$b_1 = -1.8193$$

$$b_2 = 0.9543$$

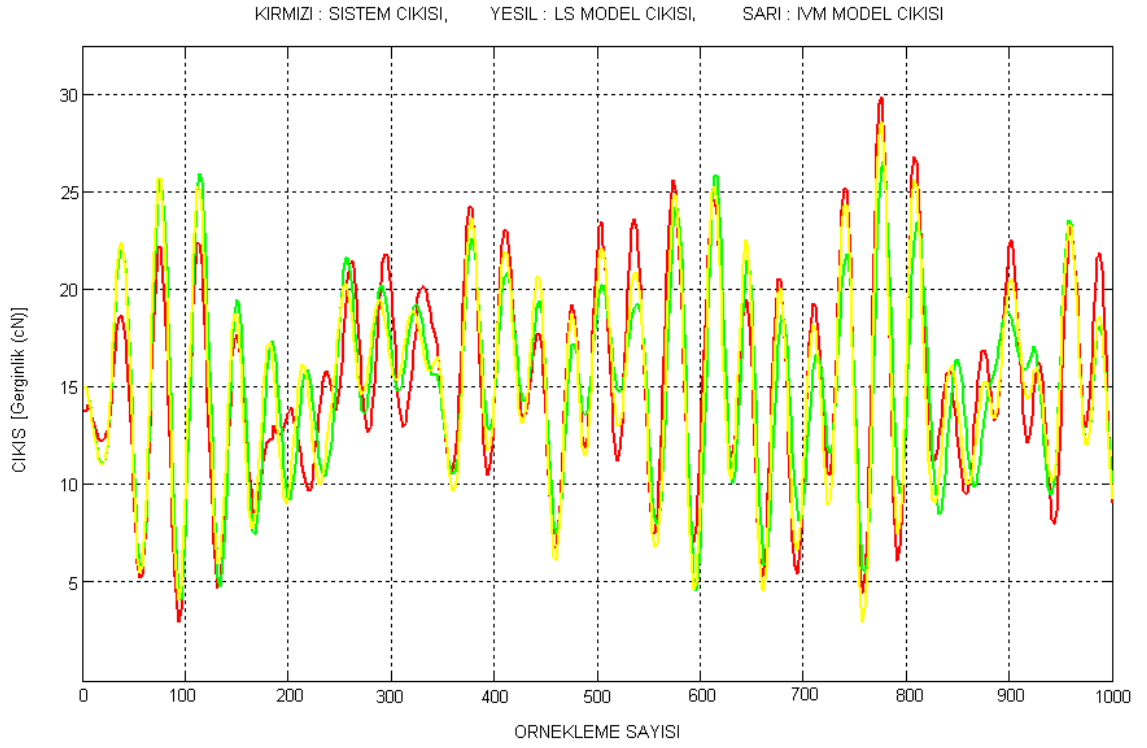
Bu modelin enstrümental değişken (IVM) algoritmasına göre durum-uzay biçiminde gösterimi aşağıda verilmiştir ve Şekil 9.8’de bu yöntem sonucu elde edilen modelin çıkışı sistemin çıkışıyla mukayese edilmiştir. Şekil 9.9’da ise ele alınan iki metot karşılaştırılmıştır.

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -0.9543 & 1.8193 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.0307 \\ 0.1380 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} x$$

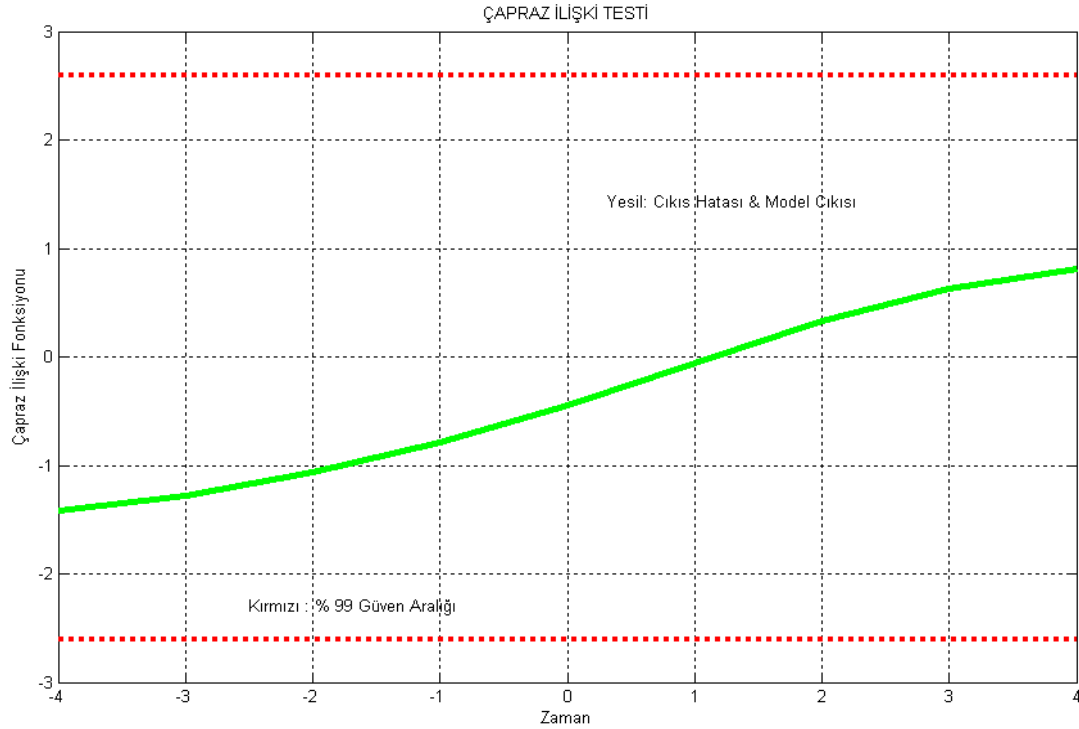


Şekil 9.8 : IVM modeli ve sistem çıkışları.

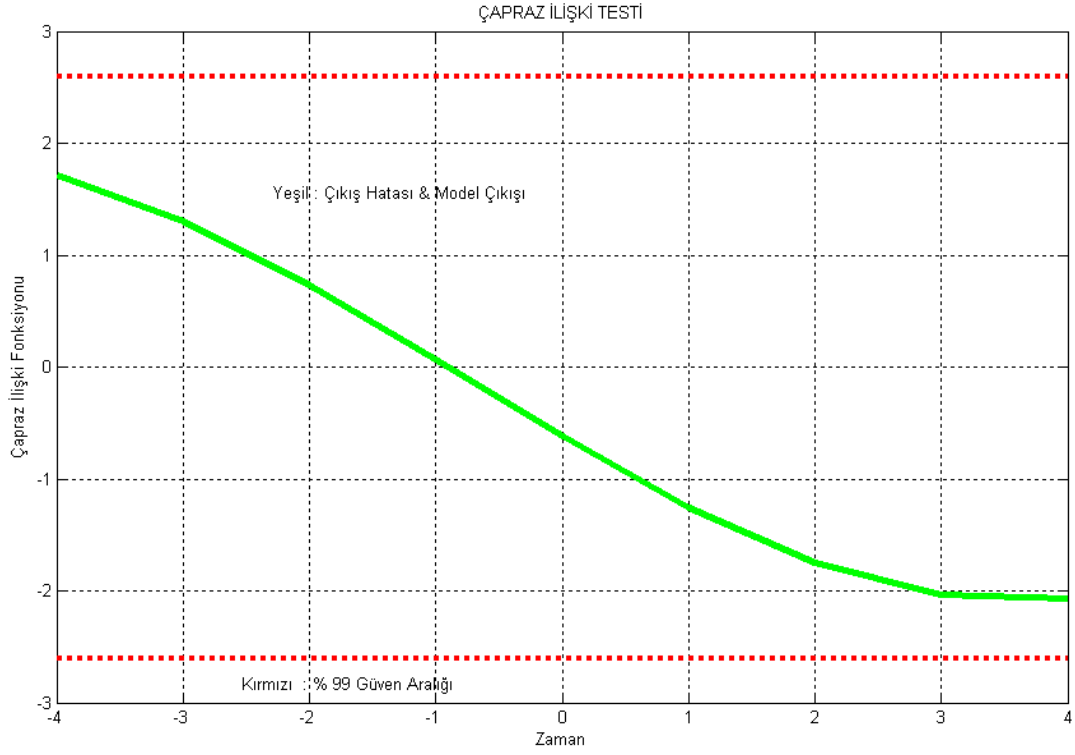


Şekil 9.9 : Sistem tanılama sonuçları.

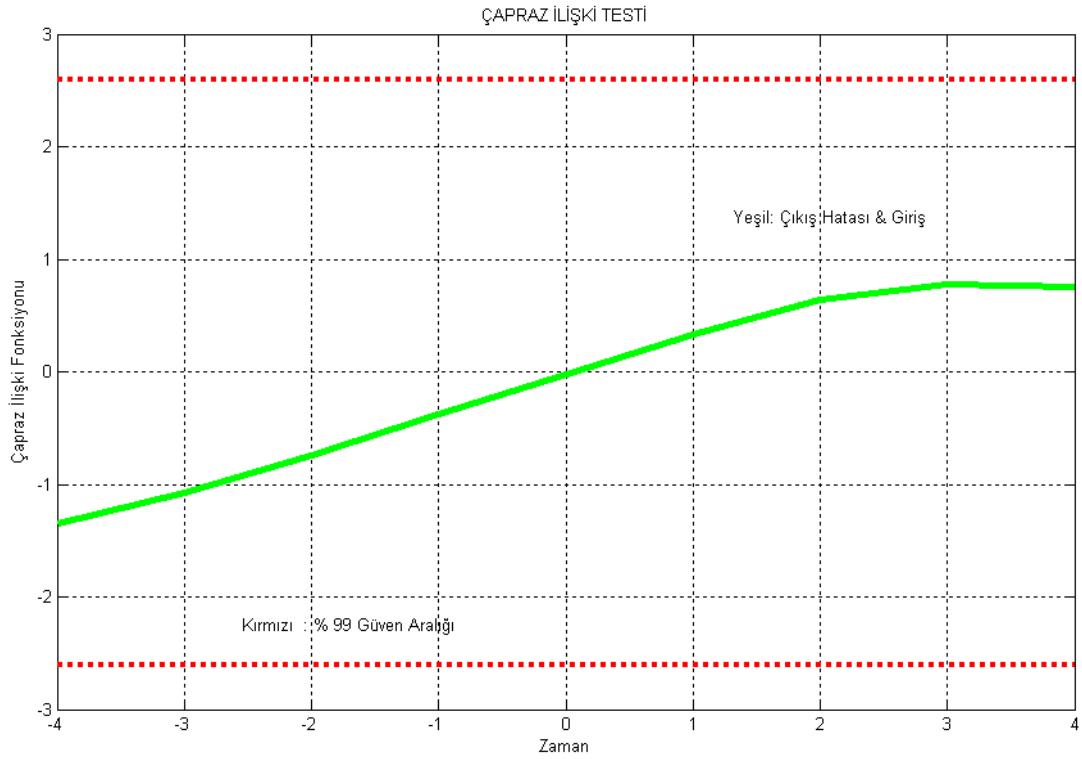
Model yapısı seçilip parametre tasarımı yapıldıktan sonra ki aşama model geçerliliğinin belirlenmesidir. Fazla parametrelili model yapısının seçimi gereksiz hesaplamalara ve işlem karmaşıklığına yol açabilir. Diğer bir yandan yetersiz parametrenin seçimi sonucu doğru olmayan bir sonuç elde edilebilir. Sistemden ölçülen veriler yardımıyla bir model oluşturulduğunda, modelin varsa yetersiz kaldığı yerleri görmek için modeli kontrol etmek yani geçerliliğini araştırmak gereklidir. Bu yüzden model yapısının geçerliliğinin test edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada model geçerliliğini belirlemede çapraz-ilişki (cross-correlation) testi %99 güven aralığı için uygulandı sonuçları Şekil 9.10, Şekil 9.11, Şekil 9.12 ve Şekil 9.13’de gösterilmiştir.



