

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEL KAPLAMA PROSESİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI
(YSA) İLE MODELLENMESİ VE ÖNGÖRÜLÜ
KONTROL MODELİ (MPC) İLE KONTROLÜ**

DOKTORA TEZİ

Mak.Yük.Müh. Bekir ÇIRAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Recep KOZAN

Temmuz 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEL KAPLAMA PROSESİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI
(YSA) İLE MODELLENMESİ VE ÖNGÖRÜLÜ
KONTROL MODELİ (MPC) İLE KONTROLÜ**

DOKTORA TEZİ

Mak.Yük.Müh. Bekir ÇIRAK

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT

Bu tez 26 / 07 / 2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Recep KOZAN

Jüri Başkanı



Doç. Dr. Nejat YUMUŞAK

Üye



Doç. Dr. Mehmet FIRAT

Üye



Yrd. Doç. Dr. Halit DOĞAN

Üye



Yrd. Doç. Dr. Hamdi Melih SARAOĞLU

Üye

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında zaman zaman gerçekten zorlandığım, sıkıldığım anlar da oldu; fakat bu periyotların sonunda son nokta olan bugünlere gelmek bütün sıkıntılarımlı unutturdu doğrusu. Bu tez umarım tel kaplama süreçleri ve kontrolü konusunda araştırmaya meraklı herkese bir yol gösterici kaynak olur.

Bu tez çalışmasında, desteğini, rehberliğini ve zamanını esirgemedi bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Recep KOZAN'a, tez çalışmam sırasında görüş ve önerileri ile bana yardımcı olan Sayın Doç.Dr. Nejat YUMUŞAK'a , ve Sayın Doç.Dr. Mehmet FIRAT'a, tezimin şekillenmesinde yardımcı olan C.B.Ü. nün değerli akademisyenleri Yrd.Doç.Dr. Yücel KOÇYİĞİT, Yrd.Doç.Dr. Halit DOĞAN ve Öğr.Gör.Dr. Mustafa KARAMOLLA hocalarıma , çalışmalarım sırasında karşılaştığım problemlere değişik bakış açıları ile çözümler getiren ve her aşamada mümkün oldukça yardımlarını esirgemeyen EL-Kİ Kablo / MANİSA işletmesinin yönetici ve çalışanlarına, çalışmalarım sırasında beni yalnız bırakmayarak, çalışmaya teşvik eden ve mümkün olduğunca yardımcı olan eşime ve çocuklarıma, teşekkürlerimi sunarım.

Mak.Yük.Müh. Bekir ÇIRAK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
 BÖLÜM 1.GİRİŞ.....	 1
 BÖLÜM 2.TEMEL TANIMLAR	 4
2.1.Polimer.....	4
2.2.Plastik.....	4
2.2.1.Plastik çeşitleri.....	5
2.2.1.1.Termosetler.....	5
2.2.1.2.Elastomerler.....	6
2.2.1.3.Termoplastikler.....	6
2.2.2.Plastik ürünler.....	7
2.2.3.Plastiklerin üstünlükleri.....	7
2.2.4.Polimer eriyiğinin şekillenmesi.....	8
2.2.5.Plastiğin özellikleri.....	8
2.2.6.Polivinil klorür (PVC).....	9
2.3.Nonlinearlık.....	10
2.4.Ekstrüzyon.....	11
2.4.1.Ekstrüzyonla tel kaplama.....	11
2.4.2.Ekstruder.....	12
2.4.3.Ekstrüder silindiri (kovanı).....	12
2.4.4.Ekstrüder vidası.....	12

2.4.5.Et (cidar) kalınlığı.....	13
2.5.Yapay Sinir Ağları.....	13
2.5.1.YSA nasıl çalışır ?.....	17
2.5.2.YSA'nın eğitimi ve testi.....	18
2.6.Kontrol Sistemi.....	21
2.6.1.Açık çevrim kontrol sistemi.....	21
2.6.2.Kapalı çevrim kontrol sistemi.....	21
2.7.PID (Proportional Integral Derivative) Kontrol Modeli	22
2.8.MPC(Model Predictive Control - Öngörülü Kontrol Modeli).....	23
2.8.1.MPC nin tarihçesi.....	23
2.8.2.Öngörü ufku.....	27
2.8.3.Kontrol Sınırları.....	27
BÖLÜM 3.TEL KAPLAMA PROSESİ.....	29
3.1.Tel Kaplama.....	29
3.1.1.Tel kaplama kalınlığı	29
3.1.2.Tel kaplama çeşitleri.....	30
3.1.3.Kalınlık ölçümü.....	31
3.1.4.Kalınlık geometrisi.....	33
3.2.Ekstrüzyon ve Polimer Ekstruderi	40
3.2.1.Ekstruder vidası.....	40
3.2.2. Çok vidalı ekstruderler.....	41
3.2.3.Vida tasarımı.....	42
3.2.4.Vida boyutları.....	42
3.2.5.Vida ve kovan	43
3.2.6.Redüktör.....	43
3.2.7.Isıtma ve soğutma	43
3.2.8.Diğer özellikler	43
3.2.9. Ekstruderlerin kullanım alanları.....	44
3.3.Ekstrüzyon Sıcaklığı.....	44

3.4.Ekstrüzyon Kalıbı ve Kalıp Konstrüksiyonu.....	46
3.5.Polimer Ekstruder.....	50
3.6.Ekstruder Kontrol ve Kumandası.....	51
3.7.Tel Kaplama Sonuçları.....	52
BÖLÜM 4. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	54
4.1.Giriş.....	54
4.2.Yapay Sinir Ağı ile Yapılan Endüstriyel Uygulamalar.....	54
4.3.Yapay Sinir Ağlarının Olumlu ve Olumsuz Özellikleri.....	55
4.4. Yapay Sinir Ağında Öğrenme.....	59
4.5. Kaplama Kalınlığının YSA Model Tasarımı.....	60
4.5.1. YSA plant modeli ve eğitme.....	62
4.5.1.1. Sigmoid transfer fonksiyonu.....	63
4.5.1.2. Hata minimizasyonu (Gradient Descent).....	65
4.5.1.3. Hataların karesi (MSE - Mean Squared Error).....	72
4.5.2. YSA plant modeli ve test.....	72
BÖLÜM 5. ÖNGÖRÜLÜ KONTROL MODELİ (MPC).....	74
5.1.Giriş.....	74
5.2.MPC 'nin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri.....	74
5.3. Öngörülü Kontrol Modeli Literatür Araştırması.....	75
5.4.Öngörülü Kontrol Modelinin Temel İlkeleri.....	76
5.5.Öngörü Stratejisi.....	79
5.6.MPC Algoritmaları.....	82
5.6.1.Genelleştirilmiş öngörülü kontrol (Generalized Predictive Control-GPC)	83
5.6.1.1.Sistem modeli ve öngörü.....	83
5.6.2.Dinamik matris kontrol (Dynamic matrix control-DMC)...	84
5.6.2.1.Sistem modeli ve öngörü.....	85
5.6.3.Model algoritmik kontrol (MAC).....	86

5.6.3.1.Sistem modeli ve öngörü.....	86
5.7.MPC Algoritmalarında Kullanılan Sistem Modelleri.....	87
5.7.1.Basamak yanıt modeli.....	87
5.7.2.Darbe yanıtı modeli.....	89
5.7.3.Transfer fonksiyonu modeli.....	89
5.7.4.Durum uzay modeli.....	90
5.8.Model Öngörülü Sistemlerde Kullanılan Parametreler.....	91
5.8.1.Maliyet fonksiyonu.....	91
5.8.2.Öngörü ve kontrol ufku.....	92
5.8.3. Referans yörüngesi.....	92
5.9.Polimer Ekstrüzyonunun Öngörü Modeli.....	93
5.9.1. Sistem modeli (Sistem identification).....	94
5.9.1.1.ARX modeli.....	97
5.9.1.2.ARMAX modeli.....	98
5.10.Polimer Ekstruderinde Model Öngörülü Kontrolör Tasarımı.....	105
5.10.1.Öngörü ufku ve kontrol ufku	106
5.10.2.MPC kontrolörünün sabit referans altında çalıştırılması.....	109
5.10.3.MPC kontrolörünün değişken referans altında çalıştırılması.....	111
5.10.4.MPC kontrolörünün sınırlandırmalar altında çalıştırılması.....	112
5.10.5.MPC kontrolörünün bozucu etkiler altında çalıştırılması.....	114
5.11.Polimer Ekstruderinde PID Kontrolör Tasarımı.....	115
5.11.1.PID kontrolörünün sabit referans altında çalıştırılması.....	116
5.11.2.PID Kontrolörünün değişken referans altında çalıştırılması.....	118
5.11.3. PID kontrolörünün bozucu etkiler altında çalıştırılması.....	119
5.12.MPC ve PID Simülasyon Sonuçlarının	
Karşılaştırılması ve Yorumu.....	121
5.12.1. Sabit referans altında çalıştırılması.....	121
5.12.2. Değişken referans altında çalıştırılması.....	123

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1.Sonuçların Değerlendirilmesi.....	125
6.2.Öneriler.....	127
KAYNAKLAR.....	130
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	134
ÖZGEÇMİŞ.....	137

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

e	:	Hata değeri
f_0	:	Zorlanmış yanıt
f_r	:	Serbest yanıt
g_i	:	Basamak cevabı katsayıları
h_i	:	Darbe cevabı katsayıları
K	:	Kazanç faktörü
N_1	:	Minimum öngörü ufku
N_2	:	Maksimum öngörü ufku
N_u	:	Kontrol ufku
Δu	:	Kontrol büyüklüğündeki artış
Δv	:	Gradient
λ	:	Ağırlık katsayısı
δ	:	Ağırlık katsayısı
$\hat{u}$	:	Öngörülen kontrol büyüklüğü
u_-	:	Geçmişteki kontrol büyüklükleri
u_+	:	Gelecekteki kontrol büyüklükleri
$r(t+k)$	:	k adım sonraki referans değeri
$\hat{r}(t+k/t)$	:	k adım sonraki öngörülen bozucu değer

$\hat{y}(t+k/t)$	: k adım sonraki öngörülen çıkış değeri
$\tilde{A}(z^{-1})$	: $(1-z^{-1})A(z^{-1})$
T_s	: Örnekleme zamanı
K_d	: Türevsel kazanç katsayısı
K_I	: İntegral kazancı katsayısı
K_P	: Oransal kazanç katsayısı
n_a	: C polinomunun derecesi
n_b	: B polinomunun derecesi
n_c	: C polinomunun derecesi
n_d	: D polinomunun derecesi
n_f	: F polinomunun derecesi
n_k	: Girişle çıkış arasındaki gecikmeyi gösteren model derecesi
OE	: Çıkış-hatası
PI	: Orantısal-İntegral kontrolör
PID	: Orantısal-İntegral-Türev kontrolör
PI	: Orantısal - integral kontrolör
r_t	: t anındaki referans büyüklüğü
x_t	: t anındaki durum vektörü

y_t	:	t anındaki çıkış vektörü
ARMAX	:	Dış kaynak girişli oto-regresif hareketli ortalama (Auto-Regressive Moving Average with Exogenous Variable Models)
ARX	:	Dış kaynak girişli oto-regresif (AutoRegressive with eXternal input)
BJ	:	Box-Jenkins
CARIMA	:	Dış kaynak girişli integre edilmiş oto-regresif hareketli ortalama Kontrolörü (Controller Auto-Regressive Integrated Moving-Average)
DMC	:	Dinamik Matris Kontrol (Dynamic Matrix Control)
FIR	:	Sınırlı darbe cevabı (Finite Impulse Response)
GPC	:	Generalized Predictive Control
MPC	:	Öngörülü kontrol modeli (Model Predictive Control)
NMPC	:	Doğrusal olmayan öngörülü control (Nonlinear Model Predictive Control)
OE	:	Çıkış hatası (Output Error)
RMSE	:	Hataların kareleri ortalamasının karekökü
SID	:	Sistem modelleme (System Identification)
SISO	:	Tek giriş-tek çıkış (Single Input Single Output)
YSA	:	Yapay Sinir Ağları

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Polivinil klorür (PVC) nin kimyasal yapısı.....	9
Şekil 2.2.	Doğrusal ve doğrusal olmayan fonksiyon tanımı.....	11
Şekil 2.3.	Ekstrüder vidasının kısımları.....	13
Şekil 2.4.	Biyolojik ve Yapay Sinir Hücresi.....	15
Şekil 2.5.	Biyolojik Sinir Sistemi	17
Şekil 2.6.	Açık Çevrim Kontrol Sistemi.....	21
Şekil 2.7.	Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi	22
Şekil 2.8.	PID temel yapısı.....	23
Şekil 2.9.	Öngörülü kontrol modeli (MPC) nin temel yapısı.....	25
Şekil 2.10.	Öngörülü kontrol modeli (MPC) nin üç zaman ögesi ile ilişkisi.....	27
Şekil 2.11.	(MPC) Öngörülü kontrol modelinde giriş ve çıkış ufukları.....	28
Şekil 2.12.	(MPC) Öngörülü kontrol modeli sınır değeri üstünlüğü.....	28
Şekil 3.1.	Tel Kaplama Prosesi Akış Şeması.....	29
Şekil 3.2.	Tel kaplama Kalınlığı	30
Şekil 3.3.	Tel kaplama çeşitleri.....	30
Şekil 3.4.	Kablo demetinin (TTR Kablonun) eş merkezli ve kaçık merkezli olarak kaplanması.....	31
Şekil 3.5.	PVC kaplama çeşitleri ve kaçık merkezli kaplamanın test sonucu	32
Şekil 3.6.	Endüstriyel kalınlık ölçme display örnekleri (deney-microsoft computer EL-Kİ A.Ş.).....	32
Şekil 3.7.	Endüstriyel eş merkezli ve kaçık merkezli kalınlık ölçme (deney-microsoft computer EL-Kİ A.Ş.).....	33
Şekil 3.8.	Tel ile kaplama merkezleri arasındaki mesafe.....	34
Şekil 3.9.	Tel merkezi ile kaplama merkezi arasındaki geometrik uzaklık.....	35
Şekil 3.10.	Eşdeğer tel çapını oluşturan tellerin (t) kaplama kalınlığı.....	36
Şekil 3.11.	Kaplama kalınlığının geometrik yorumu.....	37

Şekil 3.12.	Tel dairesi merkezi ile kaplama dairesi merkezi eş merkezli koordinatlarda ise	38
Şekil 3.13.	Tel dairesi merkezi ile kaplama dairesi merkezi kaçık merkezli koordinatlarda ise.....	39
Şekil 3.14.	Kaplama kalınlığı için iki daire merkezi arası uzaklık.....	40
Şekil 3.15.	Kaplama kalınlığının Tales teoremi ile yorumu.....	41
Şekil 3.16.	Örgü tellerin bir bütün (eşdeğer) tel olarak hesaplanması.....	42
Şekil 3.17.	Ekstruder plantinin kesit görünüşü.....	43
Şekil 3.18.	Ekstruder bölgelerinin işlevleri.....	48
Şekil 3.19.	Polimer eriyiği ile telin birleştiği kalıp kesit görünüşü.....	49
Şekil 3.20.	Bek ile ayna merkezleri arası mesafe ayarı.....	50
Şekil 3.21.	Ayna ve bek elemanlarının yapısı.....	51
Şekil 3.22.	Ekstruder kalıbı ve elemanları.....	52
Şekil 3.23.	Polimer eriyiğinin vida boyunca akışı ve vida konstrüksiyonu.....	53
Şekil 3.24.	Vida boşluğu ve kanalı	53
Şekil 3.25.	Polimer ekstruderi ve kısımları.....	54
Şekil 3.26.	PVC tel kaplama prosesinde kumanda paneli ve kontrol akışı.....	55
Şekil 3.27.	Tel Kaplama Süreci Oluşumları.....	57
Şekil 4.1.	Proses planti yerine varsayılan Yapay sinir ağları plant modeli.....	60
Şekil 4.2.	Polimer ekstrüzyonu modeli giriş ve çıkışları.....	61
Şekil 4.3.	Tel kaplama süreci için YSA ağ yapısı.....	63
Şekil 4.4.	Tel kaplama YSA plant modeli.....	64
Şekil 4.5.	Sigmoid fonksiyonunun matematiksel tanımı	65
Şekil 4.6.	YSA girişinin normalize edilmesi	65
Şekil 4.7.	YSA çıkışının normalize edilmesi.....	66
Şekil 4.8.	Hata minimizasyon ve ‘‘Gradient Descent ‘‘ geometrik yorumu...	67
Şekil 4.9.	YSA’ nın performans grafiği.....	68
Şekil 4.10.	Eğitim sonucu elde edilen ve hedeflenen kaplama kalınlığı.....	68
Şekil 4.11	Eğitim sonucu elde edilen ve hedeflenen kalınlık arasındaki hata değeri.....	69

Şekil 4.12.	Eğitim algoritması standart geri yayılım (train gd) performans grafiği.....	71
Şekil 4.13.	Eğitim algoritması levenberg marguardt (train lm) , performans grafiği.....	71
Şekil 4.14.	Tel Kaplama Verilerinin YSA daki eğitimi sonucunda (MSE) hata oranları.....	73
Şekil 4.15.	YSA verileri ile ve proses verileri arasındaki test sonuçları.....	73
Şekil 4.16.	YSA test sonuçları.....	75
Şekil 5.1.	Öngörülü kontrol modelinin temeli.....	76
Şekil 5.2.	Öngörülü kontrol modeli (MPC) nin temel ilkesi.....	80
Şekil 5.3.	Öngörülü kontrol modelinin ufuk kavramı.....	82
Şekil 5.4.	(MPC) Öngörülü kontrol modelinin süreç algoritması	84
Şekil 5.5.	Darbe ve basamak Cevabı.....	90
Şekil 5.6.	Referans yörüngesi.....	95
Şekil 5.7.	Sistem modelleme giriş değerleri.....	96
Şekil 5.8.	Sistem modelleme çıkış değerleri	97
Şekil 5.9.	ARX modeli çıkışları ve prosesden alınan kaplama kalınlığı değerleri.....	101
Şekil 5.10.	ARMAX modeli çıkışları ve prosesden alınan kaplama kalınlığı değerleri.....	103
Şekil 5.11.	ARX ve ARMAX modeli çıkışlarının en uygun değerlerinin karşılaştırılması.....	103
Şekil 5.12.	ARX ve ARMAX modellerinin sistem cevapları.....	105
Şekil 5.13.	ARX ve ARMAX modellerinin sistem cevapları.....	106
Şekil 5.14.	ARX ve ARMAX modellerinin sistem cevapları.....	107
Şekil 5.15.	Polimer ekstrüzyonunun kapalı çevrim kontrolüne ait blok diyagramı.....	108
Şekil 5.16.	Tel kaplama kalınlığının kontrolü için kullanılan MPC simulink modeli.....	108
Şekil 5.17.	MPC kontrolörünün çıkış cevabı ve	

giriş değerleri ($N_2 = 10$, $Nu = 1, 2, 3$).....	110
Şekil 5.18. Öngörü ufkunun miktarına göre kalınlık değerinin değişimi.....	111
Şekil 5.19. Kaplama kalınlığı için MPC kontrolörünün cevabı (ref : 0.500 mm).....	112
Şekil 5.20. Kaplama kalınlığı için MPC kontrolörünün cevabı (ref : 0.500 mm).....	113
Şekil 5.21. Değişken referans altında MPC kontrolörünün cevabı (ref = 0.500mm – 1mm - 1.5mm - 0.400 mm).....	114
Şekil 5.22. Sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış MPC kontrolör cevabı.....	115
Şekil 5.23. MPC kontrolörü altında sistemin bozucu etkiye karşı cevabı (referans : 0.500 mm).....	116
Şekil 5.24. MPC kontrolörü değişken referans altında sistemin bozucu etkiye karşı cevabı(referans : 0.500 mm ve 1.5 mm).....	117
Şekil 5.25. Tel kaplama kalınlığının kontrolü için kullanılan PID simulink modeli.....	118
Şekil 5.26. Kaplama kalınlığı için PID kontrolörünün cevabı (ref : 0.500 mm).....	119
Şekil 5.27. Kaplama kalınlığı için PID kontrolörünün cevabı (ref : 0.500 mm).....	120
Şekil 5.28. Değişken referans altında PID kontrolörünün cevabı (ref = 0.500mm – 1mm - 1.5mm - 0.400 mm).....	121
Şekil 5.29. PID kontrolörü altında sistemin bozucu etkiye karşı cevabı (referans : 0.500 mm).....	122
Şekil 5.30. Sabit referans altında MPC ve PID cevaplarının karşılaştırılması (ref = 0.500mm).....	124
Şekil 5.31. Sabit referans altında MPC ve PID cevaplarının karşılaştırılması (ref = 0.500 mm).....	125
Şekil 5.32. Değişken referans altında MPC ve PID cevaplarının karşılaştırılması (ref = 0.500 mm – 1mm - 1.5 mm - 0.400 mm).....	126

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Polivinil klorür (PVC) nin genel özellikleri.....	10
Tablo 2.2. Sinir sistemi ile YSA'nın benzerlikleri.....	16
Tablo 3.1. A W G Standartları.....	36
Tablo 3.2. Extruder parametreleri.....	56
Tablo 4.1. YSA ağına ait bilgiler	62
Tablo 4.2. YSA plant model eğitiminde kullanılan parametreler.....	62
Tablo 4.3. Kaplama kalınlığı YSA eğitimi (Levenberg Marguardt ve Standart Geri Yayılım).....	70
Tablo 5.1. Sistem modellerinin kullandığı polinomlar.....	98
Tablo 5.2. MPC simülasyon parametreleri.....	99
Tablo 5.3. MPC kontrolörü ile PID kontrolörünün karşılaştırılması.....	127
Tablo Ek A.1. Tel kaplama ekstrüzyonu proses verileri..... (Eş merkezli durumu için)	138
Tablo Ek A.2. Tel kaplama ekstrüzyonu proses verileri..... (kaçık merkezli durumu için)	139

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Polimer ekstrüzyonu , Ekstruder, Yapay sinir ağları, Proses, Plant, Öngörülü kontrol modeli, Tel Kaplama kalınlığı

Son yıllarda Modele Dayalı Öngörülü Kontrol algoritmaları hem akademik çalışmalarda hem de endüstriyel uygulamalarda sık tercih edilen yöntemler olmuştur.. Bu çalışmada da görüleceği üzere pek çok proseste bu algoritmalar çok iyi sonuçlar vermektedir. Diğer yöntemlere göre uygulaması daha kolay olduğundan dolayı endüstride daha fazla tercih edilmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak öngörülü kontrol ile ilgili kısa bir literatür araştırması yapılarak bu konu hakkında daha önce yapılmış olan önemli çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Modele Dayalı Öngörülü Kontrol algoritmalarının en çok kullanılan üç algoritması, Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol, Dinamik Matris Kontrol ve Model Algoritmik Kontrol tanıtılmıştır. Tüm algoritmaların kontrol kurallarının ne şekilde elde edildiği matematiksel olarak ifade edilmeye çalışılmıştır.

Burada kontrolör sonuçları ile gerçek veriler karşılaştırılıp bu sonuçlar hakkında yorumlar yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan tüm simülasyonlar ve hesaplamalar MATLAB ve Simulink programları kullanılarak yapılmıştır.

Bu tez çalışmasının amacı, doğrusal olmayan bir tel kaplama ekstrüzyonu sürecinin matematiksel modelini geliştirmek ve bu sürecin enerji maliyetini azaltacak, ürün kalitesini arttıracak ve toplam üretim zamanını da düşürecek bir kontrol yapısı oluşturmaktır. Polimer ekstrüzyonunun kullanıldığı tel kaplama süreci için kontrol yapısı olarak, bir model öngörülü kontrol yapısı sunulmuştur. Bu kontrol yapısında, tel kaplama kalınlığı öngörü modeli ARX , sistem yerine ise YSA modeli kullanılarak kontrol simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistem modeli için ileri beslemeli ve yinelemeli yapay sinir ağları kullanılmıştır.

Tez konusuna yakın ve ilgili benzer çalışmalar (tez/makale) için yapılan literatür araştırmaları tez içinde belirtilmiştir. Ancak günümüzde kontrol imkanı zor ve pahalı olan endüstride kullanımda ve üretimde problem olan kaplama kalınlığı kontrolü bu çalışma ile yapılacaktır. Bu çalışmada gerçek plant / proses yerine YSA plant modeli kullanılacaktır. YSA modeli gerçek plantdan alınan giriş ve çıkış verileri kullanılarak eğitilerek test edilmiştir. Kontrolör olarak yeni geliştirilen bir kontrol modeli olan Model Prediktif Kontrol (MPC) kullanılmıştır.

CONTROL WITH A MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC) AND MODELLING WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS (ANN) OF THE WIRE COATING PROCESS

SUMMARY

Keywords : Wire coating extruder, Coating thickness , Artificial neural network PVC , Extrusion , Model Predictive Control , Processes , Matlab

This paper presents a new method of modeling the nonlinear parameters of a coating systems base on neural Networks with artificial neural network neurons. Artificial neural networks (ANNs) are a new type of information processing system based on modeling the neural system of human brain. The wire coating thickness and quality depend on the wire speed, polymer viscosity, polymer melt temperature and the gap between the wire and exit end of the die. In this paper, results of experimental investigation are presented by comparing the coating quality on galvanized mild steel wire using EP 58 PVC molten is used as the coating material in a wire coating extrusion unit at different extruder temperatures and extruder speeds.

A three layer back propogation artificial neutral network (ANN) model was used for the description of wire coating thickness. On comparing the experimental data, the predictions the ANN model predictions, it is found that the ANN model is capable of predicting the coating thickness. The neural network model shows how the significant parameters influencing thickness can be found. Inthis studies, a back propagation neural network model is developed to map the complex non-linear wire coating thickness between process conditions .

Model Predictive Control algorithms have been used in academic studies and industrial processes because of development of predictive control view at control engineering recently. These algorithms have sufficient results for many different applications as it has been understood in this study. The implementation of algorithms is easier than the other algorithms. Therefore, these algorithms have been accepted by industry.

Simulations of MPC Control algorithms for coating process have been made and the results of these simulations have been observed. There is a comparison of PID Controller and Generalized Predictive Controller results and there are comments about this comparison in this study. The simulations and calculations of the algorithms have been done in MATLAB environment.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son senelerde özellikle kimya endüstrisinde, çok değişkenli kontrol teknikleri artan endüstriyel bir önem kazanmıştır. Endüstriyel sistemlerde kontrol uygulamalarında çeşitli problemlerle karşılaşilmektedir. Bu tip sistemler fiziksel kısıtlamaları içermektedir. Bu kısıtlamalar kumanda büyüklüğü sınırlarından dolayı girişlerde olabildiği gibi, aynı zamanda da güvenlik, ürün kalitesi ve verimlilik gereksinimleri sebebiyle çıkışlarda da olabilmektedir.

Herhangi bir kontrol uygulamasında bu kısıtlamaların göz önünde bulundurulması önem arz etmektedir. Geleneksel süreç kontrolörleri, basınç, sıcaklık, sıvı seviyesi ve akış gibi değişkenlerin her birini ayrı ayrı kontrol etmektedir. Bu durum, süreç otomasyonu için ideal bir çözüm değildir. Bütün değişkenleri aynı anda kontrol edebilen tek bir kontrolör tasarlanması arzu edilir. Yukarıda bahsedilen problemleri ortadan kaldırmak için, sistemin çıkışını öngören bir anlayışa dayalı öngörülü kontrol algoritması, önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir.

Bu çalışmada öngörülü kontrolün uygulandığı, tek giriş tek çıkıştan oluşan bir tel kaplama ekstruderi incelenmiştir. Tel kaplama prosesinden (EL-Kİ A.Ş./Manisa) alınan deneysel verilerle YSA (Yapay sinir ağları) test edilmiştir. Giriş çıkış ilişkileri kullanılarak nonlineer fonksiyon parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen modelin açık çevrim cevabı, sistemin gerçek zamanlı cevabı ile karşılaştırılmıştır. Model öngörülü kontrol hakkında bilgi verilmiş ve bu algoritmaların kapsamının nasıl genişletildiği ve kısıtlamaların nasıl ilave edildiği izah edilmiştir. Öngörülü kontrol yapısından dolayı kısıtlamalar kolaylıkla ele alınabilmiş ve model öngörülü kontrol algoritması tel kaplama prosesine uygulanabilmiştir. MPC kontrolörün sonuçları ile deneysel ve benzetim sonuçları sunulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda model öngörülü kontrol (MPC) , tel kaplama kalınlığını istenilen kabul edilebilir sınırlar içinde ve değişken referanslar altında başarıyla kontrol ettiği gözlenmiştir.

İnsan düşüncesini ve davranışını taklit edebilen sistemlerin geliştirilmesine yönelik

Çalışmaların tümü yapay zeka olarak tanımlanabilir.Yapay zeka teknikleri,birbirinden tümüyle farklı uygulamalar olmasına karşın, belirsizlikler üzerine kurulan sistemler olması bu tekniklerin ortak yönü olarak değerdendirilebilir. Başka bir deyişle, klasik yöntemlerde ortaya çıkan belirsizlikler istenmeyen ve ayrıca değerdendirilmesi gereken durumlar olmasına karşın, yapay zeka teknikleri belirsizlikleri içeren ve işleyen uygulamalardır.Yapay zeka uygulamalarından tekniklerinden olan yapay sinir ağıları (artificial neural networks) biyolojik sinir hücrelerinin basitleştirilmiş olarak modellenmesi yardımıyla öğrenebilen sistemlerin geliştirilmesinde kullanılan uygulamalardır.[1]

Mühendislik problemlerindeki belirsizliklerin kaynağı, model ve modelin içerdığı parametreler olup söz konusu belirsizlikler genellikle olasılık teorisi ve istatistiksel yöntemler yardımıyla gözönüne alınmaktadır. Belirsizlikler altında ortaya çıkacak başarısızlıklar (risk) ise güvenilirlik analizi yardımıyla belirlenmektedir. Özellikle karmaşık ve modelleme olanaklarının zor olduğu birçok mühendislik probleminin çözümünde, geliştirilen modelin yetersiz olması önemli bir belirsizlik nedeni olmakla birlikte çözüm sırasında yapılacak kabuller veya basitleştirmeler de belirsizliği arttıran faktörlerdir.

Bir mühendislik yapısının tasarımında karşılaşılan belirsizlikler, istatistiksel yöntemler yardımıyla gözönüne alınmasına karşılık modelin içerdığı parametrelerin rastsal değişken olması da başka bir belirsizlik kaynağı olarak verilebilir.

Bu tür yöntemlerde, tasarım değişkenleri belirli olasılık dağılımları ile ifade edilmesine karşın değişkenlere ait istatistiki bilgilerin yetersiz olması ve çoğunlukla ortalama ve standart sapma değerleriyle sınırlı kalması belirsizliğe neden olabilmektedir. Dolayısıyla, yüksek derecede belirsizlik gösteren (karmaşık) mühendislik problemlerinin çözümünde belirsizliklerin azaltılmasına ve değerdendirilmesine yönelik klasik yaklaşımlar, çoğunlukla daha karmaşık ve zaman-maliyet açısından ekonomik olmayan çözümlere neden olabilmektedir.

Yapay sinir ağıları, yapay sinir hücrelerinin katmanlar şeklinde bağlanmasıyla oluşturulan veri tabanlı sistemler olup insan beyninin öğrenme ve değişik koşullar

altında çok hızlı karar verebilme gibi yeteneklerinin, basitleştirilmiş modeller yardımıyla karmaşık problemlerin çözülmesinde kullanılmasını amaçlamaktadır. Sınıflandırma, kümeleme, regresyon ve zaman serilerinin tahmini gibi değişik alanlarda kullanılan yapay sinir ağları uygulamalarının en büyük avantajı , karmaşık modellere gereksinim duyulmaksızın yalnızca ağın eğitilmesi yoluyla problemlere çözüm getirebilmesidir. Bu nedenle, yapay zeka tekniklerinin, belirsizlikler gözönüne alındığında, klasik yöntemlerin sağlayamayacağı avantajlara sahip olduğu söylenebilir.

BÖLÜM 2. TEMEL TANIMLAR

2.1. Polimer

Polimer , “mer“ adı verilen moleküllerin birleşmesi sonucu oluşan molekül zinciridir. Mer’lerin kimyasal yollarla birleştirilme işlemine Polimerizasyon denir.

Doğada temel olarak üç farklı malzeme vardır. Bunlar Polimer, Metalik ve Seramik malzemelerdir. Polimerler elektrik ve ısıyı iletmezler. Genellikle saydam ve donuk görünümlüdürler. Yoğunlukları $1\text{ gr} / \text{cm}^3$ den küçüktür. Bu nedenle hafiftirler.

Metaller elektrik ve ısıyı iyi iletirler. Parlaktır ve genellikle serttirler. Yoğunlukları $1\text{ gr} / \text{cm}^3$ den yüksektir. Seramikler ise metalik ve ametalik elementlerin karışımlarıdır.

Tarihsel gelişimi incelendiğinde polimer malzemeler metalik malzemelere rakip olarak düşünülmüş son yıllarda ise üretim ve de kullanım açısından metalik malzemelerin önüne geçmiştir. Polimer dünyada milyonlarca ton ülkemizde ise 1 milyon ton civarındaki tüketimleri ile önemli malzemeler arasında yer almaktadırlar.

Polimer maddeler sert veya yumuşak, rijit veya esnek, kauçuğumsu veya camsı yapıda olabilirler. Polimer maddelere ayrıca değişik fiziksel yapılar kazandırmak mümkündür.

2.2. Plastik

Polimerlere çeşitli sebeplerle katkı maddesi ilave edilerek oluşan maddeye PLASTİK denir. Polimerlere katılan bazı katkı maddeleri ile plastik istenilen özelliğe sahip olur. Bu katkılar genel olarak aşağıdaki gibidir.

Plastikte kullanılan ana katkı maddeleri şunlardır.

-Antistatik katkı: Elektrik iletkenliğini artırır yada azaltır.

- Dolgu maddesi: Plastiğin mekanik yapısını geliştirir. Hacim genişletici olarak da bilinir.
- Alev giderici : Alevle çok kolay yanan plastiklerin bu katkı ile aleve engel olmak için kullanılır.
- Kaydırıcı : Erimiş plastiğin viskozitesini azaltır veya şekillenme karakterini geliştirir.
- Pigment : Plastiğin renklendirilmesi için kullanılır.
- Yumuşatıcılar : Plastiğin yapısını ve şekillenme karakterini iyileştirirler(pvc)
- Plastik kuvvetlendiriciler : Plastiğin sertliğini artırır.
- Dengeleyiciler : Plastiğin çevre faktörleri ile bozulmasına engel olurlar.(Anti oksidant, abs,pe,ps, katılarak yapılır.) İlave edilen bu katkı ile plastiğin akışkanlığı, çekme kuvveti ve diğer yapısındaki özelliklerinin değişikliğine sebep olur.

2.2.1. Plastik çeşitleri

Son 50 yılda plastik malzeme kullanımı hızla yaygınlaşmış ve birçok malzemenin yerini almıştır.Örneğin,

- Daha önce metal olarak üretilen birçok parça artık plastiklerden yapılmıştır.
- Cam şişe ve kavanozların büyük çoğunluğunun yerini plastik kaplar almıştır.

Kullanılan polimerlerin (plastik ve lastiklerin) toplam hacmi günümüzde metallerden fazladır.Buna karşılık olarak, plastiklerin yoğunluğu düşük olduğundan,ağırlık olarak metal kullanımı daha yüksektir.[2]

Plastikleri iki önemli grup altında sınıflandırmak mümkündür.

1. Termosetler ve Elastomerler
2. Termoplastikler

2.2.1.1. Termosetler

Çapraz bağ sayısı fazla olan dolayısıyla daha sert ve kırılğan olan kuvvetli çapraz bağlı malzemelere denir.

Termoplastiklerin aksine defalarcakullanılamazlar.Termoset plastik çeşitleri şunlardır ; Fenolikler , Epoksitler , Poliyesterler , Aminler, Silikonlar

2.2.1.2. Elastomerler

Zayıf çapraz bağlı malzemelere denir. Bir çok alanda kullanılan ve en çok bilineni endüstride kullanılan kauçuk ve taşıt lastiği olarak bilinen lastikler , elastomer malzemelerdir. Elastomerler , çok fazla uzatılabilirler sonra, elastik olarak yay gibi gerilerek orijinal uzunluklarına geri dönerler. Bu davranış lastikte çok bariz bir şekilde vardır.

Bir polymer'in elastomer yapı olması için bazı kriterlerin olması gerekir. Bu yapı kristalleşmeye karşı direnir. Elastomerler amorf yapıdadırlar. Nisbeten serbest zincir dönmeleri gözlenir.Üzerlerinde gerilme olmayan elastomerler sarılı,kıvrılı vaziyette iken,üzerlerine gerilme uygulanmış elastomerler deformasyon esnasında uzamış vaziyettedirler.

2.2.1.3. Termoplastikler

Termoplastiği oluşturan zincirleri bir arada tutan van der vaals kuvvetleridir. Plastik ısıtıldığında bu kuvvetler zayıflar veya kaybolurlar. Buna bağlı olarak plastik önce esnekleşmeye sonrada akmaya başlar. Yani ürün oluşturmak için uygun şartlar sağlanmış olur. Termoplastikle çapraz bağlı değildirler. Molekül zincirleri çok uzun değildir.(ör:makarna) Bu sebeple ısıtıldıklarında çözülürler ve birbiri üzerinde kaymaya başlarlar. 1-5 arasında eritilip tekrar kullanılırlar ancak fiziksel özelliklerinde mutlaka değişiklik olur. Amorf yapı ve yarı kristal yapıları olarak ifade edilirler.

Termoplastikler visko-elastiktir.Yani sıvı ve elastik madde özelliklerini taşırlar. Termoplastiğe kuvvet uygulandığında içindeki bağ yapısından dolayı viskoz akışkanlık, depolanan enerjiden dolayı da elastik davranış gösterir. Termoplastik maddelerin özellikleri, zamana, sıcaklığa ve çekme kuvvetinin uzamaya oranına bağlıdır.

Günümüzde tüketilen farklı plastik türlerinin sayısı çok fazla olmasına rağmen genel amaçlı plastikler, alçak yoğunluklu Polietilen (AYPE), yüksek yoğunluklu

Polietilen(YYPE), Polipropilen (PP), Polistiren (PS) ve Polivinilklörür (PVC) olarak Kullanılmaktadırlar. Termoplastik çeşitleri şunlardır ;

- Polietilen (PE)
- Polivinüklörür (PVC)
- Polipropilen (PP)
- ABS (Akronitril-Bütadien-Stiren)
- Polistiren (PS)
- Naylon (PA)
- Polimetil metakrilat (PMMA)
- Polikarbonat (PC)
- Politetrafloretilen (teflon)

2.2.2. Plastik ürünler

Plastiklerden değişik ürünler elde edilebilir;

Kalıplanmış parçalar

-Ekstrüzyonla elde edilen kesitler

-Filmler

-İnce levhalar

-Tel üzerine yapılan yalıtkan kaplamalar

-Tekstil lifleri v.b.

-Ayrıca plastikler birçok malzemenin ana bileşenidir. Bunlar ; boyalar, yapışkanlar , kompozit matrisleridir.[2]

2.2.3. Plastiklerin üstünlükleri

Hemen hemen tüm biçimler elde edilebilir. Kalıplanarak elde edilen ürünler,boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi bakımından ek işlem gerektirmezler. İşlem sıcaklıkları düşük olduğundan metallerden daha az enerji gerektirirler ve daha kolay üretilirler.En önemlisi yüzeylerinin kaplanması ve boyanması gerekmez.

Plastik malzemeler termoset ve termoplastik olmak üzere ikiye ayrılırlar. Termosetler , Isıtıldıkları zaman sürekli bir katılaşma meydana gelir. Bir daha asla

tekrar, tekrar ısıtılıp sertleştirilemez ler.Tıpkı yumurtayı pişirdikten sonra katılaştırıp yeniden yumuşatılamadığı gibi. Genelde polikondenzasyon yöntemi ile üretilirler.Isıtma esnasında kovalent çapraz bağlan ma oluşmuştur. Bu tip bağlanma eğme ve dönme hareketlerini engeller. Daha sert ve aynı zamanda gevrektiler.Termoplastik polimerler ısıtıldıkları zaman yumuşar ve akar,soğutulunca sertleşirler,katılışırlar.Bu olay termoplastikler için tekrar edilebilir bir özelliktir. Buşekillendirme esnasında hiçbir kimyasal değişime uğramazlar. Genel de polimerizasyonadı verilen kimyasal işlemle elde edilirler. Yüksek sıcaklıklarda zincirler arası bağlarzayıflar. Pek çok termoplastik yapıdaki polymerler lineer polymer şeklindedir ve bir miktar da dallı yapıdadırlar.[2]

2.2.4. Polimer eriyiğinin şekillenmesi

Eriyik halindeki polimer silindir içinde ilerleyerek kalıp bölgesine ulaşır.Yani vida , silindir içinde döndüğü için polimer eriyiğini , kalıbın dışına doğru iter. Kalıba ulaşmadan önce eriyik, bir eleme takımından geçer. Burada eksenel delikler içeren bir dizi elek ve bunu destekleyen rijit bir levha bulunur. Buradaki elek takımı, eriyik içindeki katışkı ve sert parçaları filtre eder, polimer akışını düzgünleştirir, vida tarafından oluşturulan dairesel hareket olumsuzluklarını önler. Kalıp şekli, ekstrüzyon ürününü direct olarak etkiler.Yani ekstrüzyon ürününün sabit olan kesitinin şeklini, kalıp açıklığının biçimi belirler.Üretilebilen ürün biçimleri ise , içi dolu profiller , içi boş profiller , borular , tel ve kablo kaplamaları , levha ve filmler ve lifler vb. sıralanabilir.[2]

2.2.5. Plastiğin özellikleri

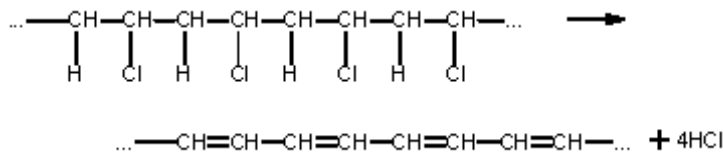
Plastikler, metaller kadar dayanımı yüksek ve rijit değillerdir. Bu nedenle yüksek gerilmelerin söz konusu olduğu yerlerde kullanılmamalıdır. Sürünme dayanımları da sınırlı olup dayanım-ağırlık oranları bazı plastikler için rekabet edebilir seviyededir. Plastiklerin darbe dayanımları ve darbe sönümleme kapasiteleri genellikle iyidir. Plastiklerin metallerle rekabetini sağlayan etkenlerden biri de budur.

Sıcaklık değişimleri sebebiyle oluşan boyut değişimleri metallere oranla daha büyük olduğundan plastiklerin işletme sıcaklığı , metal ve seramiklere göre daha sınırlıdır. Birçok plastik malzeme, güneş ışını ve diğer radyasyon türlerinden olumsuz etkilenir. Bazı plastikler oksijen ve ozon gibi atmosferlerden olumsuz etkilenir. Plastikler birçok solvent içinde çözünürler. Ancak metalleri etkileyen korozyon mekanizmalarından olumsuz olarak etkilenmezler. Plastiklerin işlenme sıcaklıkları oda sıcaklığından yaklaşık 250 °C dereceye kadar, özel durumlarda 400 °C dereceye kadar değişen aralıktadır.[2]

2.2.6. Polivinil klorür (PVC)

Polivinil klorür (PVC) , piyasada en çok kullanılan termoplastik malzemelerden biridir. Polietilenden sonra en çok kullanılan plastik türü olup oldukça ucuzdur. Bir rijit PVC bir de yumuşak PVC cinsi mevcuttur. Hücreli PVC cinsi de vardır, köpük olarak kullanılır, ateşe dayanıklıdır, kendi kendini söndürebilir, elektrik yalıtkanlığı çokiyidir fakat kimyasallara dayanıklılığı az olan bir malzemedir. Su boruları, cam çerçeveleri, tel, kablo izolasyonu ve su şişesi olarak kullanılır.[2]

PVC plastiğinin polimer yapısı Şekil 2.1 de gösterilmiştir. Burada mer olarak adlandırılan C-H yapısı, çok sayıda bir araya gelirlse polimer yapıya dönüşmektedirler. Polimer yapının Cl elementi ile birleşmesi , vinil yapısını oluşturmaktadır. Çok sayıda Cl elementinden oluşan , mer yapısından polivinil klorür meydana gelmektedir.[2]



Şekil 2.1. Polivinil klorür (PVC- PolyVinyl Chloride) nin kimyasal yapısı [2]

Ayrıca PVC polimerinin genel parametrik özellikleri Tablo 2.1. de gösterilmektedir. PVC plastiğinin ekstruder içinde 87 °C – 212 °C arasında eriyik halinde tutulması ve tıkanmayı ve sıkışmayı önleme açısından ekstruder ve sıcaklığının önemini ortaya koymaktadır.[2]

Tablo – 2.1. Polivinil klorür (PVC) nin genel özellikleri [2]

yoğunluk	1380 kg/m ³
young modülü	2900-3300 MPa
gerilme kuvveti	50-80 MPa
uzama oranı	20-40%
darbe dayanımı	2-5 kJ/m ²
kristalleşme ısısı	87 °C
erime ısısı	212 °C
donma ısısı	85 °C
ısı transfer katsayısı	0.16 W/m.K
lineer genleşme katsayısı	8.10 ⁻⁵ /K
özgül ısı	0.9 kJ/(kg.K)
nem oranı	0.04-0.4

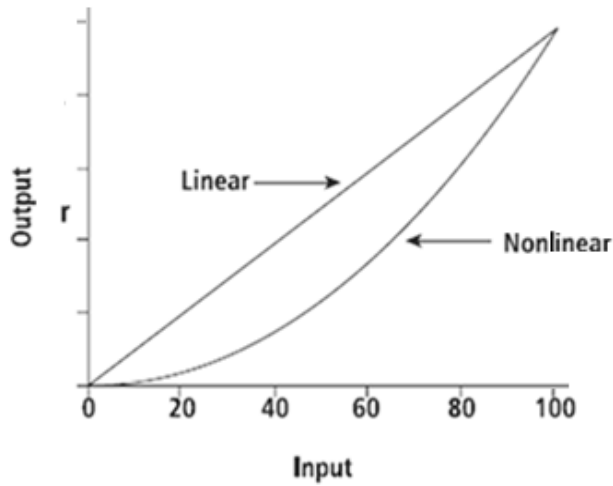
2.3. Nonlineerlik

Proses endüstrisinde kullanılan teknikler, hem özel türde veri yapıları, hem de belirli algoritmik yaklaşımlar gerektirir.(Şekil 2.2)

Bunlar, önce iki genel gruba ayrılabilir ; 1.Parametrik modeller 2.Parametrik olmayan modeller

Parametrik Modeller: Girdi ile çıktı arasındaki ilişkiyi, bazı değişkenlerin belirlenmediği cebirsel eşitlikleri kullanarak açıklar. Bu belirlenmemiş değişkenler, girdi örnekleri sağlanarak belirlenir. Parametrik modelleme bazen kullanılsa da gereken veri hakkında çok fazla bilgi gerektirdiği için, gerçek yaşamla ilgili sorunlarda kullanışlı olmayabilir.[3]

Parametrik Olmayan Modeller: Bu modeller, endüstriyel prosesler için daha uygundur, çünkü bu modeller veriyi temel alır. Burada, modeli belirlemek için hiçbir eşitlik kullanılmaz. Bu, modelleme işleminin, eldeki veriye uyumlu hale getirilebileceği anlamına gelir.Veriye göre bir model oluşturulur.[3]



Şekil 2.2. Doğrusal ve doğrusal olmayan fonksiyon tanımı [3]

Parametrik olmayan teknikler şunlardır: Sinir ağları (neural networks), Karar ağaçları (decision trees), Genetik algoritmalar (genetic algorithms)

2.4. Ekstrüzyon

Kapalı bir bölümde bulunan bir malzemeye basınç uygulanarak bir kalıp aralığından akışa zorlanır. Bu esnada malzeme kalıp boşluğunun sahip olduğu biçimde sürekli ve sabit kesitli bir ürün oluşur. Bu işleme ekstrüzyon denir. Bu yöntemle termoplastik ve elastomer malzemelerden boru, hortum, profil, film, levha, sürekli lifler ve tel kaplama ürünleri üretilebilir. Sürekli bir proses uygulanır. Daha sonra ürün istenen boylarda kesilebilir.

2.4.1. Ekstrüzyonla tel kaplama

Çıplak tele polimer eriyik giydirilir ve tel kalıptan yüksek hızla çekilir. Tel ile polimer arasında hafif bir vakum uygulanarak kaplamanın iyi tutunması sağlanır. Kaplanmış tel su içinden geçirilerek soğutulur, bu esnada plastik yumuşaktır ancak rijitliği tel sağlar. Ürün büyük makaralara 50 m/s ye ulaşan hızlarda sarılır.

2.4.2. Ekstruder

Ekstrüzyon işlemini sağlayan ekstruder, silindir (kovan) ve vida dan oluşur. Kalıp ekstrüderin parçası olmayıp belirli bir profil elde etmek için üretilmiş özel bir takımdır. [4]

2.4.3. Ekstrüder silindiri (kovani)

İç çapı tipik olarak 25-150 mm arasında olan içi boş silindir elemanıdır. L / D oranı genellikle 10–30 arasındadır. Bu oran termoplastikler için yüksek, elastomerler için düşüktür. Bu silindir içinde malzeme , ekstrüder vidası tarafından ötelenir. Ötelenerek silindir boyunca beslenen malzeme elektrikli ısıtıcılar yardımı ile yumuşatılır ve eritilir. Bu erimeye mekanik zorlama ile oluşan ısının da katkısı olur.

2.4.4. Ekstrüder vidası

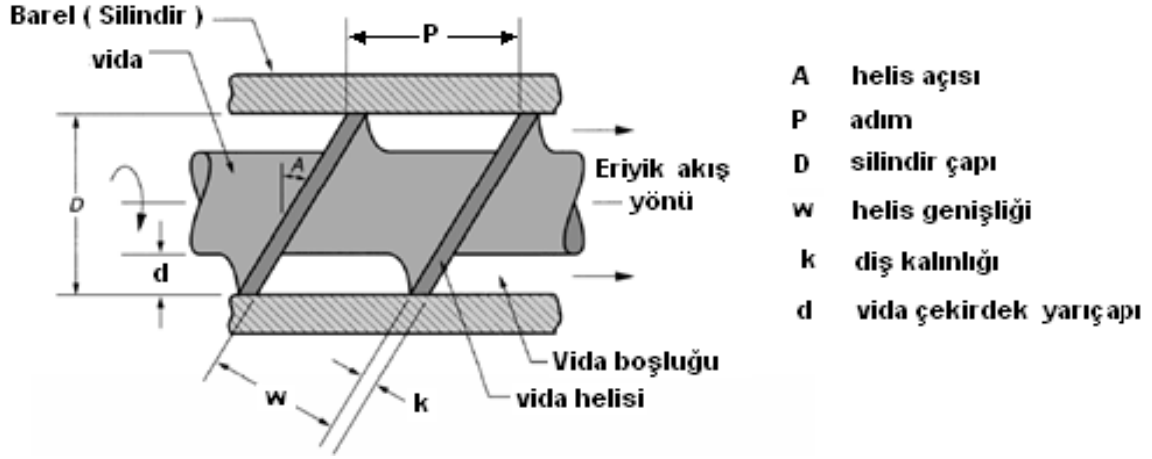
Ekstruder silindiri ile birlikte çalışan ekstruder vidası takım tezgahlarında değişik boyut ve parametrelere göre işlenir. Bu parametreler vidaya özel parametreler olduğu kadar , silindire göre ayarlanmış parametreler olmuştur. Çünkü vida boşluğu ve vida helisi gibi özellikler vida ile silindir arasında sıkışan ve akan polimer akışkanın kalitesini ve ürün neticesini etkileyecektir. (Şekil 2.3)

Üç bölümden oluşan vidanın ilk bölümü besleme bölümüdür. Bu bölümde malzeme huniden alınır ve ısıtılır. Basınç bölümü olan ikinci bölümde ise basınç altında kalan malzeme karıştırılır ve eriyik haline dönüştürülür. Üçüncü bölüm ise şekillendirme bölümüdür. Burada eriyik homojenize edilir ve kalıp boşluğuna eriyik malzemenin doldurulması için yeterli basınç oluşturulur. [4]

2.4.5. Et (cidar) kalınlığı

Ekstrüzyon ürünlerinde üniform bir et kalınlığı sağlanmaya çalışılmalıdır. Malzeme akışındaki üniform olmayan akış, ürünlerdeki üniform olmayan et kalınlığına neden

olur. Bu olumsuzluğu doğuran öncelikli sebep ekstrüder sıcaklığıdır. İkincil olarak ve buna bağlı olarak soğumanında üniform olamayacağı gerçeğidir.



