



**PLC DENETİMLİ YENİ NESİL SERVO
SÜRÜCÜNÜN PID İLE DOĞRUSAL EKSEN
KONTROLÜ**

Mustafa Feyzi TEMEL

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Raif BAYIR**

**PLC DENETİMLİ YENİ NESİL SERVO SÜRÜCÜNÜN PID İLE DOĞRUSAL
EKSEN KONTROLÜ**

Mustafa Feyzi TEMEL

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Raif BAYIR**

**KARABÜK
Ekim 2022**

Mustafa Feyzi TEMEL tarafından hazırlanan “PLC DENETİMLİ YENİ NESİL SERVO SÜRÜCÜ İLE DOĞRUSAL EKSEN KONTROLÜ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Raif BAYIR

.....

Tez Danışmanı, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 12/10/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Metin ZEYVELİ (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ALBAYRAK (DÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mustafa Feyzi TEMEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PLC DENETİMLİ YENİ NESİL SERVO SÜRÜCÜNÜN PID İLE DOĞRUSAL EKSEN KONTROLÜ

Mustafa Feyzi TEMEL

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Raif BAYIR

Ekim 2022, 71 sayfa

Bu çalışmada, doğrusal hareketi sağlayan servo sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sanayideki endüstri 4.0 devrimiyle beraber makinelerin kendi aralarında haberleşmesi ve kontrolü oldukça önemli bir konu olmaktadır. Bu sistemde servo motoru sürebilmek için yeni nesil sürücü olan SINAMIC S120 motor sürücü kullanılmaktadır. SINAMIC S120 motor sürücüsünü programlayabilmek için programlanabilir mantık denetleyicisi (PLC) kullanılmaktadır. Bu çalışmada motor sürücüye gönderilen adım, rampa ve sinüs referans işaretlerine göre sistemin ölçülen tepkisinin hassasiyeti tespit edilerek deneysel bir karşılaştırma yapma imkanı sunmaktadır. Robot kollarında kullanılmak üzere hız, konum ve ivme denetimi PID ile yapılmaktadır. Yeni nesil kontrol ve hareket sistemleri oldukça yüksek maliyetli ve kullanım zorluğu nedeniyle endüstride kullanımına oldukça az rastlanılmaktadır. Bu tezde kullanılan yöntemler sayesinde endüstride düşük maliyetli ancak sistem kararlılığı ve kontrol mekanizması zayıf sistemler yerine, yüksek hassasiyet ve düşük hata oranı olan sistemlere geçiş

yapılabilecektir. Robot kol prizmatik eksenler de hassas doğrusal hareket gerekmektedir. Bu sistem kullanılarak bir kartezyen robot tasarımı gerçekleştirilebilir.

Anahtar Sözcükler : Yeni nesil servo sürücüler, servo motorlar, PLC, PID, doğrusal hareket kontrolü

Bilim Kodu : 92904

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

LINEAR AXIS CONTROL OF PLC CONTROLLED NEW GENERATION SERVO DRIVE WITH PID

Mustafa Feyzi TEMEL

**Karabuk University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechatronics Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Raif BAYIR

October 2022, 71 pages

This study has carried out a servo system design that provides linear motion. With the industry 4.0 revolution, the communication and control of machines among themselves have become a critical issue. The new generation SINAMIC S120 motor driver drives the servo motor in this system. To program the SINAMIC S120 motor driver is programmed by the programmable logic controller (PLC). In this application, thanks to the triangle, sine and ramp signals sent to the motor driver, the sensitivity of the measured response of the system are determined and an experimental comparison is made. Speed, position, and acceleration are controlled. New generation control and motion systems are rarely used in the industry due to their high cost and difficulty in use. Thanks to the methods used in this thesis, switching to systems with high sensitivity and low error rates will be possible instead of low-cost systems with poor system stability and control mechanisms in the industry. Precise linear motion is

required in the prismatic axes of the robot arm. Using this system, a cartesian robot design can be realized.

Key Word : New generation servo driving, servo motor, PLC, PID, linear motion control

Science Code : 92904

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Raif BAYIR' a teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili eőim ve aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3	7
SERVO SİSTEMLER.....	7
3.1 YENİ NESİL SIEMENS SERVO MOTORLAR.....	8
3.1.1 SIMOTICS S-1FK7 Servo Motorlar.....	9
3.2 YENİ NESİL SIEMENS SERVO MOTOR SÜRÜCÜSÜ	11
3.2.1 SINAMICS S120 Servo Motor Sürücüleri	13
3.2.2 SINAMICS S120 Servo Motor Sürücüsü ile SIMOTICS S-1FK7 Servo Motor Haberleşme Protokolü	14
BÖLÜM 4	17
DOĞRUSAL HAREKET KONTROL SİSTEMLERİ	17
4.1 DOĞRUSAL HAREKET KONTROL SİSTEMLERİNİN MEKANİK BİLEŞENLERİ.....	17
4.1.1 Vidalı Mil.....	17
4.1.2 Kayış Kasnak Mekanizmaları	18

	<u>Sayfa</u>
4.1.3 Dişli Mekanizmaları.....	18
4.1.4 Kaplinler.....	20
4.2 MEKANİK HESAPLAMALAR.....	21
4.2 ROBOT KOL PRİZMATİK EKSENİN DOĞRUSAL HAREKETİNİN MATEMATİKSEL ANALİZİ.....	22
BÖLÜM 5	25
PLC DENETİMLİ YENİ NESİL SERVO SÜRÜCÜNÜN PID İLE DOĞRUSAL EKSEN KONTROLÜNDE KULLANILAN MATERYAL VE METOD.....	25
5.1 MATERYAL	25
5.1.3 Yeni Nesil Servo Motor	28
5.1.4 Programlanabilir Mantık Denetleyicisi	30
5.1.5 Doğrusal Hareket Mekanizması.....	32
5.1.6 Manyetik Lineer Sensör	33
5.1.7 Bilgisayar	34
5.2 METOT	34
5.2.1 PID	35
5.2.2 PLC Tabanlı PID.....	38
5.2.3 SIMATIC S7-1500 PLC, SINAMICS S120 Servo Motor Sürücü ve SIMOTICS S-1FK7 Motor Devreye Alma	43
5.2.4 Siemens Starter Programı ile SINAMIC S120 Servo Motor Sürücünün Ayarlarının Yapılması	50
BÖLÜM 6	54
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	54
6.1 SİSTEMİN ÖN TESTİ.....	54
6.2 DOĞRUSAL BİR EKSENİN KONUMA GÖRE KONTROLÜ.....	55
6.2.1. Basamak Fonksiyonu	55
6.2.2. Rampa Fonksiyonu	57
6.2.3. Sinüs Fonksiyonu.....	58
6.3 DOĞRUSAL BİR EKSENİN HIZA GÖRE KONTROLÜ	59
BÖLÜM 7	65
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	65

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	66
ÖZ GEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Servo sistem blok diyagramı.....	7
Şekil 3.2. Servo motor çeşitleri.....	8
Şekil 3.3. SIMOTICS S-1FK7 Servo motorları.....	9
Şekil 3.4. SIMOTICS S-1FK7 Servo motorları teknik çizimi [26].	10
Şekil 3.5. SINAMICS G120 Asenkron motor sürücüleri.	11
Şekil 3.6. SINAMIC S120 Servo motor sürücü.....	12
Şekil 3.7. SINAMIC V90 Servo motor sürücü.	12
Şekil 3.8. SINAMICS S120 servo motor sürücüsü.....	14
Şekil 3.9. SINAMICS S120 tek eksen sürücü, SIMOTIC S-1FK7 Servo motor ve PLC arasındaki bağlantı şekli [26].	15
Şekil 3.10. MOTION-CONNECT 500 kablosu.....	16
Şekil 4.1. Vidalı mil görseli [31].....	17
Şekil 4.2. Kayış kasnak mekanizması [32].	18
Şekil 4.3. Düz dişli çark [35].	19
Şekil 4.4. Helis dişli çark [36].....	19
Şekil 4.5. Kremayer dişli çark [35].	20
Şekil 4.6. Örnek kaplinler [38].....	20
Şekil 4.7. Prizmatik eklemlerden oluşan robot [40].....	22
Şekil 4.8. Kartezyen robot çalışma uzayı [41].	22
Şekil 4.9. Deney düzeneğinin iki boyutlu gösterilmesi ve eklemlere koordinat sisteminin eklenmesi.	24
Şekil 5.1. Deney düzeneği blok şeması.....	25
Şekil 5.3. SINAMICS S120 CU 310 PN Motor Sürücü	26
Şekil 5.4. Motor sürücünün devre şeması [26].	27
Şekil 5.5. SIMOTICS S-1FK7 servo motor.....	29
Şekil 5.6. Siemens Simatic S7 – 1500 CPU 1512C-1 PN.....	30
Şekil 5.7. FESTO Dişli kayış eksenli EGC-TB [43].....	32
Şekil 5.8. Manyetik encoder sensor ve manyetik şerit [44].	33

Şekil 5.9. Deney setinde kullanılan ekipmanların çalışma prensibini anlatan çalışma şeması.....	35
Şekil 5.10. PID kontrolörün blok şeması.	36
Şekil 5.11. Deney düzeneğinin de PID kontrolörün en temel çalışma prensibini anlatan akış diyagramı.	38
Şekil 5.12. PLC-PID Tuner kullanarak PLC ayarlama işlemi prosedürü.	40
Şekil 5.13. TIA Portal’ da PID_Compact fonksiyonunun program bloğu içindeki görünümü.	41
Şekil 5.14. Konfigürasyon ayarlarının yapıldığı PID_compact konfigürasyon ekranı.	42
Şekil 5.15. PID_compact fonksiyonunun PID parametrelerinin ayarlarının yapıldığı devreye alma ekranı.	42
Şekil 5.16. PID_compact fonksiyonunda hesaplanan PID parametrelerinin gösterildiği ekran.....	43
Şekil 5.17. SINAMIC S120 CU310-2 PN servo motor sürücünün TIA PORTAL’a eklenmesi.....	44
Şekil 5.18. SINAMIC S120 CU310-2 PN servo motor sürücüsü ve SIMATIC S7-1500 PLC arasındaki topoloji bağlantı görüntüsü.....	45
Şekil 5.19. SINAMIC S120 CU310-2 PN servo motor sürücü konfigürasyon ayarlarının yapıldığı cihaz görünümü sayfası.	45
Şekil 5.20. TIA Portal’ da yeni teknoloji objenin eklenmesi gösterilmektedir.....	46
Şekil 5.21. PositioningAxis_1 teknoloji objesinin tüm parametrelerin görüldüğü fonksiyon görüntü sayfası.	47
Şekil 5.22. Teknoloji obje ve S120 servo motor sürücünün arasındaki bağlantının sağlanması.	48
Şekil 5.23. Teknoloji obje ve servo motor üzerindeki enkoderin arasındaki bağlantının sağlanması.	49
Şekil 5.24. Sistemin enerjisini, başlangıç konumuna ve ileri - geri hareketi sağlayan bloklar.....	49
Şekil 5.25. Siemens Starter programında yeni projenin oluşturulması.....	50
Şekil 5.26. SINAMIC S120 servo motor sürücü seçiminin yapılması.	51
Şekil 5.27. SIMOTICS S-1FK7 servo motorun yükleme işleminin yapılması.....	51
Şekil 5.28. Servo motorun analog kontrolün yapılması için 1 analog giriş butonuna basılması.....	52
Şekil 5.29. İzole edilmiş analog girişlere yapılan atamalar.	53
Şekil 5.30. Analog_input_0 değerinin girilmesi ve 0 V ile +10 V arasında çalışmasını sağlayan ayarların yapıldığı yer.	53
Şekil 6.1. Deney düzeneğinin referans değere giderken çekilen resim.....	54

Sayfa

Şekil 6.2. Ön test aşamasında yapılan çalışma sonucu elde edilen grafik.	55
Şekil 6.3. Basamak fonksiyonu.	56
Şekil 6.4. PID denetleyicisinin basamak sinyaline karşı cevabı (ScaledInput) ve referans basamak sinyali (CurrentSetpoint) gösterilmektedir.	56
Şekil 6.5. Rampa fonksiyonu.	57
Şekil 6.6. PID denetleyicisinin rampa sinyaline karşı cevabı (ScaledInput) ve rampa sinyali (CurrentSetpoint) gösterilmektedir.	57
Şekil 6.7. Sinüzoidal fonksiyon.	58
Şekil 6.8. PID denetleyicisinin sinüzoidal sinyaline karşı cevabı (ScaledInput) ve sinüzoidal sinyali (CurrentSetpoint) verilmektedir.	59
Şekil 6.9. Parabolik kısımları eklenmiş doğrusal yörünge planlaması.	60
Şekil 6.10. Referans konum grafiğine göre elde edilen hız grafiği.	60
Şekil 6.11. Referans 10 mm/sn hıza göre hız kontrolü.	61
Şekil 6.12. 10 mm/sn hıza göre S7-1500 PLC'den elde edilen konum grafiği.	61
Şekil 6.13. Referans 20 mm/sn hıza göre hız kontrolü.	62
Şekil 6.14. 20 mm/sn hıza göre S7-1500 PLC'den elde edilen konum grafiği.	62
Şekil 6.15. Referans 40 mm/sn hıza göre hız kontrolü.	63
Şekil 6.16. 40 mm/sn hıza göre S7-1500 PLC'den elde edilen konum grafiği.	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4. 1. D-H değişkenlerinin belirlenmesi.....	23
Çizelge 4. 2. Elde edilen D-H tablosu.....	24
Çizelge 5. 1. SINAMICS S120 CU 310-2-PN servo sürücü teknik özellikleri.	28
Çizelge 5. 2. SIMOTICS S-1FK7 servo motorun teknik özellikleri.....	29
Çizelge 5. 3. Siemens Simatic S7 – 1500 CPU 1512C-1 PN teknik özellikleri.	30
Çizelge 5. 4. FESTO Dişli kayış ekseni EGC-TB teknik özellikleri.	33
Çizelge 5. 5. Manyetik encoder sensörün teknik özellikleri.	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

M : Moment

F : Kuvvet

r : Sabit noktaya olan uzaklık

m : Kütle

a : İvme

ω : Açısal hız

V : Çizgisel hız

J : Atalet momenti

${}^n{}_{n-1}T$: Dönüşüm matrisi

α_{i-1} : Eksen açısı

d_i : Eklem açıklığı

θ_i : İki eksen arasında oluşan eklem açısı

Kp : Oransal kazanç

Ki : İntegral kazanç

Kd : Türevsel kazanç

KISALTMALAR

PLC : Programmable Logic Controller

BT : Bilgi Teknolojileri

OPC : Süreç Yönetiminde Nesnelerin Bağdaştırılması ve İlişkilendirilmesi

TIA Portal : Tamamen Entegre Otomasyon Portalı

D-H : Denavit-Hartenberg Yöntemi

FDB : Fonksiyon Blok Diyagramı

IL : Komut Listesi

SCL : Yapılandırılmış Kontrol Dili

LAN : Yerel Ağ Bağlantısı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte otomatik kontrol sistemlerini insanoğlunun günlük yaşamının her alanında görmek mümkündür. Bu sistemler robot kolları, elektronik ev aletleri, seri üretim hattına sahip endüstriyel fabrikalar, havacılık, tıbbi cihazlar ve kontrol sistemleri gibi birçok farklı sektör ve alanda kullanılmaktadır. Mikroişlemciler ve PLC gibi cihazlar teknolojiye çeşitliliği artırmaktadır. Bu sistemlerin amacı yapılan işin kalitesini ve verimini arttırmaktır. Böylelikle bu sistemler sanayide seri üretim hızını arttırmakta, hatalı ürün sayısını en düşük seviyede tutmakta ve ürün maliyetini düşürebilmektedir [1]. Bilim ve teknolojinin gelişmesiyle seri üretimde insan gücü gittikçe azalmaktadır. Otomatik kontrol sistemleri insan gücüne ihtiyaç duymadan çalışan sistemleri kontrol etmeyi hedefler. Böylece makineler insan kontrolü ile değil de başka makineler vasıtasıyla kontrol edilmektedirler.

İnsan nüfusunun artışı ile üretime olan ihtiyaç da artmaktadır. Üretim arttıkça insan gücüne duyulan ihtiyaç da artmıştır. Bu durum insan gücünün maliyetini artırmaktadır. Maliyeti düşürebilmek amacıyla endüstriyel otomasyon sistemlerin kullanımı giderek artmıştır. Ucuz üretim yapılabilir hala gelmiştir. Otomatik kontrol sistemlerinin hata oranı insanın yapmış olduğu işe göre daha düşüktür. Otomatik kontrol sistemi üretim kapasitesi en iyi şartlarda kendini geliştirmiş tecrübeli bir çalışandan kat kat üstündür. Bu durum kısa zamanda çok üretim yapılmasını ve maliyetin düşürülmesini sağlar. Bazı zor koşullarda insan sağlığının tehlikeye girebileceği ortamlarda (örnek: çok sıcak ortam, zehirli gaz bulunduğu yerler gibi) bu otomatik sistemler kullanılmaktadır. Endüstri sektöründe otomatik sistemlerin yaygınlaşması ile motor kontrol teknolojisindeki gelişmeler de doğru orantılı bir şekilde hızlanmıştır. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak ihtiyaca göre farklı tip elektrik motorları kullanılmaktadır.

Gelişmiş ve karmaşık kontrol mekanizmasına sahip motorlar servo motor olarak adlandırılırlar. Endüstride hız konum kontrolü gerektiren, yüksek hassasiyet ve dinamik yük değişiklikleri gibi durumlarda servo motorlar büyük avantaja sahiptirler. Servo sistemler kullanılan uygulamalar için yüksek kontrol doğruluğunu ve kararlılığını sağlayabilmektedirler. Endüstride servo motorlar robot kollarında, medikal cihazlarda, hassas dozajlama makinelerinde ve çok eksenli hareketler gibi sistemlerde kullanılırlar [1].

Artan insan nüfusunun taleplerini karşılamak için endüstride devrimler olmuştur. İlk büyük gelişim 18. yüzyılın sonlarına doğru su gücü kullanılarak çalışan makinelerin bulunması, mekanik üretim tesislerinin kurulmasıyla ve buhar gücünün keşfiyle birinci sanayi devrimi yani endüstri 1.0 başlamıştır. Elektrik enerjisinin 20. yüzyılda bulunmasıyla birlikte ve seri üretimlerde elektriğin kullanılmasıyla ikinci sanayi devrimi endüstri 2.0 başlamıştır. 1970'lerde elektroniğin, bilgi teknolojileri (BT) sanayide kullanıma başlamasıyla ve üretimde programlanabilir makinelerin kullanıma başlaması üçüncü sanayi devrimi endüstri 3.0 başlamıştır. 2011 yılında Alman sanayi devleri endüstri 4.0 duyurmaya başlamasıyla dördüncü sanayi devrimi başlamıştır [2].

Endüstri 4.0'da üretim sistemini oluşturan tüm parçalar birbirleri arasında haberleşme, bilgi alışverişinin yapılması ve kendi kendini otonom şekilde kontrol edebilmesi hedeflenmektedir. Endüstri 4.0'a otonom robotlar ve sistemler, siber güvenlik, nesnelerin interneti, artırılmış gerçeklik ve nanoteknoloji örnek verilebilir. Bu gelişmelerle beraber servo motorlarda teknolojik olarak gelişim sağlamışlardır. Kontrol edilebilmeleri çok zorlaşmıştır. Siemens yeni teknolojiye ayak uydurabilmek için SINAMICS hız kontrol ünitesini geliştirmiştir. SINAMICS yeni nesil sürücü olarak adlandırılmaktadır. AC ve DC servo motorların kontrollerini SINAMICS ile bütünleşik bir şekilde yapılmasına olanak sağlayarak servo motorların kontrollerini kolaylaştırmıştır.

Son 50 yıllık gelişmelere bakıldığında Fortune dergisi tarafından hazırlanan yıllık geliri en yüksek 500 firmanın %90'ı değişen ve gelişen endüstriyel ortama ayak uyduramadıkları için günümüze ulaşamamıştır. Siemens değişen endüstriyel şartlara ayak uydurmuş ve Endüstri 4.0' a öncülük yapmaktadır. SIMATIC şalter ve kontrolörü

yapan tesis Endüstri 4.0 fabrikası olarak bilinir [3]. Siemens'in ürettiği SINAMICS sürücüler Endüstri 4.0'a uyumlu olacak şekilde tasarlanmaktadır. Servo kontrollerdeki en çok karşılaşılan AC servo motor kapalı çevrim kontrolü eski tip sürücülerle yapılması çok karmaşıktır. SINAMICS sürücüler kullanıcı dostu olması ve kurum sadeliği sağladığı için bu kontrolleri rahatlıkla yapma imkanı vermektedir. Robot denetiminde yeni nesil sürücülerin kullanılması beraberinde yüksek hassasiyet, mutlak doğruluğu getirmektedir ve kurulum sırasındaki kablo karışıklığı olmayacağı için temiz rahat çalışma alanı sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında endüstriyel çapta kullanılacak olan doğrusal hareketi sağlayan servo sistem tasarımında bulunulmuştur. Hazırlanan sistemde servo motorların kontrolü ve hareketi SINAMICS S120 yeni nesil sürücü vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. SINAMICS S120 yeni nesil sürücünün kontrolünü PLC tarafından yapılmıştır. Motor kontrolünü PID kontrol yaparak test edilmiştir. Rampa, basamak ve sinüs sinyallerine karşı doğrusal hareket kontrol sisteminin cevabı incelenmiştir.

Bu çalışmanın birinci bölümünde geçmişten günümüze değişen teknolojik durumlar ve servo motorun önemi hakkında genel bilgiler verilmektedir. İkinci bölümünde servo motorların kontrolü hakkında yapılan literatür çalışmaları verilmektedir. Üçüncü bölümde servo sistemler hakkında genel bilgi ve yeni nesil servo sürücü ve servo motorlar hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde doğrusal hareket kontrol sistemlerine değinilmektedir. Beşinci bölümde deney düzeneğinde kullanılan malzemelerin bilgileri verilmektedir ve kullanılan metot anlatılmaktadır. Altıncı bölümünde yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen sonuçlara yer verilmektedir. Sonuçlar ve değerlendirme kısmında doğrusal hareket deney düzeneğinde uygulanan test sonuçlarının bulgu ve değerlendirmeleri yer almaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Servo motor, kapalı çevrim kontrol sistemlerinde konum veya hızın kontrolü için kullanılan bir motordur. DC ve AC servo motorlar genel olarak makine yapıları gereği uygulamalarda kullanılmaktadır. Düşük güç ve değişken hız koşullarının arandığı yerlerde, AC servo motorlar, kontrol yetenekleri nedeniyle kontrol sistemlerinde tercih edilenlerdir. Ayrıca, AC servo motorların uygulama alanlarına örnek olarak taşıma teknolojisi, matbaacılık, ağaç işleme, tekstil endüstrisi, plastik endüstrisi, gıda ve ambalaj endüstrisi, araba endüstrisi, montaj endüstrisi, paketlenme ve dolun tesisleri ve takım tezgahları verilebilir. Sincap kafesli asenkron ve sabit mıknatıslı senkron olmak üzere iki tip AC servo motor mevcuttur [4]. Mekanik bağlantıların ve robotların kontrolü alanında, araştırma çalışmaları çoğunlukla sadece DC motorlar üzerinde yapılmaktadır. AC servo motor teknolojisi sırasıyla yeni olduğu için AC servo motor hareket kontrolü ve izleme özellikleri ile ilgili literatür incelemesi sınırlıdır [5].

Endüstriyel otomasyon dünyasında, PLC' ler en çok kullanılan otomatik kontrolör türleridir ve bu nedenle mühendislerin optimize edilmiş ve oldukça karmaşık yazılım uygulamaları geliştirmeleri gerekir. Gerçek dünya uygulamalarına daha yakın bir deneyim sağlamak için yeni nesil sürücüler PLC programlama ve PROFINET endüstriyel iletişim protokolü çalışmasına olanak sağlamaktadır. Yeni nesil sürücüler ve motorlar gelişen teknolojiye ayak uydurabilmek için Endüstri 4.0'a uyumlu bir şekilde üretilmişlerdir. Motor parametrelerini istenilen uygulamaya göre değiştirilebiliyor olması, veri paylaşımının mümkün kılması ve kurulum esnasında kablo karışıklığının ortadan kaldırarak sade bir kurulum yapılabilmesi yeni nesil servo sürücülerin tercih edilme nedenlerindedir [6].

Takahashi mekatronik cihazları modellemek ve simüle etmek için elektrik motorları, elektronikler, akışkan gücü ve kontrolü ve mekanik sistemlerden oluşan bir ortam

sundu [7]. Ayrıca Seki ve arkadaşları yüksek performanslı bir servo sürücü sistemi ve bir çıkıntılı kutuplu sabit mıknatıslı motorun özellikleri üzerine bir çalışma tanımlamışlardır. [8]. Wang ve arkadaşları senkron ve asenkron motorları kullanan AC servo sürücülerin performanslarını analiz etmişlerdir. Kontrol şeması ile matematiksel bir model verilmiş ve deneysel sonuçlarla desteklenmiştir [9]. X. Li sayısal simülasyon kullanarak ve ayrıca deneysel olarak iki kalıcı mıknatıslı AC makinesi arasında karşılaştırmalı bir çalışma başlatmışlardır. Simülasyonlar, doğrudan endüksiyon motorları tarafından tahrik edilen iki eklemlili bir rijit robot için dahil etmişlerdir [10]. Zhang ve arkadaşları yüksek dinamik hızlı sensörsüz AC sürücüler üzerinde çalışmıştır. Asenkron motor ile deneysel doğrulama yapılmıştır. Kararlı durum hatasını ortadan kaldırmak için çevrimiçi mod parametre ayarı uygulanmıştır [11].

Işık ve arkadaşları yapmış oldukları çalışma da motor kontrolü sırasında PLC ile haberleşmeyi Device-Net haberleşme protokolü üzerinden sağlamışlardır ve PLC ve bilgisayar arasında da OMRON marka SCADA yazılımını kullanılmıştır [12].

Birok tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında PLC S7-300'ler için PID kontrolör tasarımı uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçek bir sisteme bağlı kalmadan PID parametrelerini sağlıklı bir şekilde elde etmiştir [13].

Jasmin Velagic ve arkadaşları çalışmalarında asenkron motoru programlanabilir mantık denetleyicileri (PLC) ile kontrolünü Siemens WinCC protokolü ve Profinet tabanlı kontrol kullanarak gerçekleştirmişlerdir [14].

Cao Weibin 2010 yılında yayınlamış olduğu makale çalışmasında, bulanık mantık denetleyicisi PLC ile programlamış ve bu yöntemle sıcaklık kontrolünü sağlamıştır. Yapmış olduğu çalışmada, büyük, karmaşık ve matematiksel ifadesinin çıkarılması zor olan sistemler için bulanık mantık denetleyicinin yararlı olduğunu, küçük, basit sistemler için ise PID denetleyicinin yararlı olduğu sonucu elde etmiştir [15].