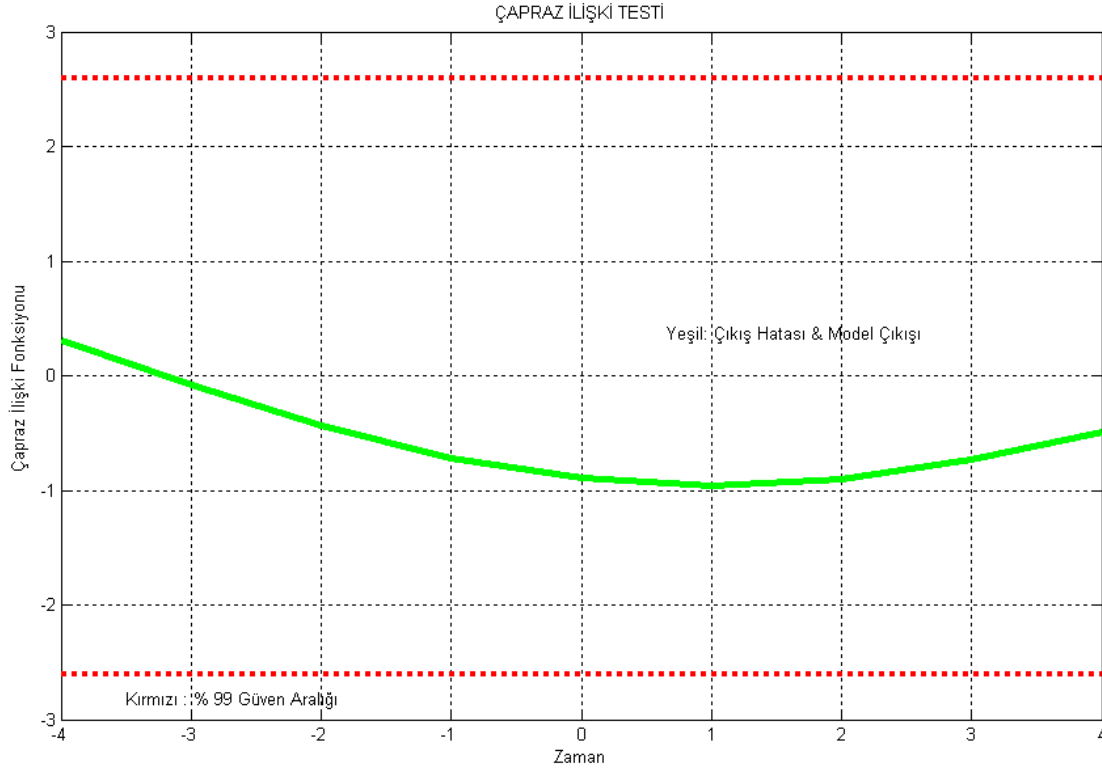
Şekil 9.10 : LS sonucunun çıkış hatası-giriş çapraz ilişki testi.



Şekil 9.11 : LS sonucunun çıkış hatası-model çıkışı çapraz ilişki testi.



Şekil 9.12 : IVM sonucunun çıkış hatası-giriş çapraz ilişki testi.



Şekil 9.13 : İVM Sonucunun çıkış hatası-model çıkışı çapraz ilişki testi.

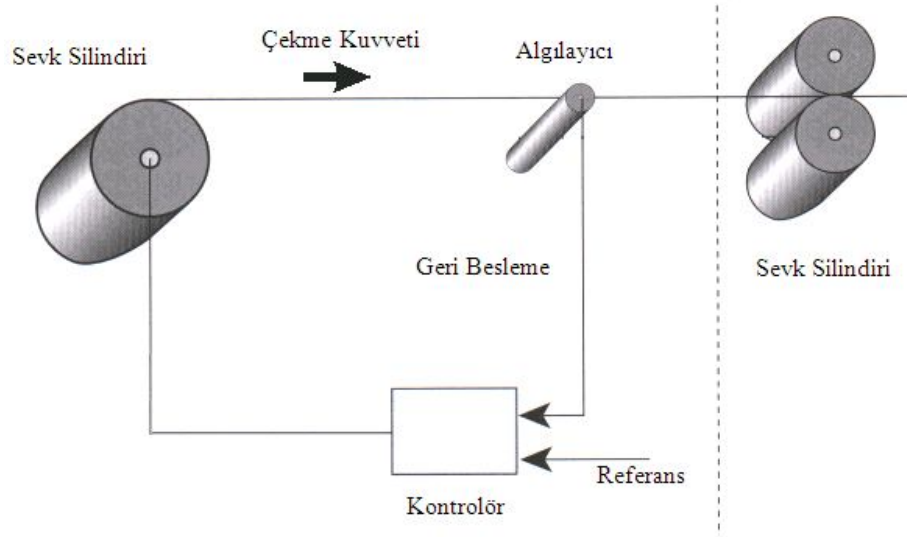
9.5 Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasının Durum-Uzay Modeline Dayanan Öngörülü Kontrolü

9.5.1 Büküm, büküm ve tekstüre proseslerinin model öngörülü kontrolü

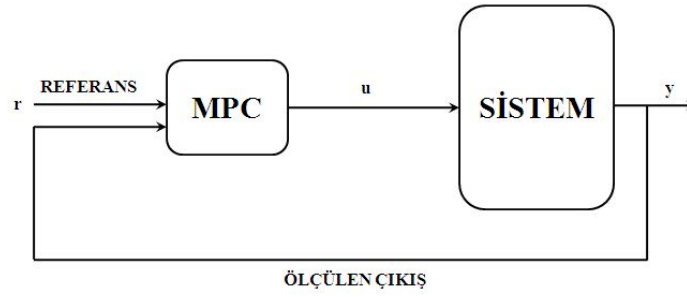
Modele Dayalı Öngörülü Kontrol terimi tek bir kontrolör tasarım yöntemini değil, çok geniş bir kontrol tasarım yöntemleri bütünü tanımlar. Bu yöntemlerin ortak özelliği sistem modelinin doğrudan kullanılması ve kontrol işaretinin belirli bir ölçüte göre minimumlaştırarak elde edilmesidir. Bu tasarım yöntemleri ile elde edilen Şekil 9.14'te gösterilen kontrolörler lineer yapıdadır.

Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasındaki kontrol problemi ipliğin gerginliğinde ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında, ilk olarak makinanın ipliği sevk ettiğinde oluşan gerginliğin modeli sistem tanılamasıyla elde edilmiştir (Şekil 9.16). Bu model doğrultusunda tekstüre işlemi yapılmadan sadece büküm işlemi sonucunda ortaya çıkacak gerginliğin kontrolü sağlanmıştır. Ardından tekstüre işlemini bozucu giriş olarak tanımlayarak kontrolcünün bozuculu sisteme karşı

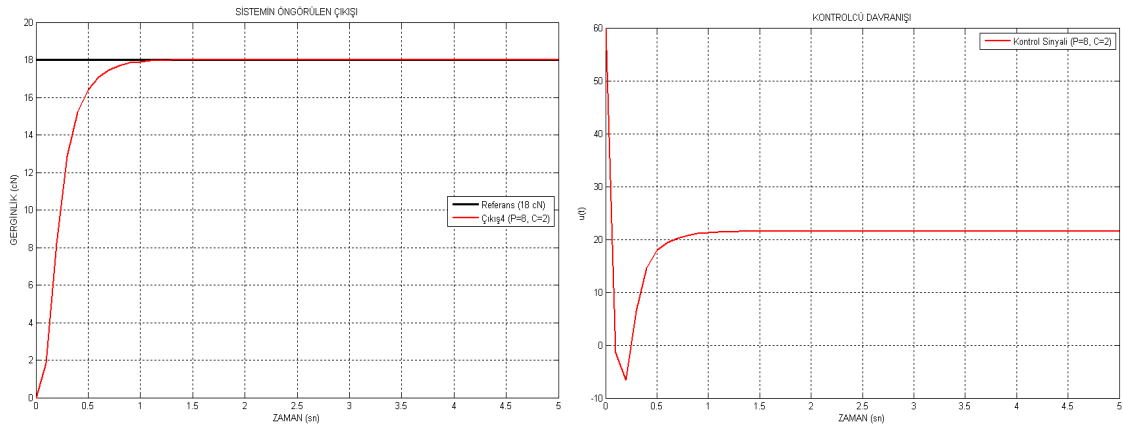
davranışı Şekil 9.18’de test edilmiştir. Detaylı olarak Ek A.1’de sistem cevapları ve kontrolcü girişleri incelenmiştir.



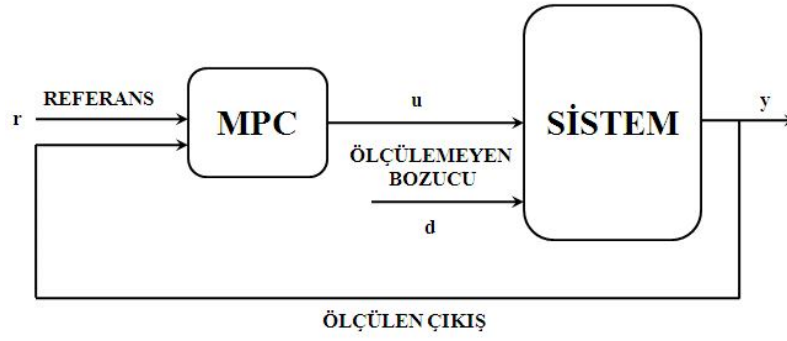
Şekil 9.14 : Kapalı çevrim gerginlik kontrol sisteminin blok şeması [58].



