

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TAM OTOMATİK
ELEKTROSTATİK TOZ BOYA ROBOTU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mevlüt HERDİLİ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doc. Dr.Zeki Yağız BAYRAKTAROĞLU

Ocak 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TAM OTOMATİK
ELEKTROSTATİK TOZ BOYA ROBOTU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mevlüt HERDİLİ
(518171046)**

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doc. Dr.Zeki Yağız BAYRAKTAROĞLU

Ocak 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 518171046 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mevlüt HERDİLİ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “TAM OTAMATİK ELEKTROSTATİK TOZ BOYA ROBOTU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doc. Dr.Zeki Yağız BAYRAKTAROĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İlker Murat KOÇ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doc. Dr. Cüneyt YILMAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **18 Ocak 2021**
Savunma Tarihi : **11 Şubat 2021**





Eşime,



ÖNSÖZ

Üniversite öğrenimimde, üniversite bünyesinde ve haricinde yapmış olduğumuz çalışmalarda, tez çalışması esnasında yönlendirici eleştirileri ile kıymetli bilgilerini esirgemeyen danışmanım, Sayın Doc. Dr.Zeki Yağız BAYRAKTAROĞLU'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tez çalışmasının her aşamalarında bana destek olan, tecrübelerini ve imkanlarını esirgmeden paylaşan, Sayın Ahmet DEMİROĞLU'na teşekkür ederim.

Deney düzeneğini oluştururken yardım ve desteklerini gördüğüm ASEL A.Ş. çalışanlarına ve yöneticilerine teşekkür ederim.

Eğitimim ve tezimde her zaman desteklerini benden esirgemeyen Aileme ve kıymetli eşime defalarca teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2021

Mevlüt Hurdili
(Mekatronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	x
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvii
SUMMARY	xx
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	5
1.2 Literatür Araştırması	6
1.2.1 Elektrostatik toz boya uygulama alanları ve yöntemleri	7
1.2.2 Boya kabinlerindeki silindirik filtreler	11
1.2.3 Boya kabin sistemleri	13
1.2.4 Boya kabinlerinde kullanılabilecek robot mekanizmaları.....	14
1.2.5 Şu anda fabrikada kullanılan boya kabinlerinin incelenmesi.....	23
1.3 Hipotez	25
2. MEKANİK TASARIM	27
2.1 Matematiksel Modelleme	31
2.1.1 Denavit hartenberg yöntemi	32
2.1.2 Robot karakterizasyonu ve kinematik şeması	34
2.1.3 Geometrik model	36
2.1.3.1 İleri ve ters geometrik model.....	39
2.1.3.2 Çalışma uzayı	40
2.1.4 Kinematik model	40
2.1.4.1 İleri ve ters kinematik model.....	41
2.1.4.2 Jakobiyen matris	41
2.1.5 Dinamik Model	43
2.1.5.1 Dinamik modelin ifade edilmesi	45
2.1.5.2 Motor tork değerlerinin hesaplanması.....	48
2.2 Katı Model.....	51
2.2.1 Katı modelde kullanılan sistem elemanları	54
2.2.1.1 Lineer kızaklar ve arabalar	55
2.2.1.2 Motorlar.....	56
2.2.1.3 Triger kayış kasnaklar mekanizması	62
2.2.1.4 Sensörler	64
2.2.1.5 Paslanmaz kızak koruyucular	65
2.2.1.6 Melat aksamlar	66
2.2.1.7 Sigma Profiller	67
2.2.1.8 Boya tabancası , kontrolcüsü ve haznesi	68
2.2.1.9 PLC kontrolcüsü ve operatör paneli	68

2.2.1.10 Hava Filtresi ve hava emiş motoru.....	72
2.2.1.11 Boya kabini	73
2.2.1.12 Rulmanlar ve kaplinler	73
2.2.1.13 Hareketli kablo kanalı	74
3. PROTOTİP ROBOT MEKANİZMASI İMALATI	75
3.1 Mekanik İmalat	75
3.1.1 Ana gövde imalatı	76
3.1.2 Robot eksen uzunluğunun imalatı.....	79
3.1.3 Montaj işlemleri.....	86
3.2 Kontrol Sistemi Donanımı	89
3.3 Boya Kabini Tasarımı	92
4. KONTROL SİSTEMİ TASARIMI	93
4.1 Yörünge Planlaması	94
4.1.1 Hareket türleri	95
4.2 Robot Kontrol Sistemi.....	97
5. DENEYLER	104
5.1 Uygulanan Deneysel Yörünge 1	109
5.1.1 Tost gövdesi boyama analizi	114
5.2 Uygulanan Deneysel Yörünge 2	120
5.2.1 Fırın gövdesi boyama analizi	120
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	128
KAYNAKLAR	131
EKLER	134
ÖZGEÇMİŞ.....	160

KISALTMALAR

DOF	: Serbestlik Derecesi
App	: Appendix
CGI	: Common Gateway Interface
Mbps	: Megabits Per Second
St	: Station
DSP	: Dijital işaret işleme
PLC	: Programmable Logic Controller
DA	: Doğru akım(DC akım)
HMI	: İnsan Makine Arayüzü
PWM	: Sinyal Genişlik Modulasyonu (Pulse width modulation)
PI	: Oransal Integral Kontrol
PID	: Oransal Integral Türevsel Kontrol
UPS	: Sürekli Güç Kaynağı
CDP	: Kontrol geliştirme paketi (Control Development Package)
HW	: Parça - Donanım Kısaltması(Hardware)
SF	: Bilgisayar Yazılım Kısaltması (Software)
I/O	: Plc Giriş-Çıkış (Input/Output)
A/D	: Analog/Dijital
D/A	: Dijital/Analog
ADC	: Analogdan Dijitala Çevirici
DAC	: Dijitalden Analoga Çevirici
Mm	: Milimetre
DH	: Denavit Hartenberg Yöntemi
PD	: Oransal Türevsel Kontrol
CTC	: Hesap Yapılmış Tork Kontrolü
Puls	: Motor Sürme Uyarıtısı
RTC	: Gerçek Zaman Saati
RS-485	: Dengeli Veri İletimi (Balanced Data Transmission)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi

SEMBOLLER

G	: Yerçekimi ivmesi (m/s ²)
T	: Tork
J	: Sistemin toplam atalet moment
α	: Sistemin ivmesi(açısal ivme)
M	: (Nm) Döndürme Momenti
N	: (kW) Motor Gücü
h	: Redüktör Çalışma Verimi
n₂	: Redüktör Çıkış Milindeki Devir Miktarı
J_m	: Motor ataleti
T_o	: Motora etkiyen sürtünme torku
J_o	: Motor miline etkiyen toplam yük ataleti
ω	: Açısal hız
T_{tepe}	: Tepe torku
T_{rms}	: Rms torku
I	: Eylemsizlik Momenti
m	: Kütle (kg)
a	: İvme
F	: Kuvvet
t	: Taksimat
d_o	: Taksimat dairesi çapı
δd	: Düzeltme sayısı
d_b	: Diş başı çapı
dm	: Etken çapı
L_w	: Kayış uzunluğu
z_k	: Kavrayan diş sayısı
P	: Güç (kW)
v	: Hız (m/s)
η	: Verim
F_Q	: Çıkış miline Gelen Radyal Yükler (N)

ms	: Milisaniye
us	: Mikrosaniye
Z	: Triger Kasnak Diş Miktarı
β	: Helis Açısı Miktarı
B	: Triger Kasnak Diş Kalınlığı
D	: Çap
R	: Yarıçap
H	: Diş Derinliği
ho	: Kremayer Dişli Çalışma Yüksekliği
L	: Boy
X	: X Ekseni
Y	: Y ekseni
Z	: Z ekseni
T	: Robot Ucu Dönme Hareketi
P	: Askı Motoru Dönme Hareketi
D_m	: Triger Kasnak Göbek Çapı
d_k	: Triger Kasnak Diş Çapı
F_s	: Sürtünme Kuvveti

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 : Kinematik Zincir Elemanları.	28
Tablo 2.2 : Kullanılan Ana Robot Tipleri ve Çalışma Uzayları.....	29
Tablo 2.3 : Robot Kolların Konfigürasyonlarının Kıyaslanması	30
Tablo 2.4 : Robotun Geometrik Parametreleri.....	37

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Elektrostatik Toz Boya.....	1
Şekil 1.2 : Elektrostatik Toz Boyama Sistemi.....	4
Şekil 1.3 : Elektrostatik Toz Boyama Robot Mekanizması.....	5
Şekil 1.4 : Elektrostatik Toz Boyama Kabin Sistemi	7
Şekil 1.5 : Corona Boya Tabancası Ve Boya Uygulama Yöntemi.....	9
Şekil 1.6 : Piyasada Kullanılan Corona Boya Tabancası	9
Şekil 1.7 : Tribo Boya Tabancası Ve Boya Uygulama Yöntemi	10
Şekil 1.8 : Piyasada Kullanılan Tribo Boya Tabancası.	10
Şekil 1.9 : Elektrostatik Toz Boya Kabini Filtre Düzeni.....	11
Şekil 1.10 : Elektrostatik Toz Boya Kabini Filtre Çalışma Şeması.	12
Şekil 1.11 : Elektrostatik Toz Boya Kabini Filtre Çalışma Şeması 2.	12
Şekil 1.12 : Manuel Elektrostatik Toz Boya Kabini.....	13
Şekil 1.13 : Otomatik Elektrostatik Toz Boya Kabini.....	13
Şekil 1.14 : Elektrostatik Toz Boya Uygulama Yöntemleri 1)Manuel 2)Otomatik..	14
Şekil 1.15 : Robot Kontrol Çevrimleri.	17
Şekil 1.16 : Kartezyen Manipülâtör.....	18
Şekil 1.17 : Silindirik Manipülâtör.....	18
Şekil 1.18 : Küresel Manipülâtör.....	19
Şekil 1.19 : Eklemlî-İnsan Kolu Manipülâtör.	19
Şekil 1.20 : Piyasada Kullanılan Kartezyen Toz Boya Robot Mekanizması – 1.	21
Şekil 1.21 : Piyasada Kullanılan Kartezyen Toz Boya Robot Mekanizması – 2	21
Şekil 1.22 : Piyasada Kullanılan 6 Eksen Toz Boya Robot Mekanizması – 1	22
Şekil 1.23 : Piyasada Kullanılan 6 Eksen Toz Boya Robot Mekanizması – 2.....	23
Şekil 1.24 : Fabrikada Kullanılan Boya Sistemi – 1.....	24
Şekil 1.25 : Fabrikada Kullanılan Boya Sistemi - 2	24
Şekil 2.1 : Mekanik Ve Matematiksel Model İçin Tasarlanmış Model.....	27
Şekil 2.2 : Robotun Kinematik Zincir Tablosu Ve Çalışma Uzayı.	29
Şekil 2.3 : Eklem Değişkenlerinin Belirlenmesi.....	33
Şekil 2.4 : Robot Mekanizmasının Hareket Yönleri.....	34
Şekil 2.5 : Robotun Kinematik Zinciri.	35
Şekil 2.6 : Robotun Kinematik Şeması.....	36
Şekil 2.7 : 3 Eklemlî Robotumuzun Eksen Atamaları.	36
Şekil 2.8 : Kartezyen Robot Sistemimizin Çalışma Uzayı.	40
Şekil 2.9 : Serbest Cisim Diyagramı.	47
Şekil 2.10 : Robot Mekanizmasının ve Boya Kabininin 3 Boyutlu Çizimi.	51
Şekil 2.11 : Robot Mekanizması - 1.	52
Şekil 2.12 : Robot Mekanizması - 2.	53
Şekil 2.13 : Robot Mekanizması - 3.	54
Şekil 2.14 : SHN15B Araba – SHN 20A Araba – SHN Paslanmaz Kızak.....	55
Şekil 2.15 : SHN15B Araba Kesit Görüntüsü.	56
Şekil 2.16 : Delta 0.75 kW B2 Serisi Frenli Servo Motor.....	57
Şekil 2.17 : Servo motor-Ekran-Bilgisayar-Plc bağlantısı(Delta Otomasyon).....	59
Şekil 2.18 : Delta ASD-B2-0721-B Servo Motor Sürücüsü.	60

Şekil 2.19 : Nema23 2.2Nm Step Motor.....	60
Şekil 2.20 : Nema23 Step Motor Sürücüsü.	61
Şekil 2.21 : Kayış Kasnak Sistemi.....	62
Şekil 2.22 : Kayış-Kasnak Mekanizmasında Kullanılan Kayış Çeşitleri.	63
Şekil 2.23 : Kullanılan Endüktif Sensörler.	64
Şekil 2.24 : Sensörlerin PLC ile bağlantı şekli.	65
Şekil 2.25 : Kızak Koruyucu Körük Mekanizması.....	66
Şekil 2.26 : Lazer Kesim İşlemi Uygulanmış Metal Parçalar.....	67
Şekil 2.27 : Sigma Profil Çeşitleri.	67
Şekil 2.28 : Corona Boya Tabancası Ve Kontrol Ünitesi.....	68
Şekil 2.29 : DVP 12Sa2 PLC ve Dop-B07E411 Panel.....	69
Şekil 2.30 : Plc İç Yapısı.	70
Şekil 2.31 : Eloktrostatik Toz Boya Filtresinin Kabindeki Konumu.	72
Şekil 2.32 : Eloktrostatik Toz Boya Kabin Tasarımı.....	73
Şekil 2.33 : UCP204 ve UFL002 Yataklı Rulman-Alüminyum Kaplin.....	74
Şekil 2.34 : Farklı Boyutlardaki Kablo Kanalları.....	74
Şekil 3.1 : Ana Gövde İmalatı-1.....	76
Şekil 3.2 : Ana Gövde İmalatı-2.....	77
Şekil 3.3 : Ana Gövde İmalatı-3.....	78
Şekil 3.4 : Ana Gövde İmalatı-4.....	78
Şekil 3.5 : Y Ekseni İmalatı – 1.....	80
Şekil 3.6 : Y Ekseni İmalatı – 2.....	81
Şekil 3.7 : Y Ekseni İmalatı – 3.....	82
Şekil 3.8 : Y Ekseni İmalatı – 4.....	83
Şekil 3.9 : X Ekseni İmalatı – 1.....	84
Şekil 3.10 : X Ekseni İmalatı – 2.....	84
Şekil 3.11 : Z Ekseni İmalatı – 1.....	85
Şekil 3.12 : Z Ekseni İmalatı – 2.....	86
Şekil 3.13 : Z Ekseni İyileştirme.	87
Şekil 3.14 : Sistem Montajı.	88
Şekil 3.15 : Elektrik Pano Montajı – 1.	89
Şekil 3.16 : Elektrik Pano Montajı – 2.	90
Şekil 3.17 : Sensör Yerleşimleri.	91
Şekil 3.18 : Boya Tabancası ve Kontrolcüsünün Montajı.....	91
Şekil 3.19 : Boya Kabini Prototipi İle Sistem Birleşimi.....	92
Şekil 4.1 : Açık Çevrim Kontrol Sistemi.....	93
Şekil 4.2 : Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi	94
Şekil 4.3 : Sistem Hareket Yörünge Şeması.....	96
Şekil 4.4 : Sistem Durum Akış Şeması.....	97
Şekil 4.5 : Operatör Paneli Ana Sayfa.	98
Şekil 4.6 : Boya Tabancası Kontrol Ekranı.	99
Şekil 4.7 : Operatör Paneli Kontrol Sayfası.....	100
Şekil 4.8 : Operatör Paneli Ürün Seçim Ekranı.	101
Şekil 4.9 : Operatör Paneli Ürünler Ekranı.....	101
Şekil 4.10 : Motor Sürücü Bağlantısı.	102
Şekil 4.11 : PLC Kontrolcü Yazılımı.	103
Şekil 5.1 : Yeni Ürün Gövdesi Boyama İşlemleri.	105
Şekil 5.2 : Matlab Boya Yazılım Simülasyonu.	105
Şekil 5.3 : Matlab Boya Yazılımı.	106
Şekil 5.4 : Tost Makinesi Gövdesi Boyama İşlemi.	107

Şekil 5.5 : Fırın Gövdesi Boyama İşlemi.....	108
Şekil 5.6 : Tost Gövdesi Boyamak İçin X Eksenli Konum Zaman Grafiği.....	109
Şekil 5.7 : Tost Gövdesi Boyamak İçin X Eksenli Hız Zaman Grafiği	110
Şekil 5.8 : Tost Gövdesi Boyamak İçin X Eksenli İvme Zaman Grafiği.	110
Şekil 5.9 : Tost Gövdesi Boyamak İçin Y Eksenli Konum Zaman Grafiği.....	110
Şekil 5.10 : Tost Gövdesi Boyamak İçin Y Eksenli Hız Zaman Grafiği.....	111
Şekil 5.11 : Tost Gövdesi Boyamak İçin Y Eksenli İvme Zaman Grafiği.	111
Şekil 5.12 : Tost Gövdesi Boyamak İçin Z Eksenli Konum Zaman Grafiği.....	111
Şekil 5.13 : Tost Gövdesi Boyamak İçin Z Eksenli Hız Zaman Grafiği.....	112
Şekil 5.14 : Tost Gövdesi Boyamak İçin Z Eksenli İvme Zaman Grafiği.....	112
Şekil 5.15 : Tost Gövdesi Boyamak İçin T Eksenli Konum Zaman Grafiği.....	112
Şekil 5.16 : Tost Gövdesi Boyamak İçin T Eksenli Hız Zaman Grafiği.	113
Şekil 5.17 : Tost Gövdesi Boyamak İçin T Eksenli İvme Zaman Grafiği.....	113
Şekil 5.18 : Tost Gövdesi 1.Deney Konum Zaman Grafiği.	114
Şekil 5.19 : Tost Gövdesi 1.Deney Hız Zaman Grafiği.....	114
Şekil 5.20 : Tost Gövdesi 1.Deney İvme Zaman Grafiği.	115
Şekil 5.21 : Tost Gövdesi 1.Deney Boya Analizi.....	115
Şekil 5.22 : Tost Gövdesi 2.Deney Konum Zaman Grafiği.	116
Şekil 5.23 : Tost Gövdesi 2.Deney Hız Zaman Grafiği.....	116
Şekil 5.24 : Tost Gövdesi 2.Deney İvme Zaman Grafiği.	117
Şekil 5.25 : Tost Gövdesi 2.Deney Boya Analizi.....	117
Şekil 5.26 : Tost Gövdesi 3.Deney Konum Zaman Grafiği.	118
Şekil 5.27 : Tost Gövdesi 3.Deney Hız Zaman Grafiği.....	118
Şekil 5.28 : Tost Gövdesi 3.Deney İvme Zaman Grafiği.	119
Şekil 5.29 : Tost Gövdesi 3.Deney Boya Analizi.....	119
Şekil 5.30 : Fırın Gövdesi 1.Deney Konum Zaman Grafiği.....	121
Şekil 5.31 : Fırın Gövdesi 1.Deney Hız Zaman Grafiği.....	121
Şekil 5.32 : Fırın Gövdesi 1.Deney İvme Zaman Grafiği.	121
Şekil 5.33 : Fırın Gövdesi 1.Deney Boya Analizi.	122
Şekil 5.34 : Fırın Gövdesi 2.Deney Konum Zaman Grafiği.....	123
Şekil 5.35 : Fırın Gövdesi 2.Deney Hız Zaman Grafiği.....	123
Şekil 5.36 : Fırın Gövdesi 2.Deney İvme Zaman Grafiği.	123
Şekil 5.37 : Fırın Gövdesi 2.Deney Boya Analizi.	124
Şekil 5.38 : Fırın Gövdesi 3.Deney Konum Zaman Grafiği.....	125
Şekil 5.39 : Fırın Gövdesi 3.Deney Hız Zaman Grafiği.....	125
Şekil 5.40 : Fırın Gövdesi 3.Deney İvme Zaman Grafiği.	125
Şekil 5.41 : Fırın Gövdesi 3.Deney Boya Analizi.	126

TAM OTOMATİK

ELEKTROSTATİK TOZ BOYA ROBOTU

ÖZET

Bu proje kapsamında bir fabrikada tesbit edilen boyahane sorunları iyileştirilmeye çalışılmıştır. Mevcut boyahane çalışma sisteminde çoğu makine ve ayarlar manual olarak yapıp , kişiye dayalı bir üretim yapılmaktadır. Bu tarz üretim yapılması kaliteyi düşürdüğü gibi hata oranında arttırmaktadır. Bu sorunlardan yola çıkarak elektrostatik toz boya incelenmiş ve çalışma koşulları belirlenmiştir. Kısaca Elektrostatik toz boyadan bahsetmek gerekirse:

Elektrostatik toz boyama yöntemi, dünyada oluşan çevreye karşı bilinçlenme hareketine paralel olarak geliştirilen, toz boya zerreciklerinin ve metal parçaların belirli bir manyetik alan içerisinde zıt elektrik iyonları ile yük yüklenmeleri, bu işlem sonucunda toz parçacıkların mıknatıslanma etkisiyle parça yüzeyini sarması hususuna dayanan bir boya yapma uygulaması olarak meydana gelmiştir. Elektrostatik toz boya ile boyanan metal parça 180-200 derece çok yüksek sıcaklık ile kürlenerek boyanın pışmesi sağlanmakta, bu sayede metal ekipmanların bir uzvu haline gelen boya kaplanmış bir metal yüzeyi elde edilebilmektedir.

Günümüz dünyasının aranan çevre dostu bir malzemesi olarak yer edinen elektrostatik toz boya, işleme alınma anında kaplama için uygulanan boya miktarının %98'nin parçalara yapışabilirliği sonucu ile bunu ispatlamaktadır. Uygulama sürecinde boya taneciklerine çok düşük bir doğru akım yükleyerek (0.7 mA), topraklanmış metal parçanın üzerine gönderilmesidir. Boyama sisteminde diğer elektrik ile çalışan el aletlerdeki gibi (Testere, matkap vs.) elektirik çarpılma olasılığı yoktur. Boya zerrecikleri tabanca ucundan ayrılırken (-) elektrik yükü kazanır. Boyanacak topraklanmış metal yüzetin üzerine boya zerrecikleri kuvvet yolları çengeller oluşturacak şekilde transfer edilir.

Boya tanecikleri; farklı yükler biri diğerini çeker kuralına göre metal yüzey üzerine hareket ederler. Ama boya zerrecikleri kendi aralarında aynı yükte yüklü oldukları için birbirlerini iterek homojen dağılıma olanak sağlar. Bu sayede damlama ve akıntı olasılığını en az miktara düşürürler. Elektrostatik yöntem ile boyanacak metal yüzeylere boya zerrecikleri uygulandıktan sonra fırınlanması ile ortaya çıkan kaplamaya elektrostatik toz boya kaplaması denir. Elektrostatik toz boyama yöntemi solvent bazlı kimyasallar bulundurmuyan çevreci bir boyama yöntemidir. Örtücü malzeme, son kat boya katmanı olan çok az miktardaki toz boya zerrecikleridir. Elektrostatik toz boyama, boya kabinlerinde corona veya tribo boya tabancaları aracılığı ile yapılmaktadır.

Toz koya zerrecikleri boya tabancasından geçerken elektrostatik yük ile yüklenir. Boya kabini içinde ise boyanacak metal malzemeye yapışır. Bu işlem ile kaplama uygulanmış olur. Eloktrostatik toz boya parçacıklarının metal yüzeyine mükemmel olarak tutunabilmesi için metal parçanın çok sağlam bir yöntemle topraklanmış olması gerekir. İstenenden fazla uygulanan boya, kabinlerde bulunan boya geri toplama sistemleri sayesinde alınır ve defalarca kullanılabilir. Toz boya geri toplama sistemleri elektrostatik toz boy yönteminin en dikkat çeken ekonomik faydalarından bir tanesidir. Metal parça toz boya zerrecikleri ile tam olarak boyandıktan hemen sonra kürtleme fırınlarına alınır. 180-200°C olan boya fırınları toz boyanın eritilmesine ve metal yüzeyine yapışmasına olanak verir. Sonuç olarak çevre dostu, yüksek dayanımlı, ucuz maliyetli, çok fazla renk seçenekli ve parlak bir yüzey boyama teknolojisine ulaşılabilinmektedir.

Boya içeriğinde solvent olmaması, mükemmel yüzey görünümü, sağlamlığı, ekonomikliği, tekrar tekrar kullanılabilirliği, ve çevreye karşı hassasiyeti elektrostatik toz boya teknolojisini standart boyama uygulamalarına oranla daha tercih edilebilir bir seçenek olarak karşımıza çıkarmaktadır.

Elektrostatik toz boyama teknolojisinin alüminyum ve çelik parçalar üzerinde uygulanması, son zamanlarda sürekli gelişim göstermesi, endüstriyel yüzey kaplama alanında önemli bir değişimin gerçekleşmesini sağlamıştır. Çok fazla ihtiyaca kolaylıkla çözüm sağlayan elektrostatik toz boyama uygulamalarının: dayanıklılık, kalite, kaplama, dış görünüş, ekonomi ve çevre korunumu gibi halihazırda kullanılan boyalara göre sayısız avantajları vardır.

Elektrostatik toz boya ürün üzerine her noktaya eşit olarak atıldığı zaman gerçek tutunma ve kapatma özelliğini gerçekleştirmiş oluyor. Bu koşulları sağlamak için farklı eksenlerde hareket edebilen esnek bir mekanizma tasarlanmış ve her boyanacak ürün gövdesi analiz edilerek ortak bir yazılım geliştirilmiştir.Hareketli robot mekanizması ve otomatik boya tabancaları sayesinde ürün üzerine atılan boya eşit dağıtılmış, her nokta boyanmış ayrıca yapılan her işlem kayıt altına alınmıştır. Yapılan kayıtlar sayesinde gelecekte yapılacak boyama işleminin kaliteside korunmuş olacaktır.

Robot mekanizmasında kullanılan motor ve sürücü aksamları sayesinde hassas konumlama ve hızlı işlem yapma olayı gerçekleştirilmiştir. Mekanizmayı kontrol eden sistemler ile operatör arasında iletişim kurmak için geliştirilen arayüz sayesinde operatör yapacağı işlemleri takip edip ne yapacağı hakkında bilgilendirilmiş ayrıca anlık yaptığı ürün sayısını ve boyama ayarlarınıda görerek işini daha hakim bir şekilde yapmış olmaktadır.

Yapılan her işlem server ağına gittiği için üründe olabilecek hatalar en aza indirilmiş ve gerçekleştirilecek bir hatanın neden , ne zaman ve niçin sorularına çözüm bulunmuştur.



FULLY-AUTOMATIC ELECTROSTATIC POWDER COATING ROBOT

SUMMARY

Dyehouse problems identified in a factory within the scope of this project were tried to be developed. In the current dyehouse working system, most of the machines and settings are made manually, so a person-based production is made. This type of production not only reduces the quality but also increases the error rate. Based on these problems, electrostatic powder paint was examined and working conditions were determined.

To talk about electrostatic powder paint in short; Electrostatic Powder Coating has been developed in parallel with the environmental awareness in the world. Different electrical charges of metals and powder paint material in a magnetic environment have emerged as a painting method based on the principle of coating the metal surface of the powder material with the effect of a magnet. The powder-coated metal surface is baked at 180-200 degrees of high temperature to cure the paint, thus obtaining a painted surface that becomes a part of the metal.

Electrostatic powder paint, which is the environmentally friendly product of today, proves this with the result that 98% of the amount of paint used during application can be attached to the metal. It is the transfer of paint particles onto the grounded part by loading a very low direct current (0.7 mA) during spraying. There is no possibility of electric shock in the system as in other power tools (drill motor, etc.). When the paint comes out of the gun (-) electricity is charged. It goes to the surface of the grounded part to be painted by following the force paths in the form of hooks.

Paint particles are attracted to on the part according to the principle that opposite poles attract each other. However, since they are at the same pole among themselves, they provide a homogeneous distribution by pushing each other. Thus, they reduce the possibility of runny and dripping to an almost negligible level. The coating formed by melting polymer powders after separation on the parts to be electrostatically coated is called powder coating. Electrostatic powder painting is a solvent-free surface coating method. The coating material is very fine powder paint particles that form the topcoat paint layer. Powder paint is sprayed in the paint booth by special paint guns.

While passing through the gun, powder paint particles charged electrostatically adhere to the material to be painted in the cabin and the coating process is completed. For the powder paint to adhere fully to the surface of the material, the material must also be well-grounded. The excess paint is collected and reused thanks to the paint recovery system in the cabin. The paint recovery system is one of the biggest economic advantages of electrostatic powder coating technology. After the material is covered with powder paint, it enters the cooking oven. The oven temperature of 200°C enables the powder paint to melt and adhere to the material. The result is a very durable, economical, environmentally friendly, wide color range, and glossy surface coating.

Its surface quality, paint recovery system, solvent-free, durability, economy, and environmental sensitivity make electrostatic powder coating a more attractive alternative to traditional painting processes.

The continuous development of powder coating technology applied on aluminum and steel parts in recent years has made a significant breakthrough in the field of an industrial surface coating. Powder coating technology, which easily provides solutions to many needs, has numerous advantages over traditional paints such as coating, appearance, quality, durability, economy, and environmental protection.

When powder paint is applied to every point on the product equally, it realizes its real adhesion and covering feature. To fulfill these conditions, a flexible mechanism that can move in different axes was designed and a common software was developed by analyzing each product body to be painted. Thanks to the moving robot mechanism and automatic paint guns, the paint applied on the product was evenly distributed, each point was painted, and every operation performed was recorded. Thanks to the records made, the quality of the future painting process will be preserved.

Thanks to the motor and drive parts used in the robot mechanism, precise positioning, and fast processing have been achieved. Thanks to the interface developed to communicate between the systems controlling the mechanism and the operator, the operator was informed about the operations to be carried out and what to do. Also, he has done his job more experienced by seeing the number of products and painting settings made.

Since every operation made goes to the server network, possible errors in the product are minimized and a solution has been found for the questions of what, when, and why of a possible error.



1. GİRİŞ

Fabrikalarda seri üretimin ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve üretimde kaliteyi arttırmak için metal yüzeyine birçok boya uygulama tekniği denenmektedir. Bunlardan biride geri dönüşüm oranları ve yüzeye tutunma miktarları açısından en iyi yöntemlerden olan Elektrostatik Toz Boya yöntemidir. Ürün yüzeyinin kalitesi ürünün satılabilirliğini etkilediği gibi üretim maliyetlerinede etkilemektedir. Az malzeme ile iyi bir yüzey kaplaması sağlayabilmek üretimi hızlandırmakta ve maliyetleri azaltmaktadır. Boyanın yüzeye yapışma ve ürünün bir parçası haline gelmesi için geçen süre bütün üretim hızını ve yapılacak üretim miktarlarını etkilemektedir. Bununla birlikte ürün üzerine atılan boyanın yüzeydeki dağılımı bütün yüzeyi kaplayabilmeli ve birikinti yapmamalı. Yapılan boyama işlemini kişi bazlı üretimden çıkarıp kaliteyi sabit tutma ihtiyacı seri üretimlerde kalite ve müşteri potansiyeli açısından son derece önemlidir. Boyama işlemini robot mekanizmaları ve sabit ayarlar üzerinden uygulanmaya başlandığında ihtiyaç duyulan kalite seviyesine , üretim hızlarına ulaşılmış olacaktır. Üretim yapılmasında iş gücü ve zaman gereken aynı zamanda hata yapılmasına da açık olan ürünlerin bir robot mekanizması ile üretilmesi en verimli yöntemdir. Bu açıdan boyanın uygulama şekilleri incelenmiş , hatalar ve iyileştirmeler tespit edilerek gerekli uygulama sistemleri belirlenerek yapılacak olan makinenin ana kriterleri ortaya çıkarılmıştır. Sistemde metal yüzeyine uygulanmak istenen boya türünden bahsedilirse;



Şekil 1.1: Elektrostatik Toz Boya [1]

Elektrostatik toz boyama yöntemi geçmişten günümüze kadar Amerika ve Avrupa'da kullanılıyor olmasına rağmen, Türkiye'ye ancak 1980 li yılların sonlarında getirilmiştir bir boya uygulama metodudur. [1]. Geçmişten beri kullanılan yağ boya uygulamalarına kıyasla çok genç olmasına rağmen, çok az bir zamanda yüksek uygulama alanı edinmiş ve üretim miktarları oranı olarakta dikkate alınmaya değer miktarlar elde edilmiştir. Toz boyama yöntemi özellikle parça yüzeylerini korumakta ve mükemmel bir görüntü kazandırma için kullanılır.

Son zamanlarda ortaya çıkan ilerlemeler sonucu ahşap,seramik, cam ve hatta plastik parçaların yüzeylerinin de boyanmasında toz boya teknolojisinden faydaniılmaktadır [2]. Uygulama ve çevresel açısından imkan tanıdığı yararlar toz boyayı boya sektörünün vazgeçilmez bir parçası olmasını sağlamıştır. Elektrostatik toz boyama elektrostatik güç ile çalışan corona ve tribo tabancalar vasıtası ile uygulanır. Daha sonrasında ise uygun fırınlama şartlarında kürlenir.

Elektrostatik toz boya teknolojisi bilimsel olarak elektrostatik kurallara dayanır [3]. Toz boya zerrecikleri istenilen basınçtaki hava ile boya tabancasının uç kısmına transfer edilmesi ve elektrostatik yük ile yüklenerek boyama öncesinde çok iyi bir şekilde topraklanmış metal parçanın yüzeyine gönderilmesi olarak tanımlanabilmektedir. Toz Boyanın eksi (veya artı) yüklenmesinden ortaya çıkan sebeple toz boya ile metal parça yüzeyi arasında bir çekim kuvveti ortaya çıkar ve yüklenen boya metali elektrostatik biçimde kaplar. Yani elektrostatik toz boyama teknolojisi toz boya parçacıklarının ve metal yüzeylerin bir manyetik alan içerisinde ters elektrik yükü ile yüklenmeleri, bundan sebeple toz parçacıklarının metal parçayı mıknatıs etkisiyle kaplaması metoduna dayanan bir boya yapma uygulaması olarak meydana gelmiştir. Normal koşullarda toz boya ile boyanan metal parça 180-200 derece yüksek sıcaklıktaki fırınlarda kürlenerek boyanın pişirilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede metalin bir uzvu gibi olan boyalı bir yüzey oluşmaktadır.

Bu uygulanması kolay ve çevreci ayrıca ekonomik olan bu boyama yöntemini seçmemizin bir çok önemli nedeni vardır [4]:

→**Muhteşem Kaplama:**

Elektrostatik toz boyanın zerrecik yapısı fırınlama işlemi esnasında boyanın malzemeye tutunmasına olanak sağlar. Bu işlemin sonucunda ortaya çıkan kaplama paslanmaya, çizilmeye, kirlenmeye, darbelere ve kimyasal etkilere karşı oldukça iyi dayanım sağlar. Toz boya firmalarının yaptığı çalışmalar neticesinde doku, parlak yüzey, renk, yüksek dayanım ve uygulanmasında kolaylık gibi önemli faydalara ulaşılmıştır.

→**Otomasyon İmkanları:**

Elektrostatik toz boya otomatik işletmeler için vazgeçilmezdir. Toz boyayı vazgeçilmez kılan üç faydalı neden bunlardır:

- Elektrostatik yükü yüklenen toz boya zerrecikleri boyanacak metale “statik” kuvveti ile mükemmel olarak tutunur.
- Kenar ve yüzeylere mükemmel olarak ulaşır.
- Toz boyada yüzeyde akıntı olamaz.

→**Bakım İmkanları:**

Toz boyama teknolojisinde sistem parçalarının bakımı çok basittir: Renk değişikliği istendiğinde tabancalar ve boya kabini basınçlı hava ile temizlenerek silinir.

→**Çevre Yaklaşımı:**

Çevreye karşı çok hassas bir işlem olan elektrostatik toz boya petrol kaynaklı uçucu solventler içermez. Bu nedenle çevre ve personel sağlığını korumakta vazgeçilmez temizlikte bir ürün haline gelmiştir. Boya operatörünün sadece koruyucu maskes kullanması sağlığı açısından yeterli olacaktır.

→**Ekonomik Faydaları:**

Elektrostatik toz boyama teknolojisinin daha uygun olmasının sebepleri:

- Toz boya tedarikçiden satın alındığı gibi uygulanır. Boyamak için ön karıştırma veya hazırlık istemez.
- Fazla atılan boya tekrardan kullanılır.

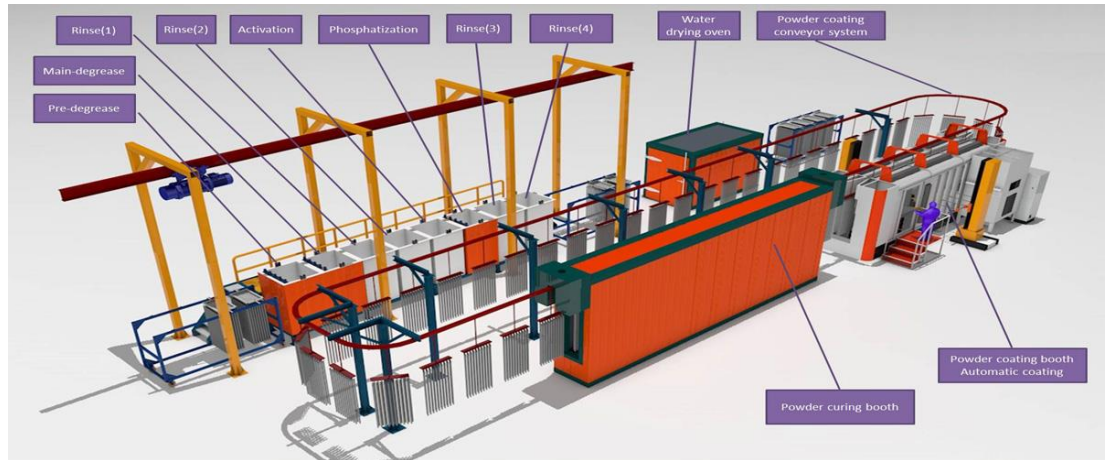
- Genellikle ön işlem istemezmez.
- Karışım havası kullanmak gerekmez; ortamdaki alınan hava filtreden geçirilip ortama geri verilir.

→Kazandıran Yatırım:

Tüm bu koşullar göz önüne alındığında elektrostatik toz boyama teknolojisi eski tarz boyama uygulamalarına oranla daha faydalıdır. İlk yatırım maliyetini kısa sürede geri kazandırmasının sebepleri:

- Büyük tesislerin üretim imkanlarını arttırması
- Daha az miktarda boya kullanması
- Otomasyona uygun çalışabilmesi
- Düşük bakım giderleri
- Karışım havası için cihaza ihtiyaç duymaması
- Mükemmel kaplama imkanı
- Solvent bazlı kimyasallar kullanmaması
- Bozuk ve yanlış çalışmalar fırına alınmadan kolay bir şekilde temizlenip yine kullanılabilir.

Bu sebepler doğrultusunda elektrostatik toz boya tesisleri başlangıçtaki yatırım bedellerini kısa bir sürede geri kazandırır. Toz boyama teknolojisi kazandıran bir yatırımdır.



Şekil 1.2: Elektrostatik Toz Boyama Sistemi[5]

Bu proje kapsamında yapılan işlemlerde bu çevreci ve mükemmel boya kullanılarak tasarlanıp üretilen, hassas konumlamaya sahip, ürün yüzeyine entegreli, gelişmiş boya robot sistemi ile fabrika bünyesinde üretilen elektrikli ev aletlerinin yüzeyi mükemmel bir kaplama sistemi ile kaplanmış olmaktadır. Projenin içeriği, kullanılan yöntemler ve karşılaşılan problemlerin nasıl çözüldüğü tezin ilgili kısımlarında anlatılacaktır. [6]



Şekil 1.3: Elektrostatik Toz Boyama Robot Mekanizması[7]

1.1 Tezin Amacı

Tez kapsamında, dünyada kullanılan boya uygulama sistemleri ve boya türlerini incelemek , tasarlanacak sistemde en uygun ve kaliteli boyayı kullanmak başlıca amacdır. Tasarlanıp üretilmesi istenen sistem birkaç sistemin birleşiminden oluştuğu için projenin diğer amaçlarından bahsedilecek olunursa:

→Bu proje kapsamında yapılacak olan deneme boya kabini mekanizması ile boyama, robot sistemi ile çözümlü daha sonrasında fabrika bünyesinde bulunan dört ana boya kabinine de bu sistemi entegre etmek. Bu sayede üretim hızını ve kalitesini maksimum seviyeye çıkarmak.

→Boyama esnasında fazla atılan boya ürün gövdesine yapışmaz ve kabin zeminine düşer. Boya kabininin zemininde biriken boya geri boya haznesine çekilmeli ve tozdan arındırılarak geri kazandırılmalıdır. Bu boya geri kazanım mekanizmasını tasarlayıp kabin mekanizmasına ilave etmek.

→Boyanacak ürünün bütün yüzeyine eşit boya uygulayabilecek bir robot mekanizması tasarlamak ve boya kabinine entegre etmek.