Çeven ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada, fırçasız doğru akım motorlarının bulanık mantık tabanlı hız kontrolünün endüstriyel PC üzerinden gerçekleştirilmesi incelenmiştir. Kontrolör olarak Beckhoff firması CX9020'nin PLC tabanlı endüstriyel

bilgisayarı tercih edilmiştir. Fırçasız doğru akım motorlarının hız kontrolü talep edilen referansa göre PID ve bulanık mantık denetleyici ile yapılmaktadır. Basamak, rampa ve merdiven fonksiyonları kullanılarak kontrolörlerin performansları test edilmiştir. Parametreleri belirlenen referans hız alanlarında PID kontrolör iyi sonuçlar verirken, değişken referanslarda bulanık mantık kontrolör daha iyi sonuçlar vermiştir [16].

Karşılıklı tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında 3 eksen hareket kabiliyetine sahip olan mekanik bir sistemi servo motorlar, PLC ve bir bilgisayar kullanarak kontrol etmektedir. Kontrolü gerçekleştirebilmek için 3 eksen hareket özelliğine sahip mekanik bir sistem tasarlanmıştır. Her bir servo motorun kontrolü tasarlanan SCADA yazılımı ve PLC tarafından sağlanmaktadır [17].

Vahdet tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında bir asenkron motor sisteminin PLC ve Matlab üzerinden hız kontrolü gerçekleştirilmektedir. Kontrolör olarak PID algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada literatürde yeni tip bir kontrolör olarak nitelendirilen PID-Neural Network tipi kontrolör kullanılmıştır [18].

Özcan tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında otomatik pizza makinesinin silindirik robotunun tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan silindirik robotun 3 eksenli bulunmaktadır. Her ekseninde bulunan motorların kontrolü PLC üzerinden sağlanmaktadır. Konum hassasiyeti istenilen ölçülerde gerçekleşmiş, kalkış ve duruşlarda titreşimden etkilenmediği sonucuna varılmıştır [19].

Aykut ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada görüntü işleme ile 3 eksenli robot mekanizması üzerinde nesne ayırt edilmesi ve sıralanması uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Görüntü işleme ve konum belirleme için MATLAB programı kullanılmıştır. Robot mekanizmasındaki servo motorların kontrolü ise S7-1200 PLC ve servo sürücü kartlarıyla yapılmıştır [20].

Yücel tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında MATLAB OPC araçları kullanılarak servo motorun pozisyon kontrolü gerçekleştirilmiştir. MATLAB programı kullanılarak PLC'ye bağlı servo motorların kontrolleri gerçekleştirilmiştir. MATLAB ve PLC arasındaki bağlantı OPC (Süreç Yönetiminde Nesnelerin Bağdaştırılması ve

İlişkilendirilmesi) araçları sayesinde sağlanmıştır [21].

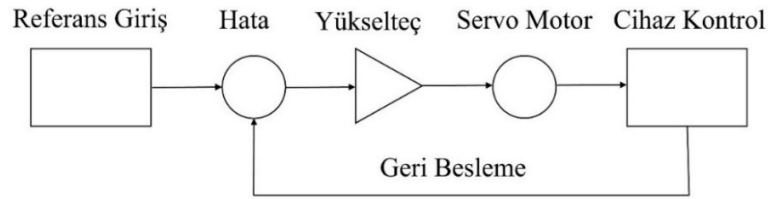
Bu tez çalışmasında PLC denetimli yeni nesil servo sürücünün PID ile doğrusal eksen kontrolü gerçekleştirilecek ve sonuçları değerlendirilecektir. Basamak, rampa ve sinüs fonksiyonları kullanılarak sürülen servo motorlarının hız, konum ve ivme kontrolü talep edilen referansa göre PID kontrolör tarafından yapılarak PID kontrolörün performansı test edilmiştir. Akademik çalışmalarda ve endüstride henüz yeterli sayıda kullanılmayan yeni nesil servo sürücüler bu tezde kullanılan yöntemler sayesinde daha etkin bir şekilde kullanılacaktır.

BÖLÜM 3

SERVO SİSTEMLER

Artan insan nüfusu beraberinde üretimin de gelişmesini tetiklemiştir. Artan ihtiyacı karşılamak için endüstriyel boyutta üretimin daha hızlı yapılması gerekmiştir. Ancak kontrol edilmesi zorlaşan bu sistemlerin ihtiyacını geleneksel elektrik makineleri karşılayamaz hale gelmiştir. Bu problemin çözümü için kapalı çevrim çalışan ve servo sistem diye adlandırılan sistemin tasarımına başlanmıştır. Latince Servus kelimesi hizmetçi ve yardımcı anlamına gelmektedir ve servo servus kelimesinden türetilmiştir.

Servo sistemler kapalı çevrim kontrol sistemine sahiptir. Sensör geri besleme elemanı olarak tanımlanmaktadır ve sensörden gelen veriyi sisteme geri bildirim olarak alınması olayı kapalı çevrimi tanımlamaktadır. Kontrolör kapalı çevrim altında sensörden aldığı bilgiye göre aktüatörü sürmektedir. Şekil 3.1’de servo sisteme ait en genel blok diyagramı verilmektedir.

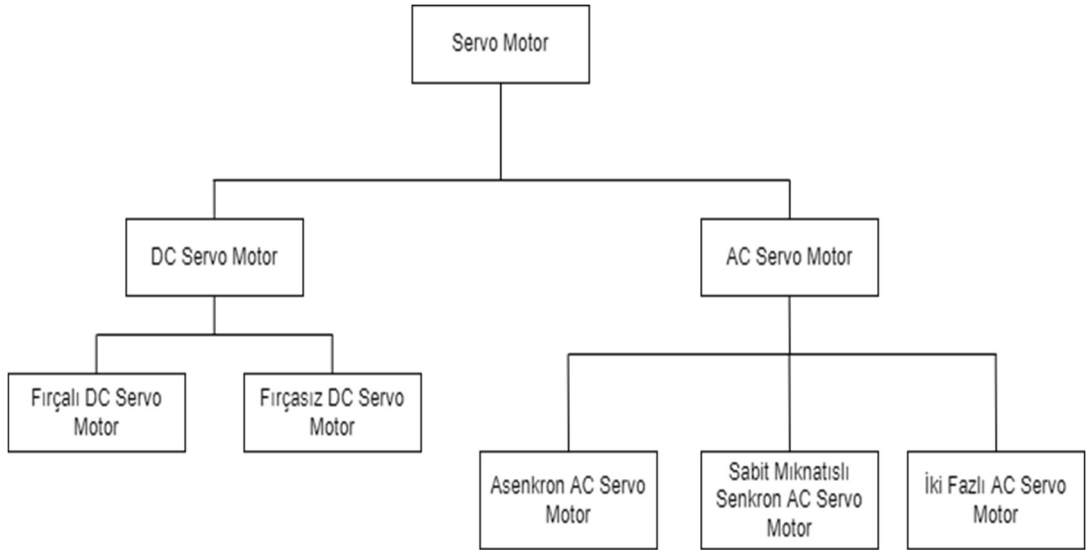


Şekil 3.1. Servo sistem blok diyagramı.

Servo motorun işlevleri geniş bir hız aralığında konum kontrolü ve hız talimatlarını yerine getirmektir. DC ve AC servo motorlar genel olarak makine yapıları gereği uygulamalarda kullanılmaktadır. AC servo motorlar düşük güç ve değişken hız kontrolleri yapılmak istenildiğinde kontrol yetenekleri nedeniyle kontrol sistemlerinde tercih edilmektedirler. AC servo motorlar uygulama alanlarına örnek olarak taşıma teknolojisi, baskı ağaç işleme, tekstil endüstrisi, otomotiv endüstrisi, plastik endüstrisi,

ambalaj paketleme ve doldurma tesisleri ve robotik uygulamalar verilebilir. Sincap kafesli asenkron ve sabit mıknatıslı senkron olmak üzere iki tip AC servo motor mevcuttur. Mekanik bağlantıların ve robotların kontrolü alanında, araştırma çalışmaları çoğunlukla sadece DC motorlar üzerinde yapılmaktadır. AC servo motor teknolojisi yeni olduğundan dolayı AC servo motor hareket kontrolü ile ilgili literatür incelemesi sınırlıdır [22].

Servo sistemin hareketi sağlayan birim servo motordur. Endüstrideki çoğu uygulamalarda konum, hız ve ivme kontrolü gerçekleştirilmektedir. Konum, hız ve ivme bilgileri geri besleme için kullanılmaktadır ve bu bilgiler karar verme mekanizmasına gönderilerek sistemin davranışı analiz edilmektedir. Servo motorların çeşitleri Şekil 3.2’ de verilmektedir [23].



Şekil 3.2. Servo motor çeşitleri.

3.1 YENİ NESİL SIEMENS SERVO MOTORLAR

Bu tez çalışmasında güvenilir ve hassasiyeti yüksek olan Siemens firmasının son ürünü olan servo motor kullanılmaktadır. Bu firmaya ait yeni nesil hareket kontrol sistemlerinde kullanılan motorlar hakkında bilgi verilmektedir. Bu motorlardan biri olan ve bu çalışma da kullanılan SIMOTICS S-1FK7 modeli anlatılmaktadır.

3.1.1 SIMOTICS S-1FK7 Servo Motorlar

SIMOTICS S-1FK7 motorları endüstriyel çevre de geniş bir kullanım alanına hitap etmektedir ve yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar. Kompakt sabit mıknatıslı senkron motorlardır. Genişletilmiş ürün yelpazesi ile mevcut redüktör ve enkoder seçenekleri sayesinde SIMOTICS S-1FK7 motorları her uygulamaya istenilen şekilde uyarlanabilmektedir. Bu nedenle, son teknoloji ile üretilen makinelerin sürekli artan taleplerine karşılık verebilmektedir [24].

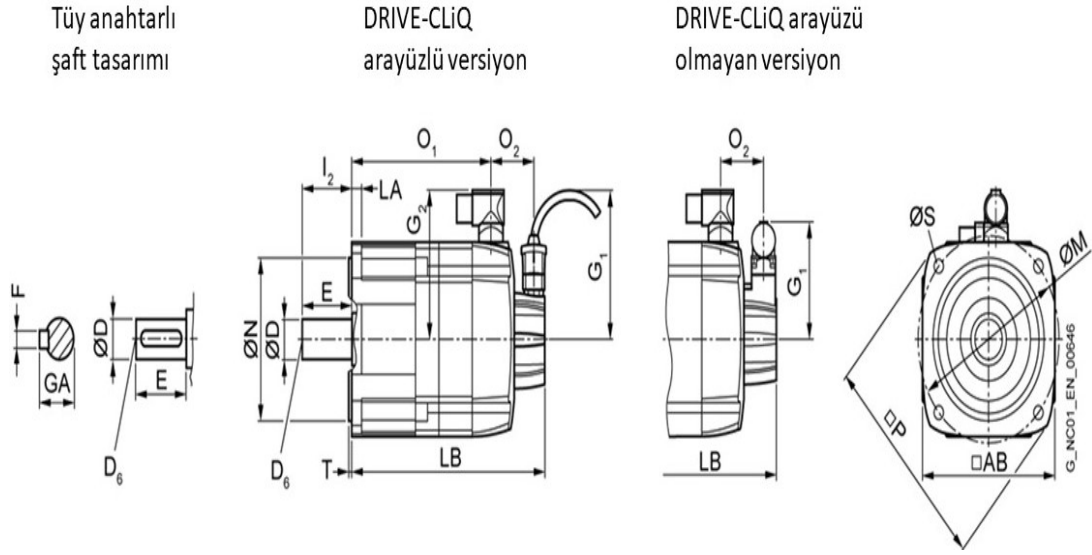
SIMOTICS S-1FK7 motorları, yüksek işlevselliğe sahip güçlü bir sistem oluşturmak için SINAMICS S120 sürücü sistemiyle birleştirilebilmektedir. Hız ve konum kontrolü için birleşik enkoder sistemleri uygulamaya bağlı olarak seçilebilmektedir. SIMOTICS S-1FK7 motorları yüksek aşırı yük kapasitesine sahiptir. Motorlar, harici soğutma olmadan çalışacak şekilde tasarlanmıştır ve ısı motor yüzeyinden dağıtılmaktadır [24]. S-1FK7 servo motorları Şekil 3.3'te örnek olarak verilmektedir.



Şekil 3.3. SIMOTICS S-1FK7 Servo motorları.

Bu motorlar yapı özelliklerine göre kompakt motorlar, yüksek dinamik motorlar ve yüksek ataletli motorlar olarak üçe ayrılırlar. Kompakt motorlar geniş motor yelpazesine sahiptir, evrensel uygulamalar için uygundur ve son derece yüksek güç yoğunluğu sayesinde kurulum yapılırken az alan kaplamaktadırlar. Yüksek dinamik motorlar çok düşük rotor atalet momenti sayesinde son derece yüksek dinamik tepki

vermektedir. Yüksek ataletli motorlar ise yüksek veya değişken yük atalet momenti için sağlam kapalı çevrim kontrol özelliklerine sahiptir [21]. Endüstride kullanım alanları sırasıyla; Makine aletleri, Robotlar ve taşıma sistemleri, Ahşap, cam, seramik ve taş işçiliği, Ambalaj, plastik ve tekstil makineleri, Baskı makineleri ve Yardımcı eksenler olarak tercih edilmektedirler.



Şekil 3.4. SIMOTICS S-1FK7 Servo motorları teknik çizimi [26].

SIMOTICS S-1FK7 Servo motorları DRIVE-CLiQ arayüzüne sahiptir. Siemens DRIVE-CLiQ, enkoder ve doğrudan ölçüm sistemlerini SINAMICS sürücü bileşenleri ile bağlamak için tasarlanmış, yenilikçi ve etkin bir iletişim arayüzüdür. DRIVE-CLiQ arayüzü ile RESOLUTE gerçek-mutlak optik enkoder, tezgah üreticilerinin daha yüksek performans ve güvenilirlik elde etmesine imkan vermektedir. Bu ürün çalıştırıldığı anda hemen pozisyon belirler ve bu nedenle özellikle yüksek performanslı torna tezgahı iş milleri ve aynı zamanda en üst seviyede hassasiyet ve hareket kontrolü bütünlüğünü gerektiren kullanımlar için uygundur. RESOLUTE DRIVE-CLiQ üstün hareket kontrol performansı sunmaktadır [25].

DRIVE-CLiQ arayüzlü motorlar, aşağıdaki açılardan standart motor versiyonundan farklıdır. Şekil 3.4' te SIMOTICS S-1FK7 Servo motorların teknik çizimi verilmektedir. Bu motorlar 5 mm daha uzundur ve DRIVE-CLiQ arabirimi olmayan bir motorla aynı uzunluğa sahiptirler. Konektör, döndürülebilir açılı fiş olarak uygulanmaktadır. Standart olmayan bir sinyal kablosu gereklidir (RJ45 bağlantı elemanı gibi).

3.2 YENİ NESİL SIEMENS SERVO MOTOR SÜRÜCÜSÜ

Siemens tarafından tasarlanıp geliştirilen servo motor sürücülerini SINAMICS ürünleri olarak piyasaya sürülen bir hareket kontrol ünitesidir. SINAMICS bütün hareket kontrol uygulamaları için uygun çözümler sunmaktadır. Siemens tarafından üretilen SINAMICS servo motor sürücülerini yeni nesil servo motor sürücüsü diye adlandırılmaktadır. SINAMICS sürücü ailesi üç farklı tip sürücüden oluşmaktadır.

SINAMICS G, asenkron motor kontrol uygulamaları için tasarlanmış sürücü tipidir. Asenkron motorların kontrolünün sağlanacağı, düşük dinamizmin beklendiği ve hassasiyetin diğer motor sürücülerine göre kısmen düşük olan uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekil 3.5'te SINAMICS G120 sürücülerine örnek verilmektedir.



Şekil 3.5. SINAMICS G120 Asenkron motor sürücülerini.

SINAMICS S, senkron ya da asenkron motor kontrol uygulamaları için tasarlanmış sürücü tipidir. Karmaşık hız, konum ve ivme kontrollerinde kullanılmaktadır. Yüksek hassasiyet ve dinamizm gerektiren bütün görevleri sahip olduğu son teknolojik fonksiyonlar sayesinde kolaylıkla yapabilmektedir. Şekil 3.6'da SINAMICS S120 sürücüne örnek verilmektedir.



Şekil 3.6. SINAMIC S120 Servo motor sürücü.

SINAMICS V, performansı optimize edilmiş ve kullanımı kolay servo sürücü tipidir. SINAMICS V90 servo sürücü sistemi, dinamik harekete odaklanarak bir dizi basit hareket kontrolü görevinin düşük maliyetli ve rahat bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır [27]. Şekil 3.7’de SINAMICS V90 sürücüsüne örnek verilmektedir.



Şekil 3.7. SINAMIC V90 Servo motor sürücü.

3.2.1 SINAMICS S120 Servo Motor Sürücüleri

Siemens firmasının üretmiş olduğu servo motorları en iyi şekilde kontrolleri sağlanabilmesi için Siemens yeni nesil SINAMICS sürücüleri geliştirmiş ve kontrol edilmelerini kolaylaştırmıştır. S120 servo sürücüler ile SIMOTICS S-1FK7 servo motorların kullanıcılar tarafından bütünleşik bir şekilde çalışmalarına olanak sağlamaktadır. SINAMICS Siemens firmasına ait olan Tümlleşik Otomasyon (TIA) yazılımının bir parçası olarak üretilmiştir.

Endüstriyel saha da sıkça karşılaşılan hız, konum ve ivme kontrol problemleri oldukça karmaşık bir yapıdır. Karmaşık hareket kontrol problemlerini çözebilmek için SINAMICS S120 modüler yapıda tasarlanmıştır. Bu sayede kullanıcılar kendi koşullarına göre seçtikleri fonksiyonlarla en iyi çözüme ulaştıran kombinasyonları oluşturabilmektedirler. SINAMICS S120 ile birçok motor tiplerinin kontrollü gerçekleştirilebilmektedir. SINAMICS S120 tüm AC motor tiplerini desteklemektedir [27].

SINAMICS S120 sürücü bağımsız eksenler için üretilmiş bir hız kontrol sistemidir. Endüstride çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bazı uygulamalar aşağıda verilmektedir [27].

- Paketleme makineleri
- Plastik işleme makineleri
- Tekstil makineleri
- Baskı makineleri
- Kağıt makineleri
- Ağaç işleme makineleri
- Vinçler
- Taşıma ve montaj sistemleri
- Makine aletleri
- Haddehaneler
- Robotik uygulamalarda
- Test stantlarında

- Yenilenebilir enerji uygulamalarıyla ilgili makineler
- Otomotiv seri üretim bantlarında
- Hassas kontrolün gerektirdiği uygulamalarda

Siemens SINAMICS S120 servo sürücü bir güç ünitesi ile bir kontrol ünitesinden oluşur. Güç ünitesi PM240 ve kontrol ünitesi SINAMICS CU310-PN üst üste gelecek şekilde montajlanmaktadır ve motor kontrolü için SINAMICS S120 servo motor sürücüsü hazır hale getirilmektedir. Güç ünitesi PM240 (a) ve kontrol ünitesi SINAMICS CU310-PN (b) Şekil 3.8’de verilmektedir.

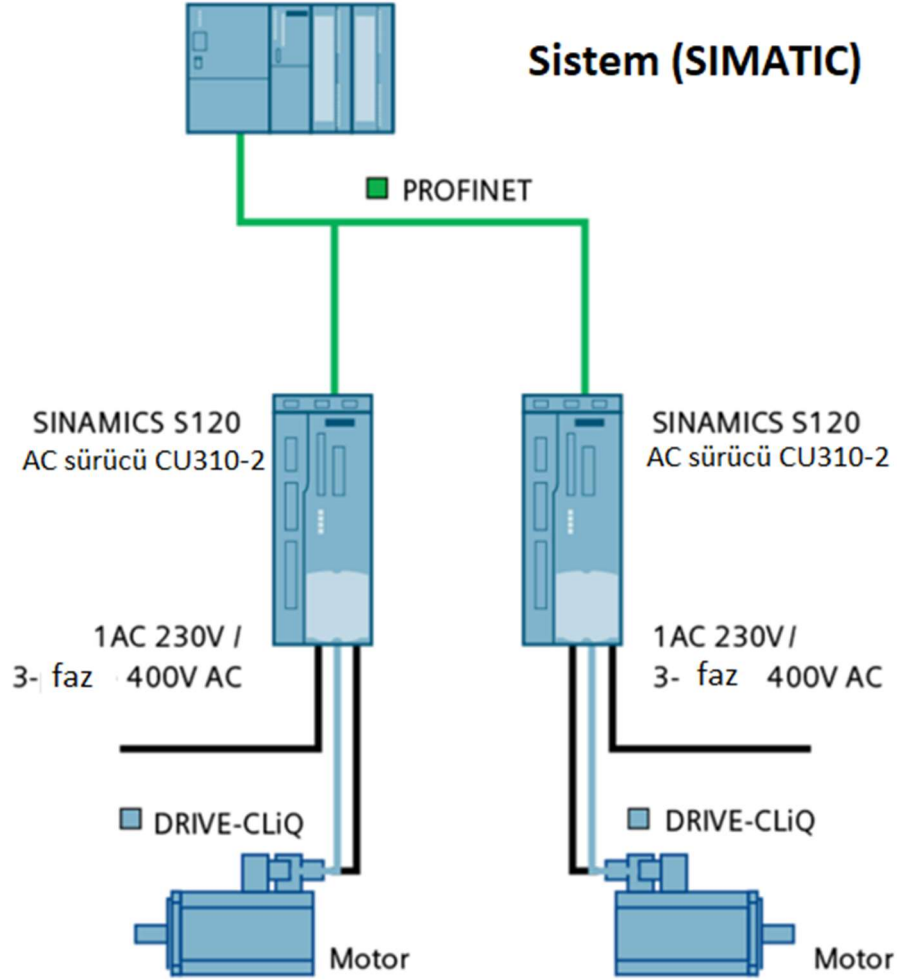


Şekil 3.8. SINAMICS S120 servo motor sürücüsü.

3.2.2 SINAMICS S120 Servo Motor Sürücüsü ile SIMOTICS S-1FK7 Servo Motor Haberleşme Protokolü

SINAMICS S120 tüm bileşenleriyle motorlar ve enkoderler dahil olmak üzere DRIVE-CLiQ arayüzü ile birbirine bağlanmaktadır. Standartlaştırılmış kablolar sayesinde farklı parçaların çeşitliliğinden kaynaklanan karmaşıklığı önler ve

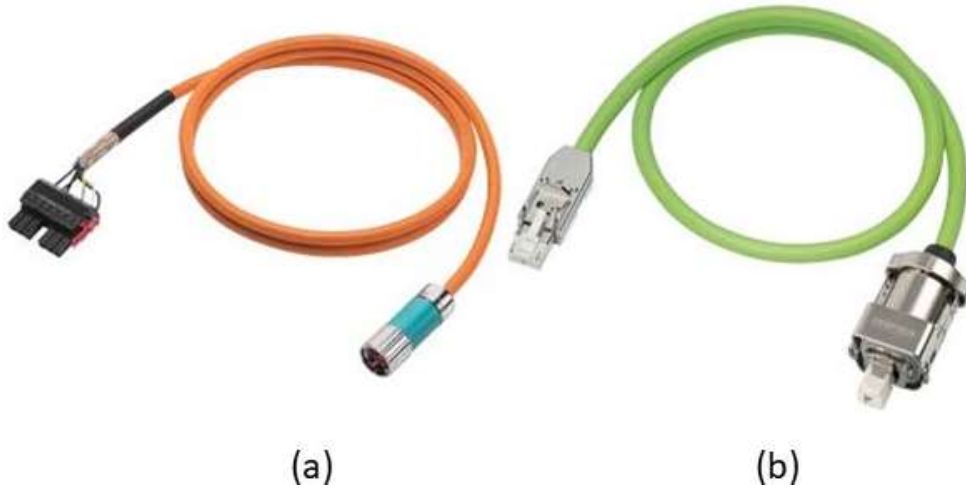
çeşitliliğin azalmasıyla da depolama alanında tasarruf sağlayarak maliyeti azaltmaktadır. Üçüncü taraf motorlar ve güçlendirme uygulamalarında standart enkoder sinyallerini DRIVE-CLiQ'e dönüştürmek için dönüştürücü kartları bulunmaktadır [28]. Şekil 3.10'da SINAMICS S120 servo sürücü ile SIMOTICS S-1FK7 servo motor arasındaki haberleşme protokolüne ait bir görsel verilmektedir.



Şekil 3.9. SINAMICS S120 tek eksen sürücü, SIMOTIC S-1FK7 Servo motor ve PLC arasındaki bağlantı şekli [26].

TIA sisteminin standart fieldbus'ı olan PROFINET tüm SINAMICS S120 modelleri tarafından desteklenmektedir. Bu Ethernet tabanlı veri yolu, kontrol verilerinin IRT veya RT ile PROFINET IO aracılığıyla yüksek hızda değiş tokuş edilmesini sağlamaktadır. PROFINET bilgileri taşımak için standart BT mekanizmalarını (TCP/IP) kullanır. Bu arayüze sahip bir SINAMICS S120 fabrika BT ağlarına kolayca entegre olabilmektedir [29].

SINAMICS S120 servo sürücü ile SIMOTICS S-1FK7 servo motor arasındaki bağlantının yapılabilmesi için MOTION-CONNECT bağlantı sistemi kullanılmaktadır. MOTION-CONNECT kullanıcıların uygulama alanlarına en optimum şekilde uyarlanmış bağlantı sistemlerini ve bileşenlerini içermektedir. Siemens firmasının MOTION-CONNECT kabloları son teknoloji yeni nesil bağlantı sistemlerine sahiptir. Kullanıcılara hızlı ve güvenlik açısından da üst düzey bir bağlantı sistemi sunmaktadır MOTION-CONNECT 500 kablosu güç kablosu ve DRIVE-CLIQ sinyal kablosundan oluşmaktadır. MOTION-CONNECT 500 6FX50025CG101AC0 Güç kablosu (a) ve MOTION-CONNECT 500 DRIVE-CLIQ sinyal kablosu (b) Şekil 3.10'da verilmektedir [29].



Şekil 3.10. MOTION-CONNECT 500 kablosu.

BÖLÜM 4

DOĞRUSAL HAREKET KONTROL SİSTEMLERİ

4.1 DOĞRUSAL HAREKET KONTROL SİSTEMLERİNİN MEKANİK BİLEŞENLERİ

Mekanik dönüştürücüler hareket kontrol sistemlerinin ana öğelerinin başında gelmektedir. Mekanik dönüştürücülerin görevleri hareketi aktarmak, hareketler arasında dönüşümü sağlamak örneğin doğrusal hareketi dairesel harekete çevirmek ve bu hareketin yön tayinini yapmak şeklinde görevleri sayılabilir. Bu bölümde endüstride en çok tercih edilen ve kullanılan mekanik dönüştürücü elemanları hakkında detaylı bilgi verilmektedir [27].