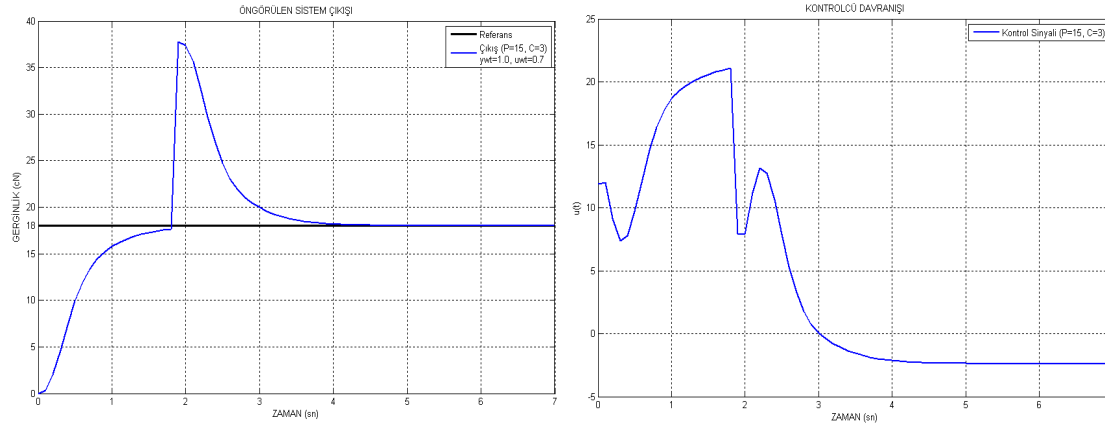
Şekil 9.15 : Büküm prosesindeki model öngörülü kontrol uygulamasının blok diyagramı.



Şekil 9.16 : Sistemin öngörülen çıkışı ve kontrolcü davranışı.



Şekil 9.17 : Tekstüre ve büküm prosesindeki model öngörülü kontrol uygulamasının blok diyagramı.



Şekil 9.18 : Sistemin öngörülen çıkışı ve kontrolcü davranışı.

9.5.2 Model belirsizliği durumu

Yanlış ölçülen veya hiçbir şekilde ölçülemeyen süreç değerleri ve kontrol edilemeyen girişlerin içinde belirsizlik vardır. Bundan dolayı çıkış öngörüsü genellikle, sonraki ölçülen süreç değerinden farklı olur.

Pratikte hiçbir matematik model, fiziksel süreci tam olarak ifade edemez. Model hatalarının kontrol sistemini olumsuz etkilediğini her zaman aklımızda tutmalıyız. Amacımız kontrolcünün bu belirsizliğe karşı duyarsız olmasını sağlamaktır. Buna kontrolcünün dayanıklı veya gürbüz olması da denir. Belirsizlik çoğu durumda yapısal bir yol ile açıklanabilir. Yani transfer fonksiyonunda göz önünde bulundurulmuş parametrelerin fonksiyonu ile ifade edilir. Fakat çoğu zaman modellenemeyen hatalar kalır. Özellikle yüksek frekanslarda baskın olan ve bu yol ile modellenemeyen hatalar. Bunlar da yapısal olmayan belirsizlikleri teşkil eder.

İki tip yapısal belirsizlik vardır: parametrik belirsizlikler ve modellenmemiş dinamik belirsizlikler. İlk durumda model derecesi prosesin derecesine eşit olması beklenir fakat model parametreleri, nominal parametrelerin civarında ve belirsizlik sınırı içerisinde olması gerekir (Bu parametreler: kutup, kazanç, ölü zaman v.b.). Bu koşullar sağlanamadığında parametrik belirsizlikler ortaya çıkar. İkinci durum ise, model içerisinde, sistemin dinamiğini ifade eden kutup gibi parametretin yer almaması ile modellenmemiş dinamik belirsizlikler ortaya çıkar.

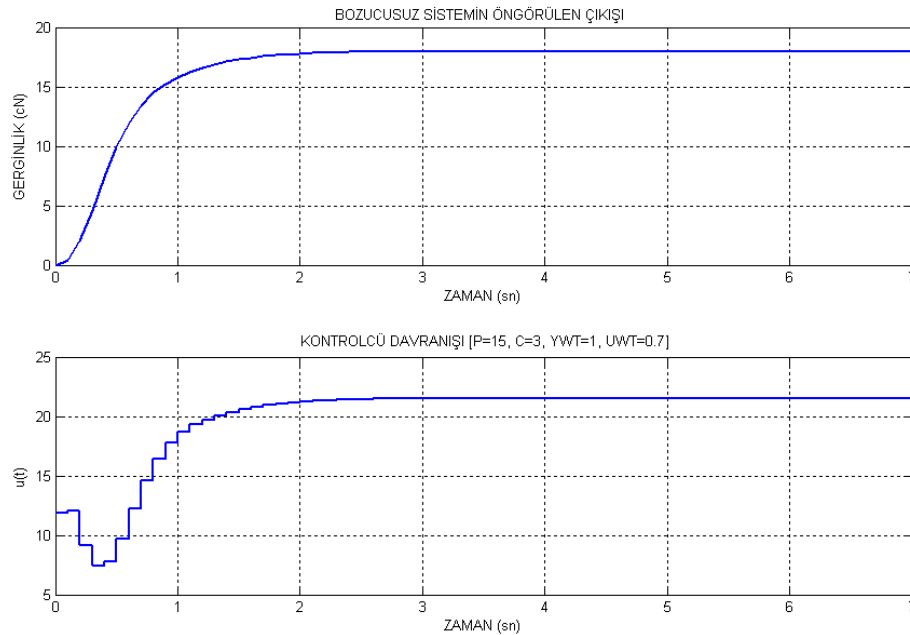
Bu çalışmada, parametre kestiriminde hata yapıldığı varsayılarak sistemin kutuplarının yerlerini değiştirildi ve kontrolcünün performansı incelendi. Sonucunda Şekil 9.19'da ve Şekil 9.20'de verildiği gibi kontrolcünün performansında bir değişim olmadığı saptandı. Hatalı modelin ayrık zamanlı durum-uzay gösterimi ve öngörülen sistem çıkışları aşağıdaki gibidir:

$$A = \begin{bmatrix} 1.400 & -0.9543 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

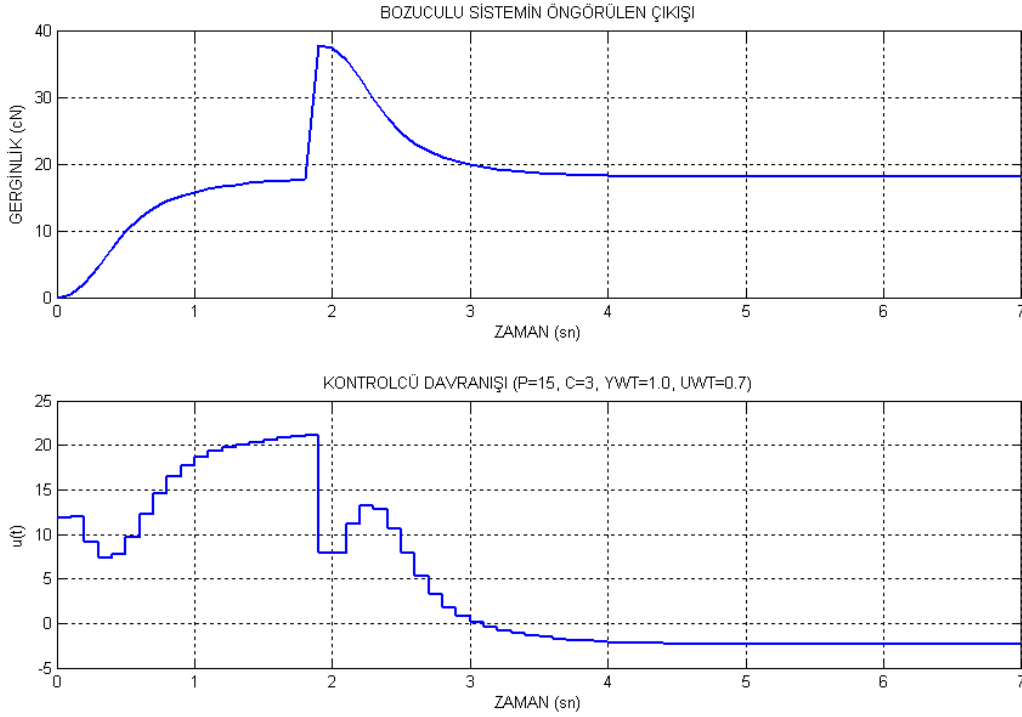
$$B = \begin{bmatrix} 0.0307 \\ 0.0821 \end{bmatrix}$$

$$C = [1 \ 0]$$

$$D = [0]$$



Şekil 9.19 : Büküm prosesinin öngörülen çıkışı ve kontrolcü davranışı.



Şekil 9.20 : Büküm ve tekstüre prosesinin öngörülen çıkışı ve kontrolcü davranışı.

9.5.3 PID kontrol elemanının deneysel tasarımı

PID parametreleri deneysel yoldan belirleyebilmek için Ziegler ve Nichols tarafından geliştirilmiş sürekli titreşim metodu kullanıldı. Bu yöntemin temeli, kapalı çevrimli sistemi orantı etkisiyle test etmektir.