Şekil 2.3. Ekstrüder vidasının kısımları [4]

2.5. Yapay Sinir Ağları

Son yıllarda bilgisayar bilimlerinde yaşanan teknolojik gelişmeler, neredeyse takip edilemeyecek bir hızda ilerlemektedir. Bu ilerleme, insanoğlunun da dahiliğini ve sınır tanımazlığını arttırmış, daha önce hiç hayal bile edilemeyen yeni gelişmelerin doğmasına neden olmuştur. Bu gelişmelerden bir tanesi de Yapay Zeka'dır. Bilim adamları, adına Yapay Zeka dedikleri, insanın düşünebilme, anlayabilme, öğrenebilme ve yorumlayabilme yeteneklerini, programlamayla taklit ederek problem çözümünde kullanmaktadırlar.[5]

Yapay Sinir Ağları (YSA)'da, Yapay Zeka biliminin altında araştırmacıların çok yoğun ilgi gösterdikleri bir araştırma alanıdır. YSA'ların örnekler ile öğrenebilme ve genelleme yapabilme özellikleri onlara çok esnek ve güçlü araçlar olma özelliği sağlamaktadır. YSA'lar insan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde öğrenme , ilişkilendirme , sınıflandırma , genelleme , tahmin , özellik belirleme ve optimizasyon konularında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma/gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü , elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü v.s. gibi yaygın bir uygulama yeri bulmuştur. Yapay sinir

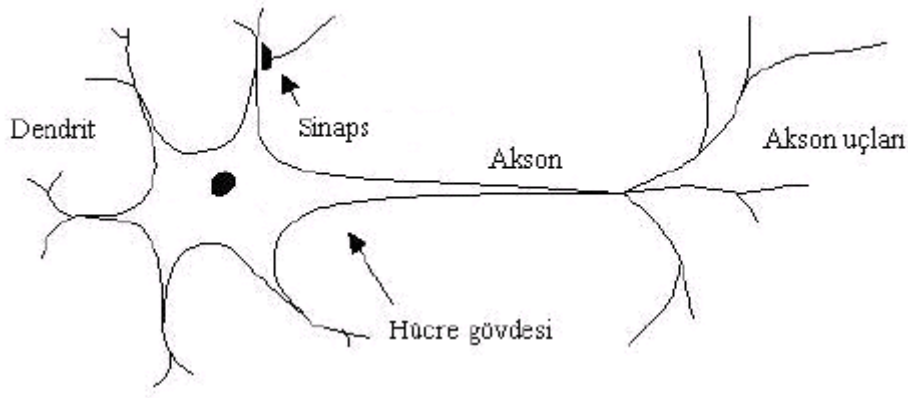
ağları modelleri, biyolojik sinir ağlarının çalışma biçimlerinden esinlenerek ortaya çıkarılmıştır. Yapay sinir ağları, biyolojik olmayan yapı taşlarının düzgün bir tasarımla birbirlerine yoğun olarak bağlanmalarından oluşmaktadırlar.[5]

Sinir sisteminin modellenmesi için yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminin üstünlüklerine de sahiptir. Bu üstünlüklerinden biri de nonlineer (doğrusal olmama) özelliğidir. Yapay sinir ağı özellikle doğrusal olmayan sistemlerde öngörüler açısından istatistik tekniklere göre daha kolaylık sağlayan bir özelliğe sahiptir. Doğrusal Olmama özelliği , YSA’ nın temel işlem elemanı olan hücrenin doğrusal olmaması ile ilişkilidir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

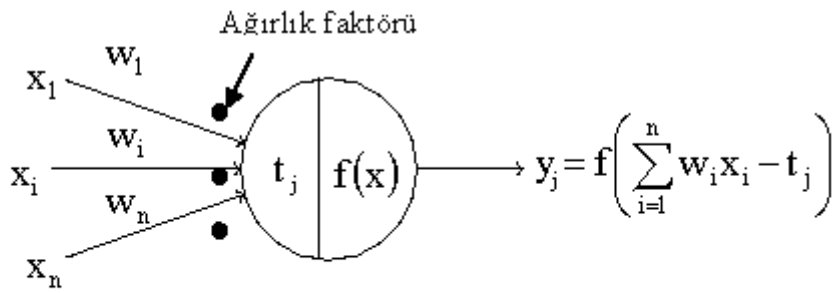
Biyolojik sinir ağlarının temel elemanı sinir hücreleridir ve insan beyninin korteks kısmında yer alan nöron (sinir hücresi) sayısı yaklaşık olarak 1011 olup her hücre sayısı,1000-10000 arasında değişen başka hücrelerle karşılıklı ilişki içerisinde. Bir sinir hücresinin temel elemanları hücre gövdesi, dendrit ve akson’dur .[5]

Sinir hücresine diğer sinir hücrelerinden gelen uyarımlar, dendritler aracılığıyla hücre gövdesine taşınır ve hücre içi aktivasyonun/kararlılık halinin bozulmasıyla oluşan bir kimyasal süreç içerisinde diğer hücelere aksonlarla iletilir; uyarımların diğer sinir hücrelerine taşınabilmesinde akson uçları ile dendritler arasındaki sinaptik boşluklar (sinaps) rol oynar. (Şekil 2.4.a)

Sinaptik boşluk içinde yer alan “sinaptik kesecikler” gelen uyarımların diğer hücelere dendritler aracılığıyla geçmesini koşullayan elemanlardır. Sinaptik boşluğa, “sinaptik kesecikler” tarafından sağlanan nöro-iletken maddenin dolması uyarımların diğer hücelere geçişini koşullar. Hücelere gelen uyarımlarla uyumlu olarak hücreler arasındaki mevcut sinaptik ilişkilerin değişimi veya hücreler arasında yeni sinaptik ilişkilerin kurulması “öğrenme” sürecine karşılık gelir.



(a) Biyolojik sinir hücresi



(b) Yapay sinir hücresi

Şekil 2.4. Biyolojik ve Yapay Sinir Hücresi [5]

Yapay sinir ağları esas olarak biyolojik nöronların basitleştirilmiş bir şekilde matematiksel olarak modellenmesine dayanmaktadır [13,14]. Biyolojik ve yapay sinir hücreleri arasındaki benzeşim (Şekil 2.4.), hücreler arasındaki bağlantılar (hücreye gelen ve hücreden çıkan uyarımlar) akson ve dendritlere; ağırlık faktörleri (w_i) sinapslara ve sınır değerler (t_j) hücre içi kararlılık haline karşılık gelecek şekilde oluşturulmaktadır. [5]

Yapay sinir hücresinde, ağırlık faktörünün etkisine bağlı olarak (w_1, w_2, w_n) hücreye gelen uyarımlar ($x_1, x_2, \dots, x_n$) hücre içi denge durumu veya sınır değeri

(t_j) de dikkate alınarak doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu $f(.)$ yardımıyla çıktı şeklinde uyarımlara (y_j) dönüştürülür (Şekil 2.4.b). Yapay sinir hücrelerinin genellikle katmanlı bir yapı gösterecek biçimde birbirine bağlanmasıyla yapay sinir ağları meydana getirilir ve yapay ağırlık faktörü sinir hücreleri arasında kurulan bağlantılara ait ağırlık faktörlerinin, uyarımlarla uyumlu olacak şekilde değiştirilmesi benzer şekilde biyolojik “öğrenme” sürecine karşılık gelir.

YSA’lar, insan beyninin çalışma prensibi örnek alınarak geliştirilmeye çalışılmış ve aralarında yapısal olarak bazı benzerlikler vardır. Bu benzerlikler Tablo 2.2 ’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Sinir sistemi ile YSA’nın benzerlikleri.

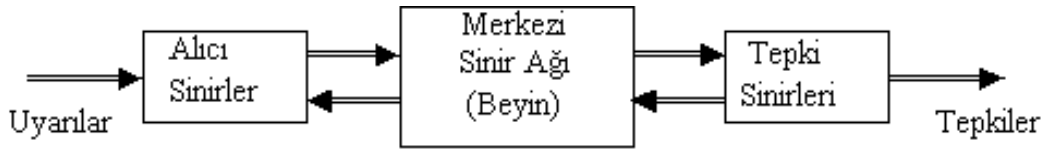
SİNİR SİSTEMİ	YSA SİSTEMİ
Neuron	İşlem elemanı
Dendrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Eleman çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Yapay sinir ağları insan beyninin öğrenme, düşünme ve değişik koşullar altında çok hızlı karar verebilme gibi yeteneklerinin basitleştirilmiş modeller yardımıyla karmaşık problemlerin çözülmesinde kullanılmasını amaçlamaktadır ve kullanım amaçlarına göre değişik tiplerde yapay sinir ağları bulunmaktadır. Sınıflandırma, kümeleme, modelleme ve tahmin gibi değişik işlemlerde kullanılan yapay sinir ağlarının en büyük avantajları doğrusal olmayan sistemleri modelleyebilmesi; bilgiyi paralel olarak işleyebilmesi ve yeni durumlara uyum sağlayabilme yeteneği olarak verilebilir.[5]

Yapay sinir ağları genel olarak ağ yapısına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli yapay sinir ağları; eğitme algoritmalarına bağlı olarak ise denetimli ve denetimsiz yapay sinir ağları olarak sınıflandırılabilir. İleri beslemeli denetimli yapay sinir ağları en yaygın kullanılan yapay sinir ağlarıdır. Girdi, çıktı ve bir veya daha çok ara katmanlardan oluşan ileri beslemeli denetimli yapay sinir ağları, girdi ve çıktı

katmanları arasında tek doğrultuda aktivasyon gösteren sinir ağıdır ve aynı katman üzerinde bulunan hücreler arasında da herhangi bir ilişki yoktur. Ara katmandaki hücre sayısını belirleyen farklı yaklaşımlar olmasına karşın genel olarak hücre sayısı deneme-yanılma yoluyla belirlenmektedir.

Biyolojik Sinir Sistemi, merkezde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Bunlar, çevreden gelen girdileri elektriksel sinyallere dönüştürerek beyine ileten alıcı sinirler (Receptor), beynin ürettiği elektriksel büyüklükleri çıktı olarak uygun tepkilere dönüştüren tepki sinirleri ile alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yaparak uygun tepkiler üreten merkezi sinir ağıdır. (Şekil 2.5)



Şekil 2.5. Biyolojik Sinir Sistemi [5]

2.5.1. YSA nasıl çalışır ?

Sinir ağı ile hesaplamalarda istenilen dönüşüm için, adım adım yürütülen bir yöntem gerekmez. Sinir ağı ilişkilendirmeyi yapan iç kuralları kendi üretir ve bu kuralları, bunların sonuçlarını örneklerle karşılaştırarak düzenler. Deneme ve yanılma ile, ağ kendi kendine işi nasıl yapması gerektiğini öğretir. YSA'larda bilgi saklama, verilen eğitim özelliğini kullanarak eğitim örnekleri ile yapılır.

Sinirsel hesaplama, algoritmik programlamaya bir seçenek oluşturan, temel olarak yeni ve farklı bir bilgi işleme olayıdır. Uygulama imkanının olduğu her yerde, tamamen yeni bilgi işleme yetenekleri geliştirebilir. Bu sayede de geliştirme harcamaları ile geliştirme süresi büyük ölçüde azalır.[5]

Bir yapay sinir ağı girdi setindeki değişiklikleri değerlendirerek öğrenir ve buna bir çıktı üretir. Öğrenme işlemi benzer girdi setleri için aynı çıktıyı üretecek bir öğrenme algoritması ile gerçekleşir. Öğrenme setindeki girdilerin istatistiksel özelliklerinin çıkarılarak benzer girdilerin gruplandırılmasını sağlayan bir işlemdir. Sinir yapılarına benzetilerek bulunan ağların eğitimi de, normal bir canlının eğitimine benzemektedir. Sınıfların birbirinden ayrılması işlemi (dolayısıyla kendini geliştirmesi), öğrenme algoritması tarafından örnek kümeden alınan bilginin adım adım işlenmesi ile gerçekleşir. YSA kullanılarak makinelerle öğrenme genelleme yapma, sınıflandırma, tahmin yapma ve algılama gibi yetenekler kazandırılmıştır.

2.5.2. YSA' nın eğitimi ve testi

Geleneksel bilgisayar uygulamalarının geliştirilmesinde karşılaşılan durum, bilgisayarın belli bilgisayar dilleri aracılığıyla ve kesin yazım algoritmalarına uygun ifadelerle programlanmasıdır. Bu oldukça zaman alan, uyumluluk konusunda zayıf, teknik personel gerektiren, çoğu zaman pahalı olan bir süreçtir. Oysa biyolojik temele dayalı yapay zeka teknolojilerinden biri olan yapay sinir ağlarının geliştirilmesinde programlama, yerini büyük ölçüde "eğitime" bırakmaktadır. Proses elemanlarının bağlantı ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine "ağın eğitilmesi" denir. Yapay sinir ağının eğitilmesinde kullanılan girdi ve çıktı dizileri çiftinden oluşan verilerin tümüne "eğitim seti" adı verilir.

Yapay sinir ağı öğrenme sürecinde, gerçek hayattaki problem alanına ilişkin veri ve sonuçlardan, bir başka deyişle örneklerden yararlanır. Gerçek hayattaki problem alanına ilişkin değişkenler yapay sinir ağının girdi dizisini, bu değişkenlerle elde edilmiş gerçek hayata ilişkin sonuçlar ise yapay sinir ağının ulaşması gereken hedef çıktıların dizisini oluşturur. Öğrenme süresinde, seçilen öğrenme yaklaşıma göre ağırlıklar değiştirilir. Ağırlık değişimi, öğrenmeyi ifade eder. YSA'da ağırlık değişimi yoksa, öğrenme işlemi de durmuştur. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rastgele atanır. YSA'lar kendilerine örnekler gösterildikçe, bu ağırlık değerlerini değiştirirler. Amaç, ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerlerini bulmaktır. Ağın doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil

ettiği olay hakkında, genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine, “ağın öğrenmesi” denir.

Yapay sinir ağının öğrenme sürecinde temel olarak üç adım bulunmaktadır. Ağ çıktılarını hedef çıktılarla karşılaştırmak ve hata çıktılarını hesaplamak, ağ ağırlıklarını değiştirerek süreci tekrarlamak. Eğitim süreci sonucunda yapay sinir ağında hesaplanan hatanın kabul edilebilir bir hata oranına inmesi beklenir. Ancak hata kareleri ortalamasının düşmesi her zaman için yapay sinir ağının genellemeye (generalization) ulaştığını göstermez. Yapay sinir ağının gerçek amacı girdi-çıkıtı örnekleri için genellemeye ulaşmaktır. Genelleme, yapay sinir ağının eğitimde kullanılmamış ancak aynı evrenden gelen girdi-çıkıtı örneklerini ağın doğru bir şekilde sınıflandırabilme yeteneğidir.[5]

İstatistiksel açıdan genelleme bir uygun eğrinin bulunması (curve-fitting) veya doğrusal olmayan ara değer atama işi (interpolation) olarak görülebilir. Şekil 2.4.b 'de genellenenin nasıl gerçekleştiği görülmektedir. şekilde (x) ile görülen noktalar eğitim verileridir. Bunların arasında kalan eğri ise ağ tarafından oluşturulmaktadır. Bu eğri üzerindeki farklı bir girdi değeri için üretilen doğru çıktı değeri, ağın iyi bir genelleme yaptığını gösterir. Ancak ağ gereğinden fazla girdi-çıkıtı ilişkisini öğrendiğinde, ağ verileri "ezberlemektedir" (memorization). Bu durum genellikle gereğinden fazla gizli katman kullanıldığında verilerin synaptic bağlantılar üzerinde saklanması veya gereğinden fazla veri kullanılarak eğitilmesinden (overtraining) kaynaklanmaktadır.

Ezberleme, genellenenin iyi gerçekleşmediğini ve girdi-çıkıtı eğrisinin düzgün olmadığını gösterir. Verilerin ezberlenmiş olması yapay sinir ağı için istenmeyen bir durum olup, verileri ezberleyen ağı ait eğitim hatası oldukça düşme, test verilerinde ise hata artma eğilimi gösterir. Bundan dolayı bir çok yapay sinir ağı yazılımı ağın eğitim ve test verilerine ait hataları grafik olarak göstermektedir. Verileri ezberleyen ağ gerçek hayattaki örüntüyü iyi temsil edemeyeceği için kullanılamaz.

En uygun öğrenme seviyesi, öğrenme fonksiyonunun önceden amaçlanan bir değere ulaşması ile sağlanamayabilir. Uygulamalarda eğitim süreci boyunca performans fonksiyonunun izlenmesi ile birlikte sık sık genelleme testlerinin gerçekleştirilmesi

yolu ile en uygun öğrenme seviyesi elde edilebilir. Eğer en uygun öğrenme seviyesine, performans fonksiyonunun öngörülerinden önce ulaşılmış ise eğitim süresi daha erken dönemlerde de sona erdirilebilir. YSA sistemlerinin problemi öğrenme başarısı, gerçekleştirilen testlerle sınanmalıdır. Yapay sinir ağı geliştirme sürecinde veriler ikiye ayrılır; bir bölümü ağı eğitilmesi için kullanılır ve eğitim seti adını alır, diğer bölümü ise ağı eğitimi verileri dışındaki performansını ölçmede kullanılır ve “test seti” olarak adlandırılır.[5]

Eğitim ve test setleriyle ilgili temel sorun, yeterli eğitim ve test verisinin miktarının ne olduğudur. Sınırsız sayıda verinin bulunabildiği durumlarda, yapay sinir ağı mümkün olan en çok veriyle eğitilmelidir. Eğitim verisinin yeterli olup olmadığı konusunda emin olmanın yolu; eğitim verisinin miktarının artırılmasının, ağı performansında bir değişiklik yaratmadığını takip etmektir.

Ancak bunun mümkün olmadığı durumlarda yapay sinir ağı eğitimi ve test verileri üzerindeki performansının yakın olması da verilerin sayıca yeterli olduğuna ilişkin bir gösterge olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte eğitim setinin içermesi gereken veri miktarı değişik yapay sinir ağı modellerine göre ve özellikle problemin gösterdiği karmaşıklığa göre farklılık gösterebilmektedir. Test işlemi için, eğitim setinde kullanılmayan verilerden oluşan test seti kullanılır. Test setindeki girdiler YSA modeline verilir ve YSA'nın çıktı değeri ile istenilen çıktı değeri karşılaştırılır. Amaç, YSA modelinin yeterli bir genelleme yapıp yapamadığını görmektir.

Eğitim ve test aşamalarında istenilen başarı elde edilirse YSA modeli kullanılabilir. (train and test) ile çapraz geçerlilik (cross validation) setinin % 25 ile % 90 arasında değişen miktarı eğitim seti olarak seçilir. Geri kalan kısım ise test seti olarak ayrılır.

Çapraz geçerlilik tekniğinde ise, YSA'nın eğitilmesinde ve test edilmesinde tüm veri seti kullanılır. Bu yaklaşımda, tüm veri seti k adet örtüşmeyen kümeye ayrılır ve k farklı YSA elde edilir. Her YSA'nın testinde farklı bir küme kullanılmak üzere, eğitim işlemi geri kalan $k-1$ adet küme ile gerçekleştirilir. Uygulama kullanılacak YSA ise, tüm veri seti kullanılarak eğitilir. Bu YSA'nın performansı, k farklı YSA'nın test sonuçlarının ortalaması ile ölçülür.

2.6. Kontrol Sistemi

Kontrol sistemini tanımlamadan önce genel anlamda, sistem ve kontrol kavramlarının bilinmesinde fayda vardır.

Sistem: Bir ya da daha çok amaca ya da sonuca ulaşmak üzere aralarında ilişkiler olan fiziksel ya da kavramsal, birden çok bileşenin oluşturduğu bütündür.

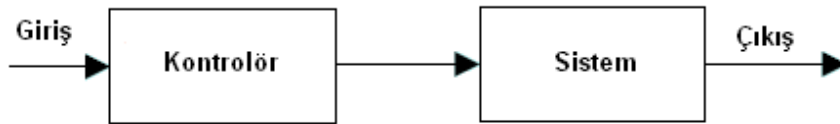
Kontrol: Bir değişken niceliğin ya da değişken nicelikler kümesinin önceden belirlenmiş bir koşula uyumunu sağlamaya yönelik olarak geliştirilen işlemler bütünüdür. Genel anlamda bir sistem 3 temel öğeden oluşur:

1. Bileşenler: Değişken değerlerden oluşup,girdi ve çıktılardır.
2. Özellikler: Sistemin karakteri ve parametrelerdir.
3. Bağntı: Sistem ile özellikler arasındaki ilişkileri gösterir.

Genel bir sisteme ait olarak verdiğimiz bu öğeler tanımlanan bütün kontrol sistemleri için de geçerlidir. Bir sistemde bir veya birden fazla parametrenin ölçülmesi ve bu ölçülen parametrenin istenen bir değerde, amaca uygun bir şekilde sabit tutulmasını sağlayan sistemdir. Temel olarak kontrol sistemleri ikiye ayrılır ;

2.6.1. Açık çevrim kontrol sistemi

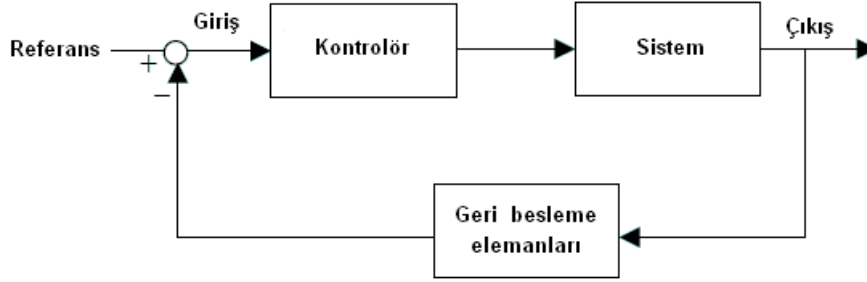
Kontrol faaliyetinin , kontrol sistemi çıkışından bağımsız olduğu sistemdir.



Şekil 2.6. Açık Çevrim Kontrol Sistemi

2.6.2. Kapalı çevrim kontrol sistemi

Kontrol faaliyetinin sistemin Kontrol edilen çıkışına bağlı olduğu sistemdir. Kapalı çevrim kontrol sisteminin , açık çevrim kontrol sisteminden en temel farkı ‘geri besleme’ etkisidir.



Şekil 2.7. Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi

Kapalı çevrim kontrol sistemi içinde ‘geri beslemeli kontrol’ de bir sistemdir ve denetlenen çıkış değişkeninin ölçülüp geri beslenerek istenen giriş değeri ile karşılaştırılmasını sağlar. Geri besleme negatif veya pozitif yönde etki edebilir. Negatif etkinin anlamı, çıkışın girişe ters yönde etki etmesidir. Pozitif etkinin anlamı ise çıkışın girişe aynı yönde etki etmesi demektir. Ancak kapalı çevrim kontrol sisteminde kullanılan çoğunlukla negatif geri besleme dir.

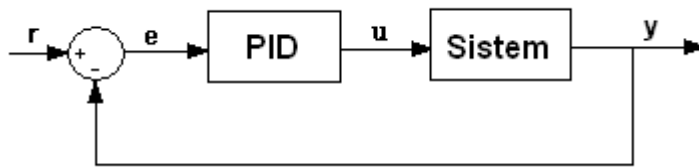
Bir kapalı çevrim kontrol sistemi içinde kontrol organının görevi, ölçme elemanı üzerinden geri beslenen çıkış büyüklüğünü , başvuru giriş büyüklüğü ile karşılaştırmak ve karşılaştırmadan ortaya çıkabilecek hata değerinin yapısına ve kendi kontrol etkisine bağlı olarak uygun bir kumanda veya kontrol sinyali üretmektir.

2.7. PID (Proportional Integral Derivative) Kontrol Modeli

PID terimi İngilizce Proportional (oransal) , Integral, Derivative (türev) sözcüklerinin başharflerinden oluşmuştur.Genel olarak PID kontrol modelinin temel yapısı Şekil 2.8 de görüldüğü gibidir. Burada plant, kontrol edilen bir sistemi veya bir prosesi

tanımlar. PID ise plant'ın davranışlarını tasarlayan ve onu harekete geçiren bir kontrol edicidir.

PID (Proportional-Integral-Derivative) günümüzde çok kullanılan bir kontrol yöntemidir. Endüstrideki uygulamaların % 75 inde uygulanmıştır. Çok geniş bir uygulama alanının olmasına rağmen PID uygulamaları için standart bir tanımlama yoktur. Karl Astrom'a göre PID algoritması eşitlik (2.1) ve (2.2) deki gibidir.



Şekil 2.8. PID temel yapısı

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.1)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2.2)$$

Burada , K_p = Proportional gain, K_i = Integral gain, K_d = Derivative gain $e(r)$, hata değeri olup, değişken (e) izleme hatasını, istenilen giriş değeri (r) ile gerçek çıkış değeri (y) arasındaki farkı gösterir. Bu (e) hata büyüklüğü PID denetleyiciye gönderir ve denetleyici bu hata büyüklüğünün hem türevini hem de integralini hesaplar. Sadece denetleyiciden geçen (u) büyüklüğü, oransal kazanç (K_p) ile hata değeri, integral kazancı (K_i) ile hatanın integrali, türevsel kazanç (K_d) ile hatanın türevi çarpımlarının toplamına eşittir. Bu (u) büyüklüğü denetlenen sisteme gönderilir ve yeni çıkış (y) elde edilmiş olur. Bu (y) çıkış büyüklüğü algılayıcıya geri gönderilerek yeni hata büyüklüğü (e) bulunur. Denetleyici yeni hata büyüklüğüne aynı işlemleri uygular ve bu işlem böyle devam eder.

2.8. MPC (Model Predictive Control - Öngörülü Kontrol Modeli)

Sistemin modelinden yararlanılarak, sistemin gelecekteki davranışını tahmin ve eniyileme prensibine göre çalışan kontrolörlere genel olarak “öngörülü kontrol” adı verilmektedir. Öngörülü Kontrolörlerin önemli yönlerinden biri çok değişkenli sistemlerin kontrolünde rahatlıkla kullanılabilir olmasıdır. Yapısı gereği ölü zaman etkisini giderme özelliğine sahiptir.

Öngörülü kontrolde, kontrol sonucunda uygulaması kolay doğrusal bir kontrol çıkışı elde edilir. Bu kontrol yöntemi geleceğe ilişkin giriş işareti bilinmesi halinde oldukça yararlı ve kullanışlıdır. Belirli temel ilkeler üzerine kurulmuş geliştirmeye tamamen açık bir yaklaşıma sahiptir. En önemli avantajlarından biri de kısıtlamaları tasarım sürecine sistematik olarak katabilmesidir.[6]

2.8.1. MPC nin tarihçesi

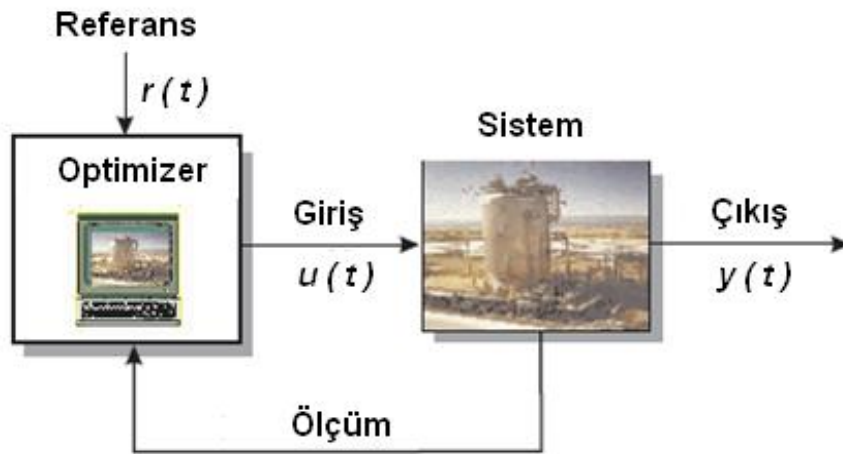
Model Öngörülü Kontrol (MPC) yapısı geniş bir tarihi vardır. Endüstriyel uygulamalarla ilgili ilk çalışmalardan biri Richalet’e aittir. İlk yöntemler darbe yada basamak tepkisi modellerine dayanırken sonraki yöntemlerde daha etkili modeller esas alınmıştır.

Öngörülü kontrol, yakın zaman dilimlerinde çeşitli araştırmacılar tarafından farklı adlarla ortaya konulmuştur. Basılan yayınların tarihleri tabii ki öngörülü kontrolün geçmişi ile ilgili bazı fikirler vermektedir. Fakat bu işteki öncüler ilk basılan yayından yıllar önce endüstride öngörülü kontrol üzerine uygulama yapanlar olarak kabul edilmelidir.[6]

Öngörülü kontrol 1980 yılından bu güne özellikle yaygın olarak petro-kimya endüstrisinde kullanılmaktadır. Öngörülü kontrol modelinin ilk temel yapısı da petro-kimya tesisi için tasarlanmış ve tesis plantinden çıkan , kontrol edilmesi gereken çıkışın ölçülerek tekrar MPC içinde yer alan optimizeye gönderilmesi mantığına dayandırılmıştır. $y(t)$ çıkışını etkileyen , $u(t)$ girişinin her seferinde ideal ve istenen

değere yaklaştığı düşünülmüştür. Dolayısıyla buna bağlı olarak çıkış ölçümünün referans ile hesaplanmasından $y(t)$ çıkışının da optimum değeri yakaladığı kanısına varılmıştır. (Şekil 2.9)

İlk defa Fransız şirketi Adersa'daki J.Richalet öngörülü kontrolü Model Predictive Heuristic Control adı altında sunmuştur (Richalet,1978). Richalet'in çalışması, geleneksel PID kontrol sistemleri ile kontrolü çok zor olan problemlere yeni bir kontrol metodolojisi getirmiştir. Bu kontrol metodu, sezgisel kavramlara dayanmakta olup kolay parametre ayar yeteneğine sahiptir. Cutler ve Ramarker de öngörülü kontrolü önermiş ve adına da "Dinamik Matris Kontrol (Dynamic Matrix Control-DMC) adını vermişlerdir.



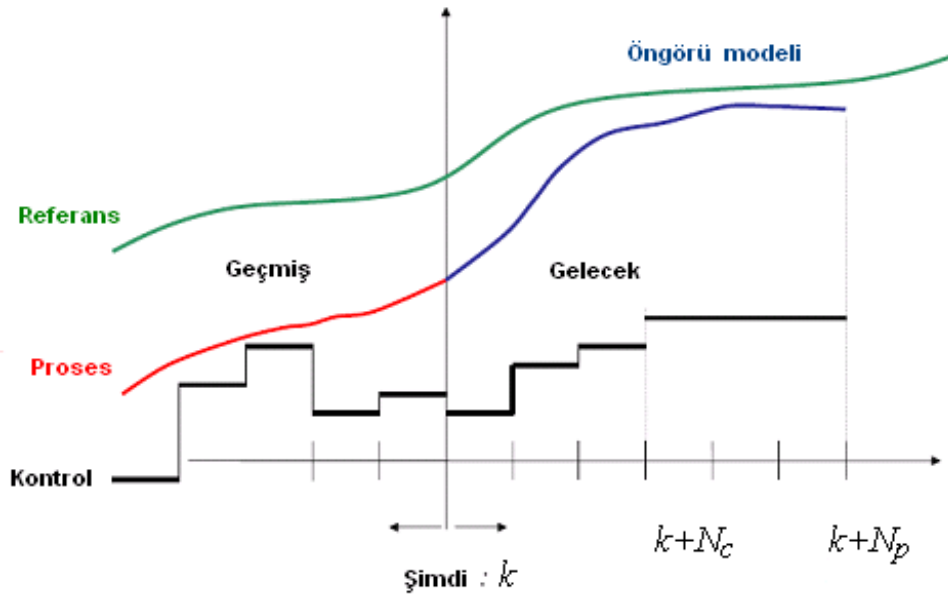
Şekil 2.9. Öngörülü kontrol modeli (MPC) nin temel yapısı [6]

Bu kontrol yönteminde ise kısıtlanmalı sistemlerin işletimine optimal çözümler getirilmiş ve kontrol büyüklüğü , doğrusal programlama probleminin ard arda çözülmesi ile hesaplanmıştır. DMC en çok bilinen ticari öngörülü kontrol ürünleri olarak günümüzde de kullanılmaktadır. Ayrıca bununla ilgili bir patent 1982'de Prett tarafından alınmıştır. Fakat ilk patent 1976 da Martin-Sanchez tarafından alınmıştır. Martin-Sanchez'in bu metodu "Özayarlı Öngörülü control (Adaptive Predictive Control) olarak adlandırılmaktadır.

Öngörülü kontrol, endüstriyel kontrolde önemli bir yeri olan gelişmiş bir kontrol metodudur. Önceleri sadece Petro-kimya endüstrisinde uygulanırken günümüzde diğer sistem kontrol sektörlerinde kullanımı artmaktadır. Elbetteki öngörülerin kullanılması kontrolde çok eski ve alışılmış bir fikirdir. Örneğin iyi bilinen Smith öngörücüsü geniş zaman gecikmeleri olan sistemler için kullanılan bir kontrolördür

Bu kontrolörün temelinde zaman gecikmesi olmayan dolayısıyla sistem çıkışının öngörüsünü sağlayan bir sistem modeli vardır. Öngörünün elde edilmesi sistemde gecikme ile ortaya çıkan geniş faz aralıklarına sebep olan faz yolunun elde edilmesi için kullanılan bir araçtır. Daha temel olarak türev davranışını kullanan her kontrolör veya faz yolu düzenleyicisi bazı büyüklüklerin öngörüsünün sağlayıcısı olarak görülebilir.[6]

MPC , aslında zaman kavramı ile çok ilişkili bir kontrol yapısına sahiptir.Yani geçmiş , şimdiki ve gelecek zaman ile ilgili bir modeldir. Şimdiki zamandan itibaren (k) başlayıp , $k+N_c$ ve $k+N_p$ gibi gelecekteki ufuk zamanlarına gider. Geçmişteki giriş kontrol değerlerine bakıp gelecekteki kontrol değerlerini öngören ve prosesin çıkış değerlerine göre yine gelecekteki (ufuktaki) çıkış değerlerini , referansa göre modelleyen bir kontrol algoritmasıdır.(Şekil 2.10)



Şekil 2.10. Öngörülü kontrol modeli (MPC) nin üç zaman ögesi ile ilişkisi [6]

Şekil 2.10 da gösterilen üç zaman ögesi ile olan ilişki , Şekil 2.11 de daha detaylı anlatılmıştır.

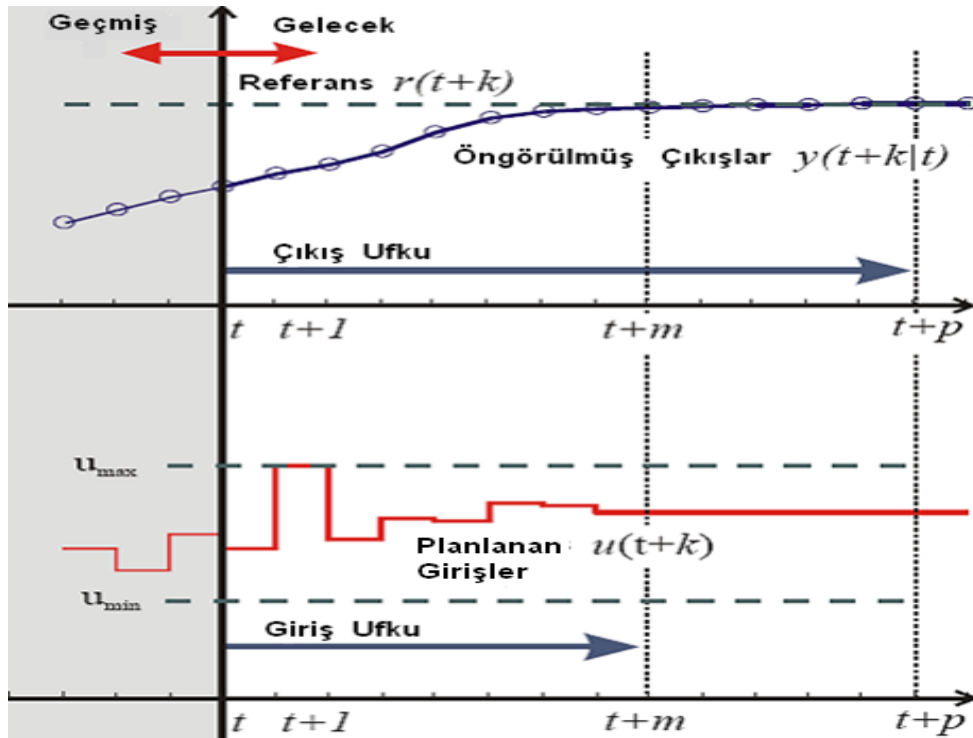
2.8.2. Öngörü ufku

Maksimum ve minimum girişlere mukabil çıkış ufku boyunca öngörülen çıkışların referans yörüngesine çok yakın olabileceğini göstermektedir. (Şekil 2.11)

2.8.3. Kontrol sınırları

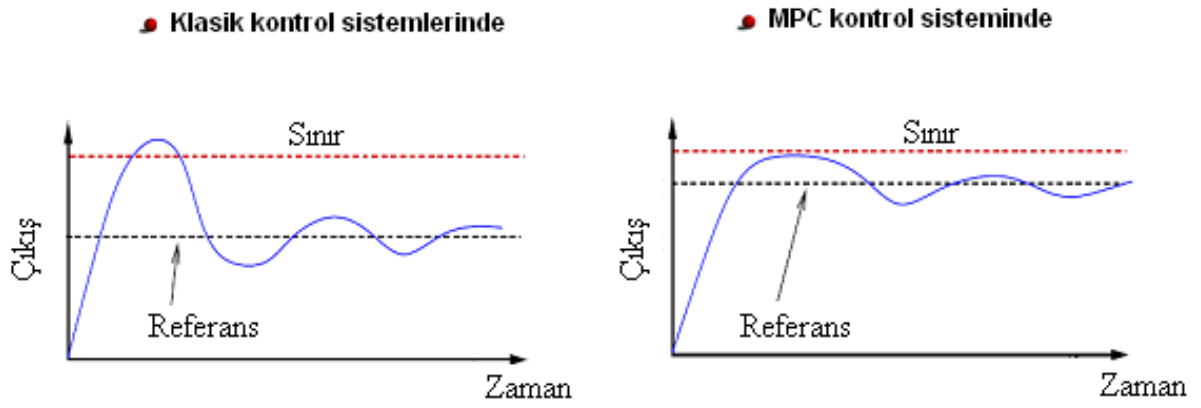
MPC kontrol sisteminde , kontrol tasarımının içine sınırlandırma değerleri dahil edilebilir. Set point değerine daha yakın bir sınır değeri söz konusudur. Ayrıca bu değerleri aşmayan çıkış değerleri elde edilir. Planta uygulandığında düzenli ve verimli bir çalışma elde edilir.[6]

Klasik kontrol sistemlerinde ise , sınır değerlerini tanımayan bir kontrol işlemi söz konusudur. Set point değeri , sınır değerlerinden çok uzaktır. Bu değerleri aşabilen



Şekil 2.11. (MPC) Öngörülü kontrol modelinde giriş ve çıkış ufukları [6]

ıkış değerleri elde edilebilir. Planta uygulandığında düzenli , verimli ve kaliteli bir çalışma sağlanamaz.(şekil 2.12)



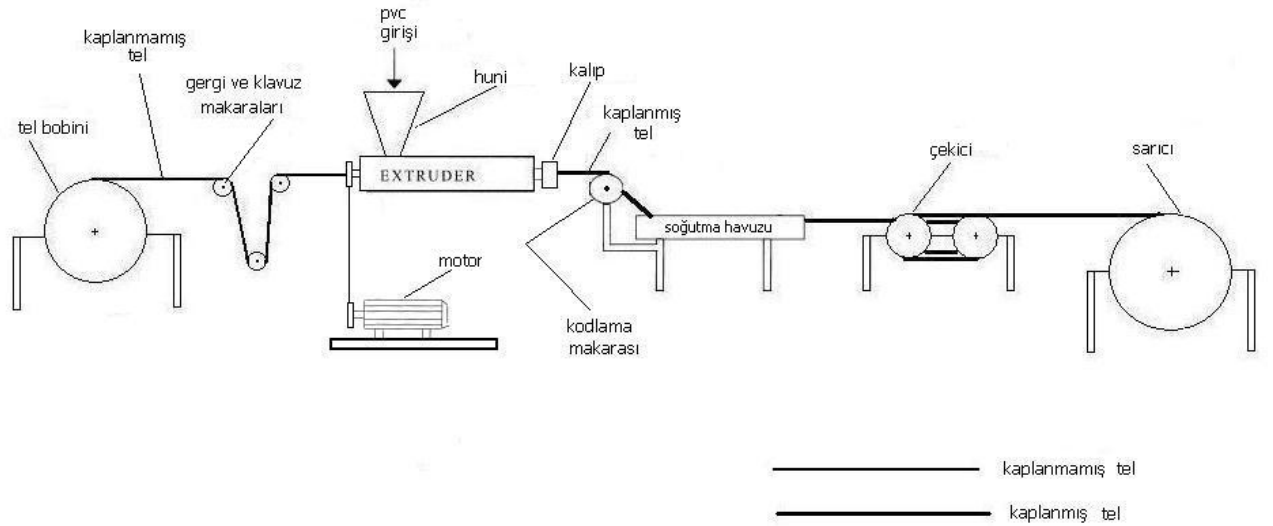
şekil 2.12. (MPC) rl kontrol modeli sınır değeri stnlğ

BÖLÜM 3. TEL KAPLAMA SÜRECİ

3.1. Tel Kaplama

Çıplak bir telin ekstruderden gelen plastik malzeme ile birlikte kalıpta buluşması ve kalıptan birlikte (Plastiğin, teli bünyesine veya içine alarak) çıkmaları işlemine tel kaplama denir.

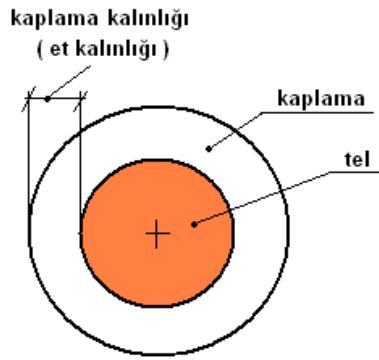
Ekstrüzyon ifadesi genel bir ifade olduğu kadar , tel kaplama kavramıda genel bir kavramdır. Her terimin çok çeşitleri vardır. Bu tezde tel kaplama ve ekstrüzyonundan kablo üretimi anlaşılmalıdır. Tel kaplama üretim akış şeması genelde Şekil 3.1. deki gibidir. Tel kaplamanın yani sıra profil çekme gibi daha detaylı üretimlerde de değişen bir üretim elemanı olmamak ile birlikte tek ve kaçınılmaz değişken eleman kalıp olmaktadır.[7]



Şekil 3.1. Tel Kaplama Prosesi Akış Şeması [7]

3.1.1. Tel kaplama kalınlığı

Tel apı ile kaplama çapı arasında kalan mesafeye diğ er bir deyişle et kalınlığına kaplama kalınlığı denir.(şekil 3.2.) İleride bahsedildiğı gibi kaplanan malzeme genellikle tel olduğı gibi grup teller olabilir.Ayrıca kaplanmış telin üzerine ikincil olarak tekrar kaplama olabilir.Tel esnek bir yapısı ya da rulo edilebilir ve katlanabilir yapısı olduğı için endüstride PVC kaplama malzemesi kullanılır.



şekil 3.2. Tel kaplama Kalınlığı

3.1.2. Tel kaplama eşitleri

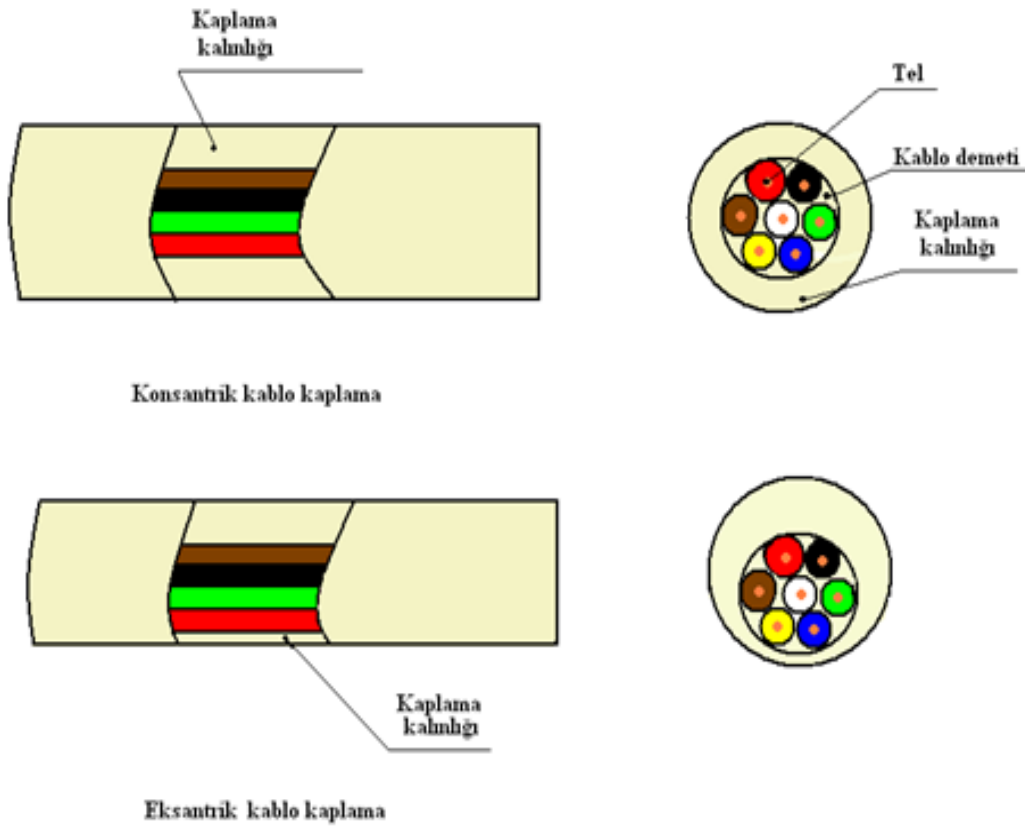
Kaplama iki ayrı amaçla yapılır;1-izole amaçlı kaplama(tele uzak kaplama),2- yalıtım amaçlı kaplama(tele yakın kaplama)dır.Kalınlık hesaplamalarında iki ayrı kaplama ayrı ayrı ele alınmayarak , ikisi de bir bütün kaplama gibi kabul edilir.(şekil 3.3)



şekil 3.3. Tel kaplama eşitleri

Kaplama prosesinde çoğu zaman çıplak telin üzerine plastik kaplandığı gibi çift kaplama da yapılabilir. Yani kablonun üzerine ikinci bir kaplama yapılabilir. Dahası kablo demetinin üzerine de kaplama yapılabilir. Endüstride kablo demetinin üzerine yapılmış kaplama ile oluşan büyük çaplı bu kablolar TTR kablo adı verilir.

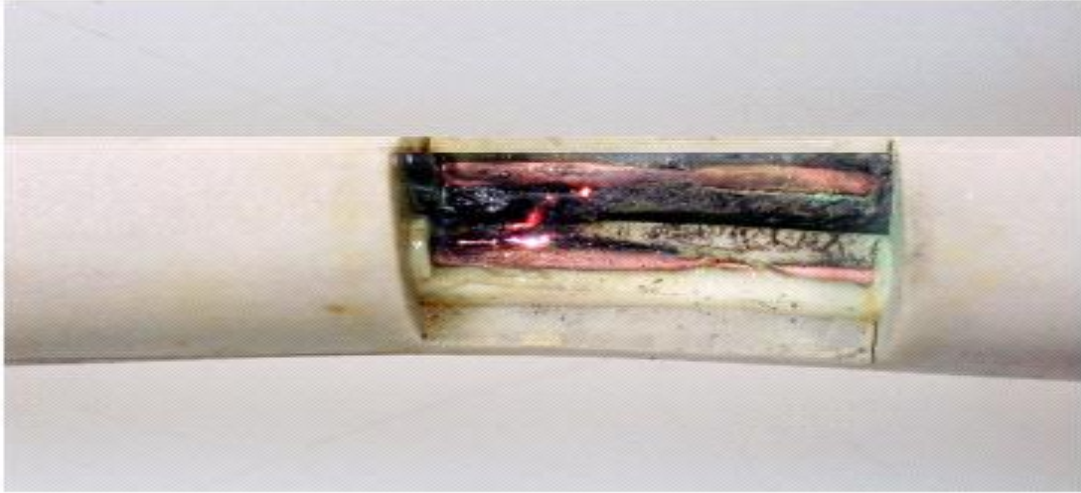
TTR kablolarla kablo demetinin merkezde yada merkezden kaçık olması durumu sözkonusudur. (Şekil 3.4) Büyük voltaj gerektiren yerlerde kullanıldığı için TTR kablolarla kaplama kalınlığının kaçık merkezli kaplanması kesinlikle istenilmez.