4.1.1 Vidalı Mil

Vidalı mil, uzun bir çubuğun üzerine açılmış vida dişlerine sahip ve bu çubukta çalışan bilye yataklı bir somunun oluşturduğu sistem sayesinde dönme hareketini lineer harekete dönüştüren makine elemanıdır. Somun ile diş açılmış çubuğun arasındaki boşlukta mevcut yataklanan bilyeler sayesinde sürtünme en aza indirilmesi sağlanmıştır [30]. Şekil 4.1’de örnek vidalı mil fotoğrafı gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Vidalı mil görseli [31]

4.1.2 Kayış Kasnak Mekanizmaları

Kayış kasnak mekanizmaları çalışma prensibi hareketi birbirine aktarmayı sağlayan kasnaklara sarılan bir kayışın yardımıyla gerçekleşir. Kayış kasnak mekanizmaları hareketi aktardığı gibi güç ve enerji iletimini de gerçekleştirir [27]. Şekil 4.2.' de kayış kasnak mekanizmasına örnek verilmektedir.



Şekil 4.2. Kayış kasnak mekanizması [32].

Kayış kasnak mekanizmasının basit yapılar tarafından yapılması nedeniyle ucuz olmaları, kayışın esnek bir yapıya sahip olması sebebiyle sönümlenme kabiliyetinin olması, yüksek tork gerekesimi olan sistemlerde kullanılması, sessiz ve verimli çalışması, mekanizmada ısının açığa çıkmaması ve bir emniyet elemanı olarak çalışması başlıca avantajları arasında gösterilir. Sabit çevrim oranının olmaması kayış kasnak arasında meydana gelen kaymalardan ötürüdür. Mekanizmanın düzgün çalışabilmesi için gerdirme işlemi sağlayan düzeneğin kurulması gerekir bunlarda dezavantajları arasında gösterilmektedir [33].

4.1.3 Dişli Mekanizmaları

Dişli mekanizmalar hareket ve güç iletiminde kullanılan makine elemanlarıdır. Üzerinde kendilerine özel profilli girintileri ve çıkıntıları olan çark biçimindeki mekanizmalardır. Kullanım alanları çok geniştir [34].

4.1.3.1 Düz Dişliler

Dişleri eksenine paralel olan ve silindirik şeklindeki dişli çarklardır. İki çark üzerine de

aynı adımda dişler açılmıştır, bu iki dişlinin çevre hızları eşittir ve zıt yönde dönerler. Düz dişli çarklar en çok tercih edilen çarklardır çünkü güç aktarımını en optimum şekilde gerçekleştirmektedirler [34]. Şekil 4.3.' te düz dişli çarklara örnek verilmektedir.



Şekil 4.3. Düz dişli çark [35].

4.1.3.2 Helis Dişliler

Dişleri eksene göre dönük paralel olmayan dişli çarklardır. Büyük kuvvetlerin sessiz aktarımında kullanılmaktadır [34]. Helis dişli çarklara örnek Şekil 4.4.'te verilmektedir.

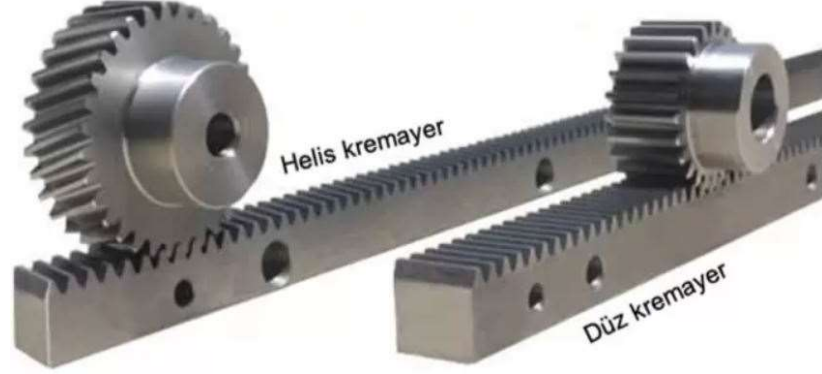


Şekil 4.4. Helis dişli çark [36].

4.1.3.3 Kremayer Dişliler

Kremayer dişli çark, kesiti dikdörtgen, daire veya kare olan üzerine diş açılmış doğrusal çubuklara denir. Robotik uygulamalarda dönen hareketi lineer harekete

dönüştürmek için kullanılmaktadır [34]. Şekil 4.5.' te kremayer dişlilere örnek verilmektedir.



Şekil 4.5. Kremayer dişli çark [35].

4.1.4 Kaplinler

Kaplinler, güç ve hareket aktarımını bir başka sisteme aktarma elemanıdır. Birden fazla mili birbirine bağlayarak bir sistemden diğerine hareketi aynı zamanda momenti de aktarır. Kaplinler rijit kaplin ve elastik kaplin olarak iki sınıfa ayrılırlar. Aynı eksene sahip milleri birleştirmek için kaçıklığı olmayan rijit kaplinler kullanılır. Aynı eksene sahip olmayan millerin birleşimden meydana gelebilecek şoklardan ve titreşimlerden makineyi korumak için esnek kaplin bağlantısı kullanılır [37]. Şekil 4.6.' te kaplinlere örnekler verilmektedir.



Şekil 4.6. Örnek kaplinler [38].

4.2 MEKANİK HESAPLAMALAR

Hareket kontrol sistemlerinde motor tercihi yapılırken sistemin mekanik hesaplamaları motor tercihini doğrudan belirlemektedir. Bu hesaplamalar moment ve atalet momenti terimleridir.

Moment, bir cismi kuvvetin etkisinde döndürme eylemine denir. Moment hesabının yapıldığı denklem Eşitlik 4.1' de verilmektedir. Eşitlik 4.1' de M momenti, F kuvveti ve r kuvvetin sabit noktaya olan uzaklığını ifade eder. F kuvvet birimi Newton (N) ve r uzaklık birimi metredir (m).

$$M = F \cdot r \quad (4.1)$$

Newton' un 2. hareket yasasını kullanarak Eşitlik 4.2 atalet moment denkleminde ulaşılabilir. Burada m cismin kütlesi (kg), a da cismin ivme (m / s^2)'dir. İvme hızın 1. dereceden türevine eşittir.

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (4.2)$$

Çizgisel hızdan açısal hıza geçmek için Eşitlik 4.3 kullanılır. Burada v, çizgisel hız (m/s) ve ω , açısal hız (rad/s)'dir.

$$v = \omega \cdot r \quad (4.3)$$

Denklemlerdeki bu yerine koyma işlemlerinden türetilerek ulaşılan moment denklemini Eşitlik 4.4' de verilmiştir ve burada bulunan m. r^2 ifadesi atalet momenti (J) olarak adlandırılır. Birimi $kg \cdot m^2$ 'dir.

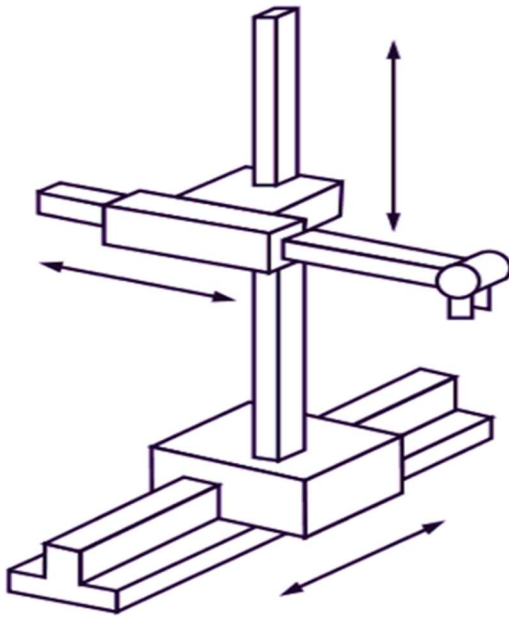
$$M = J \cdot d\omega/dt = m \cdot r^2 \cdot d\omega/dt \quad (4.4)$$

Lineer hareket ataletinin motor miline indirgenmesini veren denklem Eşitlik 4.5 'te verilmektedir.

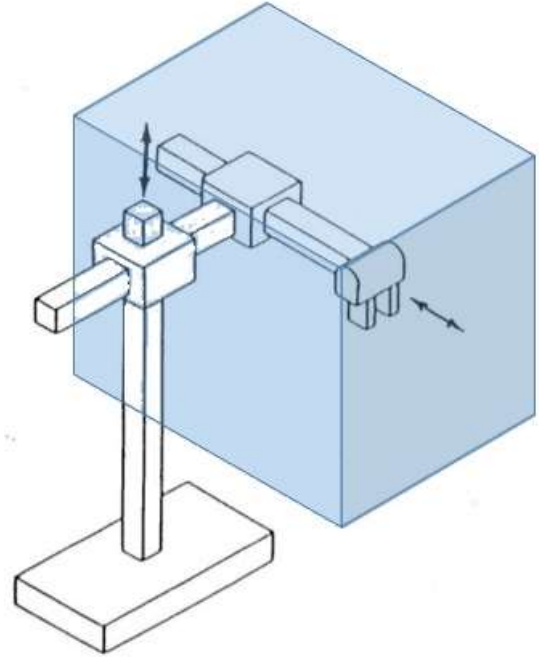
$$J = 91.2. m \frac{v^2}{n^2} \quad (4.5)$$

4.2 ROBOT KOL PRİZMATİK EKSENİN DOĞRUSAL HAREKETİNİN MATEMATİKSEL ANALİZİ

Robotların hareketlerini kontrol edebilmek için hareket analizinin yapılması gerekmektedir. Robot kinematiği ile robotun hız, ivme ve kuvvet analizleri yapılarak hesaplamalar yapılabilmektedir. Robot yapısal olarak birbirine göre bağımsız hareket eden eklemler oluşmaktadır. Robotlar dönme (R ile gösterilmektedir) ve öteleme (P ile gösterilmektedir) hareketlerini gerçekleştirdiği iki tip hareket yapısına sahiptir. Dönme eyleminden meydana gelen yer değiştirmeye eklem açısı denir. Öteleme hareketinden dolayı meydana gelen yer değiştirmeye eklem kayması denir. Prizmatik eklemden oluşan robot Şekil 4.7 'de verilmektedir [39]. Prizmatik eklemlerden oluşan kartezyen robotun çalışma uzayı Şekil 4.8'de verilmektedir.



Şekil 4.7. Prizmatik eklemlerden oluşan robot [40].



Şekil 4.8. Kartezyen robot çalışma uzayı [41].

Bir robotun hareket analizinin yapabilmek için bu robotun dinamiği hakkında verilere sahip olmak gerekmektedir. Robot ileri kinematiği, robot eklemlerinin konum, hız ve

ivmeleri arasındaki bağlantıyla ilgilenmektedir. Eklemlere koordinat sistemi yerleştirilerek iki eklem arasındaki ilişki ${}^{n-1}_nT$ dönüşüm matrisi ile gösterilmektedir. Robotların eklem değişkenlerinin belirlenmesi için en çok tercih edilen yöntem Denavit-Hartenberg yöntemidir ve D-H olarak kısaca gösterilmektedir. D-H yönteminde dört değişkene bağlı kalarak robot kinematiği çıkarılmaktadır. Bu değişkenler, iki eksen arasındaki uzuv uzunluğu a_{i-1} , iki komşu eksen arasındaki eksen açısı α_{i-1} , üst üste çakışan eksenler arasındaki eklem açıklığı d_i ve iki eksen arasında oluşan eklem açısı θ_i 'dir. Çizelge 4.1' de genel D-H değişkenleri tablo halinde verilmektedir [39].

Çizelge 4. 1. D-H değişkenlerinin belirlenmesi.

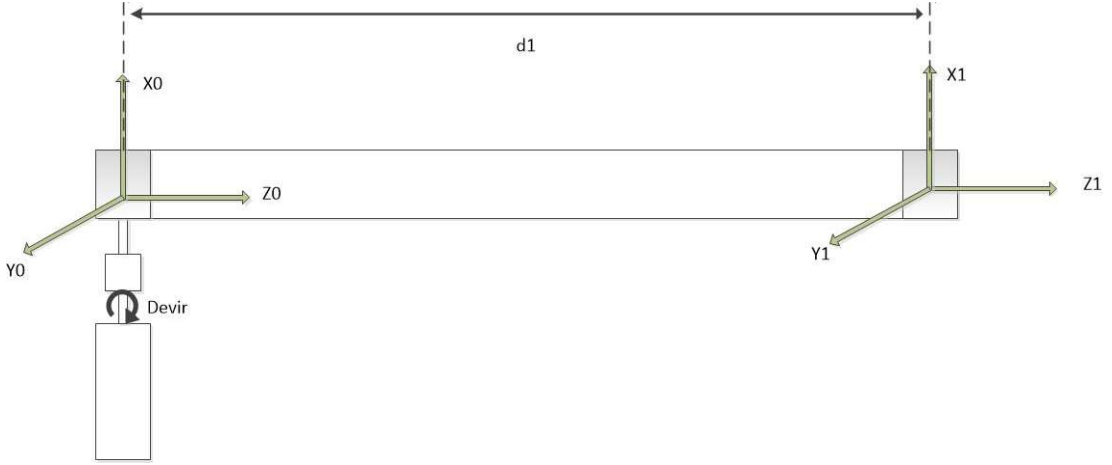
Eksen no	D-H Değişkenleri				i. Eklem değişkeni
i	a_{i-1}	α_{i-1}	d_i	θ_i	d_i veya θ_i
1	a_0	α_0	d_1	θ_1	d_1 veya θ_1
2	a_1	α_1	d_2	θ_2	d_2 veya θ_2

Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi D-H değişkenlerin belirlenmesinden sonra eklemler için genel dönüşüm matrisi kullanılmaktadır. Eşitlik 4.6' da genel dönüşüm matrisi verilmektedir.

$${}^{i-1}_i T = \begin{bmatrix} c\theta_i & -S\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ S\theta_i C\alpha_{i-1} & c\theta_i C\alpha_{i-1} & -S\alpha_{i-1} & -S\alpha_{i-1}d_i \\ S\theta_i S\alpha_{i-1} & c\theta_i S\alpha_{i-1} & C\alpha_{i-1} & C\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Bu tez çalışmasında doğrusal hareket kontrol yapılmaktadır. Robot kollarda prizmatik eksen olarak kullanılabilir. Deney düzeneğinin kinematik hesaplamaları aşağıdaki şekilde adım adım anlatılmıştır. Şekil 4.9'da deney düzeneğinin iki boyutlu hali ve eklemlere koordinat sistemi yerleştirilmiş biçimde verilmektedir. Doğrusal yöndeki herekte miktarı d_1 ile gösterilmektedir. $d_1 = \text{devir.n (mm)}$ olarak verilmektedir.

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi her ekleme koordinat sistemi yerleştirildikten sonra D-H parametreleri belirlenir. Elde ettiğimiz D-H parametreleri Çizelge 4.2 'de bir arada gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Deneysel düzeneğin iki boyutlu gösterilmesi ve eklemlere koordinat sisteminin eklenmesi.

Çizelge 4. 2. Elde edilen D-H tablosu.

i	a_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i	Değişken
1	0	0	d_1	0	d_1

D-H parametrelerini Eşitlik 4.6'daki genel dönüşüm matrisinin yerine koyduğumuzda prizmatik eklem için bir adet dönüşüm matrisi elde edilmektedir. Eşitlik 4.7' i=1 için elde edilen matris gösterilmektedir.

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

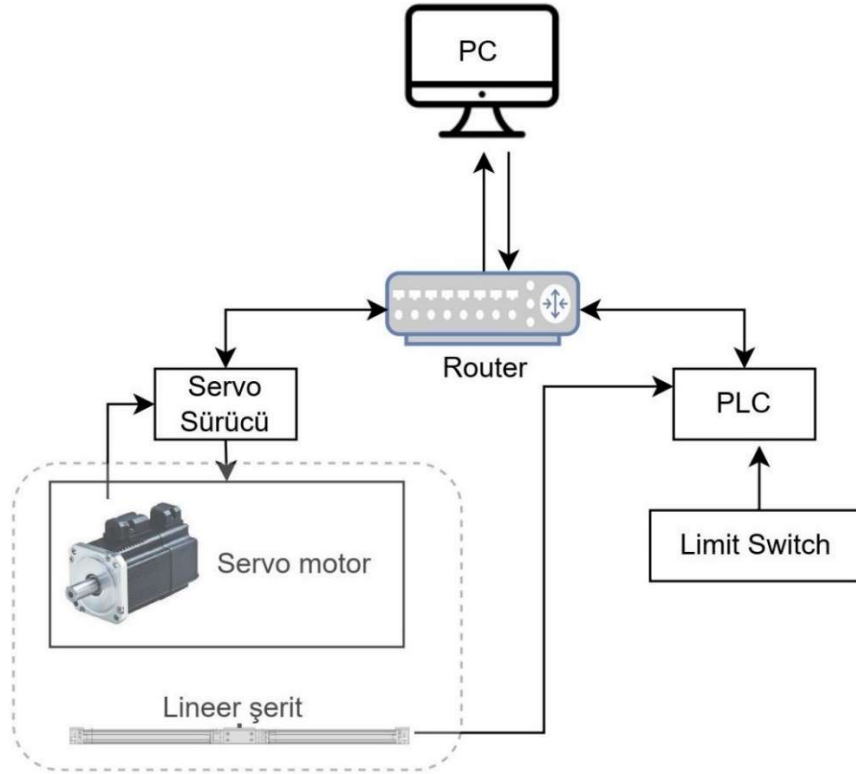
0_1T Dönüşüm matrisi incelendiğinde, prizmatik eklem dönmenin olmadığı sadece Z ekseninde ötelemenin olduğu görülmektedir. Bu ifade en sade haliyle öteleme=devir.n ile gösterilebilir. 1.dereceden bu ifadenin ters kinematiğini hesaplamak istersek devir= $\frac{\text{öteleme}}{n}$ olarak ifade edilir.

BÖLÜM 5

PLC DENETİMLİ YENİ NESİL SERVO SÜRÜCÜNÜN PID İLE DOĞRUSAL EKSEN KONTROLÜNDE KULLANILAN MATERYAL VE METOD

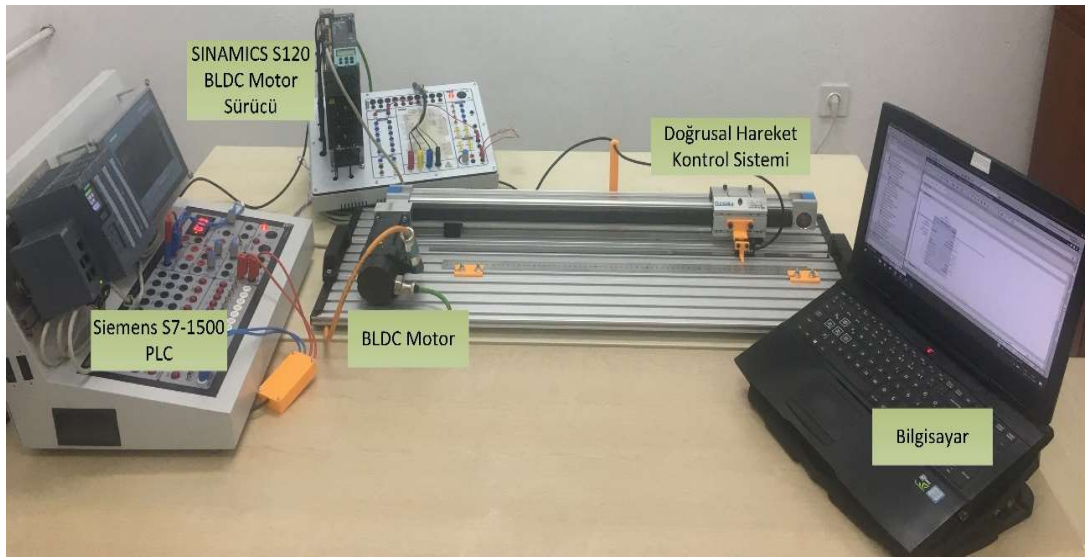
5.1 MATERYAL

Bu bölümde deney düzeneğinin genel bir yapısı ve bu çalışmada kullanılan deney düzeneğini oluşturan her bir materyalin detaylı bir şekilde anlatımı gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan materyaller; yeni nesil servo sürücü, yeni nesil servo motor, programlanabilir mantık denetleyicisi, doğrusal hareket mekanizması, manyetik lineer sensör ve bilgisayardır. Şekil 5.1’de tez için hazırlanan deney düzeneğinin blok şemasında verilmektedir.



Şekil 5.1. Deney düzeneği blok şeması.

Deney düzeneği temelde S7-1500 PLC ile yeni nesil servo sürücünün kontrolü altında servo motoru sürmesi şeklinde çalışmaktadır. S7-1500 PLC'ye manyetik lineer sensörden gelen mesafe bilgisi ile PID algoritması kullanılarak servo motorun ve lineer hareket mekanizmasının denetimi sağlanmaktadır. Hazırlanan deney düzeneği SIMATIC S7-1500 PLC ve SINAMICS S120 servo sürücü etrafında konumlandırılmış servo motor, manyetik lineer sensör ve bilgisayardan oluşmaktadır. Şekil 5.2.' de deney düzeneğinin resmi verilmektedir.



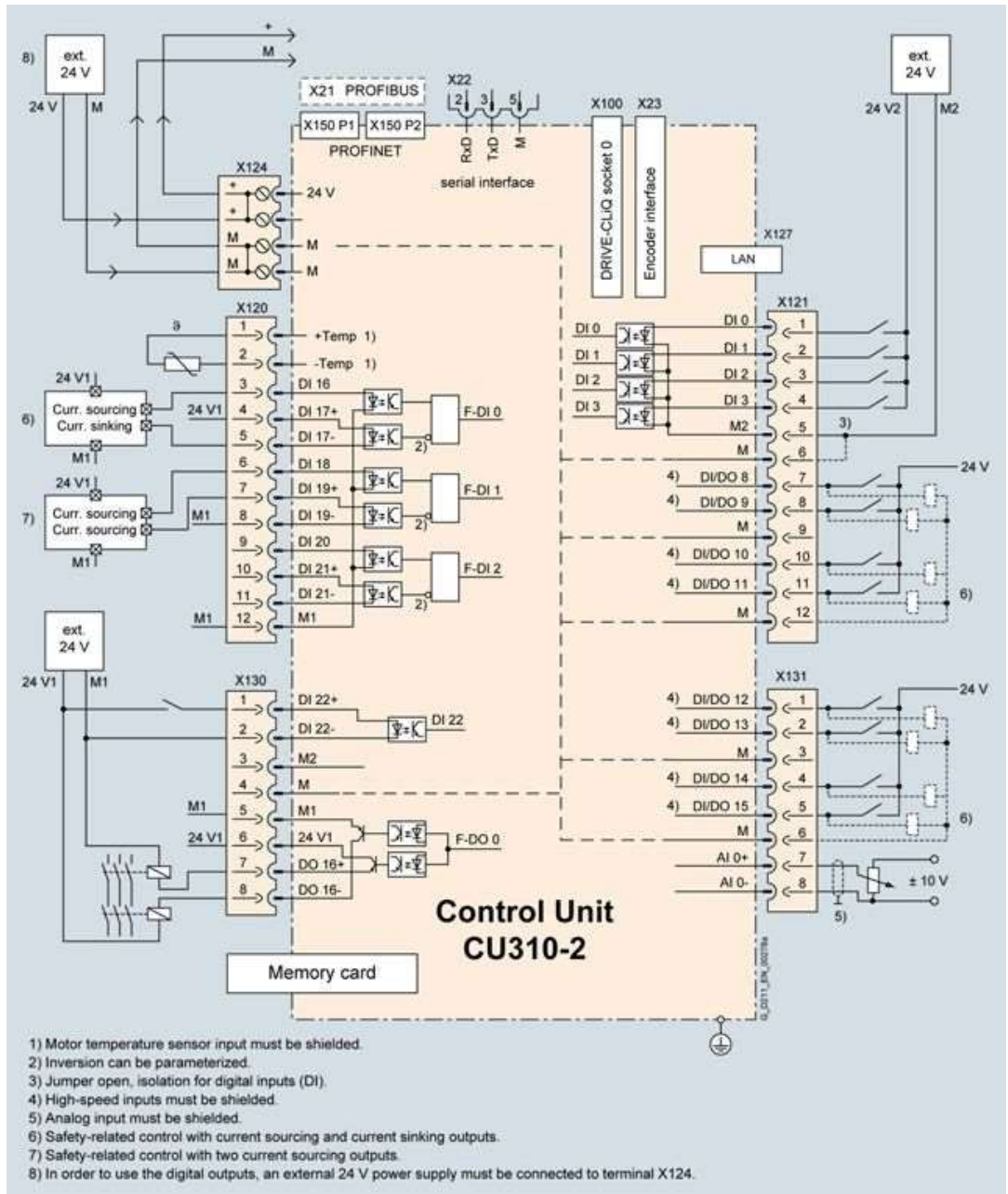
Şekil 5.2. Deney düzeneği.



Şekil 5.3. SINAMICS S120 CU 310 PN Motor Sürücü

Bu tez çalışmasında pazar payı oldukça büyük olan Siemens firmasının son ürünü olan

servo sürücü kullanılmıştır. Siemens firmasının üretmiş olduğu bu yeni nesil servo motor sürücüsü, endüstri için bir sürücüden beklenenleri karşılamanın yanı sıra sürücüler için birçok yeni özellikler getirerek kullanıcıların sistemleri kontrol etmelerini kolaylaştırmış. Bu çalışmada kullanılan SINAMICS S120 CU 310 PN motor sürücüsü Şekil 5.3. 'de verilmektedir. Kullanılan motor sürücüsünün devre şeması Şekil 5.4.'te verilmektedir. SINAMICS S120 CU 310-2 PN Motor Sürücün teknik özellikleri Çizelge 5.1. 'de verilmektedir.



Şekil 5.4. Motor sürücünün devre şeması [26].

Çizelge 5. 1. SINAMICS S120 CU 310-2-PN servo sürücü teknik özellikleri.

Özellik	Açıklamalar
Güç gereksinimi, maks. (24 V DC'de, dijital çıkışları ve DRIVE-CLiQ beslemesini hesaba katmadan)	CU310-2 Kontrol Ünitesi için 0,35 A + Güç Modülü için 0,5 A
İletken kesiti, maks.	2.5 mm ²
Sigorta koruması, maks.	20 A
Dijital girişler	-5 izole dijital giriş -8 çift yönlü izole edilmemiş dijital giriş/dijital çıkış -3 parametrelenebilir, arıza emniyetli dijital giriş (izole) veya alternatif olarak 6 parametrelenebilir dijital giriş (izole)
Voltaj	-3...+30 V
24 V DC'de akım tüketimi, tipi	10 mA
Dijital çıkışlar (Sürekli kısa devreye dayanıklı)	8 çift yönlü izole edilmemiş dijital giriş/dijital çıkış
Voltaj	24 V DC
Analog giriş	Akım veya voltaj girişi için 1 analog giriş, değiştirilebilir
Ortak mod aralığı	±12 V
Voltaj girişi olarak	-10 ... +10 V; Ri > 100 Ω Çözünürlük: 12 bit + işareti (çözülebilecek maksimum aralığı ifade eder -11 ... +11 V)
Enkoder değerlendirme	-Artımlı kodlayıcı TTL/HTL -Artımlı sinyalleri olmayan SSI kodlayıcılar
Enkoder besleme	24 V DC / 0.35 A veya 5 V DC / 0.35 A
Enkoder frekansı, maks.	300 kHz
Boyutlar	Genişlik: 73 mm Yükseklik: 191 mm Derinlik : 75 mm
Ağırlık	0.95 kg

5.1.3 Yeni Nesil Servo Motor

Bu tez çalışmasında Siemens firmasının son ürünü olan SIMOTICS S-1FK7 servo motor kullanılmıştır. Siemens firmasının üretmiş olduğu bu yeni nesil servo motor endüstriyel alanda geniş kullanım yelpazesine ve dinamik ve kompakt bir yapıya sahiptir. S120 optimum bağlantı için elektronik tip plakalı Dijital DRIVE-CLiQ ara yüzüne sahip bu sayede motor sürücüsü ile kontrol edilmeleri kolay bir hale gelmektedir. Bu çalışmada kullanılan SIMOTICS S-1FK7 servo motor Şekil 5.5 'de verilmektedir.