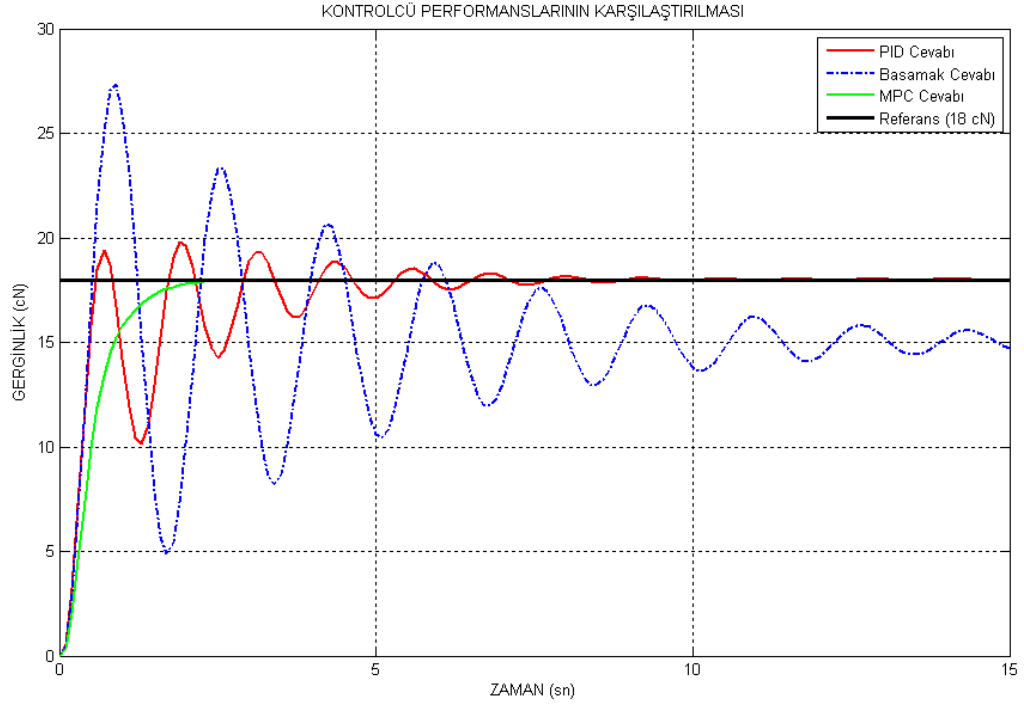
İntegral zaman sonsuza, diferansiyel zaman sıfıra ayarlanır. Böylece kontrol organı üzerinde sadece orantı etki kalır. Girişe referans değeri olarak birim basamak değişmesi uygulanır ve K orantı katsayısı değiştirilerek sistem sürekli durumuna getirilir. Sürekli titreşim yapan sistemin, cevap eğrisi elde edildikten sonra bu cevap eğrisine karşılık gelen K orantı değeri ve titreşim periyodu bulunur. Bulunan K, K_{max} , P periyot olarak adlandırılır. Bu metotta elde edilen cevaplar Şekil 9.21 ve Şekil 9.22’de verilmiştir.

PID Parametreleri;

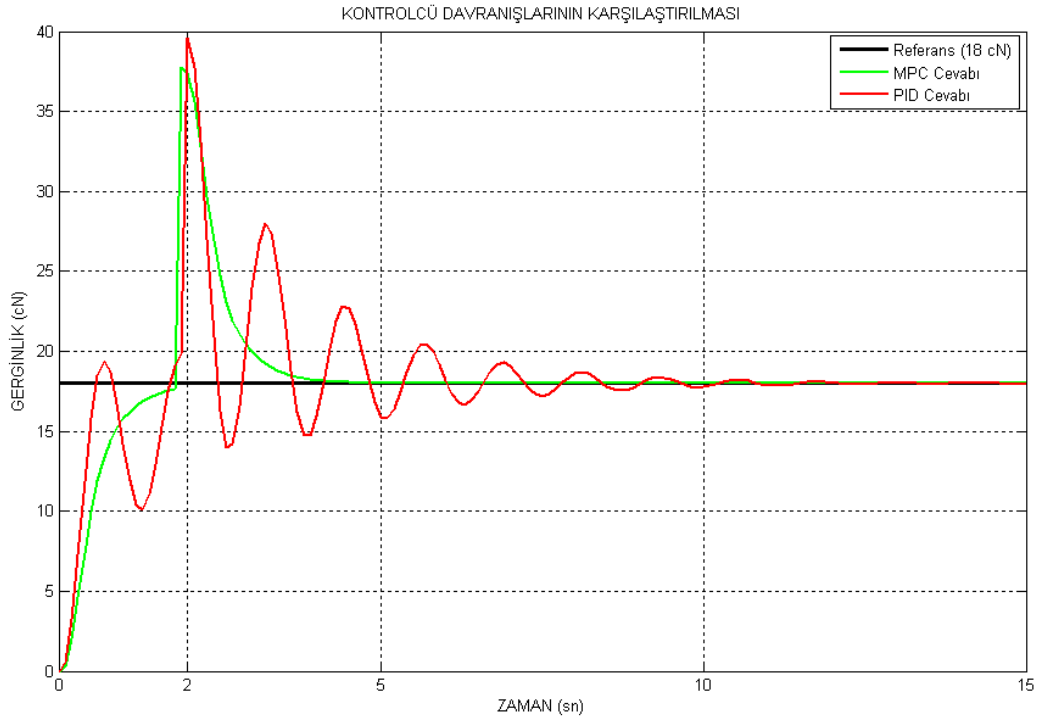
$$K = 0.6 \times K_{max} = 1.0234$$

$$T_i = P / 2 = 0.7395$$

$$T_d = P / 8 = 0.9$$



Şekil 9.21 : Büküm prosesi için kontrolcü davranışlarının karşılaştırılması.



Şekil 9.22 : Büküm ve tekstüre prosesleri için kontrolcü davranışlarının karşılaştırılması.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, bir kere daha otomatik kontrol sistemlerin makinalar ve üretim süreçleri için ne kadar önemli ve vazgeçilmez olduğunu ortaya koymuştur. Günümüzde üretimin olduğu her noktada otomatik kontrolden bir şeyler bulmak mümkündür. Dolayısıyla artık tasarımcıların ürünlerini veya üretim sistemlerini tasarlarken kontrol sistemlerinden faydalanmaları kaçınılmazdır.

Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinası'nın deneysel olarak tanımlanarak modellenmesi ve durum-uzay modeline dayanan öngörülü kontrolünün simülasyonunu konu alan bu çalışmada gerçek bir sistemden veri toplanması, elde edilen verilerin işlenerek modelleme için hazırlanması, hazırlanan verilerden sistemin teorik/matematiksel modellerinden çıkarak deneysel modelinin elde edilmesi, son olarak kontrol sistemi tasarımı ayrıntılı olarak irdelenmektedir.

Verilerin toplanması sırasında, sistemi temsil edecek olan verilerin kaydedilmesinin, deneysel modellemenin başarımında ve elde edilen modelin gerçeği ne ölçüde yansıttığı konusunda büyük önemi olduğu için örnekleme frekansı seçimi, analog ve sayısal ortamda katlanmış veriden sakınma yöntemleri gibi sayısal veri işleme tekniklerinden yararlanılmıştır.

Daha önceden yapılmış çeşitli çalışmalardan gerginlik etkilerinin matematik modelleri incelenerek deneysel modelleme sonucunda mümkün olduğunca doğrusal tek giriş ve tek çıkışlı modellerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda sistemi temsil edecek teorik model çıkarılmıştır. Model çıkartılırken yay-damper sistemleri ve dinamik denklemlerinden yararlanılmıştır.

Bu çalışmadaki kontrol stratejisi makinaya uygulandığında şu haliyle istenen özelliklerde iplik imalatını gerginliği kontrol ederek gerçekleştirebilmektedir. Ancak her süreçte olduğu gibi bu süreçte de bazı derin analizler ve modifikasyonlar gerekecektir. Hem bu çalışmanın başarısının tam olarak anlaşılması hem de ileride yapılacak kontrol çalışmalarına yardımcı olması açısından makinede hem yazılım hem de donanım açısından bazı testler ve geliştirmeler gerekmektedir. Bunlar

projede daha ileriki aşamalarda çalışacak araştırmacıların çalışma alanlarını oluşturabilir.

Bu çalışmaya ek olarak aşağıdaki çalışmalarda makina üzerinde yapılabilir;

- Motor hızlarının prosesin başarısına (iplik kalitesine), makinanın mekanik yapısına (titreşim analizi), elektrik sarfiyatına (ekonomi) olan etkileri.
- Makina çalışma zamanlamasının prosesin başarısına (iplik kalitesine) etkisi.
- Pnömatik döner elemanların çalışma basınçlarının (baskı kasnaklarının baskı kuvvetlerinin) prosesin başarısına (iplik kalitesine), hava sarfiyatına (ekonomi), çevreye (atık egzoz havasından kaynaklanan) olan etkileri.
- Hava jetlerinin çalışma basınçlarının prosesin başarısına (iplik kalitesine), hava sarfiyatına (ekonomi), çevreye (dışarıya çıkan havadan kaynaklanan) olan etkileri.
- Isıtmalı kasnakların çalışma sıcaklıklarının prosesin başarısına (iplik kalitesine), elektrik sarfiyatına (ekonomi), makinanın emniyet sınıfına olan etkisi.

KAYNAKLAR

- [1] **Demir, A. ve Günay, M.**, 1997. Dokuma Makinalarının Mekatroniği, *Tekstil Teknoloji*, **Nisan**, 50-55.
- [2] **Chang, K. M. and Weng P. W.**, 1995. Modeling and Control for a Coating Machine, *JSME*, 656-661.
- [3] **Yun, S., Han C. and Chung J.**, 2000. Tension Control in a Nonlinear Web Transfer System, *Journal of the Korean Society of the Machine Tool Engineers*, **10**, 65-73.
- [4] **Yun, S., Han C. and Chung J.**, 2001. A Study on the Robust Control Algorithm for an Axially Moving Film, *KSME International Journal*, Vol.15, No:9, 1201-1216.
- [5] **Xu, Y., Wang D. and Zang Q.**, 2006. Modeling and Robust Control of Web Winding System with Sinusoidal Tension Disturbance, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1958-1963.
- [6] **Zhang, Z.**, 2007. Fault Tolerant Control for the Web Tension System, *IEEE International Conference on Robotics and Biometrics*, 2138-2143.
- [7] **Bekey, G. A.**, 1970. System Identification, An Introduction and a Survey, *Simulation* **15**, 151-166.
- [8] **Aström, K. J. and Eykhoff P.**, 1971. System Identification, *Automatica*, Vol.7, 123-162.
- [9] **Eykhoff, P.**, 1974. System Identification, *Wiley and Sons*, New York.
- [10] **Nieman, R. E., Fisher D.E. and Seborg P.**, 1971. A Review of Process Identification and Parameter Estimation Techniques, *Int. J. Control*, 209-264.
- [11] **Sage, A. P.**, 1972. System Identification History, Methodology, Future Prospects, in System Identification of Vibrating Structures, W.D. Pilkey and R. Cohen, *ASME*, New York.
- [12] **Landau, I. D. and Zito C.**, 2004. Digital Control Systems Third Edition, Springer-Verlag London Berlin Heidelberg.
- [13] **Camacho, E. F. and Bordons C.**, 2004. Model Predictive Control Second Edition, Springer-Verlag London Berlin Heidelberg.
- [14] **Clarke, D. W.**, 1988. Application of Generalized Predictive Control to Industrial Processes, *IEEE Control Systems Magazine*, **122**, 49-55.
- [15] **Morari, M.**, 1994. Advances in Model-Based Predictive Control, Chapter Model Predictive Control: Multivariable Control Technique of Choice, In the 1990s Oxford University Press.