Şekil 3.4. Kablo demetinin (TTR Kablonun) eş merkezli ve kaçık merkezli olarak kaplanması

PVC kaplama malzemesi ile kaplanan telin merkezde (eş merkezli) olarak kaplanmaması durumunda , kaplamanın ince tarafından kısa devre vb.sebeplerle yada rutin ısınma dan dolayı tel ve kaplaması yanar.Bu durum deneysel olarak Şekil 3.5 de gösterilmiştir. TTR kablo, kaplanmış kabloların bir araya getirilip tekrar bir grup olarak kaplanması ile oluşan kalın kablo dur.Şekil 3.5, aynı zamanda TTR kablo

ile kaplama çeşitlerinin de ortaya çıktığını göstermektedir. Burada kablo demetini oluşturan her bir kablonun kendine özel kaplamalarına izole kaplama , demet kabloları saran en dıştaki kaplamaya ise yalıtım kaplama adı verilir.[7]



Şekil 3.5. PVC kaplama çeşitleri ve kaçık merkezli kaplamanın test sonucu [7]

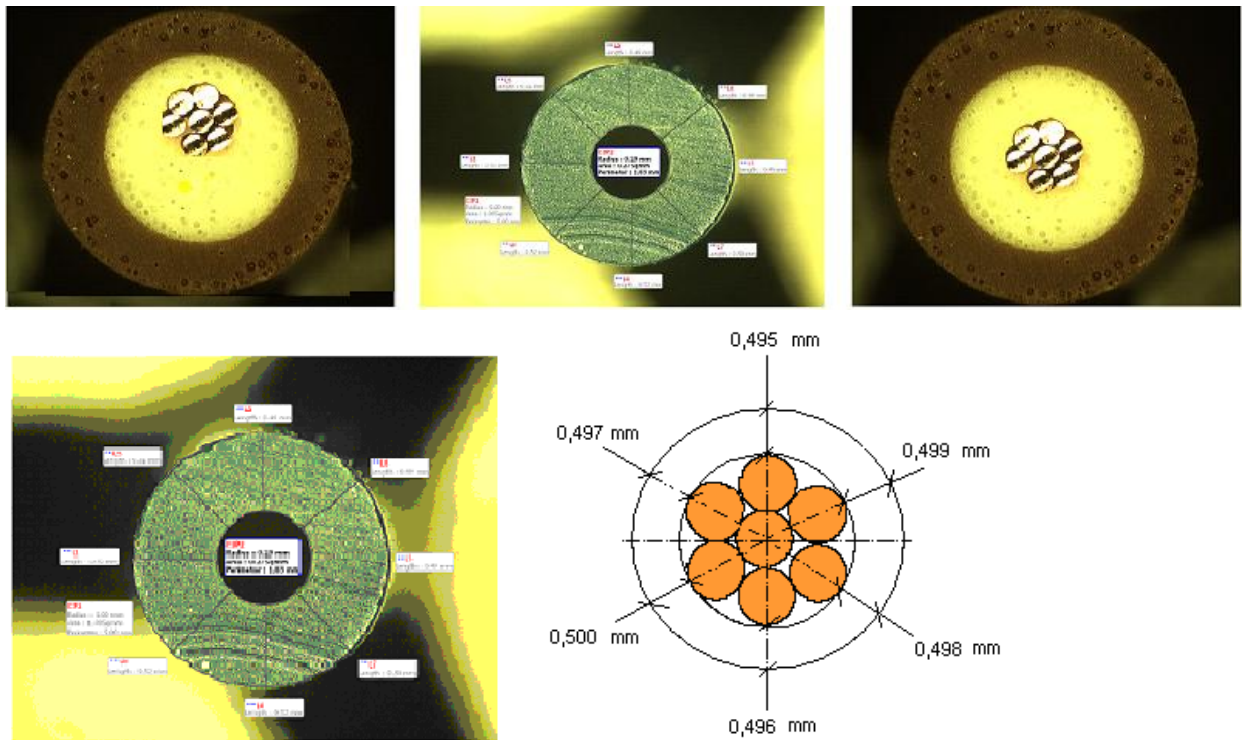
3.1.3. Kalınlık ölçümü

Gerek tek tel kaplamada gerekse TTR kaplamada kaplama ürününden alınan numune enine kesit alınarak test laboratuvarında kontrol edilir. (Şekil 3.6) Eşmerkezli ya da kaçık merkezli olması durumuna göre ayar parametreleri proses üzerinden değiştirilir.[7]



Şekil 3.6. Endüstriyel kalınlık ölçme display örnekleri (deney-microsoft computer EL-Kİ A.Ş.) [7]

Plastik endüstrisinde ve tel kaplama proseslerinde tel kaplama kalınlığı , bir çok ölçümün ortalamasının alınması ile elde edilir. Prosesten belirli zaman aralıkları ile rastgele alınan kaplanmış telin enine kesiti alınacak şekilde kesilmesi (Şekil 3.7) , ardından bu kesitin mikroskop altında incelenmesi, daha sonra mikroskopa bağlı bir pc monitöründe bu kesitin görüntülenmesi, dolayısıyla kursör yardımı ile istenen n sayıdaki noktadan karşılıklı veya çapraz bir şekilde kalınlık ölçümlerinin tespit edilmesi, sonuçta tespit edilen n sayıdaki bu ölçümlerin n' e bölünerek ortalama bir kalınlık miktarının bulunması ile olur.[7]



Şekil 3.7. Endüstriyel eş merkezli ve kaçık merkezli kalınlık ölçme
(deney-microsoft computer EL-Kİ A.Ş.) [7]

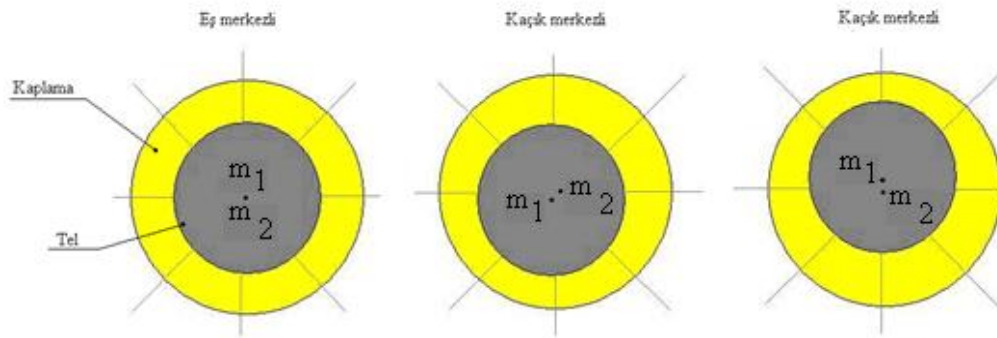
$$t_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6}{n} \quad (3.1)$$

$$= \frac{0.498 + 0.495 + 0.500 + 0.497 + 0.496 + 0.499}{6}$$

$$= 0.497 \text{ mm}$$

3.1.5. Kalınlık geometrisi

Aslında bu oluşumlar geometrik olarak incelendiğinde tel merkezi (m_1) ile kaplama merkezi (m_2) arasındaki mesafeden başka bir şey değildir. İstenen ve ideal oluşum, $m_1 = m_2$ yada $m_1 - m_2 = 0$ eşitliğine sahip bir oluşumdur. Aşağıdaki şekilde bu durum gösterilmeye çalışılmıştır.(Şekil 3.8)



Şekil 3.8. Tel ile kaplama merkezleri arasındaki mesafe

Bu tezde göz önünde bulundurulan tel kaplama kalınlığının 0.5 mm olmasıdır. Ayrıca kabul edilebilen kalınlık tolerans değeri ise + 0.005 ve - 0.005 mm aralığındadır. Yani kaplama kalınlığı ile tel arasındaki eş merkezli olma koşulu et kalınlığının minimum 0.495 mm , maksimum 0.500 mm değeri sınırlarıdır. Bu sınırlar dışında ise kaplama ile tel kaçık merkezli sayılmaktadır.

Bununla ilgili geometrik eşitlikler ve tanımlar Şekil 3.9 da gösterilmiştir. Şekil 3.9. a da , $m = m_1 = m_2$ eş merkezlilik sözkonusudur. T = Kaplama kalınlığı (mm) , R = Kaplama yarıçapı (mm) , r = Tel yarıçapı (mm) , m_1 = Kaplama merkezi , m_2 = Tel merkezi $m = m_1 = m_2$ Eş merkez ayrıca kaplama kalınlığı kabul edilebilir tolerans değeri + 0.005 ve - 0.005 mm dir.

$m_1 = m_2$ durumunda

$$r + a = 0 ,$$

$$r + t = R ,$$

$$t = R - r \quad (3.2)$$

şeklinde hesaplanabilir.

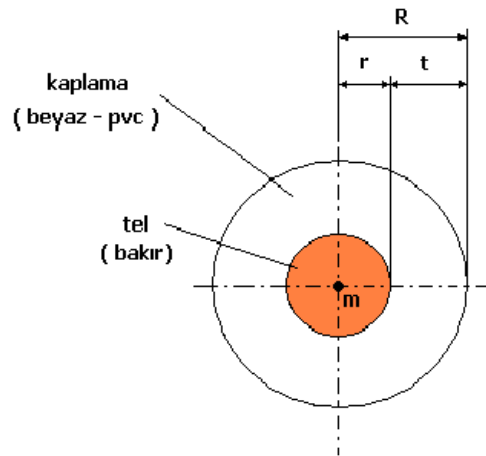
Şekil 3.9. b de ise $m_1 \neq m_2$ = kaçık merkezlik söz konusudur. T = Kaplama kalınlığı (mm) , R = Kaplama yarıçapı (mm) , r = Tel yarıçapı (mm) , m_1 = Kaplama merkezi , m_2 = Tel merkezi $m = m_1 = m_2$ = Eş merkez ayrıca kaplama kalınlığı kabul edilebilir tolerans değeri $+ 0.005$ ve $- 0.005$ mm dir.

$m_1 \neq m_2$ durumunda

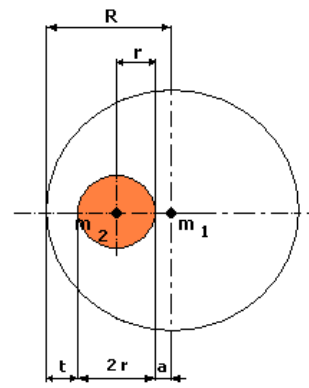
$$R = 2r + t + a ,$$

$$t = R - 2r - a \quad (3.3)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.



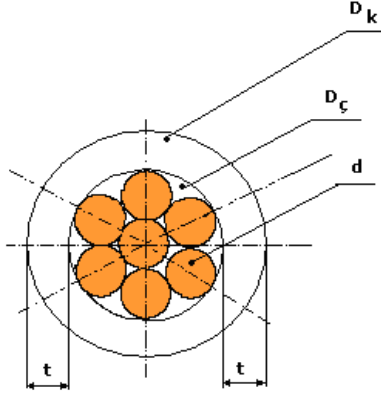
a-Eş merkezli olması durumu



b-Kaçık merkezli olması durumu

Şekil 3.9. Tel merkezi ile kaplama merkezi arasındaki geometrik uzaklık

Endüstride veya literatürde kaplama çapı ve kaplama et kalınlığı (Şekil 3.10) hesabında uluslararası AWG (American Wire Gauge) standartlarına göre k katsayısı kullanılır. (Tablo 3.1) Bu katsayı değeri her tel çapı için ayrı miktardadır.



Şekil 3.10. Eşdeğer tel çapını oluşturan tellerin (t) kaplama kalınlığı

AWG standartlarına göre tez için prosesten seçilen kaplama parametreleri dikkate alındığında kaplama kalınlığı Tablo 3.1.deki gibi hesaplanır.

Tablo 3.1. A W G Standartları

	A W G Standartlarına göre k katsayısı
0-10 tel arası	1,170
11-20 tel arası	1,165
21-40 tel arası	1,160
41-60 tel arası	1,155
60- üzeri arası	1,150

Şekil 3.10.daki kaplama parametreleri (3.4) ve (3.5) eşitlikleri ile hesaplanır.

$$D_{\text{ç}} = \sqrt{n} \cdot d \cdot k \quad (3.4)$$

Burada D : çekirdek çapı (mm) , n : tel sayısı , d : tel çapı , k : AWG katsayısı olmak üzere (Tablo 3.1.den) ,

$$D_{\phi} = 7 \times 0.20 \times 1.170$$

$D_{\phi} = 0.61$ mm hesaplanır.

$$t = \frac{D_k - D_{\phi}}{2} \quad (3.5)$$

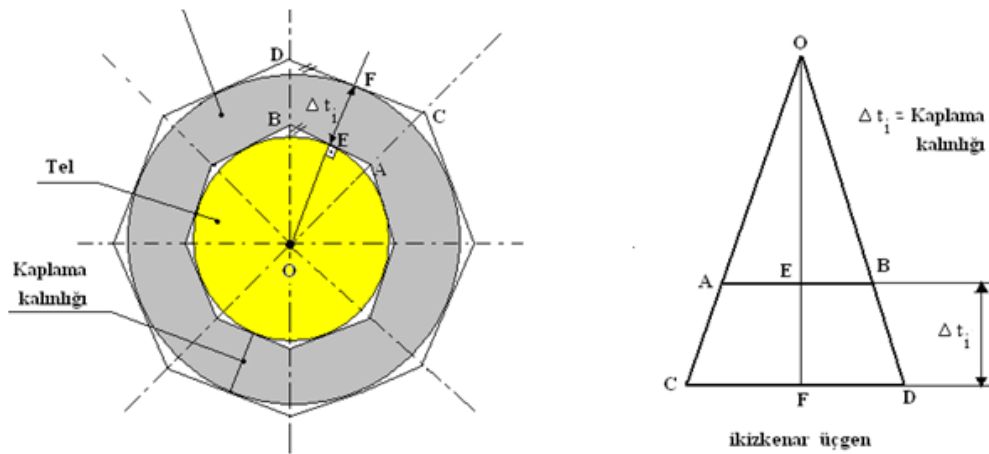
Kaplama kalınlığı tezin sonunda verilen prosesten alınan veriler doğrultusunda ve deney esnasında kaplama çapı $D_k = 1.60$ mm olarak seçilmiştir.

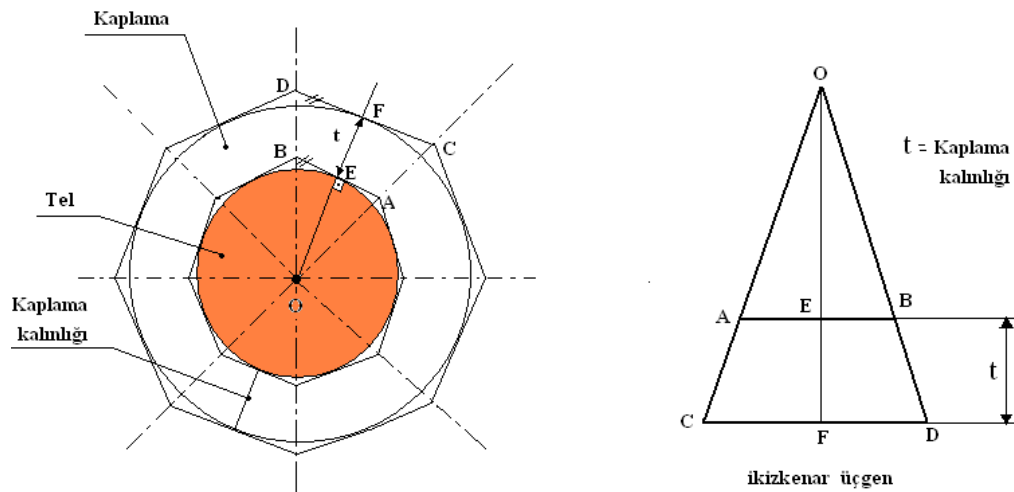
(3.5) eşitliğine göre t : kaplama kalınlığı (mm) , D_k : kaplama çapı (mm) ve D_{ϕ} : çekirdek (tel) çapı (mm) olmak üzere

$$t = \frac{1.60 - 0.61}{2}$$

$t = 0.495$ mm olarak hesaplanmıştır.

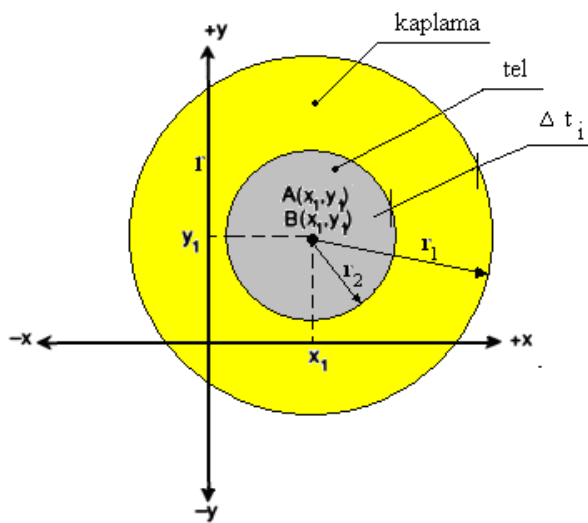
Kaplama dairesinin sekizgene veya altıgene bölündüğü farzedilirse , sekizgeni yada altıgeni oluşturan her bir ikizkenar üçgendeki parametrelerden birinin de kaplama kalınlığına ait olduğu görülmektedir. (Şekil 3.11)





Şekil 3.11. Kaplama kalınlığının geometrik yorumu

Kaplama daire merkezi ile tel daire merkezi arasındaki ilişki , iki daire arasındaki merkez koordinatlarının geometrik tanımları ile de yorumlanabilir. Geometrik tanım eş merkezlilik ($m_1 = m_2$) durumunda ayrı bir yorum kazanır.(Şekil 3.12)

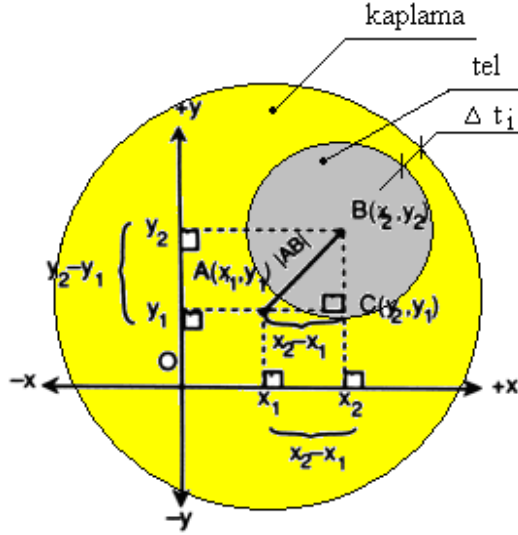


Şekil 3.12. Tel dairesi merkezi ile kaplama dairesi merkezi eş merkezli koordinatlarda ise

Şekil 3.12 ye göre r_1 : kaplama dairesi yarıçapı (mm) , r_2 : tel dairesi yarıçapı (mm)
 A : kaplama dairesi merkezi , B : tel dairesi merkezi , Δt_i : kaplama çevresi boyunca farklı kaplama kalınlıkları (mm) ve $r_1 > r_2$ olması koşulu ile

$$\Delta t_i = r_1 - r_2 - [AB]_i \quad (3.6)$$

Şeklinde formülize ediebilir.



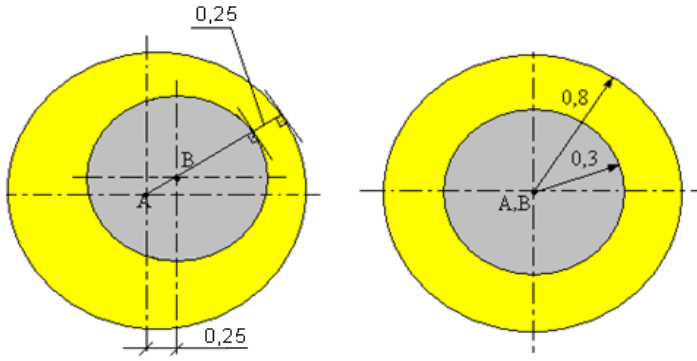
Şekil 3.13. Tel dairesi merkezi ile kaplama dairesi merkezi kaçık merkezli koordinatlarda ise

Kaçık merkezlilik durumunda ise daire merkezleri arası mesafe eşitliğinden dolayı ayrı bir yorum kazanır (Şekil 3.13). İki daire arası uzaklık eşitliğinden Δt_i kaplama kalınlığı (et kalınlığı) aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

A : kaplama dairesi merkezi , B : tel dairesi merkezi , Δt_i : kaplama çevresi boyunca farklı kaplama kalınlıkları (mm) olmak üzere düzlemde $A(x_1, y_1)$ ve $B(x_2, y_2)$ noktaları arası uzaklık $[AB]$ doğru parçasının uzunluğu , ABC dik üçgeninde Pisagor teoremine göre

$$[AB]^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 \quad (3.7)$$

eşitliği ile bulunabilir. Buna göre sayısal bir örnek yapılacak olursa Şekil 3.14 e göre merkezlerin kaçık olması ve eş olması durumları aşağıdaki gibi açıklanabilir.



Şekil 3.14. Kaplama kalınlığı için iki daire merkezi arası uzaklık

Merkezlerin çakışık (eş) olması durumunda yani $[AB] = 0$ durumunda $\Delta t_i = r_1 - r_2$ olur. Proses verilerine göre $d_1 = 1.60$ mm , $r_1 = 0.8$ mm , $d_2 = 0.60$ mm , $r_2 = 0.30$ mm olarak kabul edilmiştir. Burada $r_1 - r_2 = 0.8 - 0.3 = 0.5$ mm olur.Yani $\Delta t_i = 0.5$ mm hesaplanmış olur.

Merkezlerin kaçık olması durumunda yani $[AB] \neq 0$ durumunda $\Delta t_i = r_1 - r_2 - [AB]$ olur. Prosesden $d_1 = 1.60$ mm , $r_1 = 0.8$ mm , $d_2 = 0.60$ mm , $r_2 = 0.30$ mm ve $[AB] = 0.25$ mm olarak ölçüldüğüne göre $\Delta t_i = r_1 - r_2 - [AB] = 0.8 - 0.3 - 0.25 = 0.25$ mm olur.Böylece $\Delta t_i = 0.25$ mm olur. (Şekil 3.14)

Bu iki ifadeyi birleştirip genelleştirme yapılacak olursa ; merkezlerin aynı eksen doğrusu üzerinde olması ve birbirlerine göre uzaklıkları , istenen Δt_i kalınlıklarını verecektir.Böylece her nokta için,yani kaplama merkezi etrafında oluşan herhangi bir tel merkezi için genelleştirilmiş ifade şöyle yazılabilir;

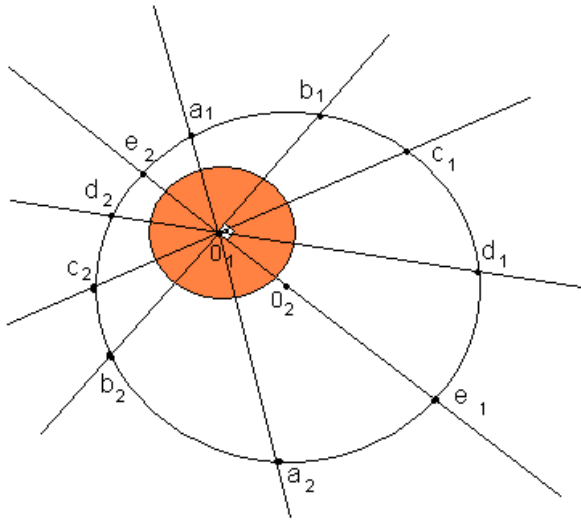
$\Delta t_i = r_1 - r_2 - [AB]_i = 0$, $i = 0$, $i \in \mathbb{R}^+$, $[AB]_i = 0$ ise eş merkezli kaplama olup istenen durumdur. $\Delta t_i = r_1 - r_2 - [AB]_i = 1$, $i = 1$, $i \in \mathbb{R}^+$, $[AB]_i = i$ ise kaçık merkezli kaplama olup istenmeyen durumdur.

Kaplama kalınlığı , kaplama çevresi boyunca değişik ve birçok yani üniform olmayan yapıya sahiptir.Tel ile kaplama yüzeyi arasında kalan bu kalınlık ölçüleri birden fazla birbirlerinden farklı olduğu için genel bir formülle ifade etmek daha uygun olacaktır.Bu formül ,

$$\Delta t_i = r_1 - r_2 - [AB]_i = 0, i = 0, i \in \mathbb{R}^+ \quad (3.8)$$

şeklinde olmalıdır.

Kaplama dairesi merkezi (O_2) ile tel dairesi merkezi (O_1) aynı noktada olmaması durumunda O_1 merkezinden geçen birçok doğru arasındaki dairede kuvvet bağıntısı teorisi (Tales teorisi) daire çevresi boyunca farklı kalınlık değerlerini ortaya koyacaktır.(Şekil 3.15)



Şekil 3.15. Kaplama kalınlığının Tales teoremi ile yorumu

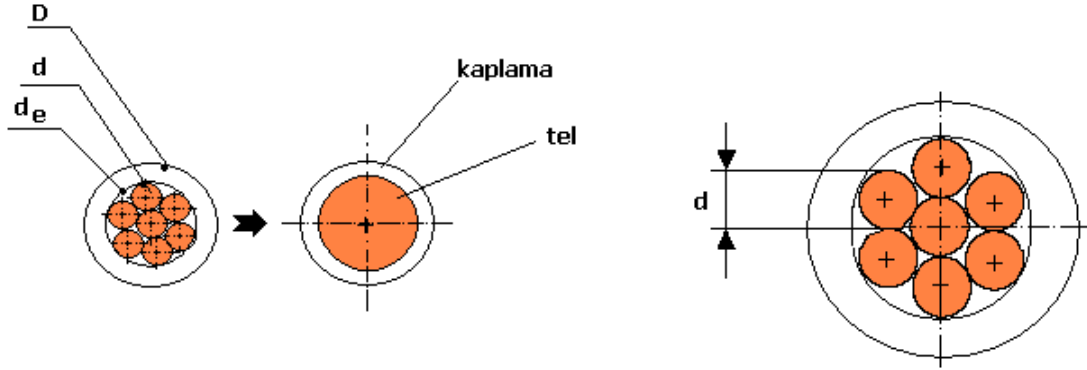
Şekil 3.15 e göre , tales teorisi uygulandığında

$$\begin{aligned} [a_1 O_1] &= x_a, [a_2 O_1] = y_a, \\ [b_1 O_1] &= x_b, [b_2 O_1] = y_b, \\ [c_1 O_1] &= x_c, [c_2 O_1] = y_c, \\ [d_1 O_1] &= x_d, [d_2 O_1] = y_d, \\ [e_1 O_1] &= x_e, [e_2 O_1] = y_e \quad \text{olarak tanımlanırsa} \end{aligned}$$

$$x_a \cdot y_a = x_b \cdot y_b = x_c \cdot y_c = x_d \cdot y_d = x_e \cdot y_e \quad (3.9)$$

eşitliği sözkonusudurki bu eşitliğe tales teorisinde “ Dairede kuvvet bağıntısı “ adı verilir.

Tel kaplamada bazen kaplanacak tel , tek damar olmayıp birçok telden oluşabilmektedir. 0.20 mm çapındaki 7 adet telin biraraya gelmesiyle 1.40 mm çapında bütün olarak daha önce oluşturulan örgü telin kaplanması , bu çalışmanın temelini oluşturmuştur. Proseste ki veriler (Ek A ve Ek B) , bu telin kaplanması esnasında plant üzerinden alınmıştır. (Şekil 3.16)



Şekil 3.16 Örgü tellerin bir bütün (eşdeğer) tel olarak hesaplanması

Şekil 3.16 da ; n : tel sayısı , d : tel çapı (mm) , d_e : eşdeğer tel çapı (grup tel çapı) , D : kaplama çapı (mm) , A : kablo kesiti (mm^2) olarak tanımlanırsa ve proses deney değerlerine göre $n = 7$, $d = 0.20$ mm , $d_e = 1.40$ mm , $D = 1.60$ mm sayısal değerler geçerli ise,

$$A = \pi \cdot d^2 / 4 \cdot n \quad (3.10)$$

eşitliği ile kablo veya kaplama kesiti hesaplanabilir.

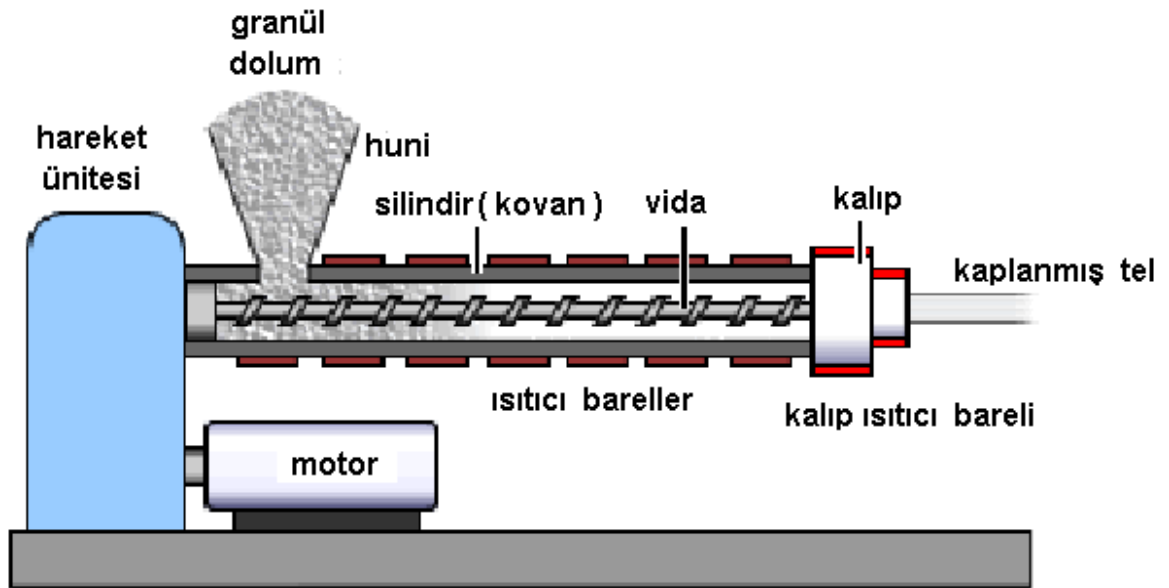
3.2. Polimer Ekstruderi ve Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, ısı ile eritilen granül halindeki hammaddenin, şekil vermek için bir kalıptan basınç yoluyla geçirilmesi işlemidir. Kalıptan çıkan ürün (kablo) soğutularak istenilen özelliklerde malzeme haline getirilir. Ekstrüzyon işlemi "Extruder" denilen makinelerde yapılır. Kullanılan yüksek teknoloji ve kullanım özelliklerine uygun hammadde ile istenilen özelliklerde mamul elde edilir. 160 yıllık bir geçmişe sahip olan ekstrüzyon, kalıpcılığın bir bölümüdür.

Özellikle son 20. yüzyıl da bu alanda önemli gelişmeler, yaşanmış büyük adımlar katedilmiştir. Kendine has teknolojisi olan ekstrüzyon için kullanılan tezgahlar ve ekipmanlar da bu işleme uygun olarak dizayn edilmiştir.[7]

3.2.1. Ekstruder vidası

Vidanın içinde döndüğü kısma Kovan ismi verilir. Şekilde görülen ekstrüderde vida konik kavrama ile dişli sisteme bağlanmıştır. Bu şekilde sistemdeki güç vidaya aktarılacak maksimum tork ile vidanın dönmesi ve plastiğin sahip olduğu viskoziteyi yenmesi sağlanmış olur. Ekstruderler, mekanik olarak ısıtıcı bareller ile karıştırıcı ve götürücü bir vidadan oluşmakla beraber plant olarak bunlara ilaveten kalıp ve güç-tahrik mekanizmasından meydana gelir. (Şekil 3.17)



Şekil 3.17. Ekstruder plantinin kesit görünüşü

Bu ekstrüderlerde kullanılan vidaların üç kısmı vardır. Birincisi besleme bölgesidir. Besleme bölgesinin fonksiyonu granülü besleme hunisinden alıp bunu vida kanalına iletmektir. Aynı zamanda granül ileri giderken ısınmaya başlar ve sıkışır. Granül ileri giderken basınç artar.

Yeterli pompalama için granüllerin vida kenarlarında kalması gerekir. Granüller vida üzerinde fazla kayma eğilimi gösterir ve kovan duvarında düşük seviyede kayma gösterir. Besleme bölgesinden maksimum granül akışı aşağıda belirtilen özelliklerle sağlanır;

- 1) Vidanın besleme bölgesindeki kanal derinliğinin daha fazla olması gerekir.
- 2) Granüller ve vida arasındaki sürtünme miktarı düşük olmalıdır.
- 3) Kovan duvarları ve granüller arasındaki sürtünme yüksek olmalıdır.
- 4) Optimum helis açısı vidada gereklidir.

3.2.2. Çok vidalı ekstrüderler

Çok vidalı ekstrüzyon silindir içinde plastik pompalama işi aşırı vida dönmesi olmadan bazı malzemelerde örneğin, toz halinde, pasta halinde, LDPE kabuk granüllerde istenir. Bu özelliği tek vidalı ekstrüzyon presi veremez. 1930 yılında plastik malzemenin daha iyi ekstrüzyon presini beslemesi için çok vidalı ekstrüzyon presleri kullanılmaya başlandı. Bunlardan en çok bilinen ve kullanılan çift vidalı ekstrüzyon presidir. Kendi aralarında ikiye ayrılırlar.

- Vida dişleri birbirine geçen (intermeshed) ekstrüderler.
- Vida dişleri birbirine geçmeyen (no Intermeshed) ekstrüderler.

Dişleri birbirine geçen vidalar daha yaygındır. Çünkü daha fazla pozitif pompalama işlevini yapar, polimeri kovan içinde C şeklinde tutar ve vidanın dönmesiyle silindiri ileriye hareket ettirir. [35]

3.2.3. Vida tasarımı

Ekstrüzyon işlemi için olmazsa olmaz bir eleman olan ekstrüderler kendi içinde önemli parçalardan oluşmuştur. Bir ekstrüder için çalışma alanını, kapasitesini ve ömrünü belirleyen en önemli parça , vidadır.

Bir vidanın iyi olabilmesi için malzemesinin de iyi olması gerekir. Vidalar genellikle 4140, 4340 ve 8620 çeliklerinden imal edilirler. Ancak malzemenin iyi olması yeterli

değildir. Ayrıca krom – nikel kaplama yapılarak vida sağlamlaştırılır ve eriyen plastiğin vida üzerine yapışması önlenir. Vida besleme, sıkıştırma, dozajlama bölgelerini içine alacak uzunlukta olmalıdır, böylece erimiş plastik uygun durumda kalıp girişine ulaşır.[7]

3.2.4. Vida boyutları

Vida boyutları, helis açısı, kanal derinliği ve genişliği burada önemlidir. Genel olarak pratikte vida uzunluğunun vida çapına oranı erimiş plastikteki aranan özellikleri belirlemede basit bir yaklaşımdır. Örneğin 15 cm çaplı bir vidada ile uzunluk çap oranı 10 : 1 olması beklenir ki, bununla erimiş plastik istenilen duruma 2 cm çaplı L/D oranı 20 : 1 vidadan daha kolay gelir.

İyi erimiş plastik elde etmek için vida uzunluğu ile vida çapı ve diğer vida boyutlarıyla L/D oranından daha fazla ilgilenilmelidir. Bu belirtilen özelliklere rağmen termoplastik ekstruderlerin çoğunda L/D oranı 15 : 1 ve 25 : 1 dir. Buradaki proseste kullanılan ekstruder Ø30 - 24 D tek vida extruderidir. Değişik ekstrüzyon uygulamalarının yanı sıra 1.4 mm çapındaki çıplak telin , 2.40 mm çapındaki kaplanmış tel haline dönüştürülebilmesi için kullanılmıştır.[7]

3.2.5. Vida ve kovan

Homojen eriyikler elde edebileceğiniz extruderler ile LDPE , HDPE, LLDPE, PP, PVC, PA gibi plastik malzemelerin ekstrüzyonu sağlanabilir. Vida ve kovan imalatında 1.8550 nitrasyon çeliği kullanılmakta olup sertlik dereceleri 960 - 1050 HV olmaktadır.[7]

3.2.6. Redüktör

Extruder uygulamaları için dizayn edilen redüktör gövdesi döküm olup bütün dişliler özel profil taşlamalıdır. Yüksek hızlarda sessiz bir çalışma şekli olup yağ banyolu ve yağ pompalı tipindedir.[7]

3.2.7. Isıtma ve soğutma

Kovan ısıtma işlemi seramik rezistanslarla gerçekleştirilmiş olup , soğutma işlemi ise yüksek performanslı radyal fanlarla yapılmaktadır.[7]

3.2.8. Diğer özellikler

Mil Çapı (mm)	: 30
L / D Oranı	: 24
Max.Vida Hızı (rpm)	: 800
Isıtma / Soğutma Bölgesi	: 4
Max.Basınç (bar)	: 1000
Kapasite PVC (kg / h)	: 35
Kapasite LDPE (kg / h)	: 25
Kapasite HDPE (kg / h)	: 26

3.2.9. Ekstrüderlerin kullanım alanları

Kaplama işleminde kullanılan ekstrüderler tek vidalı 24/1 ve 30/1 vida oranlı ekstrüzyon elemanlarıdır. Daha uzun ekstrüderler kullanılır çünkü bunlar homojenliği sağlar. Çıkan parçalar daha dengeli kaplanmış olur .

PVC film imalatı tek vidalı ekstrüderde yapılır. Genellikle yatay 3.5 inch ve 4.5 inch ölçülerinde ekstrüderde imal edilirler. Bu tip ekstrüderlerin çıkış gücü 136 – 227 kg/h olduğu için işlem için en uygun ekstrüderlerdir. Çoğunlukla film ekstrüzyonu için gerekli sıcaklık 210 ° ve daha üstüdür .

Tavan kaplamaları, araba parçaları, çerçeve kenarlıkları gibi parçaların imalatı için geniş tek vidalı, 4.5 inch ve 6.0 inch ölçülerinde ekstrüderler kullanılır. Geniş et kalınlığına sahip plastik ürünlerde çok vidalı ekstrüderlerin kullanımı ile imal edilebilir .

3.3. Ekstrüzyon Sıcaklığı

Granülleri eritmek için ısı, içsel (sürtünmeyle) oluşur veya kovanın çevresine sarılı ısıtıcılardan verilir. Isı kaynağını kontrol etmek gereklidir. Çünkü plastik aşırı sıcak olursa, bozulur veya çok akışkan olur. Eğer sıcaklık aşırı düşük olursa, plastik yeterince erimez. F.Previdi , S.M.Savaresi , A.Panarotto (2005), yaptıkları deneysel çalışmada bu extruder parametrelerini kontrol etmişlerdir.

Polimer ekstrüzyonunda polimer erylğinin debisinin kararlı ve dengeli olabilmesi için proses işletim esnasında ekstruder sıcaklığı parametresinin kontrol edilmesi gerekir.

Vidanın ikinci bölgesi sıkıştırma bölgesidir. Polimerin erimesi sıkıştırma bölgesinde oluşarak polimerlerin birbirine kaynaması sağlanır. Vidalarda genellikle vida kökündeki çapta besleme hunisinden vida ucuna doğru artış vardır.

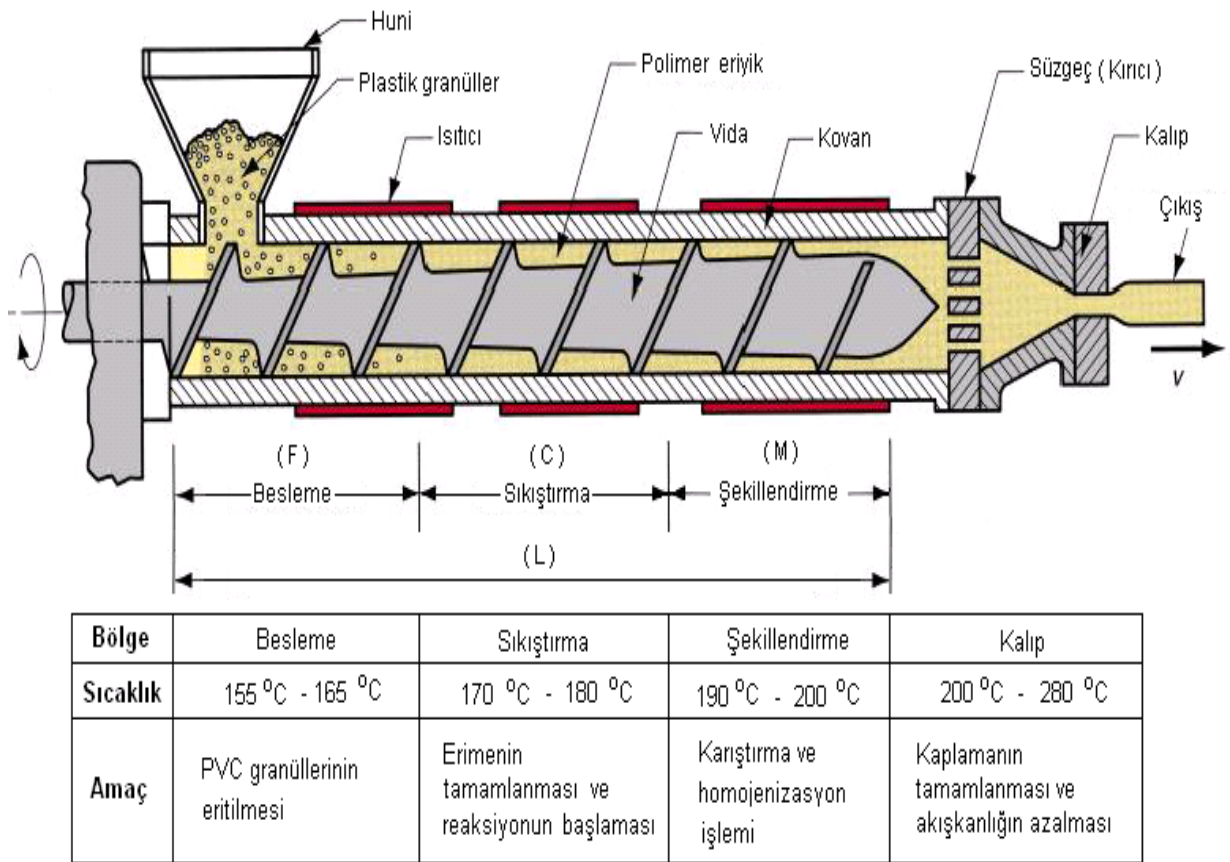
Vidanın başlangıcındaki ilk açıklığın hacminin vidanın sonundaki son dişli aralığının hacmine oranına sıkıştırma oranı denilir. Piyasadaki plastik makinelerinde genellikle 1/1,5 ve 1/ 4 dir. Vidanın en son bölgesi dozajlama bölgesidir. (M) Vida dozajlama bölgesinden erimiş polimer ekstrüzyonu için gerekli uygun ve sabit basınca getirilir.

Erimiş plastik sabit miktarda, sabit basınç ve sıcaklıkta kalıba gönderilir. Bu aranan özellikler makine için farklı noktalarda değişir, fakat belirli bir noktada zamanla değişim olmaz. Ölçme (dozajlama) bölgesinin fonksiyonu erimiş plastiği ekstrüzyon için gerekli, uygun basınç ve eşit sıcaklık ortamına getirmektir. Düzgün ekstrüzyon için erimiş plastiği iyi karıştırmak, homojen yapı elde etmek için dozajlama bölgesinde yüksek basınca ihtiyaç vardır. Ayrıca bu basınç akma direncinin (viskozitesinin) artması ile artar.

Bir ekstruder vidasında F: Besleme bölgesi, C: Sıkıştırma bölgesi, M: Ölçme (şekil alma) bölgesi olmak üzere üç kısım vardır. Her bölgenin plastik cinsine göre ve bölge işlevine göre ayrı sıcaklık değerleri vardır. Bu ayrı özellikler her bölge için ayrı

amaçlar için meydana gelirler. Kalıp bölgesi ekstrudere dahil olmayıp ekstrudere bitişik komşu eleman olan kaplama kısmını ilgilendirmektedir.(Şekil 3.18)

Ürünün yanmasını engellemek için besleme bölgesindeki sıcaklığın nispeten düşük tutulması gerekir.Yüksek kaliteli PVC kablo üretimi için, dozajlama bölümünden sonra sıcaklığın muhafaza edilmesi gereklidir. Kalıp çıkışında ısıtılması halinde kablo yüzeyi daha pürüzsüz ve parlak olacaktır.[8]

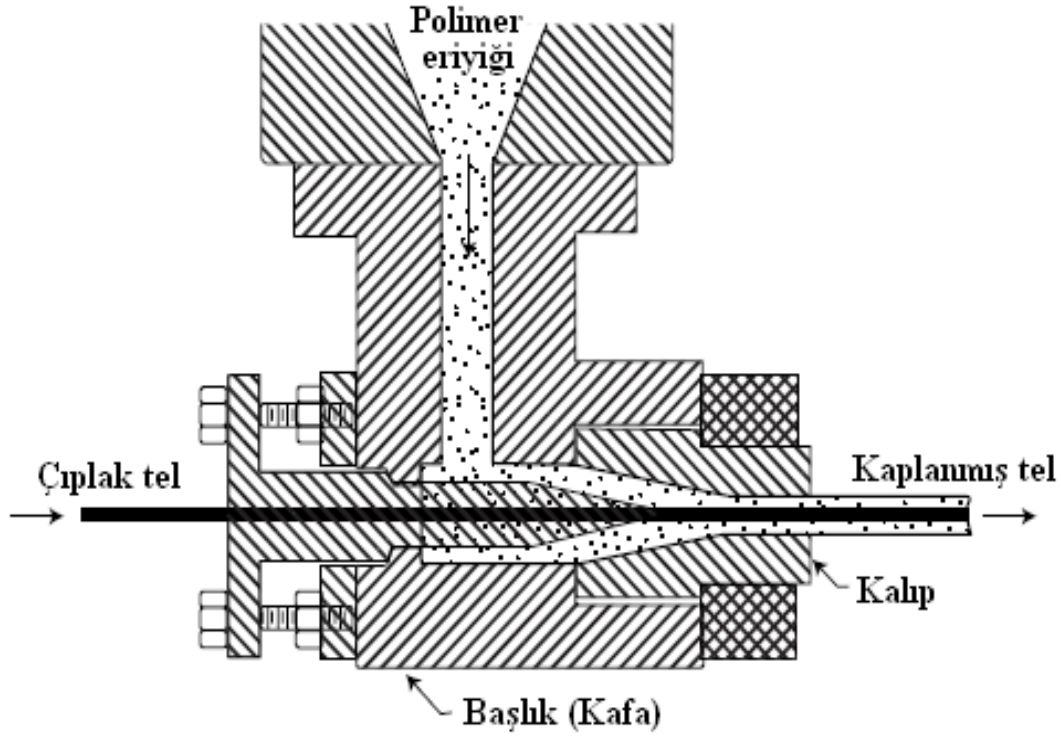


Şekil 3.18. Ekstruder bölgelerinin işlevleri

3.4. Ekstrüzyon Kalıbı ve Kalıp Konstrüksiyonu

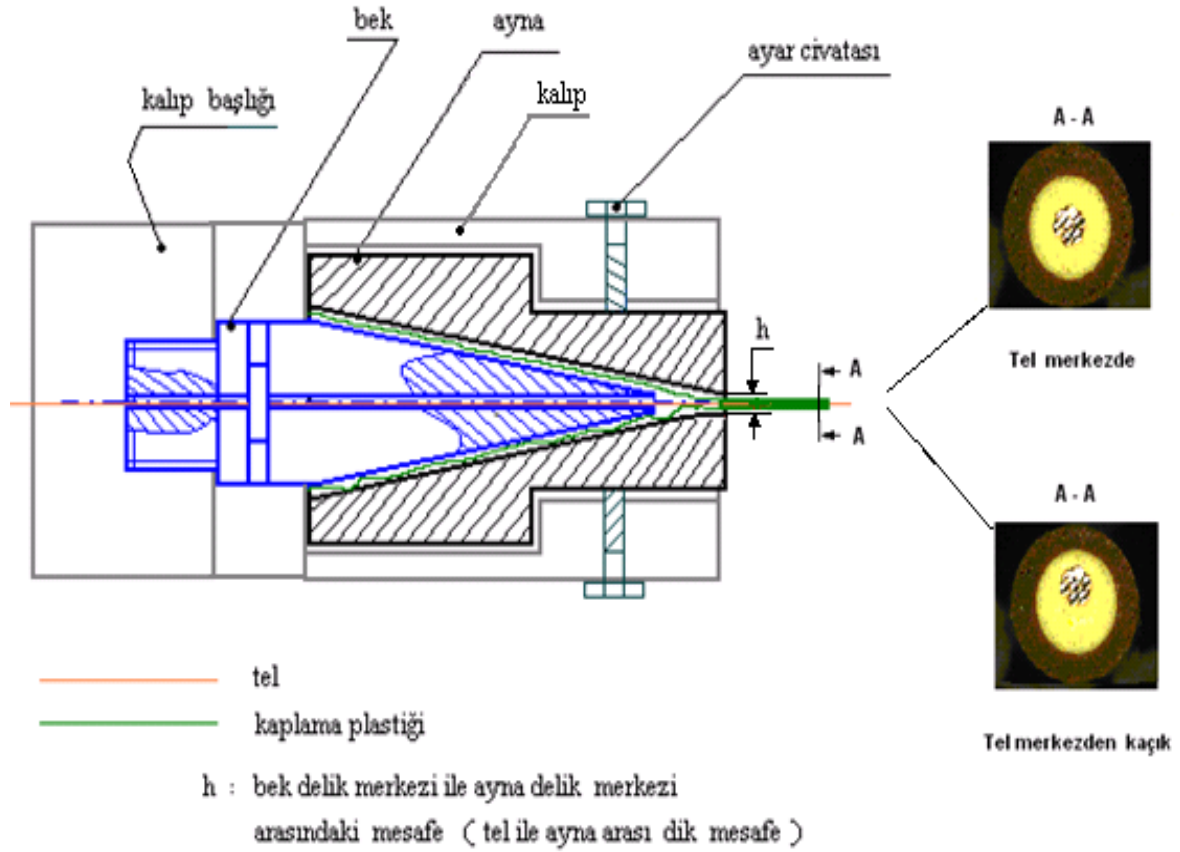
Polimer eriyiği ekstruderde yoğrulup işlem gördükten sonra en önemli nokta olan kalıba girer. Telin kaplanmasına uygun dizayn edilmiş olan kalıpta , tel ile buluşan eriyik , teli içine hapsederek birlikte kalıptan dışarıya çıkarlar. Bazen bünyesinde tam

merkezde duran tele sahip olan polimer, bazende merkezden kaçık duran bir teli bünyesinde taşıyabilir. Bunun sebebi ise polimerin homojen bir şekilde ekstruder içinde eritemeyip, mükemmel yoğurulmamasıdır.[38] Yani öncelikle ekstruder sıcaklığı sebep teşkil etmektedir. (Şekil 3.19)