→Boyahane bünyesinde bulunan personel sayısını azaltarak boyama işlemini minimum personel ile sağlamak. Bu sayede boyama maliyetlerini azaltmak

→Yapılacak bütün boyama işlemlerini otomatik kayıt altına almak ve gelecek boyama işlemlerinde aynı makine ayarlarını sistemden otomatik çekmek . Bu sayede kalite devamlılığını sağlayarak müşteri memnuniyetini en üst düzeyde tutmak.

→Şu anda fabrika bünyesinde kullanılan sistemler manuel olarak takip edilmekte ve elle kayıt altında tutulmaktadır. Yapılacak sistem ile üretim , geri dönüşler ve üretimde gerçekleşen problemler server ve kullanıcı arayüzleri ile anlık olarak takip etmek.

1.2 Literatür Araştırması

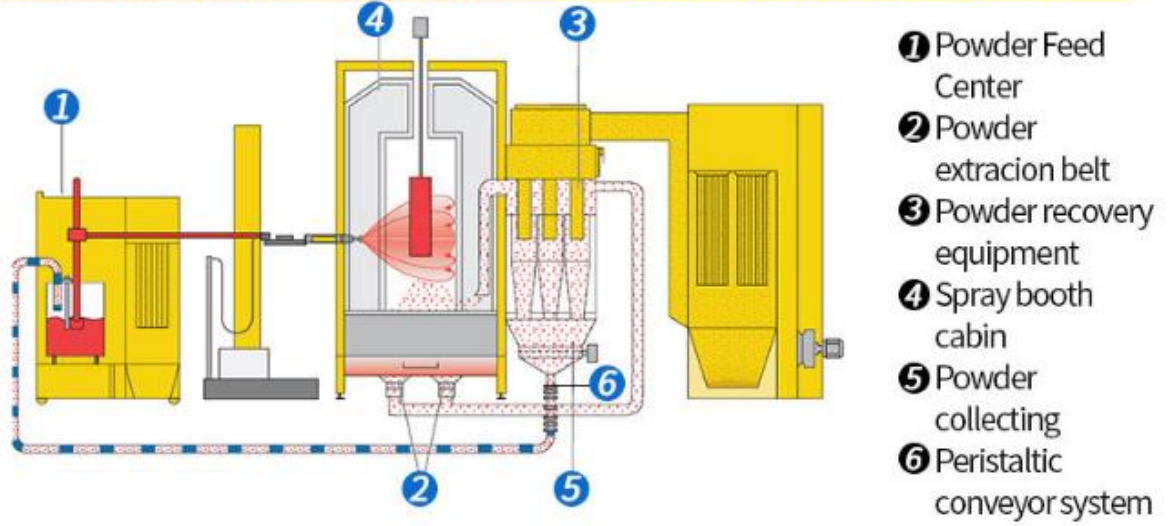
Projenin ilk aşaması olan literatür taraması detaylı bir şekilde itina ile yapıldığı için yaklaşık olarak 3 aylık bir sürede tamamlanmıştır. Öncelikli olarak yukarıdaki bölümlerde bahsedilen toz boya hakkında detaylı bilgi edinilmiştir. Daha sonra toz boyanın kullanım alanları incelenmiştir. Sonrasında ise toz boya uygulama yöntemleri araştırılmıştır. Toz boya hakkında yeteri kadar bilgi edinildikten sonra boyanın uygulandığı kabin sistemleri detaylı olarak incelenmiş, piyasada kullanılan boya kabinleri ve fırınları incelenip fabrika bünyesinde kullanılan boya sistemleri ile kıyaslaması yapılmıştır. Boya kabini oluşturan alt sistemler analiz edilerek kısımlara ayrılmıştır. Bu kısımlarda geçmişten günümüze kadar araştırmalarla tespit edilerek her biri günümüz teknolojisine kadar analiz edilmiştir. Kabin sistemine dâhil edilecek robot sistemi tasarlanırken, fikir ve bilgi edinilmek için piyasada kullanılan robot

sistemleri analiz edilerek üretilecek sistemin nasıl tasarlanacağı bu sayede kararlaştırılmıştır.

Multi Cyclone Spray coating systems

Fast change color in 15 minutes

High powder recovery rate 97%



Şekil 1.4: Elektrostatik Toz Boyama Kabin Sistemi[5]

- Boya Tabancaları
- Boya Filtreleri
- Kabin Sistemleri
- Robot mekanizmaları

1.2.1 Elektrostatik toz boya uygulama alanları ve yöntemleri

Elektrostatik toz boyama yöntemi bu güne kadar birçok tarihsel gelişime uğramıştır.

Elektrostatik toz boyanın kısaca tarihçesine bakacak olursak [4]:

- 1950 lerin başlarında, toz şeklindeki polyetilen, akışkan yatak metoduyla önceden ısıtılmış metal yüzeyine başarılı bir şekilde uygulanmıştır.
- 1950 lerin sonlarında ise, ilk defa yeraltında uygulanan petrol ve gaz boruların hatlarında termoset toz boya ile uygulama yapılmıştır.
- İlk ortaya çıkan sistemler : Epoksi reçineler ile kuru karışım olarak yapıldı.
- 1961 li yılların başlarında yoğurucu kullanılarak toz boya imalatına ilk defa başlandı.
- 1961 li yılların sonlarında ilk kez elektrostatik spreyleme ekipmanları kullanıldı.

- 1962 li yıllarda termoset toz boyaların, ilk kez elektrostatik spreyleme metoduyla endüstriyel anlamda kullanıldı.
- 1971 in başlarında yüksek görsel performansa sahip polyester / epoksi (hibrid veya TGIC) toz boyaların kullanılması
- 1971 in sonlarında ise aynı zamanda termoset akrilik toz boyalar Amerika ve Avrupa' da ticari anlamda piyasaya sürüldü. Bu boya türleri Avrupa ve Amerika 'da başarısı sağlanyamazken, Japonya 'da dış ortamlarda kullanılmak üzere geniş çapta kabul gördü.
- 1972 lerde dış ortama dayanımı fazla toz boyalar, mimari eserlerde kullanılmak için alüminyum uyfulamalarda ve çatı kaplamalarında İsviçre 'de kullanılmaya başlandı.
- 1974 lerde hızlı bir şekilde pişen (kürlenen) polyesterler
- 1970`lerin ortalarında sürtünme esaslı tribo prensibindeki tabancaların tanıtılması ve Faraday kafesi etkisinin azaltılması.
- 1980`lerde polyüretan statik toz boyalar, Amerikan ve Japon pazarında yer edinebildi, fakat Avrupa'da sınırlı bir pazara sahip olabildi.
- Batı Avrupa ülkelerinde 1960 'ın sonlarında ilk kez toz boya pazarı haline gelmesi.
- Hava kalite ayarlamaları Amerika 'da yaklaşık 10 yıl sonra gerçekleşti.
- 1990 larda primid pişirme katkılarının (sertleştiricilerin) TGIC 'nin yerine alternatif olarak kullanılması.

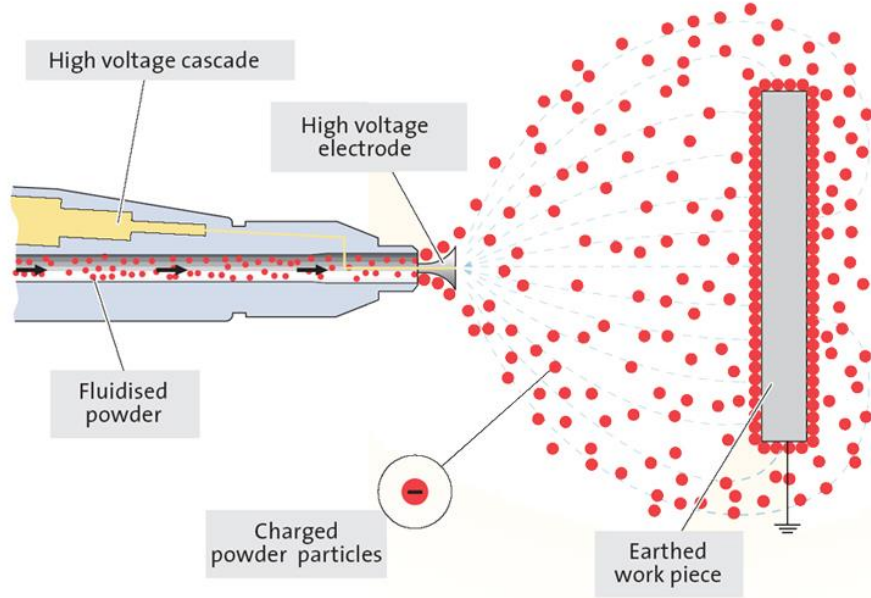
→ Elektrostatik toz boyama yönteminde boya zerreciklerinin genel olarak 2 farklı metot ile yük yüklenebileceği ortaya çıkmıştır. Bu metodlar:

- Corona yani iyonlaşma yöntemi
- Tribo yani elektro kinetik metodlarıdır.

Corona Tekniği

Bu method boya tabancasının gövdesi içindeki yapıda bulunan kaskatın, tabancanın uç kısmında bulunan yükleme iğnesine gönderdiği yüksek voltaj ile (max 100 kV) tabanca ucundan çıkan boyaya elektrik yükü yüklenmesi prensibine dayanır. Havanın nötral durumunu yüksek voltaj ile bozularak eksi iyonlar meydana getirilmektedir. Bu iyonlar birbirine ya da en yakın objeye yani toz zerreciklerine tutunmaktadır. Bu sayede toz boya parçacıkları de yüklenip, daha önce topraklaması yapılmış yüzeye transfer edilmektedir. Daha sonrasında ise metal malzeme 180°C - 220°C arası

sıcaklıktaki fırına girerek üzerindeki boyanın erimesi, yüzeye ve birbirine iyi bir şekilde yapışmasına olanak sağlanmaktadır. Corona uygulamasının en büyük faydası; kolaylıkla iyon yük yüklenmesi ve şu anda piyasada üretilen her model termoset toz boya ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmesidir.



Şekil 1.5: Corona Boya Tabancası Ve Boya Uygulama Yöntemi[2]



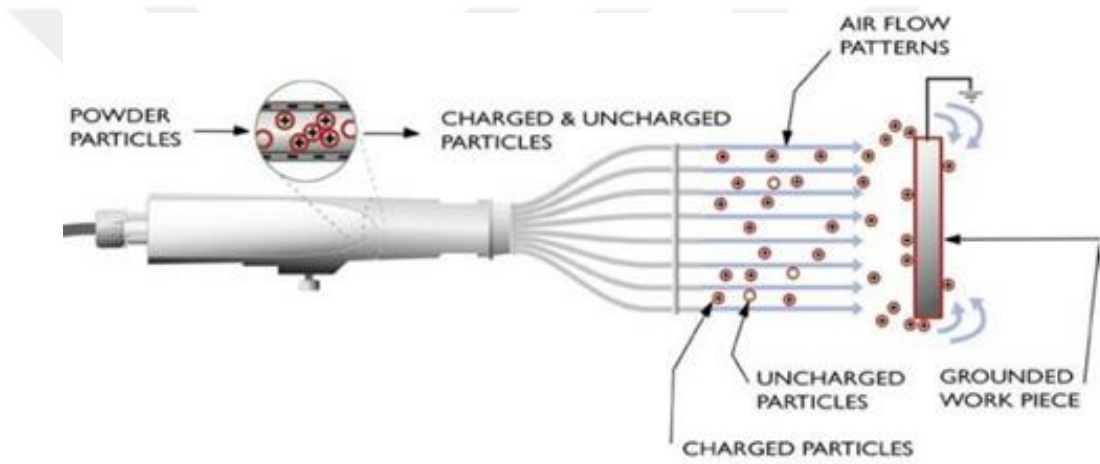
Şekil 1.6: Piyasada Kullanılan Corona Boya Tabancası[2]

Tribo Tekniği

Bu uygulama yönteminde boya ile hava, tabanca ucuna geldikten sonra ise özel olarak yaplm kanallardan geçmesi sonucu sürtünmenin etkisiyle elektrostatik yüklenmesi prensibine dayanır. Tribo metodunda kaskat uç bulunmaz, toz parçacıkları sürtünme kuvveti ile (kinetik) olarak yüklenir.

Bu sistem farklı yüklerdeki iki maddenin (birisi elektron vermeye diğerisi elektron almaya istekli) birbirleriyle etkileşimi sonucunda gerçekleşir.

Tribo tabancalarının iç kısmındaki özel tasarlanmış yükleme kanalları mekaniksel yapısından dolayı fazla toz boya birikimi yapmayan ve yzeyeye yapmadan hızlı bir yükleme sağlayan PTFE yani teflondan yapılmaktadır.[8]



Şekil 1.7: Tribo Boya Tabancası Ve Boya Uygulama Yöntemi[8]



Şekil 1.8: Piyasada Kullanılan Tribo Boya Tabancası[9]

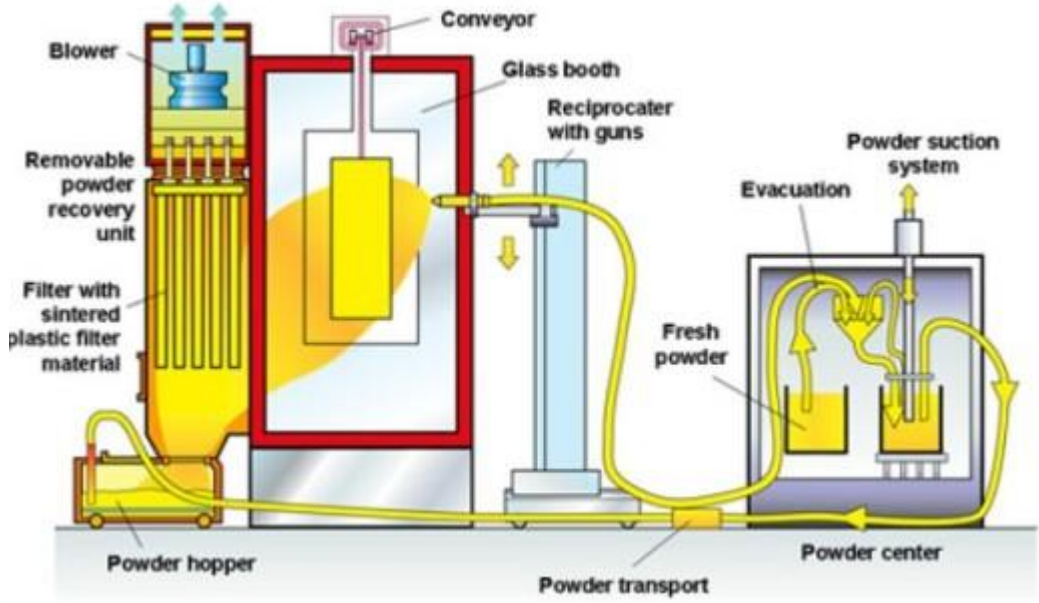
1.2.2 Boya Kabinlerindeki Silindirik Filtreler

Elektrostatik toz boya kabinlerinde silindirik filtreler salyangoz fanlar tarafından emilerek çekilen toz boya zerreciklerinin filtre üzerinde toplanması sağlanmaktadır. Filtre üzerinde toplanan toz boya parçacıkları patlatma için otomatik olan valfler sayesinde üzerindeki boyayı kabin tabanına dökmektedir. Kabin tabanına dökülen toz boya tanecikleri kabin altındaki eleme sistemine aktarılarak yabancı materyallerden arındırıldıktan sonra tekrar toz boya tabancasına iletilmektedir. Kabinlerdeki filtre miktarı boyanacak parçanın büyüklüğüne, fan debisi ve kabinlerdeki tabanca miktarına göre hesaplanır. Boya filtrelerin boya kabinlerinde bulunduğu yere ve çalışma sistemlerine görseller ile bakılacak olunursa:



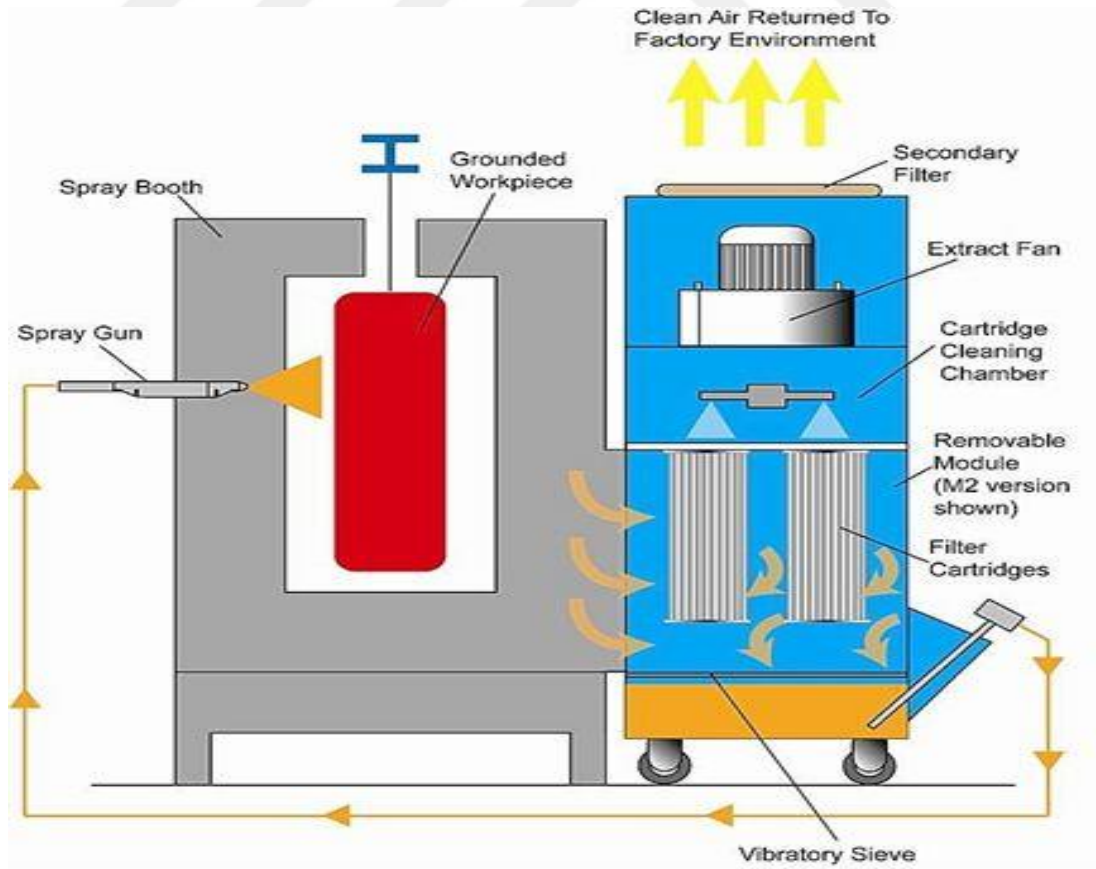
Şekil 1.9: Elektrostatik Toz Boya Kabini Filtre Düzeni[10]

İlgili görselde görüldüğü gibi filitreler genelde boyanın atılacağı eksenin arkasında bulunur ve boyanacak olan ürüne yapışmayan boyaları üzerine çeker ve ortamdaki tozun önüne geçer.



Şekil 1.10: Elektrostatik Toz Boya Kabini Filtre Çalışma Şeması[10]

Boya filtreleri üzerine çektiği boyayı belirli aralıklarla patlatma denen terse anlık şiddetli bir hava vererek boya kabininin tabanında bulunan elek mekanizmasına bırakır ve aynı boya tekrardan kullanılmış ve tozdan arındırılmış olur.



Şekil 1.11: Elektrostatik Toz Boya Kabini Filtre Çalışma Şeması 2[11]

1.2.3 Boya Kabin Sistemleri

Boyanın uygulandığı ve bütün yan sistemlerin üzerinde toplandığı makinenin ana gövdesini oluşturan birime verilen isim boya kabini dir. Boya kabinleri manuel ve otomatik boya kabini olarak ikiye ayrılır.



Şekil 1.12: Manuel Elektrostatik Toz Boya Kabini[12]

Manuel boya kabinleri genellikle önden bakılınca açık bir kabin olarak tasarlanır. Boya yapan operator ürünü çengele asar ve ürünü toprakladıktan sonra el tabancası ile karşıdan boya atmaya başlar. Kendine göre boya miktarını yeterli görürse ürünü astığı çengelden eli ile alır ve boya fırınına koyar.[12]



Şekil 1.13: Otomatik Elektrostatik Toz Boya Kabini[12]

Otomatik toz boya kabinleri genellikle tünel şeklinde olur. Operator boyanacak olan ürünü tünelin başında yağdan ve kirden arındırdıktan sonra çengele asar. Daha sonrasında ürün otomatik ayarlı tabancalar hizasına gelince Corona veya Tribo tekniğine uygun olarak boyanır. Boyanın fazlası filitreler ile çekilir ve geri dönüşüme kazandırılır. Boyama işlemi tamamlanan ürün boya kabininin sonunda başka bir operator veya robot sistemi ile alınır ve boya fırınının konveyörüne takılır.

1.2.4 Boya kabinlerinde kullanılabilir robot mekanizmaları

Elektrostatik toz boyayı uygulamak için bugüne kadar birçok yöntem geliştirilmiştir. Boya en basiti yöntem olan el tabancaları ile iyi topraklanmış bir metale uygulanabileceği gibi değişik robot sistemleri veya sabit tabancalarla bile uygulanmaktadır. Burada önemli olan boyanın atılacağı yüzeydeki kalite , üretim hızı , maliyet ve sürdürülebilirlik kaygısıdır. Bu güne kadar geliştirilmiş robot sistemlerini ve hareket yeteneklerini inceleyecek olursak maliyet ve hareket yeteneği açısından tasarlayacağımız robot sistemi için gerekli fikirleri edinmiş olacağız.



Şekil 1.14: Elektrostatik Toz Boya Uygulama Yöntemleri 1)Manuel 2)Otomatik[13]

Robotlar

Her sektörde robot mekanizmalarının çok geniş çalışma alanları olduğu için, robotların tanımlarının yapılmasında bazı küçük noktalar önemli hale gelmiştir. Robot mekanizmalarının en fazla kullanım alanı bulunduğu yerlerden biri de endüstri sektörleridir. Japon Endüstriyel Robot Birliği (JIRA) ve İngiliz Robot Birliği (BRA) gibi ulusal robotik topluluklarının yayınladığı resmi robot tanımları, genellikle endüstriyel robotların tanımıdır. Robot mekanizmalarının endüstri sahalarında ki

uygulamalarıyla alakalı olarak robot tanımı, Amerikan Robot Enstitüsü (RIA) tarafından şu biçimde yapılmıştır. “Robot, çeşitli görevleri yapmak maksadıyla değişik şekillerde programlanmış hareketlerle; nesnelere, gereçlerin, gereçlerin ya da özel düzeneklerin taşınması için tasarlanmış çok işlevli bir manipülatördür.” [14]

Robot mekanizmaları, doğru şekilde bir araya getirilen elektronik ve mekanik alt mekanizmaların amaca uygun olarak kumanda edilmesi ile çalışır. Bir robot sistemi tasarlanırken, sistemden istenilen hareketler kusursuz biçimde elde edilmesi için, programlama şekillerinin ve kontrol ünitelerinin doğru seçilmeleri gerekir. Kontrol kısımlarındaki özel bir alan içerisine montajlanan bilgisayarlı sistemler sayesinde, kontrol bağlantıları oluşturulan bütün alt sistemlerin kontrolü yapılabilir.

Robot mekanizmalarının programlarında ya da kontrollerinde oluşabilecek hatalar, alakalı alt mekanizmaların çalışmasında büyük sorunlara sebebiyet verebilir. Bu sebeple, robot mekanizmaları dâhilinde bulunan bütün sürücüler ve alt sistemlerinin en dikkatli şekilde kontrolleri yapılmalıdır. Zamanla mekanizmalardaki mekanik aşınmalar ve sürücü hatalarından doğabilecek aksaklıklar, robotların konumunu kontrol eden kontrolcüler, konum kayması sınır hata payları dâhilinde kalmalıdır.

Robotu Oluşturan Parçalar

Her bir robot, dört ana bölümden oluşmaktadır:

1. Eklemlerle bir yapı ile birbirine montajlanmış sıralı rijid uzuvlardan ya da sağlam bir mekanik gövdeden meydana gelen sistem; manipülatör, istenen serbestliği olan bir koldan, el becerisi olan bir bilekten ve robot tarafından yapılması gereken görevi tamamlayan bir sonlandırıcı elemandan meydana gelmektedir. Endüstriyel robotlar, çok uzuvlu ve çok serbestlik dereceli mekanik sistemlerdir. Bir robotun hareket mekanizması, ürettiği çıkış gücünü aktarma organlarıyla robotun eklemlerine ileten elektrik, pnömatik veya hidrolik eyleyiciler tarafından tahrik edilir.

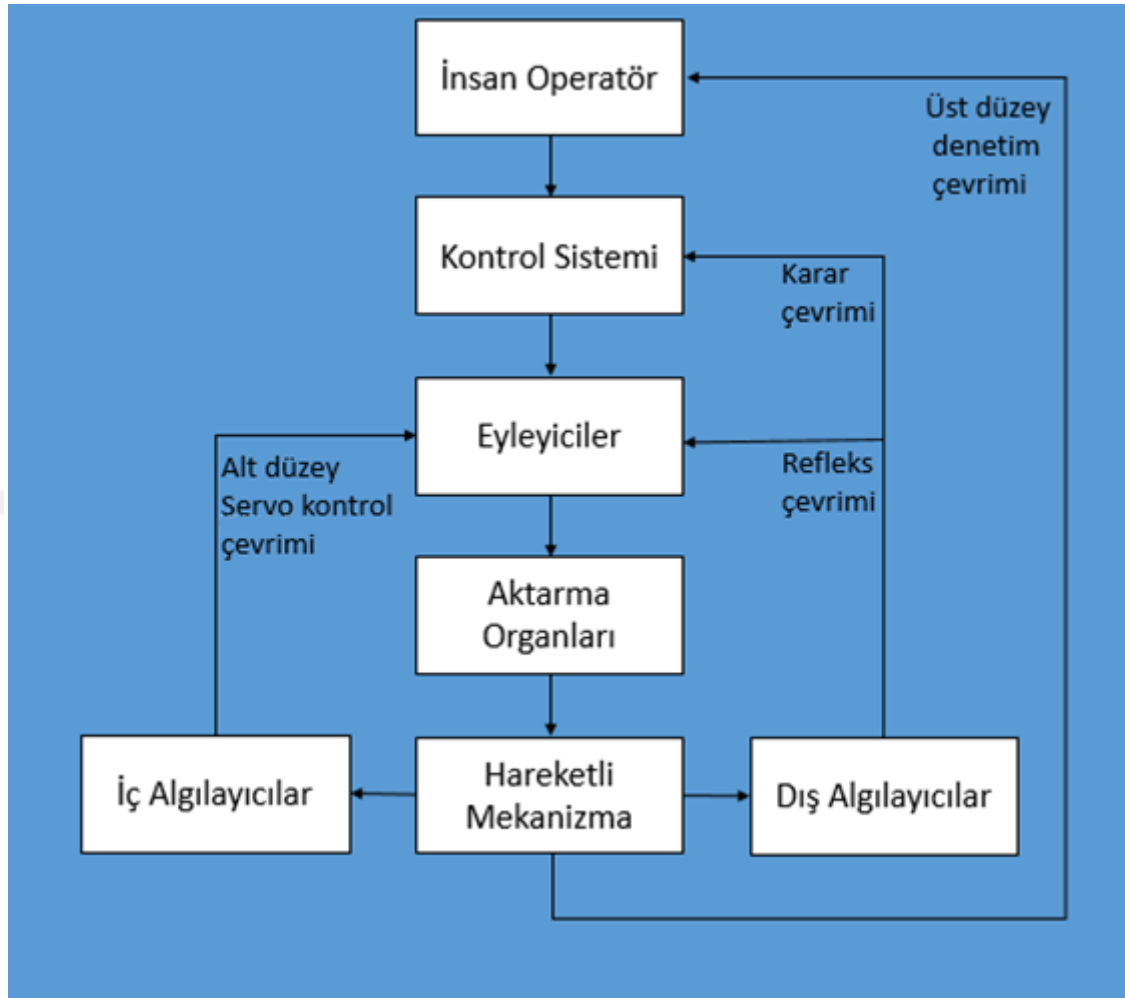
2. Eklemlerin hareket etmesiyle robotların hareket etmesini sağlayan elektronik aksam yani sürücüler. Eyleyiciler robotun hareketini tahrik eden gücü sağlar.

Robotlarda kullanılan eyleyici teknolojileri ağırlıklı olarak hidrolik, pnömatik ve elektromanyetik teknolojilerdir.

3. Manipülâtörün veya çevrenin durumunu gözleyen algılayıcılar. Algılayıcılar, robot kolların iç değişkenlerini ölçmek ve çevresel durumları tespit etmek amacıyla kullanılır. İç algılayıcılar ile robot kolunun durumunu ifade eden konum, hız, ivme, akım, kuvvet/moment gibi değişkenler ölçülür. Fırçalı kodlayıcılar, potansiyemetreler, optik kodlayıcılar, manyetik kodlayıcılar, endüktif ve kapasitif kodlayıcılar, jiroskoplar ve kuvvet/moment algılayıcıları yaygın olarak kullanılan iç algılayıcılar. Eklem kodlayıcıları ile eklem konumları ölçülür ve eklem hızları hesaplanabilir. Jiroskoplar ile robot uzuvlarının açısal konum ve hızları ölçülebilir. Akımölçerler ile eyleyici akımları ölçülerek eklem momentleri hesaplanabilir. Dış algılayıcılar ile ise robotun çevresinin durumunu tanımlayan değişkenler ölçülür. Robotun çevresiyle olan temasını ölçmek için mekanik ve optik dokunsal algılayıcılar kullanılır.

4. Robot hareketini kontrol eden ve yöneten bir kontrol sistemi. Kontrolör, robotun istenilen görevleri yerine getirmesini sağlayan en temel bileşendir. İnsan operatörlerin (kullanıcıların) komutları ve algılayıcı çıkışlarının bir fonksiyonu olarak eyleyicilerin giriş sinyallerini üretir. Robot uygulamalarında hareket, kuvvet ve uyum kontrolleri gerçekleştirilmektedir. İletişim ara yüzü, kullanıcının robotu programlamasına olanak veren iletişim birimidir. Üst düzey ve alt düzey kullanıcı ara yüzleri mevcuttur. Üst düzey ara yüzler, kullanıcının robotu basit komutlarla kumanda etmesine olanak verir. Alt düzey ara yüzler, robot kontrolü için kullanıcının kontrol sistemini bir programlama dilinde kodlamasını gerektirir. Bir robot kontrol sisteminin farklı çevrimleri Şekil 1.15 de görülmektedir. Alt düzey (servo) kontrol çevrimi ile eyleyicilerin kapalı çevrim kontrolü gerçekleştirilir. Bu çevrimde eyleyici ve/veya eklemlerin konum ve hız gibi çevrimdışı planlanmış hareket yörüngeleri kontrol edilir. Kontrol değişkenleri potansiyometre veya kodlayıcı gibi algılayıcılar ile ölçülerek geri beslenir. Robot hareketlerinin kontrolü için en gerekli en temel kontrol çevrimidir. Refleks çevrimi, robotun operasyonu esnasında ortaya çıkabilecek, öngörülme-yen ve robotun çok kısa süre içinde tepki vermesi gereken durumlarla ilgilidir. İnsanlar ile bir arada çalışan robotlarda refleks çevrimi çok önemlidir. Karar çevrimi, robotların akıllı davranışları ile ilgilidir. Birden çok davranışın mümkün olduğu durumlarda, akıllı robotların insan müdahalesi olmaksızın kendi başlarına karar alabilmeleri beklenmektedir. Günümüzde robotların karar alma çevrimlerinde giderek artan oranda çeşitli yapay zekâ teknikleri uygulanmaktadır. Üst seviye denetim çevriminde robotun

operasyonunu izleyen bir insan operatör (kullanıcı) yer alır. Gereken durumlarda, operatör robotun karar çevriminde alınması mümkün olmayan kararları alır ve uygular.

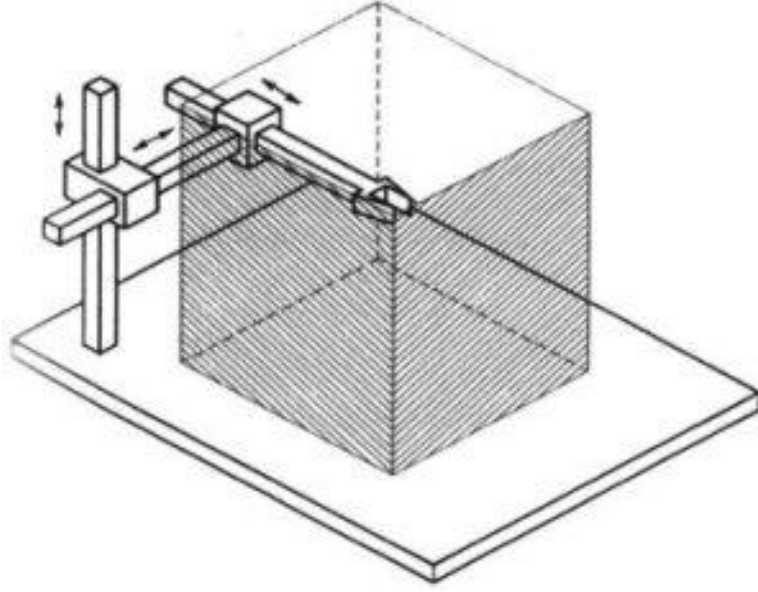


Şekil 1.15: Robot Kontrol Çevrimleri[15]

Manipülâtörler ve Sınıflandırılması

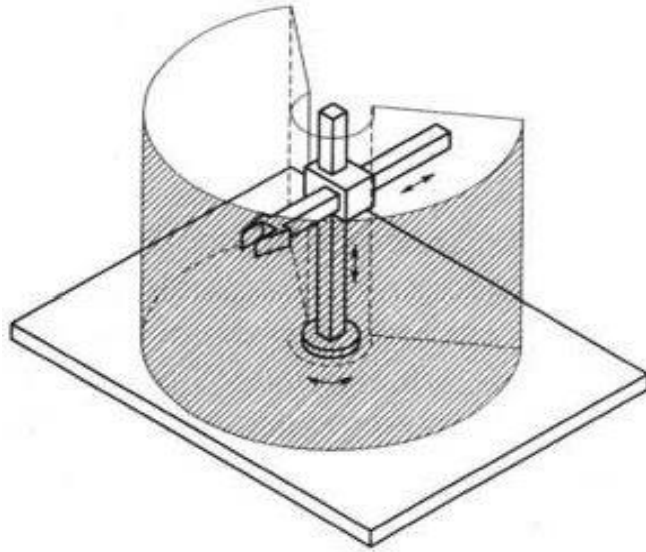
Robot mekanizmaları çalışma uzaylarına göre birbirlerinden ayrılır. Aşağıdaki bölümlerde manipülâtör yapıları ve bunların çalışma uzayları görülmektedir.

Kartezyen Manipülâtör: Bu tarz manipülâtörler üç adet kayar tarz eklem ile oluşturulurlar. Mekanik olarak çok kuvvetlidir ancak çalışma uzayındaki hareket kabiliyeti açısından zayıftır. Bu tarz manipülâtörler çok fazla ağırlık ve boyutlardaki cisimleri taşımak ve hareket ettirmek için uygundur. Kartezyen robotların eklemelerine hareket veren motorlar genellikle elektrik nadiren de pnömatik motorlardır. Şekil 1.16’da Kartezyen robotlar ile ilgili görsel verilmiştir.[16]



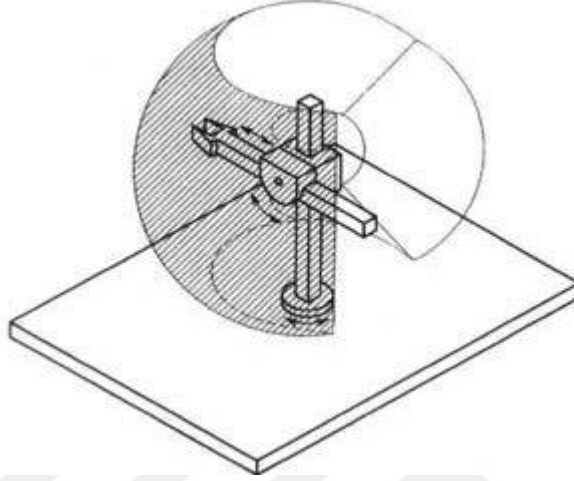
Şekil 1.16: Kartezyen Manipülator[16]

Silindirik Manipülator: Bu tarz bir manipülator bir adet döner ve iki adet de kayar tip eklem ile oluşturulur. Bu tarz manipülatorler de mekanik açıdan sağlamdır fakat bilek konum doğruluğu yatay harekete bağlı olarak azalır. Benzer tarzda büyük boyutlu malzemelerin taşınmasında kullanılırlar. Bu tarz manipülatorlerde hidrolik motorlar kullanılır. Kendi ekseninde hareket edebildiği için etrafındaki diğer makineler ile çalışma kabiliyetinde sahiptir. Şekil 1.17 de silindirik manipülator ile ilgili görsel verilmiştir.[16]



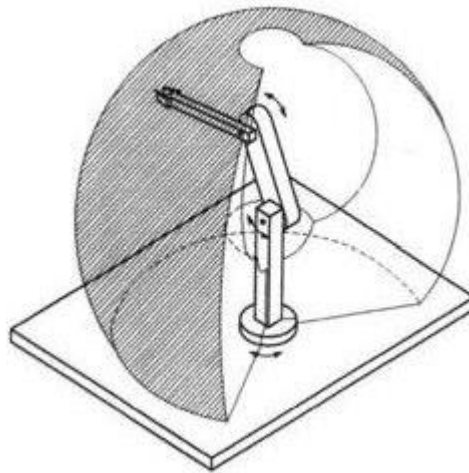
Şekil 1.17: Silindirik Manipülator[16]

Küresel Manipülatör: Bu tarz manipülatörler iki adet dönebilen , bir adet kayabilen eklemlerle oluşturulur. Bu tarz manipülatör sistemleri mekanik açıdan önceki iki modelden daha dayanıksız, mekaniksel açısından diğer modellere oranla biraz daha karışıktır. Genellikle mekaniksel montajlarda kullanılırlar. Bu tarz sistemlerde elektrik motorları kullanılır.[16]



Şekil 1.18: Küresel Manipülatör[16]

İnsan Kolu Veya Eklemlerli Manipülatör: İnsan kol biçimi model alındığından bu ad seçilmiştir. Bu tarz sistemler bütün eklemleri dönebilmeye hareketine sahip olduğu için çalışma uzayları açısından en kabiliyetli sistemlerdir. Endüstri ile alakalı işlerde çok fazla çalışma alanı vardır.(kaynak yapabilme , boyama, montajlama, yüzeyin temizlenmesi vb.) Bu tarz sistemlerde elektrik motorları kullanılır.[16]



Şekil 1.19: İnsan Kolu (Veya Eklemlerli Manipülatör) [16]

Robot Mekanizmalarında Temel Hesaplama Metotları

1. Dönüşüm Hesaplamaları:

- Dönme Matrisi
- Öteleme Vektörü
- Homojen Dönüşüm

2. Ters Kinematikler Hesaplamalar

3. Hız Kinematikler Hesabı

- Jakobyen Matrisleri
- Tekillikler

4. Dinamikler Hesaplamalar

- Lagrange Denklemleri
- Newton-Euler(NE) Denklemleri

5. Düz Kinematik Hesaplamalar

- Denavit – Hartenberg(DH) Dönüşümü

Piyasada Kullanılan Boya Robotları

Piyasada genellikle düşük maliyetli olduğu için kartezyen çalışma prensibine sahip robotlar tercih edilmektedir. Bununla birlikte otomotiv ve katma değeri yüksek ve üretim hassasiyeti daha yüksek sektörlerde robot kol mekanizmalarında kullanılmaktadır.



Şekil 1.20:Piyasada Kullanılan Kartezyen Toz Boya Robot Mekanizması – 1[17]



Şekil 1.21:Piyasada Kullanılan Kartezyen Toz Boya Robot Mekanizması – 2[17]



Şekil 1.22:Piyasada Kullanılan 6 Eksen Toz Boya Robot Mekanizması – 1[18]

Hassas ve daha karmaşık yüzeyleri tek seferde, aynı boya kalınlığında, kaliteli bir şekilde boyama işlemlerinde genellikle birçok eksene aynı anda uygulama imkanı veren 6 eksen robot mekanizmaları tercih edilmektedir. 6 eksen robot mekanizmalarındaki maliyetler ve karmaşık çözümler birçok üreticiyi bu kaliteden vazgeçmeye ve daha basit çözümlere başvurmaya itmektedir. Bu gibi temel sebeplerden dolayı diğer daha basit robot mekanizmaları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.23:Piyasada Kullanılan 6 Eksen Toz Boya Robot Mekanizması – 2[18]

1.2.5 Şu anda fabrikada kullanılan boya kabinlerinin incelenmesi

Şu anda fabrikada manuel çalışan , sabit eksende kurulu olan ve elle ayarlanan tribo boyama tekniği ile çalışan boya sistemleri kullanılmaktadır. Yapılacak boya kalınlığı manuel olarak ayarlanıyor ve boyanacak olan ürüne göre boya tabanca sistemleri elle bütün yüzeyi boyayacak şekilde ayarlanmaya çalışılıyor. İlgili görseller ile boya kabinleri aşağıda anlatılmaktadır. Sistemin eksikleri belirlenmeye çalışılmış ve geliştirilmek istenen noktalar mevcut sistemin eksikliğinden ortaya çıkmıştır.