Şekil 5.5. SIMOTICS S-1FK7 servo motor.

Bu çalışmada kullanılan SIMOTICS S-1FK7 servo motorun teknik özellikleri Çizelge 5.2’de verilmektedir.

Çizelge 5. 2. SIMOTICS S-1FK7 servo motorun teknik özellikleri.

Özellikler	Açıklamalar
Motor Tipi	Kalıcı mıknatıslı senkron motor
Şaft yüksekliği	36 mm
Soğutma	Doğal soğutma
Koruma derecesi	IP64
Sıcaklık izleme	Pt1000 sıcaklık sensörü
Mil uzantısı	Düz mil
Enkoder sistemi	Enkoder AS20DQI: mutlak kodlayıcı tek dönüşlü 20 bit
Optimum hız	3000 rpm
Optimum güç	0.3 kW
Maksimum tork	4.5 Nm
Kutup sayısı	6
Nominal tork (100 K)	1.0 Nm
Anma akımı	1.6 A
Eylemsizlik momenti	0.650 kgcm ²
Motorun net ağırlığı	2,7 kg

5.1.4 Programlanabilir Mantık Denetleyicisi

Bu tez çalışmasında programlanabilir mantık denetleyici olarak Siemens Simatic S7 – 1500 serisinin CPU 1512C-1 PN versiyonu kullanılmıştır. Bu PLC’ nin programlanabilmesi içinde Siemens firmasına ait TIA PORTAL V16 programı kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan Siemens S7 – 1500 PLC Şekil 5.6. ‘da verilmektedir.



Şekil 5.6. Siemens Simatic S7 – 1500 CPU 1512C-1 PN.

Bu çalışmada kullanılan Siemens Simatic S7 – 1500 PLC’ ye ait teknik özellikler Çizelge 5.3.’te verilmektedir.

Çizelge 5. 3. Siemens Simatic S7 – 1500 CPU 1512C-1 PN teknik özellikleri.

Özellikler	Açıklamalar
Genel Bilgiler Ürün tipi tanımı Yazılım sürümü	CPU 1512C-1 PN V2.9
İle mühendislik STEP 7 TIA Portal, sürümden yapılandırılabilir/tümleşik	V17 (FW V2.9) / V15 (FW V2.5) veya üstü; 6ES7512-1CK00-0AB0 olarak yapılandırılabilen eski TIA Portal sürümleriyle
Görüntülemek	3.45 cm

Ekran köşegeni [cm]	
Kontrol elemanları	
Anahtar sayısı	- 8
Mod düğmeleri	- 2
Besleme gerilimi	
Nominal değer (DC)	- 24 V
İzin verilen aralık, alt limit (DC)	- 19.2 V; 20,4 V DC, dijital girişleri/çıkışları beslemek için
İzin verilen aralık, üst limit (DC)	- 28.8 V
Giriş Akımı	
Akım tüketimi (nominal değer)	- 0,8 A; Yüksüz; 18.8 A: CPU + yük
Akım tüketimi, maks.	- 1 A; Yüksüz; 19 A: CPU + yük
Kalkış akımı, maks.	- 1.9A; anma değeri
Çıkış Voltajı / Başlık	
Nominal değer (DC)	24 V
Enkoder kaynağı	
Çıkış sayısı	2; 16 dijital giriş başına bir ortak 24 V kodlayıcı beslemesi
Güç	10 W
Dijital Giriş Sayısı	32
Dijital Çıkış Sayısı	32
Analog Giriş Sayısı	5; 4x for U/I, 1x for R/RTD
Analog Çıkış Sayısı	2
Arayüzler	
PROFINET arabirimlerinin sayısı	1
Boyutlar	
Genişlik	110 mm
Yükseklik	147 mm
Derinlik	129 mm
Ağırlık	1360 g

Elektrik kontrol sistemleri büyük oranda rölelere dayanmaktadır. Bu sistemlerde röleler kontrol edilerek çeşitli cihazların açma kapama işlemleri gerçekleştirilir. Röleler kullanılarak basit görevler yapabilmek için dahi oldukça kafa karıştırıcı bir kablolama yapmak gerekmektedir. Günümüzde PLC' nin gelişmesiyle birlikte çok karmaşık görevler çok daha az kablolama ile daha güvenilir ve düşük maliyetlere kolaylıkla yapılabilmektedir. İlk ticari PLC MODICON şirketi tarafından 1968 yılında geliştirilmiştir. Daha sonra Allen Bradley, General Electric, Siemens, Westinghouse, Omron, Mitsubishi ve Delta gibi şirketler tarafından daha düşük maliyetli ancak daha yüksek performanslı PLC' ler üretilmiştir [42].

PLC, birbirine bağlı sensörlerden veya giriş cihazlarından bilgi alır, verileri işler ve önceden programlanmış parametrelere dayalı olarak çıkışları tetikler. PLC giriş ve çıkışlara bağlı olarak, makine parça üretim sayısı, çalışma sıcaklığı ve çalışma süresi gibi çeşitli verileri izleyebilir, kaydedebilir, süreçleri otomatik olarak başlatabilir ve durdurabilmektedir. Sistemdeki bir makine arızalanırsa alarm oluşturabilir ve daha fazlasını yapabilmektedir. PLC, hemen hemen her sektöre uyarlanabilen esnek ve

sağlam bir kontrol çözümdür. PLC sistemleri sıklıkla robotik uygulamalar, endüstriyel otomasyon ve kontrol, bina otomasyonu, güneş takip sistemi vb. alanlarda kullanılmaktadır.

PLC içerisinde RAM, giriş-çıkış arabirimleri, mikro işlemci, EEPROM hafıza birimi ve diğer yardımcı birimler bulunmaktadır. PLC de toplama, çıkarma, çarpma, bölme artırma ve PID gibi matematiksel işlemler yapılabilmektedir. PLC içerisine program yazarken programlama türleri merdiven diyagramı (ladder), fonksiyon blok diyagramı (FDB), komut listesi (IL) ve yapılandırılmış kontrol dili (SCL) kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında merdiven diyagramı programlama türü kullanılmıştır.

5.1.5 Doğrusal Hareket Mekanizması

Bu tez çalışmasında Türkiye’ de deney düzeneklerinin hazırlanmasıyla alakalı çok geniş bir pazar yelpazesine sahip olan FESTO firmasının dişli kayış eksenli EGC-TB kullanılmıştır. Ağır hizmet tipi dişli kayış eksenli EGC-TB, maksimum sertlik ve yük taşıma kapasitesi için benzersiz, optimize edilmiş bir kesite sahiptir. Bu dinamik lineer tahrik, büyük yüklerde ve uzun stoklarda bile yüksek hızlara ulaşabilir. Bu çalışmada kullanılan FESTO dişli kayış eksenli Şekil 5.7 ‘de verilmektedir. Bu çalışmada kullanılan FESTO dişli kayış eksenine ait teknik özellikler Çizelge 5.4.’te verilmektedir.



Şekil 5.7. FESTO Dişli kayış eksenli EGC-TB [43].

Çizelge 5. 4. FESTO Dişli kayış eksenini EGC-TB teknik özellikleri.

Özellikler	Açıklamalar
Çalışma Stroğu (mm)	50 ... 8500
Maks. itme kuvveti Fx [N]	350
Maks. tahrik torku [Nm]	5
Maks. hız [m/s]	5
Maks. ivme [m/s ²]	50
Adım [mm]	3
Uzama [%]	0,24
İlerleme boyu (mesafesi) [mm/dev.]	90

Bu deney düzeneğinde kullanılan doğrusal hareket mekanizması, yüksek hızlarda çalışabilmesi için bir eksen, yüksek yükler ve torklar için bilyalı rulman kılavuzu, Opsiyonel olarak bir veya iki uçta kenetleme ünitesi ve optimize edilmiş sağlamlığa sahip profil olarak kullanılmaktadır.

5.1.6 Manyetik Linear Sensör

Manyetik enkoder doğrusal ve açısal ölçümlerinde konum ve pozisyon belirlemede hassas ölçümler için kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında LİMPOTEK manyetik enkoder MS5 kullanılmıştır. Manyetik sensör, enkoder mantığı ile manyetik bant ve manyetik halka çember bant üzerinden temassız okuma yaparak pulse üretir ve pozisyonu belirli makine ve proses gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmış standart veya özel PLC uygulamalarda kullanılmaktadır. Kullanılacak manyetik sensörler IP67 koruma özelliği ile sudan, yağdan, tozdan ve kirli ortamdan etkilenmez ve uzun süreli sağlıklı bir kullanım olanağı sağlamaktadır. Deney düzeneğinde kullanılan manyetik lineer sensör Şekil 5.8. 'de verilmektedir.



Şekil 5.8. Manyetik encoder sensor ve manyetik şerit [44].

Bu çalışmada kullanılan Manyetik encoder sensöre ait teknik özellikler Çizelge 5.5.'te verilmektedir.

Çizelge 5. 5. Manyetik encoder sensörün teknik özellikleri.

Özellikler	Açıklamalar
Güç kaynağı voltaj	DC 5 - 28V
Çözünürlük	0.005 & 0.1mm
Sistem hassasiyeti	$\pm(0.025 + 0.02*L)$ mm
Manyetik cetvel kutup aralığı	5mm + 5mm
Sensör bant okuma aralığı	0.8mm 2.5mm
Enerji tüketimi	<50mA
Akım çıkışı	MAX+50mA
Çıkış modu (ABZ kare dalga sinyali)	PP çekme-itme / RS422 hat sürücü
Kablo uzunluğu	2m 30m
Ölçme hızı	100 KHz
Koruma derecesi	IP67
Çalışma derecesi	-10°C + 55°C
Dış yapısı	Siyah alüminyum
Uyarı sistemi	LED göstergeli

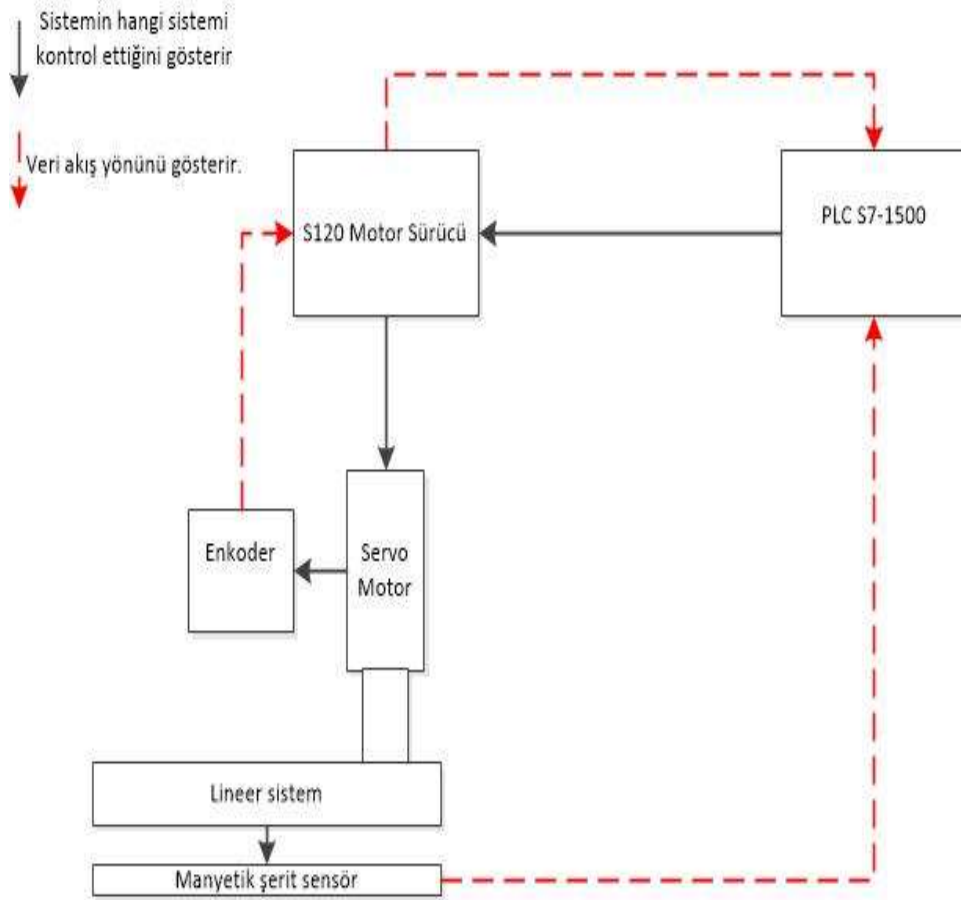
5.1.7 Bilgisayar

Bu tez çalışmasında, PLC'nin programlanabilmesi için MONSTER Abra A5 dizüstü bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayarda Intel® Kaby Lake Core™ i7-7700HQ işletim sistemi bulunmaktadır, 4GB GDDR5 nVIDIA® GeForce® GTX1050 ekran kartı ve 8GB DDR4L RAM özelliklerine sahiptir. Bu özellikler sayesinde programla yapılırken çok hızlı çalışma ortamı sunmaktadır.

5.2 METOT

Bu çalışmada, S7-1500 PLC ekipmanı kullanılarak, yeni nesil servo sürücünün PID ile

doğrusal eksen kontrolü gerçekleştirilmiştir. PLC ekipmanı, motor sürücü ve manyetik şerit sensörden aldığı verileri işleyerek sistemin çalışmasını kontrol etmektedir. Motor sürücü ekipmanı PLC'den aldığı kontrol verileri ve servo motorun enkoder ile paylaştığı verileri toplayarak, servo motorun çalışmasını kontrol etmektedir. Servo motor ekipmanı lineer sistemi kontrol ederek sistemin çalışmasına olanak sağlar. Ayrıca manyetik şerit sensör lineer sistemdeki mesafeyi kontrol ederek PLC'ye bilgiyi aktarır. Şekil 5.9' da kullanılan ekipmanların çalışma şeması verilmiştir.

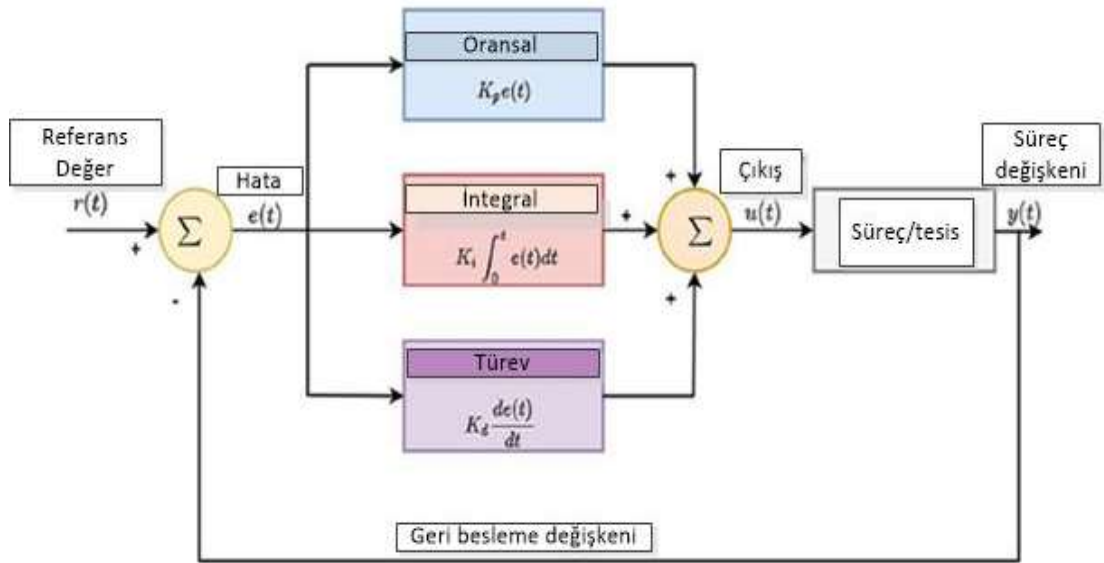


Şekil 5.9. Deney setinde kullanılan ekipmanların çalışma prensibini anlatan çalışma şeması.

5.2.1 PID

PID denetleyici, otomatik kontrol alanında uzun bir geçmişe sahiptir. James Watt'ın 1769'da buhar motoru ve regülatörü geliştirdi ve bu ilk negatif geri besleme cihazı olarak kabul edilmiştir. 1868'de J. C. Maxwell, buhar motorunun bir regülatör kontrolü

için matematiksel bir model formül elde etmiştir [45]. Maxwell, gerçek düzenleyicileri hem orantısal hem de integral kontrol eylemlerine sahip kontrolörler olarak tanımlamaktadır. Nicolas Minorsky, hatanın türevi, mevcut değişim oranı için teorik bir çalışma ortaya koymuştur. Elmer Sperry, 1911'de ABD Donanması için ilk PID kontrol cihazını geliştirmiştir. Bununla birlikte, 1939'da Taylor Instrument Companies, "Fulscope" pnömatik kontrolörlerinin tamamen revize edilmiş bir versiyonunu yayınlamıştır. Bu yeni cihaz, orantılı ve sıfırlama kontrol eylemleriyle birlikte "ön eylem" adı verilen bir eylem geliştirmiştir. Benzer şekilde Foxboro Instrument Company, aynı yıl "Stabilog" adlı pnömatik kontrolörünü tanıtırken, orantısal ve sıfırlama eylemi ile "Hyper-reset" terimini ortaya koymuştur. Hem "Ön işlem" hem de "Hiper-sıfırlama", hata sinyalinin türeviyle orantılı bir kontrol sağlamıştır. Buna uygun olarak, sıfırlama ("kayan" olarak da bilinir), hata sinyalinin integrali ile orantılı bir eylem sunmaktadır [46]. Bu iki aktivitenin sonucu, her iki kontrolöre de PID kontrolü sunulmasıydı. Orantısal denetleyicideki sabit durum hatası sorunu, hata sıfır olana kadar noktanın keyfi bir değere ayarlanmasıyla en aza indirmiştir [46]. Şekil 5.10'da PID kontrolü, orantısal, integral ve türev olmak üzere üç mod algoritması kullanır. Oransal kazanç K_p , integral kazanç K_i ve türevsel kazanç K_d en iyi sonuç verecek şekilde bu parametrelerin ayarlanması için geliştirilen metotlar kullanılır.



Şekil 5.10. PID kontrolörün blok şeması.

1940 yılında Taylor enstrüman şirketleri tarafından türev eylemli ilk pnömatik kontrolör geliştirilmiştir. Ancak mühendisler, Ziegler ve Nichols PID kontrolörlerinin parametrelerini ayarlama metodu geliştirene kadar uygun PID kontrolörlerinin parametrelerini belirleyememişlerdir. Otomatik PID kontrolörleri, 1950'lerin ortalarında endüstriyel kullanım için yaygın olarak kullanılmıştır [47]. Ayrıca Akıllı PID ve PID tabanlı kontrol stratejileri, bulanık PID, Optimal PID kontrolör tasarımı, uyarlanabilir PID kontrolü ve kesirli sıralı PID çalışmaları ortaya çıkmıştır [46].

3 temel denetim etkisinin bir arada kullanılmasıyla PID denetim oluşur. Oransal, integral ve türevin zamana bağlı değişimlerini matematiksel olarak ifade eden Eşitlik 5.1.' de verilmektedir.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (5.1)$$

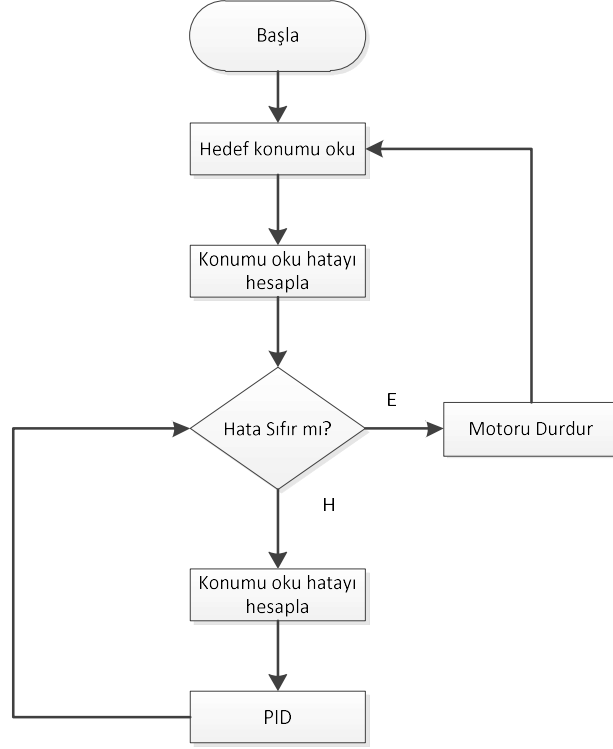
Bu denklemden sistemin transfer fonksiyonu Eşitlik 5.2.' de olduğu gibi hesaplanır.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (5.2)$$

Oransal kontrol modu (K_p), kontrolcü çıkışını hataya orantılı olarak değiştirir. Kontrolcünün integral modu (K_i), hatayı sıfırlayacak şekilde kontrolcü çıkışını sürekli azaltıp artırarak düzeltme işlemi yapar ve belirli bir süre sonunda integral modu hatayı sıfırlar. Türev modu (K_d), hata değişimine göre hareket eder hatanın artış hızına göre çıkış verir ve büyük bir hata oluşmadan düzeltme yapar [48].

İntegral terimi, süreç değişkenini zaman içinde inceler ve süreç değişkeninden ofseti azaltarak çıktıyı düzeltir. Türev kontrol modu, proses değişkeninin değişim oranını izler ve bu nedenle olağandışı varyasyonlar olduğunda çıktıyı değiştirir. Kullanıcı, süreçten istenen performansı elde etmek için üç kontrol fonksiyonunun her bir parametresini ayarlar. PID kontrolörler basit yapıları, kolay uygulama ve bakımları nedeniyle hidrolik – pnömatik kontroller, hareket kontrolü, proses kontrolü, güç elektroniği ve imalat endüstrilerinde vb. en yaygın kullanılan kontrolörlerdir [49].

Bu çalışmada yöntem olarak PID kontrolör kullanılmıştır. PID kontrolörün deney düzeneğindeki çalışma prensibi anlatan sistemin akış diyagramı Şekil 5.11’ de verilmektedir.



Şekil 5.11. Deney düzeneğinin de PID kontrolörün en temel çalışma prensibini anlatan akış diyagramı.

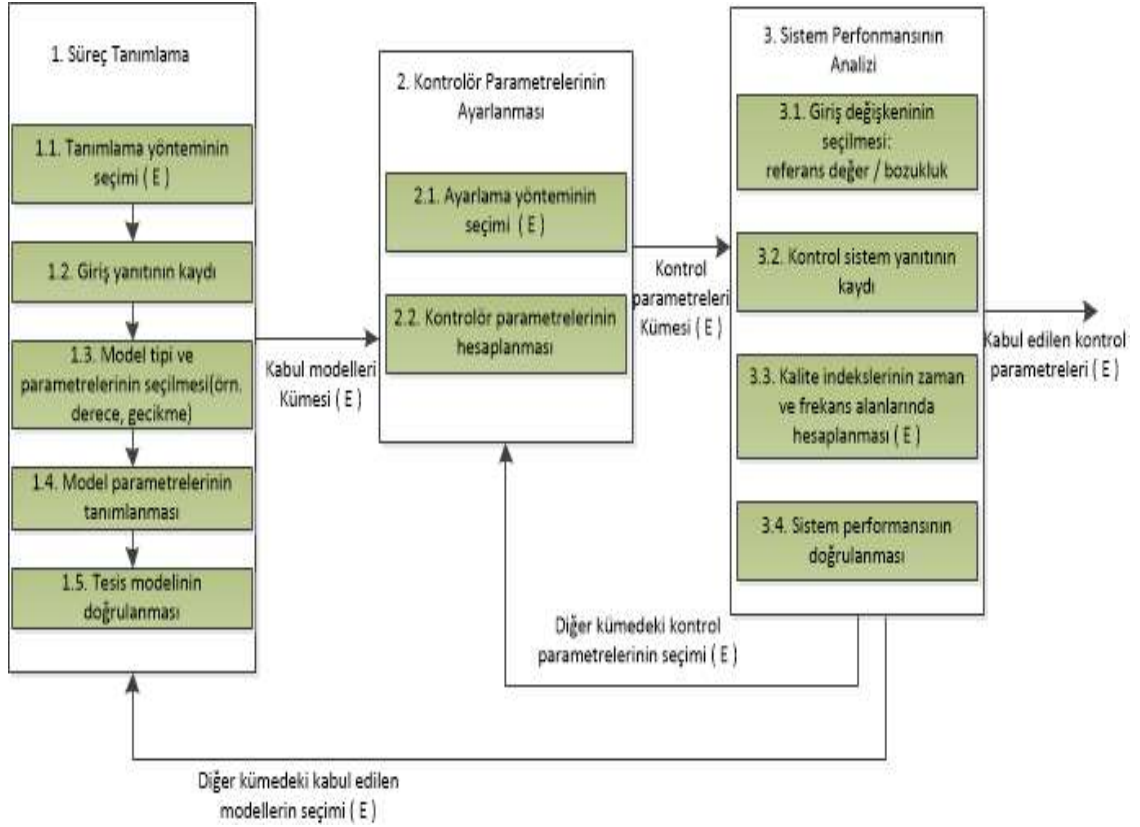
5.2.2 PLC Tabanlı PID

Teknolojideki tüm ilerlemelere rağmen, PID (orantılı-integral-türev) kontrol yöntemi kullanılan en popüler kontrol yöntemi olmaya devam etmektedir. PID kontrolör parametrelerini belirlemek için genellikle bir mühendisin deneyimlerine dayalı olarak Ziegler-Nichols veya Cohen-Coon gibi bazı metotlar seçilir [50] , [51]. Günümüzde, küçük ve orta ölçekli üretim hatlarının çoğu, kullanıcının basit tek döngü kontrol sistemini ve daha karmaşık yapıları oluşturmasına olanak tanıyan PLC tarafından kontrol edilmektedir. Otomasyon sisteminin doğru çalışmasını sağlayan ana konu, kontrolör parametrelerinin doğru ayarlanmasıdır. Süreç değişkenlerinin hedeflenen çıktı sonuçlarına ulaşabilmek için hata oranını en aza indirmeye ve dolayısıyla enerji ve malzeme kayıplarından dolayı süreç maliyetini düşürmeye izin vermektedir [52].