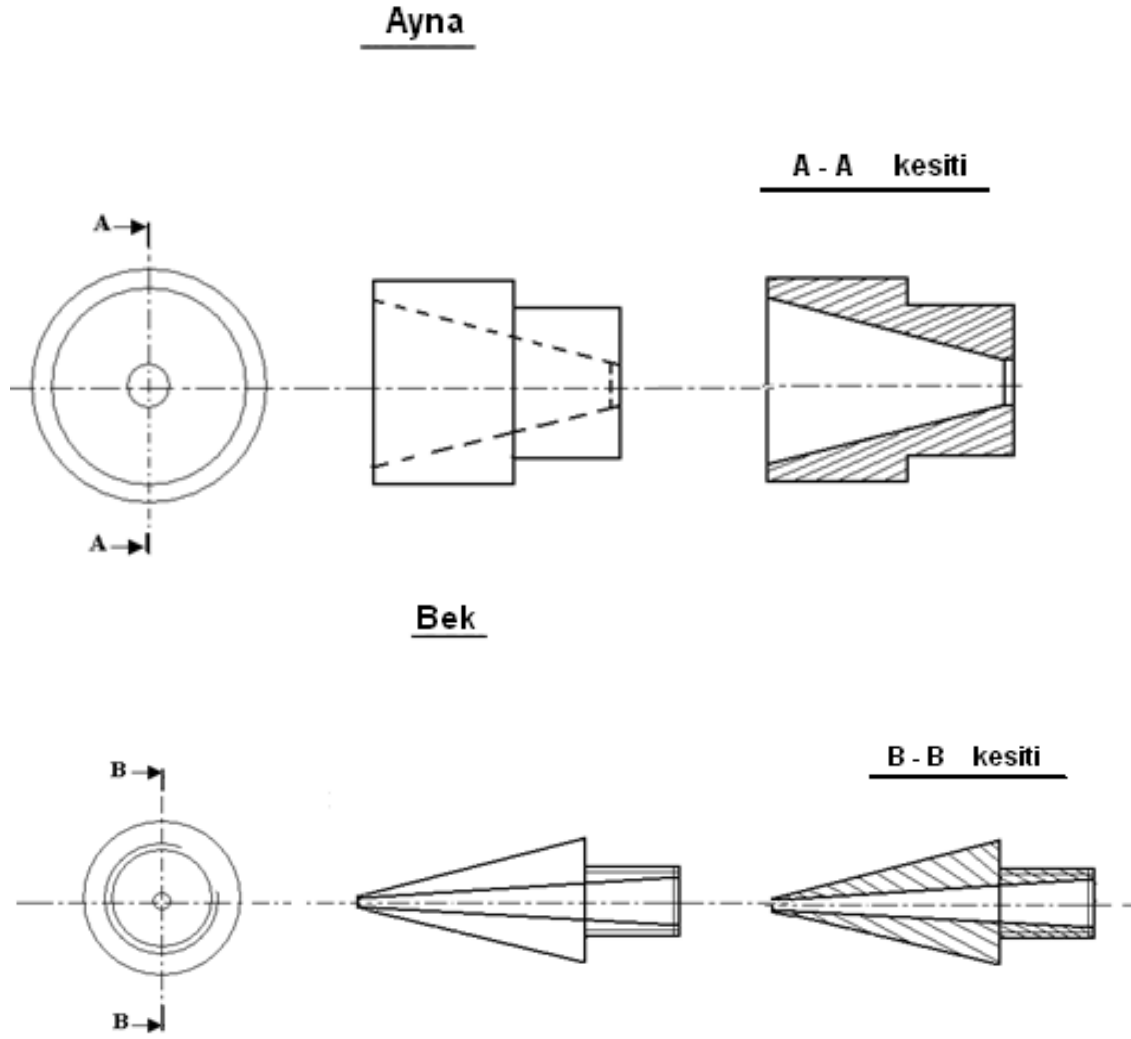
Şekil 3.19. Polimer eriyiği ile telin birleştiği kalıp kesit görünüşü

Kalıbı oluşturan elemanlar ayna ve bek , birbirleri arasında ayarlanabilir olarak boşluklu bir şekilde yerleştirilmişlerdir. Yukarıda bahsi geçen tel ile kaplama arasındaki eş merkezlilik ve kaçık merkezlilik ayarı , ayar civataları yardımı ile yapılır. Ayna , kalıptaki yuvasına serbest olarak oturmuştur. Bu serbestlik , ayar vidasının kendisinin rahat dönmesini sağlar ve merkez ayarı , manuel olarak yapılmış olur.(Şekil 3.20)



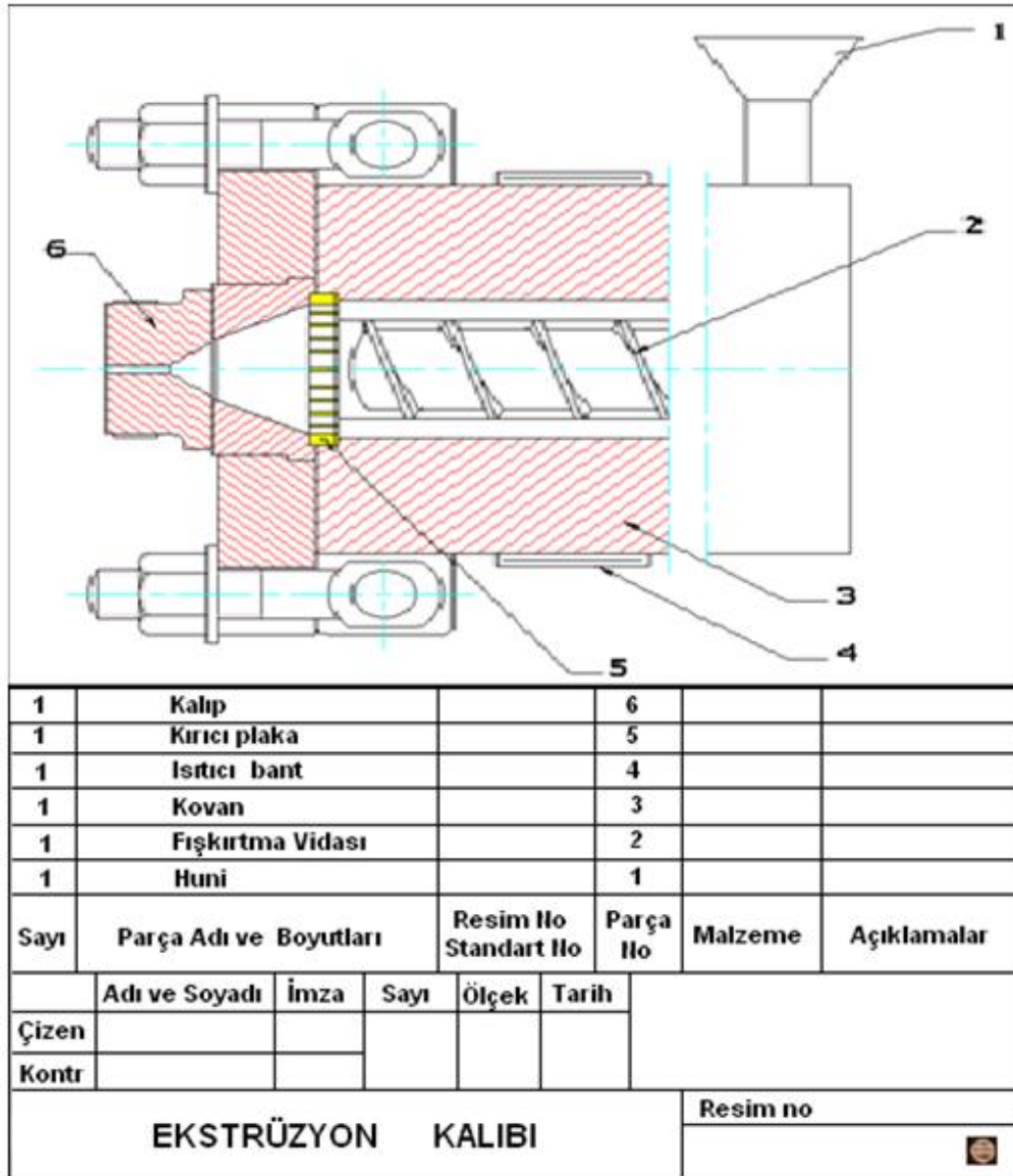
Şekil 3.20. Bek ile ayna merkezleri arası mesafe ayarı

Bir çok ve değişik ayna ve bek'e sahip kalıp çeşidi vardır. Bu çalışmada kullanılan bek ve ayna, kalıp içinde iki esas elemanı oluşturan parçalardır. Ayna içi boş ve konik olan çelik bir malzemeden yapılmıştır. Bek ise konik ve çelik malzemeden yapılmıştır. Bek arkasındaki vidalı kısmı ile kalıp başlığına bağlanmaktadır. (Şekil 3.21)



Şekil 3.21. Ayna ve bek elemanlarının yapısı

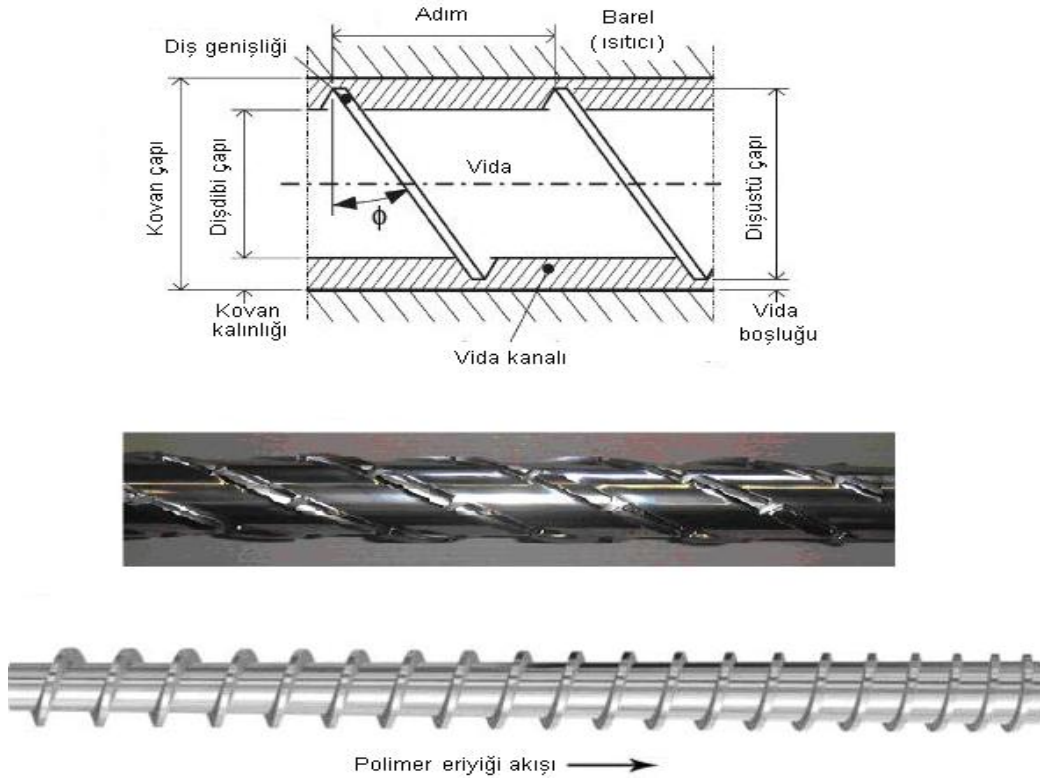
Tel kaplama ekstrüzyonunda ekstrüzyon ve kalıp birbirlerini tamamlayan unsurlardır. Ekstrüder kaplama malzemesini (plastığını) hazırlayarak kalıba gönderir. Kalıp ise bu malzemeye şekil verir. Polimer eriyiğinin şekillenmesini sağlayan ekstrüder ve kalıp içindeki elemanların komple resmi ile montaj resmi Şekil 3.22 de verilmiştir. S.Akter, M.S.J. Hashmi (2004) ve (2006) da iki ayrı çalışmada , kombine bir hidrodinamik tel kaplama ünitesinde kaplama deneyleri yapmıştır. Kademeli ve konik kalıp kullanılmışlardır. Tel hızının her değerine karşılık gelen kaplama kalınlığı araştırılmıştır.Kaplama Kalınlığı ve kalitesini iyileştirme amaçlı yapılan bu çalışmada en fazla tel hızı 12 m / s ye kadar değişen hızlarda tel hızları ile deneysel çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.22 Ekstruder kalıbı ve elemanları

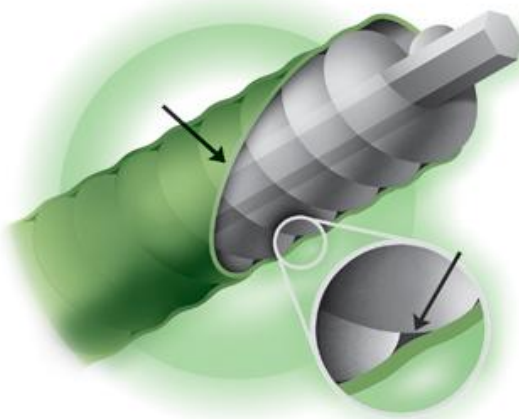
Ekstruder vidasının konstrüksiyonu ve tek / çift çalışması ekstruder içindeki malzemenin cinsine ve üretim kapasitesine bağlıdır. Buna göre vida parametrelerinin değiştirilerek üretimi söz konusudur.[9]

Ancak eriyik akış yönü her zaman vidanın besleme bölgesinden, kalıp bölgesine doğrudur ve değişmez.(Şekil 3.23)



Şekil 3.23. Polimer eriyiğinin vida boyunca akışı ve vida konstrüksiyonu

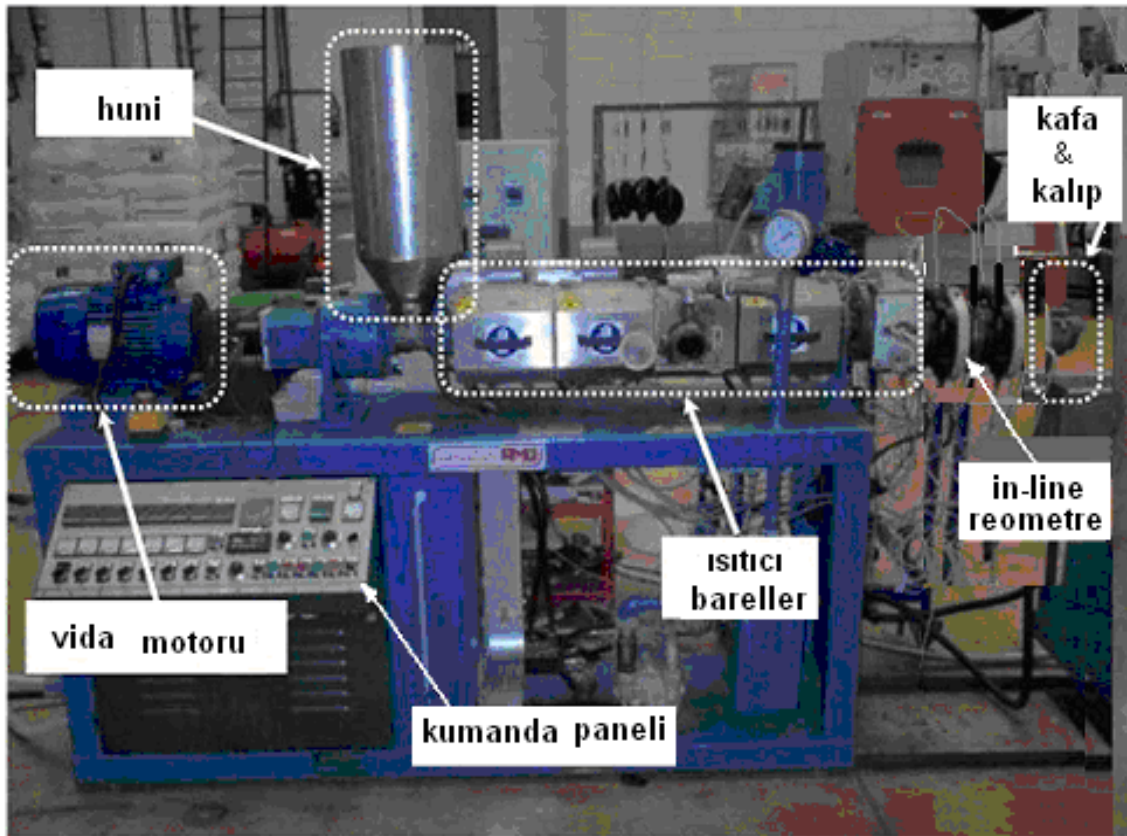
Şekil 3.23 de görülen vida boşluğu ile vida kanalının uygun olması polimer eriyiğinin daha iyi götürülmesine ve beslenmesine neden olur.(Şekil 3.24)



Şekil 3.24 Vida boşluğu ve kanalı

3.5. Polimer Ekstruderi

Polimer ekstruderi genel bir kavram ve plant örneğidir. Burada kalıp içindeki detay dizaynlarının değişmesi ile üretilen ürün ve adı değişir. [9] Ayrıca huni içinden ekstrudere giren polimer veya plastik çeşidinin değişimi ise bu dizayn kadar önem arzeder. [9] Reometre ile ürünün akış özellikleri incelenir.(Şekil 3.25)



The SSE OMP T35 L / D 24 at the EL-Kİ Cable Co. Manisa / TURKEY

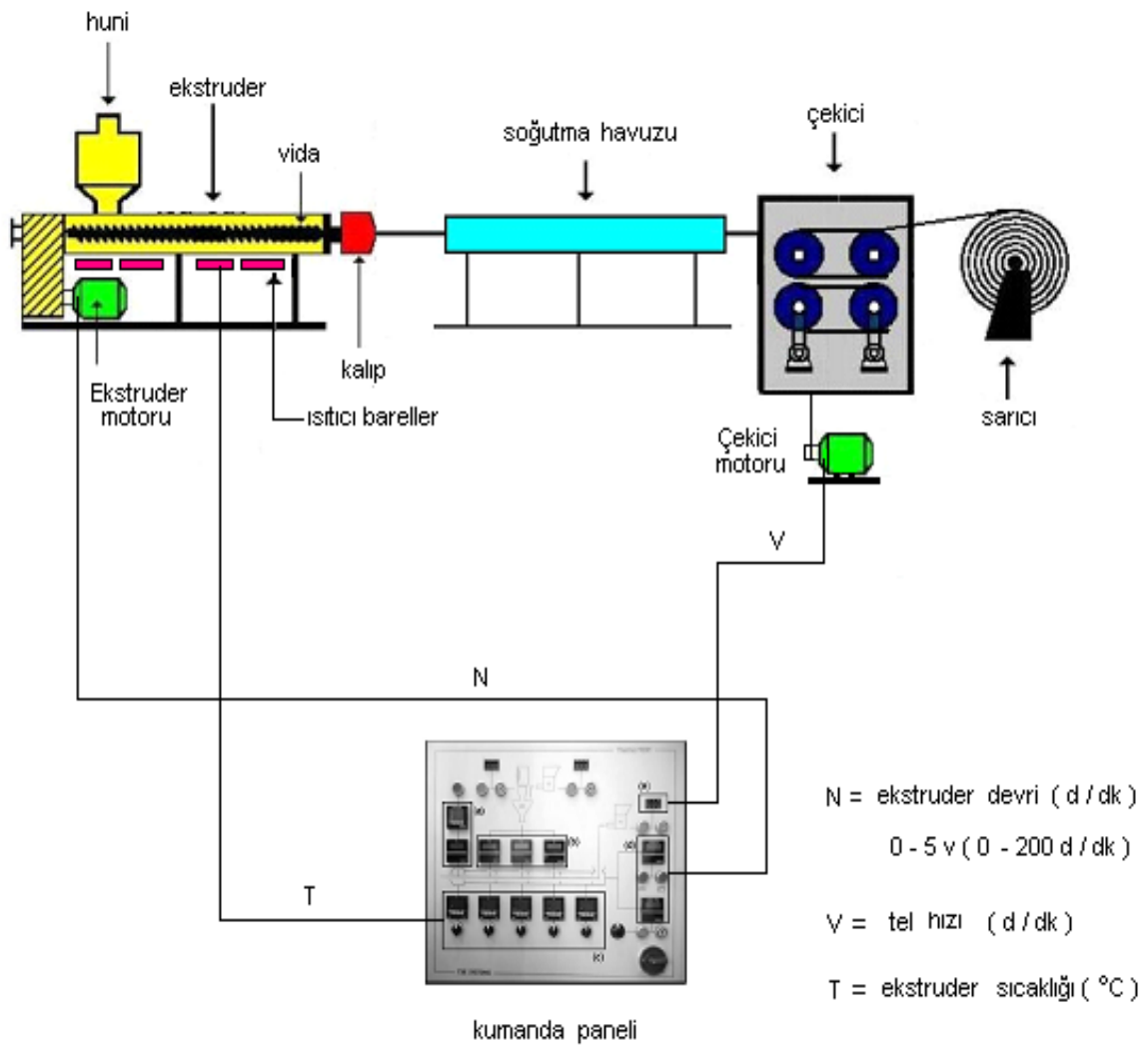
Şekil 3.25. Polimer ekstruderi ve kısımları [9]

3.6. Ekstruder Kontrol ve Kumandası

Bu çalışmada tel kaplama kalitesini sağlamak için kontrol değişkeni olarak önde gelen değişken , (T) ekstruder sıcaklığıdır. Bu sıcaklığın kontrol edilememesi halinde kaplama kalınlığı bozuk ve kaçık merkezli çıkar.Yani kaplama merkezi ile tel merkezi eş merkezli ve aynı noktada oluşmazlar.

Bu eşmerkezliliğin bulunması ve yerine oturması zamanla ve tecrübe ile gerçekleşmektedir. Bunların istenen kalınlığı tutturması ve yerine oturması tecrübe ve zaman isteyeceğinden ayarları zahmetlidir. Bu değişkenlerin kontrol edilmesi her proseste ve ekstruderde olduğu gibi bir kumanda paneli ile yapılmaktadır.[9]

PVC tel kaplama prosesinde kumanda ve kontrol akışı Şekil 3.26 de verilmiştir.



Şekil 3.26. PVC tel kaplama prosesinde kumanda paneli ve kontrol akışı [9]

Bu tez çalışmasında kullanılan veriler , EL – Kİ A.Ş. adı verilen tel kaplama ekstrüzyonu ile plastik enjeksiyon üretimi yapan fabrikanın MANİSA da bulunan

proseslerinden alınan gerçek verilerdir . Tel kaplama ekstrüzyonu proses verileri Ek A ve Ek B ' de sunulmuştur.

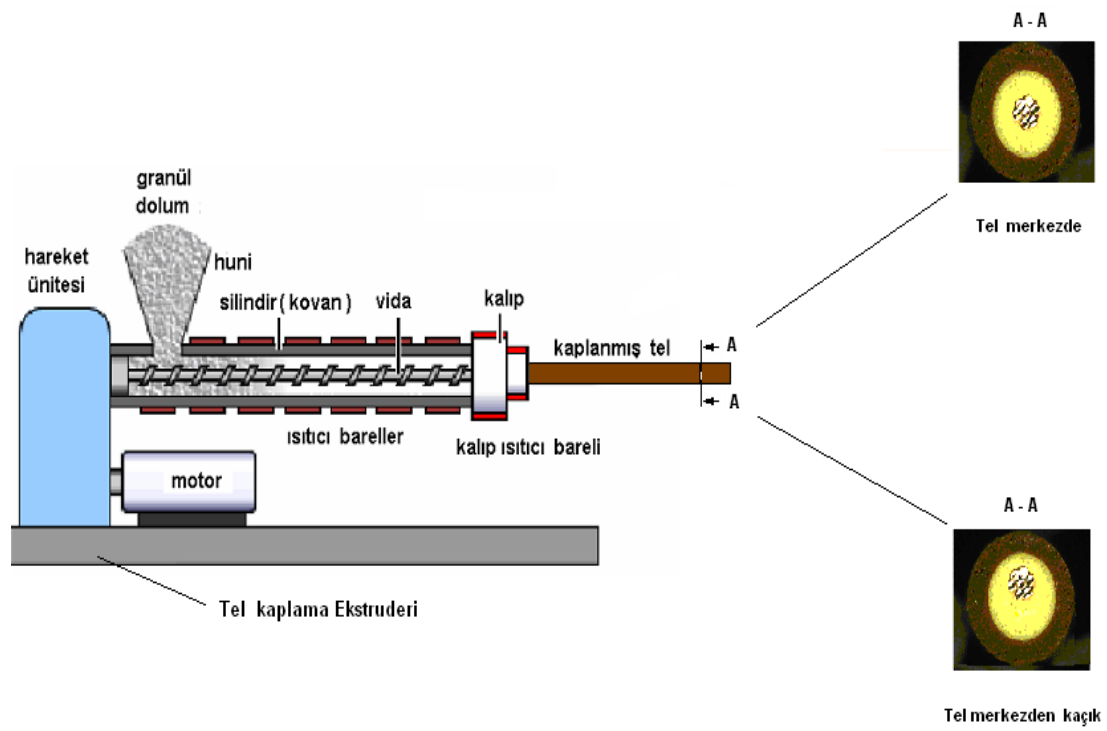
Tablo 3.2. Ekstruder parametreleri

Vida çapı 30 mm	Vida sıcaklığı 41.1 °C	Ölçüm bölgesi uzunluğu L / D : 5
Helis açısı 17.8 °	Kapasite 8 - 12 Kg / h	Transfer bölgesi uzunluğu L / D : 5
Vida hızı 80 -100 d/dk	Barel sıcaklıkları 95 - 210 °C	Besleme bölgesi uzunluğu L / D : 10

Ayrıca bu tez çalışmasında kullanılan veriler için prosesdeki ekstruder parametreleri tablo 3.2 de sunulmuştur.Burada L/ D : ekstruder vidası boyu / ekstruder vidası çapı olmak üzere sıkıştırma oranıdır.[9]

3.7. Tel Kaplama Sonuçları

Tel kaplama süreci iki ayrı şekilde sonuçlanabilir.Biri tel merkezde olan tel kaplama şekli , diğeri tel merkezden kaçık olan kaplama şeklidir. Bu iki ayrı sonucu daha detaylı ve hassas görebilmek için yine mikroskop altında bakılabilir. Ancak oluşumlar serbest gözle de bu kaplama ürününün ilgili yerinden kesilerek görülebilir. Şekil 3.27 da tel kaplama süreci oluşumları görülmektedir.



Şekil 3.27. Tel Kaplama Süreci Oluşumları [9]

BÖLÜM 4. YAPAY SİNİR AĞLARI

4.1. Giriş

İnsanlar tarafından gerçekleştirilmiş gerçek beyin fonksiyonlarının ürünü olan örnekleri kullanarak olayları öğrenebilen çevreden gelen etkilere ve oluşumlara karşı nasıl tepkiler üretilebileceğini başarabilen sistemlere Yapay Sinir Ağları (YSA) adı verilir. YSA, günümüzde bir çok probleme çözüm üretebilecek işleme sahiptir. Biri birine bağlanmaları sonunda bu ağları oluşturan ve proses elemanı adı verilen yapay sinir hücreleri, bilgileri işlerler ve aralarında bağlantı modellerini oluştururlar.

4.2. Yapay Sinir Ağı ile Yapılan Endüstriyel Uygulamalar

Yapay sinir ağları, karmaşık sistemlerin modellenmesinde son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir yapay zeka tekniğidir ve insan beynindeki biyolojik sinir hücrelerinin basitleştirilmiş olarak modellenmesine dayanmaktadır. YSA' nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur. YSA' nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiğini ifade eder. YSA' nın karmaşık yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez yada tasarlanamaz. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemten aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir.[10]

Yapay sinir ağları, yapay sinir hücrelerinin katmanlar şeklinde bağlanmasıyla oluşturulan veri tabanlı sistemler olup insan beyninin öğrenme ve değişik koşullar altında çok hızlı karar verebilme gibi yeteneklerinin, basitleştirilmiş modeller yardımıyla karmaşık problemlerin çözülmesinde kullanılmasını amaçlamaktadır. Sınıflandırma, kümeleme, regresyon ve zaman serilerinin tahmini gibi değişik alanlarda kullanılan yapay sinir ağları uygulamalarının en büyük avantajı, karmaşık

modellere gereksinim duyulmaksızın yalnızca ağı eğitilmesi yoluyla problemlere çözüm getirebilmesidir. Bu nedenle, yapay zeka tekniklerinin, belirsizlikler gözönüne alındığında, klasik yöntemlerin sağlayamayacağı avantajlara sahip olduğu söylenebilir. YSA ile her alanda olduğu gibi endüstriyel alanda da çalışmalar yapılmıştır, onlardan bazıları şunlardır;

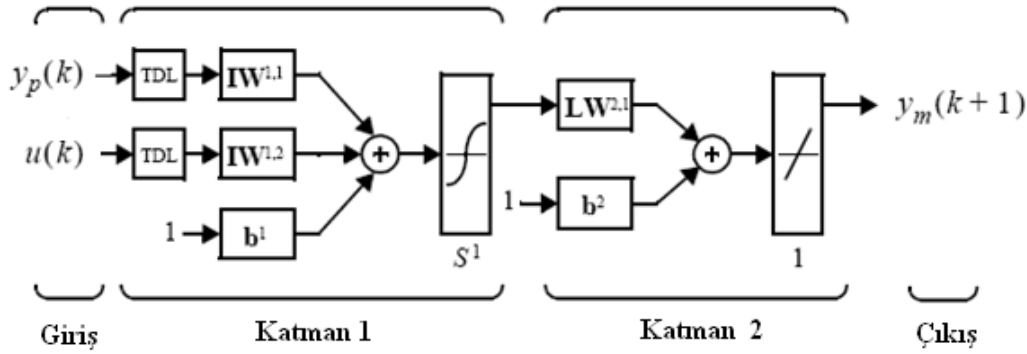
- Robot Manipulatörlerin dinamik ve kinematik modellenmesi ile kontrolü
- Fabrikalarda üretim planlama ve kontrolün optimizasyon çalışmaları,
- Kimyasal proseslerin dinamik modellenmesi,
- Motor parçalarının üretim şartlarının tespiti
- İmalatta makinelerin bakımı, test edilmesi ve kalite kontrolü,
- Malzeme mühendisliğindeki metallerin aşınma sürtünme deneyleri ve sertlik ölçümleri,
- Plastik enjeksiyon uygulamaları

4.3. Yapay Sinir Ağlarının Olumlu ve Olumsuz Özellikleri

- Yapıları paralel donanımlı olduğu için bağımsız işlemleri aynı anda çok hızlı yürütürler.
- Nonlineer özelliklerine sahiptirler. Bu nedenle lineer olmayan karmaşık problemleri daha kolay ve doğru çözerler,
- YSA ların çalışması geleneksel sistemlere göre daha hızlıdır.
- Maliyet bakımından daha ucuz ve pratiktirler. Sadece örneklerin belirlenmesi ve basit bir programın çalıştırılması ile problem çözülebilir.
- Genelleştirme özelliğine sahiptirler. Bu sayede iki örnek arasındaki benzerlikleri doğru bir şekilde kavrayabilirler.
- YSA larda olumsuz durum, büyük ve karmaşık sorunları çözmek için aşırı nöron, katman ve ağ yapısına ihtiyaç duymasındır.
- Geleneksel çözümlere göre optimum sonuçları vermezler. İyi sonuçlardan birini verirler.
- Eğitimin gerçekleşmesi uzun zaman alabilir.

YSA'ların az veriyle öğrenebilmeleri veya genelleme yapabilmeleri YSA'ları bir çok probleme uygulanması için cazip kılmaktadır. Bunun sebebi ise, deneysel olarak fazlaca veri elde etmenin maliyeti arttırmasıdır. YSA lara doğrusal olmama özelliği

kazandıran ve bu sayede bir çok farklı probleme uygulama yaklaşımı sunması YSA ların diğer bir üstün özelliğidir. Bu sayede bir çok problemin çözümüne uygulanabilmektedir.[10]



Şekil 4.1. Proses yerine varsayılan Yapay sinir ağları plant modeli

Tel kaplama ekstruderinden alınan giriş ve çıkış verileri ile eğitilen yapay sinir ağları (YSA) modeli Şekil 4.1 de gösterilmiştir.[11] Bu YSA modeli aynı zamanda sistemmodel yerine geçmektedir. Çünkü gerçek sistem , proseste yada fabrikada maliyet, zaman kaybı,verimlilik, iş ve işgücü kaybına neden olacağından böyle bir varsayım yapılmıştır.Burada $u(k)$ sistem girişi, $y(k)$ sistem çıkışı, TDL (Taped Delay) gecikmeyi önleyici giriş sinyali , 1 gecikme operatörü d yerine kullanılmaktadır. Plant model YSA çıkışının değeri için (4.1) eşitliği verilebilir.

$$y_m(k+1) = \hat{h}[y_p(k), \dots, y_p(k-n+1), u(k), \dots, u(k-m+1); x] \quad (4.1)$$

Burada h fonksiyonu, x ağırlıkları ile biaslara bağlılık içeren bir fonksiyonudur. LW ve IW matrisleri ise katmanlar arası giriş ve çıkış değerlerini düzenleyen ağırlık matrisleridir.[11]

4.4. Yapay Sinir Ağında Öğrenme

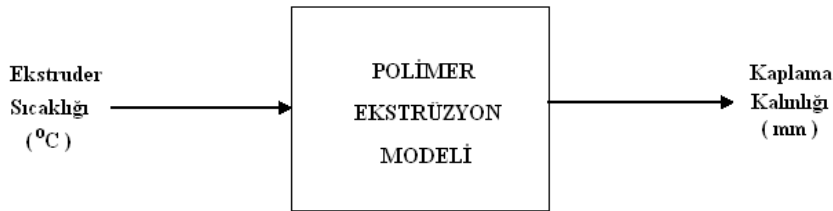
Yapay sinir ağı bir problemi çözmeyi öğrenebilir. Eğitim ve / veya öğrenme sinir ağların tercih edilmesindeki en büyük sebebedir.Öğrenme, ağda bulunan nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesi ile olur. Tek nöronun çıkışı, transfer

fonksiyonun aynı olması koşulu ile giriş ağırlıkları belirler. Nöronun gelen bilgiye doğru cevap vermesi ve performansı , bağlantı ağırlıklarına bağlıdır. Eğitim ve öğrenme aynı anlama gelmezler. Eğitim ağın öğrenmesi işlemidir. Öğrenme ise eğitim işleminin sonucudur. Eğitim ağa dışarıdan yapılan müdahaledir. Öğrenme ise ağın içerisinde oluşan olaydır. [12]

Yapay nöron ağların eğitilmesinde üç tip vardır ; Bunlardan ilki, öğreticili eğitmedir (supervised training) . Bu yöntemde ağ giriş ve çıkış verileri mevcuttur. Her adımdan sonra ağ kendi çıkışını hedefle karşılaştırır, çıkış hatası azaltılacak şekilde ağırlıklar ayarlanır (Zurada, 1992). İkinci yöntem ise, derecelendirmeli eğitmedir (graded training). Öğreticili eğitmenin benzeri fakat giriş işaretine karşılık gelen çıkış işareti; başarılısın , başarısızsın veya çok yüksek , çok düşük gibi değerlendirmeler yapılır. Son yöntem ise kendini düzenleme ile eğitim (self-organization training) olarak bilinir. Bu yöntemde ağa giriş örnekleri verilir. Performans seviyesi bilgisi geri besleme ile verilmez. Ağ giriş işaretine göre kendisini düzenler.

4.5. Kaplama Kalınlığının YSA Model Tasarımı

Polimer kaplama ekstrüzyonuna ait YSA modelin giriş ve çıkış parametreleri Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Polimer kaplama ekstrüzyonunun oluşturduğu kaplama kalınlığı çıkış olarak alınmış ve kaplama kalınlığına etki eden ekstruder sıcaklığı , modelin girişini oluşturmuştur.



Şekil 4.2. Polimer ekstrüzyonu modeli giriş ve çıkışları

YSA model tasarlanırken giriş ekstruder sıcaklığı, çıkış ise kaplama kalınlığı olarak belirlenmiştir, buna bağlı olarak da YSA'nın giriş nöron sayısı 1, çıkış nöron sayısı 1 olmaktadır. Gizli katmanda ise 4 adet nöron kullanılmıştır. Prosesin YSA modeli

Şekil 4.2.de şematik olarak gösterilmiştir. Tel kaplama işleminde kaplama kalınlığı eğitimi için tek girişli tek çıkışlı YSA model yapay sinir ağı tasarımında kullanılan ağ yapısına ait bilgiler Tablo 4.1 de görülmektedir.

Tablo 4.1. YSA ağına ait bilgiler

AĞ TİPİ	İleri Beslemeli Geri Yayılım Ağı
EĞİTİM YÖNTEMİ	Öğrencili Eğitime
TRANSFER FONKSİYONU	Log-Sigmoid Fonksiyonu
EĞİTİM FONKSİYONU	Levenberg-Marquardt ve Backpropagation
ÖĞRENME FONKSİYONU	Gradient Descent
PERFORMANS ÖLÇÜTÜ	Mean squared Error

Ayrıca YSA plant model eğitiminde kullanılan parametreler ise Tablo 4.2 de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. YSA eğitiminde kullanılan parametreler

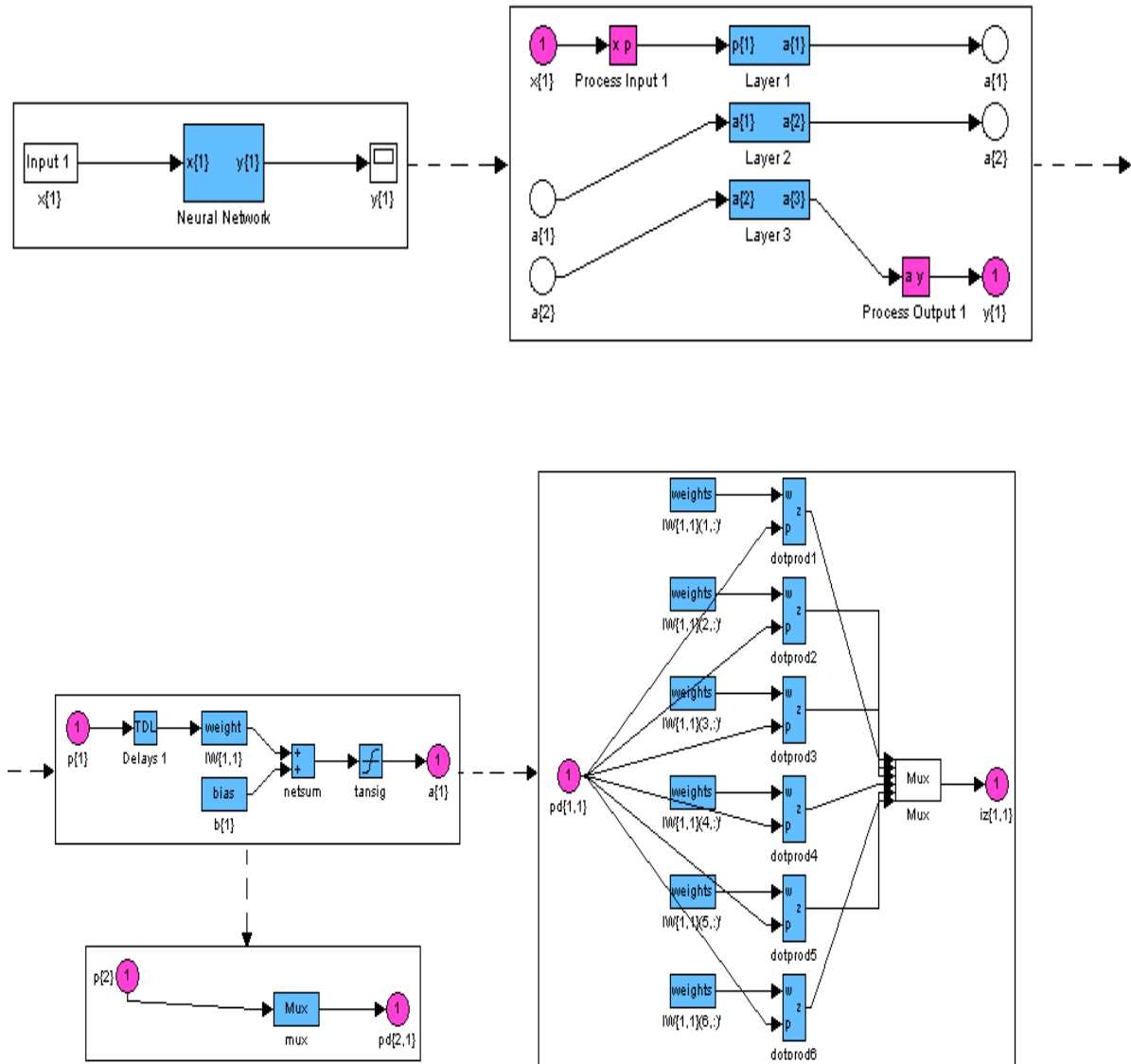
öğrenme katsayısı (α)	0.2
momentum katsayısı (γ)	0.8
başlangıç değerleri	0 - 0.1 arası rastgele
örnek gösterim	sıralı
iterasyon sayısı	2000
gizli düğüm sayısı	4-14

4.5.1. YSA plant modeli ve eğitime

YSA eğitimi , verilerden eğitim seti oluşturmakla başlar. Tahmin edilen çıktılar ile gerçek çıktılar arasındaki fark (hata) istenen değere ulaşıyorsa eğitim başarılı olmuş demektir. Süreçlerin kontrolü için öncelikle sürecin statik ve dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi ve bunlara ilişkin modellerin oluşturulması gereklidir. Model çeşitlerinden biride YSA modelidir.[13]

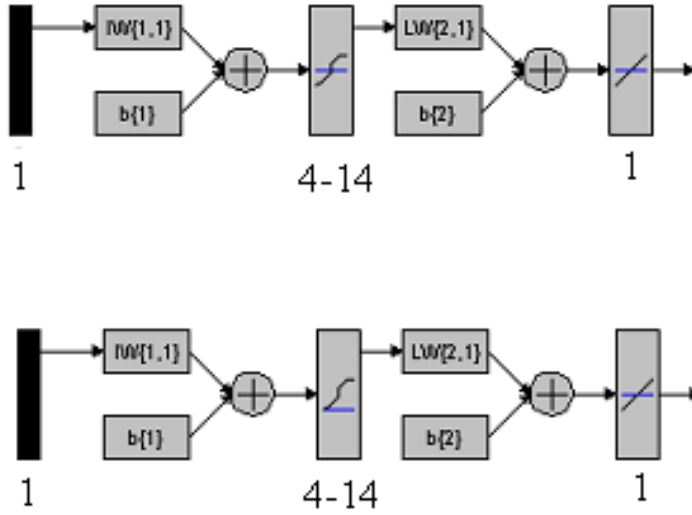
YSA giriş değerleri , T (ekstruder sıcaklığı) olmak üzere 1 düğüm , çıkış değeri olarak t (kaplama kalınlığı) olmak üzere 1 düğüm , gizli düğüm sayısı ise denemeler sonunda 4-14 olarak öngörülmüştür.

Giriş değeri ekstruder sıcaklığı ile çıkış değeri Kaplama kalınlığından oluşan SİSO (Tek Giriş ve Tek Çıkış) yapay sinir ağları ile eğitilmiş modelin oluşturulmasında Matlab R2009b programı simulink altında çalışan ‘*Neural Network Toolbox*’ (Sinir Ağı Araç kutusu) kullanılmıştır. Sinir ağı için simulink’de hazırlanan simülasyon modeli Şekil 4.3 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Tel kaplama süreci için YSA ağ yapısı

Şekil 4.2 deki genel YSA modeli , Şekil 4.3 deki ağ yapısına göre Şekil 4. deki gibi modellenmiştir. Burada eğitim algoritması olarak standart back Propagation (standart geri yayınımlı) ve Levenberg Marquardt kullanılmıştır. Ayrıca transfer fonksiyonu olarak logsig ile tansig tercih edilmiştir.



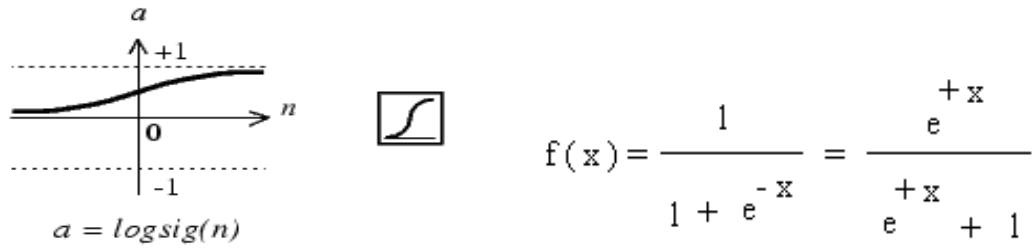
Şekil 4.4. Tel kaplama YSA plant modeli

4.5.1.1. Sigmoid transfer fonksiyonu

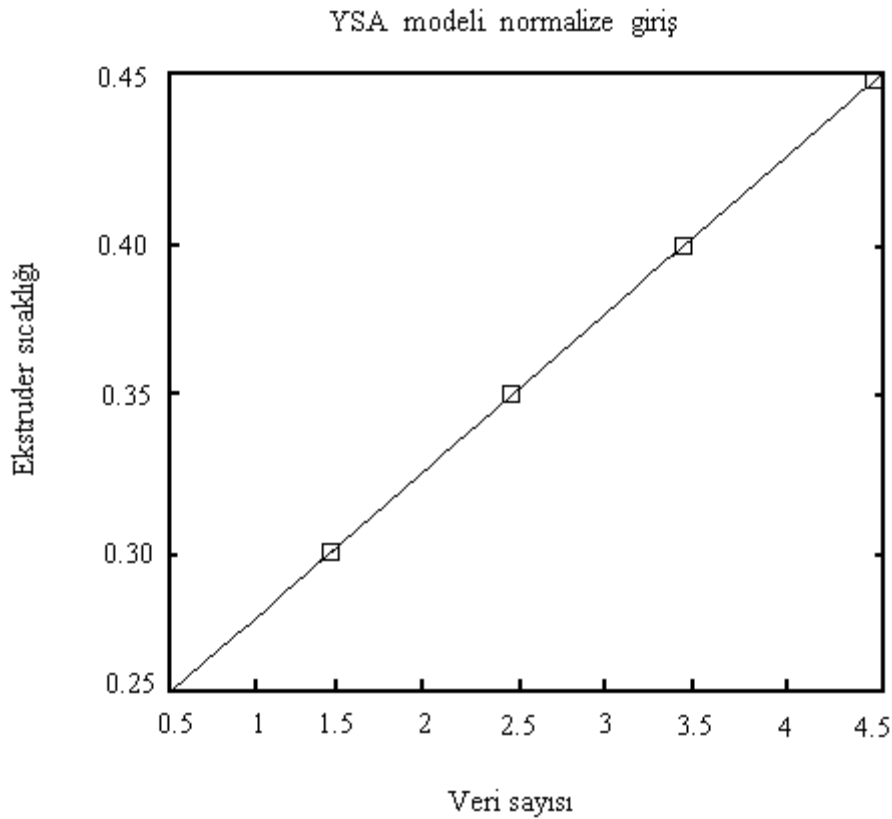
Geri yayınımlı ağı çok katmanlı ileri beslemeli yapıya sahip bir ağıdır ve bir katmandaki nöronlar bir önceki ve bir sonraki katmanlardaki nöronlarla bağlantılıdır. Ancak katmanlardaki nöronlar arasında ve bir katmandan öteki katmana geriye doğru bağlantı bulunmaz. Tasarlanan geriye yayınımlı ağı, ağ çıkışı ile istenen çıkışın karşılaştırılması ile bulunan hatayı dikkate alarak, performans ölçütü için seçilen fonksiyonu minimize eden bir algoritmadır.[14]

Eğitim yöntemi olarak kullanılan öğreticili eğitimde ağ giriş ve çıkış bilgisi (hedef vektörü) verilir. Ağ, verilen girişlere karşı doğru (hedeflenen) çıkışı üretmek hedefiyle kendini ayarlamaktadır. Ağ kendi çıkışını doğru cevaplar ile karşılaştırır ve hatayı bulur. Çıkış hatası istenen düzeye ininceye kadar ağ nöronları arasındaki ağırlıkları değiştirerek çevrime devam eder.

Tasarlanan YSA'nın gizli katmanı ve çıkış katmanında transfer fonksiyonu olarak log-sigmoid fonksiyonu seçilmiştir.Çünkü diğer transfer fonksiyonlarına göre daha hızlı cevap vermiş ve minimum hataya ulaşmıştır. Sigmoid fonksiyonunun matematiksel tanımı Şekil 4.5 de görülmektedir.Seçilen transfer fonksiyonuna uygun olarak giriş-çıkış verileri 0-1 arasında normalize edilmiştir.

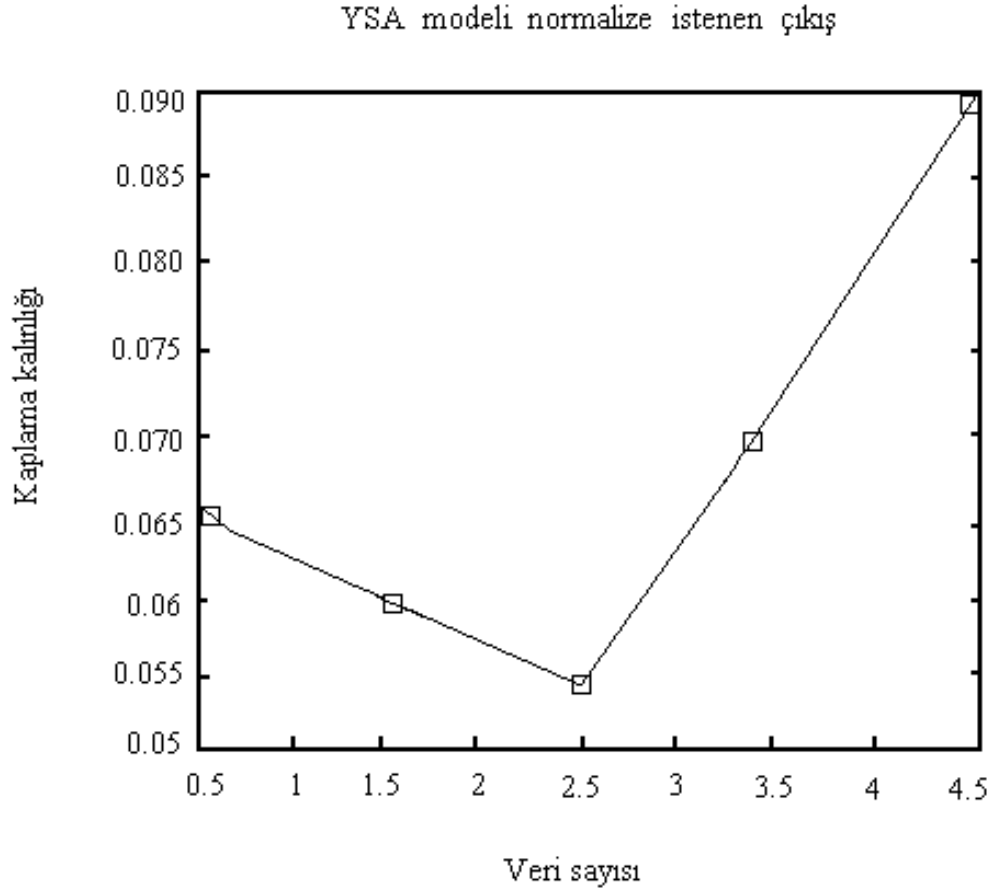


Şekil 4.5. Sigmoid fonksiyonunun matematiksel tanımı



Şekil 4.6. YSA girişinin normalize edilmesi

Normalize edilerek 0-1 arasına getirilen YSA girişi (ekstruder sıcaklığı) Şekil 4.6 da , YSA çıkışı kaplama kalınlığı ise Şekil 4.7 de verilmiştir.