- [16] **Clarke, D. W. and Scattolini R.**, 1991. Constrained Receding-horizon Predictive Control, *Proceedings IEEE*, **138(4)**, 347-354.
- [17] **Morari, M. and Lee J. H.**, 1999. Model Predictive Control: Past, Present, Future, *Comp. Chem. Eng.*, **23**, 667-682.
- [18] **Kurtalan, S.**, 2001. PLC ile Endüstriyel Otomasyon, Birsen Yayın Evi, İstanbul.
- [19] **Tekgözen, E.**, 1998. PLC ve Uygulamaları, Birsen Yayın Evi, İstanbul.
- [20] **6ES7398-8FA10-8BA0**, 2006. S7-300 Automation System Module Data, Siemens AG, Nürnberg.
- [21] **A5E00125039-01**, 2001. PID Temperature Control, Siemens AG, Nürnberg.
- [22] **S1104-3026**, 2004. Panasonic Instruction Manual, AC Servo Motor and Driver, Osaka.
- [23] **Küçüksille, E.**, 2002. Servo Motorların Bulanık Mantık Yöntemi ile Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] **Kuo, B.C., Tal, J.**, 1978. DC Motors and Control Systems, SRL Publishing, Illinois.
- [25] **Babaoğlu, G.**, 2002. Elektrik Motorları, İstanbul.
- [26] **Davies, B.**, 1997. Electric Motors and Mechanical Devices, Werd Technology, Ontario.
- [27] **Mamur, T.**, 1996. Fırçasız Servo Motorlar, Yapıları ve Kontrol Esasları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü, İstanbul.
- [28] **Simatic S7 MPI Direct Driver**, 2007. Digital Electronics (Pro-face), Osaka.
- [29] **Karacan, İ.**, 2004. Hidrolik ve Pnömatik, Bizim Büro Basım Evi, Ankara.
- [30] **Karacan, İ.**, 1994. Pnömatik Kontrol, Bilim Yayınları, Ankara.
- [31] **Martelucci, S.**, 2000. Optical Sensors and Microsystems, Springer, New York.
- [32] **Stephen, D.**, 2005. Microsystem Design, Springer, New York.
- [33] **Ramsden, E.**, 2006. Hall Effect Sensors-Theory and Applications, Newness, Missouri.
- [34] **Webster, J.**, 2000. Sensors and Signal Conditioning, Wiley-Interscience, New Jersey.
- [35] **Demir, A.**, 2006. Sentetik Filament İplik Üretim ve Tekstüre Teknolojileri, Şan Ofset, İstanbul.
- [36] **Sönmez, M.**, 2002. Veri Toplama Temelleri Üzerine, Otomasyon, Kocaeli
- [37] **Gürdal, O.**, 2000. Algılayıcılar ve Dönüştürücüler, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.
- [38] The Measurement and Automation Catalog 2001. National Instruments.
- [39] **Roberts, R.**, 2000. Signal Processing Techniques, Interstate Electronics Corporation.
- [40] **Åström, K. J. and Wittenmark B.**, 1984. Computer Controlled Systems: Theory and Design, Prentice-Hall, California University.

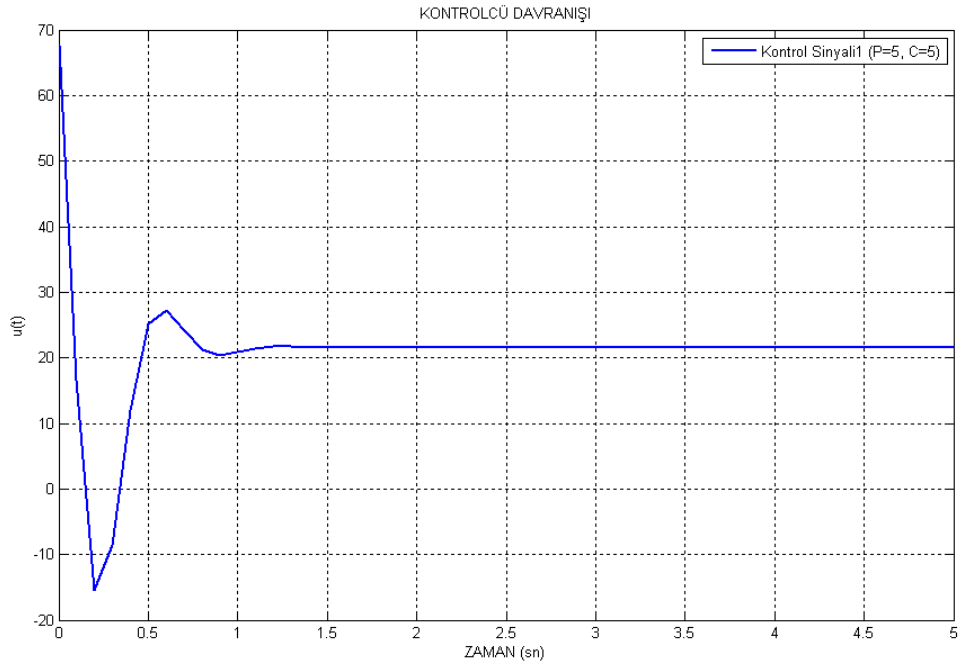
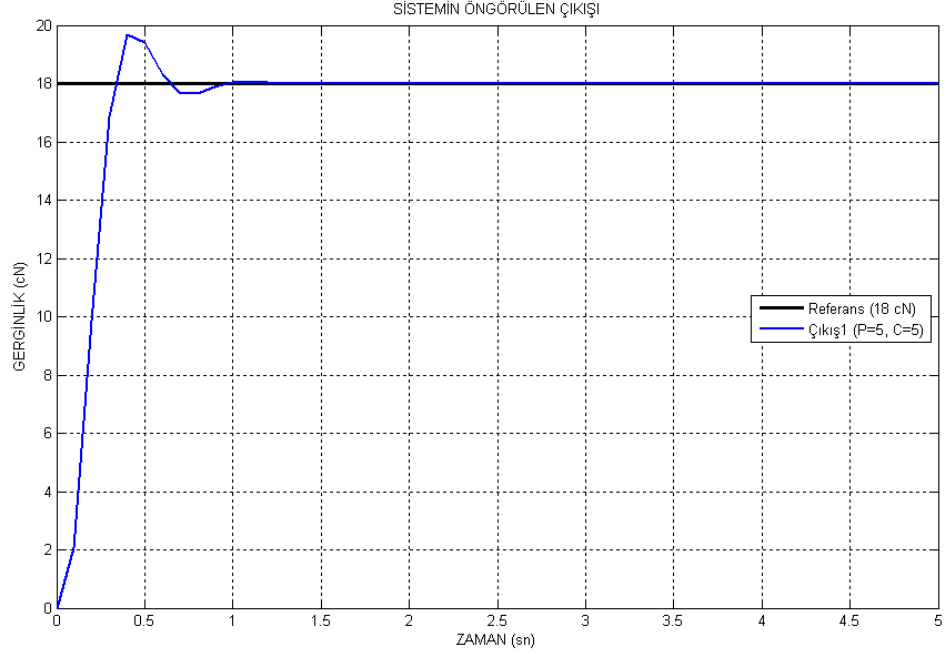
- [41] **Kural, A.**, 2001. Çimento Endüstrisinde Hammadde Harmanlama Prosesinin Tanılanması ve Model Öngörülü Kontrolü, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] **Zorlu, A.**, 2002. Pnömatik Bir Sistemin Deneysel Modellenmesi ve Simülasyonu, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [43] **Zhu, Y.**, 2001. Multivariable System Identification for Process Control, Permagon, Eindhoven, the Netherlands.
- [44] **Landau, I. D., Duong H.N.**, 1995. MidSys Toolbox User' s Guide, Adaptech, France.
- [45] **Ljung, L. And Söderström, T.**, 1999. Theory and Practice of Recursive Identification, MIT Press, Cambridge.
- [46] **Yun, S., Peak S. H., Han C. S. and Chung J.**, 2000. Tension Control in a Nonlinear Web Transfer System, *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, **10**, 253-267.
- [47] **Sippe, G. Douma, Xaiver B., Paul M. J., Van den Hof**, 2002. Validity of the Standard Cross-Correlation Test For Model Structure Validation, Netherlands.
- [48] **Richalet, J., Rault, A., Testud, L., Papon, J.**, 1978. Model Heuristic Control: Application to Industrial Processes, *Automatica*, **14**, 413-428.
- [49] **Temurtas, F., Temurtas H., Yumuşak, N., Oz C.**, 2003. Effects of Trajectory Planning on the Model Based Predictive Robotic Manipulator Control, *ISCIS*, LNCS 2869, 545-552.
- [50] **Clarke, D. W., Mohtadi C. and Tuffs P.S.**, Generalized Predictive Control, Part I, The Basic Algorithm, *Automatica*, **23(2)**, 137-148.
- [51] **Clarke, D. W., Mohtadi C. and Tuffs P.S.**, 1987b. Generalized Predictive Control, Part II, Extensions and Interpretations, *Automatica*, **23(2)**, 137-148.
- [52] **Maciejowski, J.M.**, 2002. Predictive Control with Constraints, Prentice Hall.
- [53] **Rossiter, J. A.**, 2003. Model-Based Predictive Control A Practical Approach, CRC Press, Boca Raton.
- [54] **Li L.B., Sun H.X., Chu J.D. and Wang G.L.**, 2003. The Predictive Control of PMSM Based on State Space, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1958-1963.
- [55] **Morari, M., Ricker N.L.**, 1999. Model Predictive Control Toolbox User's Guide, The Mathworks Inc.
- [56] **Li S., Lim Y.L., Fisher D.G.**, 1989. A State-Space Formulation for Model Predictive Control, *AIChE Journal*, Vol. 35, No. 2.
- [57] **Çalışkan, Ö.**, 2007. Çok Sayıda Servomotor, Sensör ve Elektropnömatik Eleman İçeren Tekstüre-Büküm Makinası Otomasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [58] **Demirel A.**, 2008. Gerginlik Kontrol Sistemleri, Otomasyon Dergisi, 2008.
- [59] **Sönmez, M.**, 2002. Veri Toplama Temelleri Üzerine, 3E Dergisi, **100**, 13-28.