Şekil 1.24:Fabrikada Kullanılan Boya Sistemi – 1[19]

Şu anda kullanılan boya kabinleri yakın zamana kadar analog kontrol ünitelerine sahipti. Bu kontrol panelleri dijital olanlarla değiştirilip kalite bir nebze iyileştirilmeye çalışıldı. Yüzeze atılan boya miktarı ayarlanmaya ve olabildiğince sabit tutulmaya çalışılmıştır.



Şekil 1.25:Fabrikada Kullanılan Boya Sistemi – 2[19]

Tribo boyama tekniğine göre fabrikada bulunan boya tabancaları ile metal yüzeyine boya atılmaktadır. Boya tabancalarının konumu el ile ayarlanmakta ve tribo tabancalarda bulunan çıkış kanallarından her zaman aynı boya miktarının olmaması birçok boyama sorununda yanında getirmektedir. Yüzey kalitesi, yüzeylerde ki boya kalınlık oranları, boyanın metal yüzey kapaticılığı, test ve sertifikasyon süreçleri, ürünün çalışma durumunda ısınmasından meydana gelen renk değişimleri, fazla atılan boyadaki maliyetler gibi birçok sorunu beraberinde getirmektedir.

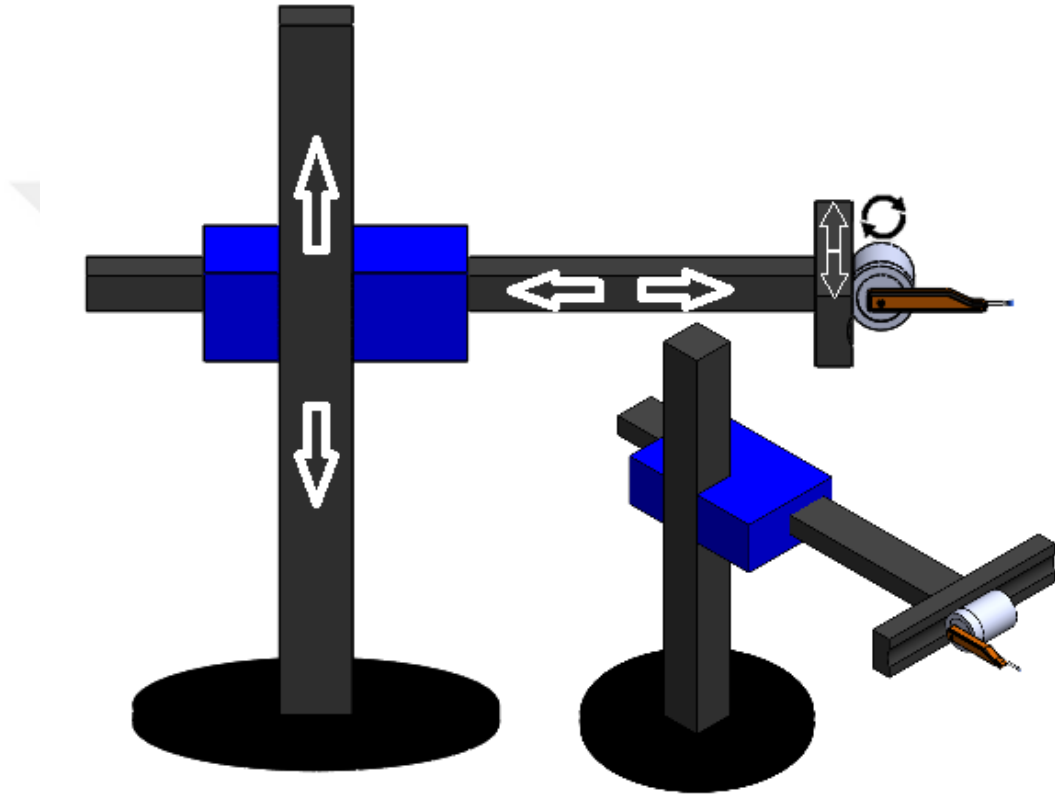
1.3 Hipotez

Tespit edilen sorunlar neticesinde boyanın metal yüzeyinde eşit bir şekilde dağılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Şu anda kullanılan tribo tabancalar ile eşit boya miktarının atılamayacağı kararına varılmış ve corona boyama tekniğine karar verilmiştir. Boya tabancalarının sabit olması ve ürüne sabit bir eksende boya atması birikinti ve kalınlık farklılıklarına sebep olduğu için hareketli bir sisteme ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır. Tasarlayacağımız sistemde boyanacak olan ürün kendi ekseninde sistemin belirleyeceği bir hız ile dönerken, boya tabancalarının üzerinde bulunduğu robot mekanizması yukarı aşağı hareket yapacaktır. Tabancanın bağlı olacağı yatay eksen boyanacak parçanın şekline göre ileri ve geri hareket yapacak ve boyayı hep aynı uzaklıktan metal gövdesine atacaktır. Boya tabancası yatay eksende bulunan üçüncü bir hareket mekanizması ile öne ve arkaya hareket ederek düz gövdelerde yüzey ile olan mesafesini koruyabilecek ve ayrıca bağlı olduğu noktanın sonunda radyal bir hareket yapacak şekilde bir motor mekanizmasına bağlanarak 180 derece hareket edecek bir mekanizma ile farklı geometrilerdeki ürün gövdelerine hep aynı açıda boya atabilecek yeteneğe kavuşacaktır. Bu hareket yetenekleri sayesinde ürün gövdesine atılan boya her noktada eşit kalınlıkta olacak ve boyanmamış bir nokta kalmayacaktır. Bu sayede belirlenen boyama , işçilik, kalite ve sürdürülebilirlik gibi sorunların önüne geçilmiş olunacaktır.



2. MEKANİK TASARIM

Mekanik tasarım aşamasında üretilecek olan robot hem mekaniksel 3 boyutlu olarak, hemde matematiksel denklemlerle üretilmeden önce modellenmiştir. Bu sayede tasarım kriterleri ortaya çıkmıştır. Ayrıca imalat aşamasında yaşanacak problemler en aza indirilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.1:Mekanik ve Matematiksel Model Çıkarımı İçin Tasarlanmış Model

Robot mekanizması yukarı - aşağı , ileri – geri , öne-arkaya ve boya tabancası eklemine dönme hareketi yapmaktadır. Yani robot mekanizması üç adet öteleme ve bir adet dönme serbestlik derecesine sahiptir. Hareketleri bir kartezyen kordinat sisteminin üç eksenini doğrultusundadır. Robot mekanizması sayısal kontrollü bir robot gibi çalışmaktadır. İnsan operatör tarafından bilgisayardan girilen veriler robotun yapacağı görevleri tanımlar. Robotların çalışma uzayı , kol ucu tarafından taranabilen uzay olarak tanımlanır. Çalışma uzayının boyutları, robotun serbestlik derecesi, eklem hareket sınırları ve uzuvların boyutları gibi geometrik ve kinematik parametrelerine

bağlı olarak belirlenir. Robotun çalışma zarfı, çalışma uzayı ile birlikte robotun üç boyutlu uzayda işgal ettiği hacmi de kapsayan geometrik yeridir. Döner eklemlili robotlar, çalışma zarfının geometrik merkezine yakın konumlarda, çalışma zarfının sınırlarına yakın konumlara oranla daha yüksek performans sergiler.







Robot mekanizmasının nasıl çalıştığını anlamak için ilk olarak robotun nasıl hareket ettiğini anlamak gerekir. Robot mekanizmalarının yaptığı genelde 2 temel hareket vardır.

-Enine Hareket Sistemi (Transverse)











-Dönme Hareket Sistemi(Rotational)

Enine hareket teleskopik bir hareket veya ileri doğru sabit bir harekettir. Bu harekete karşın dönme hareketi bir eksen çevresinde menteşe veya dönme hareketidir, bu hareketlerin sembol gösterimi Tablo 2.1’de verilmektedir. Tablo 2.1 de kinematik zincir tablosu ve Tablo 2.2 de ana robot modelleri ve çalışma uzayları verilmektedir.[20]

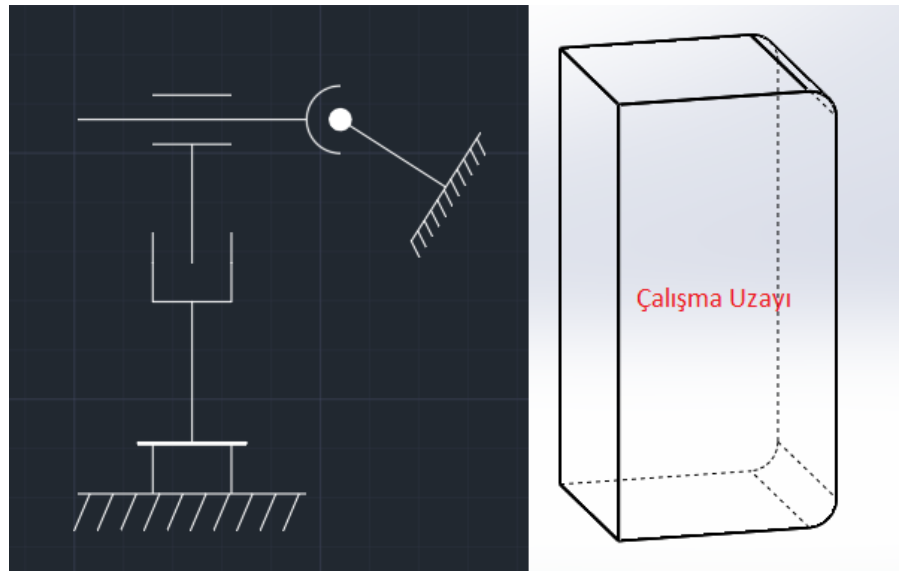
Tablo 2.1 : Kinematik Zincir Elemanları

Sistem		Senbol
Transfer Ekseni	Teleskop	
	Enine	
Dönme Ekseni	Eksen Çevresi Dönme	
	Menteşe Hareketi	
		
		

Tablo 2.2 : Kullanılan Ana Robot Tipleri Ve Çalışma Uzayları

Tip	Örnek Resim	Çalışma Uzayı
Cartesian		
Cylindrical		
Spherical		
Horizontal articulated		
Vertical articulated		

Yukarıdaki sembol tablosu sayesinde 3.derece özgürlükteki robot mekanizmasının kinematik zincir tablosu Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Robotun Kinematik Zincir Tablosu Ve Çalışma Uzayı.

Endüstriyel tarzdaki robotlar, insansı özellikleri olan, genel amaçlı ve programlama yapılabilir mekanizmalardır. Robotların insana en çok benzeyen özelliği robotun kol

yapısıdır. Tutma ve yer değiştirme uygulamalarında robot kolları tercih edilir. Robot mekanizmasını, diğer mekanizmalar ile birleştirerek, nesnelere taşınması ve yer değiştirme hareketleri yapılabilir.

Robot mekanizmaları, yüzey kaplama, delme, keserek eğme, Şekil değiştirme, silindirik ve düzlem yüzeyi taşıma benzeri imalat uygulamaları gerçekleştirebilir; kontrol ve montaj uygulamalarında da kullanılmaktadır. Robot mekanizmalarının kullanım alanları ve kullanım sonuçlarını da içeren daha detaylı karşılaştırılması **Tablo 2.3**'de gösterilmektedir.[20]

Tablo 2.3 : Robot Kolların Konfigürasyonlarının Kıyaslanması

<u>Robot Tipi</u>	<u>Mafsal tipleri</u>	<u>Kullanım Alanları</u>	<u>Kullanım Sonuçları</u>
	-ilk eklem -ikinci eklem -üçüncü eklem		
Kartezyen Robot Kollar	Prizmatik Prizmatik Prizmatik	Demiryolu, köprü inşaatları, Büyük makine montajları	Kinematik modelleri basittir. Rijit bir gövdeye sahiptir. Hareket analizi basittir. Çalışması için büyük alan gerekir.Büyüklüğüne göre iş alanı küçüktür
Silindirik Robot Kollar	Dönel Prizmatik Prizmatik	Büyük makine montaj sanayi Basit montaj-demontaj hatları	Kinematik modelleri basittir. Güçlü hidrolik elemanlar kullanılır. Hareket analizi basittir. İş alanları sınırlıdır ve tozlu alanlarda çalışması zordur.
Küresel Robot Kollar	Dönel Dönel Prizmatik	Montaj sanayi ve Nükleer santraller	Büyük alanlara uzanabilirler. Zeminden uzaktaki nesnelere tutabilirler. Kinematik modelleri karışık ve hareket analizleri zordur.
Mafsallı Robot Kollar	Dönel Dönel Dönel	Otomobil sanayi Otomobil boya sanayi Elektronik montajı	Çok esnekler. İş alanları büyüktür. Elektrik motorları kullanılır. Kinematik modelleri karışık ve hareket analizleri zordur. Kolların rijitlik ayarı zordur.

2.1 Matematiksel Modelleme

Mühendislik bakış açısıyla matematiksel modelleme, fiziksel bir sistemin durum ve davranışının sembolik bir dille ifade edilmesidir.[15]

Bir robot mekanizması üzerinde kontrol sistemleri uygulanmadan önce matematik modellemesi yapılarak ve bu model kapsamında kontrol algoritmaları oluşturmak gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında öncelikle kinematik modelleme daha sonrasında ise dinamik modelleme hakkında bilgi verilmiştir.

Bir robot mekanizması üzerinde modelleme yapılacaksa bunun için ilk olarak kinematik modelleme hesabının düzgün bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu tarz işlemlerle alakalı olarak birçok değişik modelleme metodu olmasına rağmen, genel olarak tercih edilen bir sistem olan Denavit-Hartenberg yöntemi uygulanacaktır.

Robotların tasarımı, analizi ve kontrolünde kullanılan matematiksel modeller aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırılabilir.

- Geometrik modeller
- Kinematik modeller
- Statik modeller
- Dinamik modeller

Robotların matematiksel modelleri farklı yöntemler ile hesaplanabilmektedir.

→Geometrik modeller robotun eklem konumları ile kol ucu konumları arasındaki ilişkileri ifade eder.

→Kinematik modeller robotun eklem hızları ile kol ucu hızları arasındaki ilişkileri ifade eder.

→Statik modeller robotun genişletilmiş eklem kuvvetleri ile kol ucu kuvvetleri arasındaki ilişkileri ifade eder.

→Robot kolların dinamik modelleri genelleştirilmiş eklem kuvvetleri(kuvvet ve momentleri) ile eklem değişkenleri (konumları, hızları ve ivmeleri)arasındaki ilişkileri ifade eder.

Robotların tasarım ve analiz süreçlerinde matematiksel modellerle bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilir. Bir robotun geometrik, kinematik ve dinamik

benzetimlerini gerçekleştirmek için sırasıyla ileri geometrik, ileri kinematik ve ileri dinamik modelleri kullanılır. Bu benzetimlerde, robotun uygulanacak referans hareket/kuvvet girişine karşılık nasıl davranacakları hesaplanır ve gözlemlenir.

Ayrıca benzetimlerde robotun kapalı çevrim kontrolü de gerçekleştiriliyorsa ters geometrik, ters kinematik ve ters dinamik modellerin de kullanılması gerekmektedir.

2.1.1 Denavit hartenberg yöntemi

Denavit ve Hartenberg'in 1955 yılında geliştirdiği Denavit-Hartenberg methodu robot mekanizmalarının kinematik hesaplarındaki karışıklığı büyük oranda çözmek ve daha basit hesaplanabilir hale getirmek için önerilmiştir [21]. Denavit Hartenberg metodunda belirli kurallara göre ilk olarak koordinat çerçeveleri atanır, daha sonrasında ise dönüşüm için gerekli olan uzuv ve eklem parametreleri hesaplanır. Bu metotta her bir eksen bir önceki eksene bağlantılı olduğundan herhangi bir eklemün uç noktasının, referans noktasına göre koordinatlarını bulmak mümkündür [21].

Eksen takımları atamaları 3 temel kurala bağlı olarak yapılmaktadır;

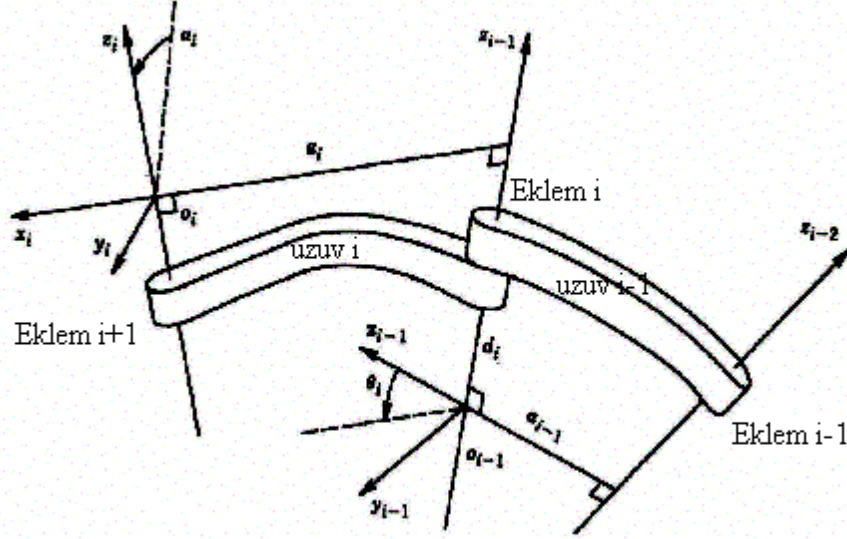
- 1- z_i ekseni, $i+1$ eklemünün hareket ekseni boyunca hesaplanır.
- 2- x_i ekseni, z_{i-1} eksenine diktir ve z_i eksenine doğru yönelmiştir.
- 3- y_i ekseni, sağ el yarasına uyacak şekilde hesaplanır [21].

Daha sonrasında ise dönüşüm matrislerinin hesaplanmasında kullanılmak üzere gerekli değişkenlerin ve parametrelerin hesaplanması gerekmektedir.

a_{i-1} , Z_{i-1} ile Z_i arasında X_i boyunca ölçülen açıdır.

d_i , X_{i-1} ile X_i arasında Z_{i-1} boyunca belirlenen uzunluktur.

Q_i , X_{i-1} ile X_i arasında Z_{i-1} boyunca belirlenen açıdır[21].



Şekil 2.3: Eklem Değişkenlerinin Belirlenmesi [22].

Genellikle bir robotun modellenmesi yapılırken sırasıyla önce x, y, z koordinatları belirlenip, sonrasında ise σ, a, d, θ değerleri bulunup bir tablo halinde yazılması gerekmektedir. Bu işlemlerden sonra ise ters kinematik ve ileri kinematik hesaplanabilir. Bir robotun mekanizmasında kinematik modelleme için bunlar olmazsa olmaz bilgilerdir.

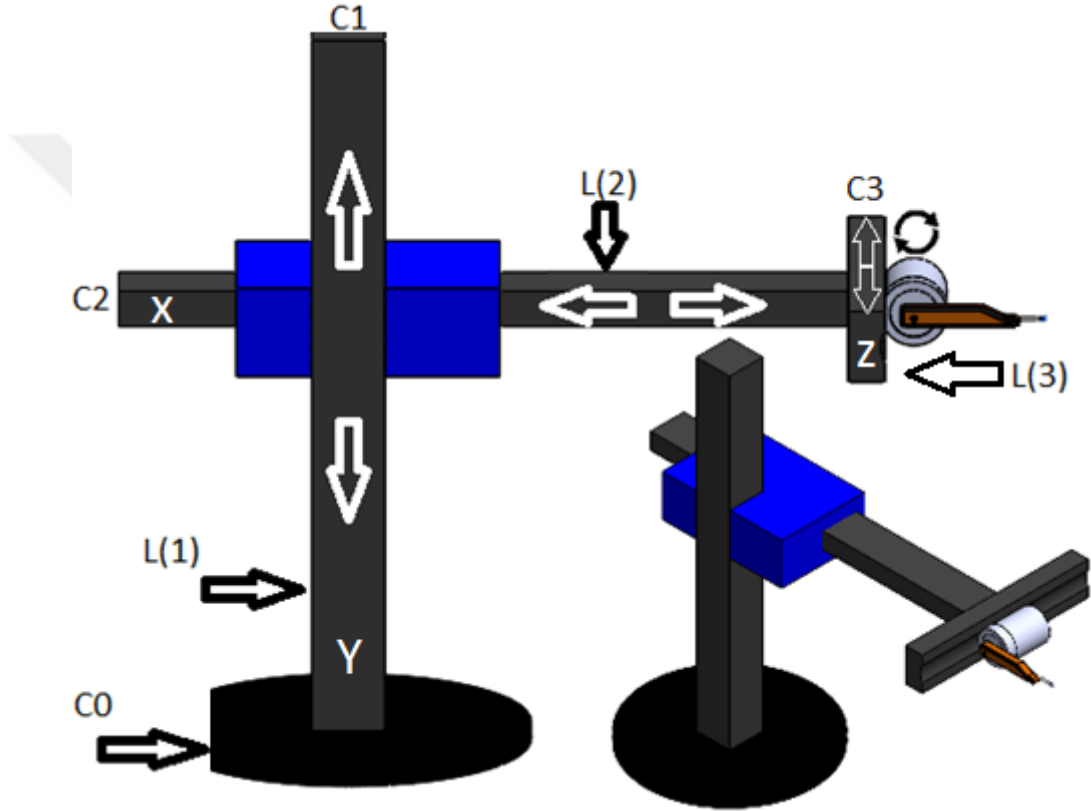
Eksenler atamaları aşağıdaki kurallar dikkate alınarak oluşturulabilir.

- a. Öncelikle eklem eksenleri kayma veya dönme yönleri belirlenir ve bu eksene paralel olacak şekilde bir doğru çizilir
- b. Bu işlem yapılırken eklem eksenleri, prizmatik eklemler için kayma yönü Z , döner eksenler için dönme yönü X , eksen olarak hesaplanır.
- c. Z eksenine dik ve kol boyunca olan uzuv uzunluğu X eksenini kabul edilir.
- d. X ve Z eksenleri tesbit edildikten sonra sağ el kuralına göre Y eksenini hesaplanır.
- e. Eğer arka arkaya gelen 2 eklemin kayma veya dönme yönleri aynı ise Z eksenini tesbit edildikten sonra kol boyunca X eksenini bulunur. Sonrasında sağ el prensibine göre Y eksenini tesbit edilir.
- f. 0 ve 1 . eksenler üst üsteymiş gibi kabul edilebilir.
- g. Bir robot mekanizmasının eklemine koordinat sistemleri yerleştirilirken 1 . eksenin dönme yönü Z eksenini olarak seçildikten sonra genellikle bu eksene X eksenince döndürüldüğünde komşu iki Z eksenini çakışacak şekilde bir X eksenini atanır.[23]

2.1.2 Robot karakterizasyonu ve kinematik şeması

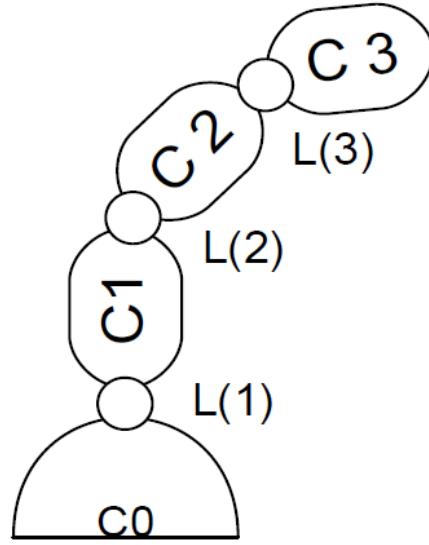
Robot uygulamalarında karşılaşılan en temel sorunlardan biri kol ucunun çalışma uzayı içinde istenilen bir geometrik yerde konumlandırılmasıdır. Robotun istenilen bir görevi yerine getirebilmesi için kol ucunda bulunan uç işlevcisinin görevin gerektirdiği hassasiyetle konumlandırılabilmesi zorunludur.

Robotların kol ucunu istenen bir konuma getirmek için, eklem değişkenleriyle kol ucu değişkenleri arasındaki ilişkinin çift taraflı olarak tanımlanması gerekmektedir.



Şekil 2.4: Robot Mekanizmasının Hareket Yönleri (Temsili Çizim)

Robot C0 ile yere sabitlenmiştir. C0 ile C1 arasındaki prizmatik joint sayesinde C1 yukarı ve aşağı hareket eder. İkinci bağlantı noktası C1 ve C2 arasındadır ve bu sayede robot sağa ve sola hareket edebilir. Son bağlantı noktası ise C2 ve C3 arasındadır ve C3 noktasında robotun öne ve arkaya hareket yapmasına olanak verir.



Şekil 2.5: Robotun Kinematik Zinciri

→Robottaki link sayısı: $L=4$

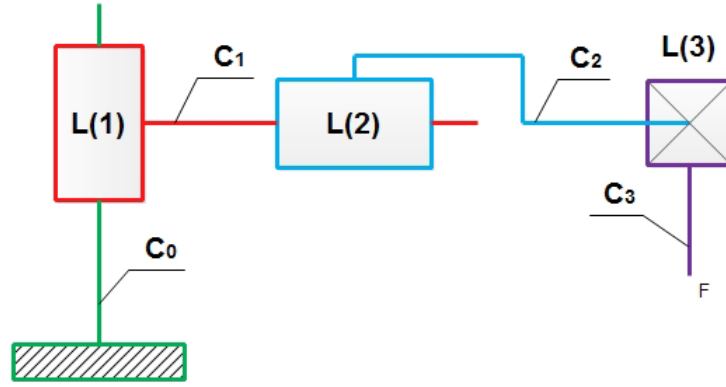
→Robottaki eklem(joint) sayısı: $J=3$

Uzuvları katı cisimlerden oluşan, çok uzuvlu/çok serbestlik dereceli mekanik sistemler için hareketlilik(M) üç boyutlu uzayda Gruebler formülü ile hesaplanırsa:

$$M = 3(L - 1) - 2J \quad (2.1)$$

Hareketlilik $M=3$ olarak hesaplanmıştır. Robot mekanizmasına istenilen hareketler verilebilmesi için her bir eklem noktasına birer adet olmak üzere, 3 adet motora ihtiyaç vardır. (Boya tabancasını hareket ettiren motor eksen hareketi vermediği için dahil edilmemiştir). Bu sonuç neticesinde hareket kazandırılmış eklem noktalarının kordinatları: $q = (r_1 r_2 r_3)^T$

Şekil 2.6 robotun kinematik şemasını ve oluşturduğu bağlantıları göstermektedir.



Şekil 2.6: Robotun Kinematik Şeması

→ C_i nin i^{th} bağlantı noktası olduğu yerde; L_i ise i^{th} ci eklemdir ve F ise terminal bağlantısıdır(yani robot ucudur).

2.1.3 Geometrik model

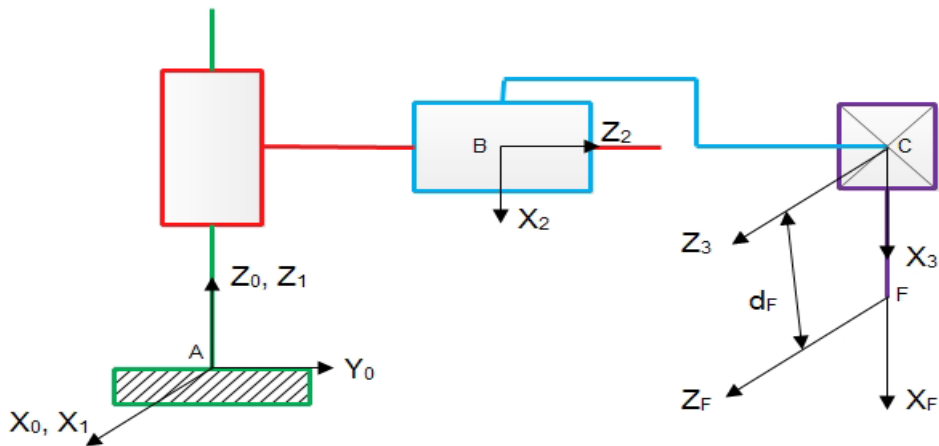
Bu modelleme kapsamında istenilen amac, robot mekanizmasının eklem kordinatları açısından terminal linkinin konumunu ve çalışma uzayını belirlemektir. Bir eklem diğer eklem ile bağlantılı olarak mekanizmadaki şemalar oluşturulmuştur. Kısaca açıklanacak olunursa:

L(1): C_0 ile C_1 arasında bulunan basit prizmatik joint, Z_1 boyunca

L(2): C_1 ile C_2 arasında bulunan basit prizmatik joint, Z_2 boyunca

L(3): C_2 ile C_3 arasında bulunan basit prizmatik joint, Z_3 boyunca

Denavit-Hartenberg Metodu baz alınarak(yukarıda detaylıca bahsedilmiştir) robotun herbir eklemi ile ilişkilendirilmiş ilgili kordinat eksenleri oluşturulacaktır.



Şekil 2.7: 3 Eklemlili Robotumuzun Eksen Atamaları

İleri kinematik denklemlerin oluşturulabilmesi için ilk olarak Denavit Hartenberg prensibi baz alınarak eksen atamaları yapılmalıdır. Bu işlemi yapabilmek için ilk olarak sıfır noktası tespit edilir. Sonrasında ise diğer eksen atamaları daha önce anlatıldığı şekilde eklemler ile bağlantılı şekilde belirlenir. Eksen atama işlemleri kurallar doğrultusunda gerçekleştirildikten sonra parametreler belirlenip tablodaki yerine yerleştirilir.[15]

- i ekleminin ekseni boyunca Z_i ekseni seçilir
- Z_i ve Z_{i+1} eksenlerine X_i ekseni boyunca dik olan eksen seçilir

Ayrıca R_f çerçevesini terminal link ile sabitleyin

Bu sayede Tablo 2.4 de robotun geometrik parametrelerini bulmuş oluyoruz.

i	σ_i	α_i	d_i	θ_i	r_i
1	1	0	0	0	r_1
2	1	-90°	0	90°	r_2
3	1	90°	0	0	r_3
F	-	0	d_f	0	0

Tablo 2.4: Robotun Geometrik Parametreleri

Aşağıda değişkenler hangi şartlarda kullanıldığı açıklanmıştır:

- σ_i (a_i) : İki eksen arasındaki uzuv uzunluğu. Eklem tipi bu şekilde belirlenecek olunursa,
- $\sigma_i = 0$ ise dönen bir ekleme sahiptir;
- $\sigma_i = 1$ ise prizmatik bir ekleme sahiptir;
- α_i : X_{i-1} etrafında dönmeye karşılık gelen, komşu iki eksen olan Z_i ve Z_{i-1} arasındaki açısal mesafe;
- d_i : X_{i-1} boyunca Z_i ve Z_{i-1} arasındaki mesafe;
- θ_i : Z_i etrafında dönmeye karşılık gelen, iki komşu uzuv (X_{i-1} ve X_i) arasındaki eklem açısı;

- r_i : Z_i boyunca X_{i-1} ve X_i arasındaki mesafe;

Bu projede hem dönme hem de ilerleme inceleneceği için transformation matrisleri olarak adlandırılan dönüşüm matrisleri kullanılmıştır. Bu matrisler yer değiştirme ve dönme matrislerinden meydana gelmektedir.

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{d} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

3 eksendeki meydana gelen yer değiştirme hareketini ve eksenlerdeki dönme hareketini tanımlayabilmek için 2.3 numaralı denklem verilmektedir.

$$\mathbf{T} = \mathbf{R}_{z,\theta} \mathbf{T}_{x,a} \mathbf{R}_{x,\alpha} \quad (2.3)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i * \cos \alpha_i & \sin \theta_i * \sin \alpha_i & a_i * \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i * \cos \alpha_i & -\cos \theta_i * \sin \alpha_i & a_i * \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & b_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

2.4 numaralı denklemle herhangi bir robot mekanizmasının ileri kinematik denklemleri rahat bir şekilde oluşturulabilir. R_{i-1} çerçevesinde R_i çerçevesini tanımlayan ${}^{i-1}\mathbf{T}_i$ transformation matrisi aşağıdaki gibidir. Her bir eklem ile ilgili genel dönüşüm matrisi bu denklemlerden türetilebilir:

$${}^{i-1}\mathbf{T}_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & d_i \\ \cos \alpha_i * \sin \theta_i & \cos \alpha_i * \cos \theta_i & -\sin \alpha_i & -r_i * \sin \alpha_i \\ \sin \alpha_i * \sin \theta_i & \sin \alpha_i * \cos \theta_i & \cos \alpha_i & r_i * \cos \alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Önceki tabloya ve ${}^{i-1}\mathbf{T}_i$ matrisine bağlı olarak, dönüşüm matrisini aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz:

$${}^0\mathbf{T}_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1\mathbf{T}_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r_2 \\ -\sin \theta_2 & -\cos \theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2\mathbf{T}_3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & r_3 \\ -\sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^3\mathbf{T}_F = \begin{bmatrix} \cos \theta_f & -\sin \theta_f & 0 & d_f \\ \sin \theta_f & \cos \theta_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki dönüşüm matrisleri sırasıyla eklemler arasındaki dönüşümleri göstermektedir. Robot uç noktasının merkez eksene göre konumu bulunurken yukarıdaki 4 matrisin çarpılması gerekmektedir.

$${}^0\mathbf{T}_F = {}^0\mathbf{T}_1 {}^1\mathbf{T}_2 {}^2\mathbf{T}_3 {}^3\mathbf{T}_F$$

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ortaya 2.6 daki denklemde görüldüğü gibi 4x4'lük bir matris çıkmıştır.

$${}^0\mathbf{T}_F = {}^0\mathbf{T}_1 {}^1\mathbf{T}_2 {}^2\mathbf{T}_3 {}^3\mathbf{T}_F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & r_3 \\ 0 & 1 & 0 & r_2 \\ -1 & 0 & 0 & r_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

2.1.3.1 İleri ve ters geometrik model

İleri geometrik model, ortak koordinatlar açısından Terminal bağlantı noktası olan F'nin yerini veren operasyonel koordinatları hesaplayan ilişkileri temsil eder.

$$\mathbf{X} = F(\mathbf{q})$$

Motorlu eklem kordinatlarının vektörlerinin olduğu noktada:

$$\mathbf{q} = (r_1 \ r_2 \ r_3)^T$$

Terminal bağlantısının konumu ise:

$$\mathbf{X} = (x_F \ y_F \ z_F)^T$$

Aşağıdaki denklemlerde verilen ileri geometrik model (2.6) da ki denklem ile bulunabilir.

$$x_F = r_3; \quad (2.7)$$

$$y_F = r_2 ; \quad (2.8)$$

$$z_F = r_1 - d_F . \quad (2.9)$$

Ve aşağıdaki geometrik denklemlerle verilen ters geometrik model $\mathbf{q} = F^{-1}(\mathbf{X})$ denklemini ile bulunabilir:

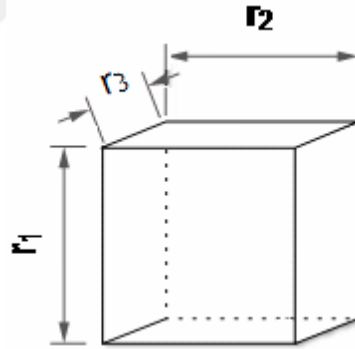
$$r_3 = x_F ; \quad (2.10)$$

$$r_2 = y_F ; \quad (2.11)$$

$$r_1 = z_F + d_F . \quad (2.12)$$

2.1.3.2 Çalışma uzayı

Robotun çalışma uzayı kol ucu (F terminal bağlantısı) tarafından taranabilen nokta kümesinin birleşimi olan uzay olarak tanımlanır. Çalışma uzayın boyutları, robotun serbestlik derecesi, eklem hareket sınırları ve uzuvların boyutları gibi geometrik ve kinematik parametrelere bağlı olarak belirlenir.



Şekil 2.8 : Kartezyen Robot Sisteminin Çalışma Uzayı

2.1.4 Kinematik model

Robot kol ucunun mevcut bir konumdan istenen diğer bir referans konumuna getirilebilmesi için kol ucunun görev uzayında planlanan yörüngeleri takip ederek hareket etmesi gerekmektedir. İki konum arasındaki hareket süresi robot kol ucunun hareket hızına bağlıdır. Bir görev için gerekli ardışık hareket sürelerinin toplamı görevin toplam çevrim zamanını belirler. Bu durumda görevlerin çevrim zamanlarının

tasarlanabilmesi ve uygulanabilmesi için kol ucu hızının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Robot hareket kontrolünde önemli bir ölçüt kol ucunun konumlama doğruluğudur. Hassas konumlama gerektiren görevlerde robot kol ucu konumunun yanı sıra hızının da kontrol edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, Robotun kol ucu hızının kontrolü için eklem hızlarıyla kol ucu hızı arasındaki ilişkinin çift taraflı olarak tanımlanması gerekmektedir.[15]

İleri kinematik model robot kol ucunun(Terminal bağlantısının) hızlarının vektörü bu şekilde ifade edilebilir: $\dot{X} = (\dot{x}_F \dot{y}_F \dot{z}_F)^T$ Eklem hızları vektörü ise şu şekilde ifade edilebilir: $\dot{q} = (\dot{d} \dot{r}_2 \dot{r}_3)^T$

[(2.7), (2.8), (2.9)] denklemlerinde verilen ileri geometrik modele göre J (q) Jacobiyen matrisini kullanarak robotun ileri kinematik modeli yazılacak olunursa açısal hız $\dot{q} = J^{-1}(q)\dot{X}$ formülüyle elde edilebilir.

2.1.4.1 İleri ve ters kinematik model

İleri geometrik model denklemlerini türeterek ileri kinematik model denklemlerini bulabiliriz:

$$\dot{x}_F = \dot{r}_3 ; \quad (2.13)$$

$$\dot{y}_F = \dot{r}_2 ; \quad (2.14)$$

$$\dot{z}_F = \dot{r}_1 . \quad (2.15)$$

Daha önce yapıldığı gibi ters kinematik model denklemleri de, ters geometrik model denklemleri türetilerek bulunabilir. Ters kinematik modelin elde edilmesi problemi, matematiksel açıdan robotun Jakobiyen matrisinin tersinin hesaplanması olarak tanımlanabilir. Jakobiyen matrisi aşağıda (2.16) da ki ifadede tanımlandığı gibi (m x n) boyutunda bir matristir.

2.1.4.2 Jakobiyen matris

Robotun ileri kinematik modelini temsil eden Jakobiyen matris, (m x n) boyutunda , eklem konumlarının fonksiyonu olan bir matristir.[15]

$$\mathbf{J}(\mathbf{q}) = \begin{pmatrix} \partial f_1 / \partial q_1 & \cdots & \partial f_1 / \partial q_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \partial f_m / \partial q_1 & \cdots & \partial f_m / \partial q_n \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

Daha önce gösterilmiş olan ileri ve geri kinematik hesaplama denklemleri, eklemlerin birbirlerine göre konumlarını göstermektedir. Daha sonrasında hesaplanan Jacobean matrisi ise eklemler arasındaki hız ilişkilerini gösterir. Jakobiyen matrisi bu yönüyle robotik uygulamalarda çok tercih edilen bir araçtır.

Jakobiyen matrisine giriş değeri olarak robotun uç işlevcisinin o anki hız değerleri verilirse, çıkış değeri olarak her bir eklemin hız değerleri alınabilir. Genellikle ters kinematik hesaplamalarda konumlar üzerinden hareket edilirken, jakobiyen matrisi bu konum ilişkilerini hız olarak tanımlanabilmesine olanak verir.

Jacobiyen matrisinde açısal ve doğrusal hız olmak üzere iki hız değeri hesaplanır. Lineer hız değerleri için 3 ve açısal hız değerleri için de 3 olmak üzere toplamda her bir uzuv için 6 değişken hesaplanabilir.