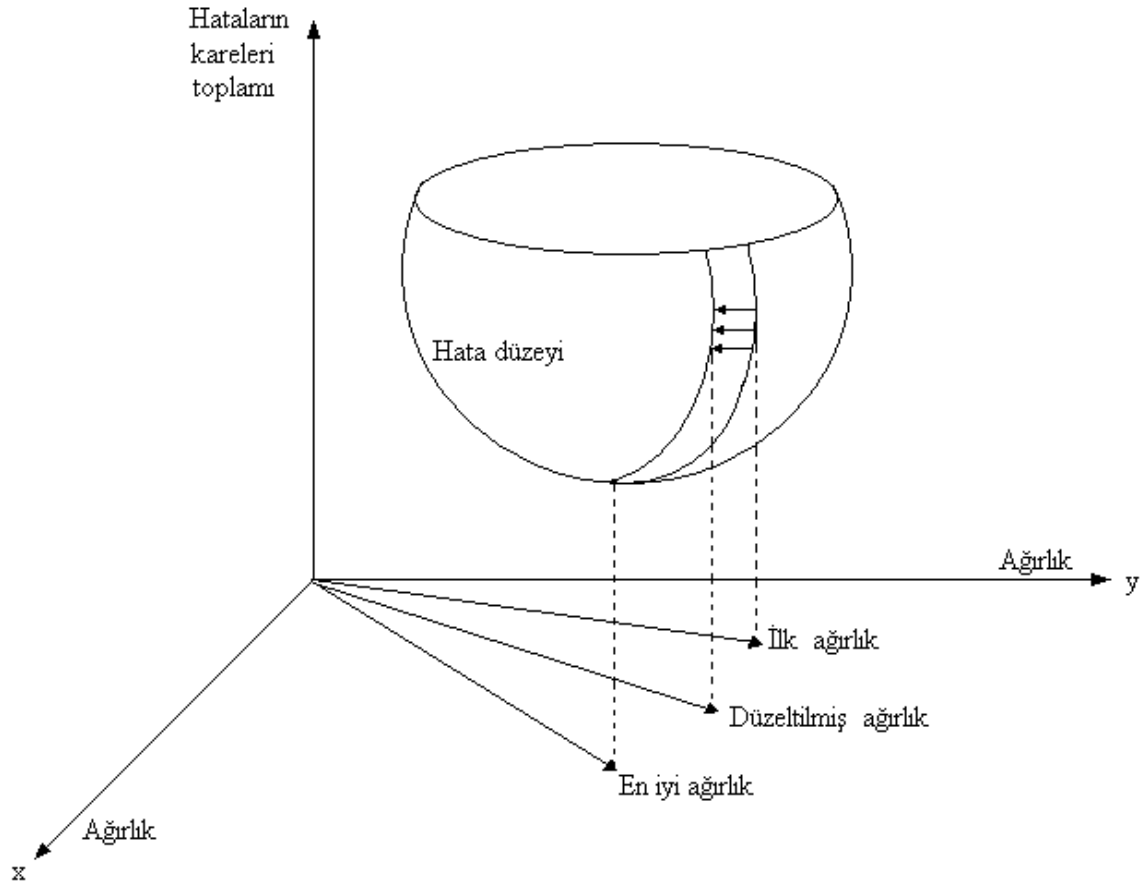
Şekil 4.7. YSA çıkışının normalize edilmesi

4.5.1.2. Hata minimizasyonu (Gradient Descent)

Gradient Descent için hata minimizasyonunun geometrik yorumu yapılabilir. Bunun için, ağırlıkların mümkün olan tüm değerleri hataların tüm kareleri toplamına karşılık gelecek şekilde (xyz) koordinat sistemine çizilir. Şekil 4.8 de görüldüğü gibi hata yüzeyi bir tase benzemektedir ve tasın en alt kısmı hataların kareler toplamının minimum değerlerine karşılık gelmektedir. Eğitim sırasında ağırlıklar kümesinin en iyisi olan en alt kısmı amaçlanmaktadır.

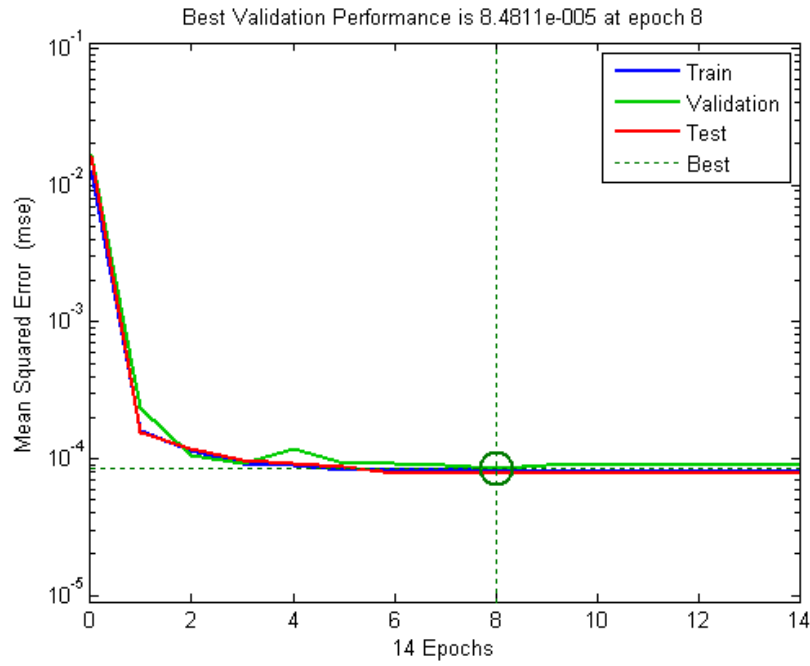
Şekil 4.8 de görüldüğü gibi , ağırlıklar tasın alt kısmına doğru artımsal olarak değişmektedir. İşte bu artımsal olarak tasın üst kısmından alt kısmına doğru ilerleme

işlemine Gradient Descent denir. Bir fonksiyonun Gradient'i (burada, hata fonksiyonudur, değişkenler ise ağ ağırlıklarıdır) fonksiyonun en hızlı arttığı doğrultuyu verir.[15]



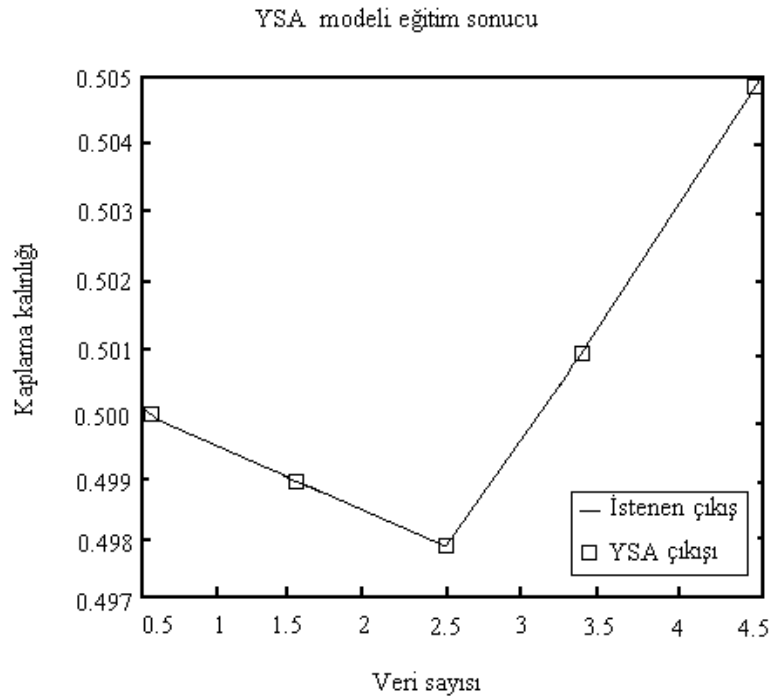
Şekil 4.8. Hata minimizasyonu ve “Gradient Descent” geometrik yorumu [16]

YSA’nın eğitimi esnasında çevrim sayısına göre hesaplanan MSE değerlerinin bulunduğu Performans grafiği Şekil 4.9 da verilmiştir.



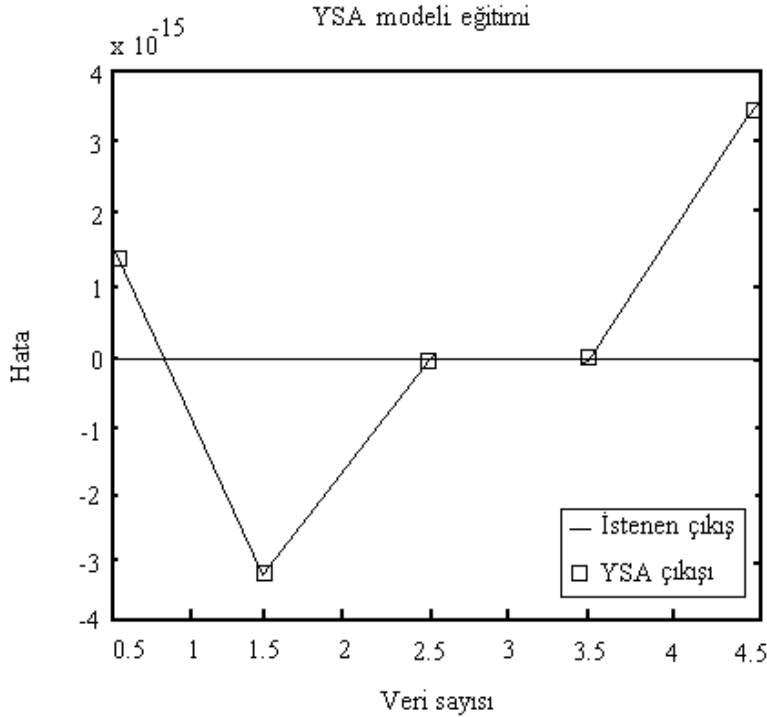
Şekil 4.9. YSA'nın performans grafiği

Yapay sinir ağını eğitmek için 5 adet örnek giriş-çıkış verisi kullanılmıştır. Eğitim sırasında elde edilen YSA çıkışları ile hedef kaplama kalınlığı Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Eğitim sonucu elde edilen ve hedeflenen kaplama kalınlığı

Ayrıca hedeflenen çıkış değerleri ile YSA'nın eğitiminden elde edilen çıkış değerleri arasındaki hatalar (Hata : Hedeflenen çıkış – YSA çıkışı) Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Eğitim sonucu elde edilen ve hedeflenen kalınlık arasındaki hata değeri

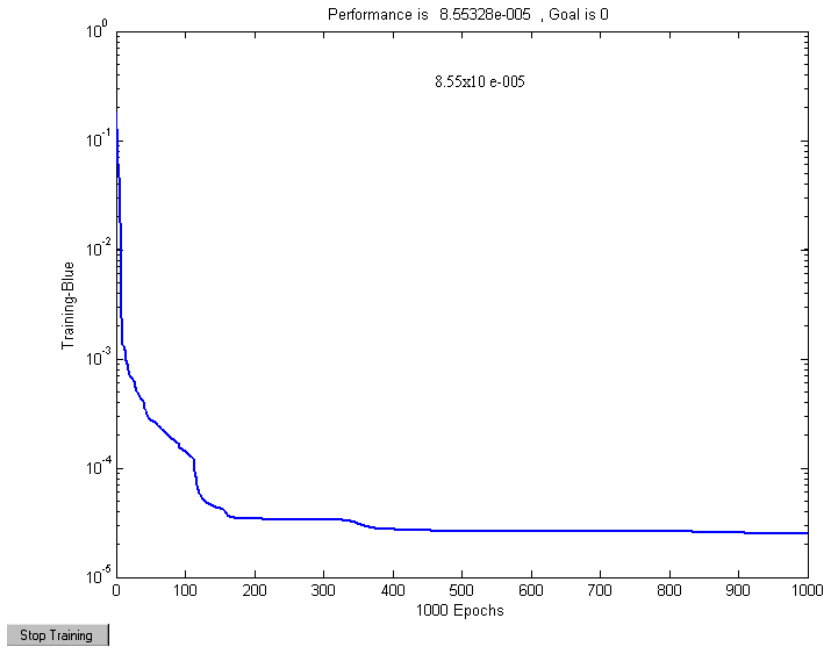
Tel kaplama (kablo) prosesinde telin kaplama içinde kayması sonucunda eksen kaçıklığı oluşmaktadır. Proseste bazı parametrelerin değiştirilmesi ile bu eksen kaçıklığı da değiştirilebiliyor. Bu nedenle bu eksen kaçıklığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Prosesten alınan veriler YSA ya tanıtılmış yani eğitilmiş ve test edilmiştir. Sonuçlar Tablo 4.3 de gösterilmiştir.

Denemeler 4-6-8-10-12-14 gizli nöron sayısı için yapılmış ve hepsinin R-kare denilen gerçek çıktılar ile tahmin edilen çıktıların karşılaştırması olarak nitelendirilen hata değerleri tabloda % olarak yazılmıştır. Örneğin Şekil 4.12'deki grafik logsig 4 nörona aittir. Eğitim 1000 deneme sayısı için yapılmıştır.

Tablo 4.3. Kaplama kalınlığı için YSA eğitimi

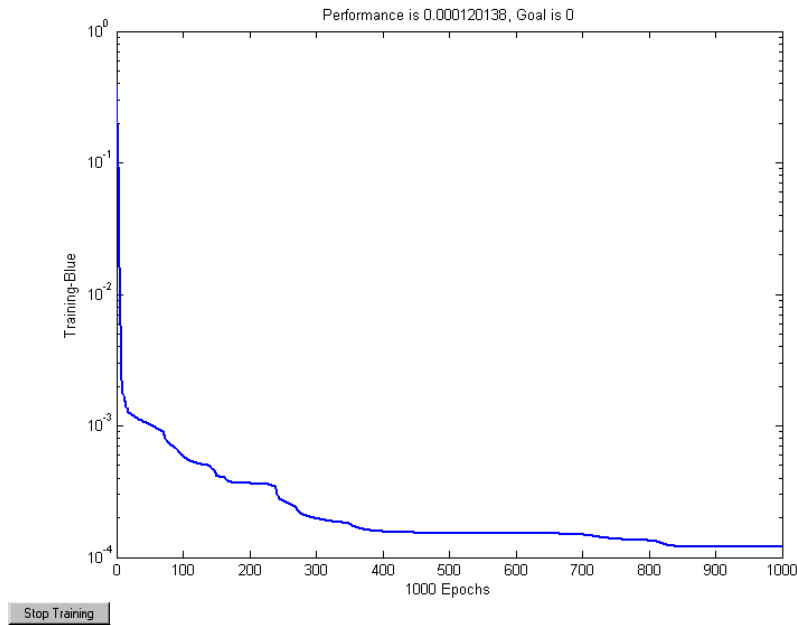
EĞİTİM ALGORİTMALARI							
Levenberg Marquardt (Train İm)				Standart Geri Yayınım (Train G d)			
logsig		tansig		logsig		tansig	
Gizli Düğüm sayısı	t %	Gizli Düğüm sayısı	t %	Gizli Düğüm sayısı	t %	Gizli Düğüm sayısı	t %
4	8,55E-05	4	1,28E-03	4	2,55E-01	4	2,55E-01
6	1,00E-03	6	8,33E-04	6	2,55E-01	6	2,55E-01
8	7,69E-02	8	8,33E-04	8	2,55E-01	8	2,55E-01
10	8,33E-04	10	8,33E-04	10	2,55E-01	10	2,55E-01
12	8,33E-04	12	8,33E-04	12	2,55E-01	12	2,55E-01
14	8,33E-04	14	8,33E-04	14	2,55E-01	14	2,55E-01

Bu çalışmada YSA modelinin eğitimi için Standart Geri Yayınım ve Levenberg-Marquardt geri yayınım algoritması kullanılmıştır. Standart Geri Yayınım algoritması için yapılan denemelerden minimum hataya sahip performans grafiği Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Burada gizli katmanda 4 nöron kullanılmış en az hata değeri olarak 8.55328×10^{-5} değeri en iyi değer olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.12. Eğitim algoritması standart geri yayılım (train_gd) aktivasyon fonksiyonu tansig gizli düğüm sayısı 4 nöron performans grafiği

Levenberg-Marquardt geri yayılım algoritması için yapılan denemelerden minimum hataya sahip performans grafiği Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Eğitim algoritması levenberg marguardt (train_lm) , aktivasyon fonksiyonu tansig , gizli düğüm sayısı 10 nöron performans grafiği

4.5.1.3. Hataların karesi (MSE - Mean Squared Error)

Ağa tüm girişler verilir ve karşılık gelen ağ çıkışları ve hataları hesaplanır. Tüm girişler için, performans ölçütü olarak seçilen MSE (Mean Squared Error) hesaplanır. MSE aşağıdaki gibi formulize edilir. Eğitim performansı grafiğın üst kısmında yazmaktadır. Bu grafiğe MSE grafiğı adı verilir. Yani hataların karesi. Bu değeri sıfıra ne kadar yakın olursa o kadar iyi anlamına gelir. mean square error (hataların karesi anlamı) na gelen hata (mse) nin hesaplanması (4.2.) eşitliğı ile yapılmaktadır.[17]

$$MSE = 1 / N \sum_{i=1}^N e_i^2 (x) = 1 / N \sum_{i=1}^N (t_i - y_i) \quad (4.2)$$

Burada

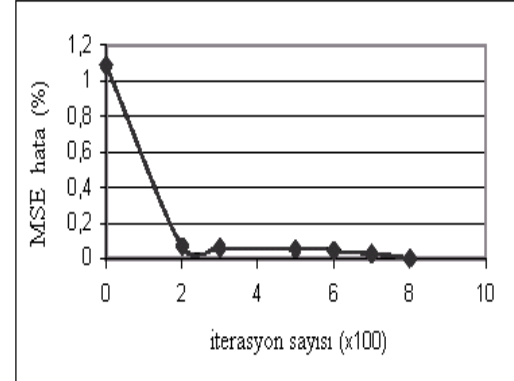
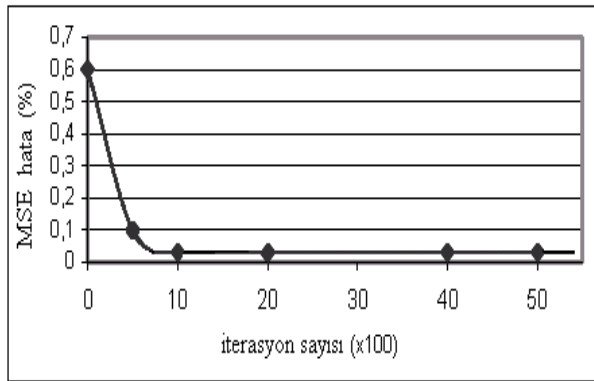
e : Hedef (istenen) ve YSA çıkışları arasındaki hata

t_i : Hedef (istenen) çıkış

y_i : YSA çıkışı

Momentum katsayısı α , 0.7 ve öğrenme katsayısı η , 0.9 kullanılmıştır. iterasyon sayısı 5000 dir. MSE , en küçük % 1.72 ve en büyük % 6.4 olarak hesaplanmıştır. 4 – 14 arasında gizli düğüm sayısı kullanılmıştır.

YSA eğitiminde kullanılan ölçüt (maliyet) fonksiyonu eşitlik (4.2) de verilmiştir. Burada YSA model çıkışı ile proses çıkışı arasındaki karesel hata kullanılmaktadır. Şekil 4.14 de karesel hatanın her adımdaki değişimi gösterilmektedir. Görüldüğü gibi 10. ve 2. adımlarda önemli ölçüde azalma gerçekleşmektedir. Burada , 2.adımda % 0.0095 , 10.adımda ise % 0.04 hata oranları oluşmuştur. Gizli katmandaki kullanılan 4 düğüm sonucunda oluşan hata oranı MSE değeri olarak kabul edilmiştir.



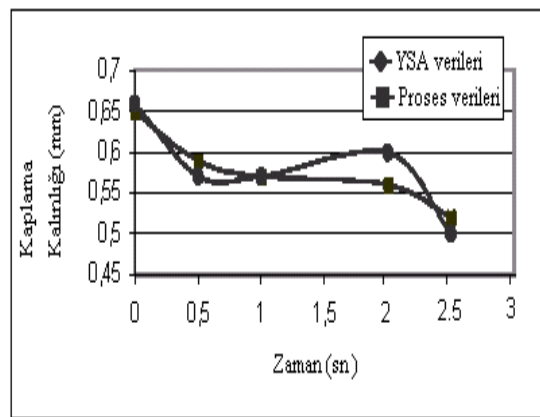
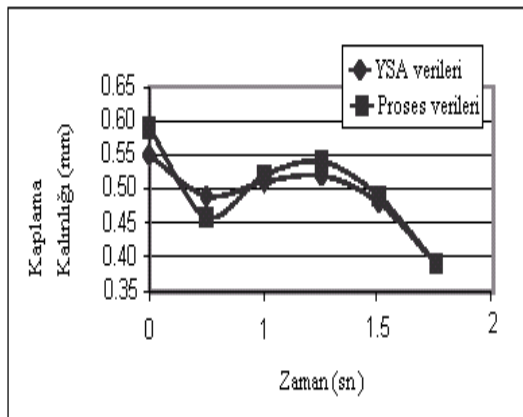
a- ($\alpha : 0.7$, $\eta : 0.9$, gizli düğüm sayısı : 12)

b- ($\alpha : 0.7, \eta : 0.9$, gizli düğüm sayısı : 4)

Şekil 4.14. Tel Kaplama Verilerinin YSA daki eğitimi sonucunda (MSE) hata oranları

4.5.2. YSA sistem modeli ve test

Şeki 4.15 de gerçek veriler ile YSA verilerinin birbirlerine ne kadar yakın oldukları gösterilmiştir. YSA eğitiminden sonra yapılan test sonucunda proses verileri ile YSA arasında oluşturulan iki ayrı grafik Şeki 4.15 de gösterilmektedir. Hata oranı % 0.25 ile % 0.50 olan iki ayrı test sonuçları ortaya çıkmıştır. Bunlardan % 0.25 olan sonuç tercih edilmiştir.



a- Hata oranı % 0.25

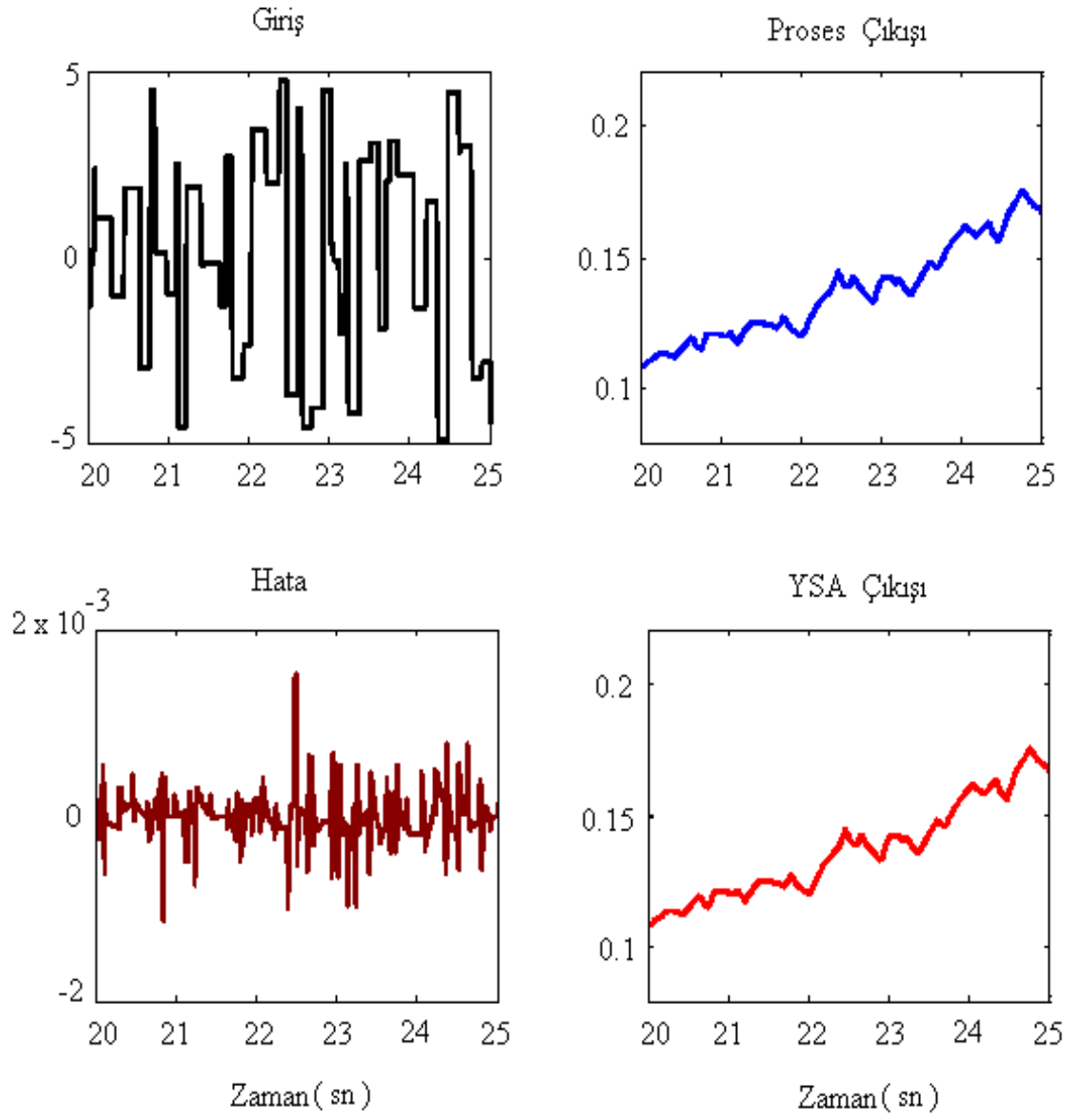
b- Hata oranı % 0.50

Şekil 4.15. YSA verileri ile ve Proses verileri arasındaki test sonuçları

YSA, parametre değişimleri karşısında YSA model katsayılarını (ağ ağırlıklarını) güncelleme mekanizması sayesinde farklı çalışma koşullarına da uyum sağlamaktadır. Test amacıyla YSA modeline rastlantısal giriş büyüklüğü , sistem cevabı ve oluşturulan YSA modeli cevabı ile hatanın değişimi Şekil 4.16. da gösterilmiştir.

Bu çalışmada prosesten alınan giriş ve çıkış verileri YSA da eğitilmiş ve test edilerek performansı minimum hata değeri ile ölçülmüştür. YSA proses yerine kullanılmış olup kontrol çevriminde kontrolöre veriler YSA dan geçmektedir.Test sonucunda grafiklerden anlaşılacağı gibi sayısal değerler normalize değerlerdir. Şekil 4.16 da iki veri arasındaki hata grafiği ile birlikte bu veriler ayrı ayrı gösterilmiştir.

Şekil 4.16 da elde edilen değerler normalize değerlerdir.Yani prosesten alınan verilerin 0-1 arası sayıya dönüştürölmüş değerlerdir.YSA bunu kendi bünyesinde yapmaktadır.Prosesten alınan giriş değerleri , normalize edilmiş proses çıktısı ile YSA çıktısını meydana getirmiştir. Proses çıktısı 0.500 mm ye karşılık gelen değer 0.172 değeri normalize değerdir. YSA çıktısı ise 0.170 normalize değerdir. Aradaki fark ve hata değeri 0.002 dir.

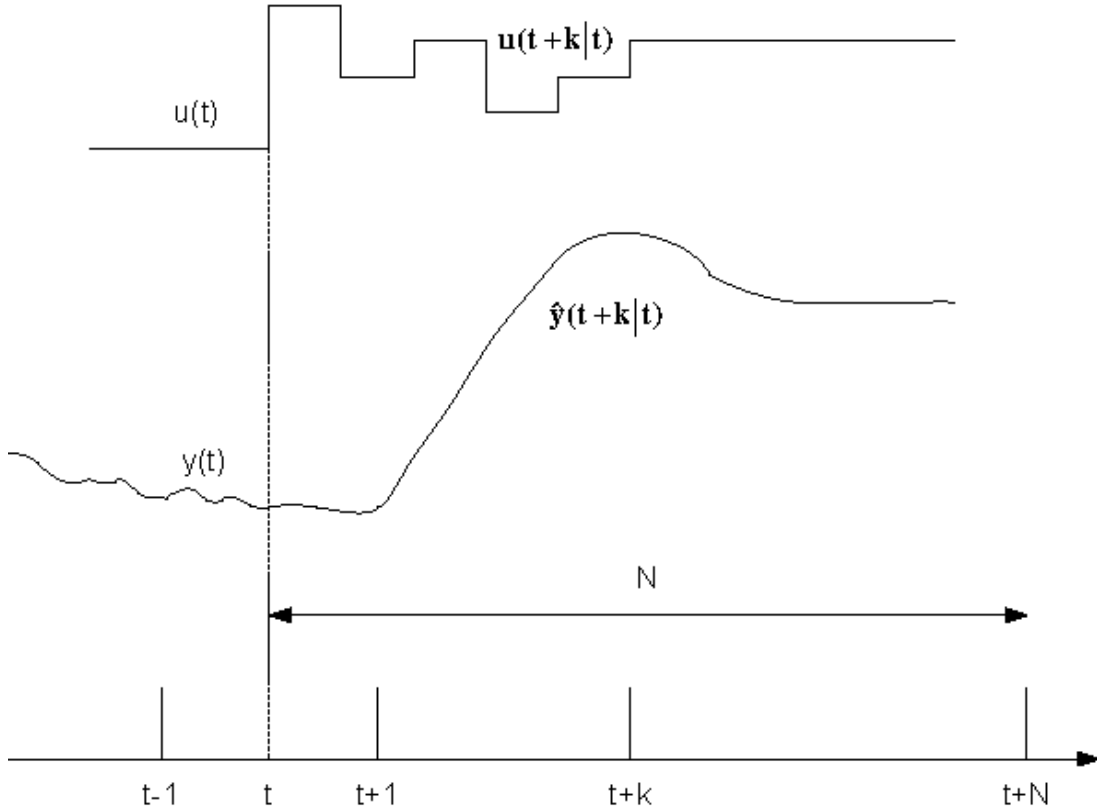


Şekil 4.16. Kaplama kalınlığının YSA test sonuçları

BÖLÜM 5. ÖNGÖRÜLÜ KONTROL MODELİ (MPC)

5.1. Giriş

Öngörülü Kontrol Modeli 1970’ lerde ortaya atılmış ve günümüze değin büyük ölçüde geliştirilmiştir. Öngörülü Kontrol terimi tek bir kontrolör tasarım yöntemini değil, çok geniş bir kontrol tasarım yöntemlerinin bütününe tanımlar. Bu yöntemlerin ortak özelliği sistem modelinin doğrudan kullanılması ve kontrol büyüklüğünün belirli bir ölçüte göre minimumlaştırarak elde edilmesidir. Bu tasarım yöntemleri ile elde edilen kontrolörler lineer yapıdadır.



Şekil 5.1. Öngörülü Kontrol Modelinin Yorumu [18]

Modele Dayalı Öngörülü Kontrol, sistemin gelecekteki davranışını optimize etmek için uygulanması gereken kontrol dizisini hesaplayan bir kontrolör sınıfını nitelemektedir. Bu yöntemin temel düşüncesi Şekil 5.1 de anlatılmaya çalışılmıştır.

5.2. MPC 'nin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri

MPC' nin diğer kontrol yöntemlerine göre üstünlüklerinden bazıları şu şekilde sıralanabilir.[18]

- 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 MPC eksik yönleri de vardır. (Camacho ve Bordons, 2004):

- 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 yanıtının elde edilmesine dayandığından dolayı gerçek sistemle yanıt arasındaki farklılık arttıkça istenilen sistem yanıtını elde etmekte sorunlar yaşanır.

5.3. Öngörülü Kontrol Modeli Literatür Araştırması

1970 lerin sonuna doğru Model Öngörülü 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 çıktısı üzerindeki etkilerini öngörebilmek için dinamik bir proses modeli kullanılmıştır. Model Algoritmik

Kontrol algoritmasında darbe yanıtı katsayıları kullanılırken, Dinamik Matris Kontrol algoritmasında basamak yanıtından elde edilen katsayılar kullanılmıştır.[18]

Bu çalışmalarda öngörülen kontrol sinyalleri öngörülen hatayı en aza indirecek şekilde seçilmeye çalışılmıştır. 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. Clarke Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol algoritmasını 1987’deki çalışmasında ortaya atmıştır. Bu algoritma Genelleştirilmiş Minimum Varyans metodunun temellerine dayanmaktaydı. Ayrıca bu temellere dayanmakta olan Richalet’in Öngörüsül Fonksiyonel Kontrol ve Söeterboek’in 1992’de çalışmasındaki Birleştirilmiş Öngörülü Kontrol gibi algoritmalar ilerleyen zamanlarda ortaya çıkmıştır. Morari 1994’deki çalışmasında Model Öngörülü Kontrol algoritmasının durum uzayı formunda uygulanması ile ilgili olarak bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma durum uzayı teorilerinin bu algoritmada kullanılmasını sağlamakla beraber çok değişkenli sistemler, lineer olmayan sistemler gibi pek çok kompleks sistemler için bu kontrol yönteminin genelleştirilmesinde büyük rol oynamıştır.[19]

5.4. Öngörülü Kontrol Modelinin Temel İlkeleri

- Gelecekteki bir zaman dilimindeki sistem yanıtını 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.(Camacho ve Bordons, 2004)
- Sistem modelinden yararlanarak, öngörü ufku denilen, belirlenmiş bir ufuk boyunca gelecekteki sistem yanıtı hesaplanır. Bu yanıtlar o ana kadar bilinen değerler (geçmişteki girişler ve sistem yanıtları), o andaki sistem yanıtı ve gelecekteki kontrol çıkışları kullanılarak hesaplanır.
- Geleceğe ilişkin kontrol işareti dizisi bir performans indeksini minimumlaştırarak, genellikle öngörülen sistem çıkışı ile referans yörüngesi arasındaki hatayı minimumlaştırarak hesaplanır.

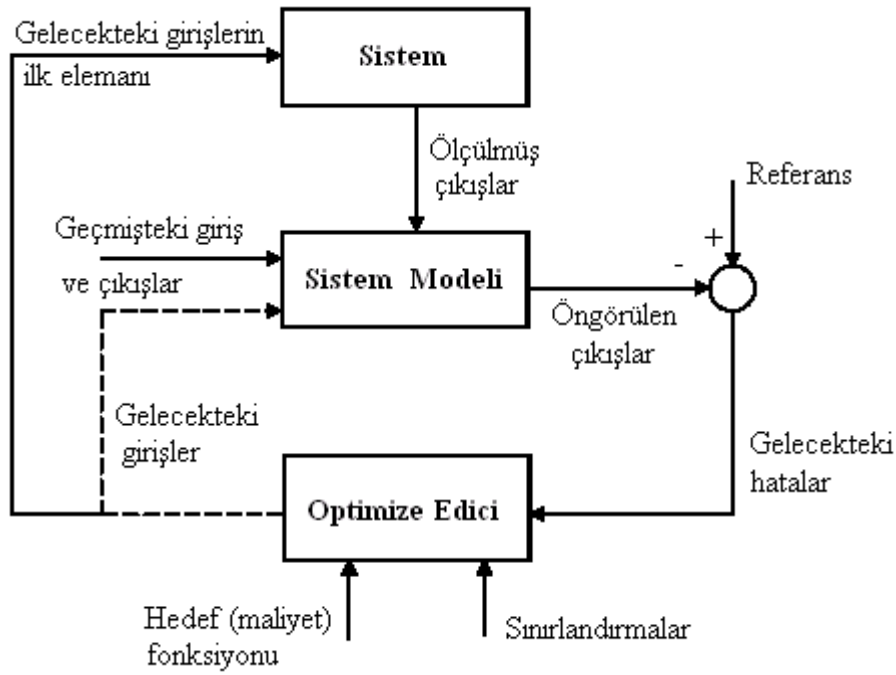
- Sadece o andaki kontrol çıkışı sisteme uygulanır. Bir sonraki örnekleme zamanında ölçülür ve birinci adım tekrarlanır. Böylece kaydırma yöntemi ile hesaplanmış olur.

Minimumlaştırılan ölçüt genellikle öngörülen çıkış ile referans yörüngesi arasındaki hatanın karesel fonksiyonudur. Eğer model lineer, ölçüt karesel ise ve sınırlandırmalar yoksa analitik bir çözüm bulunabilir, aksi durumlarda iteratif optimizasyon yöntemlerini kullanmak gerekir (Camacho ve Bordons, 2004).

Öngörülü Kontrol Modelinin temel işleyiş mantığı Şekil 5.2’de verilmiştir (Camacho ve Bordons, 2004). Model önceki sistem giriş ve çıkışları ve öngörülen kontrol girişlerine bağlı olarak sistemin gelecekteki yanıtlarını öngörmekte kullanılır. Bu kontrol girişleri optimizasyon işlemi ile elde edilir. Model Öngörülü Kontrol, sistemin gelecekteki davranışını optimize etmek için uygulanması gereken kontrol dizisini hesaplayan bir kontrolör sınıfını nitelemektedir. Optimize ediciye dışarıdan etki eden sınırlayıcı değerler ile performans indeksi, aslında MPC nin temel ilkesini ortaya koyar.(Şekil 5.2)

Modele Dayalı Öngörülü Kontrol yöntemleri sadece, kullanılan sistem modeli, gürültü modelleri ve minimize edilecek olan ölçütler bakımından farklılık gösterirler. İlk olarak 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.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta; sisteme uygulanan kontrol hareketinin geçmişteki sistem hatalarından değil, gelecekteki öngörülen sistem hatalarından etkilenmesidir. Bu durum ise model öngörülü kontrol algoritmalarını diğer algoritmalarından ayıran en önemli özelliklerden biridir.



Şekil 5.2. Öngörülü kontrol modeli (MPC) nin temel ilkesi (Camacho and Bordons , 1999)

MPC Kontrolünde amaç ölçütü en küçük kareler yöntemini kullanarak sistem çıkışı ile referans değeri arasındaki farkı mümkün olduğunca azaltmaktır. Bu nedenle kontrol değişkenleri; (5.1) eşitliği kullanılarak gelecekteki hataların karesel toplamı olan bir amaç ölçütünü ya da (5.2) eşitliği kullanılarak hataya ek olarak kontrol gücünü de içeren bir amaç ölçütünü minimize edecek biçimde seçilir.

$$J = \sum_{j=1}^P [\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)]^2 \quad (5.1)$$

$$J = \sum_{j=1}^P [\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{n_u} \lambda [\Delta u(t+j-1)]^2 \quad (5.2)$$

Kontrolör hesaplanmasındaki temel amaç; referans yörüngesi ile öngörülen çıkış arasındaki farkın karesel toplamının minimum olarak tutulmasıdır.

5.5. Öngörü Stratejisi

Model Öngörülü Kontrol, sistemin gelecekteki davranışını optimize etmek için uygulanması gereken kontrol dizisini hesaplayan bir kontrolör sınıfını nitelemektedir. MPC kontrol metotlarının birçok alanından daha fazla alanda belirli bir genel fikir etrafında geliştirilmiştir. Çeşitli MPC algoritmaları, maliyet fonksiyonu, gürültü ve sürecin gösterilmesinde kullanılan modele göre aralarında küçük farklılıklar gösterirler. MPC algoritmalarının 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.

Öngörülü kontrol algoritmasının en temel kavramı olan ufuk kavramı ve temel stratejisi Şekil 5.3 de görülmektedir. Örnek olarak ayrık zamanda SISO sistem alınmıştır. Sistemin her hangi bir andaki zamanı k ile tanımlanmıştır. k anındaki sistemin çıkışı $y(k)$ ve önceki sistem çıkışı da şekilde görülmektedir. İstenen değer yörüngesi her bir t anı için $S(t)$ olarak gösterilmiştir. Sistem modelinden yararlanarak, öngörü ufku denilen, belirlenmiş bir ufuk boyunca gelecekteki sistem yanıtı hesaplanır. [20]

Sistemin zaman sabiti T_{ref} sistemin cevabından hesaplanır. Eğer sistemde o andaki hata;

$$\varepsilon(k) = s(k) - y(k) \quad (5.3)$$

ise referans yörüngesi, hata gibi i adım sonrası için seçilebilir. Eğer çıkış tam olarak takip ettiği düşünülürse ;

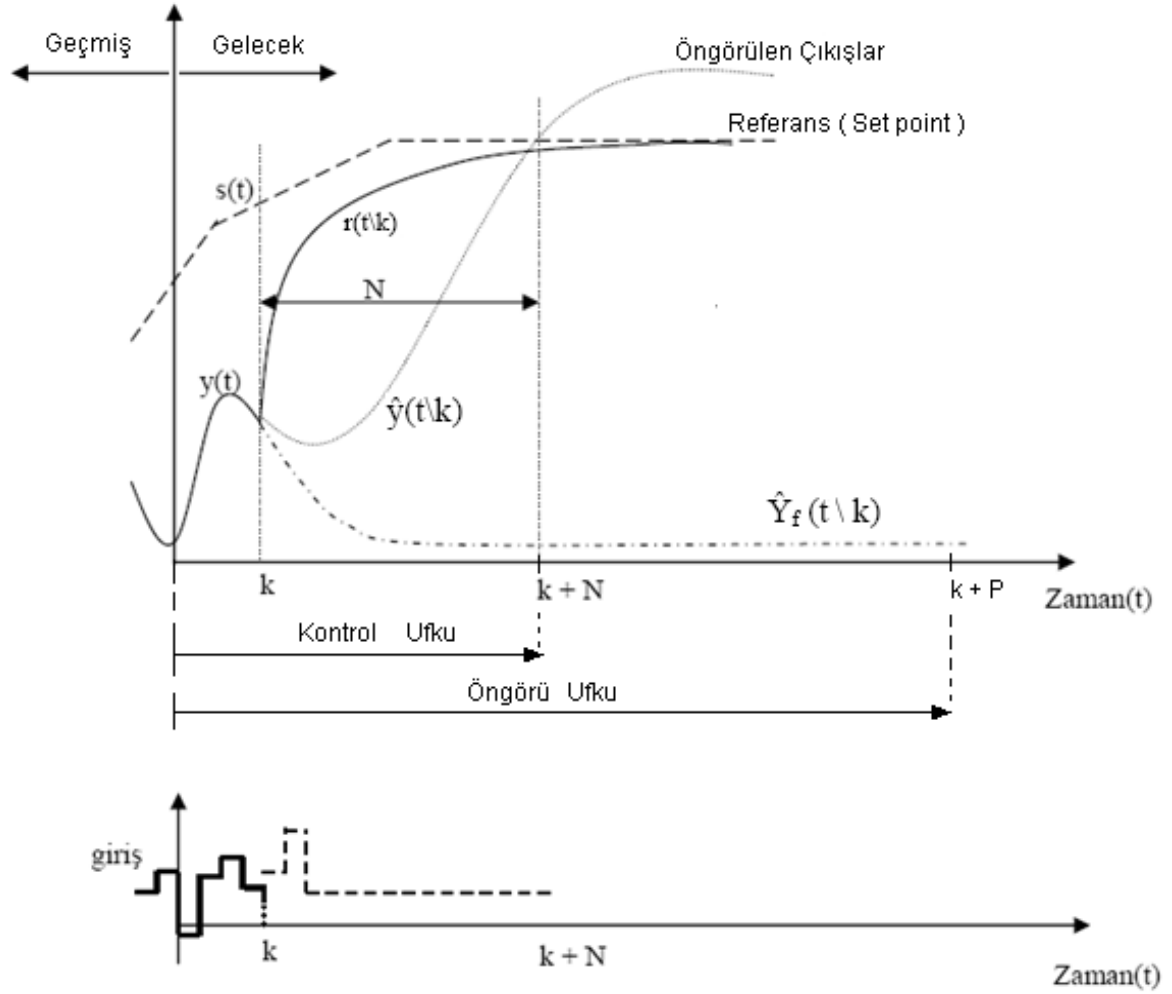
$$\varepsilon(k+i) = e^{-iT_s/T_{ref}} \varepsilon(k) = \lambda^i \varepsilon(k) \quad (5.4)$$

olabilir.

Burada T_s örnekleme zamanı ve $\lambda = e^{-iT_s/T_{ref}}$, ($0 < \lambda < 1$) yani, referans yörünge aşağıdaki gibi tanımlanabilir.[20]

$$r(k+i/k) = s(k+i) - \varepsilon(k+i) \quad (5.5)$$

$$= s(k+i) - e^{-\alpha s/T_{ref}} \varepsilon(k) \quad (5.6)$$



Şekil 5.3. Öngörülü kontrol modelinin ufuk kavramı

$r(k+i/k)$, k anındaki koşullara bağlı olarak referans yörüngesi gösterir. Referans yörüngesi başka bir deyişle, o andaki çıkış değerden başlayarak ilerideki bir zamanda

istenen değere $s(t)$ ulaşan yörünge olarak da tanımlanabilir. Öngörülü kontrolör, geçerli bir zamandan başlayarak öngörü ufku boyunca sistemin davranışını öngören “iç model”e sahiptir. Bu öngörü davranışı varsayılan giriş yörüngesine $\hat{u}_{(k+i/k)}$ ($i : 0,1,...,N-1$) bağlıdır. İç model doğrusal olarak kabul edilebilir. Bu şekilde en iyi giriş hesaplanması diğerlerine nazaran daha kolay şekilde yapılabilir.

Ölçülen çıkış $y(k)$, $u(k)$ giriş değerine göre elde edilebilir. İç modele göre $y(k)$ sadece $u(k)$ değerine değil geçmiş giriş değerlerine ($u(k-1)$, $u(k-2)$, ...) de bağlıdır. En basit durumda giriş yörüngesini $k+N$ zamanında öngörü ufkunun sonundaki sistem çıkışını gerekli $r_{(k+N)}$ değerine getirerek seçilmesi denenebilir.[21]

$\hat{U}_{(k/k)} = \hat{u}_{(k+1/k)} = ... = \hat{u}_{(k/k)}$, bir giriş yörüngesi seçildiğinde yörüngeyi sadece ilk elemanı sisteme giriş olarak uygulanır. Yani $u(k)$, $\hat{u}_{(k/k)}$ olarak ayarlanır. Burada $u(k)$ uygulanan asıl kontrol büyüklüğünü göstermektedir.

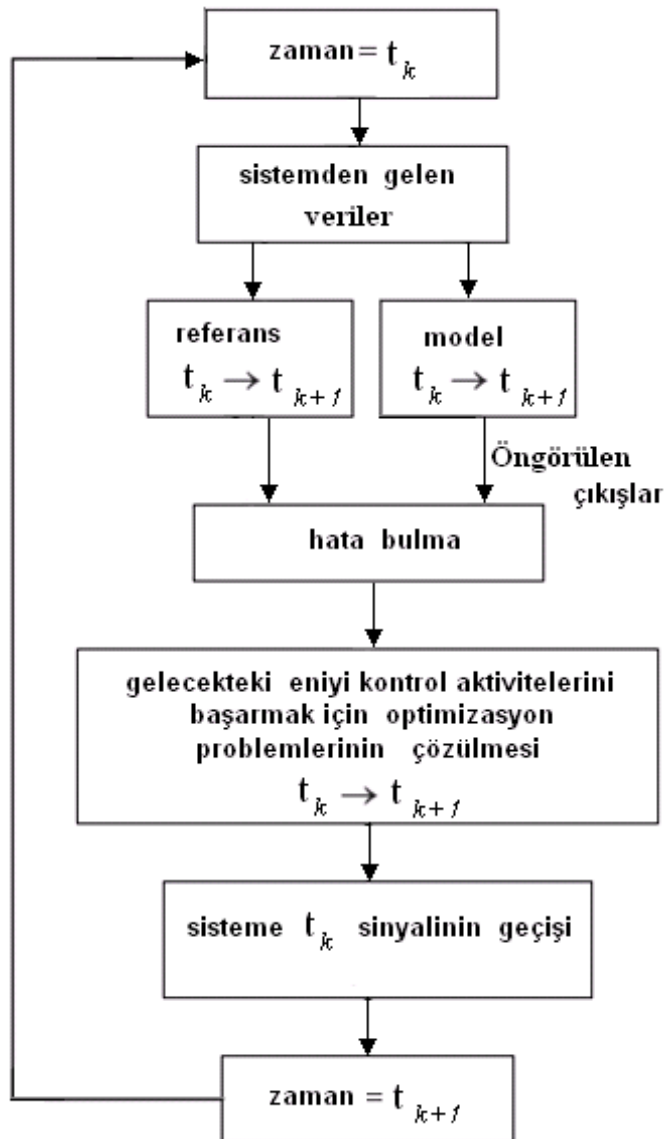
Daha sonra çıkış ölçümünün tüm çevrimi, öngörü, ve giriş yörünge tespiti tekrarlanır, bir örnekleme aralığı sonrasında : yeni çıkış ölçümü $y_{(k+1)}$ elde edilir; yeni bir referans yörüngesi $r_{(k+i/k+1)}$, $i : 2,3,...$ tespit edilir ve son olarak sonraki giriş sisteme uygulanır $u_{(k+1)} = \hat{u}_{(k+1/k+1)}$.

Öngörü ufku önceki ile aynı uzunlukta kaldığı ancak yol boyunca her bir adımda tek bir örnekleme aralığı boyunca kaydığı için bu tip bir sistem kontrolü geri çekilen ufuk (kayan ufuk) stratejisi olarak adlandırılır.

Şekil 5.4. e göre yapılan açıklamaların adeta bir özeti anlamında ve blok diyagramı şeklinde olan anlatımı Şekil 5.4. de görülmektedir. Burada ana parametrelerin t_k ve t_{k+1} olduğu dikkati çekmektedir. Çünkü MPC nin yapısı gereği önceki zaman ve sonraki zaman kavramları içinde birbiriyle ilişkili öngörüler hazırlamaktır.

5.6. MPC Algoritmaları

Geliştirilmiş pek çok MPC algoritması bulunmaktadır. MPC yöntemleri kullanılan model ve seçilen başarımlı ölçütleri bakımından birbirlerinden farklılaşmaktadırlar. Aşağıda bazı temel MPC yöntemleri verilmiştir. Bu yöntemler içerisinde Dinamik Matris Kontrol ve Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol en yaygın kullanılan yöntemlerdir.[22]



Şekil 5.4. Öngörülü kontrol modelinin süreç algoritması [22]

5.6.1. Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol (Generalized Predictive Control - GPC)

Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol algoritması, 1987’de D. W. Clarke tarafından önerilmiştir. Birçok endüstriyel prosese uygulanmış olup, iyi bir başarımlı ve belli ölçülerde dayanıklılık elde edilmiştir (Clarke vd., 1987a). (Clarke, Mohtadi ve Tuffs, 1987b). Bu model CARMA (Controller Auto-Regressive Moving-Average) olarak bilinir. Endüstriyel sistemlerde bu modelin integre edilmiş hali olan CARIMA kullanılmaktadır. İstenilen bir ağırlıkta kontrol gücünün yer aldığı karesel bir performans indeksi ve ARMAX (Auto-regressive moving average with exogenous variable models) modeli kullanılır. Kısıtlamaların olmadığı durumda analitik bir çözüm bulunmaktadır.[23]

5.6.1.1. Sistem Modeli ve Öngörü

Bu çalışmada kararlı ve sınırlandırılmış bir model öngörülü kontrolör tasarlamak için gerekli olan durumlar anlatılmıştır. Bir çok tek girişli tek çıkışlı sistemler (Single Input Single Output-SISO) çalışma aralığında doğrusallaştırıldıktan sonra eşitlik (5.7)’deki gibidir.(Camacho ve Bordons,1999).

Tek girişli tek çıkışlı sistemler bir denge noktası etrafında lineerleştirilerek eşitlik (5.7) biçiminde ifade edilebilir. Bu denklemde $e(t)$ beklenen değeri sıfır olan beyaz gürültü, d ise sistemin ölü zamanıdır.