Pek çok pratik durumda, kişinin kendi ayar kurallarını geliştirmesi imkansızdır. PLC kontrolörlerinin popülaritesi kontrolör ayarlaması sırasında kullanıcıyı destekleyen uygun araçların uygulanması ihtiyacına olanak sağlamaktadır. Son zamanlarda, otomasyon sistemi üreticileri, röle veya alan otomatik ayarlama yöntemlerine dayalı özel algoritmalar kullanarak PLC' ler de uygulanan PID kontrolörlerinin otomatik ayarlanmasına izin veren gelişmiş yazılım araçları geliştirmektedir [53].

PID ayarını kolaylaştıran bu tür modüllere örnek olarak TIA Portal (Siemens), Automation Studio (B&R) veya TwinCAT (Beckhoff) yazılımları verilebilmektedir. Ancak uygulanan yöntemler, belirli performans indeksleri açısından hatanın karesinin integrali veya mutlak hata değerinin integrali kontrol sisteminin tasarlanmasına izin vermemektedir [54]. Bu tasarlanmaya izin veren çoğu uygulamada (ör. MATLAB/Simulink, LabVIEW), özellikle PLC ile iletişim kurmak için ek yazılımın gerekli olduğu endüstriyel ortamlarda sistem daha da karmaşık bir hal almasına neden olmaktadır. Bu öncüllere dayanarak endüstriyel ortamda uygun yöntemin seçimi çok karmaşık ve zaman alıcı olabilmektedir. Bu nedenle, çok çeşitli yöntemleri test etme, karşılaştırma ve kullanma olasılığı çok azalmaktadır [52]. Bu gerçekler doğrultusunda yukarıda belirtilen tüm gereksinimleri karşılamak için PLC-PID Tuner uygulaması oluşturulmuştur. PLC-PID Tuner uygulaması ile Simatic S7 1200/1500 kontrolörleri kullanarak gerçek proses verileri toplama, PID kontrolör parametrelerinin farklı yöntemlerle ayarlanması, kontrol sisteminin çeşitli performans indeksleri kullanılarak zaman ve frekans alanlarında doğrulama yapılabilmektedir [52].

PLC-PID Tuner, açık ve ücretsiz standartları temel alır. PLC ile uygulama arasında bağlantı kurmak için yerel ağ bağlantısı (LAN) ara yüzlü PC bilgisayar ve Windows sistem gereklidir. Uygulama, Siemens SIMATIC S7 ürün serisinde nispeten yeni ürünler olan SIMATIC S7-1200 ve S7-1500 kontrolörlerinde uygulanan PID_Compact fonksiyon bloğunun ayarlanmasına izin vermektedir. PLC ve PLC-PID Tuner arasındaki bağlantı, GPL ve LGPL lisansları altında ücretsiz bir yazılım olan LIBNODEAVE 1 veri değişim kitaplığı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. PLC-PID Tuner kullanarak PLC ayarlama işlemi prosedürü Şekil 5.12'te verilmektedir [52].

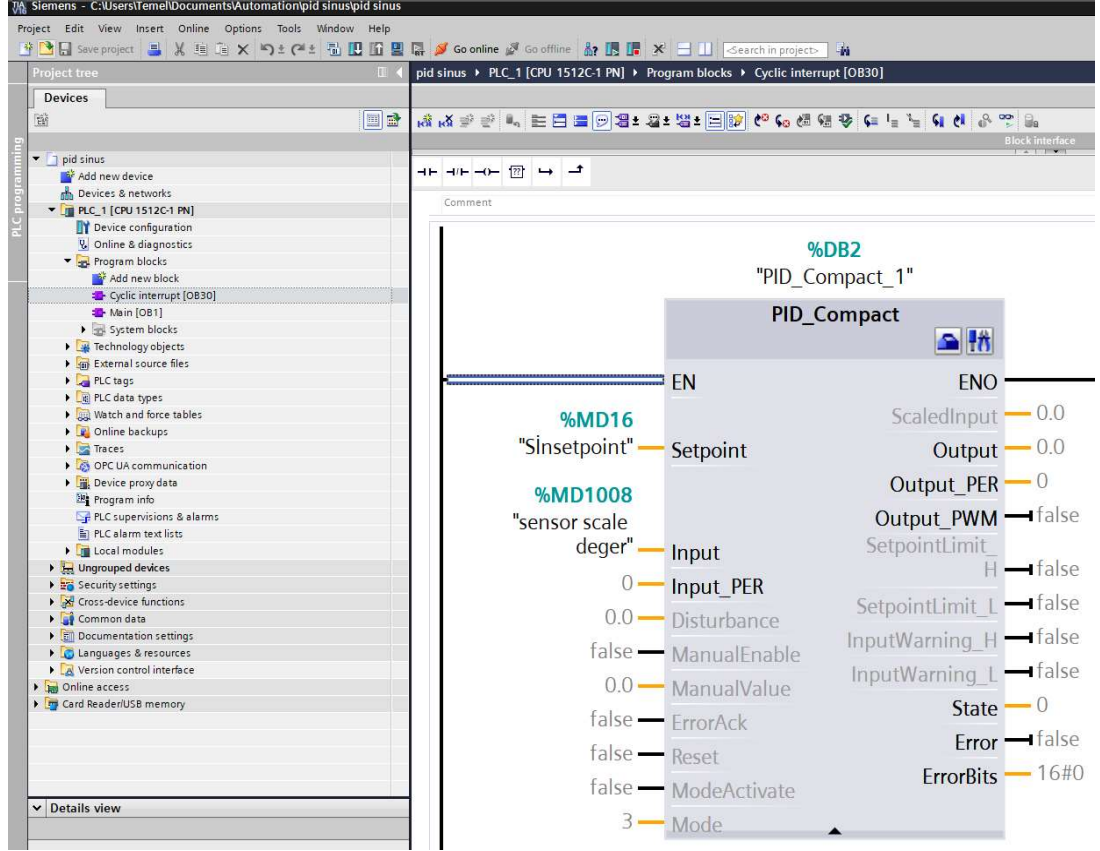


Şekil 5.12. PLC-PID Tuner kullanarak PLC ayarlama işlemi prosedürü.

PLC-PID Tuner uygulaması, MS Visual Studio Express 2013 ortamı kullanılarak nesne yönelimli bir C# programlama dilinde gerçekleştirilmiştir. Standartlaştırılmış, ayrı DLL kitaplıklarında tanımlama yöntemleri, ayarlama yöntemleri ve performans endeksleri uygulayarak PLC-PID Tuner işlevselliğini genişletme olasıdır. Bu tür bir yaklaşım, kontrollü endüstriyel prosesin uzman bilgisine dayalı olarak uygulamanın kullanıcı ihtiyaçlarına göre ayarlanmasına izin vermektedir. PID kontrolör parametrelerinin daha kesin olarak seçilmesini sağlar. Kontrolör parametrelerini değiştirerek ve ardından kontrol sistemi yanıtını doğrularak, kullanıcı özelliklerini kontrol hedeflerini karşılayacak şekilde ayarlayabilmektedir. Ayrıca, yerleşik simülasyon, gerçek süreçle gerçekleştirilen maliyetli deneylere gerek kalmadan tasarlanan kontrol sisteminin doğrulanmasına yardımcı olmaktadır [52].

Bu tez çalışmasında PLC denetimli yeni nesil servo sürücünün PID ile doğrusal eksen kontrolü, PLC-PID Tuner kullanılarak PID algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Siemens firmasına ait TIA Portal programı kullanılarak bu kontrol sağlanmıştır. TIA

Portal programında PID algoritmasını kullanabilmek için öncelikle proje ağacından teknoloji objenin altında yer alan PID_Compact fonksiyonu oluşturulur. Oluşturulan PID_Compact fonksiyonu program blok ağacı içinde Şekil 5.13'te verilmektedir.

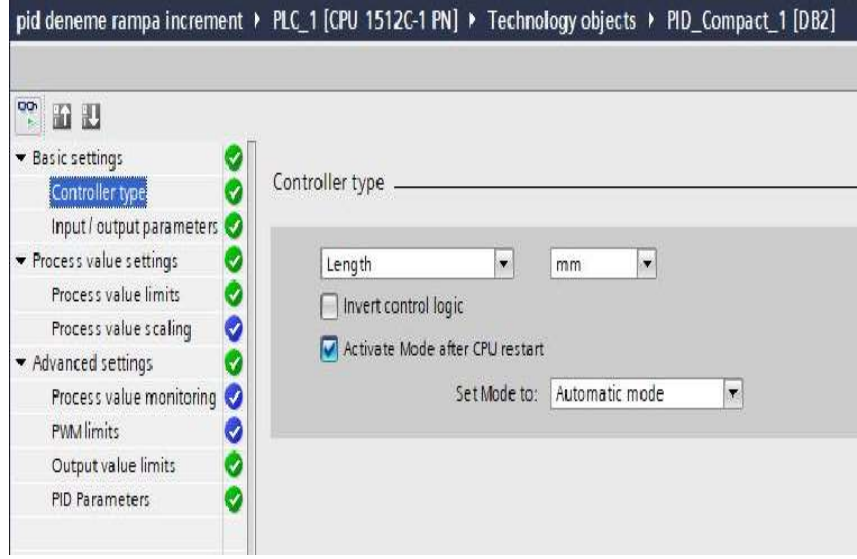


Şekil 5.13. TIA Portal' da PID_Compact fonksiyonunun program bloğu içindeki görünümü.

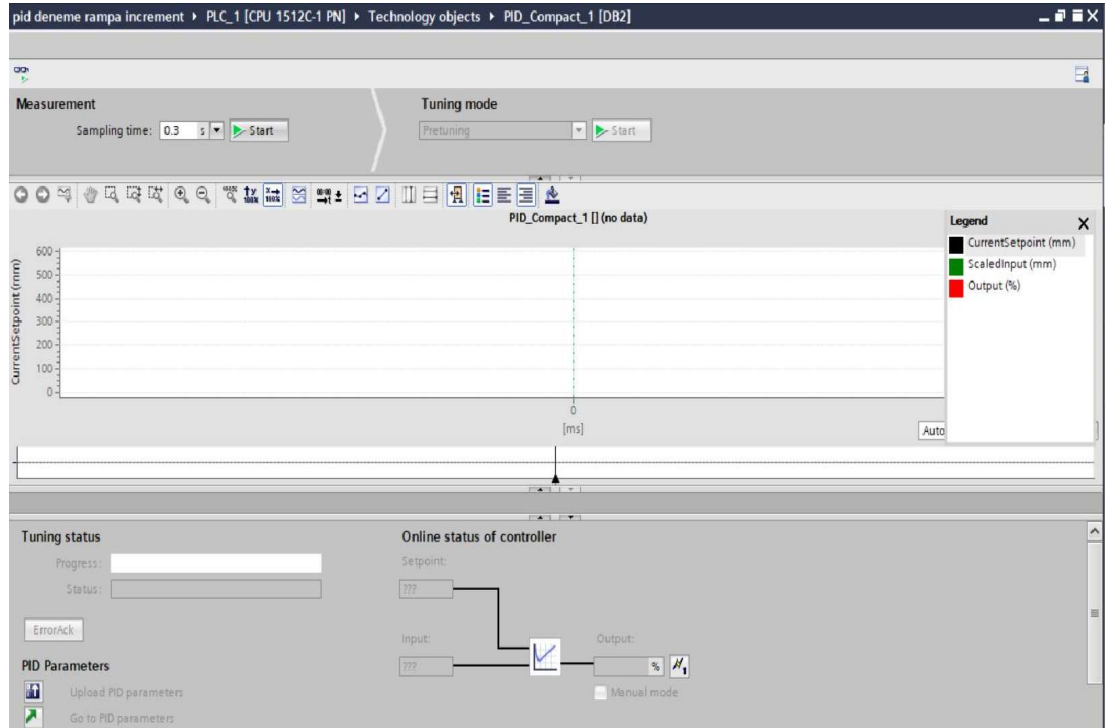
PID_Compact fonksiyonu oluşturulduktan sonra fonksiyonun deney düzeneğine göre konfigürasyon ayarlarının yapılması gerekmektedir. Konfigürasyon ayarlarında öncelikle kontrol tipi belirlenir örn. uzunluk, sıcaklık ve basınç. Sistemin giriş ve çıkış parametreleri ayarlanmaktadır. Tüm bu konfigürasyon ayarlarının yapıldığı PID_compact konfigürasyon ekranı Şekil 5.14 'te verilmektedir.

Konfigürasyon ayarlarının ardından sistemin PID parametrelerinin ayarlanması gerekmektedir. PID_Compact fonksiyonun devreye alma (commissioning) butonuna basarak parametre ayarlama penceresine geçilmektedir. Burada ayarlama moduna (Tuning mode) basılarak sistemin parametreleri PLC-PID Tuner kullanarak

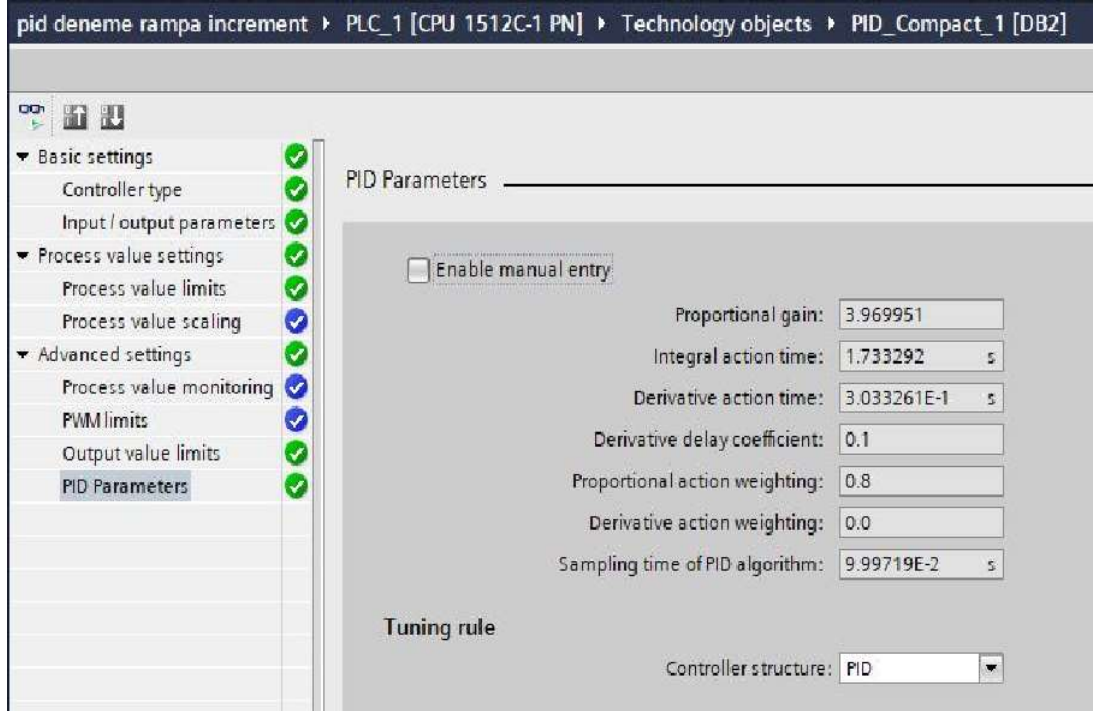
hesaplanır. Bu işlemlerin yapıldığı devreye alma ekranı Şekil 5.15'te verilmektedir. PLC PID Tuner ile hesaplanan sistemin pid katsayıları Şekil 5.16' da verilmektedir.



Şekil 5.14. Konfigürasyon ayarlarının yapıldığı PID_compact konfigürasyon ekranı.



Şekil 5.15. PID_compact fonksiyonunun PID parametrelerinin ayarlarının yapıldığı devreye alma ekranı.



Şekil 5.16. PID_compact fonksiyonunda hesaplanan PID parametrelerinin gösterildiği ekran.

5.2.3 SIMATIC S7-1500 PLC, SINAMICS S120 Servo Motor Sürücü ve SIMOTICS S-1FK7 Motor Devreye Alma

SINAMICS S120 servo motor sürücünü nasıl devreye alındığı, SIMATIC S7-1500 PLC tarafından yapılması gereken ayarlar ve SIMOTICS S-1FK7 servo motorun nasıl sürüldüğü anlatılmaktadır. PLC ile iki farklı şekilde SINAMICS S120 motor sürücüsü sürülmektedir. İlk olarak PLC ile servo motor sürücüsünü Ethernet bağlantı kablosuyla bağlantısı yaparak PLC' nin içindeki teknoloji objelerini kullanarak motorun kontrolü sağlanmaktadır. Daha sonra ise PLC' nin sahip olduğu -10 V ve +10 V analog çıkışı ile S120 servo motor sürücüsünün +- analog girişi arasındaki bağlantıları yaptıktan sonra analog olarak servo motoru kontrol edebilmektedir.

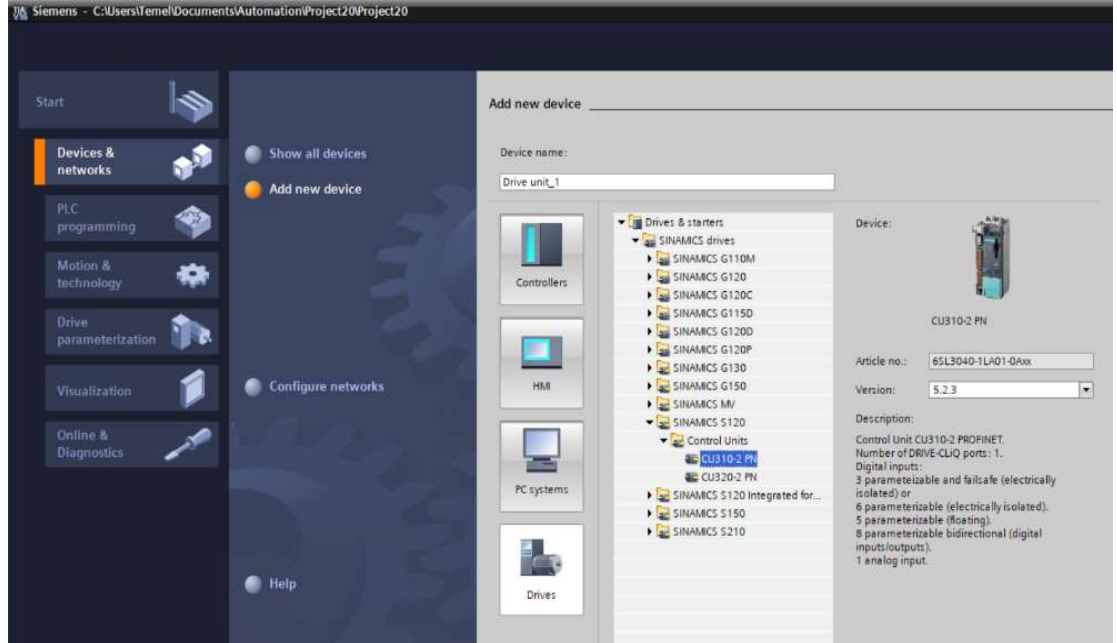
SINAMICS S120 servo motor sürücüsünü S7-1500 PLC tarafından devreye alınması için gerekli ihtiyaçlar şu şekildedir;

- SIEMENS STARTER programında SIMOTICS S-1FK7 servo motorun gerekli

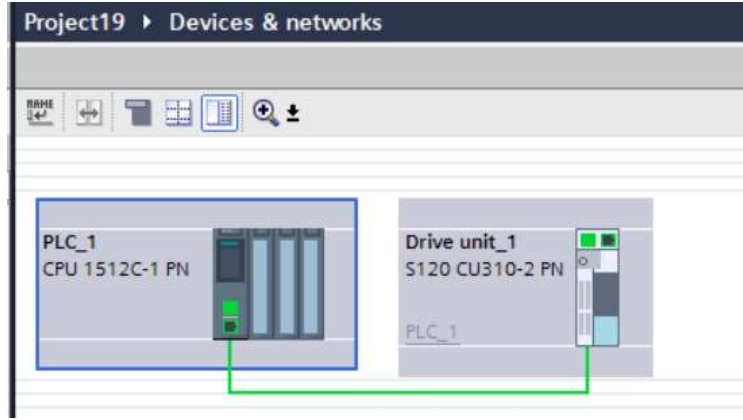
konfigürasyon ayarlarının yapılması,

- SINAMICS S120 servo motor sürücüsü ile SIMOTICS S-1FK7 servo motor arasında PROFINET arabirimi bağlantısının yapılması,
- SINAMICS S120 servo motor sürücüsü ile SIMATIC S7-1500 PLC arasında PROFINET arabirimi bağlantısının yapılması,
- SIEMENS' e ait olan S7-1500 PLC programlanması için kullanılan Tümlleşik otomasyon (TIA) TIA PORTAL V16' ya SINAMICS S120 servo motor sürücüsü ile SIMOTICS S-1FK7 servo motorun eklenmesi,
- Hareket kontrol komutlarının kullanılmasıyla motorun sürülmesi gerçekleştirilmelidir.

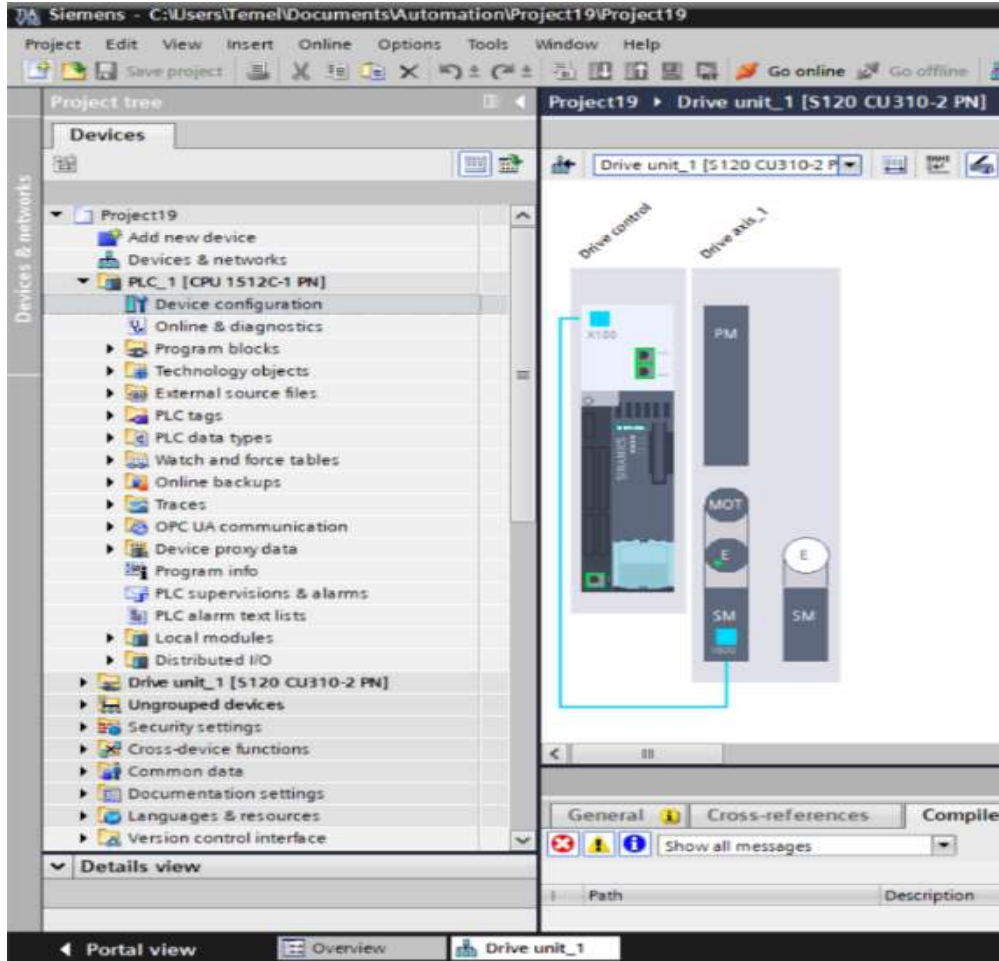
Bu çalışmada SIMATIC S7-1500 PLC programlamak için tümlleşik otomasyon (TIA) TIA PORTAL V16 kullanılmıştır. TIA PORTAL V16 bilgisayarımızda açtıktan sonra yeni proje oluştur butonuna basılmaktadır. Çıkan pencere de S7-1500 CPU 1512C-1 PN cihaz ekleme sekmesinden ekledikten sonra servo motor sürücüsünü sürücüler sekmesi altından seçip eklenmektedir. Bu işlem Şekil 5.17'de verilmektedir. Şekil 5.18'de PLC ve servo motor sürücüsünün topoloji bağlantı görüntüsü verilmektedir.



Şekil 5.17. SINAMIC S120 CU310-2 PN servo motor sürücüsünün TIA PORTAL'a eklenmesi.



Şekil 5.18. SINAMIC S120 CU310-2 PN servo motor sürücüsü ve SIMATIC S7-1500 PLC arasındaki topoloji bağlantı görüntüsü.

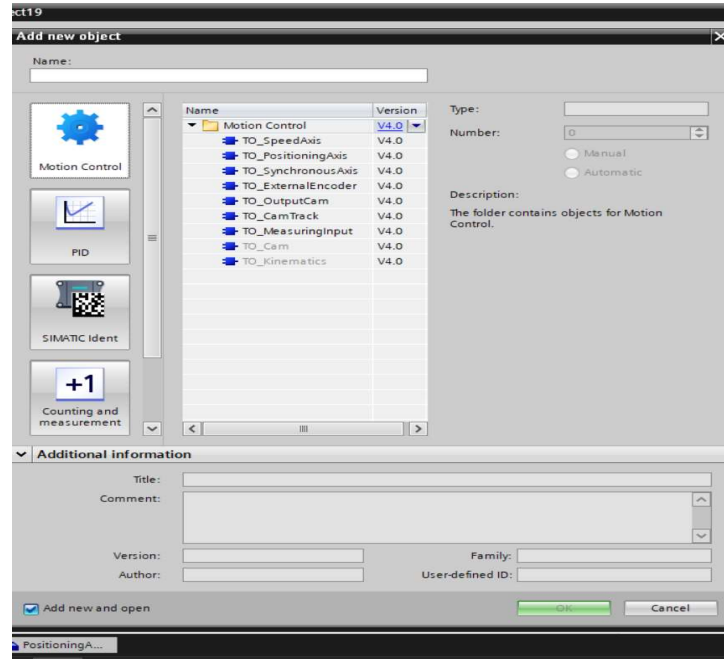


Şekil 5.19. SINAMIC S120 CU310-2 PN servo motor sürücü konfigürasyon ayarlarının yapıldığı cihaz görünümü sayfası.