EKLER

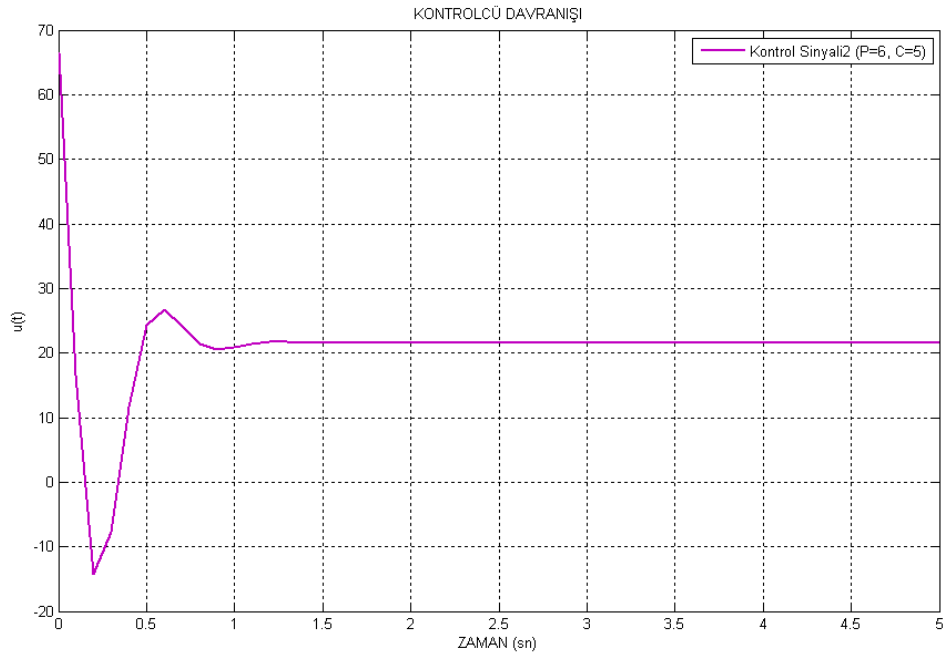
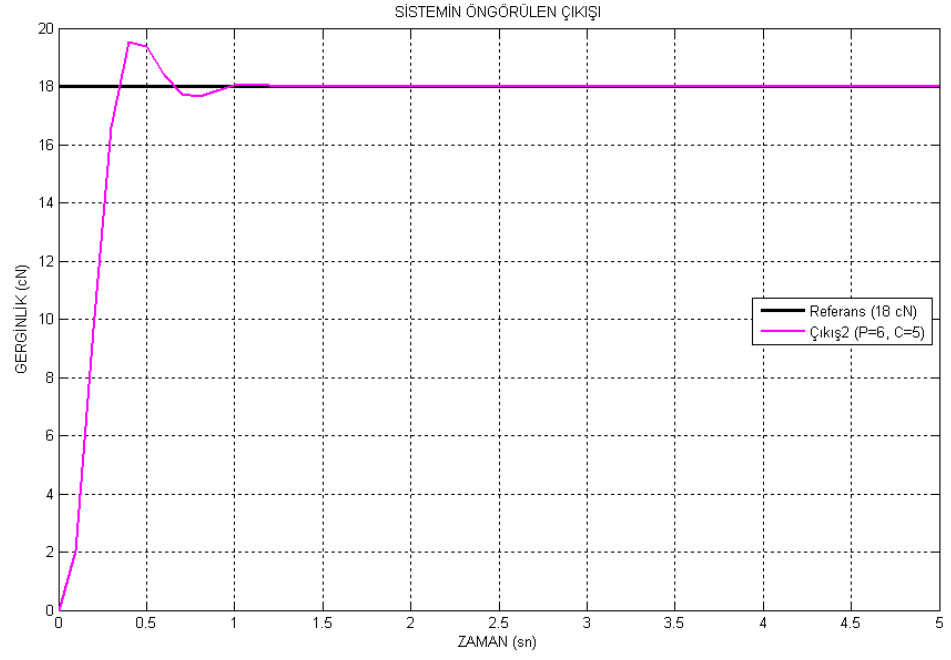
EK A.1 : Kontrolcü ve Sistem Davranışı Grafikleri

EK A.1

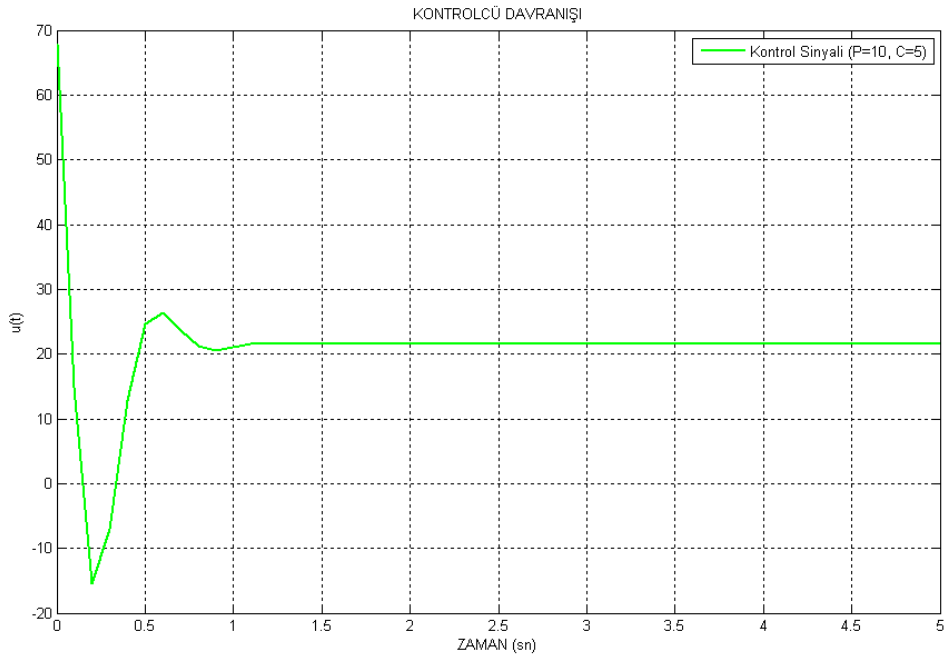
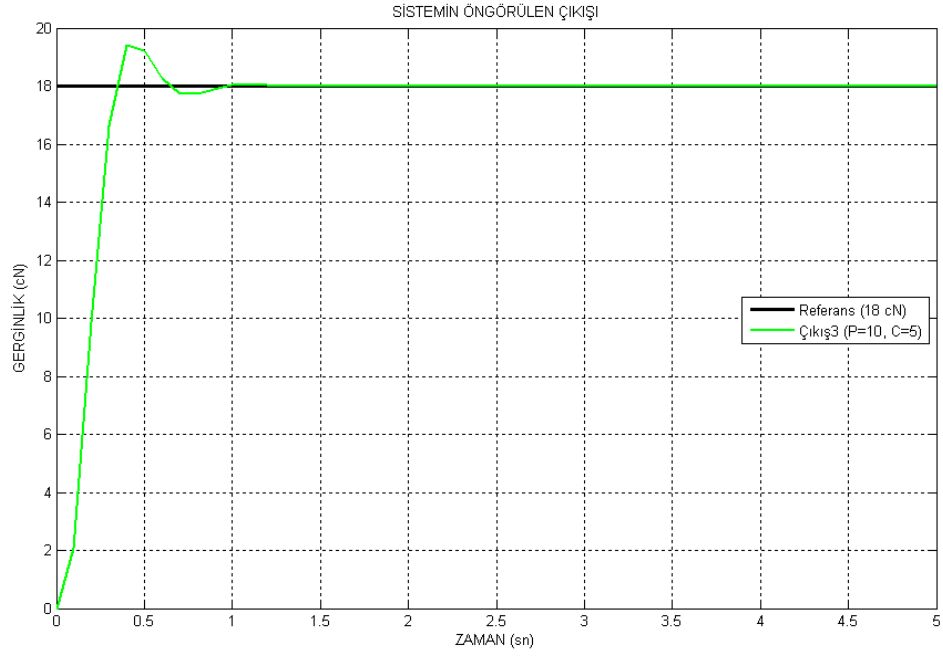
Çıkışın Ağırlık Katsayısı = 1.0, Girişin Ağırlık Katsayısı = 0.1.



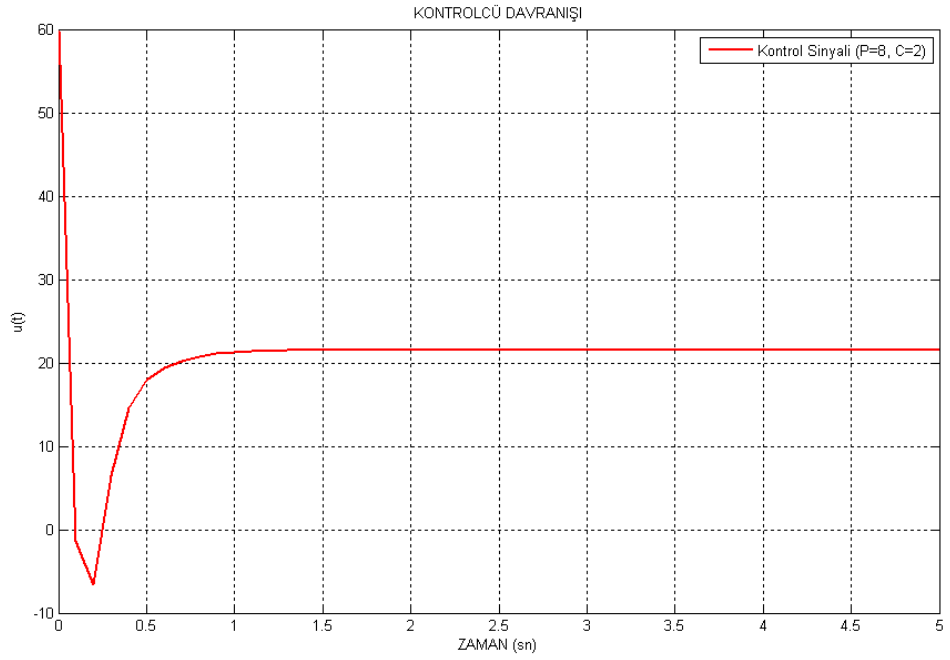
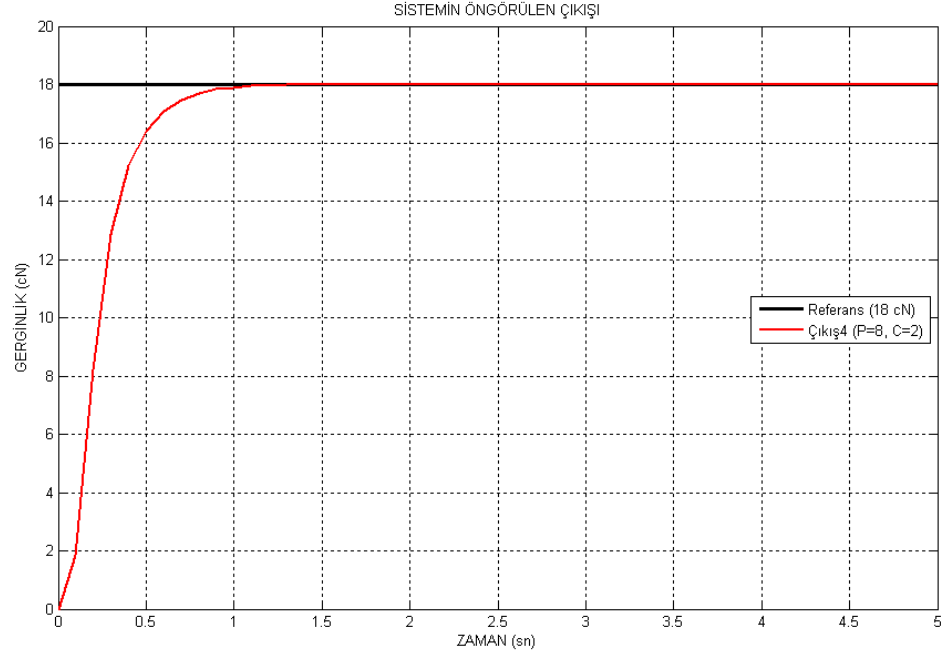
Şekil A.1 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri.