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} J_v \\ J_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{3 \times 1} \\ w_{3 \times 1} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Jakobiyen matrisi hesabında her bir uzuv için doğrusal ve açısal hız, bir önceki uzva göre hesaplanır. Bu nedenle uzvun dönel ve prizmatik olması doğrusal ve açısal hızları değiştirecektir. Açısal ve lineer hızlar için 3'er adet değişkenin olması x, y ve z yönlerindeki açısal ve lineer hızlardan ortaya çıkmaktadır. Jacobean matrisi hesaplanırken yukarıda verilen ileri kinematik modeli ifade eden [(2.13), (2.14), (2.15)] denklemleri kullanılmıştır.

$$\mathbf{J} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.18)$$

$n = m$: Robotun eklem ve görev uzaylarının boyutları birbirine eşittir. Jakobiyen matrisi karedir ve determinanı sıfırdan farklı veya sıfıra eşit olabilir. Ters kinematik problemin sonlu sayıda çözümü vardır.[15]

$\det(\mathbf{J}) = 0$ durumundaki çözümler için Jakobiyen matrisin determinanı, eklemin bazı özel konumları için sıfır değerini alabilir. Bu özel eklem konumları robotun kinematik tekil durumları olarak tanımlanır. Tekil durumlarda Jakobiyen matrisin

rankı tam değildir. Eksik ranklı Jakobiyen matris ile ters kinematik problemin çözümü yoktur.

Bizim Jakobiyen matrisimizin determinantı $\det(\mathbf{J}) = -1 \neq 0$. Bu nedenle, bizim robotumuz için tekil yapılandırmalar yoktur. Ters kinematik problemin çözümü en basit özel halidir. Jakobiyen matris tam ranklıdır ve tersi kolaylıkla hesaplanabilir.

Ters kinematik modelin Jakobiyen matrisinin tersinden hesaplanması:

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{J}^{-1}(\mathbf{q})\dot{\mathbf{x}}, \Rightarrow \dot{\mathbf{q}} = (\dot{d} \ \dot{r}_2 \ \dot{r}_3)^T \Rightarrow \dot{\mathbf{X}} = (\dot{x}_F \ \dot{y}_F \ \dot{z}_F)^T \Rightarrow (2.19)$$

$$\dot{\mathbf{x}} = (\dot{r}_3 \ \dot{r}_2 \ \dot{r}_1)^T$$

$$\mathbf{J}^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \dot{\mathbf{x}} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

2.1.5 Dinamik Model

Yük kapasitesi ve maksimum ivmelenme değerleri endüstriyel robotların en önemli performans ölçütlerindedir. Ağır yüklerin manipülasyonu veya hassas hareket ve konumlama gerektiren görevler için tasarlanan, minimum çevrim zamanları ve yüksek hareket performansları beklenen robotların kontrolünde konum ve hızların yanı sıra ivmelerinde kontrol edilmesi gerekmektedir.

Hareket esnasında robotun dinamik davranışlarını belirleyen en temel kuvvetler, ivmelerin bir fonksiyonu olan atalet kuvvetleridir. Atalet kuvvetleri ivmelerle doğru orantılı olduğundan yüksek ivmelenmeler yüksek atalet kuvvetlerine yol açar.

Sonuç olarak, hız ve ivmeler yükseldikçe robota etkiyen kuvvetlerin genlikleri artar ve dinamik davranışı belirleyen baskın unsurlar haline gelir. Hareket hassasiyetinin artırılması için bu kuvvetlerin kontrol sistemi tarafından dengelenmesi gerekmektedir. Dengelenmesi gereken kuvvetlerin hesaplanabilmesi için robotların dinamik modelleri türetilerek kontrol çevrimlerinde kullanılır.

Robot kollarının dinamik modelleri genelleştirilmiş eklem kuvvetleri (kuvvet ve momentleri) ile eklem değişkenleri (konumları, hızları ve ivmeleri) arasındaki ilişkileri ifade eder. [15]

Ters dinamik model aşağıdaki denklem ile ifade edilir:

$$\tau(t) = \tau(q(t), \dot{q}(t), \ddot{q}(t), g(q(t)), \tau_s(t), f_d(t)) \quad (2.20)$$

Ters dinamik model, robotun referans hareket ve etkileşim kuvvetlerini sağlayacak olan eklem kuvvetlerinin hesaplanmasına olanak verir. Ters dinamik model robot tasarımında, analizinde ve kontrolünde kullanılır. Ters dinamik model, eklem konumları, hızları ve ivmeleri açısından motorlardaki tork(ve/veya kuvvetleri) değerlerini veren ilişkidir. Tasarlanan robot sisteminde kullanılan ters dinamik model için denklemler (2.21) numaralı denklemde verilmiştir.

$$\Gamma = f(q, \dot{q}, \ddot{q}, F_e), \quad (2.21)$$

→ Modeldeki değişken ve parametreler aşağıdaki gibi tanımlanır:

- Γ : Eklem döner veya prizmatik olmasına bağlı olarak motor torklarının / kuvvetlerinin vektörü;
- q : Eklem pozisyonlarının vektörü;
- \dot{q} : Eklem hızlarının vektörü;
- \ddot{q} : Eklem ivmelerinin vektörü;
- F_e : Dış kuvvetlerin ve ortamın robot üzerinde uyguladığı kuvvetlerin toplamının vektörü.

İleri dinamik model, denklem (2.22)'deki gibi eklem pozisyonları, hızları ve motor torkları cinsinden eklem ivmelerini ifade eder:

$$\ddot{q} = f(q, \dot{q}, \Gamma, F_e). \quad (2.22)$$

Dinamik model, motorların kontrol aşamalarında ve seçiminde kullanılır. Doğrudan ve ters dinamik modeli bulmak için seri kinematik zincire sahip robot kolların dinamik modellemesinde iki temel yaklaşım vardır:

- Analitik mekanik yaklaşımı:

Modelleme problemi enerji yöntemiyle ele alınır. Euler-Lagrange denklemleri ile m adet ikinci mertebe diferansiyel denklem türetilir. Analitik yaklaşımla elde edilen ters dinamik model robotun benzetimi, analizi ve kontrolör tasarımı için kullanılır. Modelin hesaplanması için gerekli hesap yükü gerçek zamanlı kontrolü için uygun değildir. Lagrange methodu karmaşık zincirli yapılarda kullanılır.

- Vektörel mekanik yaklaşımı:

Modelleme problemi vektörel mekanik yöntemleriyle ele alınır. Robotun dinamik davranışı açık olarak ifade edilmez. Newton – Euler denklemleri ile eklem kuvvetlerini tekrarlamalı olarak hesaplayan algoritmalar mevcuttur. Robotun gerçek zamanlı kontrolünde kullanılır. Newton – Euler methodu seri zincire sahip robot mekanizmalarında kullanılır.

- Tasarlanan robot sistemide seri zincire sahip bir robot mekanizması olduğu için Newton – Euler methodu kullanılmıştır.

2.1.5.1 Dinamik modelin ifade edilmesi

Newton – Euler denklemleri, üç boyutlu uzayda hareketli katı cisimlere etkiyen genelleştirilmiş kuvvetleri tanımlar. Dinamik modeli bulmak için, ileri ve ters modelde Luh-Walker-Paul tarafından önerilen tekrarlamalı hesap yöntemi kullanılır. Bu yöntem ile ters dinamik model iki aşamada çözülür. İleri yön hesap ve Ters yön hesap.

- İleri yön (tekrarlamalı) hesabında, robotun kinematik zinciri üzerinde temel uzvundan başlayarak kol ucuna (terminal bağlantısına) doğru ilerlenir. Her uzvun genelleştirilmiş hız ve ivmeleri hesaplanır. Bu aşamanın sonunda robotun tüm uzuvlarının genelleştirilmiş hız ve ivmeleri elde edilmiş olur. Daha sonrasında aşağıda verilen (2.23) ve (2.24) numaralı denklemler ile her bir bağlantının toplam kuvvetleri ve momentleri hesaplanmış olunur.[15]
- Ters yön (tekrarlamalı) hesabında, robotun kol ucundan (terminal bağlantısından) temel uzvuna doğru hareket edilir. Her bir uzuv için serbest cisim diyagramları oluşturularak, etkiyen tüm genelleştirilmiş kuvvetler vektörel olarak ifade edilir. Newton - Euler denklemi, bağlantının C_i kütle merkezi üzerindeki dış kuvveti ve torku ifade eder. Newton - Euler denklemi ile dış kuvvet hesabı aşağıdaki gibidir:

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{M}_i \dot{\mathbf{V}}_{Gi} \quad (2.23)$$

Denklemdaki değişken ve parametreler aşağıdaki gibi tanımlanır:

- \mathbf{F}_i : Robotun C_i uzvunun kütle merkezine etkiyen dış kuvvetlerin toplamı
- \mathbf{M}_i : Robotun C_i uzvunun kütlesi
- $\dot{\mathbf{V}}_{Gi}$: C_i uzvunun kütle merkezinin doğrusal ivmesi

Newton - Euler denklemi ile etkiyen dış kuvvetlerin tork hesabı aşağıdaki gibidir:

$$\mathbf{T}_{G_i} = \mathbf{I}_{G_i}\dot{\boldsymbol{\omega}}_i + \dot{\boldsymbol{\omega}}_i \wedge (\mathbf{I}_{G_i}\boldsymbol{\omega}_i), \quad (2.24)$$

- \mathbf{T}_{G_i} : Robotun C_i uzvunun kütle merkezine etkiyen toplam tork
- \mathbf{I}_{G_i} : C_i uzvunun kütle merkezine sabit eksen takımına göre kütle atalet momenti
- $\boldsymbol{\omega}_i$: C_i uzvunun açısal hızı
- $\dot{\boldsymbol{\omega}}_i$: C_i uzvunun açısal ivmesi

Robot sisteminde kullanılan bütün eklemler kartezyen robot sistemi olduğu için prizmatik eklemdir. Bütün döner eklemler terimler sıfıra eşittir. Bu nedenle sadece geçiş terimlerinin bulunması ve kuvvetlerinin hesaplanması yeterli olacaktır. F_i kuvveti R_i çerçevesinin O_i merkezine uygulanırsa, (2.23) de verilen denklem aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{M}_i\dot{\mathbf{V}}_i \quad (2.25)$$

- $\dot{\mathbf{V}}_i$: R_i çerçevesinin merkezinin ivmesi.

$\dot{\mathbf{V}}_i$ ivmesi (2.26) numaralı denklemde aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\dot{\mathbf{V}}_i = \dot{\mathbf{V}}_{i-1} + \dot{\mathbf{q}}_i\mathbf{a}_i, \quad (2.26)$$

\mathbf{a}_i ise, R_0 çerçevesinde Z_i ekseni boyunca ifade edilen bir birim vektördür.

C_0 bağlantısının hızlandırıldığı varsayılırsa,

$$\dot{\mathbf{V}}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ -g \end{bmatrix} \text{ olarak alınırsa } \left\{ \begin{array}{l} \dot{\mathbf{V}}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{r}_1 \\ -g \end{bmatrix} \\ \dot{\mathbf{V}}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{r}_2 \\ -g \end{bmatrix} \\ \dot{\mathbf{V}}_F = \dot{\mathbf{V}}_3 = \begin{bmatrix} \dot{r}_3 \\ \dot{r}_2 \\ -g \end{bmatrix} \end{array} \right\} \text{ doğrusal ivmeler (2.27)}$$

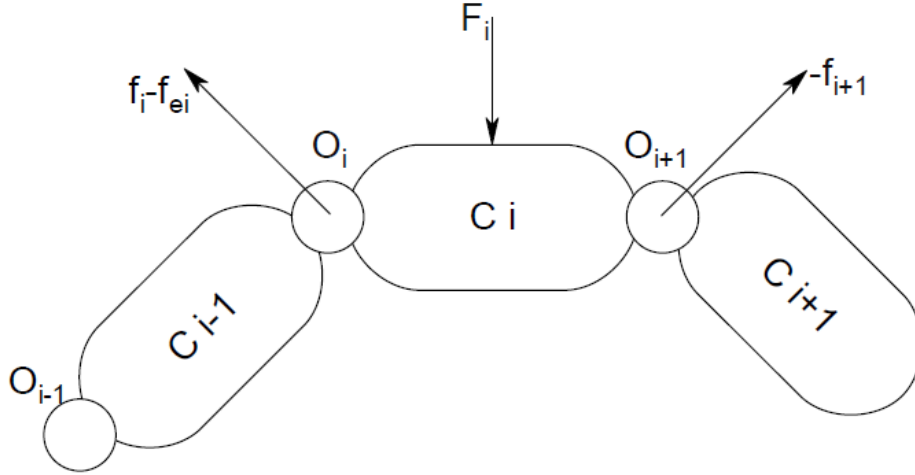
bulunur.

→ Doğrusal ivmeler bulunduktan sonra (2.25) numaralı denklemde verilen ifade ile F_i (Robotun C_i uzvunun kütle merkezine etkiyen dış kuvvetlerin toplamı) bulunulacak olunursa:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_1(\ddot{r}_1 - g) \end{bmatrix} \\ F_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ M_2\ddot{r}_2 \\ M_1(\ddot{r}_1 - g) \end{bmatrix} \\ F_3 = \begin{bmatrix} M_3\ddot{r}_3 \\ M_2\ddot{r}_2 \\ M_1(\ddot{r}_1 - g) \end{bmatrix} \end{array} \right\} \quad (2.28)$$

Ters yön (tekrarlamalı) hesabına göre,

Şekil 2.9 C_i uzvuna etki eden kuvvetleri göstermektedir.



Şekil 2.9: Serbest Cisim Diyagramı

C_i uzvuna uygulanan kuvvetlere ait değişken ve parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

f_i : C_{i-1} numaralı uzvu C_i numaralı uzva uyguladığı kuvvet;

f_{ei} : C_i numaralı uzva etkiyen dış kuvvet

Sürtünme kuvvetinin etkisi eklenip f_i hesaplandıktan sonra, motorlardan istenen kuvvet motorun C_{i-1} uzvuna sabitlenip ve C_i uzvunu hareket ettirdiği varsayılarak hesaplanabilir. f_i ifadesi Şekil 2.8 yardımı ile (2.29) numaralı denklemde verilmiştir.

$$\mathbf{f}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{f}_{i+1} + \mathbf{f}_{ei} \quad (2.29)$$

Ters yön hesabında, robot kol ucundan temel uzvuna doğru hareket edildiği için; Aşağıdaki hususları göz önünde bulundurarak C3 uzvuna sabitlenen kol ucundan(terminal bağlantısından) C1 uzvuna doğru hesaplanmaya başlanırsa:

- \mathbf{f}_{ei} sifıra eşit olur;

- $\mathbf{f}_{n+1} = \mathbf{f}_L = M_L \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix}$

M_L : Yükün kütlesi;

\mathbf{f}_L : Robot ucuna(terminal bağlantısına) uygulanan kuvvettir:

$$\left. \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} f_3 = F_3 + f_L = \begin{bmatrix} (M_3)\ddot{r}_3 \\ (M_3)\ddot{r}_2 \\ (M_3)(\ddot{r}_1 - g) - M_L g \end{bmatrix} \\ f_2 = F_2 + f_3 = \begin{bmatrix} (M_3)\ddot{r}_3 \\ (M_2 + M_3)\ddot{r}_2 \\ (M_2 + M_3)(\ddot{r}_1 - g) - M_L g \end{bmatrix} \\ f_1 = F_1 + f_2 = \begin{bmatrix} (M_3)\ddot{r}_3 \\ (M_2 + M_3)\ddot{r}_2 \\ (M_1 + M_2 + M_3)(\ddot{r}_1 - g) - M_L g \end{bmatrix} \end{array} \right\} \end{array} \right\}$$

2.1.5.2 Motor tork değerlerinin hesaplanması

\mathbf{f}_i hesaplandıktan ve sürtünmenin etkisi hesaba eklendikten sonra, motorlarda ihtiyaç duyulan gerekli kuvvet Γ_i (2.30) numaralı denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$\Gamma_i = \mathbf{f}_i \mathbf{a}_i + \mathbf{F}_{fi} \quad (2.30)$$

- \mathbf{F}_{fi} : Eklemlerdeki sürtünme kuvveti. Eklemlerdeki sürtünmelerde eklenirse Γ_i (2.31) numaralı denklemde ifade edilmiştir.

$$\left. \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \Gamma_1 = f_1 a_1 + F_{f1} \\ = (M_1 + M_2 + M_3)(\ddot{r}_1 - g) - M_L g + F_{f1} \\ \Gamma_2 = f_2 a_2 + F_{f2} \\ = (M_2 + M_3)\ddot{r}_2 - (M_2 + M_3 + M_L)g\mu_2 \\ \Gamma_3 = f_3 a_3 + F_{f3} \\ = (M_3)\ddot{r}_3 - (M_2 + M_L)g\mu_3 \end{array} \right\} \end{array} \right\} \quad (2.31)$$

- Tüm eklemlerdeki ivmelenmeler ihmal edildiğinde oluşacak olan denklem (2.32) numaralı denklemde verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_1 &= f_1 + F_{f_1} \\ &= -(M_1 + M_2 + M_3 + M_L)(g) - F_{f_1} \\ \Gamma_2 &= f_2 + F_{f_2} \\ &= -(M_2 + M_3 + M_L)(g\mu_2) \\ \Gamma_3 &= f_3 + F_{f_3} \\ &= -(M_3 + M_L)g\mu_3 \end{aligned} \right\} \quad (2.32)$$

- Robotun eklemlerinde hareket motorlardan bir pinyon dişli(alternatif olarak kayış kasnak mekanizması) vasıtasıyla hareketli bağlantılara iletilir, bu nedenle gerekli torku hesaplamak için denklem (2.34) 'de hesaplanan kuvveti motorun sabitlenmiş olduğu pinyon dişlinin yarıçapı ile aşağıda (2.33) numaralı denklemdeki gibi hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} T_{m1} &= \Gamma_1 R_1 \\ T_{m2} &= \Gamma_2 R_2 \\ T_{m3} &= \Gamma_3 R_3 \end{aligned} \quad (2.33)$$

Denklemde kullanılan değişken ve parametreler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

T_{mi} : i numaralı uzvun motor torku

R_i : i numaralı uzuvdaki motorun pinyon dişli yarıçapı veya kayış-kasnak dönüştürme oranı.

- F_{f1} sürtünme kuvvetini tam olarak hesaplamak zor olmasına rağmen, motor torkları hesaplanırken bu problemin üzerinden gelmek için güvenlik faktörü $\eta = 1.5$ seçilmiştir. Motorların ihtiyaç duyduğu motor torkları aşağıda hesaplanacaktır.

$$\begin{aligned} T_{m1} &= (M_1 + M_2 + M_3 + M_L)(g)(R_1)\eta \\ T_{m2} &= (M_2 + M_3 + M_L)(g\mu_2)(R_2) \\ T_{m3} &= (M_3 + M_L)(g\mu_3)(R_3) \end{aligned} \quad (2.34)$$

- Robotun eklemlerindeki sürtünme katsayılarının sayısal değerleri:

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 0,2$$

- Robotun uzuvlarının kütleleri:

$$M_1 = 9 \text{ kg}, M_2 = 7 \text{ kg}, M_3 = 1,5 \text{ kg}$$

M_L (robot ucuna takılan sistemin ağırlığı) = 1kg

Eklem ağırlıklıkları ve üretici firmadan alınan sürtünme katsayısı oranları ile motor torkları aşağıda hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} T_{m1} &= (9 + 7 + 2.5 + 1)(9.8)(0.035)(1.5) \\ T_{m2} &= (7 + 2.5 + 1)(9.8 * 0.2)(0.025) \\ T_{m3} &= (2.5 + 1)(9.8 * 0.2)(0.025) \end{aligned}$$

$$T_{m1} = 10.03 \text{ Nm}$$

$$T_{m2} = 0,52 \text{ Nm}$$

$$T_{m3} = 0,18 \text{ Nm}$$

→ Bu ekseninde kullanılan servo motorda 1/10 planet dişli redüktör kullanılmıştır. Bu sebeple motor çıkışında dönüş hızı 1/10 oranında düşüş yaşar. Redüktör oranı ile hesaplanırsa motor miline binen moment ise 1/10 oranında azaltılmış olacaktır:

$M_{Q_{Motor\ mil}} = 1.003 \text{ Nm}$ olarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} T_{m1} &= 1.003 \text{ Nm} \\ T_{m2} &= 0.52 \text{ Nm} \\ T_{m3} &= 0.18 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Motorların bir kısmı piyasadan satın alınmıştır. Diğer motorlar (servo motor ve 1 adet step motor fabrika stoklarından temin edilmiştir).

Tm1 için 750W 2.39 Nm 3000rpm değerinde frenli bir Servo motor kullanılmıştır.

Tm2 için Nema 23 2.2 Nm 1.8° 4 faz 200 adım Step motor kullanılmıştır.

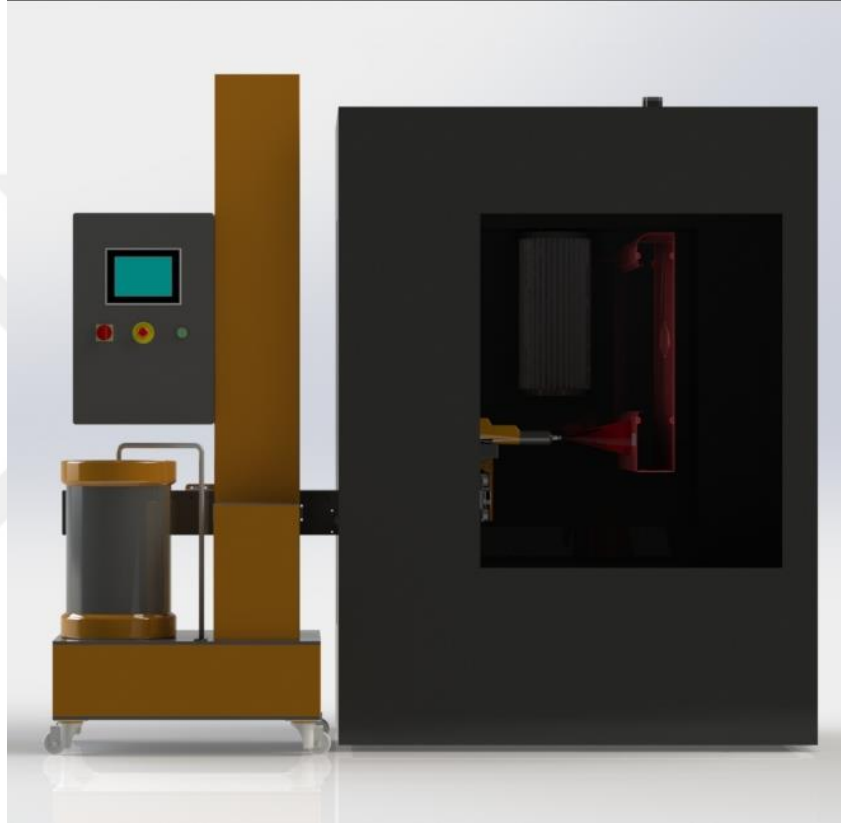
Tm3 için Nema 24 3.1 Nm 1.8° 4 faz 200 adım Step motor kullanılmıştır.

Robot uc kısmında boya tabancasına radyal hareket vermek için Nema 23 1.4 Nm step motor kullanılmıştır. Motoru güçlendirmek için ise 1/40 planet redüktör kullanılmıştır.

Askıya asılan ürünü 360 derece döndürmek için ise Nema 23 1.4 Nm 1.8° 4 faz 200 adım Step motor kullanılmıştır. Motoru güçlendirmek için ise 1/40 planet redüktör kullanılmıştır.

2.2 Katı Model

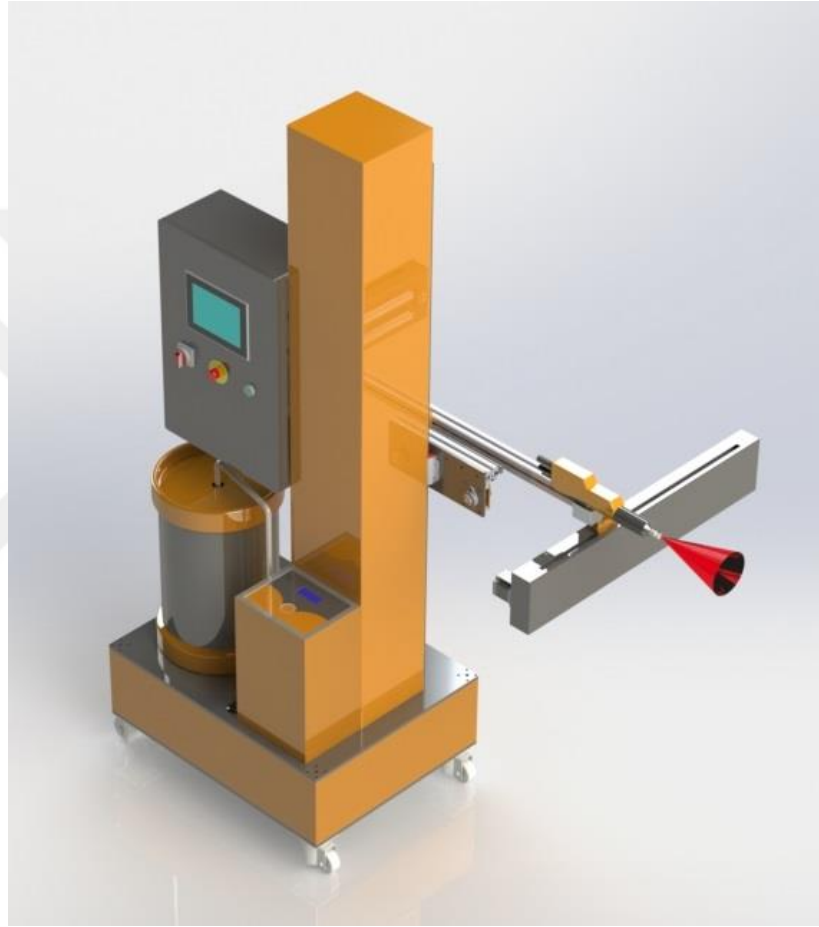
Bu bölümde robot mekanizması bilgisayar destekli tasarım programı olan SolidWorks yazılımı ile geliştirip üretime hazır hale getirilirdi. Tasarım yapılırken kullanılacak malzemeler temin edilip öncesinde uygunluğu ve ölçüleri kontrol edilerek üretimde yaşanacak hataların önüne geçilmiştir. 3 boyutlu tasarım, robotun mekanizmalarını oluştururken tasarımcılara en ince ayrıntısına kadar sistemi analiz etmeyi, üretmeden önce denemeler yapmayı sağlamaktadır.



Şekil 2.10: Robot Mekanizmasının ve Boya Kabininin 3 Boyutlu Çizimi

Daha önce yapılan el ile çizimler ve tasarımlar üretimde birçok hatayı da beraberinde getirirken, şu anda kullanılan gelişmiş bilgisayar programları sayesinde daha malzemeyi tedarik etmeden her konuda inceleme ve mekanizmalara uygunluğu konularında fikir edinmiş olunmaktadır.

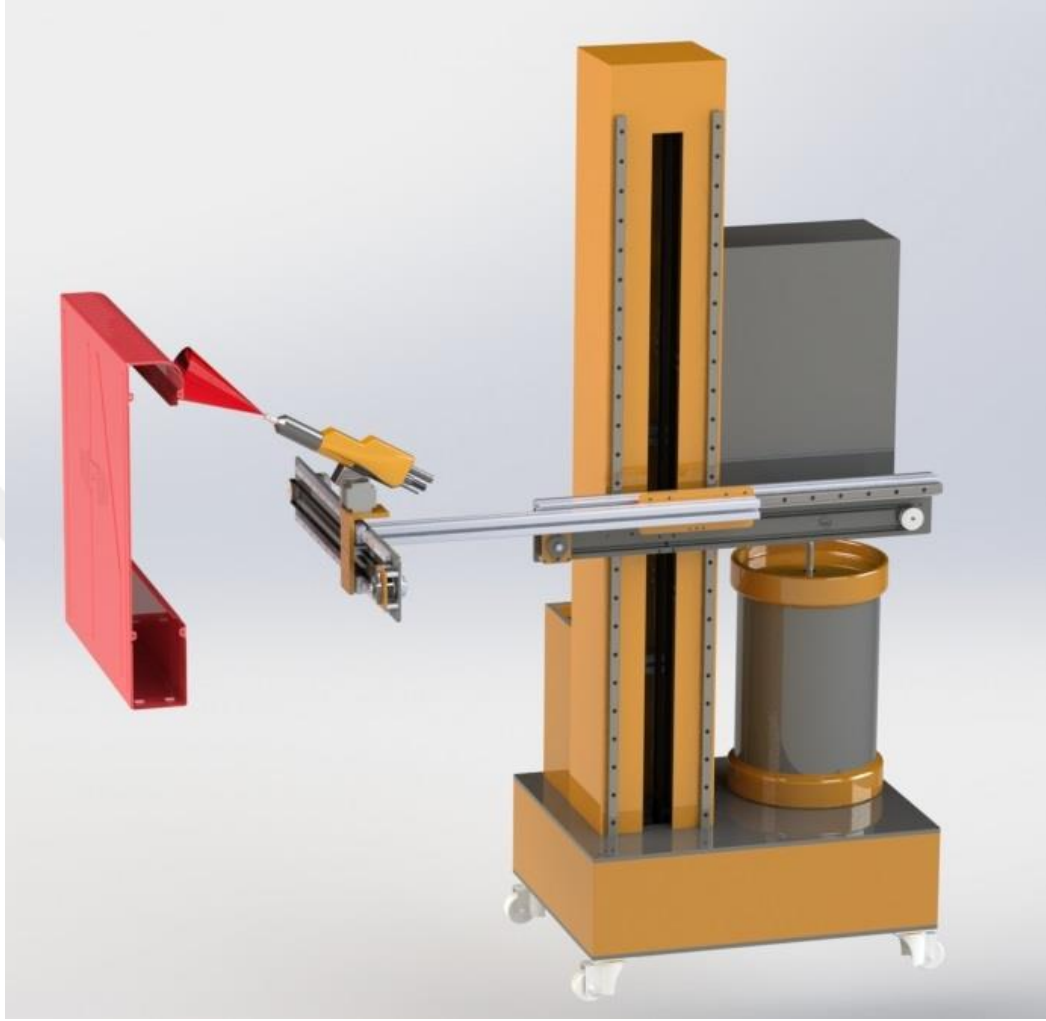
Robot mekanizmasında kullanılan malzemeler ve sistemlere detaylı olarak aşağıda yer verilecektir. Hipotez ve tezin amacıyla bahsedildiği gibi, fabrikanın ihtiyaç duyduğu bir boya robotu tasarlanırken tüm bu ihtiyaçlar göz önünde bulundurulmuştur. Hızı, kullanılabilirliği, hareket kabiliyetleri, kalite ve performans koşulları belirlenirken fabrika bünyesinde çalışan ve bu işi yaparken sorun yaşayan boya operatörleri ile temasta bulunup onların ihtiyaçlarına ve fabrikanın istediği kalite koşullarına hitap eden bir robot mekanizması tasarlanmıştır.



Şekil 2.11: Robot Mekanizması - 1

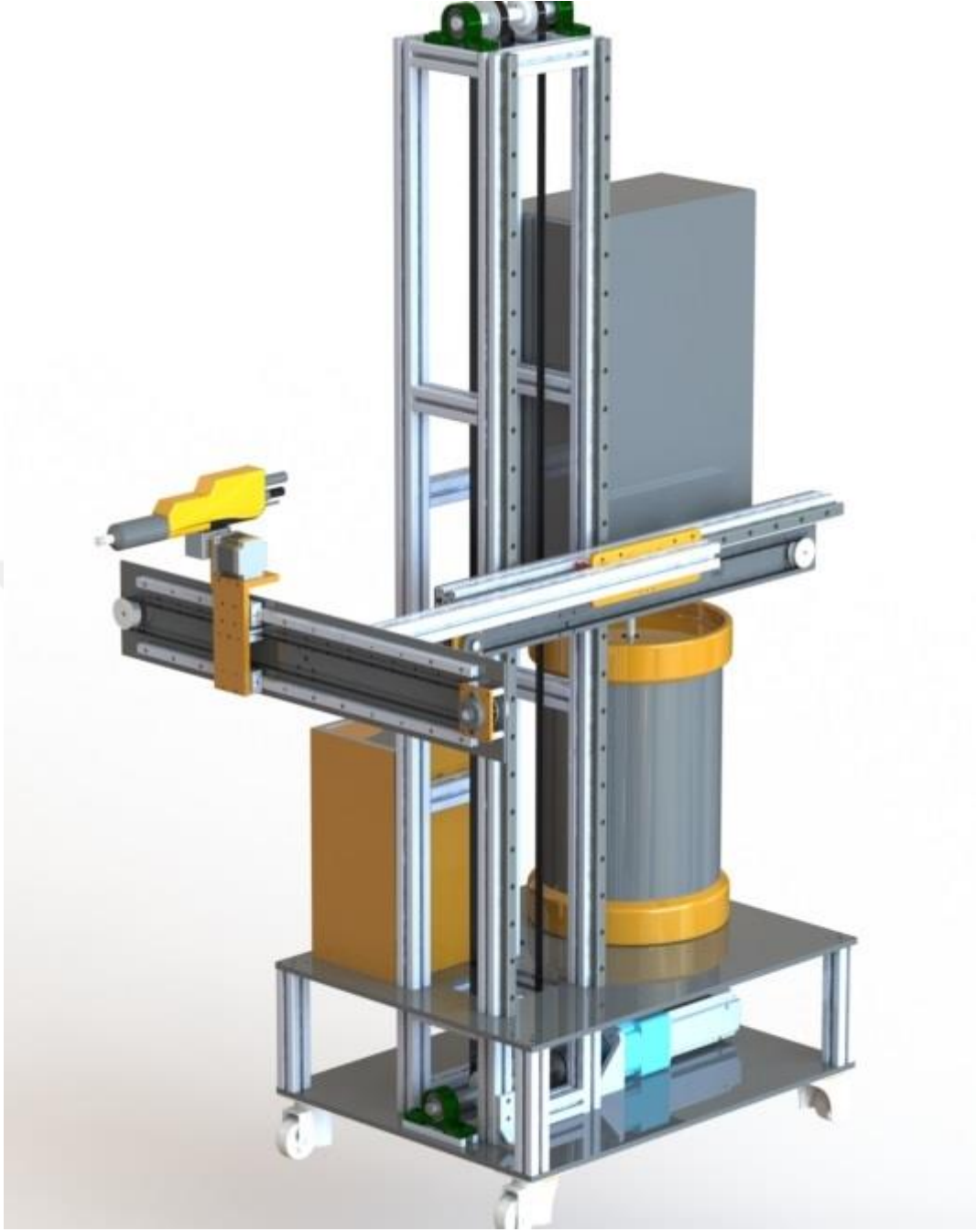
Boyama işlemi boya tabancasının ucu ile gövde arasında 20 cm boşluk kalacak şekilde yapılması gerekmektedir. Üreticiden alınan bu bilgi doğrultusunda robot ucunu hareketli yani gövde formuna göre şekil alabilen ve 3 eksende hareket kabiliyeti olacak şekilde tasarlandı. Ayrıca boyama işlemi z ekseninde öne ve arkaya gidip gelecek şekilde yapılmaktadır. Üretici firmadan alınan bilgi doğrultusunda ürün boyanırken her boyama işleminde y ekseninde ne kadar hareket etmesi gerektiği ve robot ucu hızları hesaplanmıştır. Tedarik edilen korona boya tabancası ile 1 dakikada 1

metrekare alan boyanabilmektedir. 4 saniyede robot ucu y ve z eksenı boyunca 1 metre yukarı ve aşağı hareket edebilmektedir.



şekil 2.12: Robot Mekanizması - 2

şu anda yapılan tasarım numune ürün boyama kabini olduğu için 1 adet tabanca ve 1 adet filtre sistem işlem için yeterlidir. Boyanacak ürün gövde formları daha önce sistem de yüklü olduğu için homojen bir boyama işlemi sağlanmıştır. X eksenindeki mesafe ürün yüzeyi ile hep 20 cm boşluk kalacak şekilde kontrolcü tarafından ayarlanmaktadır. Dikey eksen de kullanılan frenli servo motor sayesinde istenilen robot ucu hızlarına ulaşılmıştır. Ayrıca kullanılan ray mekanizmalarında istenilen robot ucu hızlarına ulaşırken minimum sürtünme kuvveti ile destek vermektedir.



Şekil 2.13: Robot Mekanizması - 3

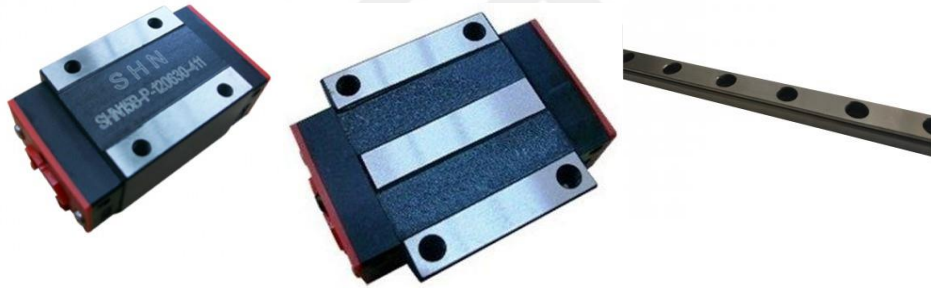
2.2.1 Katı modelde kullanılan sistem elemanları

Katı model oluştururken birçok mekanik sistem elemanları ve hareket mekanizmalarından yararlanılmıştır. Tasarlanan robot sistemi boya yapacağı için, robot ucu sadece boya tabancasını taşıması yeterlidir. Ancak hız ve sağlamlık düşünülerek konstrüksiyon sağlam yapılmıştır. SolidWorks ile bütün parçalar 1:1 ölçekte tasarlanıp üretime geçilmeden simülasyon ortamında çalıştırılmıştır. Robot

mekanizması tasarlanırken ihtiyaç duyulan sistemlerin büyük bir bölümü satın alınıp ölçü kontrolü yapılmıştır. Diğer parçalar için ise üretici firmalar ile irtibat kurup teknik döküman alınıp ölçü ve fonksiyon kontrolü yapılarak tasarıma eklenmiştir. Şimdi kullanılan malzemeler ve sistemleri aşamalı olarak inceleyecek olursak.

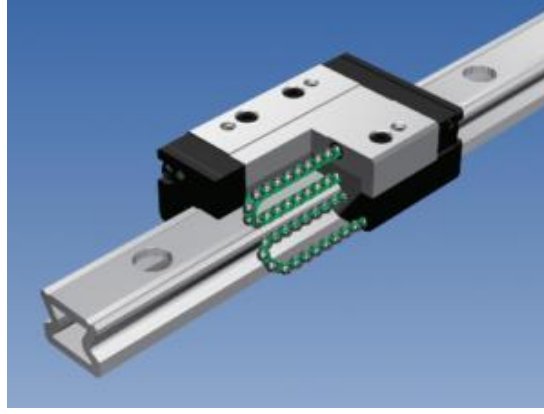
2.2.1.1 Lineer kızaklar ve arabalar

Sistemin minimum sürtünme ile hareketini sağlayan ve çok hızlı bir şekilde hareket etmesini, istenilen kalite ve yeteneklerde boya yapabilmesi için paslanmaz lineer kızaklar ve arabalar kullanılmıştır. 3 eksen boyunca hareket ederken motorlardan gelen hareketi en iyi şekilde lineer harekete dönüştürmek için bu ray ve arabalar çok yardımcı bir makine ekipmanıdır. İki farklı boyuttaki kızak ve arabaları robot sisteminde kullanılmıştır.



Şekil 2.14: SHN15B Araba – SHN 20A Araba – SHN Paslanmaz Kızak[24]

Lineer ray arabalar ve lineer kızaklar hassas doğrusal hareketlerde tercih edilen son teknoloji makine ekipmanlarıdır. Her arabada 4 sıra bilye vardır. Bu sayede ray üzerine yataklanabilen çelik arabalar farklı hareket biçimlerini basit ve hızlı bir şekilde yapabilir. Ayrıca bu işlemi yaparken de yüksek hassasiyetini korurlar. Dar tip olan SHN B serisi ve geniş tip olan SHN A serisi sürtünmesiz arabalar radyal yüklerin taşınmasında yeterli moment dayanımı sağlarlar. Her tarz uygulamada hareketin sabit kalmasını olanak sağlarlar. Taşıma, delme, kaynak, taşlama, talaş kaldırma, boyama gibi uygulamalarda güvenilir ve kolay bir şekilde kullanılabilir. Raylar üzerindeki eşit ağırlık dağılımlarından dolayı frenleme, sarsıntı, ve darbelerde çok iyi bir dayanım göstermektedir.



Şekil 2.15: SHN15B Araba Kesit Görüntüsü[25]

Sırası ile yukarı ve aşağı harekette SHN 20A kızak ve arabası kullanılmıştır. Kullanılan araba ve raylar karşılıklı sıra ile kullanılarak sarsıntı ve yüksek hızlarda kasıntının önüne geçilmiştir. Yine sağa ve sola harekette SHN 20A araba ve kızak kullanılmıştır. Bu ekseninde ise iki araba tek ray üzerinde gidecek şekilde düşünülmüştür. Buradaki amaç boya tozu ile teması azaltmak ayrıca yatay eksenlerdeki ağırlığı hafifletmektir. Seri olarak bağlantısı yapılan iki geniş kızak ile daha dar bir alanda boyanacak gövde formuna göre yakınlaşmalar ve uzaklaşmalar gerçekleştirilebilmektedir. İleri ve geri harekette ise yine yukarı ve aşağı harekette olduğu gibi iki adet araba ve kızak paralel bağlanmıştır. Bu eksene boya tabancası bağlı olduğu için, sarsıntı olmaması ve boya ile en çok temas etme ihtimali olan eksen olduğu için bu şekilde tasarlanmıştır. Z ekseni olan bu hareket sisteminde 2 adet SHN 15B dar araba ve kızak kullanılmıştır. Yine ağırlığı azaltmak için dar araba ve ray tercih edilmiştir. 3 ekseninde kullandığımız araba ve kızaklar sayesinde mükemmel bir hareket kabiliyeti elde edilmiştir.