SINAMIC S120 CU310-2 PN servo motor sürücüsünü ekledikten sonra konfigürasyon

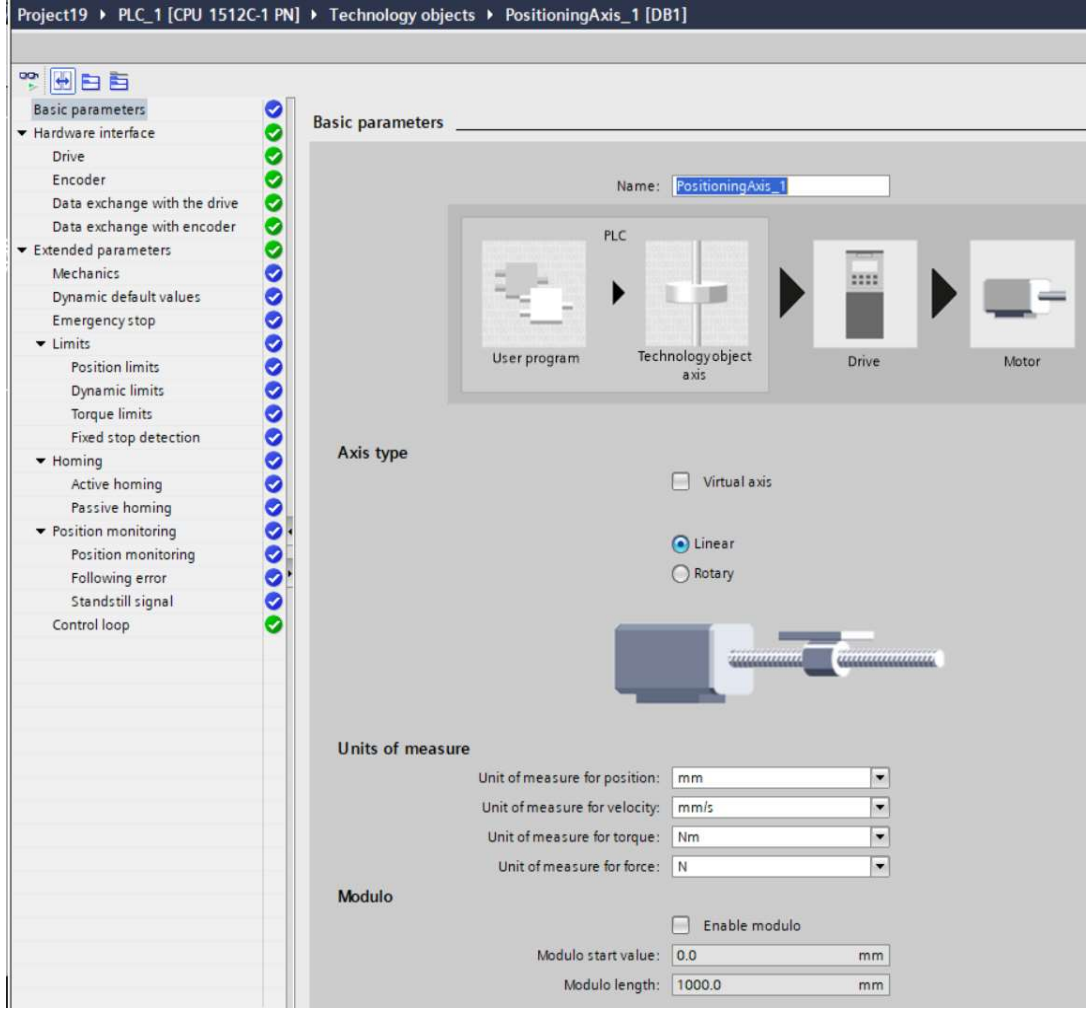
ayarları yapılması gerekmektedir. Bu ayarları da cihaz görünümü sayfasını tıkladıktan sonra gerekli konfigürasyon ayarlamaları yapılmaktadır. Bu ayarlamalar sayesinde sisteme bağlı olan SIMOTICS S-1FK7 servo motor ve servo motor üzerindeki enkoder tanımlamaları yapılmaktadır. Bu aşamadan sonra servo motor sürülme için hazır hale gelmektedir. SINAMIC S120 CU310-2 PN servo motor sürücüsünün konfigürasyon ayarlarının yapıldığı cihaz görünümü sayfası Şekil 5.19’da verilmektedir.

SINAMIC S120 CU310-2 PN servo motor sürücü konfigürasyon ayarlarının yapıldıktan sonra Siemens S-1500 PLC üzerinden servo motoru kontrol edebilmek için hareket kontrol komutlarının kullanılması gerekmektedir. Hareket kontrol komutlarını aktif hale getirmek için öncelikle TIA Portal ‘da proje ağacından teknoloji objeyi seçip daha sonra yeni teknoloji obje ekle butonuna tıklanır ve TO_PosioitionAxis sekmesini seçip tamam butonuna basılmaktadır. Bu yaptığımız işlemi Şekil 5.20’de verilmektedir.



Şekil 5.20. TIA Portal’ da yeni teknoloji objenin eklenmesi gösterilmektedir.

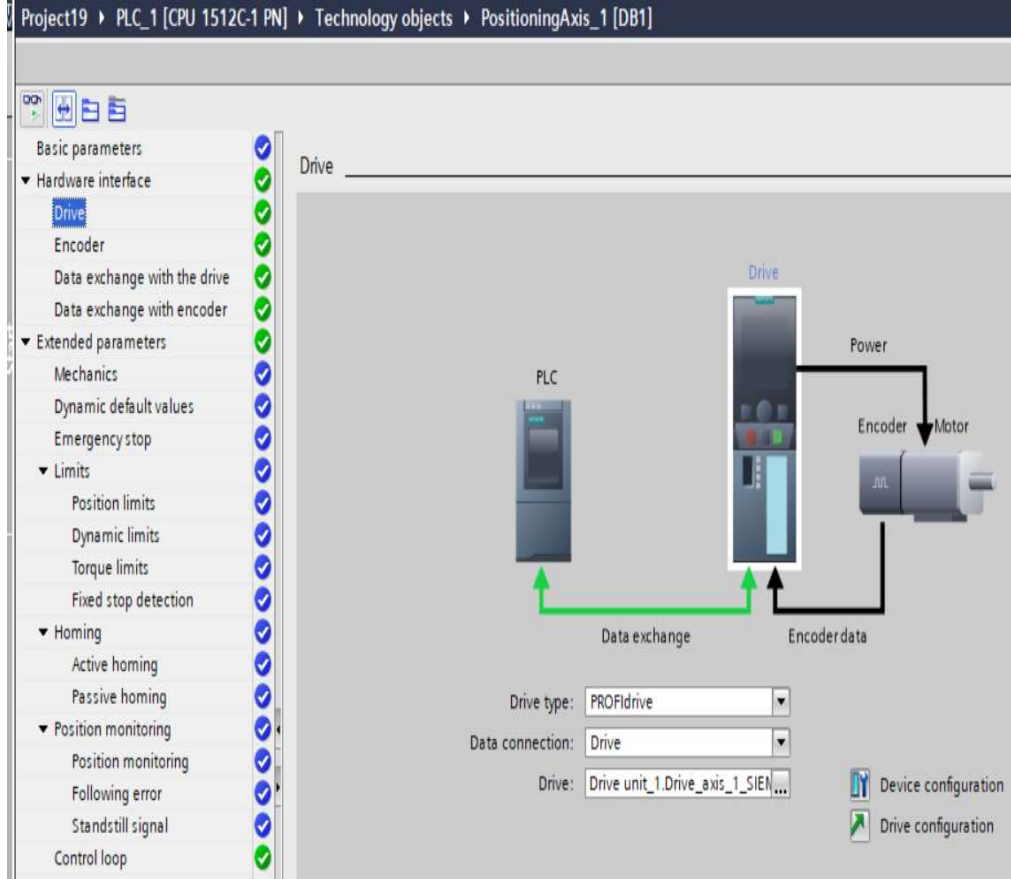
Teknoloji objeyi oluşturduktan sonra teknoloji obje sekmesinin altında yer alan PositioningAxis_1 seçilip konfigürasyon ayarları yapılır. Bu ayarların yapılacağı ve tüm parametrelerin görüldü sayfa Şekil 5.21’de verilmektedir.



Şekil 5.21. PositioningAxis_1 teknoloji objesinin tüm parametrelerin görüldüğü fonksiyon görüntü sayfası.

İlk olarak temel parametreler kısmından eksen tipini lineer harekete sahip olduğumuz için lineer eksen tipi seçilmektedir. Siemens ara yüzü SI standartlarına göre hazırlanmıştır. Program ara yüzünde kullanılan ölçüm birimleri: tork Nm, doğrusal ölçüm birimi mm, kuvvet ölçüm birimini N olarak seçilmektedir. Daha sonra TIA Portal' a yüklenen S120 servo motor sürücünün teknoloji objeye tanımlanması sağlanmaktadır.

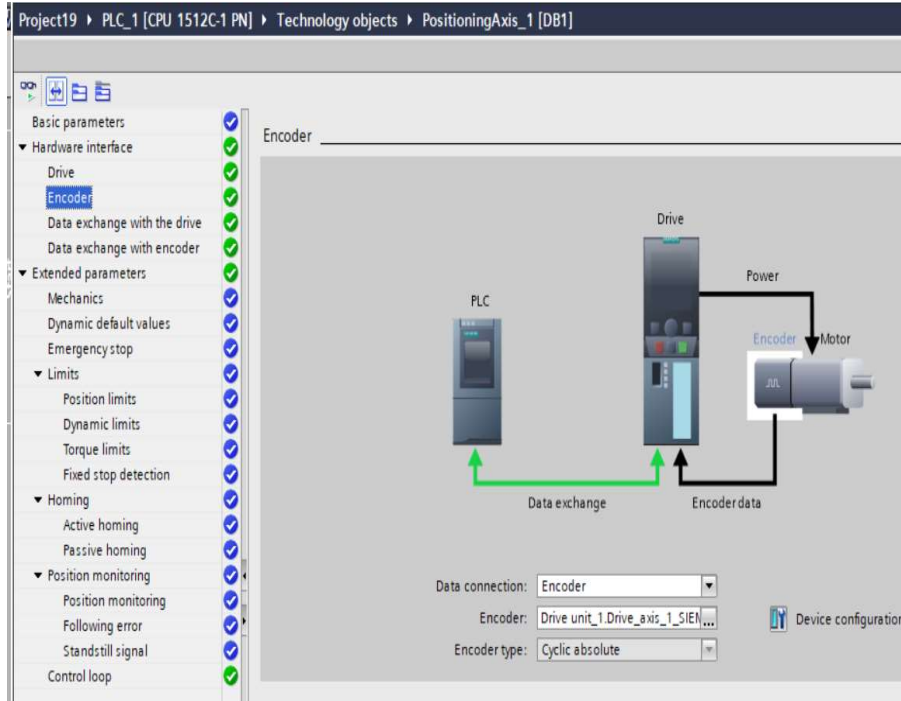
Teknoloji obje ve S120 servo motor sürücünün arasındaki bağlantının yapıldığı görüntü Şekil 5.22'de verilmektedir. Teknoloji obje ile servo motor üzerindeki enkoderin de teknoloji obje tarafından veri alışverişinin sağlanabilmesi için Şekil 5.23'te gibi enkoderin tanımlanması gerçekleştirilmektedir.



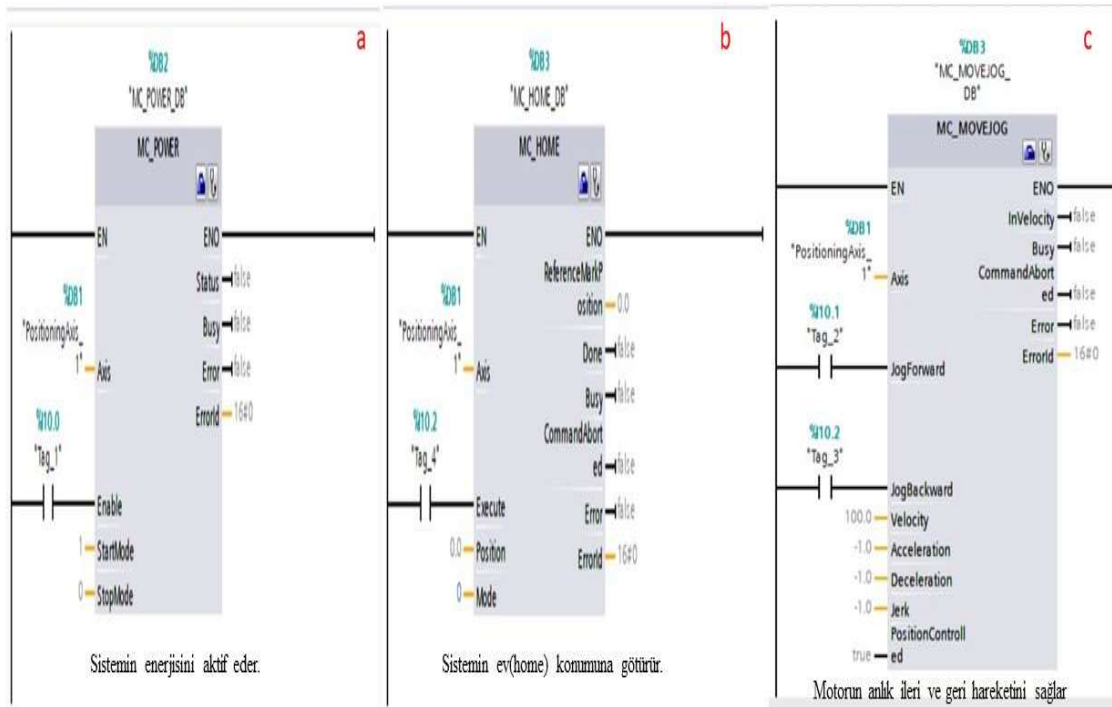
Şekil 5.22. Teknoloji obje ve S120 servo motor sürücünün arasındaki bağlantının sağlanması.

Tüm parametrelerin ayarları yapıldıktan sonra oluşturmuş olduğumuz teknoloji obje PositioningAxis_1'i ana program bloğundan çağırarak motorumuzu yapmak istediğimiz uygulamalar doğrultusunda hareket gerçekleştirilmektedir.

Bu ayarlamaları yaptıktan sonra SIMATIC S7-1500 PLC' nin programlamasına geçilmektedir. Proje ağacından program bloğuna tıklayıp ana program bloğu oluşturulur. Sistemimizin yani SINAMIC S120 servo motor sürücüsünü ana program içinden çağıracağımız komutlarla (fonksiyon blokları) kontrolü gerçekleştirilmektedir. Servo motoru harekete geçirebilmek için öncelikle SINAMIC S120 servo sürücüyü güç verilmesi gerekir bu fonksiyonu sağlayan fonksiyon bloğu Mc_power fonksiyonu (a), sistemin home konumuna gitmesini sağlamak içinde Mc_home fonksiyon bloğu (b) ve servo motorun ileri ve geri hareketi yapması içinde Mc_MoveJog fonksiyon bloğu (c) Şekil 5.24'te gösterilmektedir.



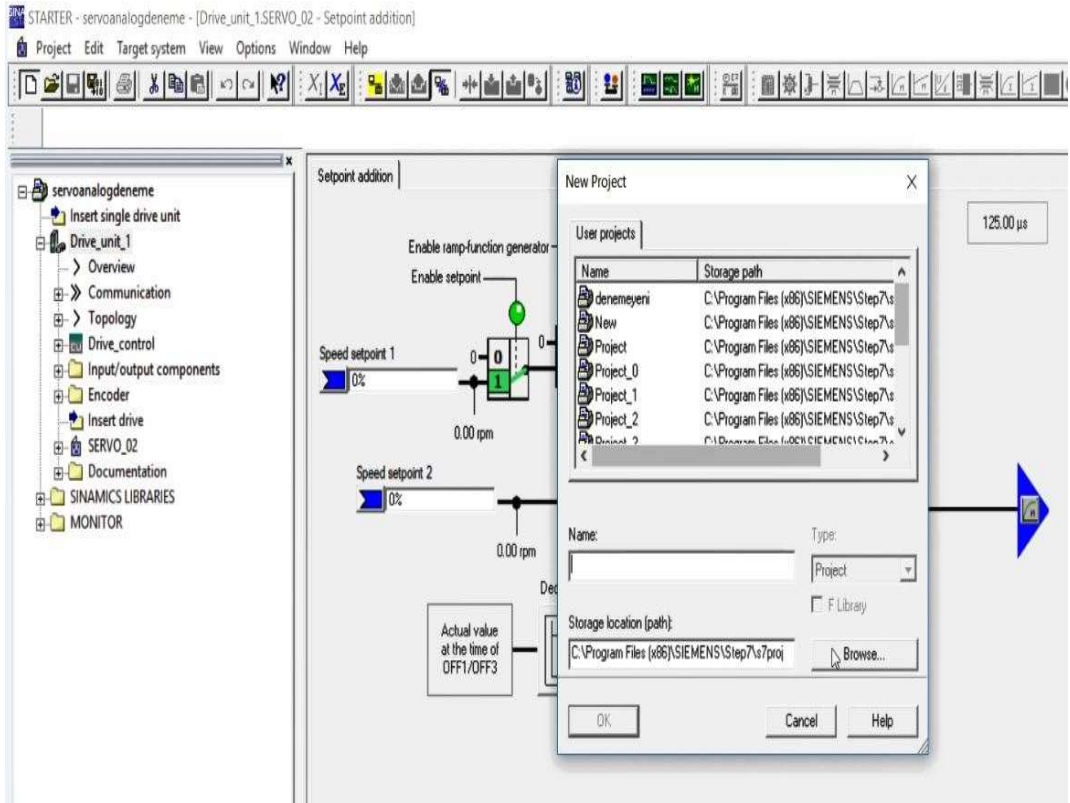
Şekil 5.23. Teknoloji obje ve servo motor üzerindeki enkoderin arasındaki bağlantının sağlanması.



Şekil 5.24. Sistemin enerjisini, başlangıç konumuna ve ileri - geri hareketi sağlayan bloklar.

5.2.4 Siemens Starter Programı ile SINAMIC S120 Servo Motor Sürücünün Ayarlarının Yapılması

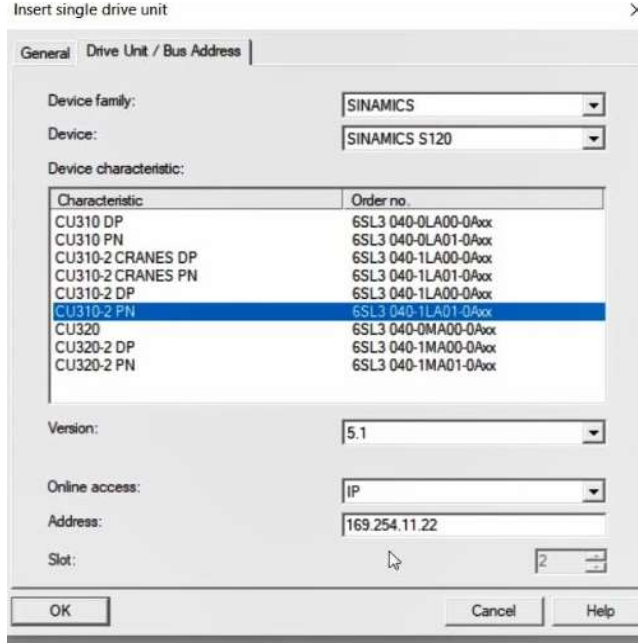
SINAMIC S120 servo motor sürücüsünün SIMATIC S7-1500 PLC ile programlama yapılabilmesi için gerekli olan konfigürasyon ayarlarının Siemens Starter programı ile nasıl yapıldığı açıklanmaktadır. Siemens Starter programı servo motor sürücü için gerekli olan servo motor bilgilerinin donanımsal ve yazılımsal olarak yüklenmesini sağlamaktadır. Bu işlem sonucunda servo motor sürücü servo motoru sürebilir hale getirilmektedir. Bunun ilk olarak bilgisayara Siemens Starter programı yüklenmesi gerekmektedir. Programın yükleme aşamasından sonra yeni proje oluştur butonuna basarak proje oluşturulmaktadır ve Şekil 5.25'te verilmektedir. SINAMIC S120 servo motor sürücü seçimi Şekil 5.26'da verilmektedir.



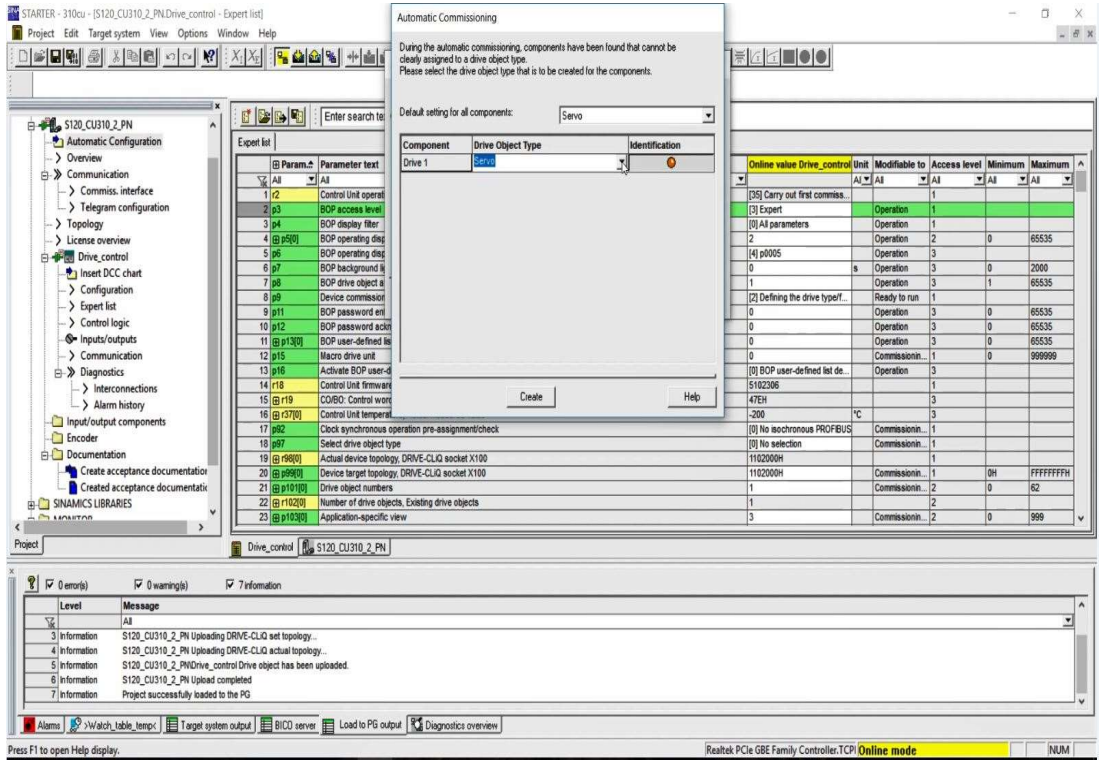
Şekil 5.25. Siemens Starter programında yeni projenin oluşturulması.

Bu işlemden sonra SIMOTICS S-1FK7 servo motoru yüklemek için S120_CU310_2_PN altındaki otomatik konfigürasyon butonuna basılmaktadır. Starter programı Profinet bağlantısı ile bağlı olduğu servo motor ve servo motor

sürücüsü ile çevrimiçi mod iken servo motorun donanımsal bilgilerini çeker ve programa aktarır. Bu işlem Şekil 5.27’de verilmektedir.



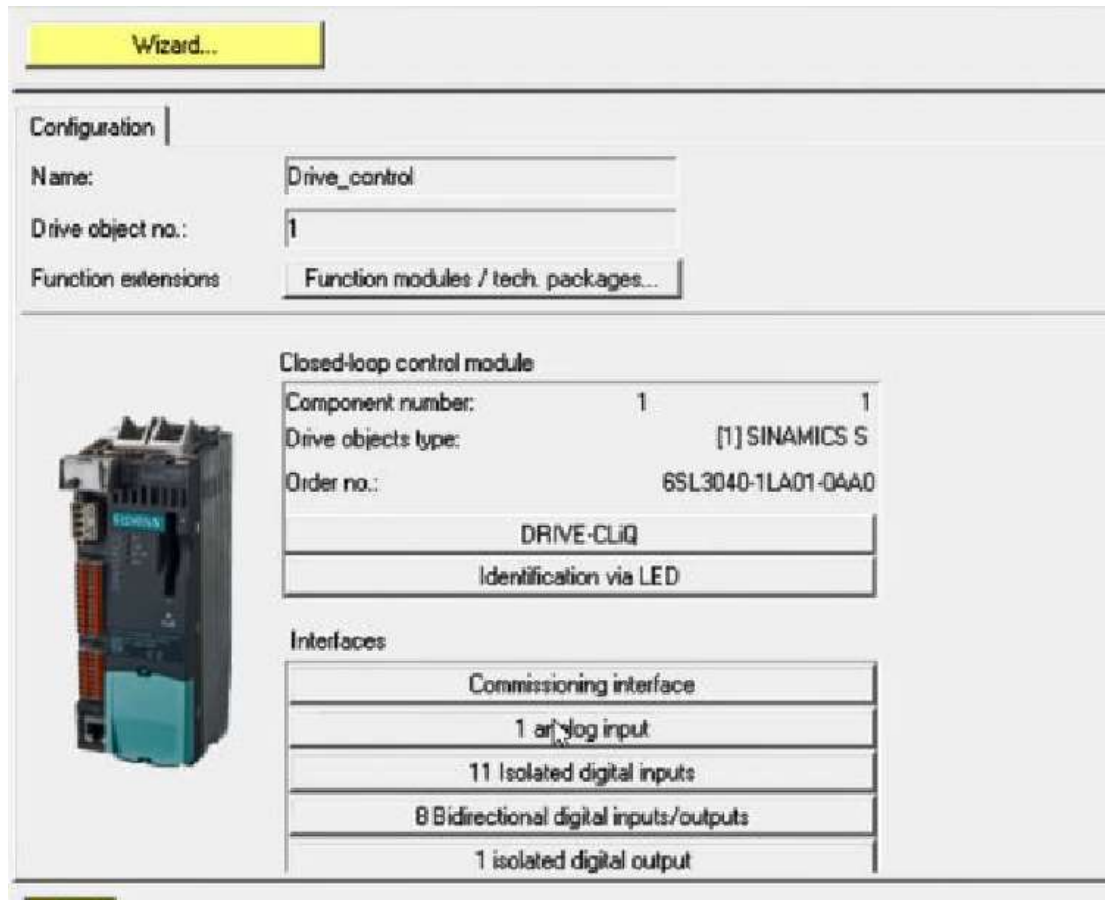
Şekil 5.26. SINAMIC S120 servo motor sürücü seçiminin yapılması.