Şekil A.2 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri.

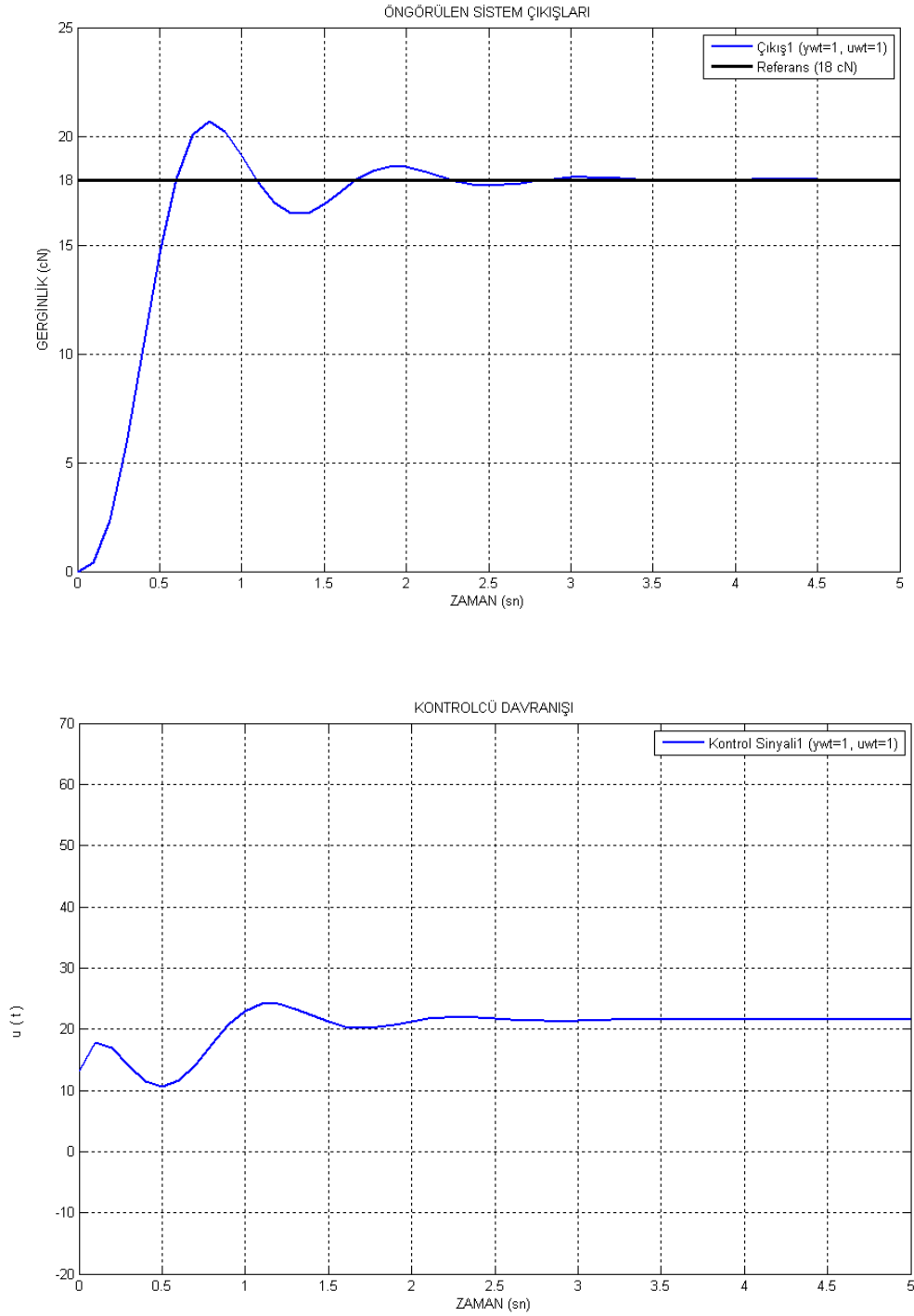


Şekil A.3 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri.

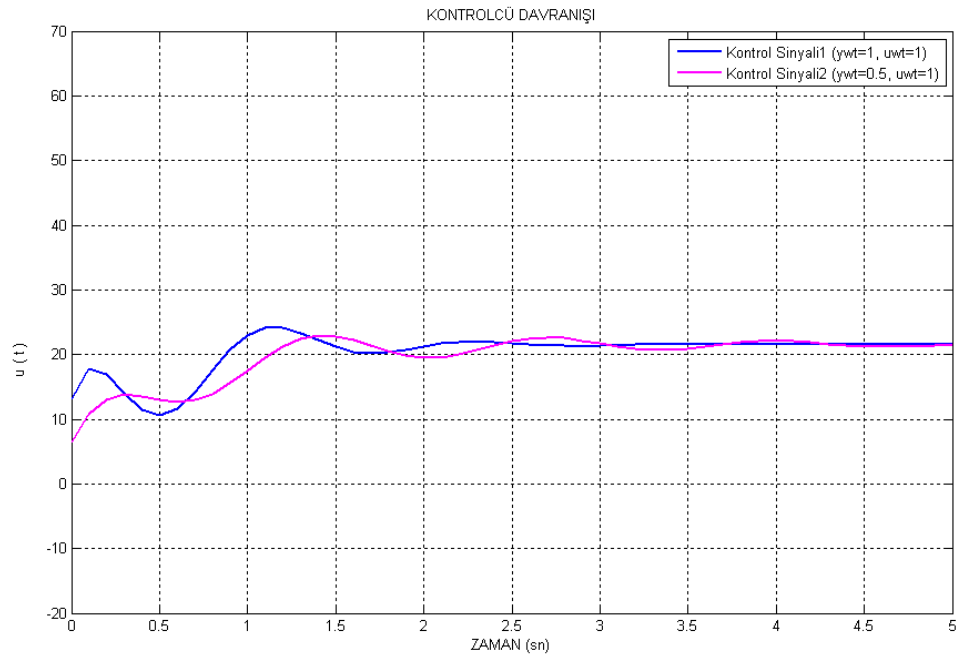
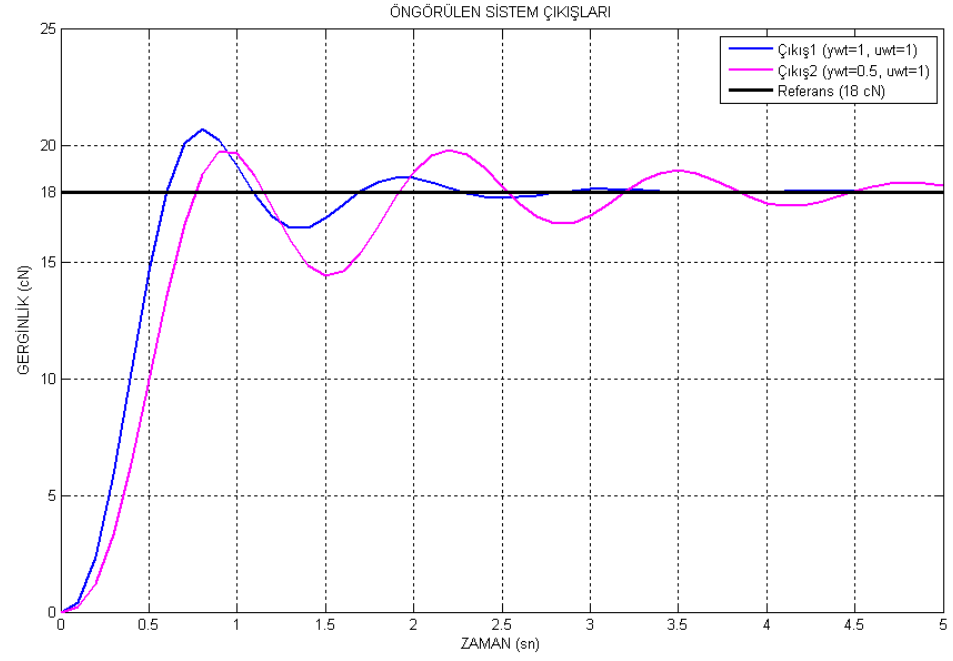


Şekil A.4 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri.

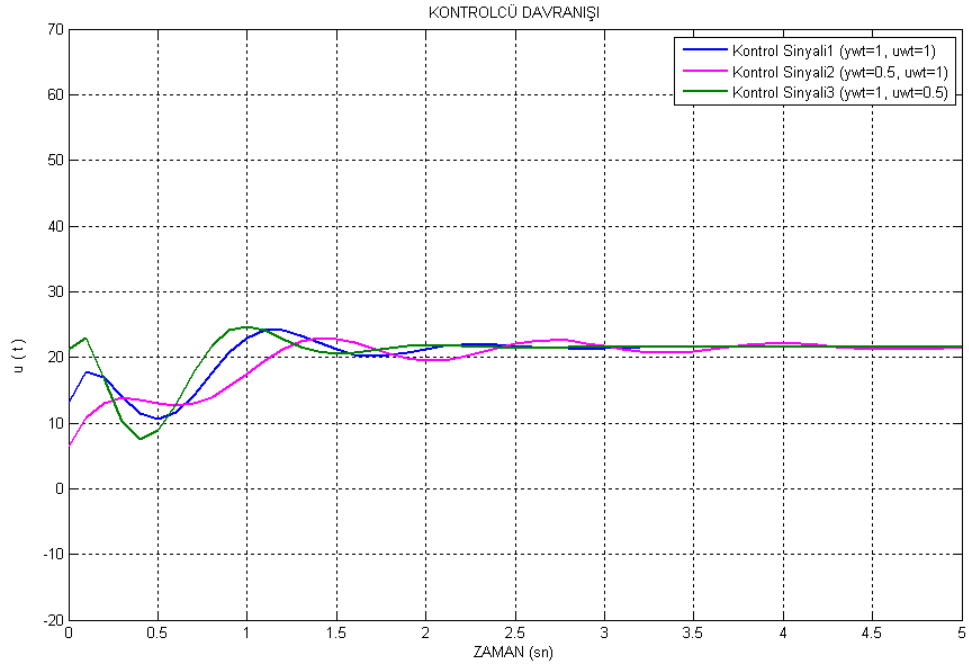
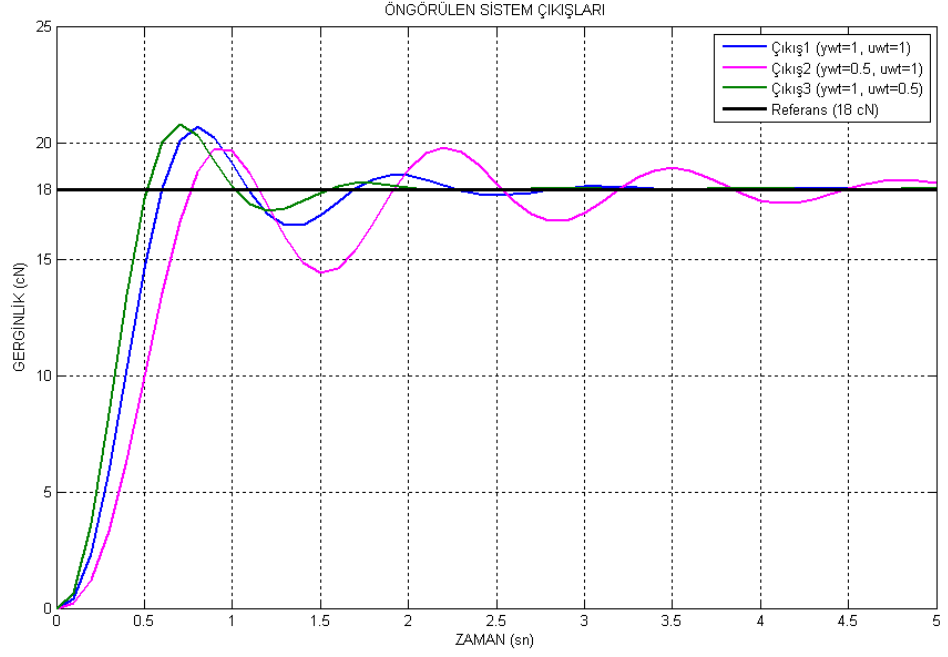
Öngörü Ufugu = 5, Kontrol Ufugu = 5.