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-d}B(z^{-1})u(t-1) + C(z^{-1})e(t) \quad (5.7)$$

A, B ve C polinomları ise (5.8), (5.9) ve (5.10) olarak verilmiştir.

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{na}z^{-na} \quad (5.8)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_{nb}z^{-nb} \quad (5.9)$$

$$C(z^{-1}) = 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} + \dots + c_{nc} z^{-nc} \quad (5.10)$$

Bu model “Controller Auto-Regressive Moving-Average”(CARMA) olarak bilinmektedir. Endüstride kullanılan sistemlerin çoğu durağan olmadığından dolayı entegre edilmiş CARIMA modelinin daha uygun olacağı düşünülmüştür. CARIMA modeli, (5.11)’de ifade edildiği şekilde oluşturulmuştur.

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-d}B(z^{-1})u(t-1) + C(z^{-1})\frac{e(t)}{\Delta}, \Delta = 1 - z^{-1} \quad (5.11)$$

Basitlik amacıyla bozucuya ilişkin modelde $C(z^{-1})$ farklı seçilebilir. Bu durum renkli gürültü durumu olarak adlandırılmaktadır. Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol algoritması ile verilen amaç ölçütünü minimize edecek kontrol işareti dizisini saptamaya çalışır.

$$J(N_1, N_2, N_u) = \sum_{j=N_1}^{N_2} \delta(j) [\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \lambda(j) [\Delta u(t+j-1)]^2 \quad (5.12)$$

(5.12) de $\hat{y}(t+j|t)$, t anındaki bilgilerden ve modellerden yararlanarak elde edilen j adım ilerideki optimum sistem çıktısı öngörüsü, N_1 minimum ölçüt ufku, N_2 maksimum ölçüt ufku, $\delta(j)$ ve $\lambda(j)$ ağırlık parametreleri, $w(t+j)$ ise gelecekteki referans yörüngesidir (Camachove Bordons, 2004). Optimum $\hat{y}(t+j|t)$ öngörü değerleri elde edilirken $j \geq N_1$ ve $j \leq N_2$ aralığı kullanılır.

5.6.2. Dinamik matris kontrol (Dynamic matrix control - DMC)

Dinamik Matris Kontrolü, Shell Petrol şirketinin gereksinimleri üzerine Cutler ve Ramaker tarafından yetmişli yılların sonuna doğru geliştirilmiştir.İlerleyen yıllarda petrokimya endüstrisi başta olmak üzere endüstri dünyasında kabul görmüştür (Camacho ve Bordons, 2004). Bu yöntem ilk olarak 1973 yılında Shell tarafından kullanılmıştır. Bu yöntemde basamak yanıtı modeli kullanılır. Bu algoritma kullanılarak sistem giriş ve çıkışlarındaki sınırlandırmaları göz önünde bulunduran ve ‘quadratic’ programlama kullanan “Quadratic Dynamic Matrix Control(QDMC)” yöntemi geliştirilmiştir. Bu algoritma ayrık durum uzayı modeli için de uygulanmaya uygundur.[24]

5.6.2.1. Sistem Modeli ve Öngörü

Sistem modeli (5.13) ’de ifade edildiği gibi oluşturulur.[24]

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} g_i \Delta u(t-i) \quad (5.13)$$

Öngörü değerleri ise (5.14) ve (5.15)’ de ifade edildiği şekilde elde edilir.

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^{\infty} g_i \Delta u(t+k-i) + \hat{n}(t+k|t) \quad (5.14)$$

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^k g_i \Delta u(t+k-i) + \sum_{i=k+1}^{\infty} g_i \Delta u(t+k-i) + \hat{n}(t+k|t) \quad (5.15)$$

Bozucu, (5.16) 'da gösterildiği üzere sistem çıktısı ile model çıktısı arasındaki fark olarak modellenir ve ufuk boyunca sabit kabul edilir.

$$\hat{n}(t+k|t) = \hat{n}(t|t) = y_m(t) - \hat{y}(t|t) \quad (5.16)$$

(5.16) 'da kullanılan $y_m(t)$ ölçülen sistem çıktısıdır.[25]

5.6.3. Model algoritmik kontrol (Model algorithmic control - MAC)

Öngörülü Kontrol algoritmaları içinde en basit formülasyonu olan yöntemdir. Birkaç küçük fark dışında bu çalışmada da anlatılmış olan Dinamik Matris Kontrol algoritmasına oldukça benzemektedir. Eğer sistem modeli yazılırken bir hata yapılırsa transfer fonksiyon modelleri hatalı sonuçlar verebilmektedir. Diğer yanda ise sistemin darbe girişi cevaplarının tanımlanması kolay olduğundan dolayı sistemin darbe cevapları kullanılarak elde edilen kontrol kuralı oldukça iyi bir seçim olarak gözükmektedir (Richalet vd., 1978). Bu algoritma, yalnız açık çevrimde kararlı sistemler için uygun olan darbe yanıtı modelini kullanır. Algoritma, sistem çıktısı ile birinci derece bir sistem olarak elde edilen giriş yörüngesi arasındaki farkı minimize etmektedir. [26]

5.6.3.1. Sistem Modeli ve Öngörü

t anındaki sistemin çıktısı, (5.17) ifadesinden de görüleceği üzere sistemin darbe yanıtı ile oluşan katsayılarla yakından ilgilidir.[27]

$$y(t) = \sum_{j=1}^N h_j u(t-j) = H(z^{-1})u(t) \quad (5.17)$$

Bu modelden de anlaşılacağı gibi herhangi bir andaki tahmin edilen çıkış değeri, geçmiş giriş değerleri ile sistemin darbe yanıtı olan h_j ağırlıklarının lineer bir

kombinasyonu olarak hesaplanmaktadır. Model kullanılarak k adım ötesi için çıkış öngörüsü (5.18.)’deki ifade olarak yazılabilir.

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{j=1}^N h_j u(t+k-j) + \hat{n}(t+k|t) \quad (5.18)$$

5.7. MPC Algoritmalarında Kullanılan Sistem Modelleri

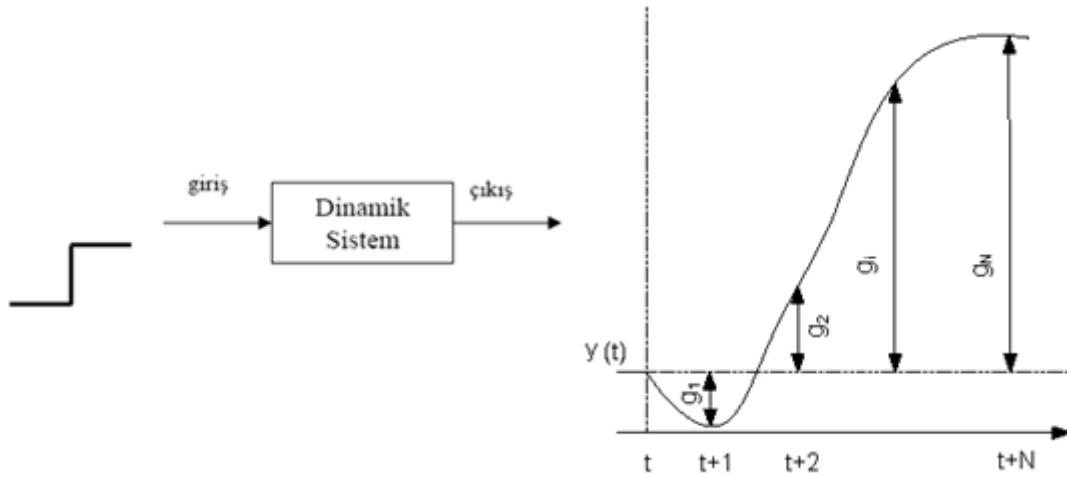
Bu bölümde MPC algoritmalarında kullanılan farklı sistem modelleri ve bu modellerin elde edilmesi anlatılacaktır.

5.7.1. Basamak yanıt modeli

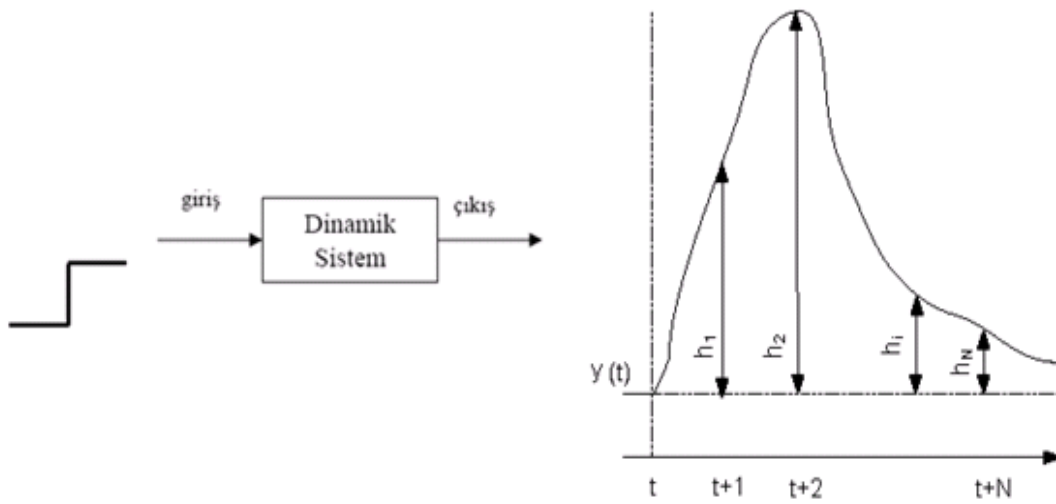
Geliştirilmiş pek çok MPC algoritması bulunmaktadır. Bu algoritmalarda kullanılmakta olan farklı modeller vardır. En yaygın olarak kullanılan modellerden biri basamak yanıtı modelidir. Bu modelin yaygın olarak kullanılmasının sebebi sisteme basamak girişi uygulandığında sistem çıkışını ölçmek model parametrelerini 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 (Camacho ve Bordons, 2004).

Dinamik Matris Kontrol yöntemi bu modeli kullanmaktadır. Giriş çıkış ilişkisi Şekil 5.5.a ve eşitlik (5.19) ile verilir.



a - Basamak cevabı



b - Darbe cevabı

Şekil 5.5. Darbe ve Basamak Cevapları

Buradaki g_i ' ler sisteme basamak giriş uygulandığında elde edilen çıkışın örneklenmiş değerleridir. Görüldüğü gibi sistem çıktısına ilişkin N değer göz önüne alınmış, sonsuz toplam yapılmamıştır. Bu nedenle bu model integrator içermeyen ve kararlı doğrusal sistemler için uygundur. $G(z^{-1})$ sistemin ayrık transfer fonksiyonu ve z^{-1} geciktirme operatörüdür.

$$y(t) = y_0 + \sum_{i=1}^N g_i \Delta u(t-i) = y_0 + G(z^{-1})(1-z^{-1})u(t) \quad (5.19)$$

Bu model kullanılarak öngörü ifadesi (5.20) şeklinde yazılabilir (Camacho ve Bordons, 2004).

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^N g_i \Delta u(t+k-i) \quad (5.20)$$

5.7.2. Darbe yanıtı modeli

Darbe Yanıtı modelinde sisteme darbe girişi uygulanarak model parametreleri bulunur (Camacho ve Bordons, 2004). Bu modeli, Model Algoritmik Kontrol algoritması kullanmaktadır. Giriş çıkış ilişkisi Giriş çıkış ilişkisi Şekil 5.5.b ve eşitlik (5.21) ile verilir. h_i ' ler sisteme darbe giriş uygulandığında elde edilen çıkışın örneklenmiş değerleridir.[28]

$$y(t) = \sum_{i=1}^N h_i u(t-i) = H(z^{-1})u(t) \quad (5.21)$$

Darbe yanıtının katsayıları ile basamak yanıtının katsayıları arasında (5.22) ve (5.23)'de verilen eşitlikler bulunmaktadır.

$$h_i = g_i - g_{i-1} \quad (5.22)$$

$$g_i = \sum_{j=1}^i h_j \quad (5.23)$$

Bu model kullanılarak öngörü ifadesi (5.24) şeklinde yazılabilir.

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^N h_i \Delta u(t+k-i) = H(z^{-1})u(t+k|t) \quad (5.24)$$

5.7.3. Transfer fonksiyonu modeli

Transfer fonksiyonu modeli, parametre sayısı az ve her türlü sistem için uygun olduğundan akademik çalışmalarda en yaygın olan ve çoğu kontrolör tasarımı yöntemlerinde kullanılan bir modeldir. Genelleştirilmiş Öngörülü Kontrol algoritması bu modeli kullanmaktadır (Camacho ve Bordons, 2004).

Sistem çıkışı $y(t)$ ve sistem girişi $u(t)$ ve

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_{na} z^{-na} \quad (5.25)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_{nb} z^{-nb} \quad (5.26)$$

olmak üzere giriş çıkış ilişkisi (5.27) ile verilir.

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})u(t-1) \quad (5.27)$$

Bu modelin öngörü ifadesi , (5.28) olarak yazılabilir (Camacho ve Bordons, 2004).

$$\hat{y}(t+k|t) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}u(t+k|t) \quad (5.28)$$

5.7.4. Durum uzay modeli

Durum uzayı modeli ise çok değişkenli sistemleri kolaylıkla tanımlayabildiğinden dolayı bazı algoritmalarda kullanılmaktadır. Durum uzayı kavramının MPC kuramına aktarılmasıyla ölçülen değişkenlerde rastlantısal bozucuların bulunması

gibi daha karmaşık problemlerin ele alınmasını sağlamıştır (Camacho ve Bordons, 2004).

Durum uzayı modeli, çok değişkenli sistemlerin tanımlanmasında kolaylık sağladığından dolayı Öngörüs el Fonksiyonel Kontrol (Predictive Function Control) gibi bazı Öngörülü Kontrol Modeli algoritmalarında kullanılmaktadır.(5.29) ve (5.30) ' da ifade edildiği şekilde hesaplanmaktadır. (Camacho ve Bordons, 2004).

$$x(t) = Ax(t-1) + Bu(t-1) \quad (5.29)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (5.30)$$

Bu denklemlerde x durum değişkeni, A , B ve C sırasıyla sistem matrisi, giriş matrisi ve çıkış matrisi olarak ifade edilmektedir. Öngörü modeli (5..31) 'de gösterildiği şekilde ifade edilmektedir (Camacho ve Bordons, 2004).

$$\hat{y}(t+k|t) = C\hat{x}(t+k|t) = C \left[A^k x(t) + \sum_{i=1}^k A^{i-1} Bu(t+k-i|t) \right] \quad (5.31)$$

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 edilmesidir. Eğer bazı durumlar izlenemiyorsa bu durumda bir gözlemleyici tasarlanıp öngörü algoritmasına eklenmesi gerekmektedir.

5.8. Model Öngörülü Sistemlerde Kullanılan Parametreler

5.8.1. Maliyet fonksiyonu

Farklı Model Öngörülü Kontrol algoritmaları kontrol kuralını belirlemek amacıyla farklı maliyet fonksiyonları belirler. Maliyet fonksiyonundaki genel amaç istenen öngörü ufkunda gelecekteki sistem çıktısının daha önceden belirlenmiş bir referans büyüklüğünü takip etmesi ve aynı zamanda gerekli kontrol sinyalinin de belli sınırlar

içinde tutulup cezalandırılmasıdır. Tüm bu amaçları sağlayan maliyet fonksiyonu için genel ifade (5.32) şeklinde yazılabilir. (Camacho ve Bordons, 2004)

$$J(N_1, N_2, N_u) = \sum_{j=N_1}^{N_2} \delta(j) [\hat{y}(t+j|t) - w(t+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \lambda(j) [\Delta u(t+j-1)]^2 \quad (5.32)$$

5.8.2. Öngörü ve kontrol ufku

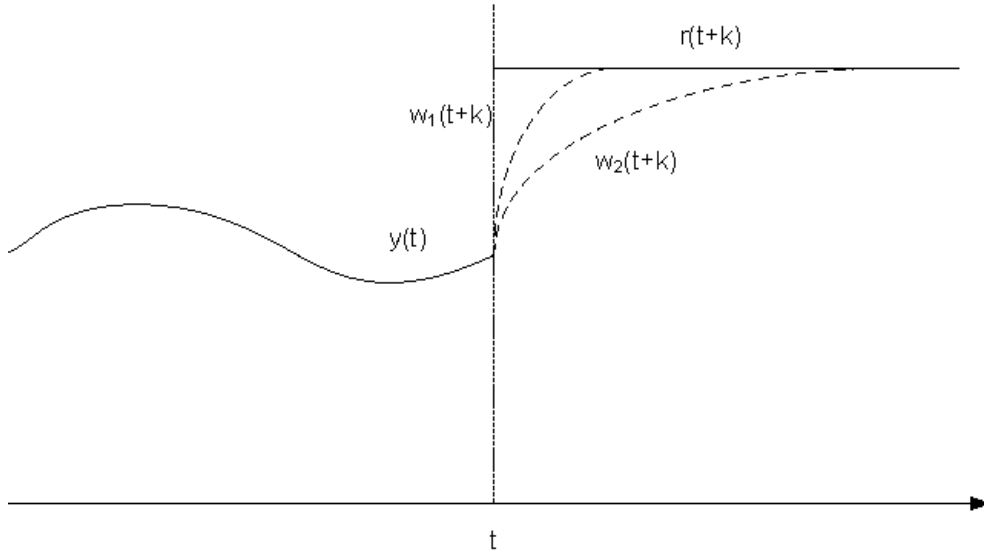
Maliyet fonksiyonunda ifade edilen N_1 ve N_2 sırasıyla minimum ve maksimum öngörü ufuklarına karşılık gelmekte olup, N_u ise kontrol ufku olarak adlandırılmaktadır. $\delta(j)$ ve $\lambda(j)$ katsayıları ise maliyet fonksiyonunda gelecekteki sistem davranışını belirleyen ağırlık katsayılarıdır. Bu katsayılar genellikle sabit değerler veya üstel ifadeler olarak seçilebilirler. Örnek olarak, (5.33)' de gösterildiği gibi $\delta(j)$ aslında üstel bir ağırlık katsayısıdır.

$$\delta(j) = \alpha^{N_2-j} \quad (5.33)$$

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 kolay bir şekil verir ve daha az bir kontrol büyüklüğü uygulanmasını sağlar. Öte yandan, eğer $\alpha > 1$ 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 (Camacho ve Bordons, 2004).

5.8.3. Referans yörüngesi

Öngörü kontrolün 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. 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.



Şekil 5.6. Referans Yörüngesi

$$w(t) = y(t) \quad w(t+k) = \alpha w(t+k+1) + (1-\alpha)r(t+k) \quad k=1 \dots N \quad (5.30)$$

$0 < \alpha < 1$ değeri ayarlanabilen bir değer olup, sistemin dinamik cevabını etkilemektedir. Şekilde görüldüğü üzere $r(t+k)$ referans değeri sabit seçilmiş olup α parametresinin iki farklı değeri için durum incelenmiştir. Şekil 5.6 ve eşitlik (5.30) 'da gösterildiği gibi α 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 (Camacho ve Bordons, 2004).

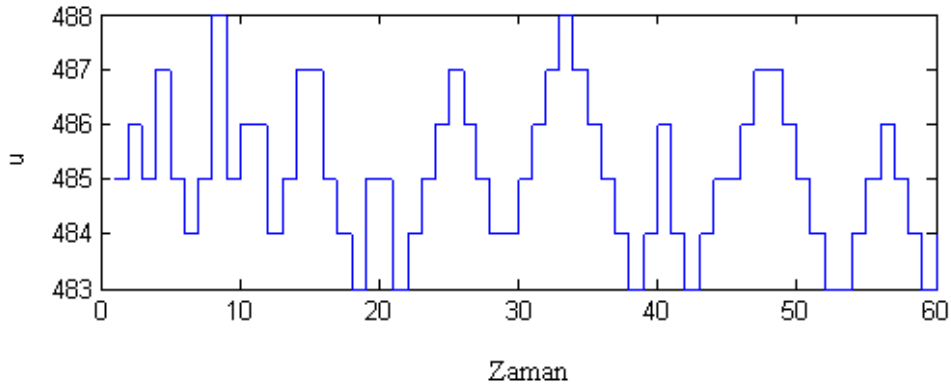
5.9. Polimer Ekstrüzyonunun Öngörü Modeli

Kalınlık kontrolü için PID ve MPC kontrolörlerinin ayrı ayrı Matlab 2009.b ortamında simulink modelleri hazırlanmıştır. Bu modeller mdl. ve mat. uzantılı dosyalarda kaydedilmiştir. İki ayrı kontrol modeli ile çalışarak kıyaslama amaçlanmıştır. PID ile MPC kontrolörlerinin hangisinin bu sürece daha iyi cevap verdiği gözlenmiştir.

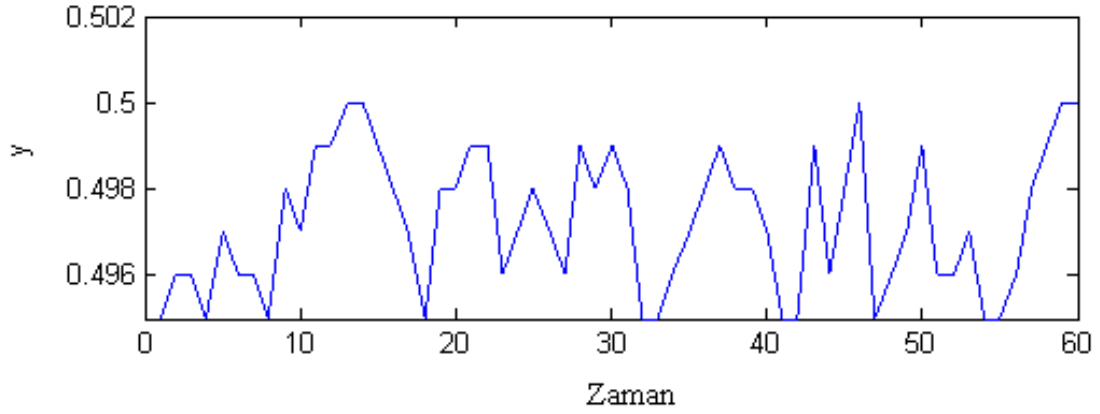
Xiao , Tzoganakis ve Budman (2001) , çift vidalı bir ekstruder kullanarak deneysel granül üretimi yapmışlardır. Üretim esnasında ekstruderden çıkan plastik ipliğini bir balans makarısından geçirerek ekstruderdeki melt (eriyik) gerilimini kontrol altına almaya çalışmışlardır. Screw speed kontrolünü yapmak , ani hız dalgalanmalarının önüne geçmek için Xiao , Tzoganakis ve Budman polimer taneciği üretim prosesinde PID ve MPC kontrol algoritmalarını kullanarak kıyaslama yapmışlardır.Yapılan deneyde ekstruder vidasının devri değiştirilerek eriyik gerilimi kontrol edilmeye çalışılmıştır.

5.9.1. Sistem modeli (Sistem identification)

MPC kontrol modelini oluşturabilmek için yine Matlab 2009.b programından sistem İdentification toolbox ortamında model oluşturmak gerekmektedir.Çünkü MPC nin içerisindeki plant model bu ortamda oluşturulmaktadır. Bu oluşum için gerekli input ve output değerleri Şekil 5.7 ve 5.8 de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Sistem modelleme giriş değerleri



Şekil 5.8. Sistem modelleme çıkış değerleri

Öngörü modelini hazırlamak için doğrusal parametrik modellerin elde edilebildiği MATLAB System Identification Toolbox 7.9 kullanılmıştır. Sistem modelinde lineerleştirme temel polinom eşitlikleri (5.31.) (5.32.) (5.33.) (5.34.) ve (5.35.) ile başlar.

$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_{n_a}q^{-n_a} \quad (5.31)$$

$$B(q) = b_1q^{-1} + \dots + b_{n_b}q^{-n_b} \quad (5.32)$$

$$C(q) = 1 + c_1q^{-1} + \dots + c_{n_c}q^{-n_c} \quad (5.33)$$

$$D(q) = 1 + d_1q^{-1} + \dots + d_{n_d}q^{-n_d} \quad (5.34)$$

$$F(q) = 1 + f_1q^{-1} + \dots + f_{n_f}q^{-n_f} \quad (5.35)$$

Daha sonra bu polinomlar , denklemdeki yerlerine (5.36) eşitliği ile yerleştirilirler. Model tasarımında SID (SID: System Identification: Sistem modelleme) de kullanılan lineer eşitliklerin genel yapısı , eşitlik (5.36) ile gösterilmiştir.[29]

$$A(q)y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t) \quad (5.36)$$

SİD toolbox da proses verilerinden yararlanarak , (5.36) eşitliği ile doğrusal olmayan sistemi doğrusal hale getirmek için modellerin kullandığı polinomlar Tablo 5.1 de gösterilmiştir.Tablo5.1 de gösterilen lineer modellerden sadece ARX ve ARMAX modelleri kullanılmıştır.Çünkü burada sözkonusu olan tek girişli ve tek çıkışlı tel kaplama modelidir..[29]

Tablo 5.1. Sistem modellerinin kullandığı polinomlar

Kullanılan Polinomlar	Lineer Modeller
B	FIR
A B	ARX
A B C	ARMAX
A C	ARMA
B F	OE
B F C D	BJ

(5.36) denklemi düzenlenirse (5.37) eşitliğine dönüşür.

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u(t) + \frac{C(q)}{A(q)}e(t) \quad (5.37)$$

ARX de (5.36) eşitliği, ARMAX da (5.37) eşitliği kullanılır.Genelde SİSO sistemlerde ARX modeli kullanılır. Çünkü ARX modelde kullanılan lineerleştirme denkleminde $C(q) = D(q) = F(q) = 1$ olarak kabul edilmiştir.[30]

Burada ARX ve ARMAX model kullanılmıştır. Bu modellerin çalışması esnasında kullanılan parametre değerleri Tablo 5.2 de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. MPC simülasyon parametreleri

Parametre	Tanım	Değer
N_2	Öngörü ufku uzunluğu	10
N_u	Kontrol ufku uzunluğu	1 2 3
n_a	A polinomu üssel katsayısı	1 2 3
n_b	B polinomu üssel katsayısı	1 2
n_c	C polinomu üssel katsayısı	1
n_k	Gecikme katsayısı	1
T_s	Örnekleme sayısı	0.001

ARMAX model gürültü kontrolü yapılacak sistemlerde daha çok kullanılan modeldir. ARX ise temel ve basit sistemlerde kullanılan bir sistem identification modelidir. $C(q)$ polinomu ARMAX modelde , sistemdeki gürültü etkisini temsil eder. MPC kontrolöründe maliyet fonksiyonu (5.38) eşitliği ile hesaplanmaktadır.[30]

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_r(k+j) - y_m(k+j))^2 + \rho \sum_{j=1}^{N_u} (u'(k+j-1) - u'(k+j-2))^2 \quad (5.38)$$

Burada J : maliyet fonksiyonu , N_2 : maliyet ufku , N_u : kontrol ufku , u : öngörülen kontrol değişkeni , y_r : istenen cevap , y_m : ağ cevabı , ρ : kontrol ağırlık faktörü olarak tanımlanmaktadır.

5.9.1.1. ARX modeli

ARX modelin genel yapısı ,

$$\mathbf{A}(q) \mathbf{y}(t) = \mathbf{B}(q) \mathbf{u}(t) + \mathbf{e}(t)$$

(5.39)

şeklinde gösterilir.

Burada (q) , kaydırma operatörünü, $y(t)$ çıkış, $u(t)$ giriş, $e(t)$ hata , t ise örnekleme zamanını gösterir. $A(q)$ ve $B(q)$, q operatörüne bağlı polinomlardır.

$$\mathbf{A}(q) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \quad (5.40)$$

$$\mathbf{B}(q) = b_1 q^{-n_b} + b_2 q^{-(n_b+1)} + \dots + b_{n_b} q^{-(n_b+n_b-1)} \quad (5.41)$$

Burada

n_a : modele $y(t)$ nin , kaç (t) gerisine kadar olan miktarının ekleneceğini gösteren A polinomu parametresi ,

n_b : modele $u(t)$ nin , kaç (t) gerisine kadar olan miktarının ekleneceğini gösteren B polinomu parametresi , olup modelin derecesini ifade ederler.

n_k : giriş-çıkış arasındaki gecikmeyi gösteren model parametresidir.

Kaplama kalınlığı öngörü modeli için proses verileri ile yapılan simülasyonda en uyumlu olan ARX model lineer polinom eşitliği ,

$$\mathbf{A}(q) = 1 - 0,3055q^{-1} + 0,2457q^{-2} - 0,1536q^{-3} \quad (5.42)$$

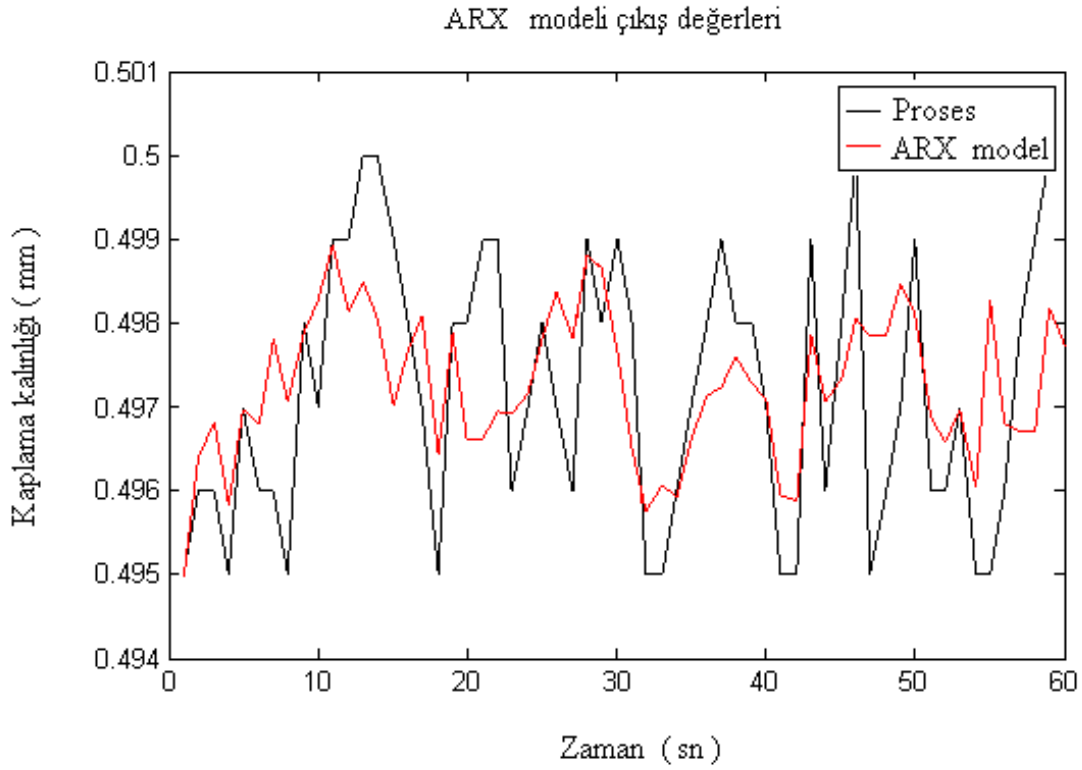
$$\mathbf{B}(q) = 0,2471q^{-4} - 0,09878q^{-5} \quad (5.43)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

MPC kontrol modelinin içsel sistem modeli olan ARX modeli , sistemden alınan ve doğrusal olmayan verileri (5.42) ve (5.43) eşitliği ile doğrusallaştırarak matematik model şekline dönüştürmüştür. Doğrusal modelle çıkış değerinin , ne kadar gerçek çıkışlara yakın olduğu veya en uygun eğri oluşturabildiği Şekil 5.9 da anlatılmaya çalışılmıştır.

MPC 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 (Camacho ve Bordons, 2004).



Şekil 5.9. ARX modeli çıkışları ve prosesden alınan kaplama kalınlığı değerleri

5.9.1.2. ARMAX modeli

ARMAX modelin genel yapısı,

$$\mathbf{A}(q) \mathbf{y}(t) = \mathbf{B}(q) \mathbf{u}(t) + \mathbf{C}(q) \mathbf{e}(t) \quad (5.44)$$

şeklinde gösterilir. Burada (q) , kaydırma operatörünü, $y(t)$ çıkış, $u(t)$ giriş, $e(t)$ hata, t ise örnekleme zamanını gösterir. $A(q)$, $B(q)$ ve $C(q)$, q operatörüne bağlı polinomlardır.

$$\mathbf{A}(q) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \quad (5.45)$$

$$\mathbf{B}(q) = b_1 q^{-n_k} + b_2 q^{-(n_k+1)} + \dots + b_{n_b} q^{-(n_k+n_b-1)} \quad (5.46)$$

$$\mathbf{C}(q) = 1 + c_1 q^{-1} + c_2 q^{-2} + \dots + c_{n_c} q^{-n_c} \quad (5.47)$$

n_a : modele $y(t)$ nin , kaç (t) gerisine kadar olan miktarının ekleneceğini gösteren A polinomu parametresi ,

n_b : modele $u(t)$ nin , kaç (t) gerisine kadar olan miktarının ekleneceğini gösteren B polinomu parametresi , olup modelin derecesini ifade ederler.

n_k : giriş-çıkış arasındaki gecikmeyi gösteren model parametresidir.

Kaplama kalınlığı öngörü modeli için proses verileri ile yapılan simülasyonda en uyumlu olan ARMAX model lineer polinom eşitliği ,

$$\mathbf{A}(q) = 1 - 0,7386 q^{-1} - 0,7227 q^{-2} + 0,1849 q^{-3} - 0,7198 q^{-4} \quad (5.48)$$

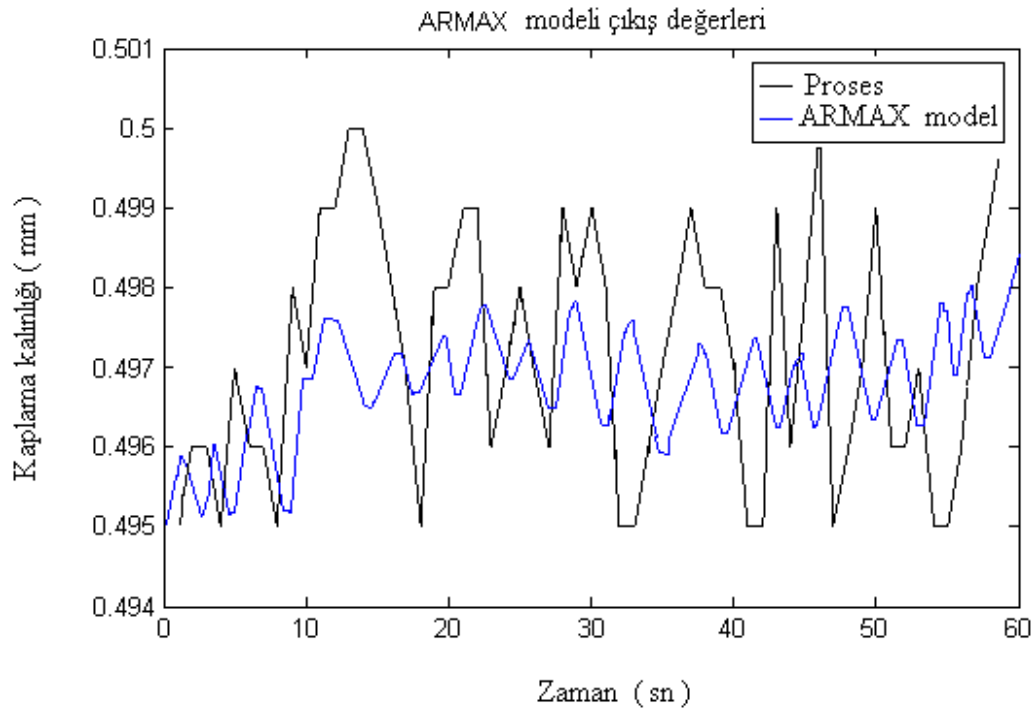
$$\mathbf{B}(q) = 0,3696 q^{-7} - 0,7445 q^{-8} - 1,944 q^{-9} \quad (5.49)$$

$$\mathbf{C}(q) = 1 - 3,052 q^{-3} + 0,09797 q^{-4} + 0,7414 q^{-5} \quad (5.50)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

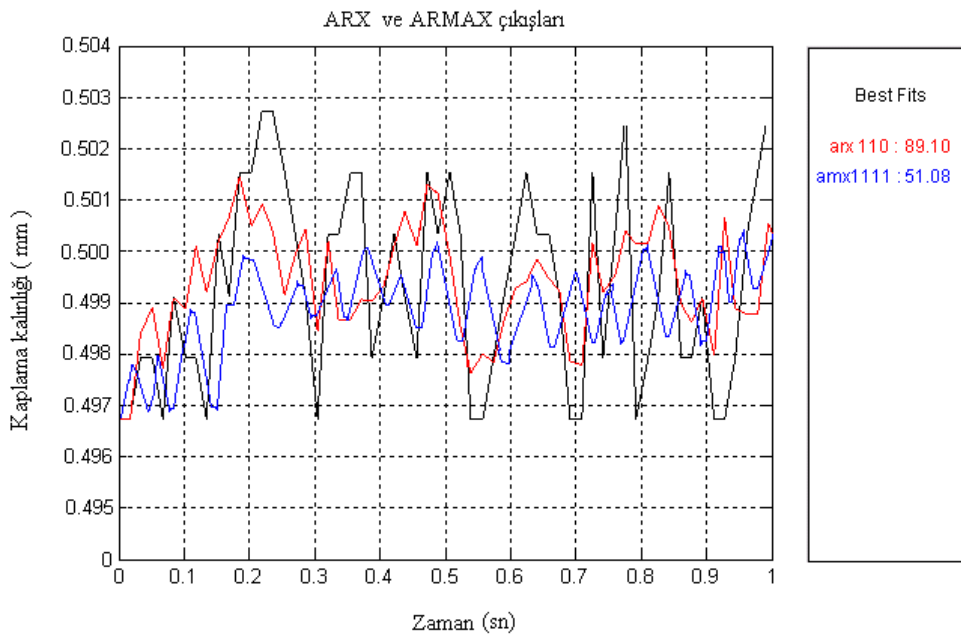
MPC kontrol modelinin içsel sistem modeli olan ARMAX modeli , sistemden alınan ve doğrusal olmayan verileri (5.48) ve (5.49) ve (5.50. eşitliği ile doğrusallaştırarak matematik model şekline dönüştürmüştür.

Doğrusal modelle çıkış değerinin , ne kadar gerçek çıkışlara yakın olduğu veya en uygun eğri oluşturabildiği Şekil 5.10 da anlatılmaya çalışılmıştır.



Şekil 5.10. ARMAX modeli çıkışları ve prosesden alınan kaplama kalınlığı değerleri

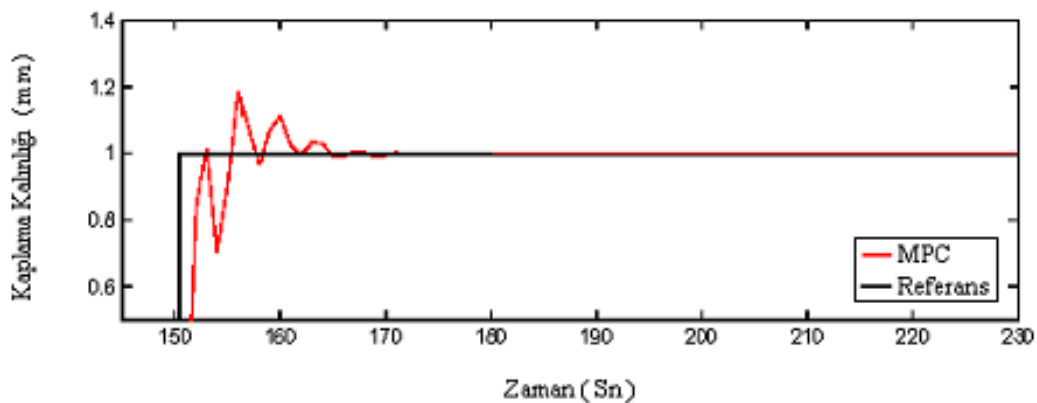
ARMAX ve ARX model çıkışları ve prosesden alınan gerçek veriler Şekil 5.11’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. ARMAX ve ARX model ile deney verileri arasında en fazla uyum % 89,10 oranla ARX model uyum sağlamıştır. ARMAX modelinin uyumu ise % 51.08 oranında kalmıştır.



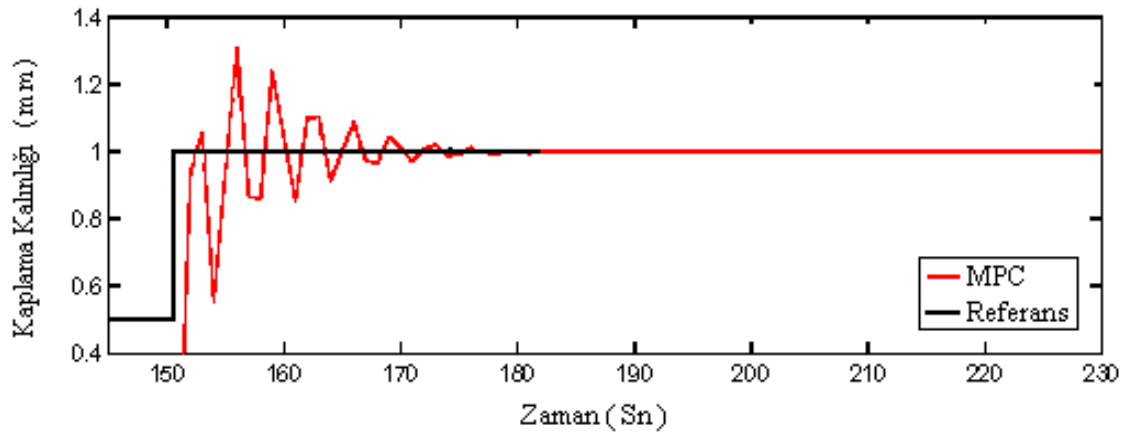
Şekil 5.11. ARX ve ARMAX modeli çıkışlarının en uygun değerlerinin karşılaştırılması

Polimer ekstrüzyonunun kontrolünde kullanılacak öngörü modeli prosese ait verilerin analizine dayanmaktadır. Prosesden elde edilen giriş ve çıkış verilerinin kullanılmasıyla polimer ekstrüzyonunun matematik modeli oluşturularak öngörü modeli elde edilmiştir. Öngörü modelini hazırlamak için doğrusal parametrik modellerin elde edilebildiği MATLAB System Identification Toolbox 2009.b kullanılmıştır. Kontrolöre ait parametrelerin değişik değerleri ile yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak verilen referansa en iyi uyum sağlayan sistem modeli olarak ARX modeli olmuştur. Çünkü ARMAX modelinin kaplama kalınlığı miktarının özellikle 0.500 mm değerine yaklaşım sağlayamadığı veya daha az yaklaşım sağladığı görülmüştür. Böylece kontrolör tasarımında kullanılmak üzere öngörü modeli olarak proses verilerine en fazla uyumun sağlandığı ARX Model seçilmiştir.

System identification toolbox 'da simülasyon parametrelerine (Tablo 5.2) göre oluşturulan ARX ve ARMAX sistem modelleri , MPC kontrolörüne tanıtıldıktan sonra yapılan kontrol simülasyonları Şekil 5.12 , 5.13 ve 5.14 de yer almaktadır. Sistem parametrelerinin çeşitli değerleri için yapılan bu kontrol sonuçları ile ARX modelin ARMAX modele göre tercih edilmesinin diğer bir sebebi ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.12. 'de görüldüğü gibi aynı parametre değerlerine sahip ARX ve ARMAX cevaplarından , ARX modelinin cevabı daha uygundur ve 164. saniyede kararlı duruma girmiştir.



a-) ARX modelde kaplama kalınlığı cevabı ($\Pi_a = 1$, $\Pi_b = 1$ ve $\Pi_k = 1$ ayrıca $N_2 = 10$, $N_u = 1$)

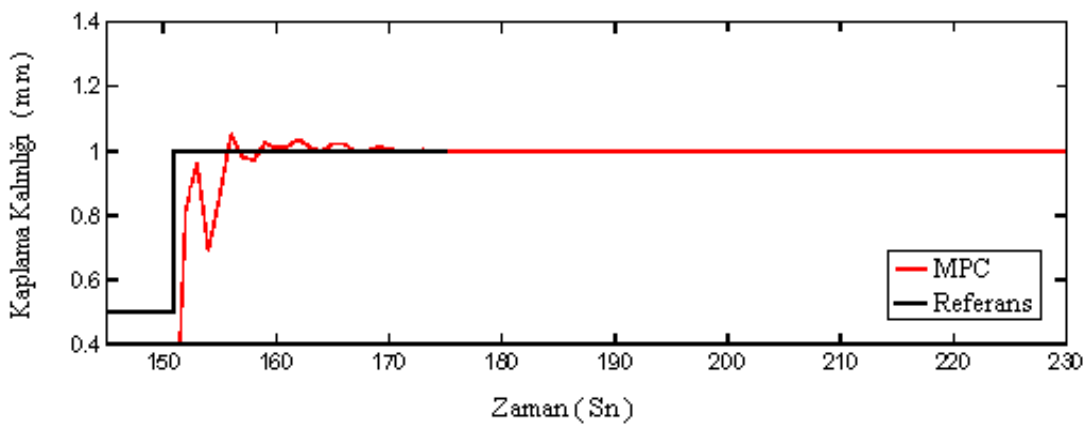


b-) ARMAX modelde kaplama kalınlığı cevabı ($\Pi_a = 1$, $\Pi_b = 1$ ve $\Pi_k = 1$ ayrıca $N_2 = 10$, $N_u = 1$)

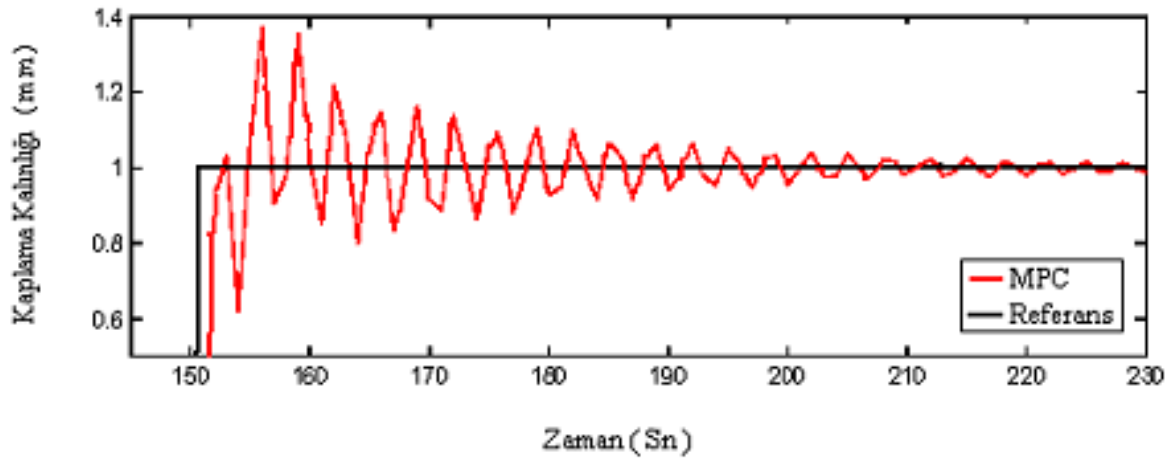
Şekil 5.12. ARX ve ARMAX modellerinin sistem cevapları

Buna karşılık ARMAX modelinin oturma zamanı 180. saniyedir. Öngörü ufku $N_2 = 10$, Kontrol ufku $N_u = 1$ olması halinde her iki modelin birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5.13 de yine ARX modelinin cevabı daha uygundur ve 171. saniyede kararlı duruma girmiştir. Buna karşılık ARMAX modelinin oturma zamanı azalma göstermesine rağmen kararlı durum görülmemiştir.



a-) ARX modelde kaplama kalınlığı cevabı ($\Pi_a = 2$, $\Pi_b = 2$ ve $\Pi_k = 1$ ayrıca $N_2 = 10$, $N_u = 2$)



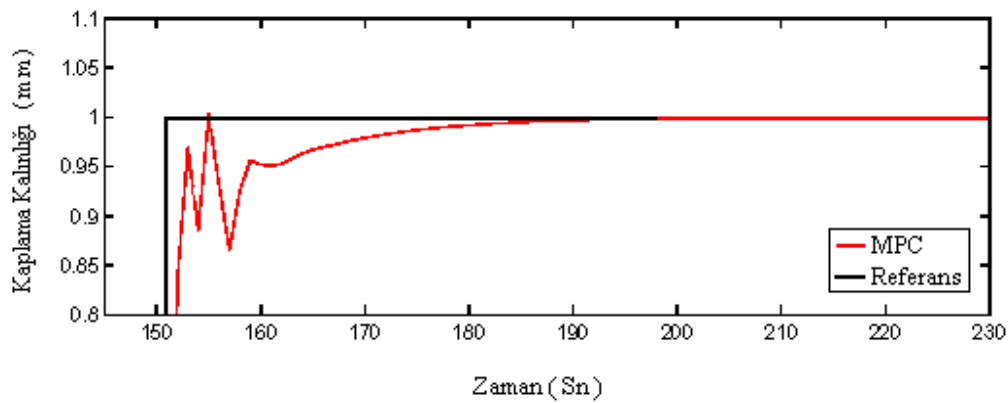
b-) ARMAX modelde kaplama kalınlığı cevabı ($\Pi_a = 2$, $\Pi_b = 2$ ve $\Pi_k = 1$ ayrıca $N_2 = 10$, $N_u = 2$)

Şekil 5.13. ARX ve ARMAX modellerinin sistem cevapları

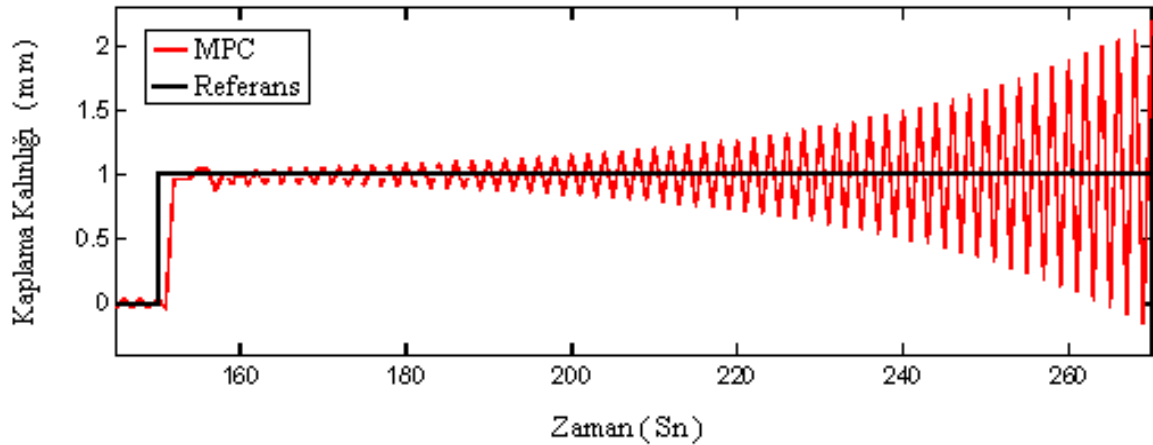
Bunun nedeni ise öngörü ufkunun değişmemesine ($N_2 = 10$) rağmen , Kontrol ufkunun artması ($N_u = 2$) olmuştur.