2.2.1.2 Motorlar

- ➔ Dikey eksen(y ekseni) de 0.75kw değerinde frenli bir servo motor kullanılmıştır. Bu ekseninde hız ve hassas kontrole ihtiyaç duyulduğu için servo motor tercih edilmiştir. Boyama işlemi yukarı ve aşağı harekette yapıldığı için konum kontrolü bu ekseninde önem arz etmektedir.



Şekil 2.16: Delta 0.75 kw B2 Serisi Frenli Servo Motor[26]

Frenli bir servo motor tercih edilmiştir. Robot mekanizmasının çalışması esnasında olası bir elektrik gitmesi durumunda sistemin yere çakılmaması için servo motor içinde bulunan frenler sistemi korumuş olmaktadır. Delta firmasının ECMA-C20807fs model 750W frenli servo motor y eksenini için tercih edilmiştir.

Servo motorlar her türden mekanizmaların çalışmasını hatayı algılayıp geri besleme sistemi sayesinde kontrol eden ve hatayı çözen otomatik makinelerdir. Genellikle içerisinde kompanzasyon sargısı bulunan ve küçük çaplı, kuvvetli manyetik alanlı, boyu fazla olan DC akım motorları servo motor olarak isimlendirilir.

Servo motorlar benzeri DC motorlar benzeri imalat yapırlar. 1 devir/dakika hız değerlerinin bile altında çalışan, hız-moment kontrolü yapabilen muhteşem motorlardır. Robot uygulamalarında en çok tercih edilen motor çeşitleridir. Bu makineler mekanik olabildiği gibi benzeri hidrolik-pinomatik, elektronik veya başka sektörlerde de kullanılabilir. Servo sürücüler sayesinde servo motorlar; hız, konum veya ivme gibi değerlerin kontrol edilebildiği bir sistemdir. Servo motorlar dahilinde herhangi bir motor DC , Step veya AC motor bulunmaktadır. Ayrıca bu motorlar kontrolcü ve sürücü devrelerini de iç kısımlarında bulundurulur.[26]

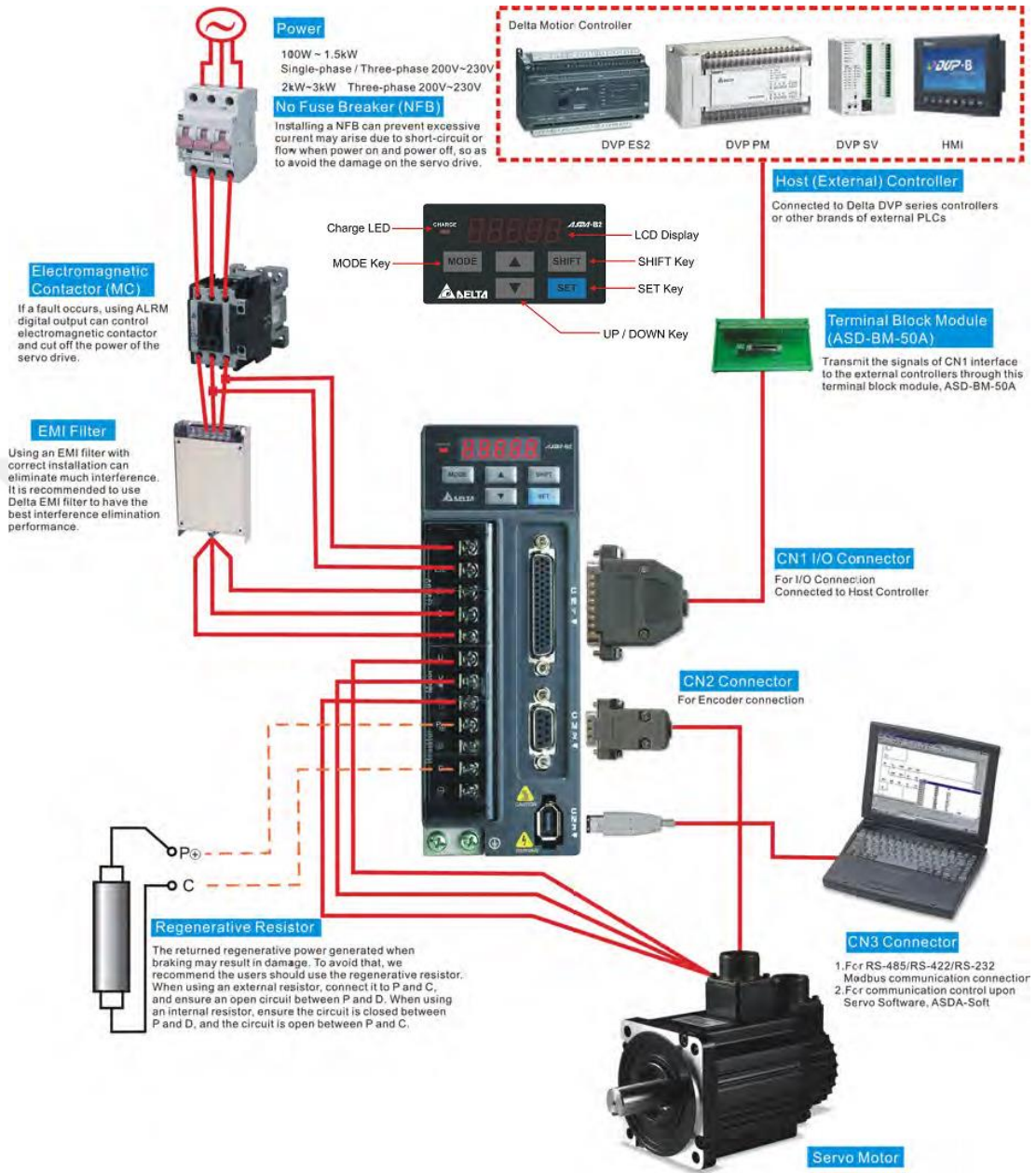
Servo motor çalışma şekli: Herhangi bir mekanizmada servo motor kontrolü, pozisyon ve hız kontrolünün gerektiği sistemlerde, geri besleme sistemi ile bir kontrol ünitesine gönderilerek sistemin davranışına karar verir ve son kontrolünü yapar. İçerisinde step motor bulunmayan kapalı çevrim sistemine de servo sistem denmektedir. Bu sebeple hız kontrolü uygulanan basit bir AC indüksiyon motoru da servo motor olarak adlandırılmaktadır. Servo motorların basit motorlardan farkı; genellikle güç sağlayan servo motorlar geniş hız komutlarını yerine getirecek biçimde tasarlandığındandır. Servo motorlar operatörün emirlerini gerçekleştiren akıllı motorlardır. İstenen bu emirler hız, pozisyon ve pozisyon bileşimi komutlar olabilir. Servo motorların özellikleri aşağıdadır;

- Devir sayısı, hızlı ve stabil bir şekilde değiştirilebilmektedir.
- Geniş bir hız sınırları dahilinde kararlı olarak çalışabilmektedirler.
- Küçük boyutlu olmasına rağmen büyük moment elde edilebilmektedir.

Servo motor modelleri: Doğru akımla (DC) çalışanları ise fırçalı DC motor, alternatif akımla (AC) çalışanları fırçasız AC motor olarak yapılmaktadır. Bu tarz motorlar, elektronik sürücü/programlayıcı devreler ile birlikte çalışmaktadırlar. Günümüzde üretilen servo motor sürücüleri; mikroişlemci kontrollü ve dijital devre şeklindedir.

- Servo motorların ürettiği döndürme momentleri çok yüksektir.
- Döndürme momentlerinin neredeyse iki katına kadar olan değerlere çok kısa sürede ulaşabilirler.
- Servo motorların devir sayıları 1-10000 d/d arasındaki bir değere çok kolay olarak ayarlanabilir.
- Hareketleri çok sık aralıklarla yapabilir. Dur-kalk miktarları fazla olabilir. Sayıların artması motor için önemli değildir, olumsuz açıdan sorun oluşturmaz.
- Atalet(kalkış) momentleri oldukça küçüktür. İstenen komutları hızlı bir şekilde algılayıp uygulayabilirler.

Kullanılan Servo Motorun kablo bağlantısı ve üzerinde olan soketlerden bahsedilecek olunursa, üzerinde 4 tane soket bulunan sürücü bu soketlerle sistemi kontrol eder ve veri akışını bu soketler sayesinde gerçekleştirmiş olur. Servo sürücüsü CN1 soketi ile PLC ye bağlanırken CN2 soketi ile ekodur bilgisini okur. CN3 soketi ile ise bilgisayar haberleşmesini gerçekleştirmiş olur. Motorun sisteme bağlantısı şekil 2.17 de verilmiştir.



Şekil 2.17: Servo motor-Ekran-Bilgisayar-Plc bağlantısı(Delta Otomasyon)[26]



Şekil 2.18: Delta ASD-B2-0721-B Servo Motor Sürücüsü[26]

Dikey ekseninde kullanılan servo motoru kontrol etmek ve hassas konum kontrolü için yine Delta firmasının ASD-B2-0721-B model servo motor sürücüsü tercih edilmiştir. PLC den gelen konum bilgisi sürücüler sayesinde motorlara iletilmiştir. Sürücünün tepkime süreleri ve yüksek akımlardaki dayanımları gayet başarılıdır. Ürün teknik dökümanı incelenerek bu sürücü seçilmiştir.

- Yatay eksen(x eksen) ve dikey eksen(z eksen) de ise Nema23 2.2 Nm bir step motor kullanıldı. Bu eksenlerde motora aşırı bir yük binmediği için step motor tercih edilmiştir. Ayrıca servo motorlar step motorlara oranla maliyet açısından çok pahalı olduğu için step motor tercih edilmiştir.



Şekil 2.19: Nema23 2.2Nm Step Motor[24]

Step motorlar her ne kadar servo motorlara göre hassasiyeti az olsada konum kontrolünde vazgeçilmez makine ekipmanlarıdır. Step motorlar ayrıca adım motorları olarakta isimlendirilmektedir. Bu motorların kendine özel sürücüleri vardır. Bazı motorlar 4 kablolu bazıları ise 8 kabloludur. Sistemde kullanılan step motor 8 kablolu bir motor olduğu için sürücüsünde ona özel seçilmiştir.



Şekil 2.20: Nema23 Step Motor Sürücüsü[24]

Step motor sürücüleri ile step motorların uygulanmak istenen hızda ve yönde çalıştırmak istendiğinde sargılarına uygun bir sırada uyartılar uygulanmalıdır. Step motorun kaç adım atacağı ve hangi pozisyona gideceği uygulanan uyartılara(puls) bağlıdır.

Motorun fazlarına uygulanacak uyartılar (palsler-gerilimler) basit bir biçimde anahtarlama devreleri tarafından gerçekleştirilebilir. Bu işlemi gerçekleştiren devrelere sürücü devresi veya kontrolcü denmektedir. Şu anki teknoloji ile üretilen elektronik devreler ile bu işlem çok kolay bir şekilde uygulanabilmektedir. Step motorlarının ve uygulanacak alanın tarzına göre hazırlanmış mikrokontrolcü tarafından kontrol edilen sürücü kart sistemleri veya PLC ler bulunmaktadır. Bu elektrik devreleri vasıtası ile step motorlar istenen hassasiyette ve istenen hızda çalıştırılabilir. Adım motor sürücü devrelerinin genel maksadı, akımının düzenlenip sınırlanmasını sağlamaktır. Sürücü, girişine PLC ile uygulanmış olan adım(puls) ve yön(dir) sinyalleri sayesinde çıkışında adım motoru için faz sinyalleri üretmektedir. Bu sayede sistemde x ve z ekseninde boyanacak olan ürün geometrisine göre istenen hareketleri gerçekleştirilebilmiştir.

2.2.1.3 Triger kayış kasnaklar mekanizması

Motorlardan elde edilen dönme hareketi kayış kasnak mekanizmaları sayesinde lineer arabalara iletilebilmiştir. Hızlı ve sessiz çalışması, ayrıca titreşim olmaması sayesinde kayış kasnak mekanizmaları robot sisteminde tercih edilmiştir. Kullanılan kayış ve kasnak türü triger çelik telli kayış ve kasnaktır.



Şekil 2.21: Kayış Kasnak Sistemi[27]

Hareket ve güç iletimi yapan mekanizmalardan birisi olan kayış kasnak mekanizması, makine ekipmanlarının, aktarım sistemlerindedir. Genellikle miller arasındaki uzaklıklar fazla tasarlandığı zamanlarda, tetikleyici milinde üretilen hareketi ve gücü, birkaç kayış vasıtası ile döndürülmesi istenen mile ileten makine ekipmanına kasnak, bu kasnak mekanizmalarının birbirini döndürmesini sağlayan malzemelere de kayış denmektedir.

Motor miline takılan ve rulmanlar ile desteklenen triger kasnaklar motor milindeki dönme momentini kayışlar sayesinde istenilen noktaya hızlı ve sessiz bir şekilde iletmesini sağlamıştır.[28]

Kasnak çeşitleri:

- Düz kayış kasnakları
- V kayış kasnakları

- Otomatik ve elle ayarlanabilir kasnaklar
- Kılavuz kasnaklar
- Senkronize kasnaklar
- Poly V kasnakları
- Avara kasnaklar
- Kademeli kasnaklar
- Halat kasnakları
- Gergi kasnakları
- Yuvarlak kasnaklar

Kayış Kasnak Kullanımının Avantajları:

- Üretim esnasındaki maliyetleri, farklı hareket iletim sistemlerine göre daha azdır.
- Hesabı yapılmayan anlık yüklerde, kayış sisteminde oluşacak kaymayla mekanizmalarda meydana gelecek gerilemelere karşı emniyet oluşturulur.
- Miller arasındaki mesafe önemsenmeden bu sistem çok kolay bir şekilde kullanılır.
- Güç kaybı miktarı farklı mekanizmalara göre azdır. Bu değerlere ulaşabilmek için devrine göre kayış seçilmelidir.
- Sistemden ortaya çıkan ses oldukça azdır.
- Yağlamaya ihtiyaç yoktur.
- Çevrim oranları, kademeli kasnaklar ile rahatça değiştirilebilir



Şekil 2.22: Kayış-Kasnak Mekanizmasında Kullanılan Kayış Çeşitleri[28]

Sırası ile şekil 2.22 de verilen kayışlar: Yuvarlak Dişli Kayış, Düz Kayış, V Kayışı, Birleştirilmiş V Kayışı, Baklalı V Kayışları, Triger (Dişli) Kayış, Poly V (Kanallı) Kayış, Çift Profilli V Kayışı.[28]

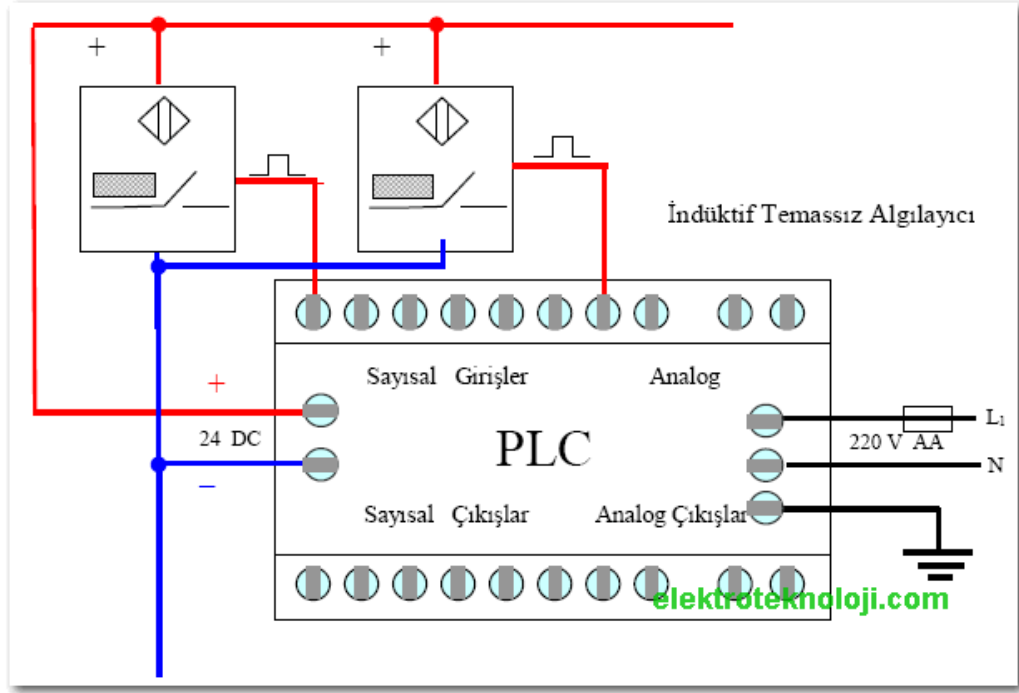
2.2.1.4 Sensörler

Mekanizmanın birçok yerinde sensörler kullanılmıştır. Kullanılan sensörlerin türü endüktif sensörlerdir. Birden fazla işlevde kullanılan sensörler güvenlik, başlangıç konumuna dönmek, tahrik vermek ve hareket limitlerini belirlemek amacıyla birçok işlevde kullanılır. Kullanılan sensörler 2.23 de verilmiştir.



Şekil 2.23: Kullanılan endüktif sensörler.[29]

Ayrıca sensörlerin bağlantı şeklide şekil 2.24 de verilmiştir. Bu bağlantı şekli referans alınarak işlemler yapılmış ve sensör çıkışları PLC ile okunarak gerekli işlemler yapılmıştır.



Şekil 2.24: Sensörlerin PLC ile bağlantı şekli.[30]

Sensörler sayesinde bütün eksenlerde başlangıç konumları belirlenebilmiştir. Ayrıca robot ucu kısmında bulunan tabancanın açısını belirlemek içinde motorun başlangıç konumunu kaçırmaması içinde kullanılmıştır. Sistemde oluşabilecek kazalarında önüne geçebilmek için belirli yerlere sensörler yerleştirilmiştir.

2.2.1.5 Paslanmaz kızak koruyucular

Robot sistemi boya tozu olan bir ortamda çalışmaktadır. Kullanılan kızak ve arabalar her ne kadar hassas olsada tozdan çok kolay etkilenebilmektedir. Boya tozu elektrostatik olduğu için paslanmaz kızaklara çok kolay yapışabilmektedir. Bu durumun önüne geçebilmek için Çin'den paslanmaz kızak koruyucu getirilip sisteme uygulanmıştır. Piyasada bu ürün koruyucu körük olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 2.25: Kızak Koruyucu Körük Mekanizması.[31]

İki farklı kızak modeli için farklı ölçüde ve her eksen hareket açıklığı için 3 ayrı ölçü özel olarak yaptırılıp yurtdışından getirilmiştir. Araba içinde bulunan bilyeler tozsuz ortamda maksimum performans verdiği için böyle bir önlem alınmıştır.

2.2.1.6 Melat aksamlar

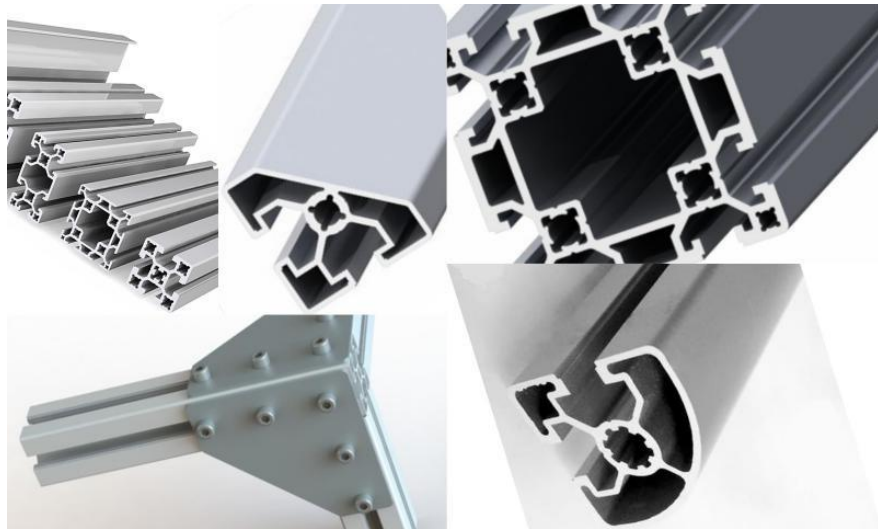
Robot mekanizması üretilirken SolidWorks programı ile tasarlanan metal parçalar alüminyum ve demirden oluşmaktadır. Hafif olması istenilen X ve Z ekseninde, ayrıca robot ucu kısımlarında alüminyum ağırlıklı malzeme kullanılmıştır. Robotun taban kısmı ve Y ekseninde ise demir ağırlıklı malzeme ile çalışılmıştır. Taban kısmında 10 mm demir plakalar kullanılarak robotun çalışma esnasında sallantı ve devrilmesinin önüne geçilmiştir. 3 boyutlu olarak tasarlanan parçalar daha sonrasında AutoCAD programı ile 2 boyuta dönüştürülüp kesim işlemine hazırlanmıştır. Tasarlanan parçaların büyük bir kısmı metal lazer kesim cihazları ile hassas kesim yapılarak imal edilmiştir.



Şekil 2.26: Lazer Kesim İşlemi Uygulanmış Metal Parçalar.

2.2.1.7 Sigma Profiller

Günümüz uygulamalarında yapı ve makine projelerinde en çok kullanılan malzemeler arasında ilk sırada yeri olan alüminyum sigma profil, özellikle çelik yapı ve inşaat projelerinde tercih edilmektedir. Bu uygulamalarda tercih edilmesinde en büyük etken boyutlarının oldukça ufak olmasına bağlı olarak yapı üzerinde bir hafiflik sağlamasıdır. Ancak bunu sağlarken aynı zamanda da güçlü bir mukavemet ve destek gücüne olanak tanınmasıdır. Farklı kanal türlerinde üretimi yapılan bu sistemlerin çeşitlerine bağlı olarak kullanılmalarına olanak sağlanabiliyor. Kolay bir şekilde tasarlanarak istenilen formlarda kusursuz imalatları yapılan bu sistemlerin ayrıca fiyatları da diğer malzemelere göre oldukça ucuzdur.[32]



Şekil 2.27: Sigma Profil Çeşitleri.[32]

Robot sistemindeki eklemler oluşturulurken üretim kolaylığı , esnek montaj olanakları, kaynakta yaşanacak ölçü bozuklukları gibi daha birçok sebepten sigma profil tercih edilmiştir. Sistemde ağırlıklı olarak 40*40 sigma profil kullanılmıştır. Robot ucu kısmında(z eksen) 20*20 sigma profil kullanılmıştır. Metal aksamlarda bağlantı noktaları öncesinde belirlenerek montaj işlemi kolaylaştırılmıştır. Paslanmaz kızaklar bu sigma profiller üzerine monte edilerek eklemler çalışır hale getirilmiştir.

2.2.1.8 Boya tabancası , kontrolcüsü ve haznesi

Daha önceki bölümlerde kullanılan corona model boya tabancasından detaylı olarak bahsedilmiştir. Robot mekanizması için 1 adet PLC ile kontrol edilebilir otomatik boya tabancası ve kontrolcüsü Promaks firmasından satın alınmıştır. Fabrikada stokta bulunan 1 adet boya haznesi ise robot projesine dahil edilmiştir. İlgili parçalar 1:1 ölçeğinde tasarlanarak sistem tasarımına eklenmiştir.



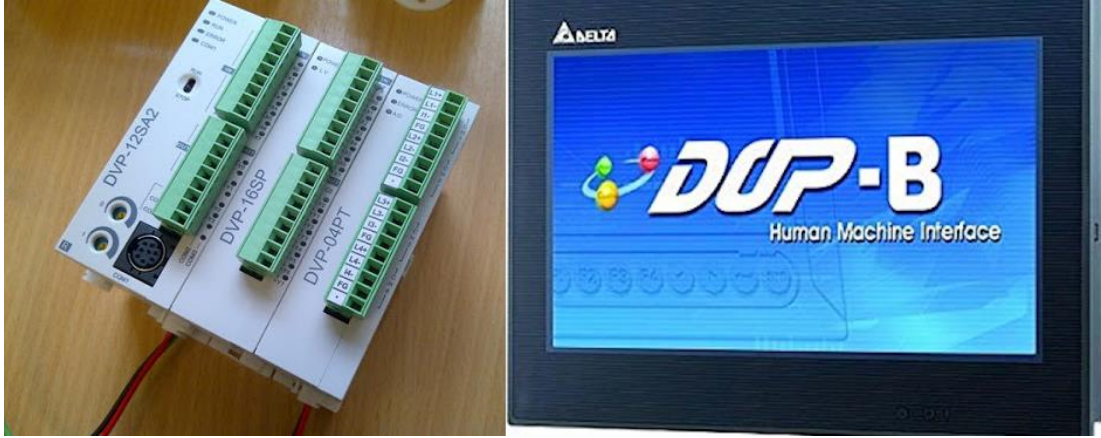
Şekil 2.28: Corona Boya Tabancası Ve Kontrol Ünitesi.[33]

Tedarik edilen bu boya tabancası ve kontrolcüsü sayesinde boya haznesinden hortumlar vasıtası ile alınan basınçlı boya tozlarının hızı, akım yüklemesi, yoğunluğu ayarlanabilmektedir. Bu sayede boyanacak metal gövde üzerine eşit miktarlarda boya atım işlemi gerçekleştirilebilmiştir. Boya kontrolcüsü sayesinde boya hep gövde üzerine atılmaya çalışılıp boya kayıplarının önüne geçilmiş ve boya kaynaklı ortam tozlanmasının önüne geçilmiştir.

2.2.1.9 PLC kontrolcüsü ve operatör paneli

Sistemin kontrolcü tasarımı ve çalışma sistemi aşağıdaki bölümlerde anlatılacaktır. Bu kısımda ise sistemde kullanılan cihazların özellikleri ve ihtiyaçlarından bahsedilecektir. Sistemde bulunan motorları kontrol etmek, sensörlerden gelen verileri okumak ve girilen kullanıcı ayarlarını sisteme tanımlayabilmek için plc ve operatör

paneli kullanılmıştır. Delta firmasının DVP-12SA isimli plc modeli, giriş çıkış portları ve yine Delta firmasının Dop-B07E411 model operatör paneli sistemde kullanılmıştır.

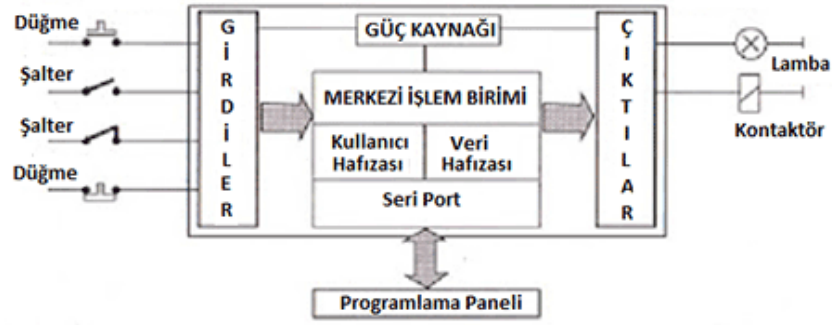


şekil 2.29: DVP 12Sa2 PLC ve Dop-B07E411 Panel.[26]

PLC yani programlanabilir mantıksal denetleyici fabrikalardaki makinelerin kontrolü gibi uygulamaların denetiminde veya üretim bölümlerinde tercih edilen otomasyon cihazlarıdır. Normal bilgisayarlardan farklı olarak PLC de birden fazla giriş ve ıkış (I/O) portu vardır. PLC'lerin en büyük kazanımları ise mekanik darbelere, sıcaklık farklarına ve elektriksel gürültülere karşı sağlam üretilirler. Her marka PLC'lerine kendilerine özel bir kontrol sistemi yükler. Bu kontrolcü sistem, giriş bilgilerini gözle lulemeyecek hızlar ile inceleyerek buna uyacak çıkış değerlerini gerçek zamana çok yakın, cevap oluşturacak tarzda çalışır. Bu sistemler, az vakitte daha fazla miktarda ve kalitesi yüksek ürünler üretme, çok az miktarda hata oranları ile üretim yapma gibi önemli sebeplerin n tarafa çıkmasında çok büyük paya sahiptir. [34]

Günümüzde PLC'ler 4 temel kısımdan meydana gelmektedir.

- ▶ (CPU) Merkezi İşlem Birimi
- ▶ (RAM, ROM, PROM vb.) Bellek Birimi
- ▶ (IN) Giriş Birimi
- ▶ (OUT) ıkış Birimi



Şekil 2.30:Plc İç Yapısı.[34]

► Merkezi İşlem Birimi

Merkezi İşlem Birimi(CPU), PLC'nin çalışmasını derleyen, bütün mantıksal ve aritmetik işlemleri uygulayan, sayma, zamanlama gibi işlemleri üstlenen en önemli birimdir. PLC'ye akıl veren bölüm CPU ile bellektir. İki farklı PLC aynı mikrokontrolcüyu kullanabilirler, ama işletim birimlerinin değişik olması sebebi ile PLC'lerin yetenekleri de değişiklik gösterebilir.

► Bellek Birimi

Bellek birimi; Giriş veri, görüntü, program belleği gibi bölümlerden oluşmaktadır. Her bellek kısımlarının birbirlerinden değişik görevleri bulunur. PLC'lerde genellikle EPROM (Erasable programmable Read only Memory), bellek kısmı olarak kullanılabilir. Bu bellek kısmı isminden de anlaşılacağı gibi, programlanabilir, istenirse silinebilir, tekrar yazılabilir, salt okunabilir hafıza olarak değerlendirilebilir. PLC'lerin kendine özel derleyici programları vardır ve bu derleyiciler PLC'nin kendi hafızasında muhafaza edilir. Hafızasından da merkezi işlem birimine gönderir. Bunlardan farklı olarak bellek elemanları da hesaba katılırsa; EPROM RAM, ROM PROM veya EEPROM olarak adlandırılabilir.

► Giriş Birimi

Bu birim, kontrolü yapılan mekanizma ile ilgili sensörlerden gönderilen analog işaretleri PLC 'nin anlamlandırabileceği lojik tarzda gerilim değerlerine çeviren kısımdır. Kontrolü yapılan mekanizmadaki sensör modellerine göre, sıcaklık, basınç değeri, sıvı seviyesi, kumanda, mesafe gibi elemanlarda üretilen binary veriler (1 veya 0) giriş portu vasıtasıyla algılanır. Giriş kısmı voltaj miktarları 24, 48, 100, 200 ve 240 volt DC veya AC olabilmektedir. PLC'lerin giriş ekipmanları olarak motor

kontaktör, limit anahtarları, düzey anahtarları veya röle kontak kısımları, fotoelektrik gözler, seçim anahtarları v.b. olarak örneklendirilebilir.

► Çıkış Birimi

Bu birim, PLC'lerde hesabı yapılan çıkış noktaları hakkında lojik gerilim voltajını, röle, kontrolü yapılan sistemlerdeki kontaktör, selenoid valfler gibi kumanda ekipmanlarını kontrol etmeye uyacak elektriksel sinyallere çeviren kısımdır. Çıkış birimi triyak, röle veya transistörlü devre elemanlarından oluşabilir. PLC'ler de genelde röle çıkış birimleri tercih edilir. Ama yüksek hızda açma ve kapama gerektiren uygulamalarda transistörlü veya triyaklı çıkış birimleri seçilir. Ayrık I/O arabirim ile kontrol edilebilecek çıkış kısımları için örnek verilirse; kontrol röleleri, motor şalterleri, alarmlar, selenoidler, lambalar, v.b. olarak örnek verilebilir.

► Operatör Paneli

Kontrolü yapılan mekanizmalarının ilk zamanlarından beri makineler ile insanlar arasında olan haberleşmeye ihtiyaç; potansiyetreler, pako şalterler, buton, lambalar, göstergeler gibi sistem elemanlarıyla çözümlenmeye çalışılmıştır. Kontrol sistemi olarak PLC'lerin kullanılmaya başlanmasından itibaren ise PLC kabiliyetlerinin yeterince kullanılmasına olanak sağlamak üzere kullanılan lamba ve buton sayıları makinelerin karışıklığı ile doğru orantılı yükselmiştir.

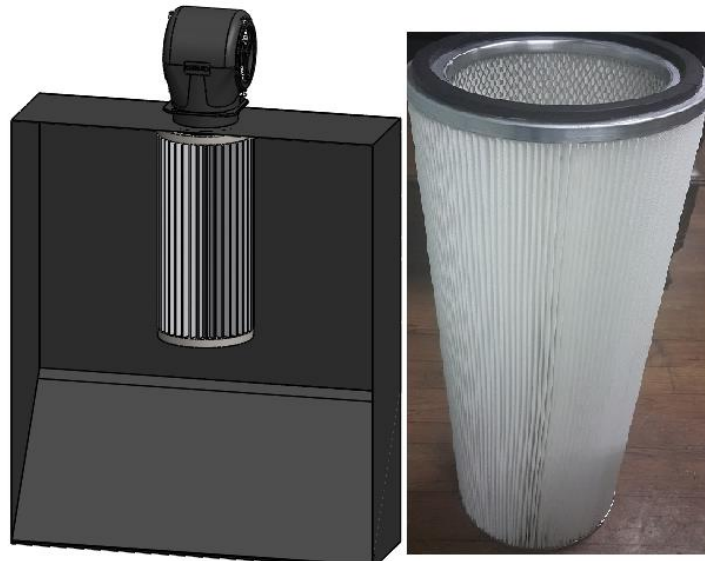
Fakat lamba, butonlar benzeri elemanlar mekanizma ile operatörün iletişim kurmasını sağlayacak sistem elemanları için hiç olmazsa bir delik delme ve kablo bağlantılarının yapılması şartı, hem maliyeti yükseltmiş hem de sistemlerin kullanıcılar tarafından yönetilmesini zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte bu tarz teknoloji uygulanmış sistemlerde herhangi bir değişiklik uygulamak çok kolay değildir. Örnek verilirse, herhangi bir noktaya bir tane lamba eklemek için bile bütün kontrol kısımlarının değiştirilmesine, deliklerin bazılarının yer değiştirmesine ve kablo bağlantılarında yeniden yapılandırılmaya gidilmeye sebebiyet verebilir. Bu uygulamalar çok maliyetli olabilmektedir. Ayrıca PLC sisteminde kullanılan her bir sistem elemanı için bir giriş veya çıkış birimi bulunması gerektiği de akıldan çıkarılmamalıdır. Bu sebeple bu tarz teknoloji uygulayan makine üreticisinin ürün geliştirebilme imkânı sınırlandırılır. Teknoloji ve maliyetten ötürü rekabet olasılığı zorlaşır. Bütün bu verilerin bir ekran ile kullanıcıya verilmesi, kullanıcının istenen bilgileri bu ekran üzerinden üretim hatlarına göndermesi operatör panel kullanılmasının farklı bir avantajı olarak ortaya

çıkılmaktadır. Benzer tarz bilgi ve haberleşme ihtiyaçlarının çoğalması, kontrolü yapılan mekanizma ile daha kapsamlı çalışma ihtiyaçları kullanıcı panellerinden istenenleri arttırmıştır. Bu beklentileri karşılayabilmek için lider operatör panel imalatçıları ürünlerine yeni tarz işlevler eklemeye başlamışlardır. Yeni fonksiyonlar vasıtası ile operatör panelleri sanki bir SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) yazılımıymış gibi çalışabilmektedir. Bu gelişmeler içinde en önemli olanları, bu tarz operatör panel programları tarafından kullanılan protokollerin daha ulaşılabilir olması ve panel üzerinde bulunan seri kapıların serbest bir biçimde kullanılmasıdır. Bu sayede kullanıcı panelinden anlık yapılan ayarlar ve değişiklikler harici bir devre elemanı gerektirmeden çok kolay gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Operatör paneli sayesinde motor hızları, sensör sonuçları, boya miktarları ve yoğunlukları, boyanacak gövde şeklinin seçimi gibi birçok noktaya erişim imkanı kazanılmaktadır.[34]

2.2.1.10 Hava Filtresi ve hava emiş motoru

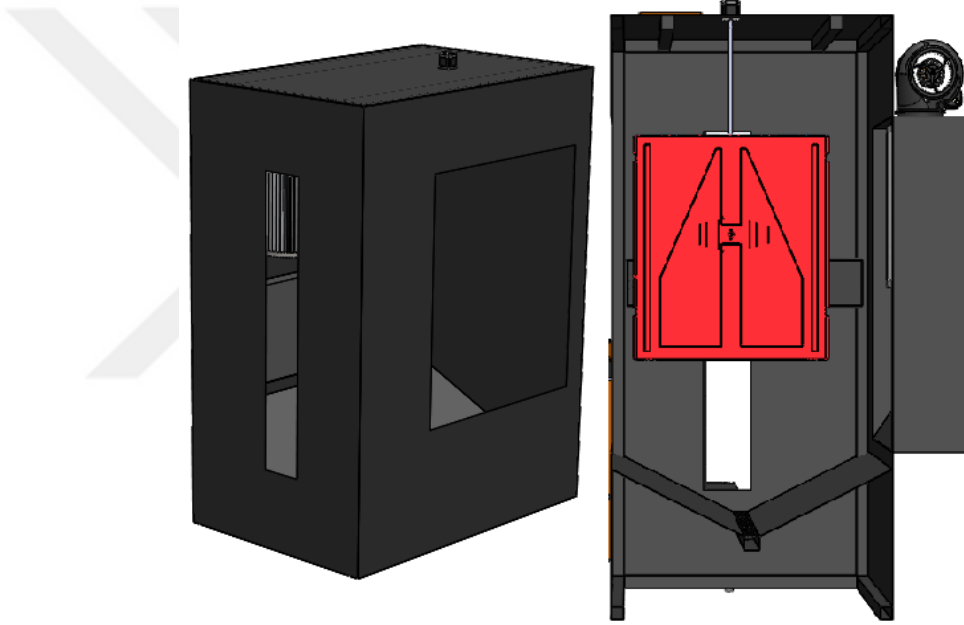
Boya filitrelerinin kullanımı ve faydaları hakkında yukarıdaki bölümlerde detaylı olarak çalışma yapıp açıklanmıştır. Yine promaks firmasından 22cm çapında 55cm yüksekliğinde 1 adet toz boya filtresi temin edilmiştir. Numune boyama kabini olduğu ve 1 adet boya tabancası kullanıldığı için bu sistemde 1 adet boya filtresi yeterli görülmüştür. Üretici firma ile olan toplantılar neticesinde de bu konu doğrulanmıştır. 1 adet te salyangoz emiş motoru sisteme dahil edilmiştir.



Şekil 2.31:Elektrostatik Toz Boya Filtresinin Kabindeki Konumu.[33]

2.2.1.11 Boya kabini

Bu proje kapsamında geçici olarak denemeler ve çalışma yapmak için bir boya kabini yapılması planlanmış ve tasarlanmıştır. Ancak yapımı elzem değildir ve mevcut fabrika bünyesinde bulunan boya kabinlerinde de denemeler yapılabilmektedir. Asıl amaç boya robotunu stabil bir şekilde tamamlamaktır. Tez süresinde denemeler için prototip boya kabinide yapılmıştır. Boya kabinleri ve işlevleri hakkında yukarıdaki bölümlerde detaylı açıklama yapılmaktadır. Tasarlanan boya kabininin üst askı kısmında 1 adet step motor bulunmakta ve boyanacak gövdeyi kendi ekseninde döndürmektedir. Buradaki amaç boya işlemi yapılırken boyanmamış yüzey kalmasının önüne geçmektir.



Şekil 2.32:Elektrostatik Toz Boya Kabin Tasarımı.

Kabin zemininde bulunan açısız parçalar boya düşme zeminine konik bir yapı kazandırmıştır. Bu sayede boyanacak parça gövdesine yapışmayan boyalar yere düştüğünde, geri dönüştürme kanallarına iletmeye çalışılmıştır. Boya kabinine sol tarafından robotun çalışması için bir kanal yapılmıştır. Ön kısmındaki boşluk kısım ise cam ve türevi malzemeler ile ileride kapatılıp kapalı bir ortam oluşturulacaktır.