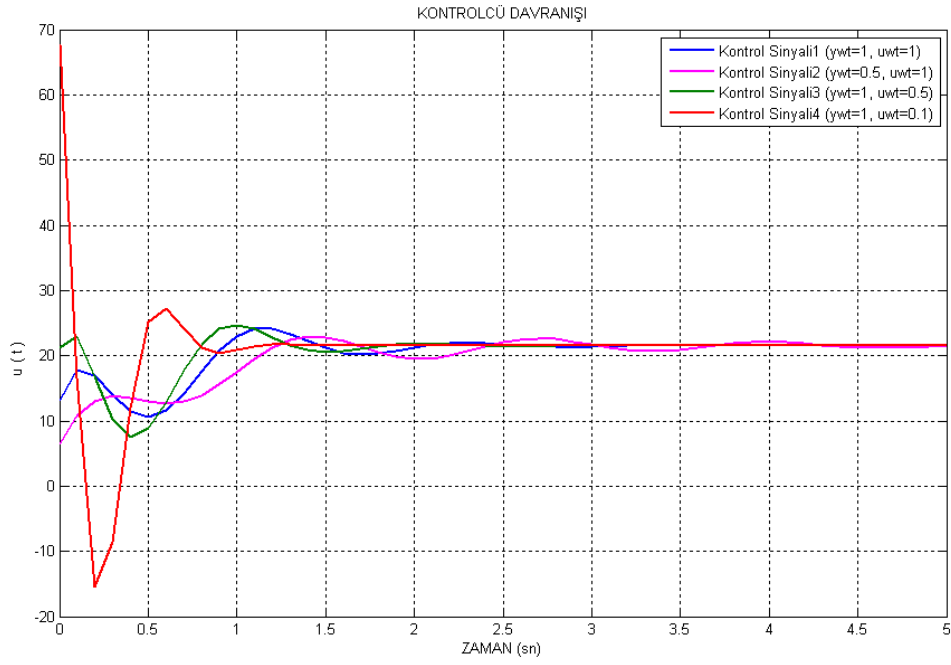
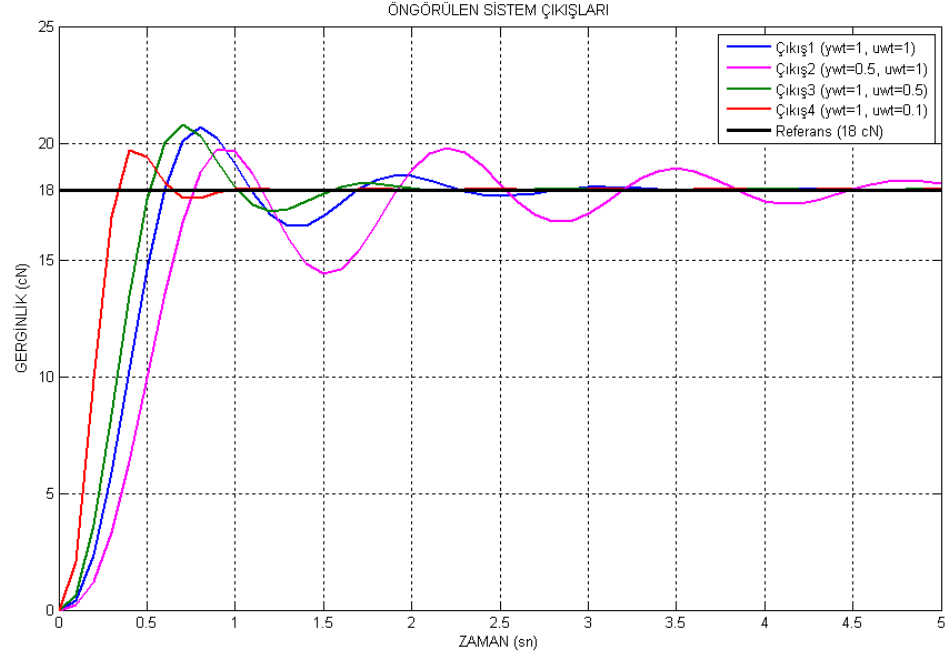
Şekil A.5 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri.



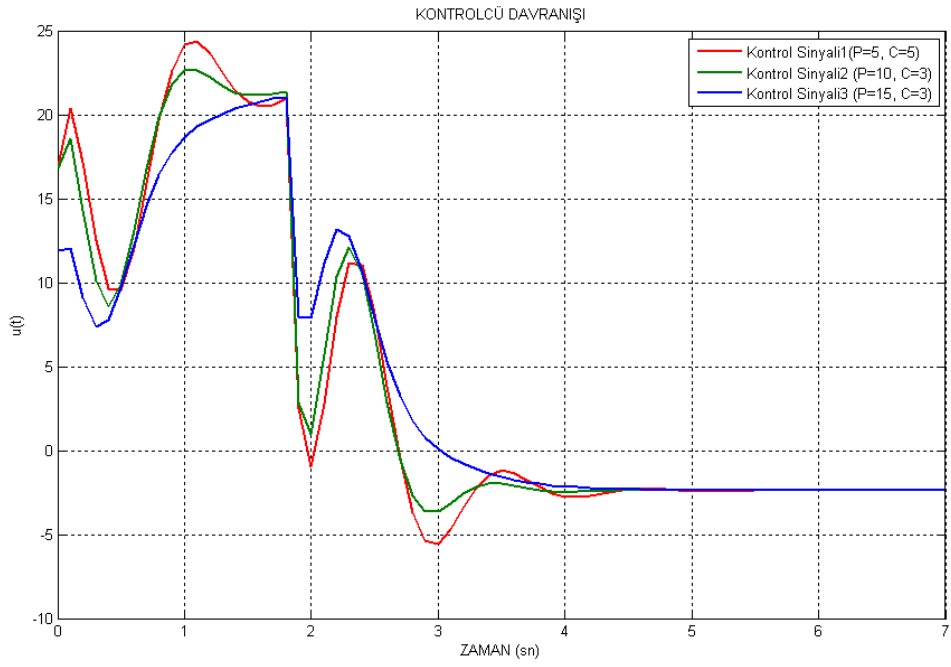
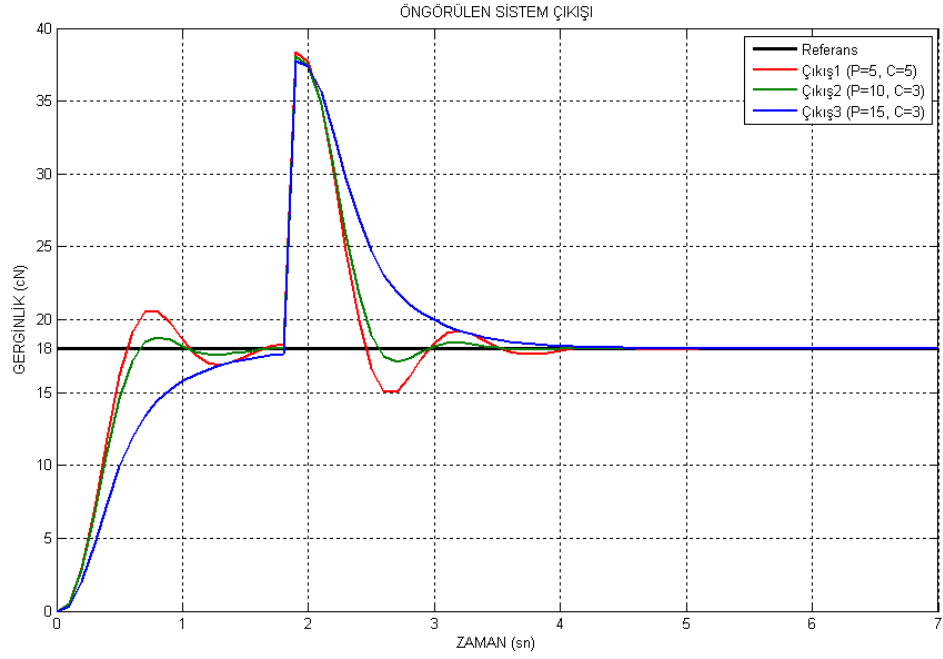
Şekil A.6 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri.



Şekil A.7 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri.



Şekil A.8 : Kontrol edilen prosesin giriş-çıkış değerleri.



Şekil A.9 : Kontrol edilen bozuculu prosesin giriş-çıkış değerleri.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mehmet BAYKARA

Doğum Yeri ve Tarihi: Kadıköy, 07.02.1984

Lisans Üniversitesi: Doğu Üniversitesi – Endüstri Mühendisliği

Yayın Listesi:

- Öznergiz E., Demir A, Gülşen S., Baykara M. ve Kutlu A., 2008. Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinasında, İplik Çekim Sıcaklığının PLC Kullanılarak Kontrolü, *TOK08, 2008, İstanbul, Türkiye.*