Şekil 5.14 de ise ARX modelinin cevabında öncekilere göre artan bir oturma zamanı oluşmaktadır. 187. saniyede kararlı duruma girmiştir.

Buna karşılık ARMAX modelinin tamamen kararsız ve salınıma geçtiği görülmektedir. Bunun nedeni ise , Kontrol ufkunun yine artması ($N_u = 3$) olmuştur.



a-) ARX modelde kaplama kalınlığı cevabı ($\Pi_a = 3$, $\Pi_b = 3$ ve $\Pi_k = 1$ ayrıca $N_2 = 10$, $N_u = 3$)



b-) ARMAX modelde kaplama kalınlığı cevabı ($n_a = 3$, $n_b = 3$ ve $n_k = 1$ ayrıca $N_2 = 10$, $N_u = 3$)

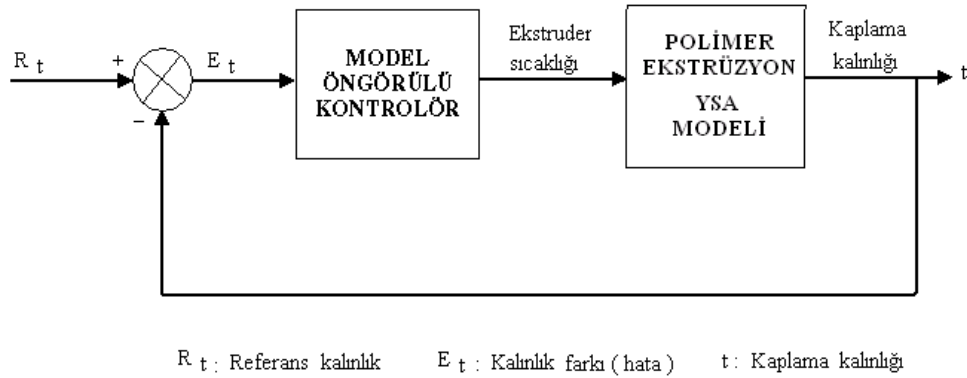
Şekil 5.14. ARX ve ARMAX modellerinin sistem cevapları

Böylece kontrol ufkundaki artış kontrolör performansını artırmakta ve çıkış büyüklüğünün alacağı değerlerin istenen referans değere daha çabuk ulaşmasını sağlamaktadır.

Ancak kontrol ufkunun gereğinden fazla artırılması hesapsal yükün artmasına sebep olur ve yüksek değerleri kontrol değişkeninde istenmeyen salınımlara neden olarak kontrol değişkeni ve kontrol büyüklüğünü denge durumundan uzaklaştırır.[31]

5.10. Polimer Ekstruderinde Model Öngörülü Kontrolör Tasarımı

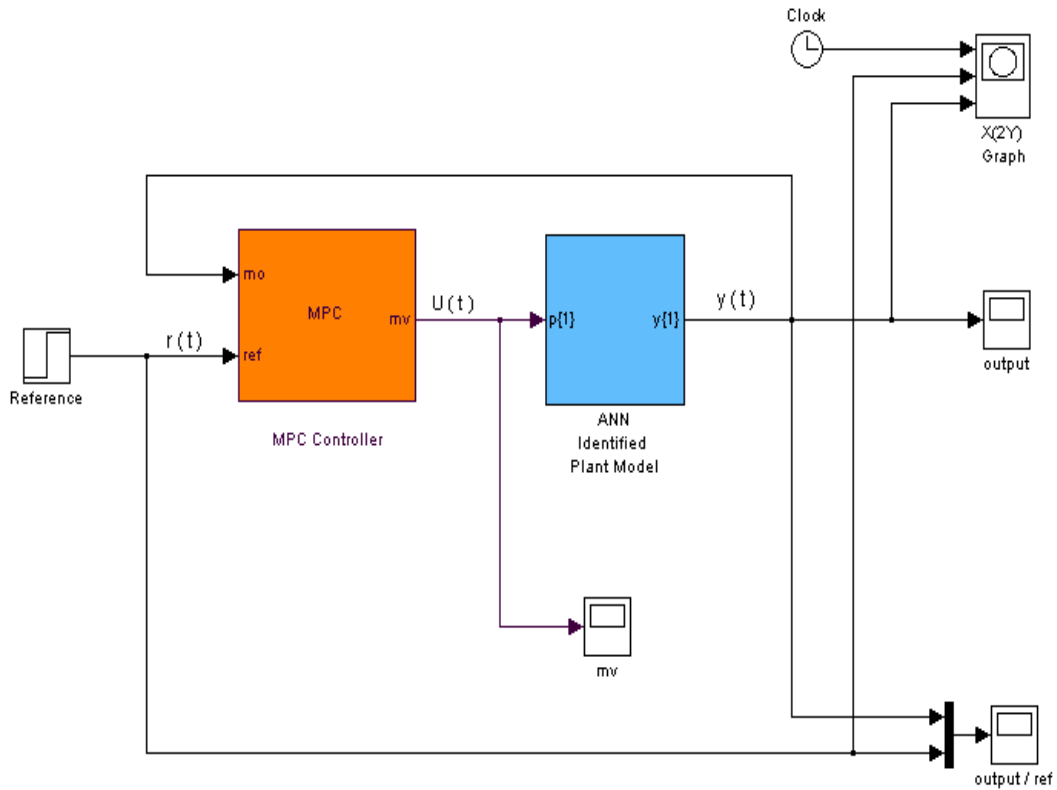
Polimer ekstrüzyonunun kapalı çevrim kontrolünü özetleyen blok diyagramı Şekil 5.15. de gösterilmiştir. Sistem yerine YSA modelinden alınan kalınlık değerine göre MPC kontrolörü , sıcaklık kontrol büyüklüğünü üretmekte ve tekrar YSA modeline göndermektedir. YSA modelinden gelen çıkış değerini referans değeri ile karşılaştırıp bünyesinde optimize eden MPC kontrolörü minimum hata ile sistemi kontrol etmeye çalışmaktadır.



Şekil 5.15. Polimer ekstrüzyonunun kapalı çevrim kontrolüne ait blok diyagramı

Öngörülü kontrolöre ait simülasyon modelinin oluşturulmasında Matlab 2009.b programı simulink altında çalışan Model Predictive Control Toolbox (Model Öngörülü Kontrol Araç kutusu) kullanılmıştır.

Model öngörülü kontrol için simulink’de hazırlanan simülasyon modeli Şekil 5.16’da görülmektedir.

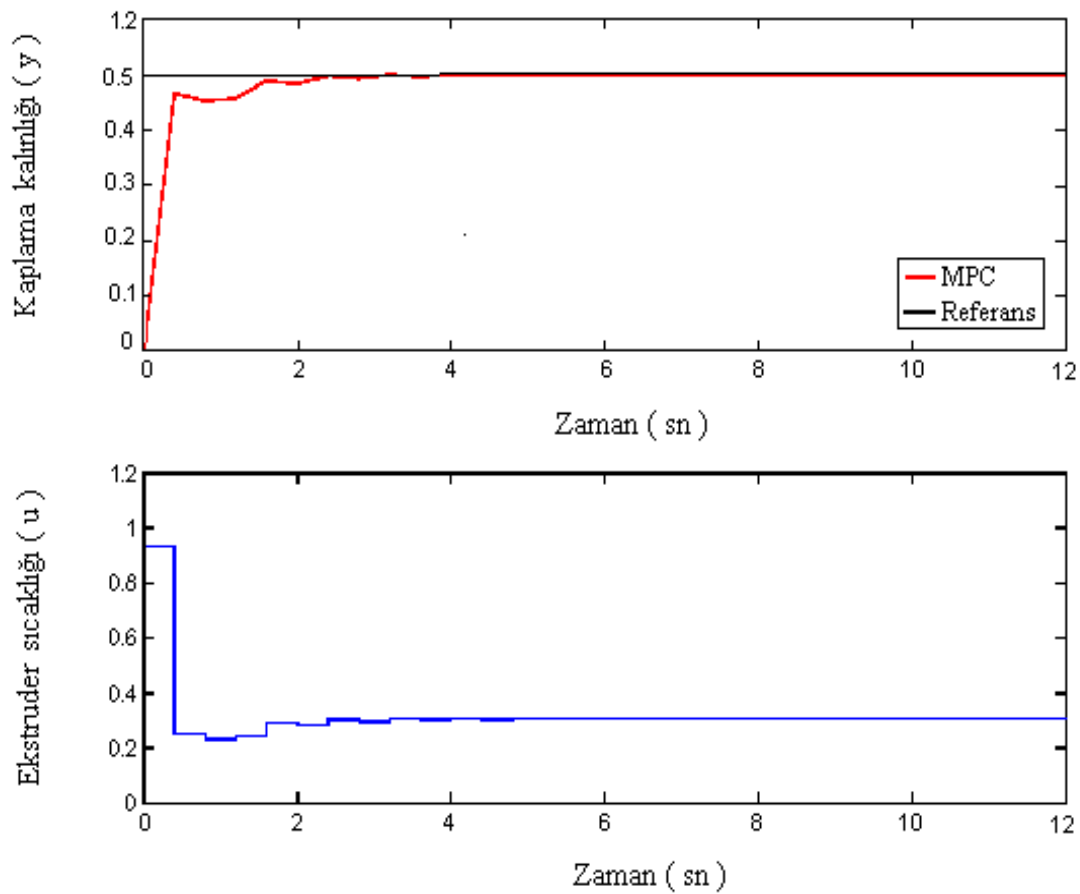


Şekil 5.16. Tel kaplama kalınlığının kontrolü için kullanılan MPC simulink modeli

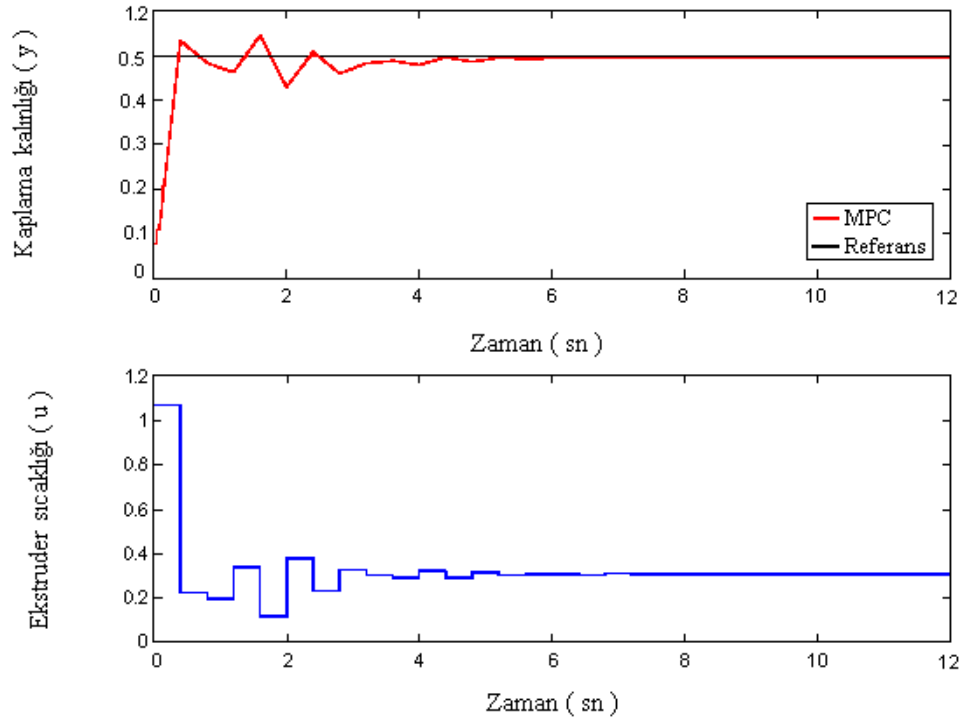
5.10.1. Öngörü ufku ve kontrol ufku

Tel kaplama prosesinin kapalı çevrim kontrolünde MPC Kontrolörüne ait parametrelerin kullanılan değerleri şunlardır ; öngörü ufku $N_2=10$ seçilmiş , kontrol ufkuları ise sırayla $N_u=1, 2, 3$ değerleri kullanılmış , örnekleme zamanı ise $T_s=0.001$ olarak alınmıştır.

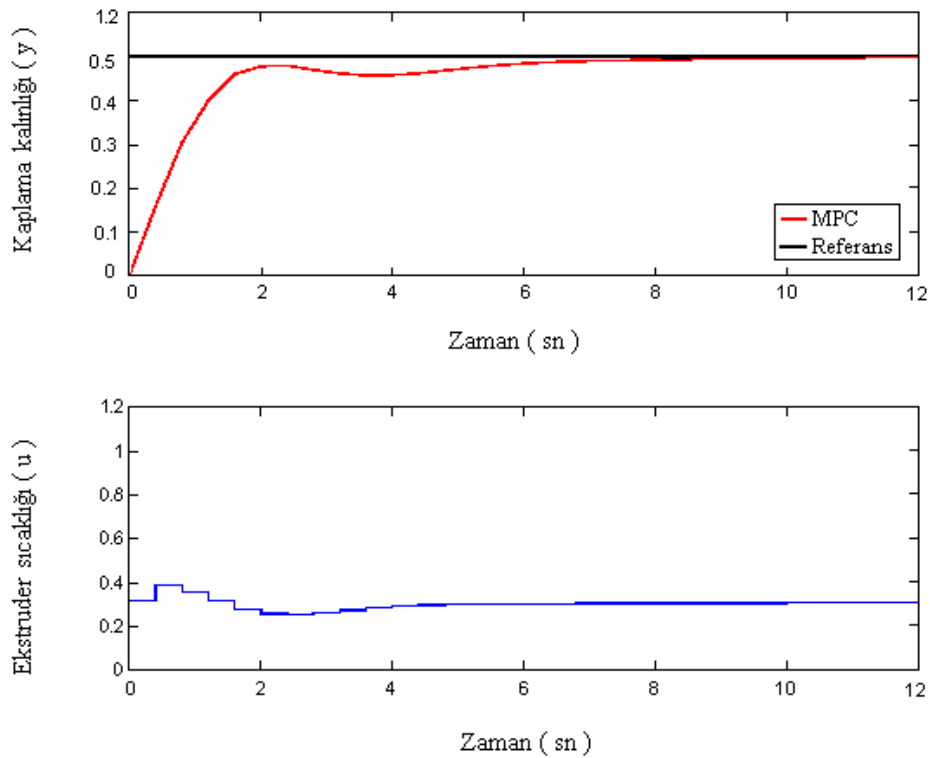
Kontrolör parametrelerinden öngörü ufkunun $N_2=10$ ve kontrol ufkunun $N_u=1, 2, 3$ değerleri kullanılarak Şekil 5.16'da görülmekte olan simülasyon modelinin çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar Şekil 5.17 'de gösterilmiştir.



a - MPC kontrolörünün kalınlık çıkış cevabı ve sıcaklık giriş değerleri ($N_2 = 10$, $N_u = 1$)



b- MPC kontrolörünün kalınlık çıkış cevabı ve sıcaklık giriş değerleri ($N_2 = 10$, $N_u = 2$)



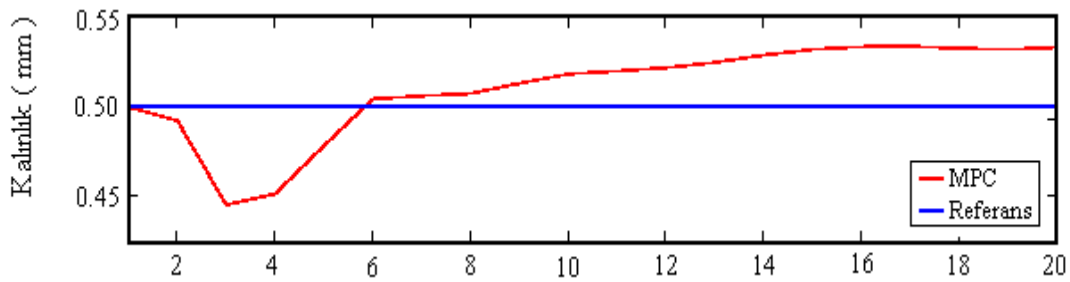
c - MPC kontrolörünün kalınlık çıkış cevabı ve sıcaklık giriş değerleri ($N_2 = 10$, $N_u = 3$)

Şekil 5.17. MPC kontrolörünün çıkış cevabı ve giriş değerleri ($N_2 = 10$, $N_u = 1, 2, 3$)

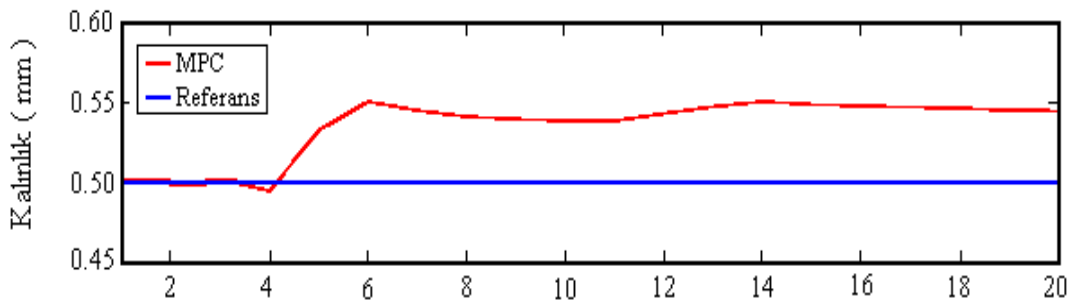
Şekil 5.17 a-b-c incelendiğinde gerçekleştirilen simülasyonlarda kontrol ufkunun artırılmasıyla yükselme zamanının düştüğü görülmektedir. Böylece kontrol ufkundaki artış kontrolör performansını artırmakta ve çıkış y'nin alacağı değerlerin istenen referans değere daha çabuk ulaşmasını sağlamaktadır.

Ancak kontrol ufkunun gereğinden fazla artırılması hesapsal yükün artmasına sebep olur ve yüksek değerleri kontrol değişkeninde istenmeyen salınımlara neden olarak kontrol değişkeni ve kontrol büyüklüğünü denge durumundan uzaklaştırır.[32]

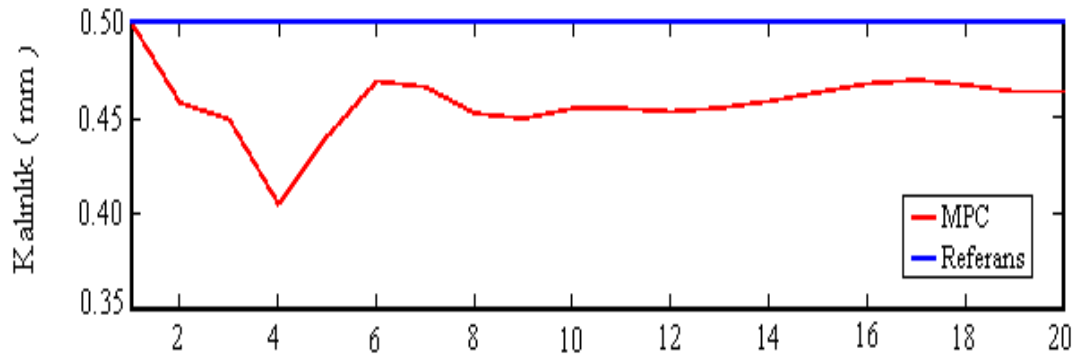
Öngörü ufkunun artırılmasıyla kontrolör performansı artmaktadır. Ancak öngörü ufkunun gereğinden fazla artırılması kalınlık parametre değerinin referans değerinden uzaklaşmasına neden olur. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.18 'de gösterilmiştir.[33]



a- MPC kalınlık cevabı ($N_2 = 20$)



b- MPC kalınlık cevabı ($N_2 = 30$)

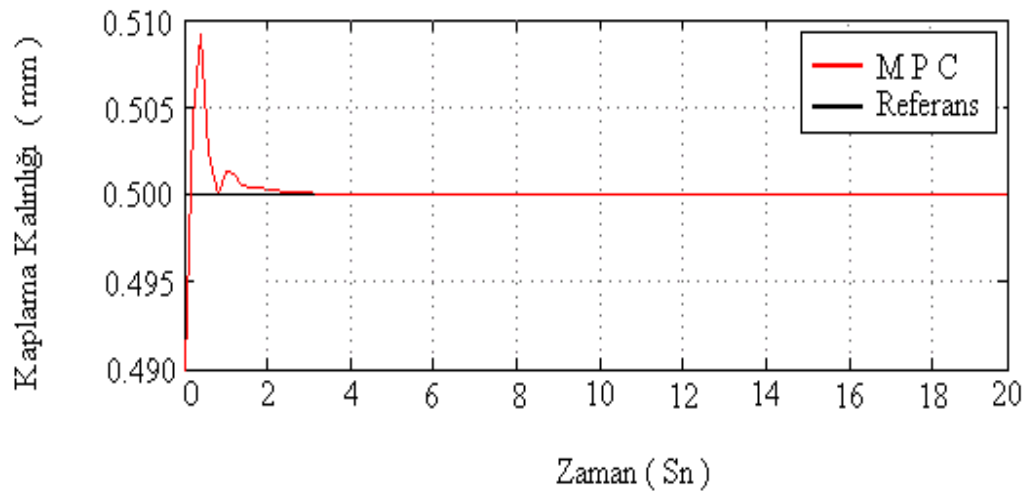


c- MPC kalınlık cevabı ($N_2 = 40$)

Şekil 5.18. Öngörü ufkunun miktarına göre kalınlık değerinin değişimi

5.10.2. MPC kontrolörünün sabit referans altında çalıştırılması

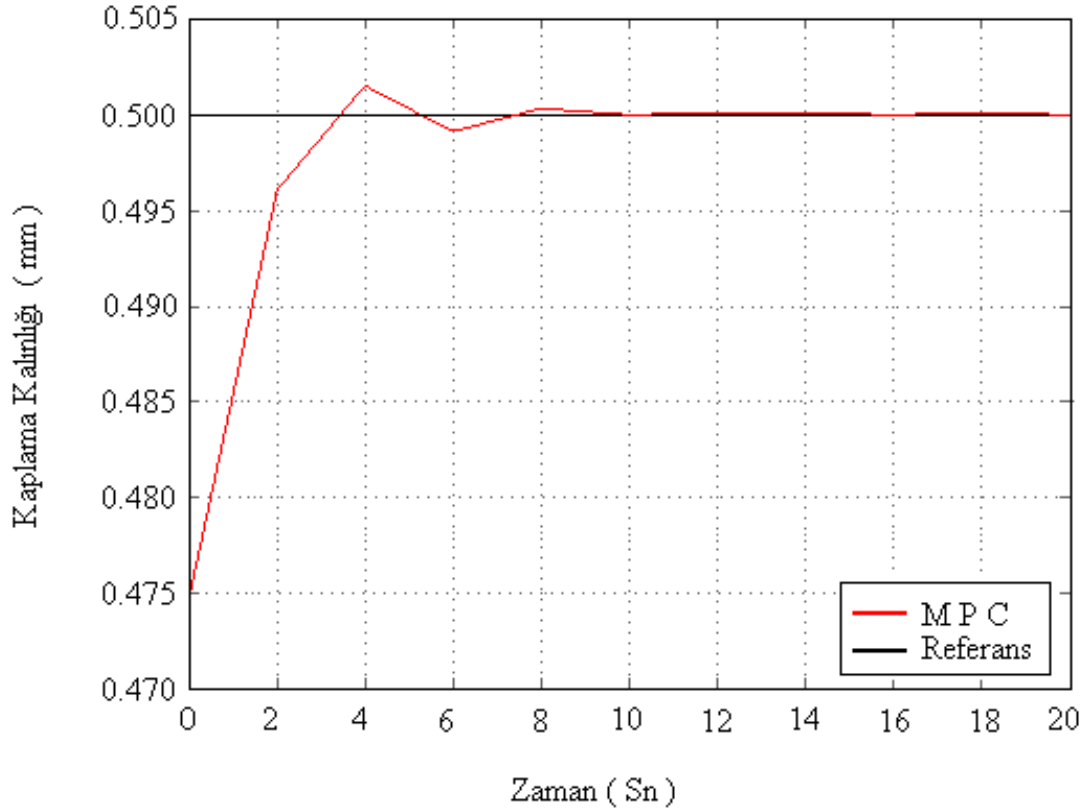
Kontrolörün sabit referanslar altında testi için yapılan simülasyonda 20 saniyelik çalışma süresinde kaplama kalınlığı referansı 0.500 mm, olarak seçilmiştir. Bu referanslara ait sistemin cevabı Şekil 5.19 da sunulmuştur.



Şekil 5.19. Kaplama kalınlığı için MPC kontrolörünün cevabı (ref : 0.500 mm)

Şekil 5.19 daki grafik incelendiğinde sistemdeki kaplama kalınlığının istenen 0.500 mm referansına ise % 4 lük bir aşımından sonra % 1 lik bir hata ile 3. saniyede

oturduğu görülmektedir. Kontrolörün sabit referanslar altında testi için yapılan diğer bir simülasyonda 20 saniyelik çalışma süresinde kaplama kalınlığı referansı 0.500 mm, olarak seçilmiştir. Bu referanslara ait sistemin cevabı Şekil 5.20 de sunulmuştur.

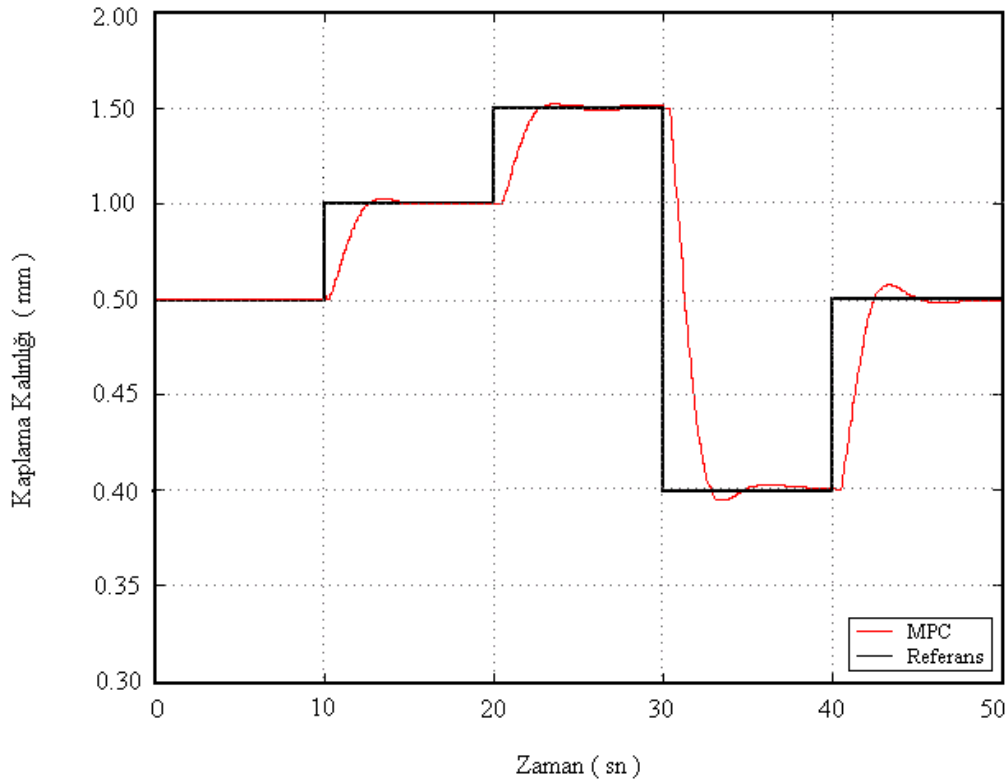


Şekil 5.20. Kaplama kalınlığı için MPC kontrolörünün cevabı (ref : 0.500 mm)

Şekil 5.20 deki grafik incelendiğinde kaplama kalınlığı 0.5 mm' lik referansa % 2'lik kalıcı hal hatası ile 9. saniyede yerleştiği görülmektedir.

5.10.3. MPC kontrolörünün değişken referans altında çalıştırılması

Kontrolörün değişken referanslar altında testi için yapılan simülasyonda 50 saniyelik çalışma süresinde kaplama kalınlığı referansı ilk 10 saniye için 0.50 mm , sonraki 20 saniye için 1 mm , daha sonraki olarak 30 saniye için 1.5 mm ve sonraki 40 saniye için 0.40 mm , en son olarak 50 saniyeye kadar olan referans değeri olarak yine 0.50 mm olarak seçilmiştir. Bu referanslara ait sistemin cevabı Şekil 5.21 de sunulmuştur.



Şekil 5.21. Değişken referans altında MPC kontrolörünün cevabı
(ref = 0.500mm – 1mm - 1.5mm - 0.400 mm)

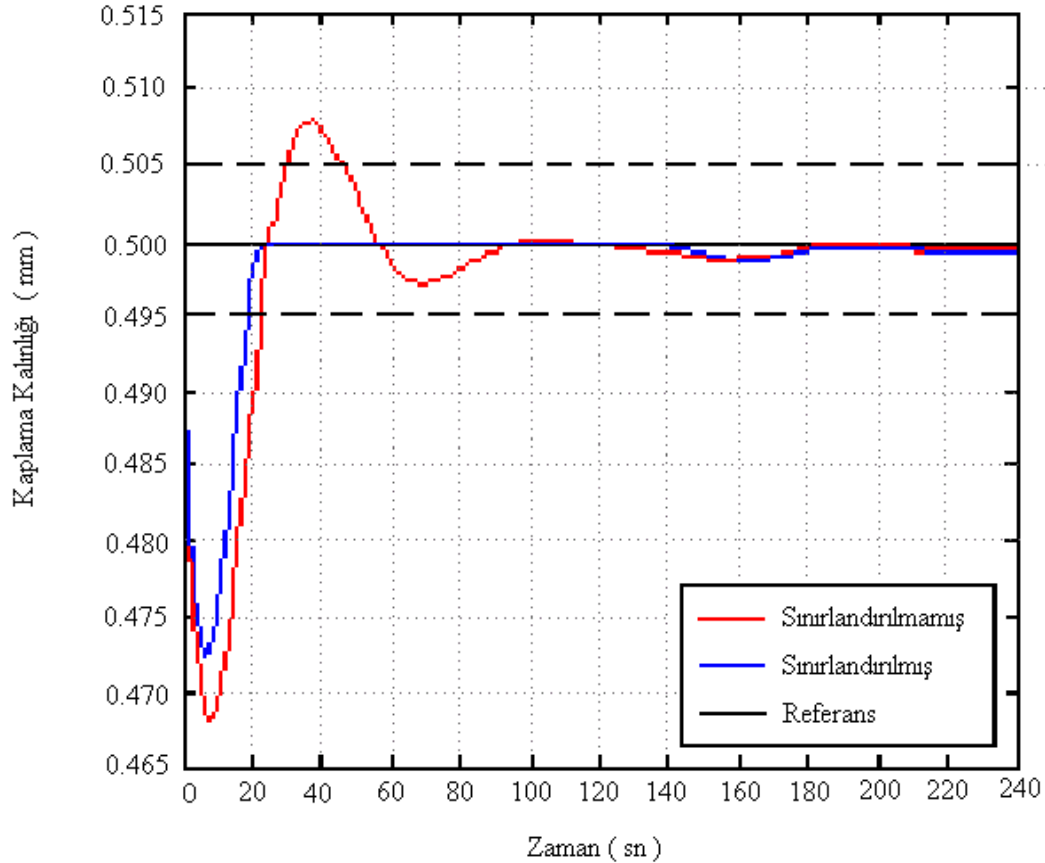
Şekil 5.21 deki grafik incelendiğinde sistemdeki kaplama kalınlığının istenen 1 mm referansına % 1 lik bir aşımından sonra % 1 lik bir hata ile 14. saniyede , 1.5 mm referansına % 1 lik bir aşımından sonra % 1 lik bir hata ile 25 . saniyede , 0.40 mm referansına % 2 lik bir aşımından sonra % 1.5 luk bir hata ile 35. saniyede ve en son olarak 0.50 mm referansına ise % 2.5 lik bir aşımından sonra % 2 lik bir hata ile 45. saniyede oturduğu görülmektedir.

5.10.4. MPC kontrolörünün sınırlandırmalar altında çalıştırılması

Öngörülü kontrolörün değişik referanslar altında çalıştırılmasında, sistemdeki kısıtlamaların tanımlandığı ve tanımlanmadığı durumlar için simülasyonlar yapılmıştır. Tel kaplama sistemi için kısıtlamalar belirlenmiştir. İlk olarak kontrol sinyallerinin uygulandığı DC motor ve ekstruder sıcaklığının maksimum ve minimum değerleri (0-10 V tekabül eden) 147-176 °C arası giriş kısıtlaması olarak sınırlandırılmış ve sistemde kısıtlama olarak tanımlanmıştır. Kısıtlamanın sistem

girişine yapılmasının sebebi , kaplama malzemesinin (PVC nin) aşırı ısı değerine ulaştığında erimesi ve tele yapışmamasıdır.Dolayısıyla telin kaplama içinde kayma sorunu ortaya çıkar. Netice olarak telin merkezde çıkması imkansızlaşır. Bu sebeple girişte verilen kısıtlama , çıkış değeri olarak kaplama kalınlığının kontrolü ile gerçekleşmiştir.(Şekil 5.22)

Ayrıca tel kaplama kalınlığının da endüstrideki kabul sınır değerleri $+ 0.05\text{mm}$, $- 0.05\text{mm}$ olduğu dikkate alınırsa kalınlık değerinde maksimum 0.505 mm ile minimum 0.495 mm arasında sınırlandırılarak simülasyonda tanımlanması mümkündür. Simülasyonda 240 saniye çalışma süresinde 0.500 mm referans değeri kullanılmıştır. Bu değişkenlere ait grafik Şekil 5.22’de görülmektedir.



Şekil 5.22. Sınırlandırılmış ve sınırlandırılmamış MPC kontrolör cevabı

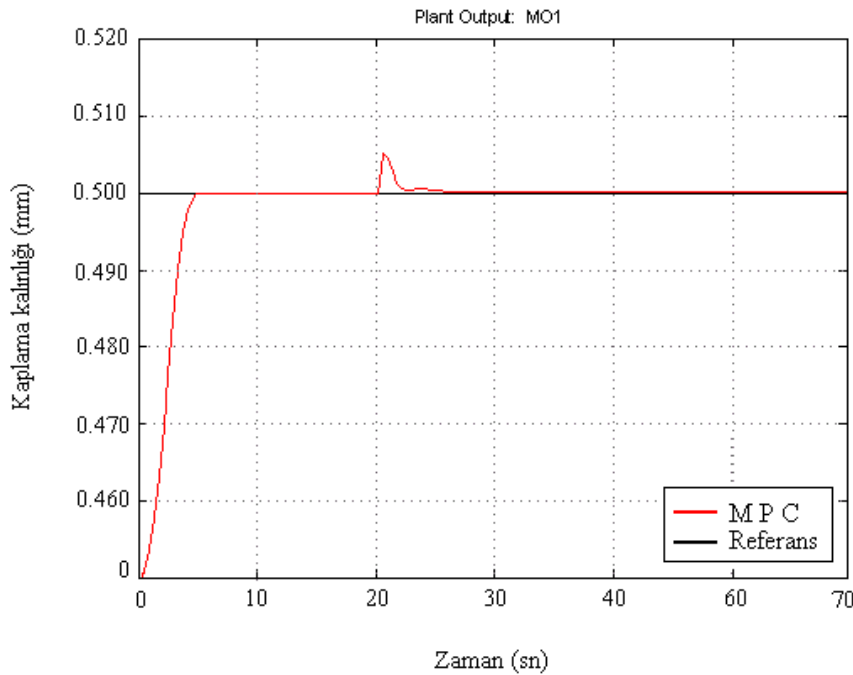
Şekil 5.22. deki grafik incelendiğinde sınırlandırılmamış kaplama kalınlığının istenen 0.500 mm referansa % 6 lık bir aşımından sonra % 1,8 lik bir hata ile 180 . saniyede

oturmasına karşılık , sınırlandırılmış halde 0.500 mm referansa % 1 lik bir aşımından sonra % 1 lik bir hata ile 180 . saniyede oturduğu görülmektedir.

Öngörülü kontrolün uygulanacağı, tek giriş ve tek çıkıştan oluşan (Single Input- Single Output- SISO) Tel kaplama sisteminin amacı ; sistemdeki kaplanacak olan çıplak metal telin üzerine (etrafına) ekstruderden gelen plastik kaplanırken , eşit kalınlıkta kaplanmasını kontrol etmektir.Yani kaplama kalınlığının tel çevresi boyunca eşit olmasını kontrol etmektir. Bir başka deyişle telin, kaplama dairesinin merkezinde olmasını sağlamaktır. Sistem kısıtlamaların çok olduğu bir yapıdadır. Bu da sistemin kontrolünün, klasik çok değişkenli kontrol algoritmaları ile yapılabilmesini güçleştirmektedir.[34]

5.10.5. MPC kontrolörünün bozucu etkiler altında çalıştırılması

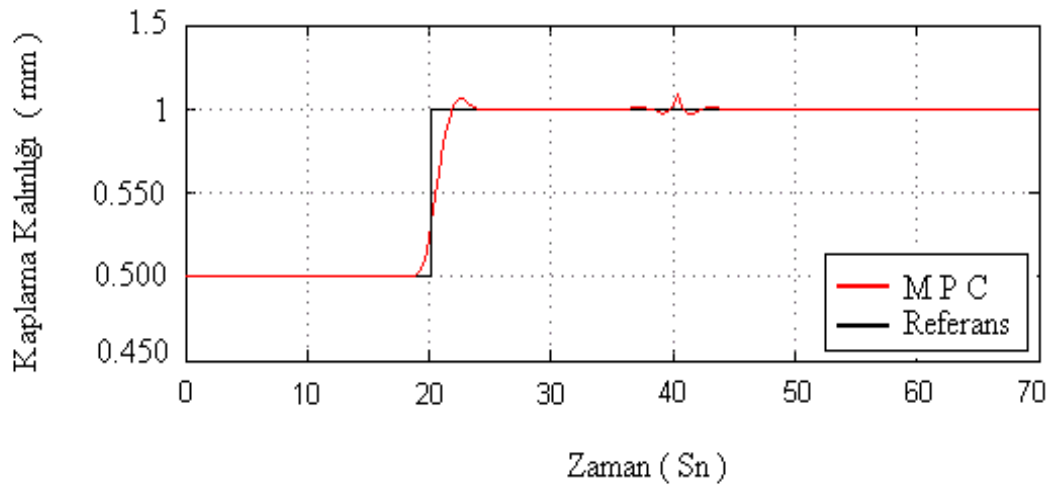
Öngörülü kontrolörün bozucu etkiler karşısındaki davranışını izleyebilmek amacıyla ekstruder üzerinde, bulunan barel ısıtıcılardan biri elle kapatılarak bozucu ithali gerçekleştirilmiş. Yapılan simülasyonda sistemdeki kalınlık referansı 0.500 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 5.23. MPC kontrolörü altında sistemin bozucu etkiye karşı cevabı (referans : 0.500 mm)

Kaplama kalınlığı referans değere 3 saniyede yerleştikten sonra, 21. saniyede barel ısıtıcı kapatılmıştır. Bu deneyle ilgili grafikler Şekil 5.23 de sunulmuştur. Şekil 5.23 incelendiğinde, kaplama kalınlığının referans değerine 0.006 mm bir aşımından sonra yaklaşık 6 saniyede de tekrar yerleştiği gözlenmiştir.

Yapılan diğer bir simülasyonda ise sistemdeki kalınlık referansı 0.500 mm ve 1 mm olarak seçilmiştir. Kaplama kalınlığı 0.500 mm lik referans değerinden 1 mm lik referans değerine 23. saniyede yerleştikten sonra, bozucu için 38 . saniyede barel ısıtıcı kapatılmıştır.(Şekil 5.24)



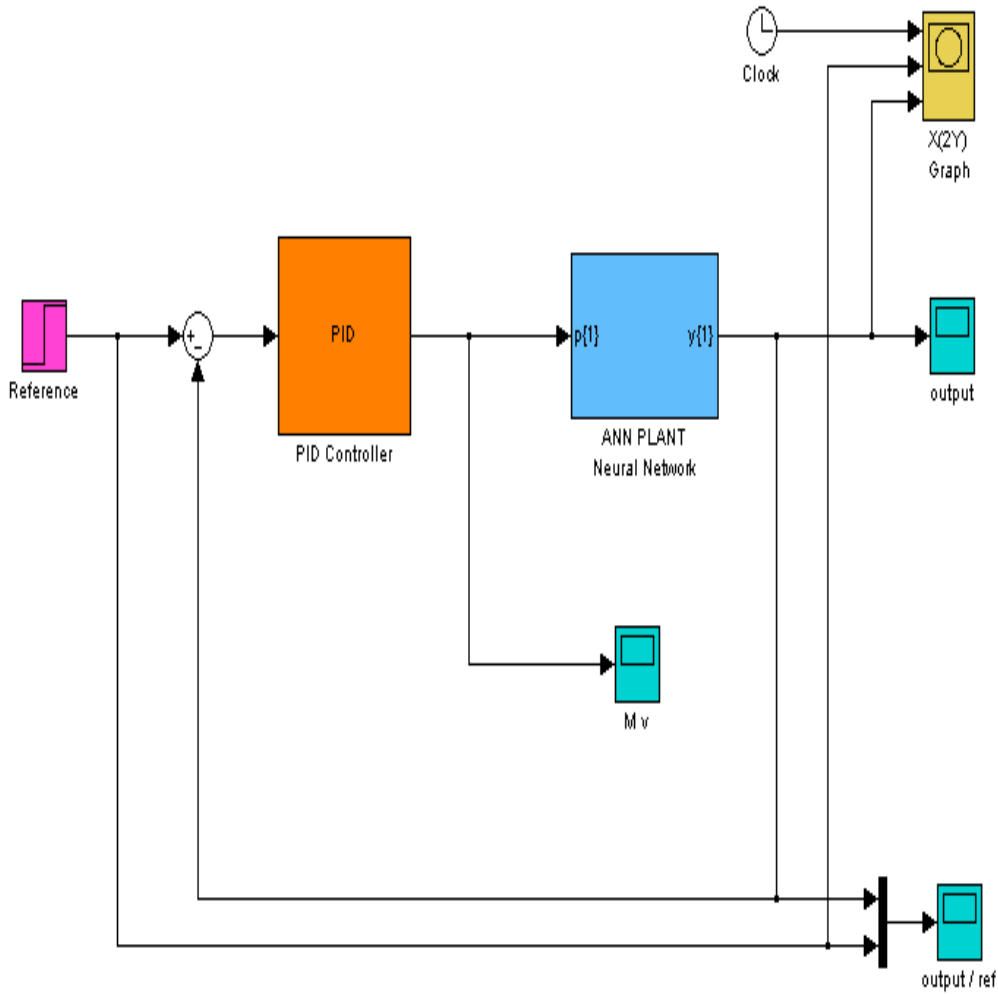
Şekil 5.24. MPC kontrolörü değişken referans altında sistemin bozucu etkiye karşı cevabı(referans : 0.500 mm ve 1.5 mm)

Şekil 5.24 incelendiğinde, kontrolör cevabı olarak kaplama kalınlığının 38 . saniyeden itibaren referans değerine 0.002 mm bir aşımından sonra yaklaşık 4 saniyede tekrar yerleştiği gözlenmiştir.

5.11. Polimer Ekstruderinde PID Kontrolör Tasarımı

Tel kaplama kalınlığını PID kontrolörü ile kontrol etmek için önce Matlab- simulink programında modellenmesi ve m-file dosyasının elde edilmesi gereklidir. Daha sonar bu modelin simülasyonunun çalıştırılması için en evvel blokların tanımlanması ve parametrelerin girilmesi zorunludur.

Kaplama kalınlığının PID simulink modelinde yine Matlab R 2009.b ortamında simulink extras toolbox'ı kullanılarak çalışılmıştır. Burada YSA modelinden alınan veriler, kontrolöre gönderilerek giriş ve çıkış arasındaki hata optimuma indirilmeye çalışılmıştır.(Şekil 5.25)

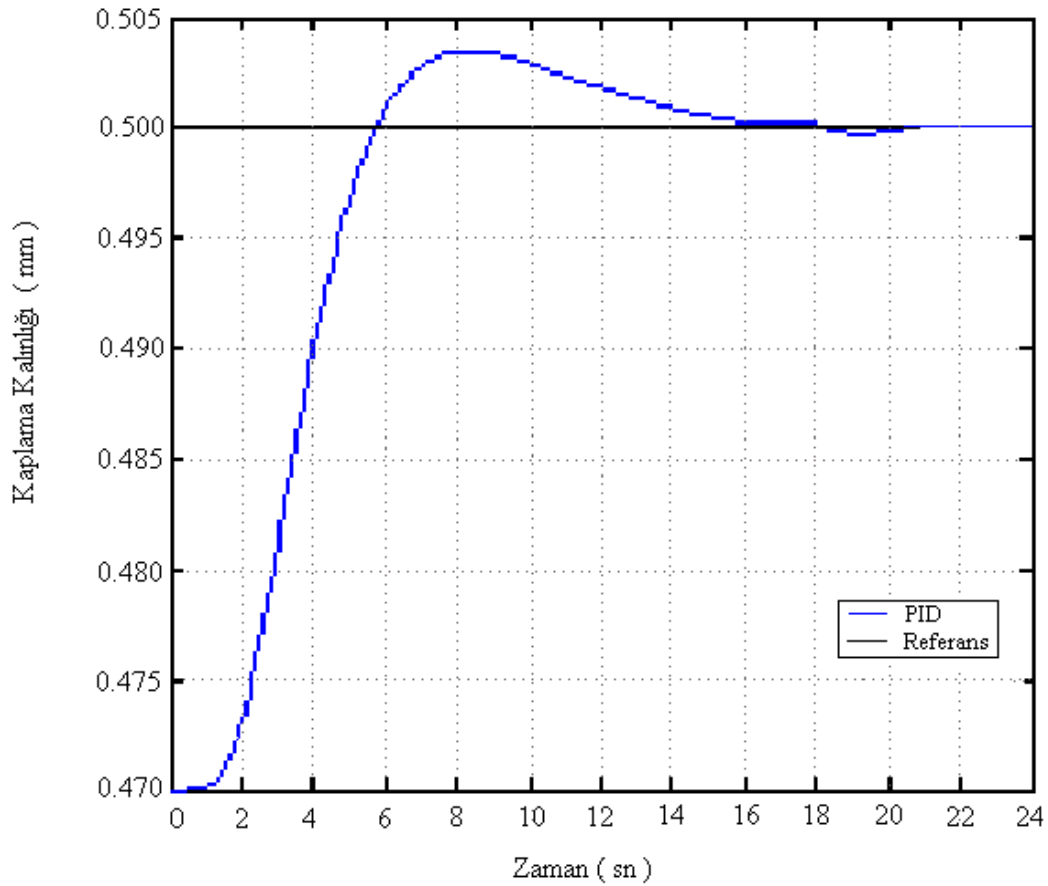


Şekil 5.25. Tel kaplama kalınlığının kontrolü için kullanılan PID simulink modeli

Şekil 5.25. deki simulink modeline göre ysa sistem modelinden gelen çıkış değeri , PID kontrolörüne girmeden önce toplama elemanı tarafından referans değeri ile hata hesabına tabi tutulur. Hata değerine göre işlem yapan kontrolör , tekrar sisteme aktivasyon değerini gönderir. Böylece minimum hata değeri bulununcaya kadar kontrolör feedback çevrimi ile en uygun kalınlık değerini bulmaya dolayısıyla kontrol etmeye çalışır.

5.11.1. PID kontrolörünün sabit referans altında çalıştırılması

Şekil 5.25. deki PID simulink modelinde , PID parametreleri olarak $K_p = 0,0144$, $K_I = 0.1175$ ve $K_d = 0.36252$ katsayıları deneme yöntemi ile seçilerek kullanılmıştır. Kontrolörün sabit referanslar altında testi için yapılan simülasyonda 24 saniyelik çalışma süresinde kaplama kalınlığı referansı 0.500 mm olarak seçilmiştir. Bu referanslara ait sistemin cevabı Şekil 5.26 da sunulmuştur.



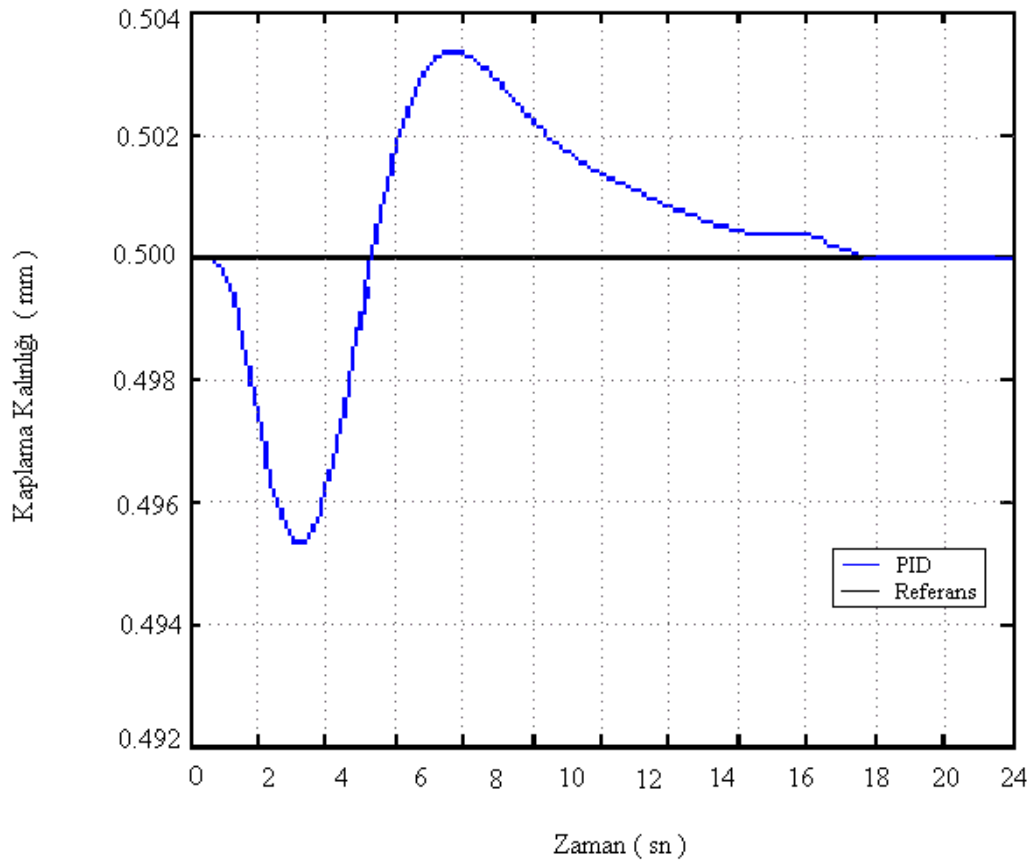
Şekil 5.26. Kaplama kalınlığı için PID kontrolörünün cevabı (ref : 0.500 mm)

Şekil 5.26 daki grafik incelendiğinde sistemdeki kaplama kalınlığının istenen referansa , % 3 lük bir aşımından sonra % 2 lik bir hata ile 20 . saniyede oturduğu görülmektedir.