2.2.1.12 Rulmanlar ve kaplinler

Motorlardaki hareketi en iyi aktarım elemanları olan boşluksuz kaplinler ve yataklı rulmanlar ile robot uzuvlarına iletilmiştir. Sistemin bir çok noktasında kayış kasnak

sistemi ile motor millerini birbirine bağlarken yataklı rulmanlardan destek alınmıştır. Sırası ile kullanılan yataklı rulmanlardan bahsederek:

- 4 adet UCP204 yataklı rulman (Y ekseninde yukarı ve aşağı hareket için)
- 4 adet UFL002 yataklı rulman(X ve Z ekseninde kasnakları yataklamak için)

Bu rulmanlar haricinde de servo motordaki gücü aktarmak için 1 adet boşluksuz alüminyum kaplin kullanılmıştır.



Şekil 2.33:UCP204 Yataklı Rulman - UFL002 Yataklı Rulman - Alüminyum Kaplin.[24]

2.2.1.13 Hareketli kablo kanalı

Robot uzuvları hareket ederken motor ve sensörlere giden kablolar ile boya tabancasına giden hortumların kırılmadan ve zarar görmeden istenen noktalara ulaşmasını sağlamak için hareketli plastik kablo kanalları kullanılmıştır. Taşınacak malzemenin boyutu ölçeğinde eksenlerde kablo kanalları kullanılmıştır.



Şekil 2.34:Farklı Boyutlardaki Kablo Kanalları.[35]

Robot uzuvları hareket ederken bu hareketli kablo taşıyıcılar da hareket ettiği için kablo ve hortumlarda oluşacak herhangi bir deforme giderilmiştir. Üç eksen de birbirinden bağımsız kablo kanalları kullanılmıştır.

3. PROTOTİP ROBOT MEKANİZMASI İMALATI

Robot tasarımı her ne kadar simülasyon ortamında çalıştırılmış olsada , sistemin gerçekte çalıştığını görmek ve deney sonuçları elde edebilmek için 1:1 ölçeğinde bir prototip deney düzeneği oluşturulmuştur. Oluşturulan deney düzeneği ile hem mekanik aksamın sağlamlığı kontrol edilmiş , ihtiyaç duyulan noktalarda iyileştirmeler yapılmıştır. Hem de robot kontrol yazılımları ile operatör kullanıcı arayüzleri geliştirebilmek için uygun sistemler tasarlanmıştır. Prototatip robot mekanizması aşağıdaki başlıklara göre ilerlemiştir.

3.1 Mekanik İmalat

İlk olarak robot mekanizmasını fabrikada yaşanan aksaklıklar ve yukarıda tezin amacı kısımlarında bahsedilen hususlar doğrultusunda el çizimi ile kabataslak tasarlandı. Daha sonra sistemi solidworks ortamında detaylı olarak 3 boyutlu çizildi. Oluşturulan robot mekanizması yapılırken, kullanılan parçalar piyasadan temin edeceği için öncesinde parçalar detaylı olarak incelendi. Ana gövde ve uzuvları oluşturulurken atıl yük oluşturmamak için bazı parçalar alüminyumdan yapılarak olabilecek en az ağırlığa sahip parçalara yönelinmiştir. Ana gövde çok sağlam ve ağır olması gerektiği bildiği için, 10mm demir levhalardan seçilmiştir. Robot sistemi mobil ve tekerlekli dir. Devrilme problemleri yaşanılmaması için denge noktalarını iyi seçerek ağır bir

şaseye oturması planlanılmıştır. Mekanik aksamda yapılan işlemler sırası ile aşağıda anlatılmaktadır.

3.1.1 Ana gövde imalatı

Ana gövde imalatından aşama aşama bahsedilecek olunursa, taban kısmı 10 mm demir levhalardan oluşmaktadır. 2 boyutlu teknik resimleri oluşturulan parçalar 3 boyutlu tasarımdaki yerlerine uygun olarak lazer kesime yollanmıştır. Lazer kesim işlemi hassas ve özenle yapılmış olsada, imalat sonucunda üretilen parçalar tak çalışır şeklinde değildir. İlk olarak lazer kesimden gelen parçalar yüzey temizliğine alınmıştır. Bu işlem için tiner bazlı solventler kullanılarak yüzey yağ ve kirden arındırılmıştır. Daha sonra lazer kesim cihazının oluşturamadığı delikler el matkapları ile delinmiştir. Çünkü metal kesim lazerleri 10mm levhalarda 6mm çapının altındaki delikleri kesememektedir. İlgili delikleri delindikten sonra mobil bir platform tasarlandığı için 4 adet frenli çelik şasele kauçuk teker temin edilmiştir. Metal yüzeylerindeki çapaklar ve keskin noktaları zımpara ve eğeler ile törpülenerek pürüzsüz bir yüzey oluşturuldu.

Bu işlemler yapılırken bir yandanda 3 boyutlu tasarımda ihtiyaç duyulan diğer parçalarında malzeme listeleri ve tedarikçi araştırmaları yapılmıştır. Ölçülerini ve adetleri belirlenen sigma profiller ilgili tedarikçiden temin edildi. Temin edilen sigma profillere 3 boyutlu tasarımda montaj noktalarına göre ilgili kısımlarına 6 mm , 8mm ve 10mm klavuz ile dış çekme operasyonu gerçekleştirildi. Bu işlemden sonra montaj noktalarına göre vida çapları ve vida boyları hesaplanarak ilgili vida ile somunları temin edildi.



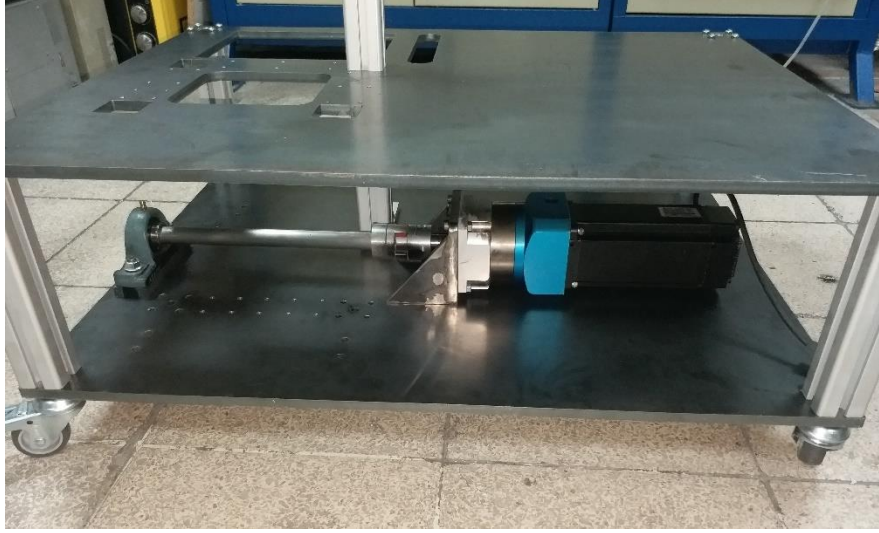
Şekil 3.1:Ana Gövde İmalatı-1

Ana gövde alt tabandaki işlemler tamamlandı sigma profillere 6mm ve 10mm dış çekildikten sonra ara sigma profil direkler ilgili vidalar ile alt taban parçasına vidalandı. Daha sonra ise 10mm montaj vidasına sahip hareketli tekerlerin yerlerine montaj işlemi yapıldı. Motor redüktörünü alt tabana montajlamak için lazer kesime yollanan parçalar fabrikaya ulaştınca 3 boyutlu tasarıma göre ilgili noktaları delindi ve dış çekildi. Daha sonra ise 3 parça argon kaynağı ile kalıcı olarak birleştirilip tek parça haline getirildi. Bu parça motor flanşı olarak isimlendirilmektedir. Temizlik ve tesviye işlemleri biten flanş parçası şekil 3.2 deki yerine montajlandı.



Şekil 3.2:Ana Gövde İmalatı-2

Motor flanşı ve motor miline takılacak olan rulman yerlerine yerleştirildikten sonra çevredeki bütün sigma profillere ilgili noktalarına dış çekilip gövde parçaları ile birleştirildi. Daha sonra Şekil 3.2 de görüldüğü gibi üst parça vidalandı. Sağlamlığı ve devrilme testleri yapıldıktan sonra alt gövde formunun uygun olduğuna karar verilmiştir. Tekerleklerin yük taşıma kapasitesi, kilitleme özelliği ve harekete uygunluğu test edilmiştir.



Şekil 3.3:Ana Gövde İmalatı-3

Daha sonra ise servo motor ile servo motor redüktörü şekil 3.3 te gösterildiği noktaya yerleştirilmiştir. Motor konumuna göre redüktör ucuna yerleştirilecek 20mm çapındaki milin boyu çıkarılmış ve tedarik edilerek yerine yerleştirilmiştir. Motor mili ve motor kaplin vasıtası ile birbirine bağlanıp düzgün çalışması kontrol edilmiştir.



Şekil 3.4:Ana Gövde İmalatı-4

Ana gövde metalleri birleştirilip servo motor montaj işlemi tamamlanınca dikey eksen(Y eksen) yani ana hareket eksenini imalatı için kule inşası yapıldı. 4 adet kolona sahip bu eksen için her biri 172 cm olan 40*40mm içi dolu sigma profil kullanılmıştır. Başlangıç noktalarına 6 ve 10 mm ile klavuz çekilmiştir. İlgili vidalar ile ana gövdeye birleştirilen kolonlar daha sonra ara parçalar ve köşebentler ile çok sağlam bir

geometriye getirilmiştir. İlk olarak montaj işlemi için yıldız baş vida kullanılmış ama bu vidalar gerekli sağlamlığı vermemiştir. Daha sonra ise alyan baş çelik vidalar ile istenen mukavemet sağlanmıştır. Her noktadan gövde metalleri ile birleştirilen dikey kolonlar, birbiri ile de birleştirilince sağlam ve hatasız bir yapı oluşturulmuştur. Ana gövdedeki işlemler bu aşama ile tamamlanıp uzuv imalatına geçilmiştir. Uzuv kısımlarında yapılacak işlemler aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır.

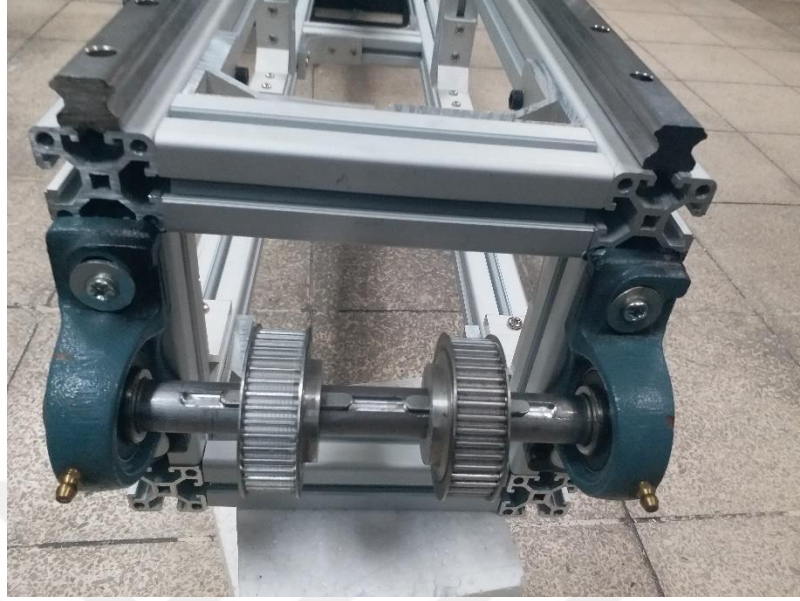
3.1.2 Robot eksen uzuvlarının imalatı

Robot mekanizmasının hareketli kısımları üretilmek için herbir uzuvun tek tek imal edilmesi gerekmektedir. Uzuvların olabildiğince hafif ve sağlam olması gerektiği bilindiği için, alüminyum ağırlıklı bir üretim tercih edilmiştir. Yukarıda yapılan hesaplar doğrultusunda istenen tork değerinde ama hafif motorlar tedarik edilmiştir. Hafif olduğu için kayış kasnak mekanizmaları ve alüminyum tahrik elemanları kullanılmıştır. Tek tek eksenlerin imalatını inceleyecek olursak:

→ Y Ekseni:

Bu eksen robot mekanizmasında yukarı ve aşağı hareketin yapılmasına olanak sağlayan ana eksendir. En çok ağırlık bu eksende bulunmaktadır. Hesaplamalarda da görüldüğü üzere en güçlü ve hassas motor bu eksende kullanılmıştır. Ani elektrik kesilmelerinde dikey eksendeki yük motor torkunu yenip aşağı çakılacağı için motor

freni bu eksen için olmazsa olmazdır. Kullanılan motor frenli servo motor olduğu için bütün bu ihtiyaçları karşılamaktadır.



Şekil 3.5:Y Eksen İmalatı – 1

Dikey eksenin imalatı için daha önce alt gövde sacına yataklı bir rulman vidalanmıştır. Alt gövdede bulunan rulman ve motor ucundaki kaplin arasına bir mil bağlanmıştır. Bu eksen için tavan noktasına iki adet rulman daha montajlanmıştır. Bu rulmanlar arasına ölçü alınarak 20 mm mil montajlanmıştır. Bu mil ve alt gövdedeki millere freze ile kama yuvası açılmıştır. Bu kama yuvası ile hareketli kasnak parçaları mil ile birleştirilerek sabitlenmek istenmektedir. Sıkı geçme yöntemi ile kamalar ve mil birleştirilmiştir. Daha sonrasında ise 64mm çapındaki 4 adet kasnak bu eksene hareket vermek için tedarik edilmiştir. Bu kasnaklarda freze ile kama yuvası açılmıştır. Ayrıca her kasnağa kaymayı ve hareketi önlemek için 2 şer adet setskur vida yuvası açılarak montajlanmıştır. Kasnaklar ve rulmanlar 3 boyutlu çizimdeki yerlerine milimetrik olarak yerleştirilmiştir.



Şekil 3.6:Y Ekseni İmalatı – 2

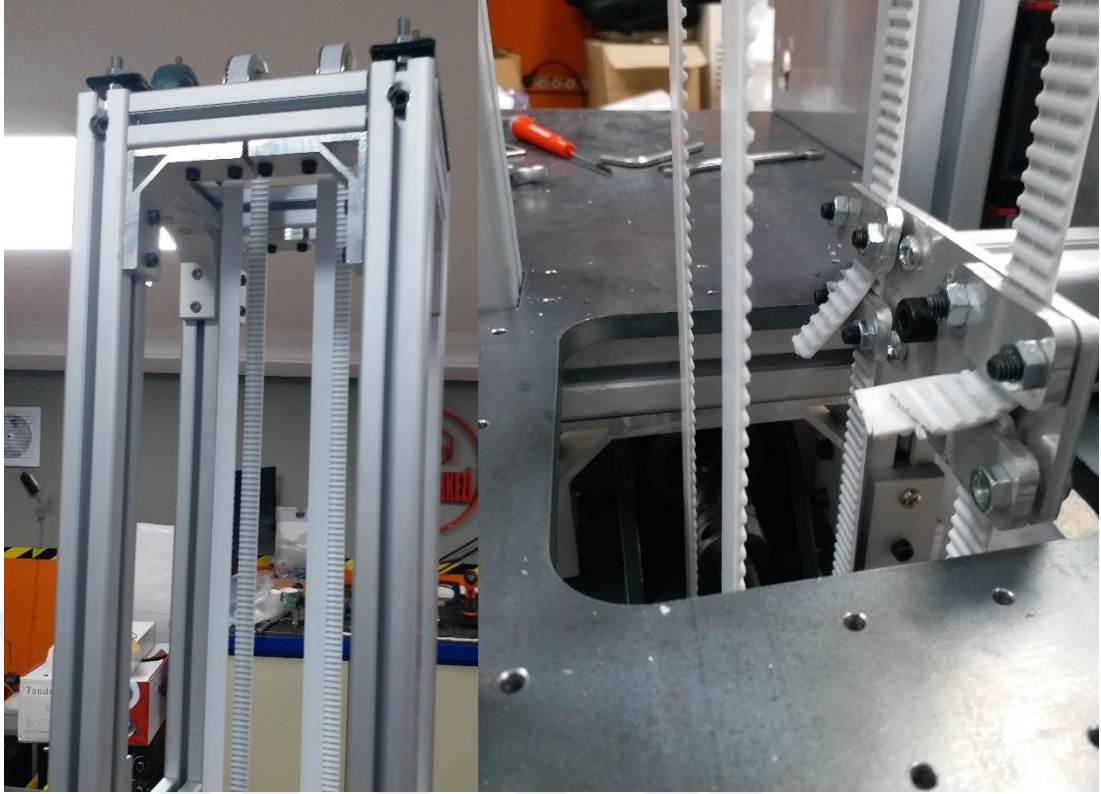
Daha sonra ise paslanmaz kızak ve arabalar dikey eksendeki yerlerine montajlandı. Montajlama işleminde siğma profil kanallarına girebilen T somunlar kullanılmıştır. Raylar yerine yerleştirildikten sonra WD40 ile temizlenen kızaklara arabalar

yerleştirildi. Sıvı gres ile yağlanan arabalar yukarı ve aşağı çalıştırılarak sürtünmesiz bir yüzey elde edilmiştir.



Şekil 3.7:Y Ekseni İmalatı – 3

Kızak ve arabaların dikey eksene montajı sonrası x ekseni ile y eksenini birbirine bağlayan ara parça dikey eksen arabalarına montajlandı. Alüminyum gövdesi olan parçaya 40*40mm sigma profil montajlandı. Daha sonra ise yukarı ve aşağı hareket için triger kasyış bağlama aparatı takıldı. Mekanizma yukarı ve aşağı hareket ettirilerek paslanmaz kızakların merkezlenmesi sağlandı. Bu sayede oluşacak kasmaların ve sürtünmelerin önüne geçilmiştir.



Şekil 3.8:Y Ekseni İmalatı – 4

Mekanik parçalar yerine montajlandıktan sonra kayış ölçüsü çıkarılıp tedarik edilmiştir. Triger kayış kasnaklardan geçirilerek açık uçları dikey eksenin arkasında bulunan bağlantı aparatı ile birleştirilmiştir. Kulenin tepesine yapılan triger kayış gergi aparatı ile triger kayışın boşluğu alınmıştır. Bu işlem ile y eksenindeki işlemler tamamlanmıştır.

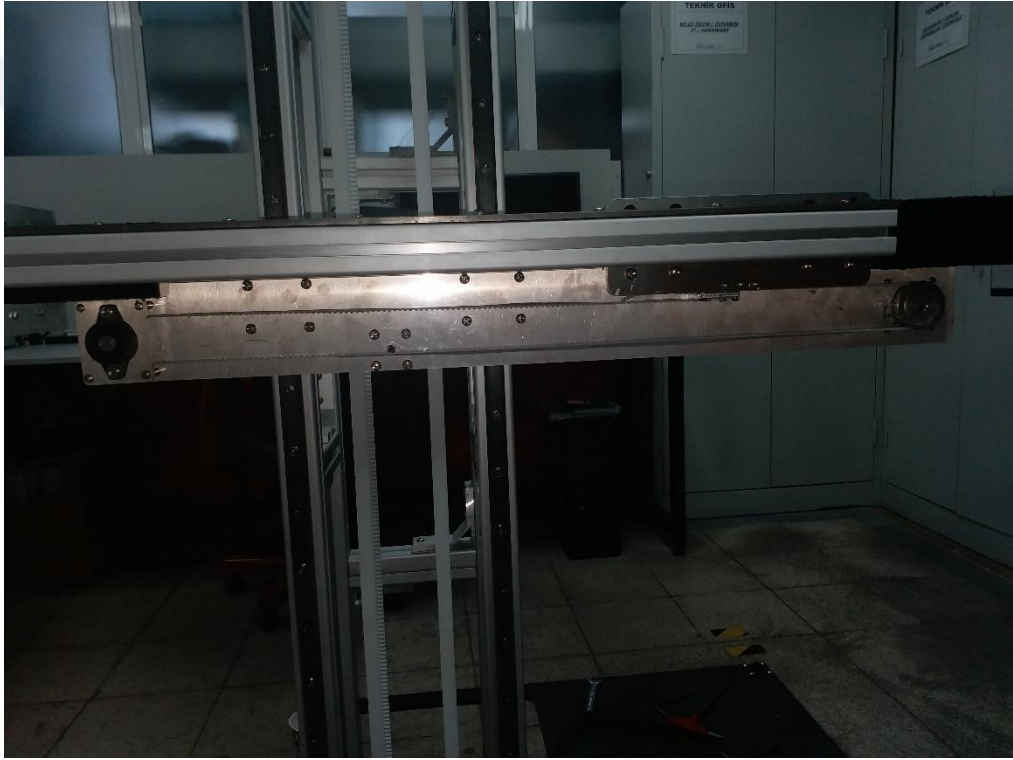
→ X Ekseni:

Bu eksen hareketi ile ürün gövdesine olan mesafede yaklaşma ve uzaklaşma hareketi yapılabilmektedir. Step motor ile tahrik verilen bu eksen sayesinde boya tabancası ile ürün gövdesi arasındaki mesafe sürekli kontrol edilebilmektedir. Yukarıda yapılan hesaplamalar neticesinde istenen tork değerine sahip Nema 23 tipi 2.2Nm değerinde bir step motor tedarik edilmiştir. Şimdi bu eksen için yapılan işlemler incelenecek olunursa:



Şekil 3.9:X Ekseni İmalatı – 1

İlk olarak x ekseninin hareketini üzerinde sağlayacağı paslanmaz kızıağı, y eksenini ile bağlantı noktası olan sigma profil üzerine montajlandı. 95cm boyundaki paslanmaz kızıağı yine aynı uzunluktaki sigma profile T somunlar ile montajlandı.



Şekil 3.10:X Ekseni İmalatı – 2

Daha sonra ise bu eksen için seçilmiş olan step motor alüminyum gövdede belirlenen noktaya M4 vidalar ile montajlandı. Şekil 3.10 da görülen sol köşeye ise ise 48mm çapındaki triger kasnağı 2 adet ufl 002 kodlu rulmanlar ile merkezlendi. Sistemde ileri ve geri hareketin verildiği sigma profil ile ana gövde birbirine 10mm alüminyum parça ile bağlandı. Bu işlemden sonra triger kayış, sabit kasnaktan ve motor miline bağlı olan kasnaktan geçirilerek gerdirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlem ile X eksenindeki

işlemler tamamlanmıştır. Kablolama ve sensör aşamaları aşağıdaki bölümlerde anlatılacaktır.

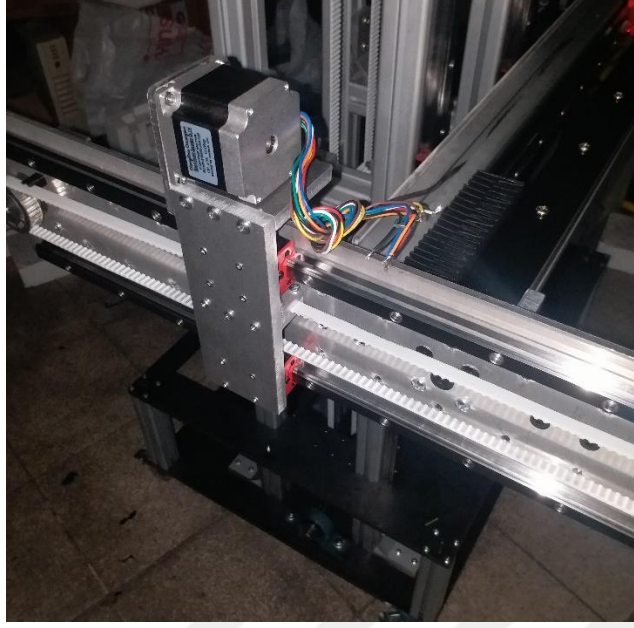
→ Z Ekseni:

Bu eksen hareketi sayesinde ürün genişliğine göre boya tabancası(robot ucu) sağa ve sola hareket edebilmektedir. Ayrıca boya yapılırken robot ucunun çalışmasında en çok bu eksen kullanılmaktadır. Yukarıda yapılan hesaplamalar neticesinde belirlenen tork değerine göre Nema 24 tipi 3.1 Nm değerinde en hafif motorlardan biri temin edilmiştir. Bu eksen istenirse ileride yaş boya veya toz boya işlemi için kullanılabilir. Sağa ve sola hareket şeklinde boya atmak istenirse bu eksen büyük işlev görecektir. Robot ucunun bağlı olduğu motor da bu eksen üzerinde hareket etmektedir. Yapılan işlemlere bakılacak olunursa:



Şekil 3.11:Z Ekseni İmalatı – 1

Bu eksen X ekseni ile bağlantılı olduğu için ilk olarak ara sigma profil z ve x eksenleri arasında bağlandı. Z ekseni alüminyum gövdesine 3 boyutlu tasarımda belirlenmiş olan noktalara delik delindi ve klavuz ile dış çekildi.



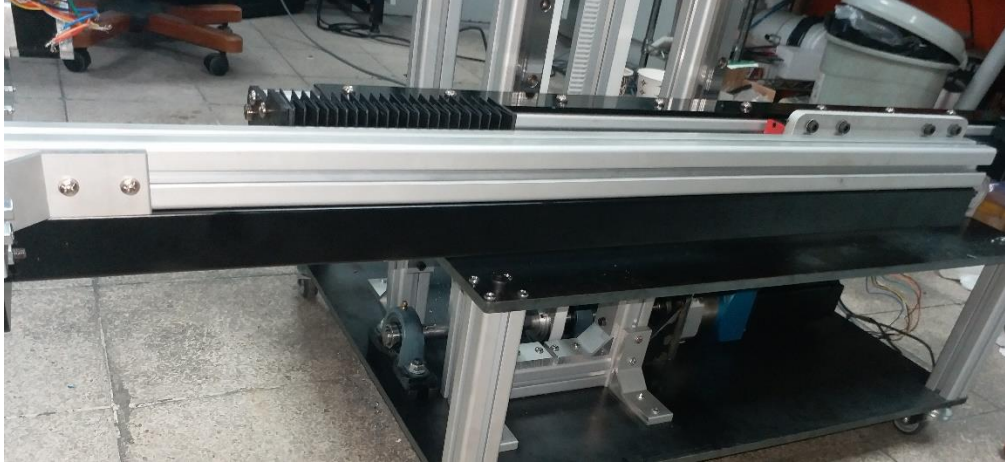
Şekil 3.12:Z Ekseni İmalatı – 2

Daha sonra z ekseninin hareketi için kullanılmak üzere 2 şer adet 72cm uzunluğunda SHN 15 kızak ve araba tedarik edildi. Kızaklar 3 boyutlu tasarım referans alınarak alüminyum gövdeye montajlandı. Kızakların montajı tamamlandıncaya arabalar kızaklar üzerine takıldı. WD40 ile kızaklar temizlendi. Daha sonra sıvı gres ile arabalar iyice yağlanıp sürtünmesiz bir ortam elde edildi. Motor ve kasnaklar X ekseninde yapıldığı gibi bu eksenede aynı şekilde montajlandı. Daha sonra boya tabancasının takılacağı platform arabalara montajlandı ve kızaklar merkezlendi. Kasnaklardan geçirilen triger kayışı gergin bir şekilde bu platformun arkasında birleştirildi. Boya tabancasının montajlanacağı motor da yerine yerleştirilince bu eksen için işlemler tamamlanmıştır.

3.1.3 Montaj işlemi

Bütün parçalar yukarıda yapılan işlemler doğrultusunda birbirine bağlanmıştır. İlk denemeler elektrik panosu yapılmadan dışarıdan tahrik ile yapılmıştır. Bu neticeler

doğrultusunda iyileştirmeler yapılmıştır. Z ekseninde bir sallantı tesbit edilmiş ve Şekil 3.12 deki gibi metal bir parça ile X eksen bağlantısı güçlendirilmiştir.



Şekil 3.13:Z Ekseni İyileştirme

Eksenlerin tamamı sisteme dahil edilince robot mekanizmasında gerekli olan kablolama, sensör yerleşimi ve hareket yöntemleri konusunda ön çalışma yapılmıştır. Tek tek imal edilen uzuvlar kontrol edilmiş, sallantı ve sağlamlıklarına bakılmıştır. Robot mekanizması tozlu bir ortamda çalışacağı için hassas kızaklar ve arabalar tozdan korunması gerekmektedir. Bu sebeple kızakları korumak için körük denen mekanizmalar sisteme monte edilmiştir. Y ekseninde tesbit edilen sigma profil burkulma eğilimini gidermek için üst kısmına 5 mm kalınlıkta 40mm genişlikte demir

lama parçası montajlanmıştır. Bunun haricinde servo motor miline aşırı yük bindiği tesbit edilip ikinci bir yataklı rulman kullanılmıştır.



Şekil 3.14:Sistem Montajı

Bütün uzuv parçaları yerlerine yerleştirildikten sonra tesisat ve boya hortumlarının geçtiği hareketli kablo kanallarının boyları hesaplanıp tedarik edilmiştir. Üç eksen içinde parçalar ayrı ayrı yerleştirilip ilk çalışma testleri kontrol edilmiştir. Gerekli görülen yerlerden hareketli kablo kanalları sağlamlaştırılmıştır. Daha sonra ise boya

tabancası ve kontrol sistemi montajlanarak sistemin montajı tamamlanıp kontrol sistemi donanımına geçilmiştir.

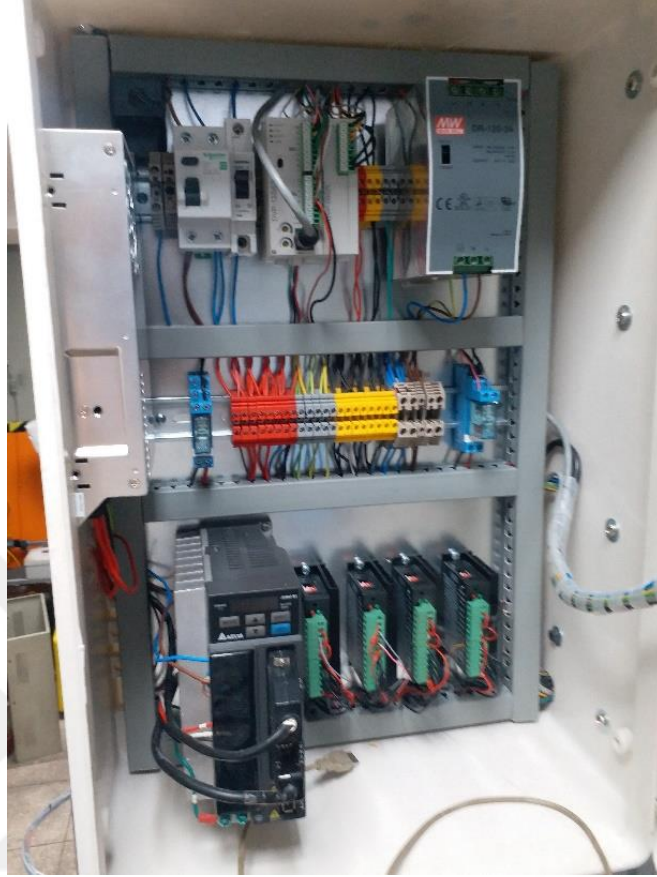
3.2 Kontrol Sistemi Donanımı

Mekanik parçalar ve uzuvlar 3 boyutlu tasarımdaki yerlerine montajlandıktan sonra elektrik panosu , kontrolcüler ve sensörlerin yerleştirilme aşamasına geçilmiştir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda ihtiyaç duyulan malzemelerin listesi yapılmış ve gerekli olan malzemeler tedarik edilmiştir. İlk olarak elektrik panosu gerekli olan ölçülerde alınıp 3 boyutlu tasarımdaki yerine montajlanmıştır. Elektrik panosunun kapak kısmındaki bölgeye freze ile dokunmatik ekran ve kontrol butonları için yuvalar açılmıştır.



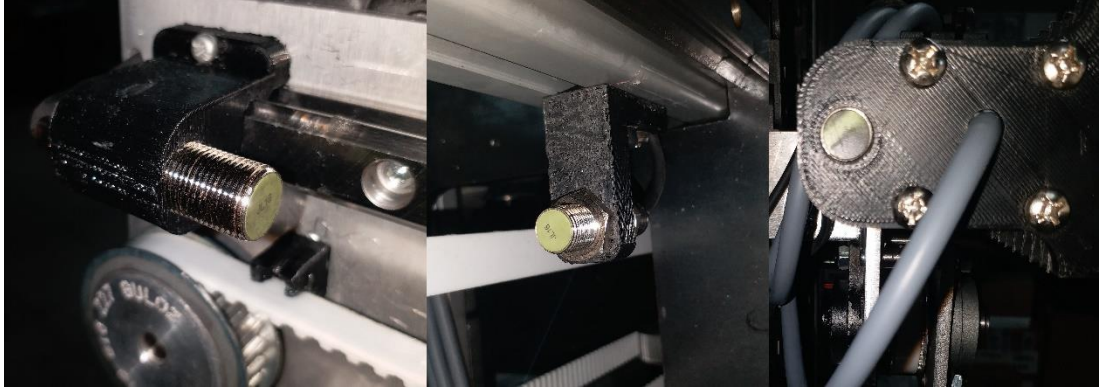
Şekil 3.15:Elektrik Pano Montajı – 1

Daha sonra elektrik panosunun içinde bulunan montaj sacı çıkartılıp kablo kanalı ve ray ölçüleri hesaplanarak montajlama işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.16:Elektrik Pano Montajı – 2

Ray montajları yapıldıktan sonra kaçak akım sigortası, 10A sigorta, Delta PLC , güç kaynağı, ray montaj klemensler, motor freni için 24V röle ve sırası ile servo motor , step motor sürücüleri montajlanmıştır. Bu işlemler pano dışında yapılmış, tamamlanınca elektirik panosu içine alınıp motorlardan ve sensörlerden gelen kablolar montajlanmıştır. Robotun çalışmaya başladığında başlangıç noktasını bulabilmesi için 5 adet metal sensörü kullanılmıştır.



Şekil 3.17:Sensör Yerleşimleri

Makine her başladığında hassas bir şekilde konumunu sıfırlamak için sensörler ilgili noktalara yerleştirilmiştir. Sensörlerin montajlama işlemi için 3D protatip cihazı ile sensör ayakları tasarlanıp ilgili noktalara montajlanmıştır.Daha sonra ise boya tabancası ve boya tabancasının kontrol ünitesi yerlerine yerleştirilip kablo bağlantıları yapılmıştır. Yapılan bu son işlemle prototip deney düzeneği tamamlanmıştır. İlgili görsel Şekil 3.18 de aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 3.18:Boya Tabancası ve Kontrolcüsünün Montajı

3.3 Boya Kabini Tasarımı

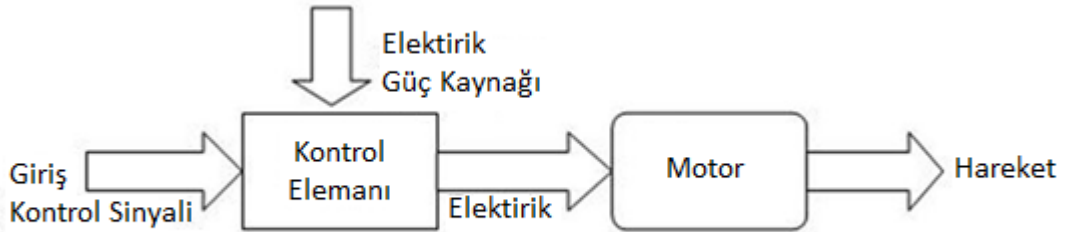
Boya yapılacak ürünlerin asılması ve gerçek boya kabini ölçüleri baz alınarak delikli profillerden bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu prototip boya kabini ile boya robotunun çalışma prensipleri çıkarılmıştır. Boyanacak ürünlerin 360 derece dönme hareketi yapabilmesi için boya kabini üst kısmına Nema 24 1.4 Nm step motor ve 1 adet metal sensörü montajlanmıştır. Askı motoru ağır ürün gövdelerinde(Fırın gövdesi) dönme hareketi yaparken zorlandığı tesbit edilmiş ve 1/40 planet redüktör ile güçlendirilmiştir. Ürünleri boyamadan önce sensör sayesinde boya askısının sıfır noktası bulunur ve daha sonrasında ise robot mekanizmasının istekleri doğrultusunda ürünlerin konumu belirlenir. Elektrik panosunda bulunan step motor sürücüsü ile boya askısının bağlı olduğu motor hassas olarak kontrol edilmektedir. Yapılan işlemler yazılımı geliştirmek ve boya kabini test edebilmek için yeterli olduğu için boya kabini asıl şekli seri üretim boya kabini üretilirken yapılacaktır. Deney düzeneğinde kullandığımız boya kabini mekanizması Şekil 3.19 da verilmiştir.



Şekil 3.19:Boya Kabini Prototipi İle Sistem Birleşimi

4. KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

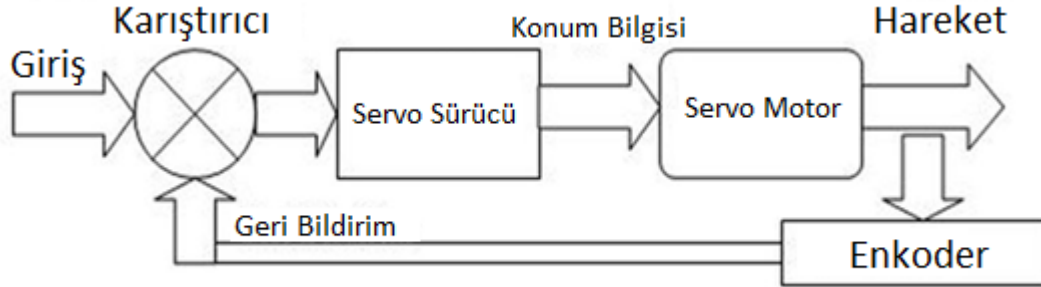
Bir robot mekanizması; robot, kontrol bölümleri, bilgisayar sistemleri, öğretici paneli veya joystickten oluşmaktadır. Herhangi bir robotun pozisyon konumlama için ihtiyaç duyduğu komutlar değişik programlama derleyicileri ile bilgisayarda yazılarak robotun kontrol birimine yüklenmektedir. Robot sistemleri, istenilen biçimde bir araya getirilerek oluşturulan elektronik ve mekanik sistemlerin amaçlanan doğrultuda kontrolü ile çalışmaktadır. Herhangi bir robot sistemi uygulamasında, talep edilen hareketlerin sorunsuz bir tarzda yapılabilmesi için, kontrol birimlerinin ve programlama sistemlerinin doğru belirlenmeleri zorunluluktur. Kontrol sistemi, robot eyleyicileri ile ilgili olan taşıma eylemlerini istenen hata oranları içerisinde, robotun içerisinde bulunan dahili sensörlerle kontrol ederek robot mekanizmasının çevre ile ilgisi varsa, harici sensörler sisteme dahil edilerek kontrol sağlanmaktadır. Robotlarda kullanılan kontrol mekanizmaları açık çevrim ve kapalı çevrim kontrol sistemi olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Açık çevrim kontrol sistemlerinde, çıktı hareketini algılayacak kontrol kısmı bulunmamaktadır. Genellikle endüstride yapılan uygulamaların çoğu, insanlar tarafından açık çevrim kontrolle yapılmaktadır. Operatör vasıtası ile kumanda kolunu kontrol edilerek istenen hareketler yapılmaktadır. Manuel kontrollü sistemler, açık çevrim kontrol sistemleridir.[36]



Şekil 4.1:Açık Çevrim Kontrol Sistemi[36]

Şekil 4.1'deki Açık çevrim kontrol sistemlerinde, geri besleme sistemi bulunmadığından sürücülerde ve mafsallarda oluşan hareket miktarı tam olarak sağlanıp sağlanamadığı sisteme bildirilmemektedir. Açık çevrim kontrollü sistemlerin kurulum maliyeti, kapalı çevrim kontrol sistemlerinininkinden maliyet olarak çok daha düşüktür. Açık çevrim kontrol sistemleri kullanım alanları olarak çok sınırlıdır.

Şekil 4.2.'deki kapalı çevrim kontrol sistemleri, açık çevrim kontrol sistemlerine ek olarak bir geri besleme sistemi ilave edilip, sensörler ile sürücülerin yaptığı hareketler algılanıp, sistemin kontrollü bir şekilde kumanda edilmesi esasına göre çalışmaktadır.



Şekil 4.2:Kapalı Çevrim Kontrol Sistemi[36]

Robot kontrol sistemlerinde kullanılan kontrol kartları, sensörlerden aldığı verileri işledikten sonra çıkış birimlerine komut verilerek kontrol sağlanmaktadır. Bu kontrol kartları bir bilgisayar işletim sistemi gibi çalışmaktadır. Bu kontrol kartları; Mikrokontrolcü kartları (PIC, Arduino, ESP8266, mBed v.b.), tek kart bilgisayarlar (Raspberry Pi, Orange Pi, BeagleBoard v.b.), PID kontrol kartlarıdır. Ayrıca robot kontrol ünitesi içerisinde hareket kontrollü PLC cihazları da kullanılmaktadır.[36]

Tez kapsamında tasarlanan robot sistemide PLC ve ek modülleri ile kontrol edilmektedir. Dikey eksen, yani Y eksenini kapalı çevrim kontrol sistemi şeklinde çalışmaktadır. Kullanılan servo motor ile anlık konumu dahili enkodörleri ile sürekli kontrol edilmektedir. Diğer eksenler ve motorlar ise açık çevrim kontrol sistemi şeklinde çalışmaktadır. Sadece başlangıç noktaları sensörler ile geri bildirilmektedir. Kullanılan step motorlarda encoder bulunmamakta ve geri bildirim alınmamaktadır. Bu eksenlerde konumlamaya ihtiyaç çok hassas olmaması ve servo motorların yüksek maliyetlerinden böyle bir tercihte bulunulmuştur.