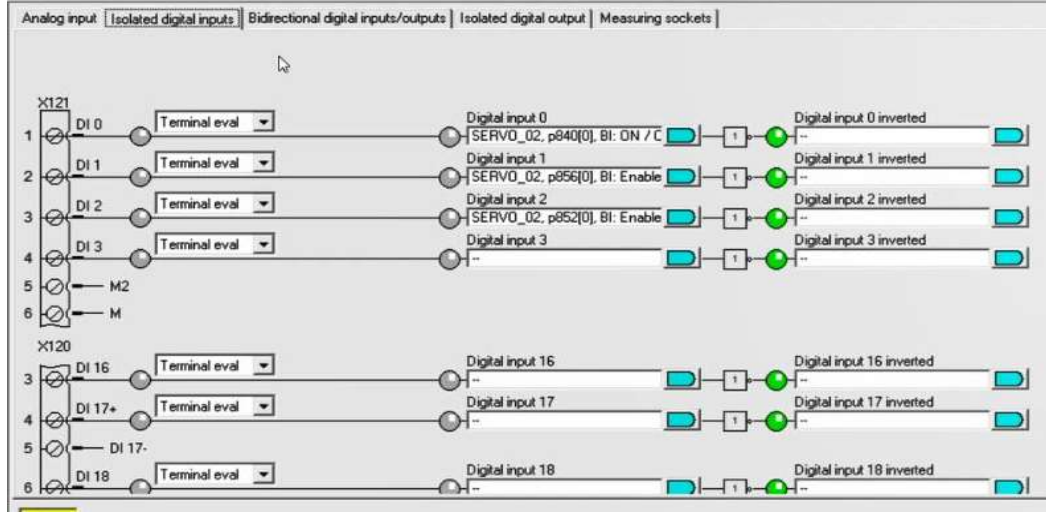
Şekil 5.27. SIMOTICS S-1FK7 servo motorun yükleme işleminin yapılması.

SINAMIC S120 servo motor sürücüsü SIMOTICS S-1FK7 servo motoru sürmek için hazırdır. Bu durumda Starter' da ki programı indirerek (download) motor sürücüyü aktarılır ve SIMATIC S7-1500 PLC tarafından kontrol edilebilir hale gelmektedir. TIA Portal programı üzerinden yazılan program ile servo motorun kontrolü gerçekleştirilebilmektedir.

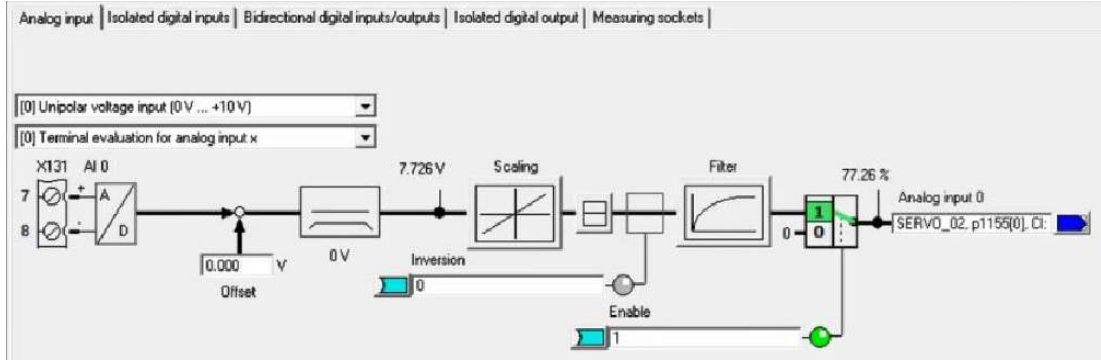
SINAMIC S120 servo motor sürücüsünü analog kontrol yapmak için Starter programı üzerinden bazı ayarlamalar yapılmaktadır. Bu ayarlamalar yapılabilmesi için Şekil 5.28'de görüldüğü gibi 1 analog_input butonuna basılmaktadır. İzole edilmiş dijital girişlere tıklanarak dijital girişlere gerekli atamalar yapılır. Şekil 5.29'de yapılan atamalar verilmektedir. Daha sonra analog giriş sayfasına geçilerek analog_input_0 girişine atama yapılır Şekil 5.30'te verilmektedir. Servo motorun analog kontrolü gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.28. Servo motorun analog kontrolün yapılması için 1 analog giriş butonuna basılması.



Şekil 5.29. İzole edilmiş analog girişlere yapılan atamalar.



Şekil 5.30. Analog_input_0 değerinin girilmesi ve 0 V ile +10 V arasında çalışmasını sağlayan ayarların yapıldığı yer.

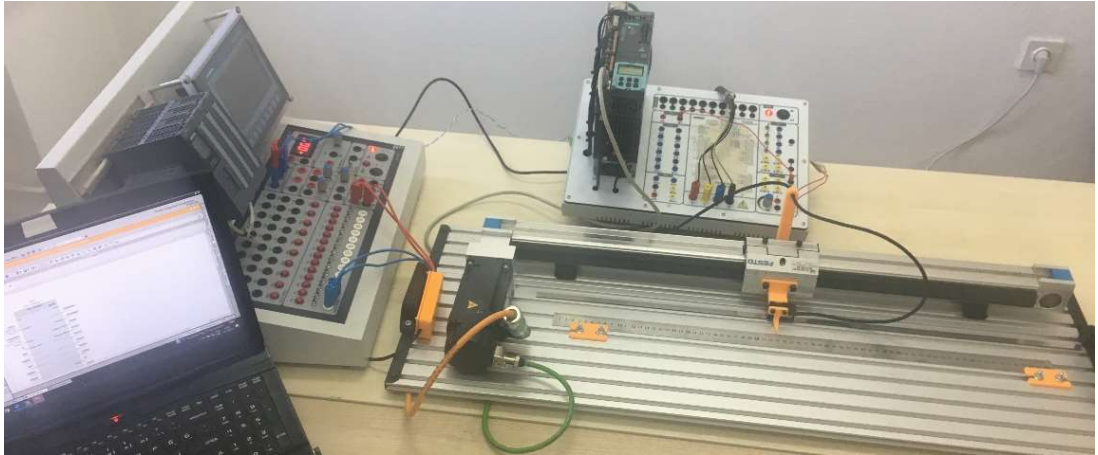
BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, yapılan çalışma kapsamında elde edilmiş deneysel uygulama verileri ve bu deneylerden elde edilen bulgular aktarılacaktır. Deneysel çalışma ile ilgili uygulama verileri ve bulgular sistem ön testi ve sistemin test fonksiyonlarına karşı cevabı olarak ayrı bölümlerde incelenecektir. Yaygın olarak kullanılan test giriş sinyalleri, adım fonksiyonları, rampa fonksiyonları, hızlanma fonksiyonları, darbe fonksiyonları, sinüzoidal fonksiyonları ve benzerleridir. Bu test sinyalleri ile sinyaller zamanın çok basit fonksiyonları olduğu için kontrol sistemlerinin matematiksel ve deneysel analizleri kolaylıkla yapılabilmektedir. Bir kontrol sistemi, test sinyalleri temelinde tasarlandığında, sistemin gerçek girdilere yanıt olarak performansı genellikle tatmin edicidir. Bu tür test sinyallerinin kullanımı, tüm sistemlerin performansını aynı temelde karşılaştırmayı sağlar [55].

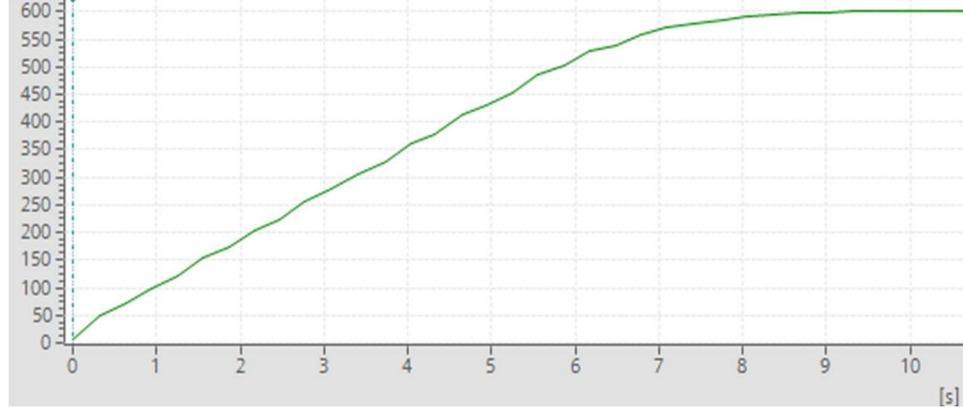
6.1 SİSTEMİN ÖN TESTİ

Bu çalışmada, deneysel çalışmalar başlamadan önce sistemin kararlılığı ve doğruluk testleri yapılmıştır.



Şekil 6.1. Deney düzeneğinin referans değere giderken çekilen resim.

Bu testler kapsamında, hız (64,03 mm/sn), mesafe (600 mm), süre (9,37sn), sistem tekrar edilebilme kararlılığı parametreleri incelenmiştir. İstenilen hızlarda kontrol edilebilmektedir. Deney düzeneğinin çalışır haldeki resmi Şekil 6.1’ de verilmektedir. Yukarıda verilen sayısal veriler PLC’den elde edilen Şekil 6.2’deki grafik incelemesi sonucunda verilmektedir.



Şekil 6.2. Ön test aşamasında yapılan çalışma sonucu elde edilen grafik.

6.2 DOĞRUSAL BİR EKSENİN KONUMA GÖRE KONTROLÜ

Bu çalışmada, kurgulanan sistemin ilgili parametrelere karşı vermiş olduğu karşı cevaplar basamak fonksiyonu, rampa fonksiyonu ve sinüzoidal fonksiyonu olarak farklı başlıklar altında değerlendirilecektir. Sisteme uygulanan giriş sinyallerine göre elde edilen cevap sinyalleri grafikler halinde gösterilmektedir.

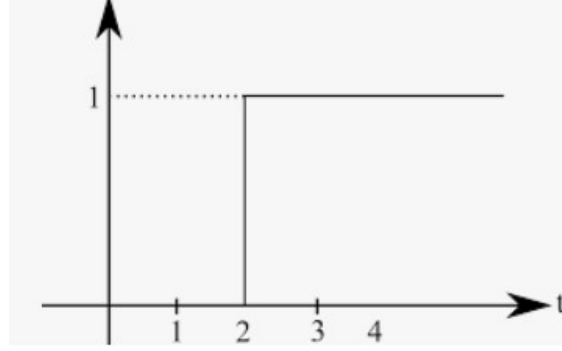
6.2.1. Basamak Fonksiyonu

Basamak fonksiyonu, $f(t) = hu(t)$ şeklinde zamanın fonksiyonu olarak tanımlanan ve Eşitlik 6.1. ve Eşitlik 6.2.' deki gibi tanımlanan fonksiyona denir. $h = 1$ olursa birim basamak fonksiyonu adı almaktadır. Basamak fonksiyonu sisteme ani olarak sabit bir değere yükselen bir sinyal uygulamasını ifade eder. Şekil 6.3' te örnek bir basamak fonksiyonu verilmektedir [56].

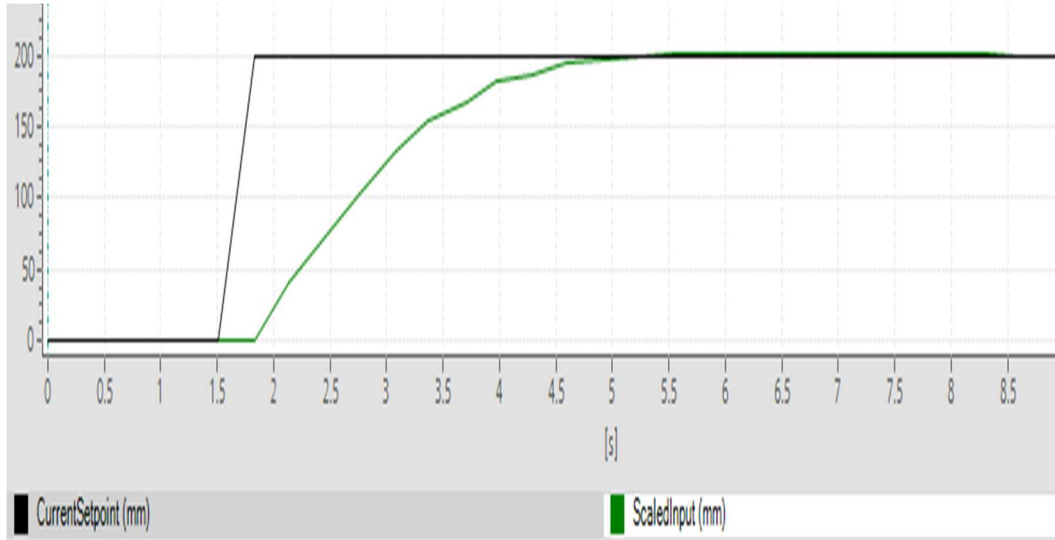
$$t < 0 \text{ için } f(t) = 0 \quad (6.1)$$

$t \geq 0$ için $f(t) = h = \text{sabit}$

(6.2)



Şekil 6.3. Basamak fonksiyonu.



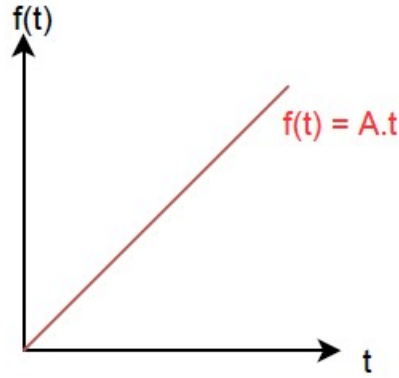
Şekil 6.4. PID denetleyicisinin basamak sinyaline karşı cevabı (ScaledInput) ve referans basamak sinyali (CurrentSetpoint) gösterilmektedir.

Bu çalışmada deney düzeneğinin TIA portal tarafından üretilen basamak fonksiyonuna karşı PID denetleyici tarafından verilen adım cevabı Şekil 6.4' te grafik olarak verilmektedir. Grafikteki verilere göre sistemin cevabı oldukça yumuşak ve istikrarlı bir şekilde referans aldığımız basamak sinyali takip etmektedir. Grafikte X eksenini mm cinsinden mesafeyi Y eksenini de saniye (sn) cinsinden zamanı temsil eder. Set değeri 200 mm ve ölçülen değer 200 mm' ye 5. saniyede ulaşılıyor ve istikrarlı bir şekilde stabil halde 200 mm' de devam etmektedir. Sistemin tekrarlanabilirlik hassasiyetini ölçmek için 5 kez basamak fonksiyonuna karşı sistemin cevabına bakılmıştır ve çok yakın değerler elde edilmiştir.

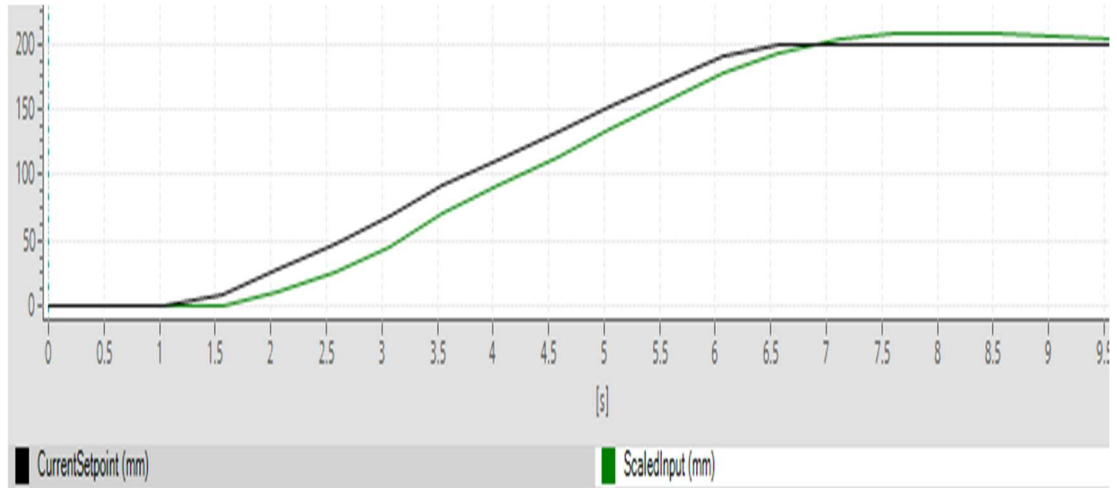
6.2.2. Rampa Fonksiyonu

Rampa fonksiyonu sistemlerin lineer değişimler altındaki durumlarını test etmek için kullanılır. Fiziksel olarak zamana bağlı bir şekilde yavaş yavaş sürekli artan bir giriş işaretini ifade eder. Rampa fonksiyonunu Eşitlik 6.3’ de verilen denklem olarak tanımlanmaktadır. Şekil 6.5’te örnek bir rampa fonksiyonu verilmektedir.

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ A.t, & t \geq 0 \end{cases} \quad (6.3)$$



Şekil 6.5. Rampa fonksiyonu.



Şekil 6.6. PID denetleyicisinin rampa sinyaline karşı cevabı (ScaledInput) ve rampa sinyali (CurrentSetpoint) gösterilmektedir.

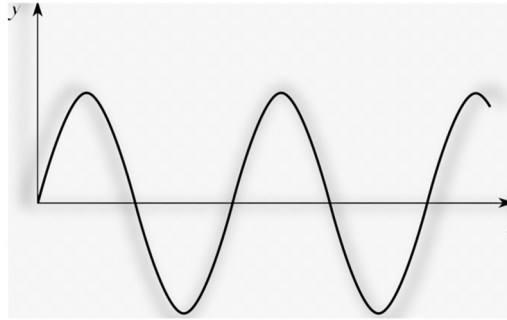
Bu çalışmada deney düzeneğinin TIA portal tarafından üretilen rampa fonksiyonuna karşı PID denetleyici tarafından verilen rampa cevabı Şekil 6.6’te grafik olarak

verilmektedir. Grafikte X eksenini mm cinsinden mesafeyi Y eksenini de dakika (sn) cinsinden zamanı temsil eder. Referans değeri olarak aldığımız rampa fonksiyonu 0 sn ile 6 sn arasında 0 mm' den 200 mm' ye gelmiştir. PLC' den ölçülen değeri rampa fonksiyonu istikrarlı bir biçimde takip etmektedir. Sistemin tekrarlanabilirlik hassasiyetini ölçmek için 5 kez rampa fonksiyonuna karşı sistemin cevabına bakılmıştır ve tekrarlanabilirlik hassasiyetini yüksek olduğu görülmüştür.

6.2.3. Sinüs Fonksiyonu

Sistemin giriş sinyali $f(t)$, sinüzoidal bir sinyal ise, kararlı durum çıkışı da aynı frekansta, fakat muhtemelen farklı büyüklük ve faz açısına sahip sinüzoidal bir sinyal olacaktır. Bir sistemin girişi sinüzoidal sinyal ise, sistemin kararlı olabilmesi için giriş ile aynı frekansta sinüzoidal bir çıkışa sahip olmalıdır. Ancak çıkışın genliği ve fazı genel olarak girişinkinden farklı olacaktır. Sinüzoidal fonksiyonu denklem olarak Eşitlik 6.4.'te verilmektedir. Şekil 6.7'te örnek bir sinüzoidal fonksiyonu verilmektedir.

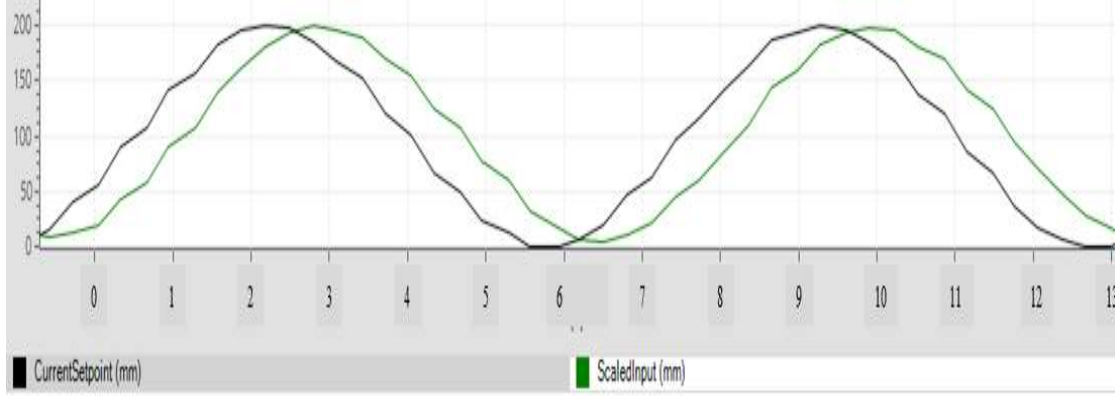
$$f(t)=\sin(\omega t) \quad (6.4)$$



Şekil 6.7. Sinüzoidal fonksiyon.

Bu çalışmada deney düzeneğinin TIA portal tarafından üretilen sinüzoidal fonksiyonuna karşı PID denetleyici tarafından verilen sinüzoidal cevabı Şekil 6.8.'de grafik olarak verilmektedir. Grafikte X eksenini mm cinsinden mesafeyi Y eksenini de dakika (sn) cinsinden zamanı temsil eder. Sistemin girişine verilen sinüzoidal sinyale cevap olarak grafikte görüldüğü gibi aynı frekansta sinüzoidal bir çıkışa sahiptir bu da sistemin kararlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Sistemin tekrarlanabilirlik

hassasiyetini ölçmek için 5 kez sinüzoidal fonksiyonuna karşı sistemin cevabına bakılmıştır ve tekrarlanabilirlik hassasiyetini yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 6.8. PID denetleyicisinin sinüzoidal sinyale karşı cevabı (ScaledInput) ve sinüzoidal sinyali (CurrentSetpoint) verilmektedir.

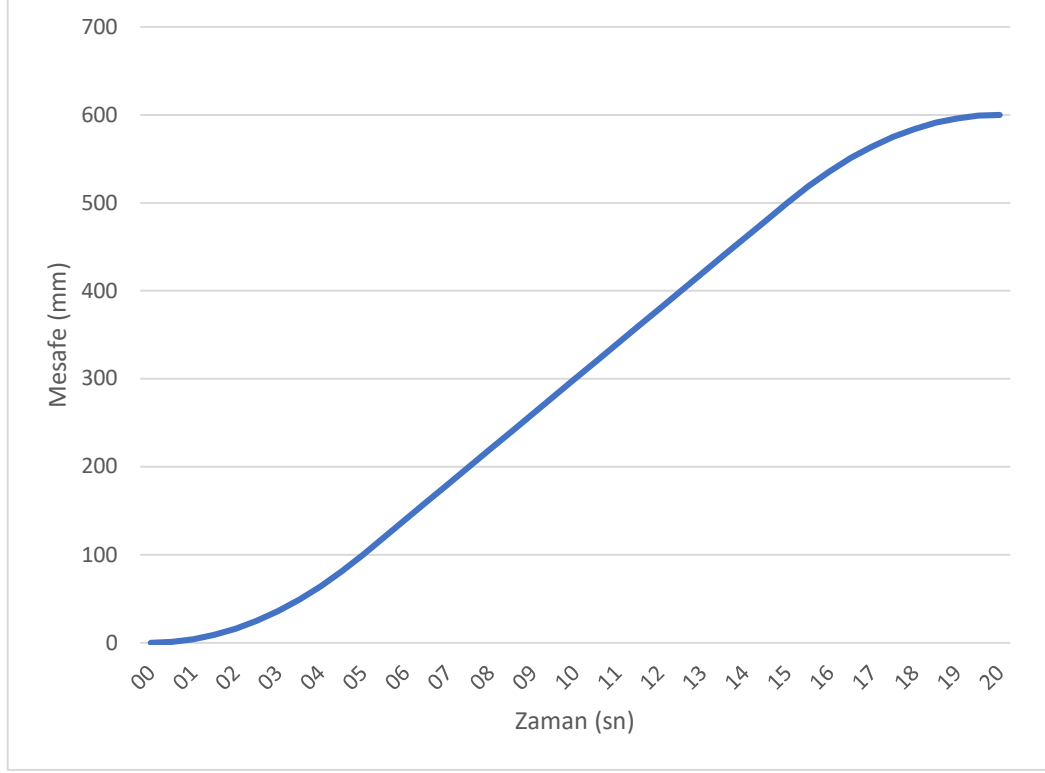
6.3 DOĞRUSAL BİR EKSENİN HIZA GÖRE KONTROLÜ

Robot kollarda problemi çözmek için üzerinde durulduğu en temel konu uç işlevcisinin başlangıç konumundan istenilen konuma götürmektir. Uç işlevcisinin başlangıç konumundan istenilen konuma giderken zamana bağlı olarak belli bir hızda ve ivmede hareketi gerçekleştirmektedir. Zamana bağlı değişken ivme ise robotta istenilmeyen titreşimlere ve bozulmalara neden olmaktadır. Robot kolun çalışırken çalışma uzayının dışına çıkmadan, bozulmalardan, titreşimden uzak ve hassas hareket edebilmesi için yörünge planlaması yapılması gerekmektedir. Yörünge doğrusal ve parabolik kısımlardan oluşmaktadır. Başlangıç ve bitişteki parabolik kısımlar konum ve hız sürekliliğini sağlamaktadır. Şekil 6.9'de parabolik kısımları eklenmiş doğrusal yörünge verilmektedir [39].

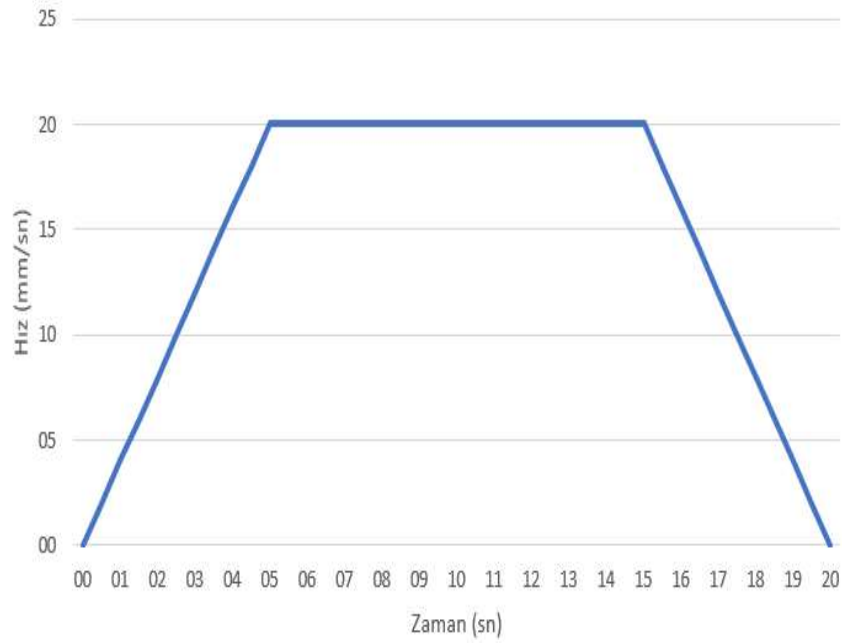
Örnekte verilen yörünge planlamasında 0 sn ile 5 sn arasında pozitif ivmelenme ile hızlanan hareket, 5 sn ile 15 sn arasında 0 ivme sabit hız ve 15 sn ile 20 sn arasında negatif ivmelenme yavaşlayan hareketi göstermektedir. Şekil 6.9'da verilen konum grafiğine göre elde edilen hız grafiği Şekil 6.10'da verilmektedir.