Kontrolörün sabit referanslar altında testi için yapılan diğer bir simülasyonda 24 saniyelik çalışma süresinde Kaplama kalınlığı referansı 0.500 mm olarak

seçilmiştir. Şekil 5.25 deki PID simulink modelinde , PID parametreleri olarak $K_P = 0.2848$, $K_I = 0.1175$ ve $K_d = 0.36252$ kullanılmıştır. Bu referanslara ait sistemin cevabı Şekil 5.27. de sunulmuştur.

Şekil 5.27. deki grafik incelendiğinde sistemdeki kaplama kalınlığının istenen referansa , % 5 lik bir aşımından sonra % 2 lik bir hata ile 18 . saniyede oturduğu görülmektedir.



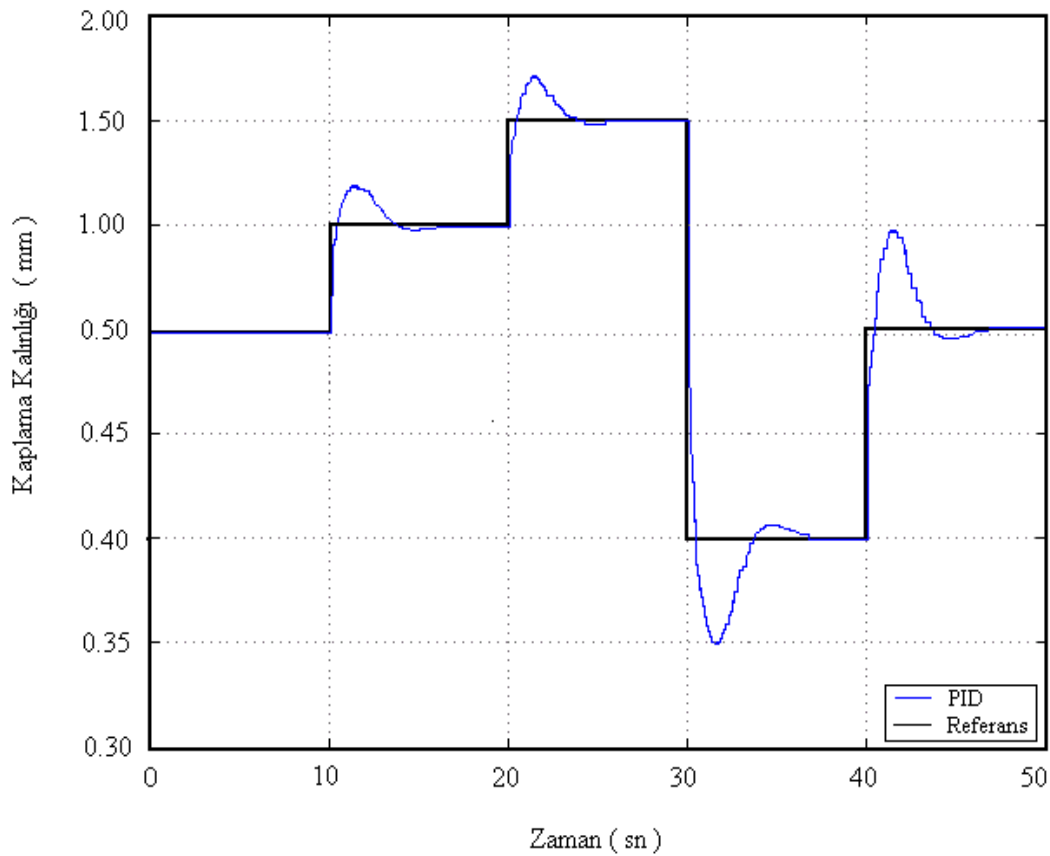
Şekil 5.27. Kaplama kalınlığı için PID kontrolörünün cevabı (ref : 0.500 mm)

5.11.2. PID Kontrolörünün değişken referans altında çalıştırılması

Kontrolörün değişken referanslar altında testi için yapılan simülasyonda 50 saniyelik çalışma süresinde kaplama kalınlığı referansı ilk 10 saniye için 0.50 mm , sonraki 20 saniye için 1 mm , daha sonraki olarak 30 saniye için 1.5 mm ve sonraki 40 saniye

için 0.40 mm , en son olarak 50 saniyeye kadar olan referans değeri olarak yine 0.50 mm olarak seçilmiştir.

PID kontrolör parametreleri $K_p = 0.2948$, $K_I = 0.1275$ ve $K_d = 0.3925$ katsayıları deneme yöntemi ile seçilerek kullanılmıştır. Bu referanslara ait sistemin cevabı Şekil 5.28 de sunulmuştur.

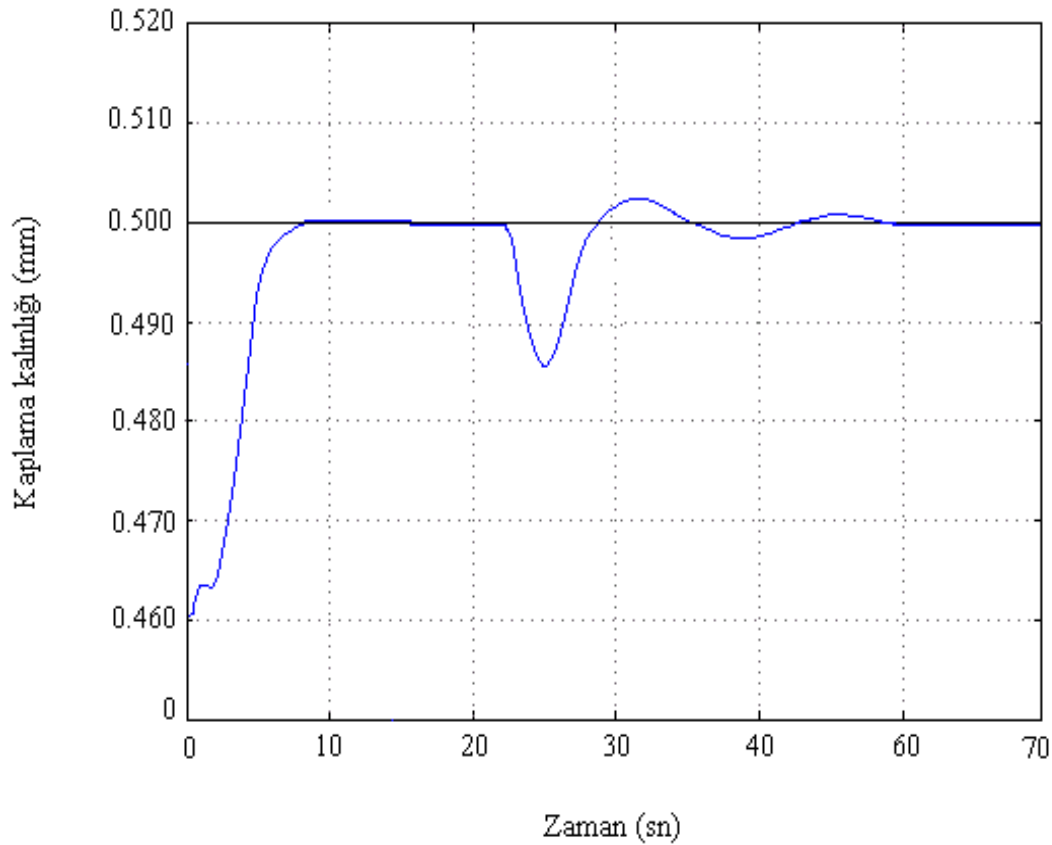


Şekil 5.28. Değişken referans altında PID cevabı (ref = 0.500mm – 1mm - 1.5mm - 0.400 mm)

Şekil 5.28 deki grafik incelendiğinde sistemdeki kaplama kalınlığının istenen 1 mm referansına % 2 lik bir aşımından sonra % 2.5 luk bir hata ile 17. saniyede , 1.5 mm referansına % 2 lik bir aşımından sonra % 2 lik bir hata ile 27 . saniyede , 0.40 mm referansına % 6 lık bir aşımından sonra % 6 lık bir hata ile 35. saniyede ve en son olarak 0.50 mm referansına ise %5 lik bir aşımından sonra % 5.8 lik bir hata ile 48. saniyede oturduğu görülmektedir.

5.11.3. PID kontrolörünün bozucu etkiler altında çalıştırılması

PID kontrolörün bozucu etkiler karşısındaki davranışını izleyebilmek amacıyla sistem ekstruderi üzerinde, bulunan barel ısıtıcı elle kapatılarak bozucu ithali gerçekleştirilmiştir. PID kontrolör parametreleri $K_P = 0.2848$, $K_I = 0.1175$ ve $K_d = 0.3625$ olarak alınmıştır. Yapılan simülasyonda sistemdeki kalınlık referansı 0.500 mm olarak seçilmiştir. Kaplama kalınlığı referans değere 9. saniyede yerleştikten sonra, 22. saniyede barel ısıtıcı kapatılmıştır. Bu deneyle ilgili grafik Şekil 5.29 da sunulmuştur.



Şekil 5.29. PID kontrolörü altında sistemin bozucu etkiye karşı cevabı (referans : 0.500 mm)

Şekil 5.29 incelendiğinde, kaplama kalınlığının referans değerine 0.014 mm bir aşımından sonra yaklaşık 59. saniyede tekrar yerleştiği gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasında yapılan simülasyon sonuçlarına göre MPC nin PID kontrolöre göre daha hızlı cevap verdiği ve performansının daha iyi olduğu görülmüştür. Kontrolörün değişken referans ve bozucu etkiler altında çalıştırıldığı

durumda da proses cevabının referansı kararlı bir şekilde oldukça yakından takip ettiği gözlenmiştir.

Tüm bu çalışmaların sonucunda % 5'in altında kalan hata oranının endüstride ve literatürde tel kaplama kalınlığının değişimi için kabul edilebilir değerler arasında kaldığı dikkate alınırsa geliştirilen model öngörülü kontrolörün güvenilir sonuçlar verdiği ve performansının iyi olduğu anlaşılmaktadır.[35]

Model öngörülü kontrolör , PID kontrolör ile karşılaştırıldığında PID kontrolörün de prosesi başarıyla kontrol ettiği görülmüştür. Ancak model öngörülü kontrolör , PID kontrolöre göre referansa daha hızlı cevap vermekte ve bozucu etkiler altında daha iyi olduğu görülmektedir.Model öngörülü kontrolöre uygulanabilen kısıtlamalar da göz önüne alındığında sonuç olarak bu proses için model öngörülü kontrolörün , PID kontrolöre göre daha iyi ve verimli olduğu anlaşılmıştır. [35]

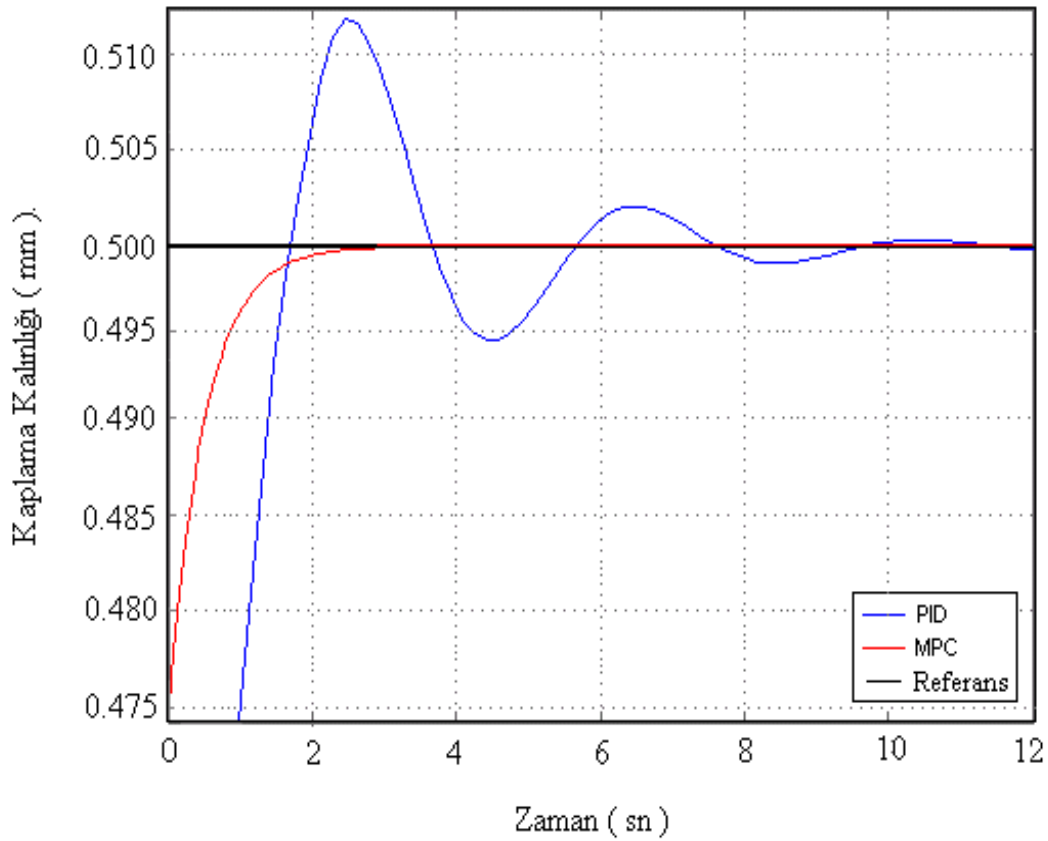
5.12. MPC ve PID Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Geliştirilen model öngörülü kontrolör ile karşılaştırmak amacıyla aynı proses için bir de PID kontrolör tasarlanmıştır. PID kontrol için simulink'de hazırlanan simülasyon modeli Şekil 6.4'de verilmiştir. Model öngörülü kontrolör ve PID kontrolör aynı şartlarda hem sabit referans hem de değişken referans altında çalıştırılmıştır.

Elde edilen kontrol büyüklüğü ve model çıktısı grafiklerinden de anlaşılabacağı üzere MPC Kontrol algoritması , PID kontrolöre göre hem oturma zamanı hem de aşım oranı gibi parametreler açısından daha iyi sonuç vermiştir.

5.12.1. Sabit referans altında çalıştırılması

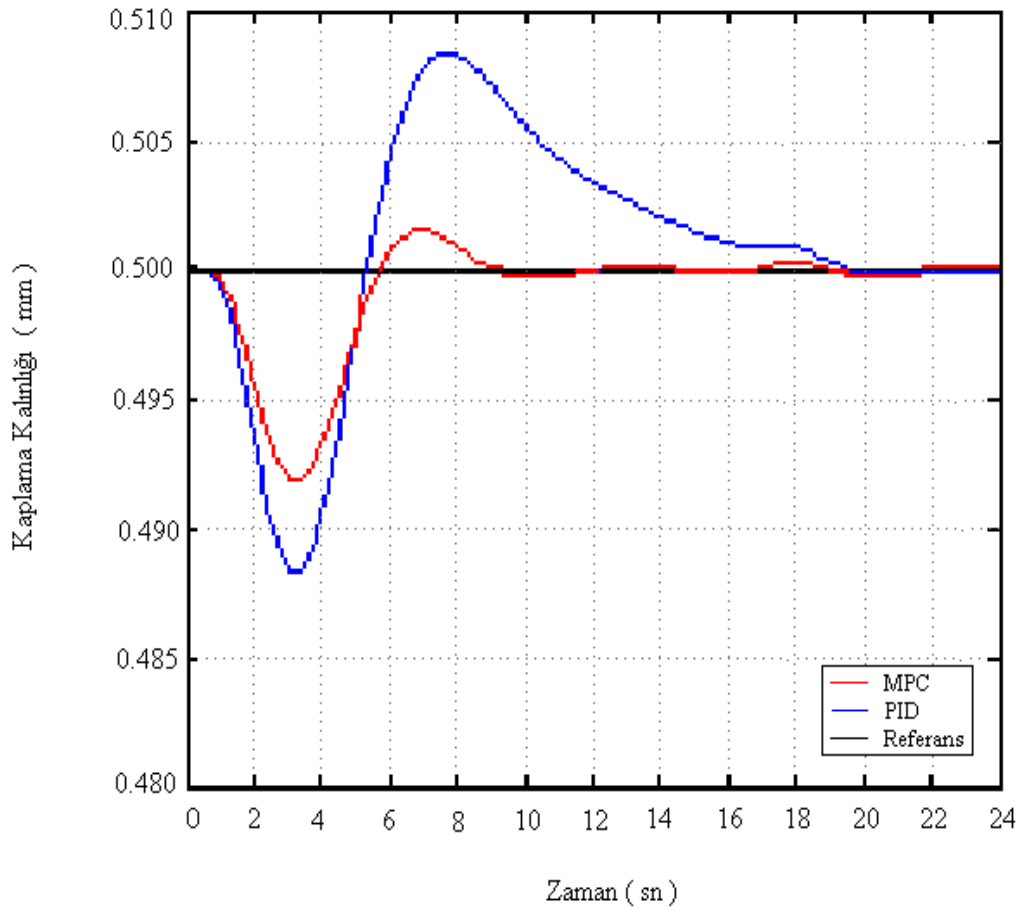
Sabit bir referans tel kaplama kalınlığı değeri verilerek , PID kontrolör ve (MPC) model öngörülü kontrolör çalıştırılmış ve Şekil 5.30 da karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.30. Sabit referans altında MPC ve PID cevaplarının karşılaştırılması (ref = 0.500mm)

Şekil 5.30. incelendiğinde model öngörülü kontrolör ile ilk 3. saniyede proses cevabı 0.500 mm değerini alırken PID kontrolör ile 0.512 mm değerine ulaşılmıştır. Model öngörülü kontrolör PID kontrolöre göre daha hızlı cevap vermiştir. Her iki kontrolör de kaplama kalınlığının verilen sabit referans değerine % 1'in altında hata ile yerleşmesini sağlamıştır.

Diğer bir simülasyonda ise yine sabit bir referans tel kaplama kalınlığı değeri verilerek , PID kontrolör ve MPC (model öngörülü kontrolör) çalıştırılmış ve Şekil 5.31'de karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir.

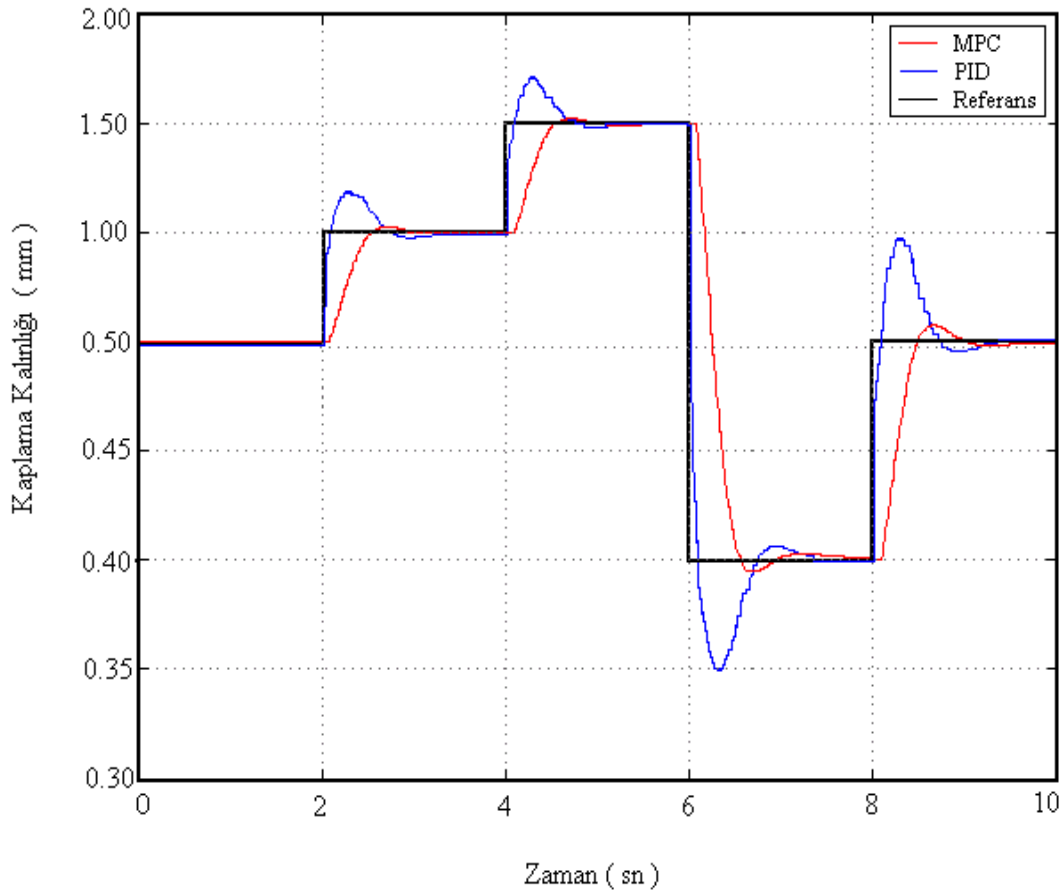


Şekil 5.31. Sabit referans altında MPC ve PID cevaplarının karşılaştırılması (ref = 0.500 mm)

Şekil 5.31 incelendiğinde model öngörülü kontrolör ile ilk 10. saniyede proses cevabı 0.500 mm değerini alırken PID kontrolör ile 0.508 mm değerine ulaşılmıştır. PID MPC den 10 saniye sonra 20. saniyede referansı yakalamıştır. Model öngörülü kontrolör PID kontrolöre göre daha hızlı cevap vermiştir. Her iki kontrolör de kaplama kalınlığının , verilen sabit referans değerine % 1 hata ile yerleşmesini sağlamıştır.

5.12.2. Değişken referans altında çalıştırılması

PID kontrolör ve Model Öngörülü Kontrolör basamak fonksiyonu olarak değişken referanslar altında çalıştırılmış ve karşılaştırmalı sonuçları Şekil 5.32 de gösterilmiştir. Basamak girişi referans verildiğinde her basamak 2 şer saniye aralıklı olmak üzere sırasıyla 0.500 mm , 1 mm , 1.5 mm , 0.400 mm seçilmiştir.



Şekil 5.32. Değişken referans altında MPC ve PID cevaplarının karşılaştırılması
(ref = 0.500mm – 1mm - 1.5mm - 0.400 mm)

Şekil 5.32 de görüldüğü üzere değişken referanslar altında çalıştırılan MÖK ve PID kontrole ait proses cevapları arasında belirgin bir fark bulunmamakla birlikte MPC'nin PID kontrolöre göre daha hızlı cevap verdiği görülmektedir. MPC yönteminde kalınlık değeri basamak referans değerine % 1'in altında kalıcı hata ile PID kontrol yönteminde ise % 1 civarında kalıcı hata ile yerleşmiştir.

MPC kontrolör ile PID kontrolör karşılaştırıldığında , PID kontrolörün de prosesi başarıyla kontrol ettiği görülmüştür. Ancak MPC kontrolörünün , PID kontrolörüne göre referansa daha hızlı cevap vermekte ve bozucu etkiler altında daha iyi performans sergilediği ortadadır. Model öngörülü kontrolöre uygulanabilen kısıtlamalar da göz önüne alındığında sonuç olarak bu proses için MPC kontrolörünün , PID kontrolörüne göre daha iyi ve verimli olduğu görülmüştür.

MPC' nin PID kontrolöre göre daha hızlı cevap verdiği ve performansının daha iyi olduğu kanaatine varılmıştır. Model öngörülü kontrolör , prosesden alınan referans değerleri altında çalıştırılmış ve proses cevabının referans değere kararlı bir şekilde yaklaştığı görülmüştür. Kontrolörün değişken referans ve bozucu etkiler altında çalıştırıldığı durumda da proses cevabının referansı kararlı bir şekilde oldukça yakından takip ettiği gözlenmiştir.

Tüm bu çalışmaların sonucunda % 5' in altında kalan hata oranının endüstride ve literatürde tel kaplama kalınlığının değişimi için kabul edilebilir değerler arasında kaldığı dikkate alınırsa geliştirilen model öngörülü kontrolörün güvenilir sonuçlar verdiği ve performansının iyi olduğu anlaşılmaktadır. Gerek endüstride gerekse literatürdeki yapılan çalışmalar, MPC kontrolörünün diğer konvansiyonel kontrolörlere ve PID kontrolörüne göre yeni bir kontrolör olduğunu gösteriyor . (Tablo 5.3) [36]

Tablo 5.3. MPC kontrolörü ile PID kontrolörünün karşılaştırılması

	Siso / Mimo	Bellek	Bozucular	Ölü Zaman	Hesaplama Zamanı	Kontrol Performansı	Mühendislik Performansı
MPC	siso ve mimo	Yüksek	Az etkileniyor	Çok az	Yüksek	çok iyi	İyi
PID	siso	Düşük	Fazla etkileniyor	Fazla	Düşük	iyi	Orta

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

Sonuç olarak model öngörülü kontrol (MPC) , tel kaplama ekstruderinin sıcaklığını istenilen kabul edilebilir sınırlar içinde kontrol etmektedir. PID kontrolörle karşılaştırıldığında, PID kontrolöründe , MPC gibi sistemi değişken referanslar altında sistemi başarıyla kontrol ettiği gözlenmektedir. Ancak kısıtlamalar göz önüne alındığında Model Öngörülü kontrolörün PID kontrolöre göre daha başarılı ve verimli çalıştığı görülmüştür. PID kontrol için ayar parametreleri çok fazla olup uygun değerlerin bulunması probleme bağlı olarak fazla zaman almaktadır. Bunun yanında kontrol cevabının alınması çok uzun sürmektedir.

MPC kontrolde ise kontrol ayar parametreleri az olduğundan kontrol edici tasarımı kolay olup sistemin yanıtı hızlıdır. öngörü zamanını arttırmak sistem çıktısı ve kontrol büyüklüğünde çok daha iyi sonuçlar alınmasını sağlar ancak bu durum matrislerin boyutlarını büyüttüğünden dolayı daha fazla işlem yapılmasını ve işlemlerin daha uzun sürmesine sebep olur.[37]

Tel kaplama kalınlığı problemine MPC kontrolörünün tasarlanmasının ardından aynı Probleme bir PID kontrolör tasarlanmıştır. Elde edilen kontrol büyüklüğü ve sistem çıktısı grafiklerinden de anlaşılacağı üzere öngörülü kontrol algoritması PID kontrolöre göre hem oturma zamanı hem de aşım oranı gibi parametreler açısından daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca kontrol büyüklüğü grafiklerinde MPC kontrol sinyali 2 değerinin üzerine çıkmazken PID Kontrol büyüklüğünün 5 değerine kadar çıktığı görülmüştür. Böylece MPC kontrol algoritması Kullanılarak gereken kontrol büyüklüğünün de azaldığı görülmüştür.

YSA modeli, kullanıcı tarafından seçilen yöntemi öğrenecektir. Fakat algoritması ağır ve tasarımı zor olan diğer modellerin aksine YSA ile direkt olarak prosesin giriş – çıkış değerlerinin öğrenilmesi tercih edilmektedir. Çünkü gerçek uygulamalarda en

büyük sorun hız olacaktır. Genellikle hızı yavaş olan uygulamalarda YSA'nın kullanılmasının sebebi de budur. [38]

Son yıllarda tercih edilen MPC kontrolörü, doğrusal olmayan süreçler için doğrusal dinamik modeller kullanarak tasarlanmaktadır. YSA'nın ise doğrusal olmayan süreçlerde eşleme, paralellik, uyarlanma ve öğrenme gibi özellikleri bu tezde kontrolör tasarımına katkıda bulunmuştur. YSA'lar doğrusal olmama özelliği kazandıran ve bu sayede bir çok farklı probleme uygulama yaklaşımı sunması YSA'ların diğer bir üstün özelliğidir. Bu sayede bir çok problemin çözümüne uygulanabilmektedir. [38]

Model öngörülü kontrolün üstünlüklerini daha iyi görebilmek amacı ile kısıtlamaların da dahil edildiği ve 1 giriş, 1 çıkıştan (Single Input – Single Output - SISO) oluşan bir tel kaplama sisteminin kontrolü tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Sistemde çıkış değişkeni, kaplama kalınlığı (y) ve giriş büyüklüğü, ekstruder sıcaklığı (u) uygulanmıştır. Sistemdeki giriş çıkış değişkenleri arasında etkileşimi incelemek ve kontrol tasarımında kullanılmak üzere sistemin modeli çıkartılmıştır.

Tel kaplama sistemi, MPC ve PID kontrol algoritması ile kontrol edilmiştir. MPC kontrolörünün testi için, değişken referanslı ve bozucu etkiler altında simülasyonlar yapılmıştır. Öngörülü kontrolörün bozucu etkiler karşısındaki davranışını izleyebilmek amacıyla ekstruder üzerinde, bulunan barel ısıtıcılardan biri elle kapatılarak bozucu ithali gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyonda sistemdeki kalınlık referansı 0.500 mm olarak seçilmiştir. Kaplama kalınlığı referans değere 3 saniyede yerleştikten sonra, 21. saniyede barel ısıtıcı kapatılmıştır. kontrolör cevabı olarak kaplama kalınlığının 38. saniyeden itibaren referans değerine 0.002 mm bir aşımından sonra yaklaşık 4 saniyede tekrar yerleştiği gözlenmiştir.

Bozucu etkiler altında kontrolörün testi için, ekstruder ısıtıcı barellerinden birinin enerji kablosu çekilerek bozucu ithali gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyonda sistemdeki kalınlık referansı 0.500 mm seçilmiştir. kalınlık referans değere yerleştikten sonra, 250. saniyede herhangi bir barel ısıtıcısı kapatılmıştır. MPC kontrolörün bu bozucu karşısında kalınlık değerini, istenilen referansa 0.15 mm bir

aşımdan sonra yaklaşık 50 saniyede tekrar yerleştirdiği gözlenmiştir.

Değişken referanslar altında test için çalışma süresi boyunca kaplama kalınlığı çıkış değişkeni için referans çeşitli değerlere ayarlanmıştır. Kontrolörün değişken referanslar altında testi için yapılan simülasyonda 50 saniyelik çalışma süresinde kaplama kalınlığı referansı 0.50 mm , 1 mm , 1.5 mm ve 0.40 mm seçilmiştir. sistemdeki kaplama kalınlığının istenen referanslara ortalama % 1 lik bir aşımdan sonra % 1 lik bir hata ile oturduğu görülmüştür. Yapılan her iki simülasyonda da sistemin istenilen referans değerlerine kabul edilebilir sınırlar (% 5) içinde yerleştiği gözlenmiştir. Çalışma süresince referans değiştirildiğinde kontrolör sistemi referans değerine tekrar yerleştirmiştir.

Tel kaplama sistemi için kısıtlamalar belirlenmiştir. İlk olarak kontrol büyüklüklerinin uygulandığı dc motor ve ekstruder sıcaklığının maksimum ve minimum değerleri (0 - 10 V tekabül eden) 147 - 176 °C arası giriş kısıtlaması olarak sınırlandırılmış ve simülasyon parametrelerine kısıtlama olarak tanımlanmıştır. Ayrıca tel kaplama kalınlığının da endüstrideki kabul sınır değerleri + 0.05 mm , - 0.05 mm olduğu dikkate alınırsa kalınlık değerinde maksimum 0.505 mm ile minimum 0.495 mm arasında sınırlandırarak simülasyona dahil edilmiştir.

Sistemin giriş çıkış değişkenleri arasındaki etkileşimin kontrolör davranışını görebilmek amacıyla kaplama kalınlığı referans değeri minimum 0.495 mm maksimum 0.505 mm seçilerek sistem çalıştırılmıştır. Simülasyonlar sonucunda kaplama kalınlığının referans değerine % 3 lük bir hata ile kısıtlama sınır değerini aşmadan yerleştiği gözlenmiştir. Bu da tanımlanan kısıtlamanın , MPC kontrolörü tarafından dikkate alındığını ve kısıtlama altında kontrolörün başarı ile çalıştığını göstermektedir. MPC kontrolörü altında yapılan sınırlandırma , PID kontrolörü içinde tekrarlanmıştır.

Kaplama kalınlığının 0.495 mm – 0.505 mm aralığında seçildiği simülasyon için sistemin PID kontrolör ile kontrol edilmesi halinde aşım % 5,8 iken model öngörülü kontrolör ile kontrol edildiğinde ise aşımın % 2 olduğu gözlenmiştir. Bununla

beraber PID kontrolörde kalınlık değerinin , % 5 hata ile referansa yerleşirken model öngörülü kontrolörde % 1,8 hata ile referansa yerleşmiştir.

Sonuç olarak model öngörülü kontrol (MPC) , tel kaplama sistemi istenilen kabul edilebilir sınırlar içinde kontrol etmektedir. PID kontrolörle karşılaştırıldığında, PID kontrolöründe , MPC gibi sistemi değişken referanslar altında sistemi başarıyla kontrol ettiği gözlenmektedir. Ancak kısıtlamalar göz önüne alındığında Model Öngörülü kontrolörün PID kontrolöre göre daha sağlıklı çalıştığı kanaatine varılmıştır.

Öngörü ufkunun artırılmasıyla kontrolör performansı artmaktadır. Ancak öngörü ufkunun gereğinden fazla artırılması proses çıkışında ıraksamaya sebep olur. Öngörü ufkunun $N_2 = 10$ değeri için kontrolör en iyi performansı göstermiş ve bu tez çalışması için $N_2 = 10$ değeri kullanılmaya karar verilmiştir.

öngörü ufku $N_2 = 10$ değeriyle sabit kabul edilmiş ve kontrol ufku için sırayla $N_u = 1, 2, 3$, değerleri kullanılmıştır. Kontrolör için örnekleme zamanı $T_s = 0.001$ olarak alınmıştır. Kontrolöre ait simülasyon modelin oluşturulmasında Matlab Simulink altında çalışan Model Predictive Control Toolbox (Model Öngörülü Kontrol Araç kutusu) kullanılmıştır. kaplama kalınlığı için kontrol ufkunun seçilen $N_u = 1, 2, 3$, değerleri alınarak gerçekleştirilen simülasyonlarda öngörü ufkunun $N_2 = 10$ değerinde istenen çıkışa oldukça küçük kalıcı hatalar (maksimum % 0.25) ile ulaşılmıştır.

6.2. Öneriler

Sistem, kaplama kalınlığı değişkenine ek olarak kaplama yüzey kalitesi değişkenlerinin de kontrol edilebileceği bir yapıya dönüştürülebilir. Bu şekilde giriş çıkış sayısı artırılarak, kontrol problemi biraz daha karmaşık hale gelecektir. Örnek olarak, viskozite ve shear rate (akma oranı) değişkenlerinin sisteme katılması ile öngörülü kontrol algoritmasının ölü zaman etkisi karşısındaki başarımı, test edilebilir.

H. Wang (2002) , bir çalışmada yüzey pürüzlülüğü sorununu gidermek yada minimuma indirebilmek için viskozite-basınç-tork ilişkisini , deneysel olarak araştırmıştır. Ayrıca Zwea-long Chen (2004) , doktora tezinde fuzzy logic kontrol modelini kullanmış , MIMO (Multi İntput , Multi Output) esasına dayanan bu modelde esas olarak viskozite kontrolü yapmıştır.Çünkü polimer ekstrüzyonu sonucunda ortaya çıkan ürün kalitesini iyileştirmek yada artırmak için viskozite kontrolünün önemi çok büyüktür.

İleriye yönelik olarak bu çalışmada incelenmiş olan kontrol algoritmalarının birçok gerçek endüstriyel süreçlerin kontrol tasarımına uygulanmasının avantajlı olacağı ortaya çıkmıştır. Gerçek sistemlerin doğrusal olmayan yapıda olmaları nedeni ile incelenen çok değişkenli yapıların etkin bir şekilde modellenmesi aşamasında yapay sinir ağları yaklaşımının kullanılması uygun olacaktır.Tez çalışmasının simülasyon performansları, endüstriyel tel kaplama ekstrüzyonu sürecinde önerilen matematiksel modellerin ve kontrol yapılarının rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

Polimer ekstrüzyonunun oluşturduğu kaplama kalınlığına ait matematiksel modeli oluşturmak için yapılacak olan çalışmalarda sabit değerlere sahip olan bazı parametrelerin (kaplama malzemesinin viskozitesi, tel malzemesi, kaplama kalıbı konstrüksiyonu vb.) de farklı değerleri kullanılarak bu parametrelerin etkileri incelenebilir. Bu deneylerden elde edilen verilerin kullanılmasıyla değişken sayısı daha fazla olan daha genel bir matematiksel model geliştirilebilir. Ayrıca geliştirilecek olan kontrolör tel kaplama işleminin gerçekleştirildiği proseslere entegre edilebilir. Bu sayede proses ile eş zamanlı çalıştırılarak ürün kalitesi , ekonomi ve zaman kavramları istenen değerlere getirilebilir.

Sistem, kalınlık sıcaklık değişkenlerine ek olarak ekstruder devri ve kaplama viskozitesi gibi değişkenlerinin de kontrol edilebileceği bir yapıya dönüştürülebilir. Bu şekilde giriş çıkış sayısını artırarak, kontrol problemi biraz daha karmaşık hale gelecektir. Örnek olarak, ekstruder devri ile çekici hızı değişkenlerinin sisteme katılması ile öngörülü kontrol algoritmasının ölü zaman etkisi karşısındaki başarımı, test edilebilir. Gerçekleştirilen öngörülü kontrolör algoritması bir mikroişlemciye yazılarak ticari amaçla kullanılmak üzere bir kontrolör düzenlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ÖZBEK, M . O . “ Inferential model predictive control of poly (ethylene terephthalate) degradation during extrusion “ , master thessis , Yüksek lisans tezi, Middle East Technical University , the degree of master of science in chemical engineering , august (2006)
- [2] SAÇAK, M. “ Polimer Teknolojisi “ Gazi yayınları , Ankara Üniversiresi Kimya fakültesi , Ağustos - 2005
- [3] UCUN, L.“ Modele dayalı öngörülü kontrol algoritmaları “ yüksek lisans tezi Yıldız Teknik Üniversitesi – eylül (2007)
- [4] WANG, H. , “ A simple evaluation method for PE as telephone cable insulation material at high speed extrusion and coating “ , polymer testing journal pp . 333 – 336 China , (2002)
- [5] ÖZTEMEL , E. “ Yapay Sinir Ağları ”, Papatya yayınları,İstanbul/2003
- [6] AKTER, S. , HASHMÎ ,M .S . J . , “ Wire coating using different sizes of stepped paralel bore pressure units “,progress in organic coatings journal pp. 67 – 76 Dublin – Ireland, (2004)
- [7] EL-Kİ KABLO A.Ş. Dökümanları 120 sayfa , Manisa / Türkiye – 2007
- [8] KAPLANOĞLU, E., “ Çok girişli ve çıkışlı kısıtlanmalı sistemlerin öngörülü kontrol uygulamaları “ doktora tezi, Marmara üniversitesi–temmuz (2006)
- [9] KAPLANOĞLU,E.;VAROL, H.,A.; VAROL,H.,S.:“Trajectory Tracking Multivariable Decoupling-PI Control For A Quadruple-Tank System”IKS - 2005 Proceeding of 2nd International conference Intelligent Knowledge Systems Istanbul (2005)
- [10] ŞAHİN, S. “ YSA Temelli Model Öngörülü Kontrol “, Y.lisans tezi) , 115s. Ege Üniv. – İzmir , 2003
- [11] BEQUETTE, B. W., , Process Control: Modelling, Design and Simulation, Prentice Hall , (2003)
- [12] CHEN, Z.-L. ,CHAO, P.-Y., CHIU, S. “ Proposal of an empirical viscosity model for quality control in the polymer extrusion process “ , polymer testing journal pp. 601 - 607 Taiwan ROC , (2003)
- [13] CAMACHO, E. F. and BORDONS C., “ Model Predictive Control “ Second Edition, Springer- Verlag London Berlin Heidelberg - 2004

- [14] HUSSAIN, M.A., " Review of the Application of Neural Networks in Chemical Process Control : Simulation and Online Implementation" Artificial Intelligent Engineering. 13, 55-68. (1999)
- [15] GHAZZAWI, A.A.; ALI, E., NOUH, A.; ZAFIRIOU, E. " On-line Tuning Strategy for Model Predictive Controllers." Journal of Process Control 11, 265-284. (2001)
- [16] MACIEJOWSKI, J.M., " Predictive Control With Constraints ", Prentice Hall (2002)
- [17] TEMURTAS, F.; TEMURTAS, H.; YUMUSAK, N.; OZ, C.: " Effects of Trajectory Planning on the Model Based Predictive Robotic Manipulator " Control. ISCIS 2003, LNCS 2869, 545-552. (2003)
- [18] RUSNAK, A.; FIKAR, M.; LATIFI, M.A.; MESZAROS, A.: "Receding Horizon Iterative Dynamic Programming with Discrete Time Models." Computers and Chemical Engineering 25, 161-167. (2001)
- [19] MORARI, M. and LEE, J. H., " Model Predictive Control: Past, Present, Future ", Comp. Chem. Eng., 23, 667 – 682 , (1999),
- [20] MAURATH, P.R., MELLICHAMP, D.A., SEBORG, D.E., " Predictive controller design for single-input/single-output (SISO) systems ", Ind. Eng. Chem. Res. 27, 956-963 , (1988)
- [21] HALEY, T.A., MULVANEY, S.J., " On-line system identification and control design of an extrusion cooking process: Part II. Model predictive and inferential control design ", Food Control 11, 121-129 , (2000)
- [22] BRANDRUB, J., IMMERGUT, E.H., " Polymer Handbook ", 3rd Ed., Wiley Inc. , (1989)
- [23] CLARKE, D. W., MOHTADI, C., " Properties of Generalized Predictive Control ", Automatica, 25(6) : 859 – 875 , (1989),
- [24] ASSADI, R., COLIN, X., VERDU, J., " Irreversible structural changes during PET recycling by extrusion ", Polymer 45, 4403 – 4412 , (2004)
- [25] RAWLINGS, JB , "Tutorial Overview of Model Predictive Control", IEEE Control Systems Magazine, Vol. 20, No. 3, , pages 38-52., June 2000
- [26] DE JESUS, O., HORN, J. M., AND HAGAN, M. T. " Analysis of recurrent network training and suggestions for improvements " Proceedings of the Internati. Joint Conference on Neural Networks, vol.4., 2632-2637 (2001)
- [27] AKTER, S. HASHMI, M. S. J. "Analysis of polymer flow in a conical coating unit : a power law approach " , progress in organic coatings journal pp . 15 – 22 Ireland , (2006)

- [28] NASKALI, A.T. , “Model Based Predictive Networked Control Systems” master thessis , Sabancı University, jully – (2006)
- [29] AKTER, S. , HASHMİ, M .S . J . , “ Wire drawing and coating using a combined geometry hydrodynamic unit : theory and experiment “ , journal of materials processing technology pp. 98 – 110 Ireland , (2006)
- [30] PREVIDİ, F. , SAVARESİ S. M. , PANAROTTO A . , “ Design of feed back control system for real – time control of in a single screw extruder “ , journal of control engineering practice pp. 1111 – 1121 Italy , (2005)
- [31] ZWEA-LONG, CHEN , “ Studies of the Application of Empirical Viscosity Models and Fuzzy Logic to the Polymer Extrusion Process Control “ Ph.D Thessis, Doktora tezi, p.156 National Sun Tat-Sen University-China, (2004)
- [32] XIAO,K. , TZOGANAKİS, C., BUMDAN, H. “ Control of coating properties of LDPE through melt strength measurements “ , control engineering practice journal pp. 357 – 366 Canada , (2001)
- [33] WIDROW, B., RUMELHART, D.E. , and LEHR, M.A. , “ Neural networks Applications in industry, business and science“ Journal A, (1994).
- [34] BOO, C.E., HONG, M.K. , AMY T.S.W. and YUSOF, K.M. , “ Formulation of Model Predictive Control Algorithm For Nonlinear Processes ”, University of techonology - Malaysia , 2006 ,
- [35] JUSTİN,R . E., B.E.,CHEM “ Dynamic Modelling Measurement and Control of Co-rotating Twin Screw Extruders ” A thesis submitted in fulllment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Department of Chemical Engineering University of Sydney Australia Justin Rae Elsey August Justin Rae Elsey, August 2 / 2002
- [36] BEQUETTE ,BW. , “ Process Control: Modeling, Design, and Simulation “ Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ. , 2003.
- [37] T. MALİNOVA, S. MALİNOV, U.N. PANTEV, “ Simulation of Microhardness Profiles for Nitrocarburized Surface Layers by Artificial Neural Network “ Surface And Coating Technology, 135, 258-267. 2001
- [38] HALEY, T.A. , AND MULVANEY, S.J. “ On-line system identification and control design of an extrusion cooking process “, Part II – Model predictive and inferential control design. Food Control. 11: 121-129. , 2000
- [39] LU Q, MULVANEY SJ, HSİEH F, AND HUFF HE. “ Model and strategies for computer control of a twin-screw extruder “ Food Control4: 25-33.,1993.
- [40] LİU, G.P., “ Nonlinear Ident. and Control “ Springer-Verlag,London - 2001.

- [41] MAURO , J. A. , “ Model Updating Using Neural Networks “ Dissertation submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor Of Philosophy Blacksburg, Virginia April - 1996
- [42] HOWARD D., MARK B., “Neural Network Toolbox For Use With Matlab”, User Guide, The Math Work Inc. June 1992
- [43] SINGH B, AND MULVANEY, SJ.“ Modeling and process control of twin-screw cooking food extruders “Journal of Food Engineering. 23:403-428. , 1994.
- [44] NORGARD, M., RAVN O., POULSEN, N.K. and HANSEN, L.K. “ Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems” , Springer – Verlag - London, 2000.
- [45] WANG, L, CHESARI, C, AND KAPIEL, E. “ Inferential control of product quality attributes application to food cooking extrusion process “ Journal of Process Control. 11: 621-636. , 2001.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] KOZAN , R . , CIRAĞ , B . , “ Prediction Of The Coating Extrusion Process Using Artificial Neural Network (ANN) “ , Modern Applied Science Journal, pp. 252 - 271 , July 2009 , Toronto - CANADA

EKLER

Ek A

Tablo A . 1 : Tel kaplama ekstrüzyonu proses verileri (Eş merkezli durumu için)

Deney Dataları : 1- a					
Deney Adı : Kaplama Kalınlığı (T)					
Tel Çapı : 1,40 mm (7 X 0,20 mm)					
Deney Şekli : Eş Merkezli (Kaplama Kalınlığı Üniform)					
Kaplama Malzemesi : Ep 58 Pvc					
Zaman Aralığı : 1 Dk.					
	GİRİŞ			ÇIKIŞ	
	Extruder devri (d/dk)	Ekstruder Sıcaklığı (°C)	Çekici Hızı (Tel Hızı) (d/dk)	Kaplama Kalınlığı (mm)	YSA
Set Değeri	485	165	2050	0,5	
Sıra No					
1	485	166	2050	0,495	Eğitim
2	486	166	2050	0,496	
3	485	165	2053	0,496	
4	487	165	2052	0,495	
5	485	165	2050	0,497	
6	484	165	2051	0,496	
7	485	165	2051	0,496	
8	488	164	2053	0,495	
9	485	164	2055	0,498	
10	486	164	2054	0,497	
11	486	164	2053	0,499	
12	484	164	2054	0,499	
13	485	164	2053	0,5	
14	487	165	2052	0,5	
15	487	164	2050	0,499	Test
16	485	164	2052	0,498	
17	484	164	2051	0,497	
18	483	164	2054	0,495	
19	485	164	2049	0,498	
20	485	164	2048	0,498	
....					Test
41	484	165	2050	0,495	
42	483	165	2052	0,495	
43	484	165	2051	0,499	
44	485	165	2050	0,496	
45	485	165	2051	0,498	
46	486	165	2052	0,5	
47	487	165	2052	0,495	
48	487	165	2053	0,496	
49	486	164	2052	0,497	
50	485	165	2051	0,499	
51	484	164	2050	0,496	
52	483	165	2053	0,496	
53	483	166	2050	0,497	
54	484	165	2049	0,495	
55	485	165	2048	0,495	
56	486	165	2051	0,496	
57	485	166	2049	0,498	
58	484	166	2050	0,499	
59	483	166	2051	0,5	
60	484	165	2050	0,5	

Ek B

Tablo A . 2 : Tel kaplama ekstrüzyonu proses verileri (kaçık merkezli durumu için)

Deney Dataları : 1- B					
Deney Adı : Kaplama Kalınlığı (T)					
Tel Çapı : 1,40 mm (7 X 0,20 mm)					
Deney Şekli : Kaçık Merkezli (Kaplama Kalınlığı Üniform Değil)					
Kaplama Malzemesi : Ep 58 Pvc					
Zaman Aralığı : 1 Dk.					
	GİRİŞ			ÇIKIŞ	
	Extruder devri (d/dk)	Ekstruder Sıcaklığı (°C)	Çekici Hızı (Tel Hızı) (d/dk)	Kaplama Kalınlığı (mm)	YSA
Set Değeri	485	165	2050	0,5	
Sıra No					
1	495	176	2060	0,6	Eğitim
2	496	176	2060	0,61	
3	497	175	2061	0,6	
4	497	175	2062	0,62	
5	496	175	2063	0,61	
6	495	175	2064	0,63	
7	495	147	2064	0,64	
8	496	147	2064	0,62	
9	495	147	2063	0,63	
10	494	147	2062	0,65	
11	495	147	2063	0,62	
12	496	147	2062	0,63	
13	497	147	2061	0,61	
14	496	175	2061	0,62	
15	497	174	2060	0,61	
16	496	174	2061	0,63	Test
17	497	174	2060	0,64	
18	497	174	2062	0,64	
19	497	174	6061	0,63	
20	496	174	2063	0,61	
....					
41	474	155	2036	0,64	Test
42	475	155	2037	0,64	
43	474	155	2038	0,61	
44	473	155	2038	0,63	
45	472	155	2039	0,63	
46	473	155	2040	0,62	
47	472	155	2040	0,61	
48	471	155	2039	0,62	
49	471	154	2038	0,6	
50	470	155	2037	0,61	
51	470	154	2038	0,62	
52	471	155	2037	0,63	
53	472	156	2036	0,61	
54	473	155	2037	0,6	
55	473	155	2038	0,6	
56	474	155	2039	0,63	
57	475	156	2038	0,61	
58	474	156	2037	0,64	
59	475	156	2038	0,61	
60	475	155	2040	0,62	

ÖZGEÇMİŞ

Bekir Çırak, 10.06.1962 de Denizli’ de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 1980 yılında Aydınlikevler Lisesi Fen bölümünden mezun oldu. 1981 yılında başladığı Akdeniz Üniversitesi - Isparta Mühendislik Fakültesi - Makine Mühendisliği bölümünü 1985 yılında bitirdi. Vatani görevinin ardından 1993 yılına kadar özel sektörde mühendis olarak çalıştı. 1993 ile 1998 yılları arasında Dumlupınar Üniversitesi – Mühendislik Fakültesi - Makina Mühendisliği Bölümünde öğretim görevlisi olarak çalıştı ve aynı üniversitede yüksek lisansını tamamladı. 2005 yılında Sakarya Üniversitesinde doktora programına başladı. Milli eğitimin değişik kademelerinde yöneticilik yaptıktan sonra, halen Manisa Merkez Endüstri Meslek Lisesinde Makine Teknolojisi Alanında Uzman Öğretmen olarak çalışmaktadır. Yabancı dili ingilizce olup , evli ve 4 çocuk babasıdır.