4.1 Yörünge Planlaması

Bir robot uç işlevcisine başlangıç konumu ve yönelim değeri ayrıca hedef konumu ve yönelimi değeri verildiğinde , robot uç noktasının başlangıç noktasından hedefe noktasına doğru sarsıntı olmayacak bir şekilde istenilen yörüngede kalacak şekilde hareketini gerçekleştirilmesi beklenir. Talep edilen robot uç noktasının hareketi eklem

hareketi kontrol edilerek gerçekleştirildiği için istenilen sarsıntısız uç işlevci hareketine uyan uygun eklem hareketlerini hesaplamak gerekir. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için Uç işlevcisinin ve eklemlerde oluşması istenen hızların hesaplanması gerekmektedir.[37]

4.1.1 Hareket türleri

Yörünge planlama hesaplaması, belirli bir noktadan başka bir noktaya (point-to-point) hareket veya sürekli yol hareketi olacak şekilde iki kısımda incelenebilir.

Noktadan bir diğer noktaya hareket; (PTP)

“Bu hareket türünde, yörünge'nin son durumu tanımlanmıştır fakat hareketin türü ve zaman koordinasyonu yapılmamıştır. Hareket üzerindeki kısıtlamalar, engellerin atlanması ve hareketin tatmin edici bir şekilde uygulanmasıdır. Hedeflenen uygulama, yolun yüksek doğrulukta takip edilmesi ve hareket süresinin kısa olmasıdır” [38]

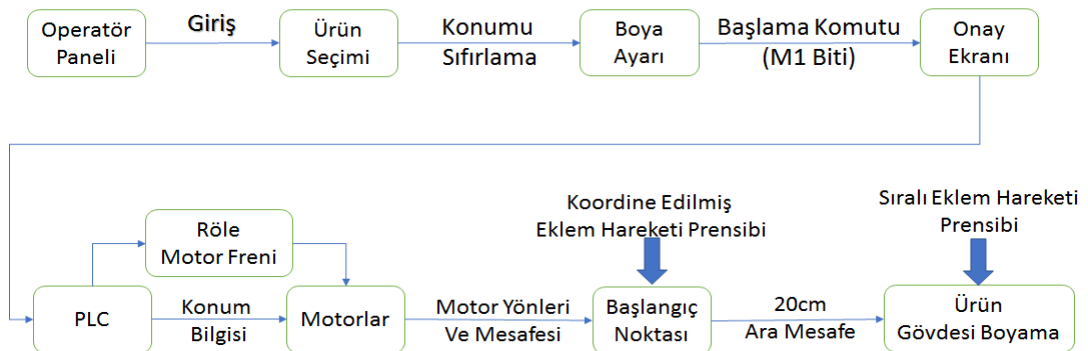
“Bu hareket türünde her eklem ayrı ayrı kontrol edilir. Yani bütün eklemler bir pozisyondan diğerine birbirinden bağımsız olarak hareket eder. Noktadan noktaya hareketi kontrol etmek için üç yol vardır” [38].

Bu yollar; sıralı biçimde yapılan eklem hareketi, koordine edilmeden yapılan eklem hareketi ve koordine edilerek yapılan eklem hareketidir. Sıralı biçimde yapılan eklem hareketi; kullanılan diğer tüm eklemlerin sabitlenerek yalnızca bir uzvun hareket etme işlevidir. Bu eklem hareketinde, endüstriyel tarzdaki robotun kontrol edilmesi işleminde hızlı bir şekilde basitleştirme sağlayabilmektedir. Fakat bu yapılan işlem hareket süresini artırmaktadır. Koordine edilmeden yapılan eklem hareketinde, eklemlerin kendi aralarında hareket koordinasyon biçimi bulunmadığından dolayı robotun uç işlevcisinin, geçiş noktaları arasındaki yolunun ve hızının tespit edilmesi oldukça zordur. Koordine edilerek yapılan eklem hareketi, belirli bir noktadan başka bir noktaya yapılan yer değiştirmenin hareketin en doğru yoludur. Bu harekette, eklemlerin tamamı hedef noktasına aynı zamanda ulaşacak biçimde koordinasyonu yapılmaktadır. Sürekli yapılan yol hareketlerinde, eklem değişkenlerinin tamamı, bütün uzuvların hareketleri eş güdümlü olacak şekilde interpolate edilir. Sonuç itibari ile koordine edilerek yapılan eklem hareketi gerçekleştirilmiş olur. Toz boya işlemleri ve kaynak operasyonlarında sürekli yol hareketi tercih edilir. Sürekli yapılan yol hareketinde, kontrolü yapılan bir yol üstünde, genelde sürekli sabit hızda ve doğrusal

bir hareket yapılır. Bir takım işlemlerde bir noktadan başka bir noktaya yapılan hareket sürekli yapılan yol hareketiyle birleştirilebilir. Bu gibi zamanlarda noktadan noktaya işlem yapan kontrolcü, robot uç noktasını sürekli yapılan yol hareketinin başlangıç konumuna ulaştırır. Sonrasında sürekli yol kontrolcüsü robot uç noktasını doğru bir yol üstünde hareket ettirir. Bu tarz uygulamalar karmaşık işlemlerin yapılmasında tercih edilir.

Robot mekanizmasında, boya yapılacak başlangıç noktasına koordine edilerek yapılan eklem hareketi, noktadan noktaya hareket şeklinde ulaşılmaktadır. Daha sonrasında robot uç işlevcisi boya yapmaya başladığında ise sıralı eklem hareketi yapacak şekilde çalışmaktadır. Kullanıcı operatör boya yapacağı gövde şeklini seçtikten sonra robot ucu başlangıç noktasına koordine edilmiş eklem hareketi prensibi doğrultusunda otomatik gider. Boyamaya başla komutu gelince sistem sıralı eklem hareketi prensibi doğrultusunda boya yapmaya başlamaktadır. Toz boyama işlemi yatay veya dikey ekseninde yapılabilmektedir. Bu sayede ister Z istersek Y eksenini boyama işleminde kullanılabilir.

Boyanacak parçaların geometrileri tek tek analiz edilerek dokunmatik ekranda bir yazılım alt tabanı oluşturulmuştur. Boyama aşısında asılan her bir parçaya boya yapılmadan önce başlangıç noktaları belirlenerek en hızlı yaklaşma yöntemi tespit edilerek yazılımın içine gömülmüştür. Başlangıç noktaları sistemde kayıtlı olan parçalara noktadan noktaya hareket prensibi ile hızlıca yaklaşılmıştır. Daha sonra ise parça geometrisine göre boya tabancasının açısı belirlendi ve Z eksenini boyunca boya atım işlemi gerçekleştirilmiştir. Boya yapılmak istenen parça geometrisine göre boyama aşısının da konumu belirlenmiştir. Ürün gövdesi istenilen açıda durdurulduktan sonra, z eksenini boyunca sıralı eklem hareketi şeklinde işlem tamamlanmaktadır.

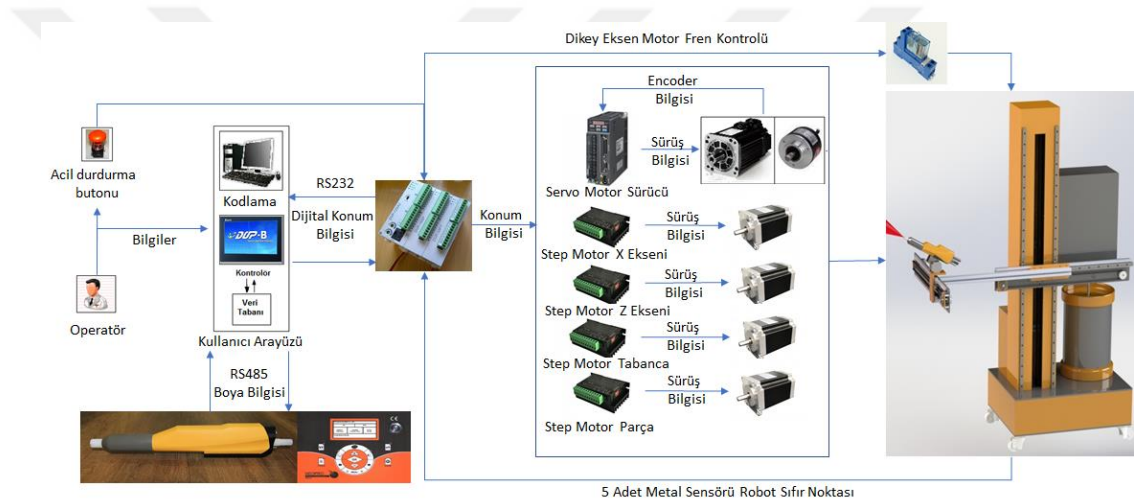


Şekil 4.3:Sistem Hareket Yörünge Şeması

4.2 Robot Kontrol Sistemi

Bu bölümde sistemde kullanılan bütün algılayıcılar ve kontrolcüler bir sistem gibi ele alınarak incelenmiştir. Sensörlerden gelen veriler neticesinde kontrolcüler karar verebilmektedir. Bunun sonucunda ise kontrolcüler operatörlerin girdiği veriler ışığında motorları ve diğer hareket mekanizmalarını kontrol etmektedir.

Toplamda sistemimizde farklı güçlerde 5 adet motor bulunmaktadır. 1 adet servo 4 adet step motor ile kontrol sağlanmaktadır. Ana kontrolcümüz Delta 14SA2 PLC ve DVP08SN 8 adet girişi olan ek modüldür.



Şekil 4.4:Sistem Durum Akış Şeması

Delta firmasına ait yazılımlar ile robot sisteminin kontrolcüsü oluşturulmuştur. Bütün eskenlerde kullanılan motorlar konum kontrolü ile sürülmüştür. Bu işlem için Delta PLC de bulunan hızlı puls çıkışları kullanılmıştır. Metal sensörleri ile robot mekanizmasının başlangıçta veya istenilen her zaman manüel olarak sıfır noktaları belirlenmiştir. Boya yapacak operatör ürün gövde şeklini kullanıcı arayüzünden seçmektedir. Boya yapacak operatör ürün gövde şeklini kullanıcı arayüzünden seçmektedir. Bu seçimden sonra arka planda oluşturulan yazılım kodları ve boya tabancası ayarları otomatik olarak sisteme yüklenmektedir.

Dikey eksende ani elektrik gitmelerinden kaynaklanacak kazalar ve arızaların önüne geçmek için motor freni PLC tarafından kontrol edilmektedir. Çalışma anında açılan fren işlemler tamamlanınca veya elektrik kaynaklı arızalarda robotun bu ekseninde sabit kalmasını , yere çakılmasını önlemektedir. Metal sensörlerinin bir diğer görevi ise

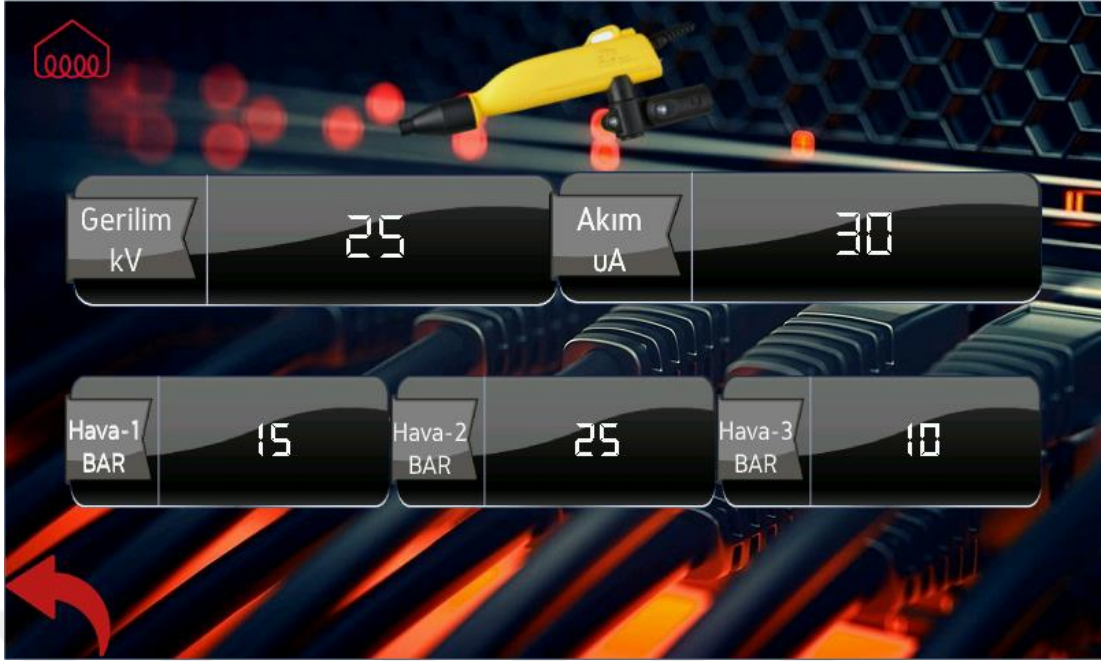
operatör motoru manüel modda hareket ettirirken sıfır noktalarına geldiğinde çakılma ve motorları zorlamasının önüne geçmektir.

Kontrol aşamasında yazılım geliştirilen platformlar sırası ile operatör paneli yazılımı için Delta DOPSoft , PLC yazılımı için ise WPLSoft yazılımları kullanılmıştır. DOPSoft yazılımı ile operatör arayüz yazılımları geliştirilip robot mekanizmasını güvenilir ve en hızlı şekilde kullanımı sağlanmıştır. Geliştirilmiş olan arayüz görselleri aşağıda sırası ile verilmektedir.



Şekil 4.5:Operatör Paneli Ana Sayfa

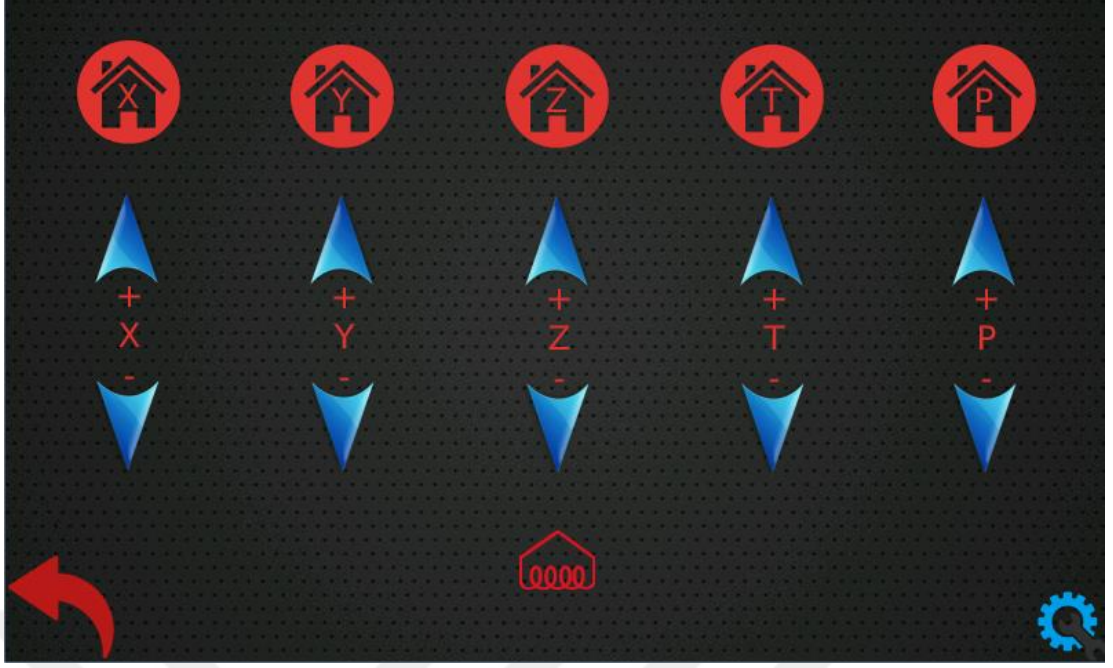
Robot mekanizması ilk çalıştırıldığında ana sayfa operatörün karşısına gelmektedir. Ana sayfadan boya robotunun uc kısmında bulunan otomatik boya tabancasının, boya atma miktarları ile hızını ayarlamak için ekranın sol alt tarafında bulunan boya ayar seçeneği sayesinde ayarlamalar yapılabilmektedir. Ayrıca ana ekranda yapılan ayarlar sol tarafta görülmektedir. Modbus RS485 haberleşme protokolüne göre yazma ve okuma ayarları yapılabilmektedir. Boya tabancası PLC'den, boya yapma noktasına gelince on/off kontrole göre başlatılıp durdurulabilmektedir. Boya tabancası ile ilgili kontrol ekranı Şekil 4.5' te gösterilmektedir.



Şekil 4.6:Boya Tabancası Kontrol Ekranı

Boya tabancası kontrol ekranı ile elektrostatik toz boyanın sırası ile yükleme voltajı(uc kısım voltajı) , yükleme akımı, boya ana havası, boya yardımcı havası ve tabanca ucunu temizlemek için hava-3 ayarları yapılabilmektedir.

Robotu manuel olarak kontrol etmek ve sistemi sıfır noktasına döndürmek için ana sayfanın sağ alt köşesinde bulunan kontrol sekmesi ile kontrol ekranına geçilebilmektedir.



Şekil 4.7:Operatör Paneli Kontrol Sayfası

Robot kontrol ekranı ile sistemde bulunan motorlarının tamamı ayrı ayrı kontrol edilebilmektedir. Üst sekmelerde bulunan kırmızı butonlar ile her eksen ayrı ayrı sıfır noktasına götürülebilmektedir. Mavi butonlarla ise motorlara daha doğrusu uzuvlara hareket verilebilmektedir. Ekranın en altında, ortada bulunan firma logosunun olduğu buton ile ise bütün motorlar aynı anda sıfır noktasına götürülebilmektedir. Sağ alt köşedeki ayarlar butonu ile ise sistemin arka planında bulunan ayarlara ulaşılabilir. Sol alt köşedeki buton ile de anasayfaya ulaşılabilir.

Ürünlerin seçilmesi ve gövde formlarına ait geometri datalarına ulaşabilmek için, ana sayfa alt kısmında bulunan gövde seçimi butonu ile fabrikada üretilen ürünlerin listesine ulaşılabilir. 6 ana grupta fabrikada üretim yapılabilir. Şekil 4.8 da verilen arayüz ile sırası ile Tost Makinesi - Fırınlr – Sobalar – Tencere – Ocaklar ve Cezveler için yapılan arayüzlere ulaşılabilir.



Şekil 4.8:Operatör Paneli Ürün Seçim Ekranı

Ürün seçim ekranı ile fabrikada üretilen bütün ürünler kendi ana grupları altında olacak şekilde sistem arayüzüne yüklenmiştir. Ekranda bulunan butonlar ile ürün seçim ekranına ulaşılabilmektedir.

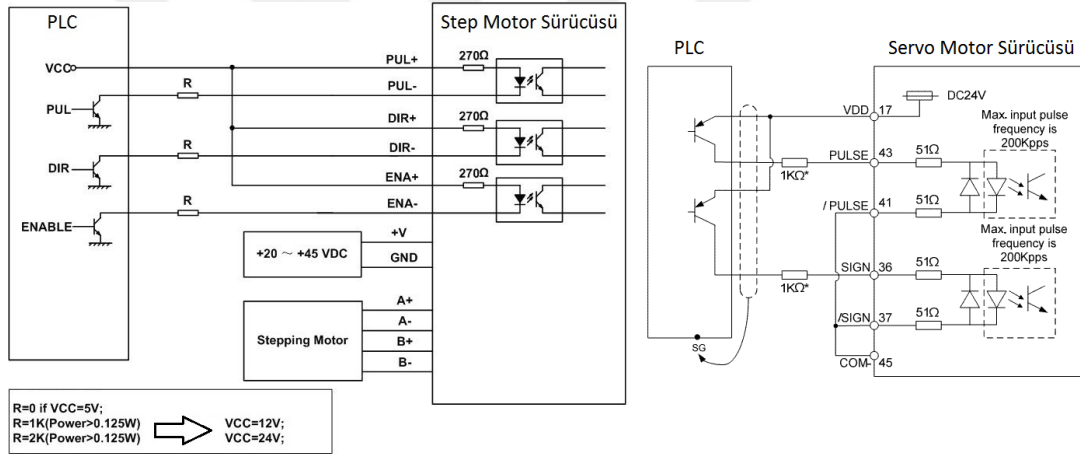


Şekil 4.9:Operatör Paneli Ürünler Ekranı

Ürünler sayfasında bulunan bütün sekmeler ile boyanacak ürün seçilebilmekte ve tasarlanmış olan yazılım için gerekli datalar üretilebilmektedir. Her ürün görselinin arka planında o ürünün geometrisine ait sınır değerler ve hareket miktarları kaydedilmiştir. Seçim tamamlandıktan sonra ürün görseli ana ekrana gelince ve robot mekanizmasında sıfır noktasında ise sağ üst köşede bulunan açma kapama butonu ile sistem başlatılıp durdurulabilmektedir.

Sistem sıfır noktasında değilse ve açma-kapama butonuna basılırsa sistem çalışmamakta ve ana ekranda konumu sıfırla diye uyarı verilmektedir. Bu sayede yapılacak hataların önüne geçilmiştir. Ürün boyandıktan sonra veya makine kapalı konumda ise sistem sıfır noktasına gelince ana ekranda bekliyor diye uyarı verilmektedir. Eğer makine boyama işlemine başlamış ise ana sayfada boyanıyor uyarı yazısı çıkmaktadır. Boyama işlemi yapmadan son bir kez daha operatöre sorulmakta ve kararı doğru ise sistem başlatılmaktadır.

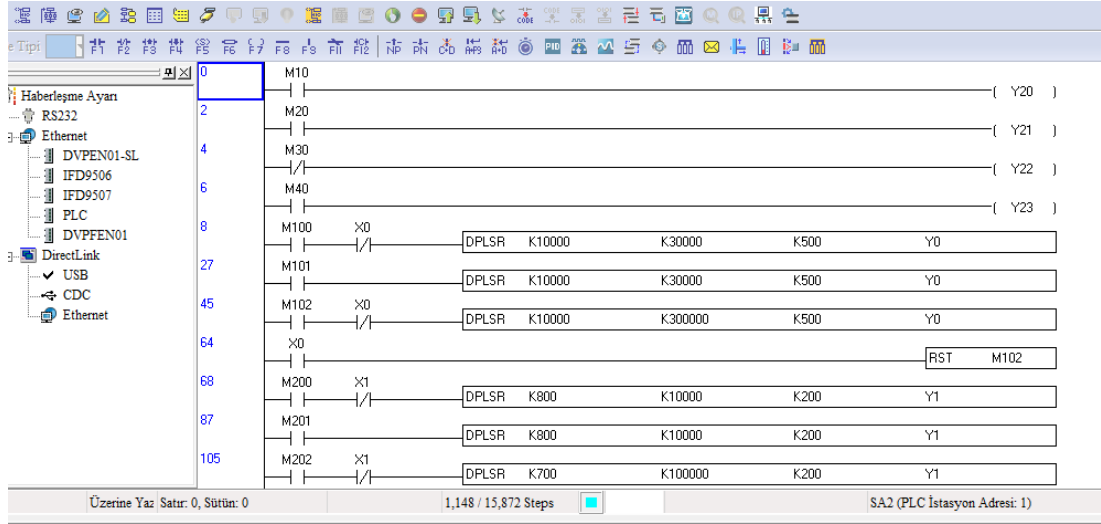
Operatör paneli bu işlemler ile tamamlandı. Daha sonrasında ise PLC tarafında, arayüzden gelen dataların konum bilgisine çevirildiği dönüştürücü yazılımı oluşturulmuştur. Kısaca bahsedilecek olunursa: Sistemde kullanılan motorların tamamı puls sinyalleri ile, PLC de üretilen PWM komutları sayesinde kontrol edilmektedir. Motorların sürücülerinde bulunan Puls ve Dir uçları ise PLC'nin ilgili uçlarına bağlanmıştır. PLC'nin yazılım kodları için WPLSoft yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 4.10: Motor Sürücü Bağlantısı[26]

Şekil 4.8 de gösterildiği gibi servo ve step motorların kabloları puls uçlarına bağlanacak şekilde PLC'ye bağlanmıştır. Boyanacak ürün gövdelerinin geometrisine göre konum(PWM-puls) bilgisi PLC nin ilgili uçlarından çıkarak motor sürücülerine ulaşmakta ve oradanda mekanik uzuv hareketine dönüşmektedir.

WPLSoft ile PLC nin içinde yazılan kontrol yazılımının bir kısmı Şekil 4.9 da verilmiştir. Bu yazılım ile robot mekanizması ile operatör paneli arasında bir köprü oluşturulmuştur. Arayüzden yapılan bütün işlemler bu komutlar ile kontrol edilebilmektedir.



Şekil 4.11:PLC Kontrolcü Yazılımı

Motorlar konum kontrolü için sürülürken titreşim ve vuruntuyu azaltmak için rampalı kalkış vermek gerekmektedir. Bu işlem için PLC de bulunan DPLSR komutu kullanılmıştır. Arayüzden gelen komutlar neticesinde motorlar rampalı kalkış ve duruş hareketi yapmaktadır. Sınır değerlere ulaştığında ise sensörler hareketi sınırlamaktadır. Bu işlem ile sistemin kontrolü tamamlanıp robot sisteminde deneyler aşamasına geçilmiştir.

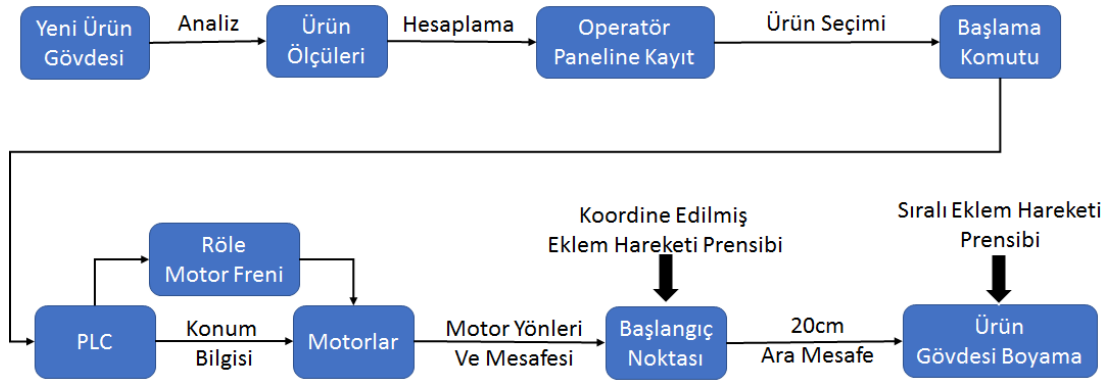
5. DENEYLER

Deneyleler aşamalarında fabrikada bulunan ve daha önceki kontrol aşamalarında bahsedilen metal gövde formlarının tamamı sisteme işlenmiştir. Bu bölümde ise bu gövde formları(tost-fırın-ocak vb.) tek tek prototip boya kabinine asılarak robot mekanizmasının hareket komutları oluşturulmuştur.

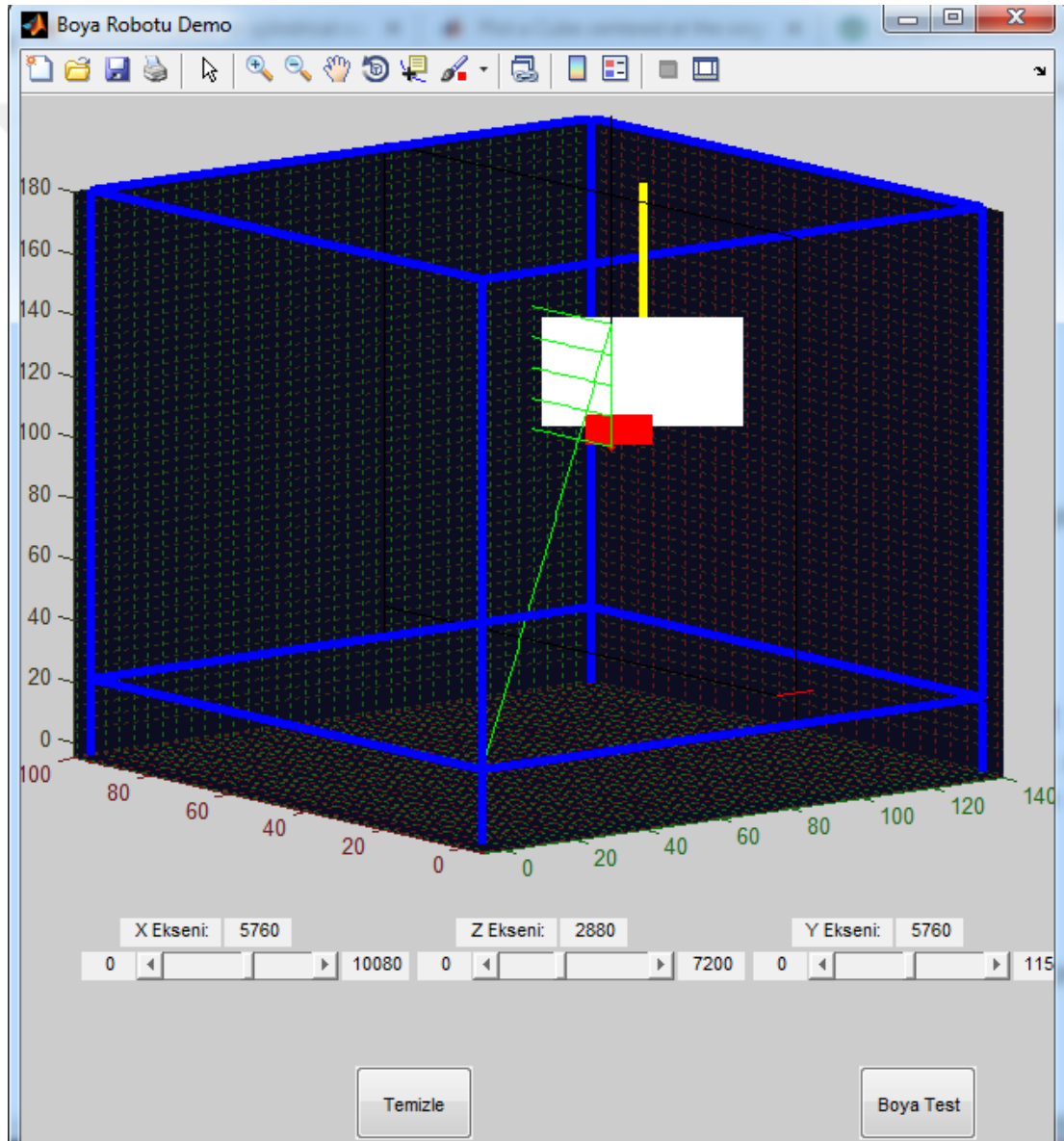
Ayrıca bu bölümde robot mekanizmasının hızlanmaları değerlendirilirken, boya tabancasının boyama hızı sınır değeri alınarak maksimum hızları değerlendirilmiştir. Boya tabancasının ucundan çıkan elektrostatik boya miktarını ayarlayan kontrolcü ile robot mekanizmasının hızları paralel olarak değerlendirilmiştir. Maksimum boya atımı ve yüzeye tutulabilirliği ile robotun metal ürün gövdesi ile uyumu kontrol edilmiştir.

Manuel ve otomatik çalışmalarda robot sisteminde bir aksilik varmı diye incelemelerde bulunulmuştur. Ürünleri döndüren askı motorunun fren ve kalkışlarda yetersiz olduğu bu aşamada ortaya çıkmıştır. 1/40 oranında planet dişli bir redüktör ile bu motor güçlendirilmiştir. Boya yapılan ürün gövdeleri büyüdükçe ve ağırlaştıkça kontrol edilmesi daha zor olduğu tesbit edilmiştir. Kullanılan planet dişli redüktör sayesinde bu sorun çözülmüştür.

Sırası ile önce tost makinesi gövdesi ile deneyler yapılmıştır. Tost makinesi boyanırken ihtiyaç duyulan hareket kodları tek tek ürün gövdeleri üzerinde test edilmiştir. Tost makinesi gövde çeşidi fabrikada çok fazladır. Bu yüzden benzer geometrilerdeki gövdeler elenerek 12 çeşit gövde seçilip sisteme yüklenmiştir. Robot mekanizmasında daha öncede bahsedildiği gibi, boya yapılacak başlangıç noktasına koordine edilmiş eklem hareketi, noktadan noktaya hareket şeklinde ulaşılmaktadır. Bu esnada sistemde bulunan motorlar aynı anda koordineli olarak çalışmaktadır ve sistem maksimum güç çekmektedir. Kullanılan güç kaynağının bu esnada yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Kullanılan 120w güç kaynağına 360w bir güç kaynağı ile takviye yapıp sorun çözülmüştür. Daha sonrasında robot uç işlevcisi boya yapmaya başladığında ise sıralı eklem hareketi yapacak şekilde çalışmaktadır. Bu harekette ise bütün motorlar istenilen çalışma noktasına robot ucunu ulaştırınca, boya tabancası yatay ekseninde boya yapmaya başlar ve sadece Z eksenine ait robot uzvu çalışır. Robotun çalışma şeklini daha iyi anlatmak ve projede kullanılan Matlab programı ile tasarlanan simülasyon görüntüleri şekil 5.2 de verilmiştir.

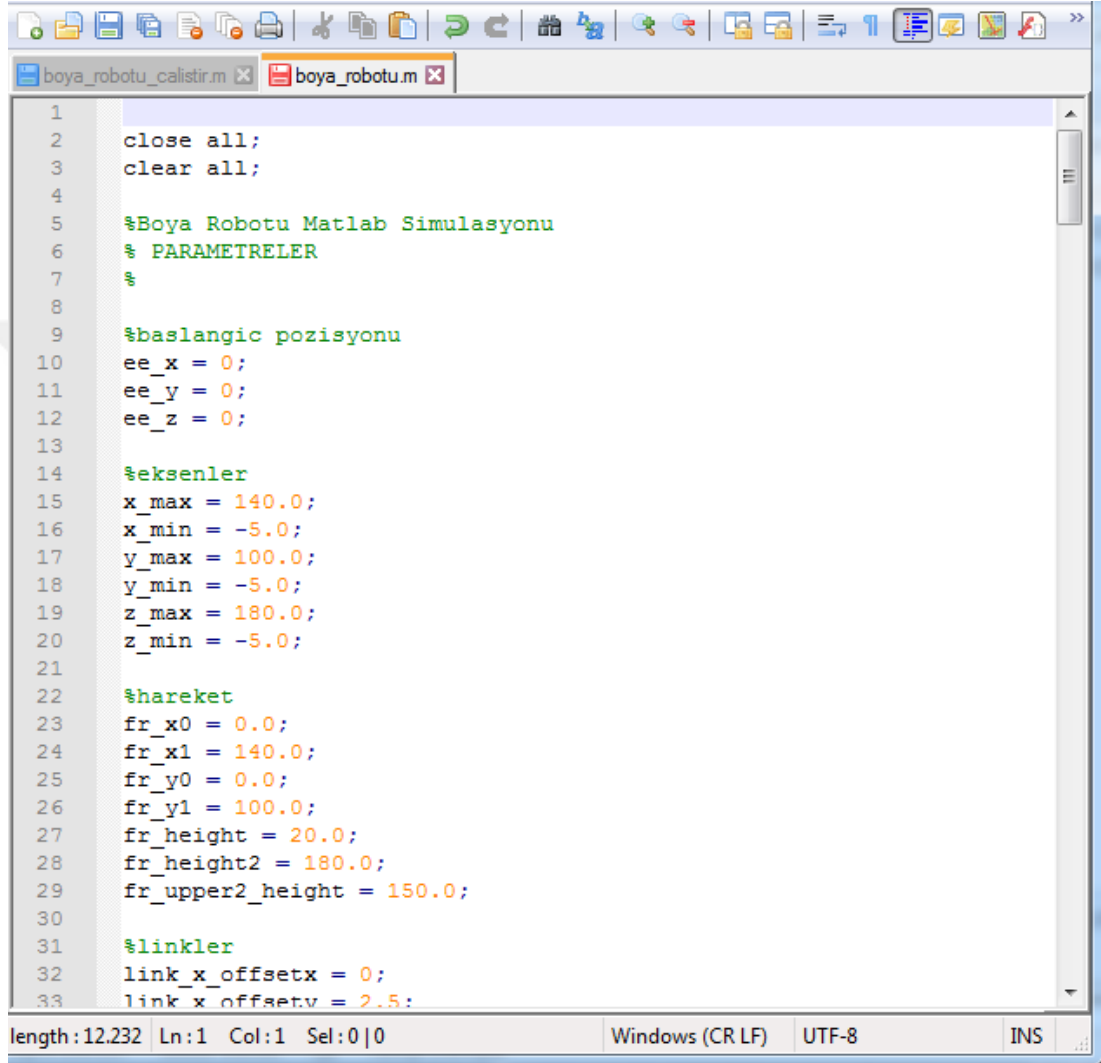


Şekil 5.1:Yeni Ürün Gövdesi Boyama İşlemleri



Şekil 5.2:Matlab Boya Yazılım Simülasyonu

Matlab programı ile matlab programının hazır kütüphanelerinden de destek alınarak oluşturulan demo yazılım sayesinde robotun gerçekte yapacağı bütün hareketler simüle edilebilmiştir. Ayrıca hareket kodları oluşturulurken de destek alınabilmiştir. Matlab ile oluşturulan kodların görüntüsü şekil 5.2 de verilmiştir. Yukarıda bahsedilen hareket prensibine göre matlab kodları çalışmakta ve ürünü boyamaktadır.



```
1
2 close all;
3 clear all;
4
5 %Boya Robotu Matlab Simulasyonu
6 % PARAMETRELER
7 %
8
9 %baslangic pozisyonu
10 ee_x = 0;
11 ee_y = 0;
12 ee_z = 0;
13
14 %eksenler
15 x_max = 140.0;
16 x_min = -5.0;
17 y_max = 100.0;
18 y_min = -5.0;
19 z_max = 180.0;
20 z_min = -5.0;
21
22 %hareket
23 fr_x0 = 0.0;
24 fr_x1 = 140.0;
25 fr_y0 = 0.0;
26 fr_y1 = 100.0;
27 fr_height = 20.0;
28 fr_height2 = 180.0;
29 fr_upper2_height = 150.0;
30
31 %linkler
32 link_x_offsetx = 0;
33 link_x_offsety = 2.5;
```

Şekil 5.3:Matlab Boya Yazılımı

Ürün gövdelerindeki boyama işlemine dönülecek olunursa, önce tost makinesinin ön kısmı yukarıdaki boyama prensibine göre boyanmıştır. Sonrasında ise önce sağ kenarı sonra sol kenarı ürün askı motorunun döndürme hareketi sayesinde boyanmıştır. Boya tabancası ürün boyamaya başladığında boya atmaktadır. Diğer eksen hareketlerinde ise boya tabancası PLC tarafından durdurulmaktadır.

rn gövdesine boya atılırken boya tabancasının ucu ile metal gövde yüzeyi 90 derece açı olacak Şekilde sürekli kontrol edilmektedir. Elektrik ile yüklenmiş boya parçacıkları mıknatıslanma etkisi ile topraklanan metal gövdelere homojen olarak yapıŐmıŐtır.



Şekil 5.4:Tost Makinesi Gövdesi Boyama İŞlemi

İlk tost makinesi gövdesi güvenli ve hızlı bir Şekilde boyanabildikten sonra, diŐer tost makinesi gövdeleri boyanabilmesi için ortak bir plc kontrolcü yazılımı oluşturulmuştur.

Fabrikada üretilen tost makinesi gövdeleri benzer yapılara sahiptir. Sadece boyutları ve yüzey formları değişiktir. Bu yüzden sınır değerleri ve yaklaşma miktarları değişken data olarak tanımlandı. Bütün gövde formları için ortak bir kontrolcü yazılımı oluşturulmuştur. Gelecekte üretilen tost gövdeleride bu yazılım ile boyanabilecektir. Yeni ürünler için ilgili işleyiş şeması şekil 5.1 de verilmiştir.