Bu çalışmada, robot kolların hareketlerinin hassas ve yumuşak olmasını sağlamak için kullanılan parabolik kısımları eklenmiş doğrusal yörünge ve bu yörünge planlamasına

göre olan hız kontrolü yapılmıştır. Üç farklı hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Çıkan sonuçlar değerlendirilecektir.

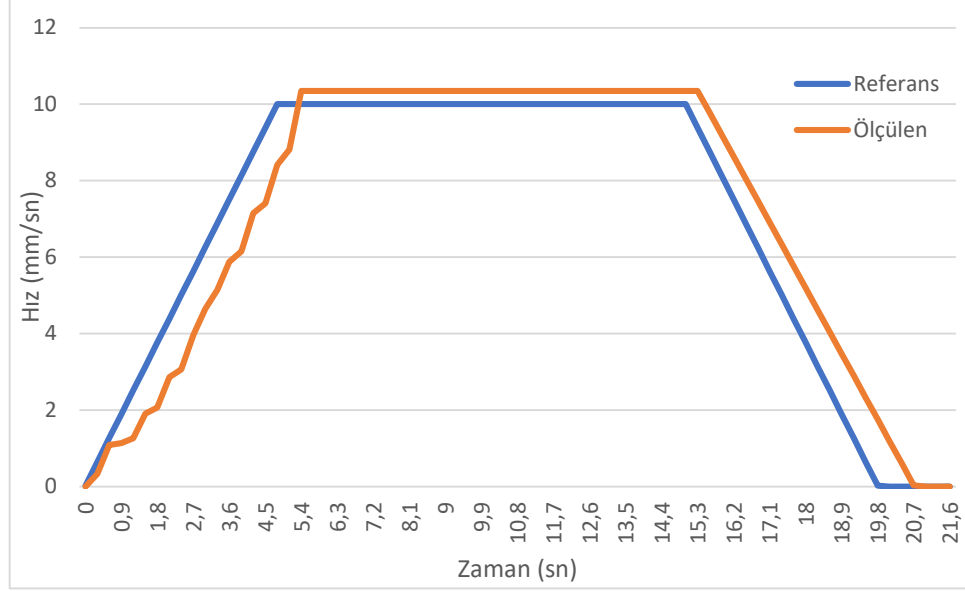


Şekil 6.9. Parabolik kısımları eklenmiş doğrusal yörünge planlaması.

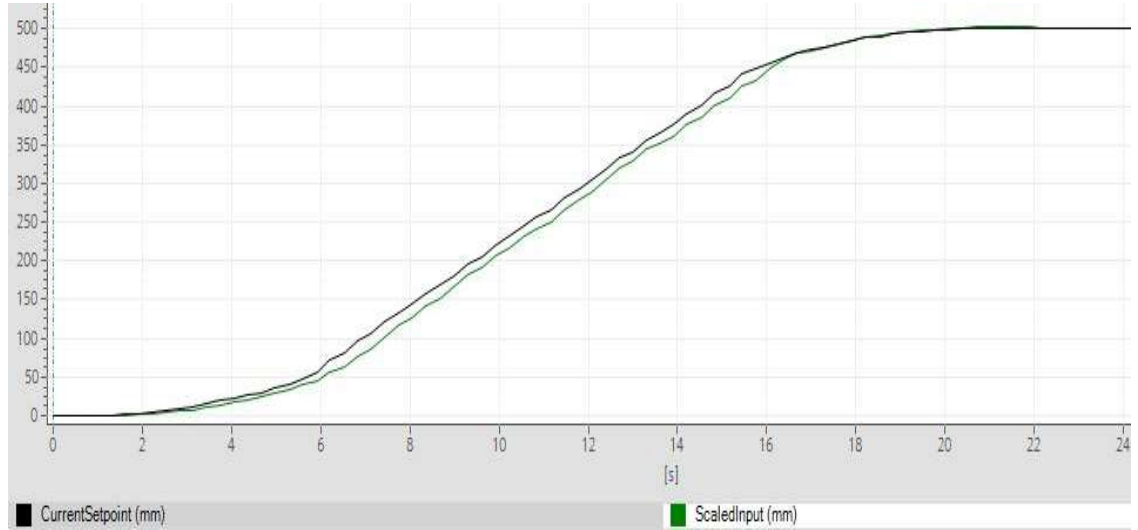


Şekil 6.10. Referans konum grafiğine göre elde edilen hız grafiği.

Birinci referans hız 10 mm/sn göre hız kontrolü yapılmıştır. Şekil 6.11’de referans ve ölçülen hız grafiği verilmektedir.



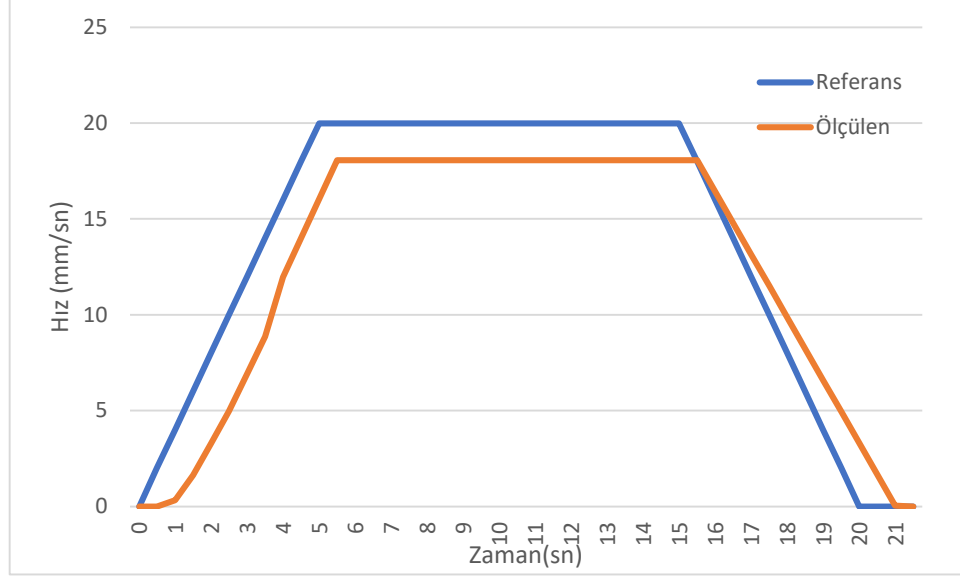
Şekil 6.11. Referans 10 mm/sn hıza göre hız kontrolü.



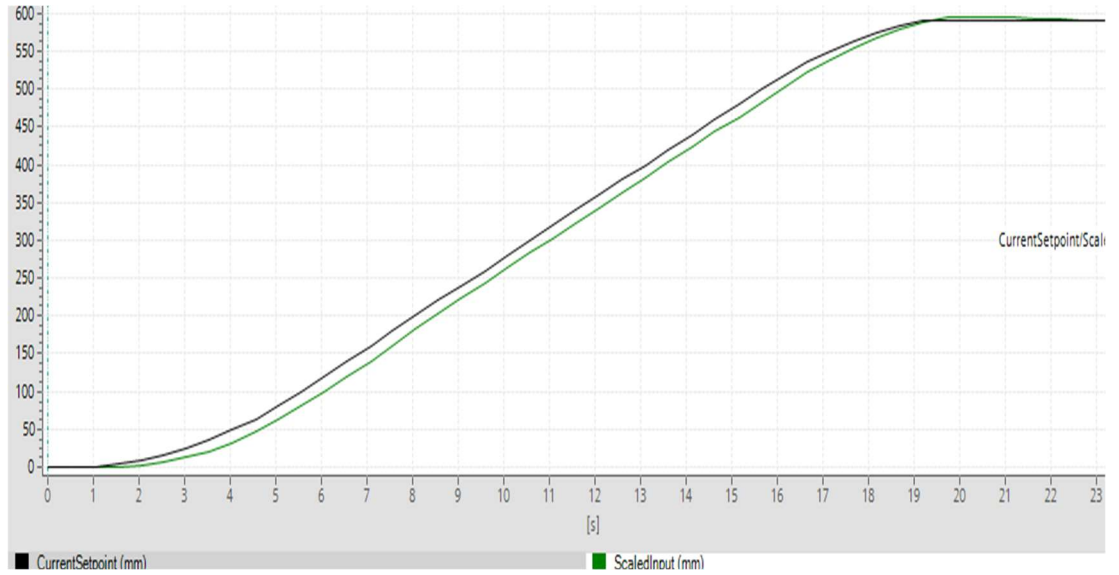
Şekil 6.12. 10 mm/sn hıza göre S7-1500 PLC’den elde edilen konum grafiği.

Grafikte ölçülen maksimum hız değeri 10,34 mm/sn’dir. Referans pozitif ve negatif ivme $2,08 \text{ mm/sn}^2$ ve ölçülen pozitif ve negatif ivme $1,91 \text{ mm/sn}^2$ ’dir. Hesaplanan büyük hata 1,84, küçük hata 0,11, aritmetik ortalaması 0,84 ve toplam hata 57,2 olarak hesaplanmıştır. Hıza göre S7-1500 PLC’den elde edilen konum grafiği Şekil 6.12’de

verilmektedir. Yörünge planlamada olduğu gibi başlangıç ve bitiş kısmında parabolik eğri ve ortasında doğrusal hareket eğrisinden oluşmaktadır. İkinci referans hız 20 mm/sn göre hız kontrolü yapılmıştır. Şekil 6.13'te referans ve ölçülen hız grafiği gösterilmektedir.



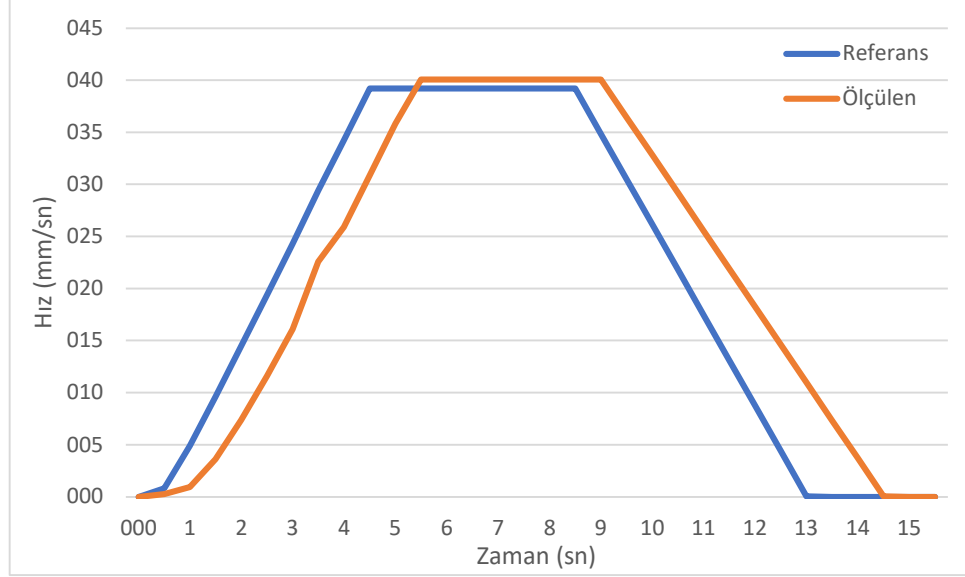
Şekil 6.13. Referans 20 mm/sn hıza göre hız kontrolü.



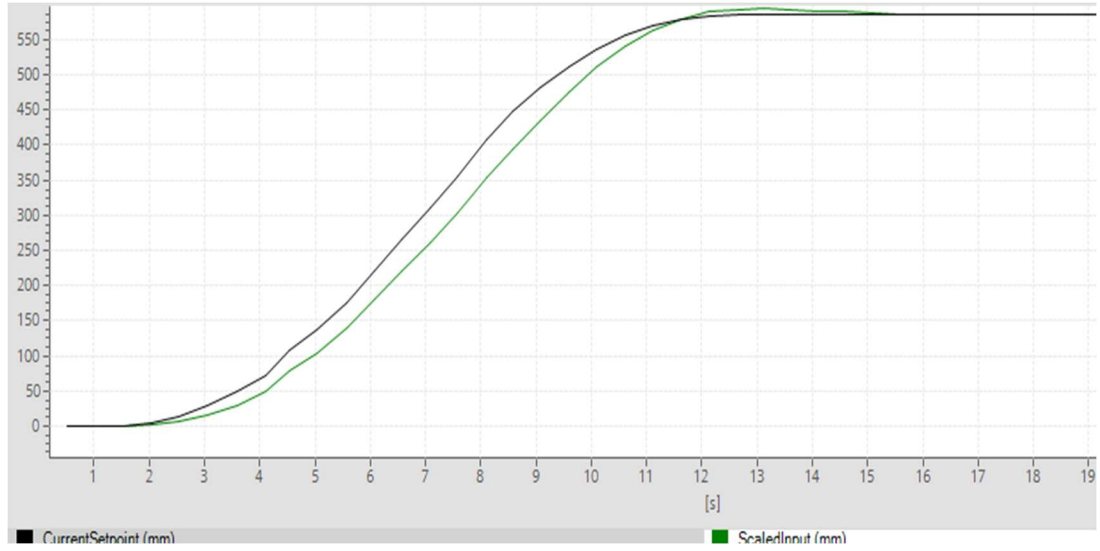
Şekil 6.14. 20 mm/sn hıza göre S7-1500 PLC'den elde edilen konum grafiği.

Grafikte ölçülen maksimum hız değeri 18,06 mm/sn'dir. Referans pozitif ve negatif ivme 4 mm/sn^2 ve ölçülen pozitif ve negatif ivme $3,28 \text{ mm/sn}^2$ 'dir. Hesaplanan büyük hata 5,13, küçük hata 0,06, aritmetik ortalaması 2,36 ve toplam hata 99,26

olarak hesaplanmıştır. Hıza göre S7-1500 PLC'den elde edilen konum grafiği Şekil 6.14'te verilmektedir. Üçüncü referans hız 40 mm/sn göre hız kontrolü yapılmıştır. Şekil 6.15'te referans ve ölçülen hız grafiği gösterilmektedir.



Şekil 6.15. Referans 40 mm/sn hıza göre hız kontrolü.



Şekil 6.16. 40 mm/sn hıza göre S7-1500 PLC'den elde edilen konum grafiği.

Grafikte ölçülen maksimum hız değeri 40 mm/sn'dir. Referans pozitif ve negatif ivme $8,7 \text{ mm/sn}^2$ ve ölçülen pozitif ve negatif ivme $7,28 \text{ mm/sn}^2$ 'dir. Hesaplanan büyük hata 8,21, küçük hata 0,56, aritmetik ortalaması 5,01 ve toplam hata 150,43 olarak hesaplanmıştır. Hıza göre S7-1500 PLC'den elde edilen konum grafiği Şekil 6.16'te

verilmektedir. Hareket planı yapılırken set noktaları kullanılır. Set noktası planlanan konuma göre gerçek zamana bağlı güncellenir. Bu sayede robot eksenlerin her zaman bir hedef değeri bulmaktadır. Elde ettiğimiz hataların kaynağı hedef değerin güncellenmiş olmasındır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, doğrusal hareketi sağlayan servo sistem deney düzeneğinde PID denetleyici ile yeni nesil servo sürücü ve motorun kontrolü gerçekleştirilmiştir. Çalışmada SINAMICS S120 servo motor sürücü ile sürülen SIMOTICS S-1FK7 servo motorun PLC ile kontrolü sağlanmıştır. Konum, hız ve ivme kontrolü başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. PID kontrolör tarafından talep edilen referanslara göre basamak, sinüs ve rampa fonksiyonları kullanılarak servo motor kontrolü sağlanmıştır. PID kontrol yönteminin performansı yapılan test sonuçlarıyla başarılı olduğunu göstermiştir. Robotik eksenler için servo sürücünün ve PLC'nin kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu tez çalışması ile akademik çalışmalarda ve endüstriyel alanda henüz yeterli sayıda kullanılmayan SINAMICS S120 servo motor sürücüler kullanılan yöntemler sayesinde kullanımları daha yaygın hale gelebilecektir.

Bu tez çalışmasında çalışılan doğrusal hareket kontrol sistemi robotik uygulamalarda prizmatik eksen olarak kullanılabilir. Kartezyen tipi robotlar tasarlanabilir. Hassas doğrusal hareket kontrolünün gerektirdiği tüm alanlarda uygulanabilir. Bu hazırlanan deney düzeneği sayesinde PLC, motor sürücü, eksen kontrolü ve servo eğitimi aktif bir eğitici deney düzeneğine olarak kullanılabilir. Üniversitelerde hareket kontrolü laboratuvarında öğrencinin piyasaya hazır hale gelmesi için bu deney düzeneği kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Karşlı, M, T., "Controlling of a mechanical system having three dimensional moving capability by using servo motors, PLC, and a personal computer", Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gaziantep (2014).
2. Doğan, O., "İş güvenliği açısından endüstri 4.0 uygulamaları", Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2022).
3. İnternet: Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu, "Neden Siemens, Endüstri 4.0'da Bir Adım Önde Olmaya Devam Ediyor?", <https://www.endustri40.com/neden-siemens-endustri-4-0da-bir-adim-onde-olmaya-devam-ediyor/> (2022).
4. Vijayakarthick M., "Position tracking performance of ac servo motor based on new modified repetitive control strategy", *ELEKTRIKA-Journal of Electrical Engineering*, vol. 10, January, pp. 119–128, (2012).
5. AbdulWali, A., Fatin, A.R., and Hayima, N., "A review on the ac servomotor control systems", *ELEKTRIKA - Journal of Electrical Engineers*, VOL. 19, NO. 2, 22-39 (2020).
6. Rata, M., Rata, G., Graur, A., and Bejenar, C., "Automation design of a two-axis control using sinamics s210 and s7-1511t PLC", *2021 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)*, Suceava, Romania (2021).
7. Takahashi, T., and Rectifier, I., "High performance ac drive by single chip motion control engine IC", *International Rectifier Interface*, pp. 1–8 (2008).
8. Seki, Y., "Quick and stable speed control of SPMSM based on current differential signal and extension of DC-link voltage utilization in fluxweakening region", *Proc. - 2015 IEEE Int. Conf. Mechatronics*, ICM 2015, vol. 1, pp. 709–714 (2015).
9. Wang, S., "A high performance permanent magnet synchronous motor servo system using predictive functional control and kalman filter," *J. Power Electron.*, vol. 15, no. 6, pp. 1547–1558, Nov. (2015).
10. Li, X., and Li, S., "Speed control for a pmsm servo system using model reference adaptive control and an extended state observer", *Journal of Power Electronics*, vol. 14, no. 3, pp. 549–563 (2014).
11. Zhang, Y., "An active disturbance rejection control of induction motor using DSP + FPGA", *25th Chinese Control and Decision Conf. (CCDC)*, 4047–4052 (2013).

12. Işık, M. F., Haboğlu, M. R., Yanmaz H., "Monitoring and control of PLC based motion control systems via device-net", *Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC), 16th International IEEE Conference Publications*, Antalya, 963 (2014).
13. Birok, E., "Yüksek mertebeden teorik bir sistemin S7-300/400 tipi PLC için sayısal benzetim ile dijital PID kontrolör tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 70 (2013).
14. Velagic, J., Kaknjo, A., Osmic, N., and Džananović, T., " Networked based control and supervision of induction motor using OPC server and PLC", *ELMAR Proceedings 2011*, 14-16 September 2011, Zadar, Croatia (2011).
15. Weiben, C., "PLC temelli PID ve fuzzy kontrol sisteminin dizaynı ve simülasyonu", *Journal of Mechanical Design*, 125, 175-213 (2010).
16. Çeven, S., and Bayır, R., "Implementation of fuzzy logic based speed control of brushless direct", *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering IJISAE*, 4(Special Issue), 146–152 (2016).
17. Karşlı, M.T., "Controlling of a mechanical system having three dimensional moving capability by using servo motors, plc, and a personal computer", Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gaziantep, 1-40 (2014).
18. Maraba, V.A., " PIDNN ile bir ac motor hız kontrolünün plc ile gerçekleştirilmesi", Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-40 (2009).
19. Santur, Ö., "Otomatik pizza makinesinin silindirik robotunun tasarımı ve imalatı", Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir (2016).
20. Çubukçu, A., Kuncan, M., İmren, M., and Erol, F., "Görüntü işleme ile 3 eksenli robot mekanizması üzerinde nesne ayırt edilmesi ve sıralanması", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK'2015*, Denizli (2015).
21. Beşyaprak, Y., "MATLAB OPC araçları kullanılarak servo motorun pozisyon kontrolü ", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2016).
22. Ali, W. A., Razak, F. A. A., and Hayima, N., "A review on the AC servo motor control systems", *ELEKTRIKA-Journal of Electrical Engineering*, 19(2), 22-39, (2020).
23. Çamlıca, A. S., "Servo sistemlerin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).
24. İnternet: SIEMENS Industry Mall, "S-1FK7 Servo Motorun Özellikleri", <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10028743> (2022).

25. İnternet: Renishaw Apply Inovation, "Siemens DRIVE-CLiQ arayüz ile RESOLUTE™ gerçek-mutlak lineer ve dairesel (açılı) enkoder", <https://www.renishaw.com.tr/tr/siemens-drive-cliq-arayuz-ile-resolute-gercek-mutlak-lineer-ve-dairesel-acili-enkoder--20998> (2013).
26. İnternet: Siemens, "SINAMICS S120 and SIMOTICS", <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:529f0703-eac7-47cf-b8b0-1324bf7b2647/catalog-d21-4-sinamics-s120-simotics.pdf> (2017).
27. Çamur, S., Arifoğlu, B., Beşer, E., and Kaymakçı, Ö., "Hareket Kontrolü Sistemlerinin Temeli", *Siemens A.ş.*, İstanbul, 7-24 (2010).
28. İnternet: SIEMENS, "SINAMICS S120 drive system", <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10354530> (2022).
29. İnternet: Siemens, "SINAMICS S120 and SIMOTICS", <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109747019/catalog-d-21-4-sinamics-s120-and-simotics?dti=0&lc=en-WW> (2017).
30. Erdöl, M., "Bilyalı vidalı mil hareket sisteminin matematiksel modellenmesi ve titreşim analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 5-14 (2014).
31. İnternet: RMK Mekatronik, "Vidalı mil ve uygulama alanları", <https://www.rmkmekatronik.com/vidali-mil-ve-uygulama-alanlari/> (2021).
32. İnternet: Hamarakara Group, "V kayış kasnak", <https://www.hamara.com.tr/urunler/v-kayis-kasnak-ve-burclari> (2022).
33. Özkan, M.T., Toktaş, İ., and Demirhan, H., "Dişli kayış kasnak mekanizmasında farklı temas açılarının dişli kasnağı üzerindeki etkilerinin ANSYS ile analizi", *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016)*, Antalya, 1-7 (2016).
34. İşler, H., "Makine Elemanları Ders Notları", *Ege Üniversitesi Ege Meslek Yüksekokulu*, İzmir (2018).
35. İnternet: Makine Eğitimi, "Düz dişliler ve kramayer dişliler", <https://www.makinaegitimi.com/disli-cesitleri/#duzdisliler> (2021).
36. İnternet: Yavuzlar Makina, "Helis dişliler", <https://www.yavuzlarmakina.com.tr/konik-ve-helis-disli-s1139.html> (2021).
37. Özsoy, M., "Makine Elemanları II Ders Notları", *Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Sakarya (2022).

38. İnternet: Turkuaz Rulman, "Kaplin", <http://turkuazrulman.com/kaplin.html> (2022).
39. Bingül, Z. and Küçük, S., "Robot Kinematiği", *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2009).
40. İnternet: Electrical Work Book, "Kartezyen Robot", <https://electricalworkbook.com/cartesian-robot/> (2022).
41. İnternet: MECCANISMO COMPLESSO, "Workspace of a PPP configuration", <https://www.meccanismocomplesso.org/en/the-manipulators-the-most-common-configurations/> (2022).
42. Karşlı, M. T., "Controlling of a mechanical system"having three dimensional moving capability by using servo motors, plc, and a personal computer", Yüksek Lisans Tezi, *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gaziantep, 4-14, 2014.
43. İnternet: Festo, "Elektrikli doğrusal eksen EGC", https://www.festo.com/cms/tr_tr/14894.htm (2020).
44. İnternet: Linpotek, "Manyetik enkoder MS5", https://www.linpotek.com/_files/ugd/3070c6_9860883d70014cc38cbe0b446783d177.pdf (2022).
45. Kang C. G., "Origin of stability analysis: "on governors" [historical perspectives]", *IEEE Control Syst Mag*, 36(5):77–88, 2016.
46. Borase, R.P., Maghade, D.K., Sondkar, S.Y., and Pawa, A., "Review of PID control, tuning methods and applications", *International Journal of Dynamics and Control*, 9, 818-827, (2020).
47. Bennett S, "Development of the PID controller", *IEEE Control Syst Mag*, 13(6):58–62, (1993).
48. Aygün, H., "Akıskan yataklı buhar kazanının yatak sıcaklığının parçacık sürüsü optimizasyonu tabanlı PID kontrolör (PSO-PID) ile kontrol", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Karabük, 17-19, (2011).
49. Åström KJ, Hägglund T, "The future of PID control", *Control Engineering Pract* 9(11):1163–1175, (2001).
50. Ziegler, J. G., and Nichols, N.B., "Optimum Settings for Automatic Controllers", *Transactions of the ASME*, 64, pp. 759-768, (1942).
51. Cohen, G.H., and Coon, G.A., "Theoretical Consideration of Retarded Control", *Transactions of the ASME*, 75, 827-834, 1953.
52. Kolaj, W., Mozaryn, J., and Syfert, M., "PLC-PIDTuner: Application for PID tuning with SIMATIC S7 PLC controllers," *2016 21st International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, pp. 306-311, (2016).

53. Tatjewski, P., Trybus, L., Lawrynczuk, M., and Marusa, P., “supervisory control and optimization, modeling, diagnostics and process control implementation in the diaster system”, *Springer*, London, (2011).
54. Mozaryn, J., and Malinowski, K., “Tuning rules selection and iterative modification of pid control system parameters”, *Mechatronics, 10th International Conference*, Brno, Czech Republic, Springer Publishing Company, (2013).
55. Ogata, K., "Modern Control Engineering 4nd ed.", Minnesota, 219-220, (2002).
56. Terziođlu, H., "Kontrol Sistemleri Ders Notları", *Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Konya, (2017).
57. Yılmaz, F.H., “AC ve DC servo sistem eğitim setinin gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 138, (2008).
58. Sravya, K., “Speed control of electric drives using Active Disturbance Rejection Control,” *2016 Bienn. Int. Conf. Power Energy Syst. Towar. Sustain. Energy*, pp. 1–6 (2016).

ÖZ GEÇMİŞ

Mustafa Feyzi TEMEL ilk, orta ve lise öğrenimini Konya'da tamamladı. 2010 yılında KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde 2015 yılında mezun oldu. 2017 yılında KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı ve 2022 yılında mezun oldu. 2017 yılında KBÜ Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak işe başladı ve halen aynı yerde çalışmaktadır.