Deneyleerde kullanılan ikinci ürün gövdeleri ise fırınların metal gövdeleri olmuştur. Gövde formu ve yapısı olarak tost makinelerinden çok farklıdır. Üretilen metal gövdelerin büyük çoğunluğu dikdörtgen bir yapıya sahiptir. Genelde ürünlerin 5 tarafıda boyanmaktadır. Bu kriter göz önünde tutularak kontrol yazılımı oluşturulmuştur. Deneyleerin ikinci aşamasında kullanılan fırın gövdeleri ile ilgili çalışmalar şekil 5.4 de gösterilmektedir.



Şekil 5.5:Fırın Gövdesi Boyama İşlemi

Fırın gövdeleri diğer ürün gövdelerine göre geometrik olarak en büyük ve ağır olan ürün gövdeleridir. Ürün boyamaya başlanmadan önce makine sıfır konumuna gitmekte ve başlama komutunu beklemektedir. Gövde formu operatör panelinden seçilip

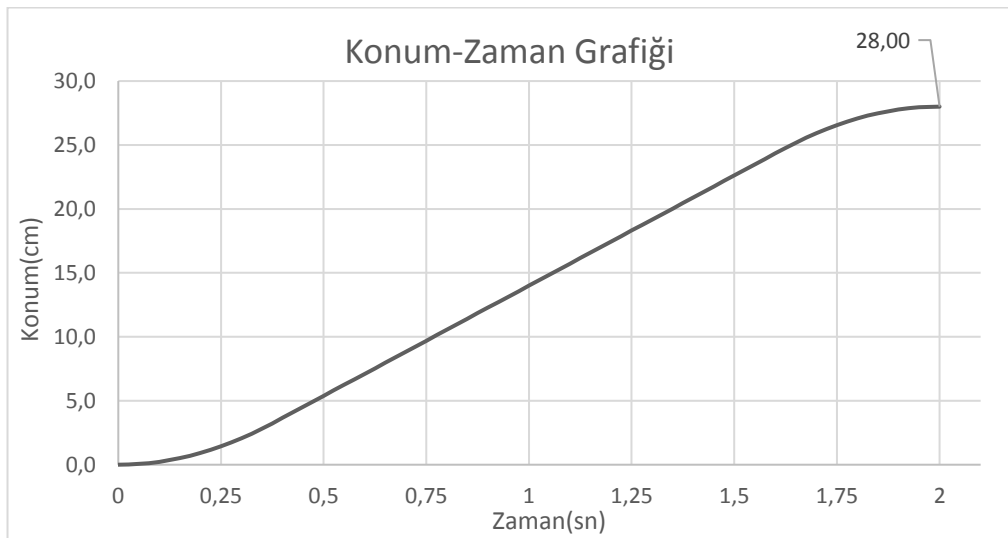
boyama işlemleri başlatılınca yukarıda bahsedilen hareket prensiplerine göre robot ucu boya yapılacak başlangıç noktasına koordine edilmiş eklem hareketi, noktadan noktaya hareket şeklinde ulaşmaktadır. Daha sonra ise z eksenini boyunca ileri ve geri giderek boyama işlemi yapılmaktadır. Bir kenar bittikten sonra ise robot ucu güvende olacak bir noktaya gider ve ürün askı motoru sayesinde 90 derece döndürülerek diğer kenar için aynı işlemler yapılmaktadır. Ürün boyama işlemi tamamlanınca ürün askısı kolay çıkarılabilmesi için ürün operatöre döndürülür ve robot bekleme moduna alınır. Diğer ürün gövdeleri de ayrı ayrı incelenerek bütün arka plan yazılımları oluşturulup yazılım deneyleri tamamlanmıştır. Sistemin internet bağlantısı yapılarak uzaktan kontrolü sağlanmıştır.

5.1 Uygulanan Deneysel Yörünge 1

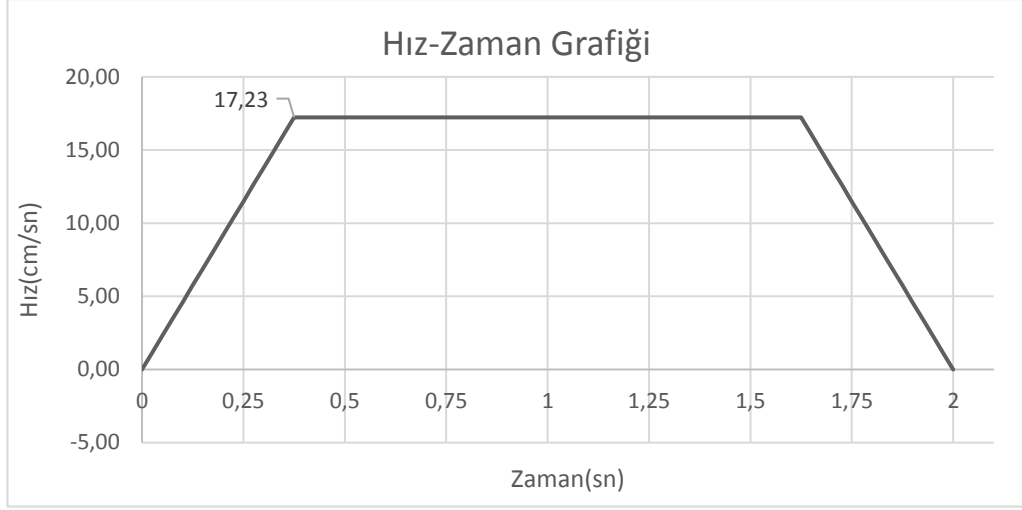
Sistemin yazılım aşamaları ve ürün gövdesi için geometrik incelemeler tamamlandıktan sonra, robot mekanizmasının gerçek boya ortamında test gövdeleri ile testleri başlatılmıştır. İlk olarak simülasyon ortamında öngörülen makine ayarları ve yörüngeleri ile işlemler yapılmıştır. Bu işlemler doğrultusunda robot mekanizmasının uç işlevcisinin ürün gövdesine doğru koordine edilmiş eklem hareketi şeklinde hareketine ait sırası ile konum-zaman , hız-zaman, ivme zaman grafikleri verilmektedir:

Sırası ile X – Y – Z ve Boya tabancası eksenleri için veriler aşağıda verilmektedir.

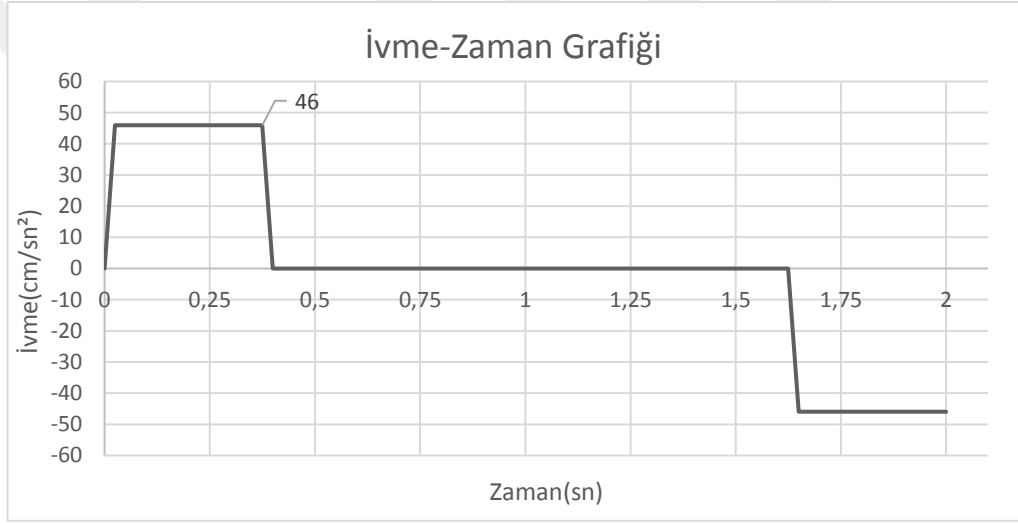
X eksenini için konum,hız ve ivme grafikleri:



Şekil 5.6: Tost Gövdesi Boyamak İçin X Eksenini Konum Zaman Grafiği

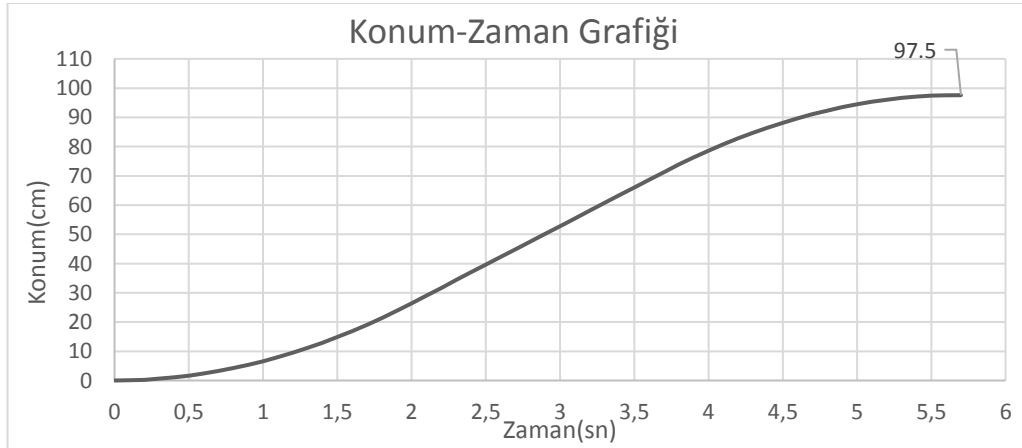


Şekil 5.7: Tost Gövdesi Boyamak İçin X Ekseni Hız Zaman Grafiği

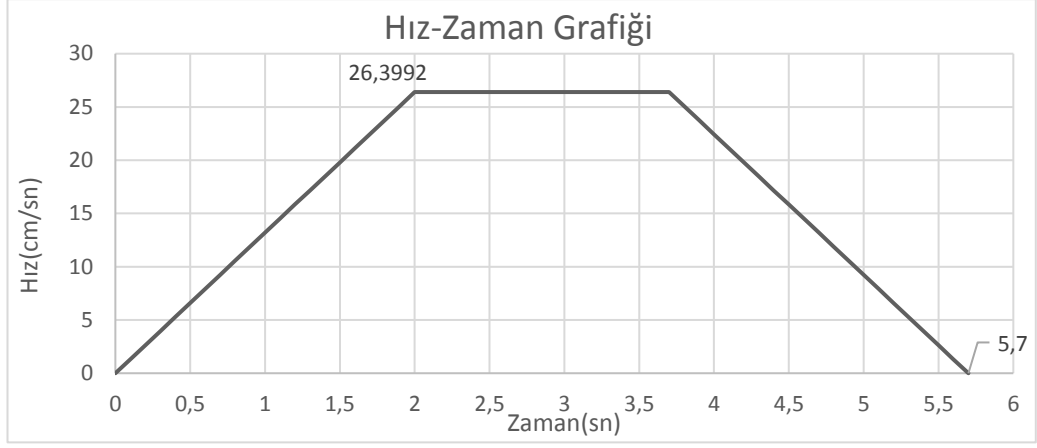


Şekil 5.8: Tost Gövdesi Boyamak İçin X Ekseni İvme Zaman Grafiği

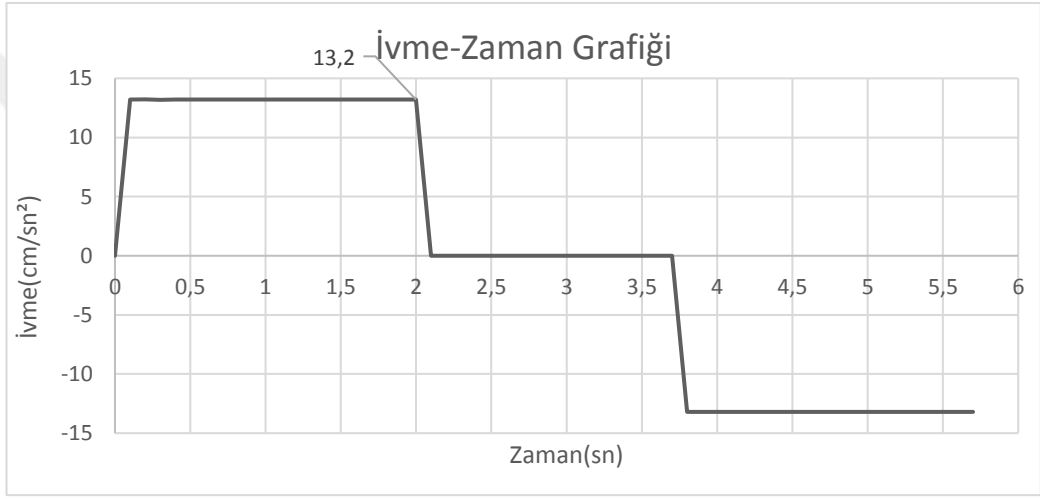
Y eksenini için konum, hız ve ivme grafikleri:



Şekil 5.9: Tost Gövdesi Boyamak İçin Y Ekseni Konum Zaman Grafiği

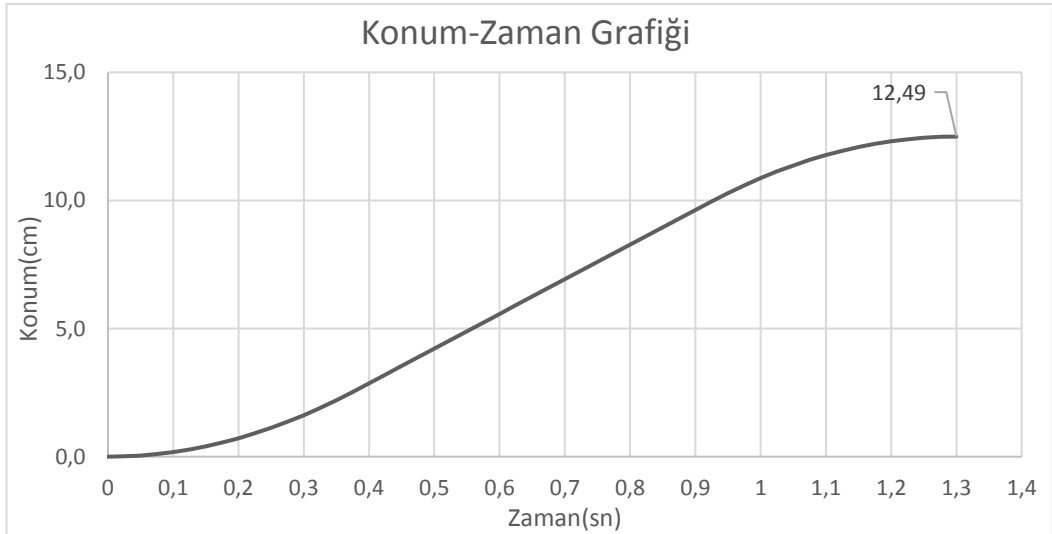


Şekil 5.10: Tost Gövdesi Boyamak İçin Y Eksenli Hız Zaman Grafiği

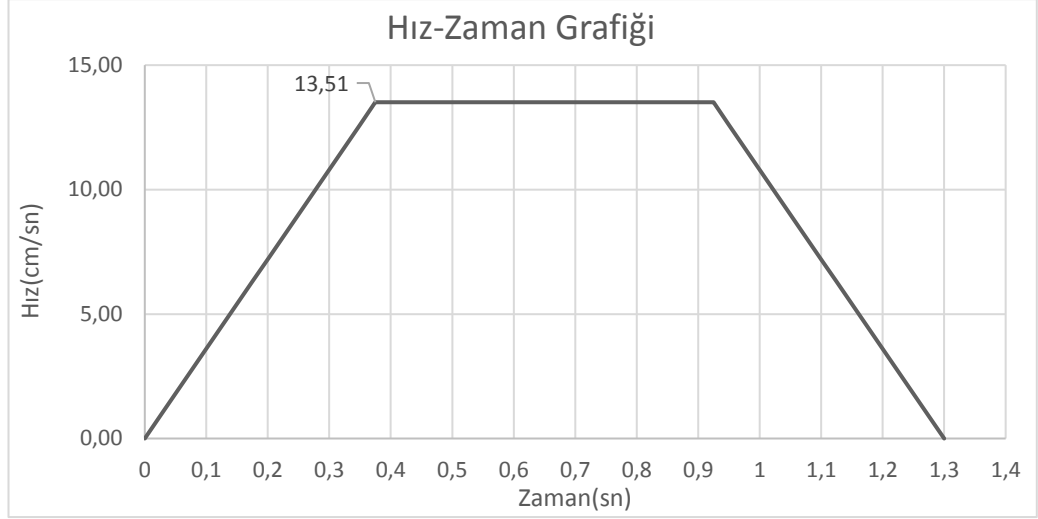


Şekil 5.11: Tost Gövdesi Boyamak İçin Y Eksenli İvme Zaman Grafiği

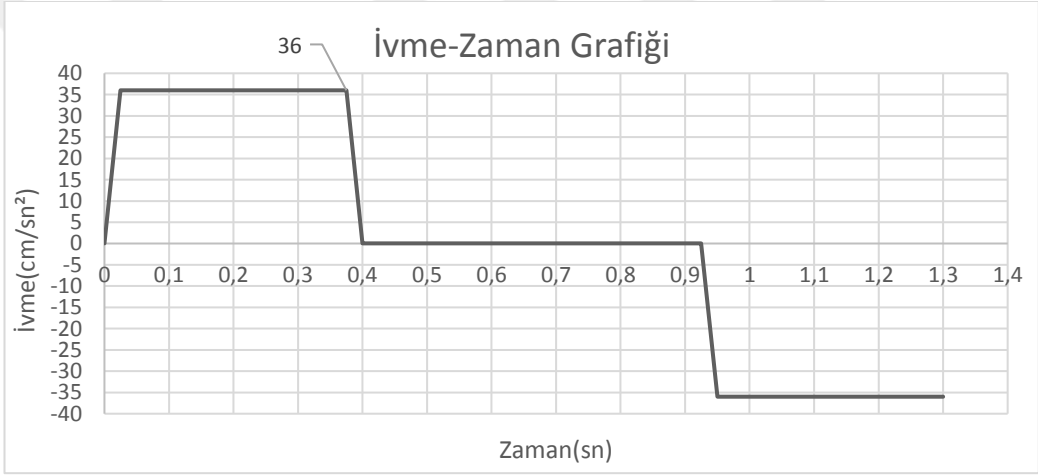
Z eksenli için konum, hız ve ivme grafikleri:



Şekil 5.12: Tost Gövdesi Boyamak İçin Z Eksenli Konum Zaman Grafiği

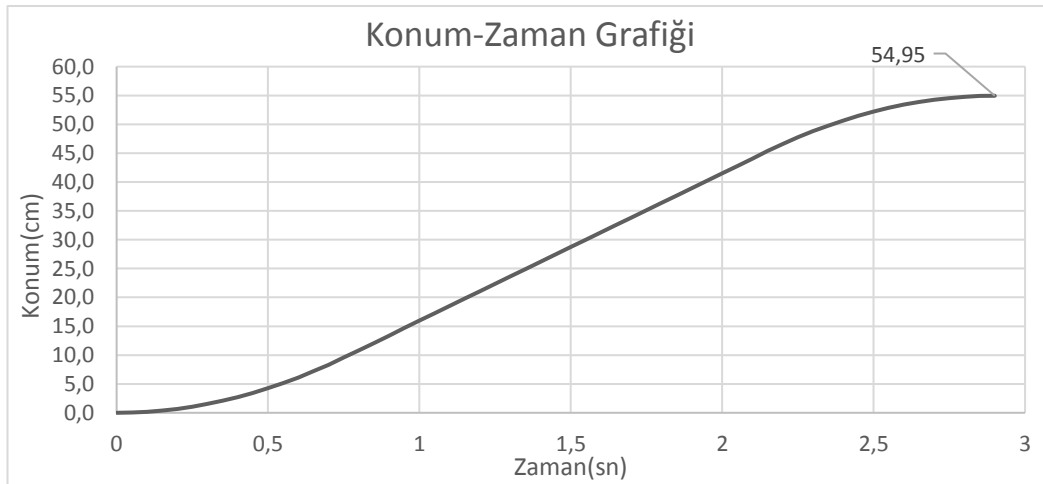


Şekil 5.13: Tost Gövdesi Boyamak İçin Z Ekseni Hız Zaman Grafiği

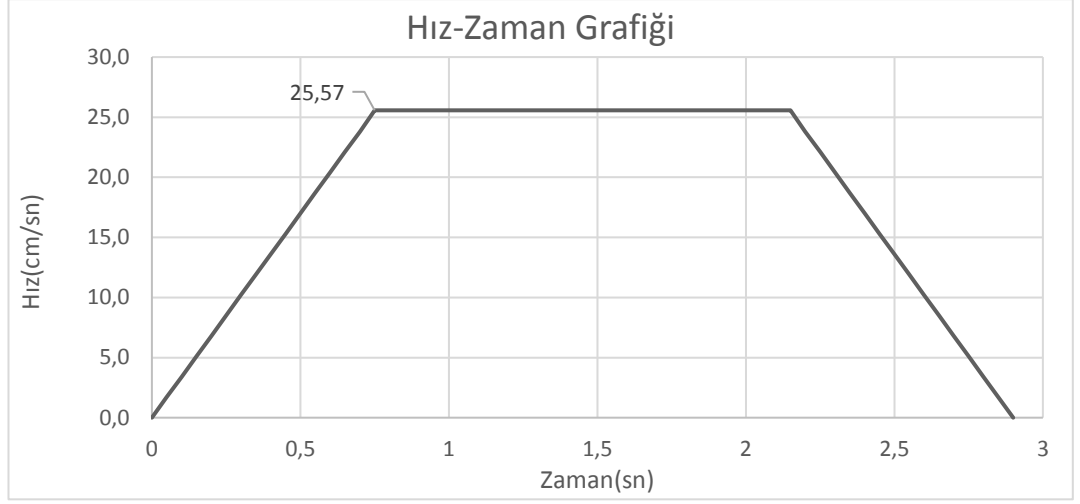


Şekil 5.14: Tost Gövdesi Boyamak İçin Z Ekseni İvme Zaman Grafiği

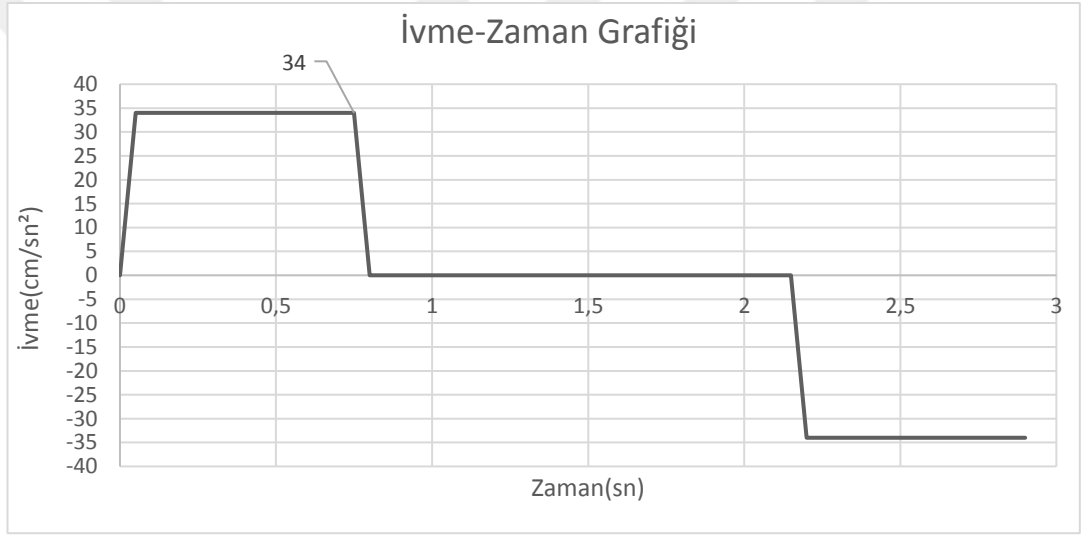
Boya tabanca eksenini (T) için konum, hız ve ivme grafikleri:



Şekil 5.15: Tost Gövdesi Boyamak İçin T Ekseni Konum Zaman Grafiği



Şekil 5.16: Tost Gövdesi Boyamak İçin T Eksenli Hız Zaman Grafiği



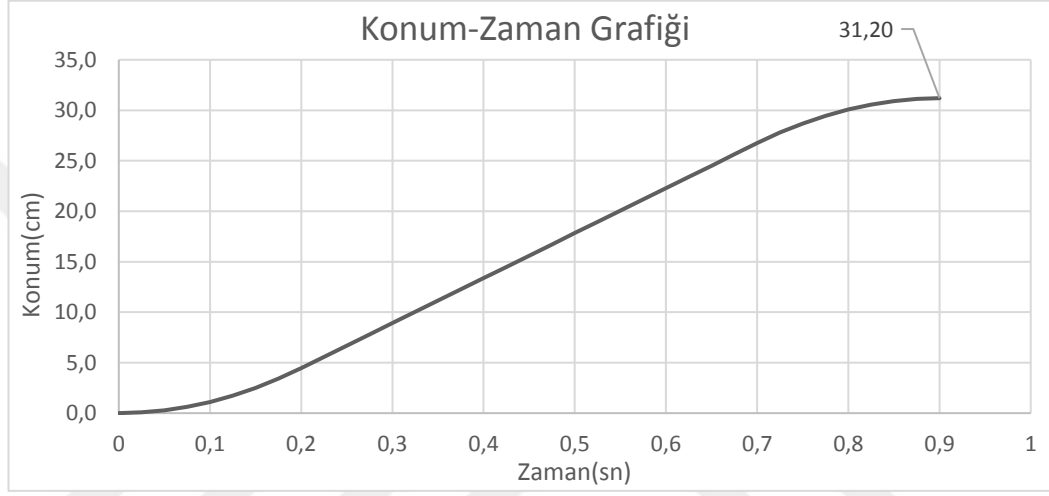
Şekil 5.17: Tost Gövdesi Boyamak İçin T Eksenli Hız Zaman Grafiği

Yukarıdaki şekillerde her eksen için ayrı ayrı verilen konum, hız ve ivme değerleri ile robot sisteminin boya yapacağı başlangıç konumuna güvenli ve titreşimsiz bir biçimde, noktadan noktaya koordine edilmiş eklem hareketi şeklinde hareket etmesi sağlanmıştır. Bu hareket yörüngesi sayesinde, metal ürün gövdesine ulaşmak için en kısa mesafe ve en az sürede ulaşım imkanı kazanılmıştır.

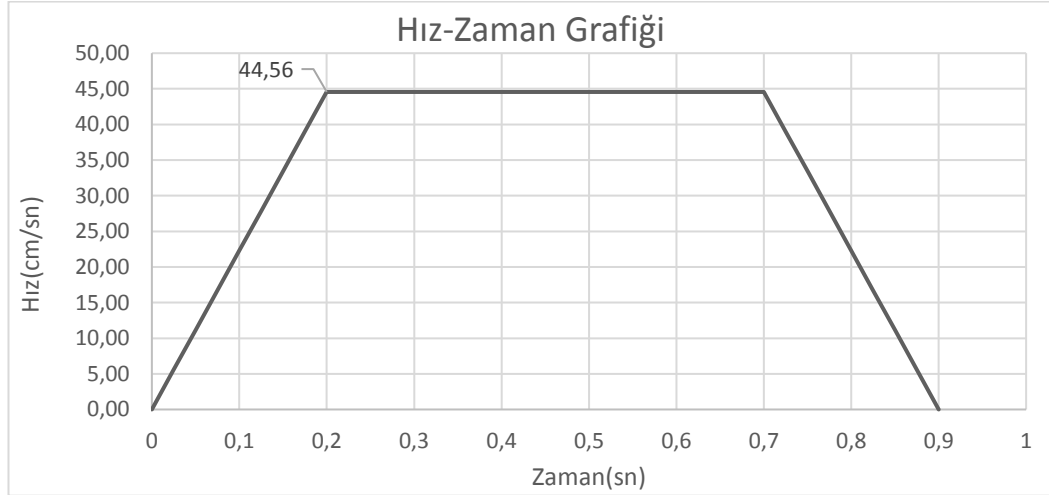
5.1.1 Tost gövdesi boyama analizi

Tost makinesinin metal gövdesi için boyama işlemi yapılırken sıralı eklem hareketi prensibinden yararlanılmıştır. Bu işlem yapılırken Z eksenini kullanılmıştır. Boya tabancasının ucu istenilen başlangıç noktasına getirildikten sonra 6 farklı varyasyon test edilip hız-ivme ayarları yapılarak, mükemmel boya kaplama methodu ve ayarları tespit edilebilmiştir. Yapılan bu deneylerden 3 tanesi aşağıda verilmektedir.

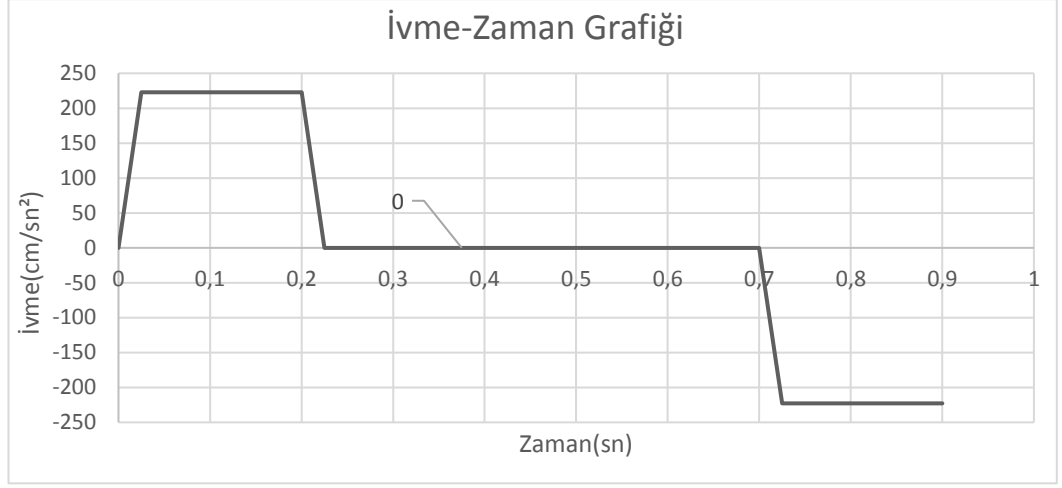
1. Deney: 0.9 saniye Z eksen gidiş süresi



Şekil 5.18: Tost Gövdesi 1. Deney Konum Zaman Grafiği

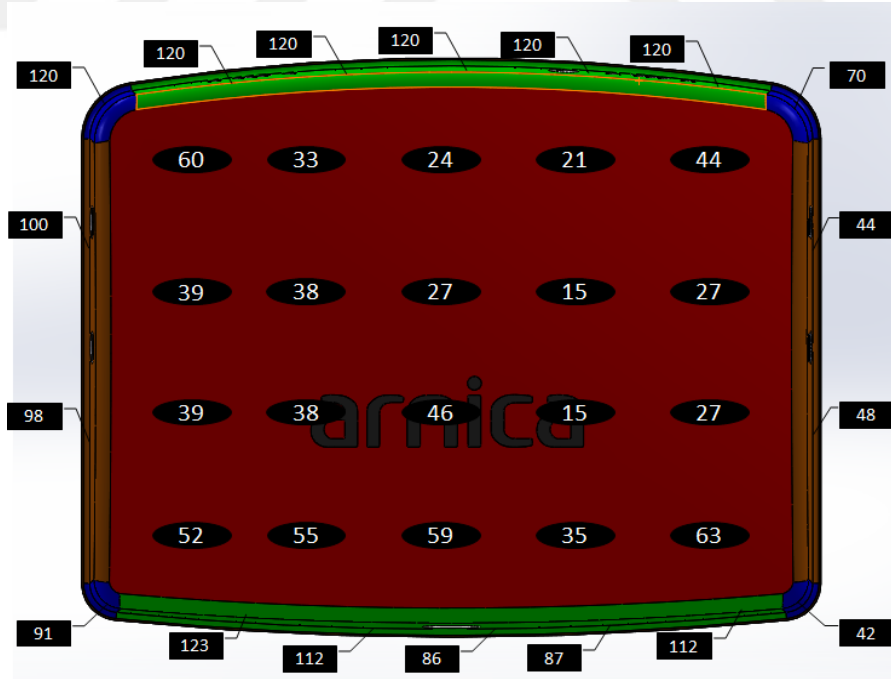


Şekil 5.19: Tost Gövdesi 1. Deney Hız Zaman Grafiği



Şekil 5.20: Tost Gövdesi 1.Deney İvme Zaman Grafiği

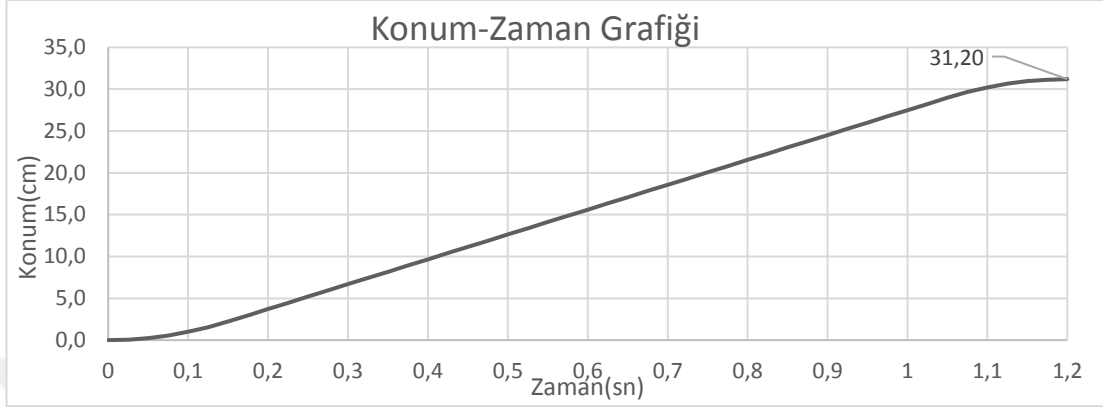
Yukarıda verilen hız ve ivme değerleri ile ilk tost gövdesine boyama işlemi yapıp, analiz edilerek sistem geri beslemesi sağlanmıştır. Yapılan deney sonucunda ilk ayarların iyileştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. İşlem süresi olarak robot ucunun tek bir sıralı eklem hareketi için toplam ihtiyaç duyduğu süre 1.8 saniye, tek yönde ise 0.9 saniyedir. Toplam işlem süresi olarak çok iyi bir sonuca ulaşılmasına rağmen kalite başarısızdır. Boya ölçüm miktarları mikron değeri olarak Şekil 5.21 de verilmektedir:



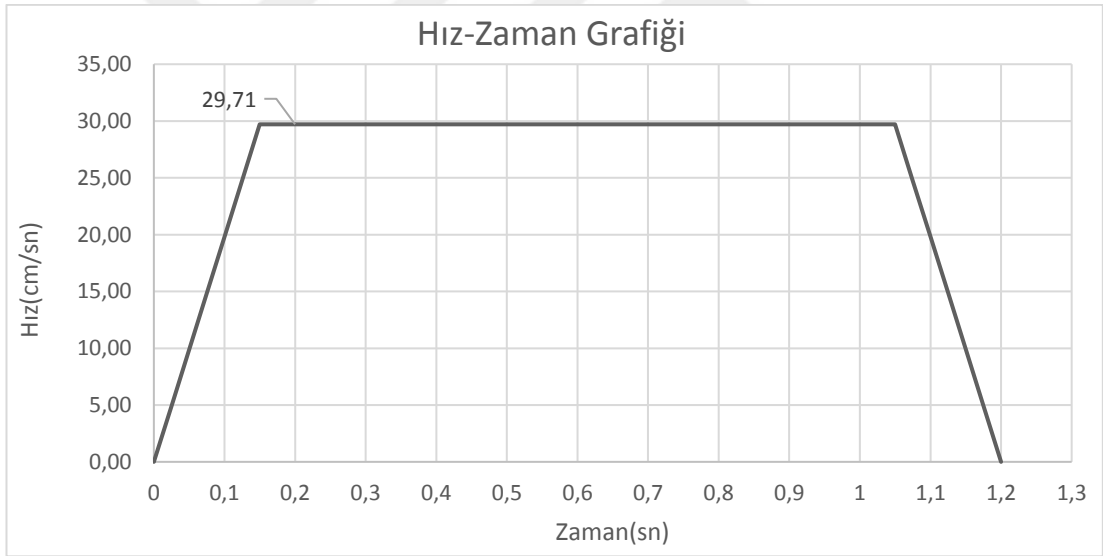
Şekil 5.21: Tost Gövdesi 1.Deney Boya Analizi

Şekil 5.21 de de görüldüğü üzere boya dağılımı homojen değildir. Kenar kısımları çok yoğun boya miktarında iken, orta yüzey az miktarda boya ile kaplanmaktadır. İstenen boya kaplama miktarı 75-90 mikron arası olmalıdır. Bu deney başarısız olmuştur.

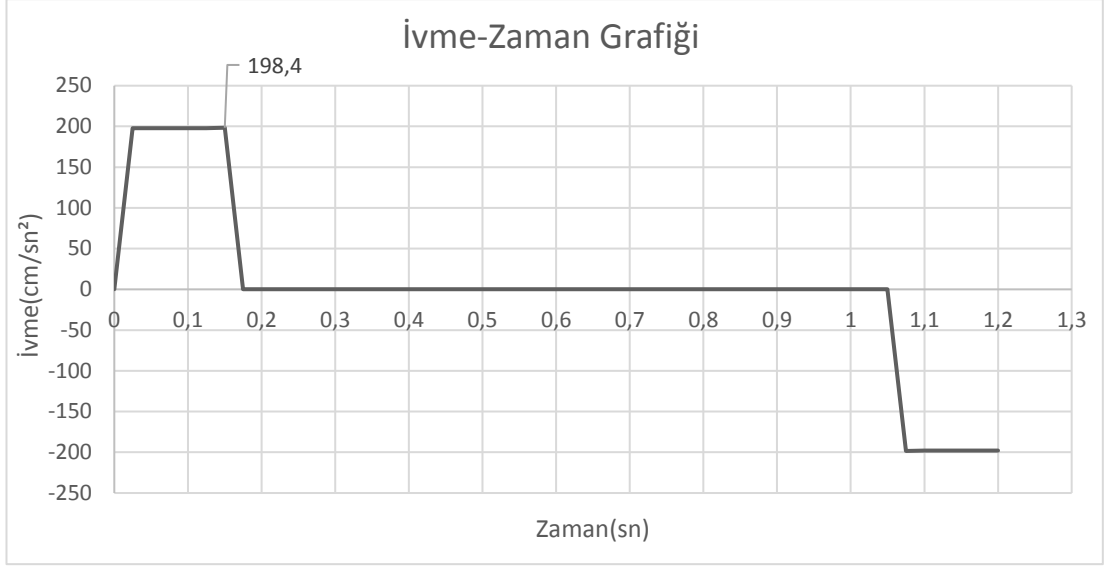
2.Deney: 1.2 saniye Z eksen gidiş süresi



Şekil 5.22: Tost Gövdesi 2.Deney Konum Zaman Grafiği

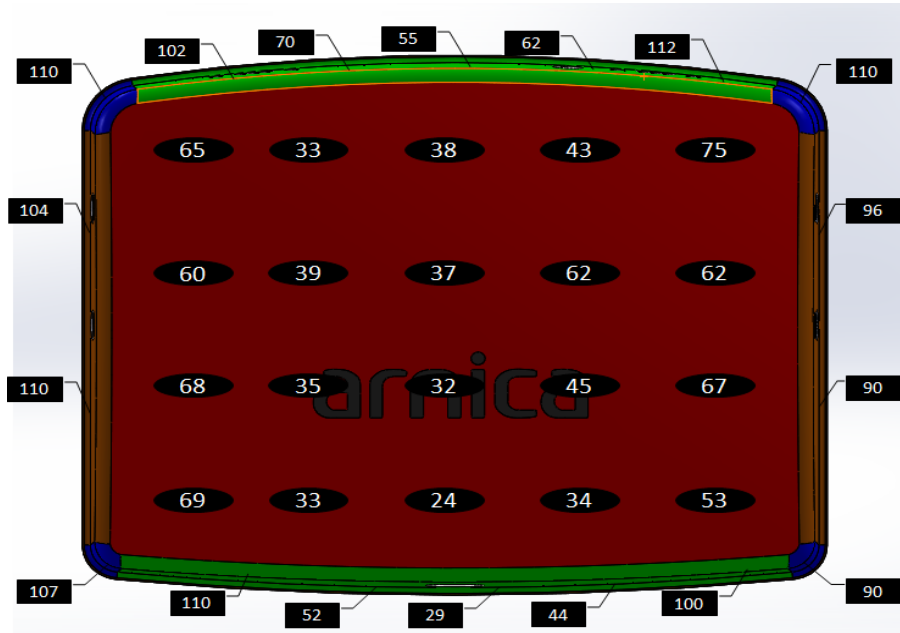


Şekil 5.23: Tost Gövdesi 2.Deney Hız Zaman Grafiği



Şekil 5.24: Tost Gövdesi 2.Deney İvme Zaman Grafiği

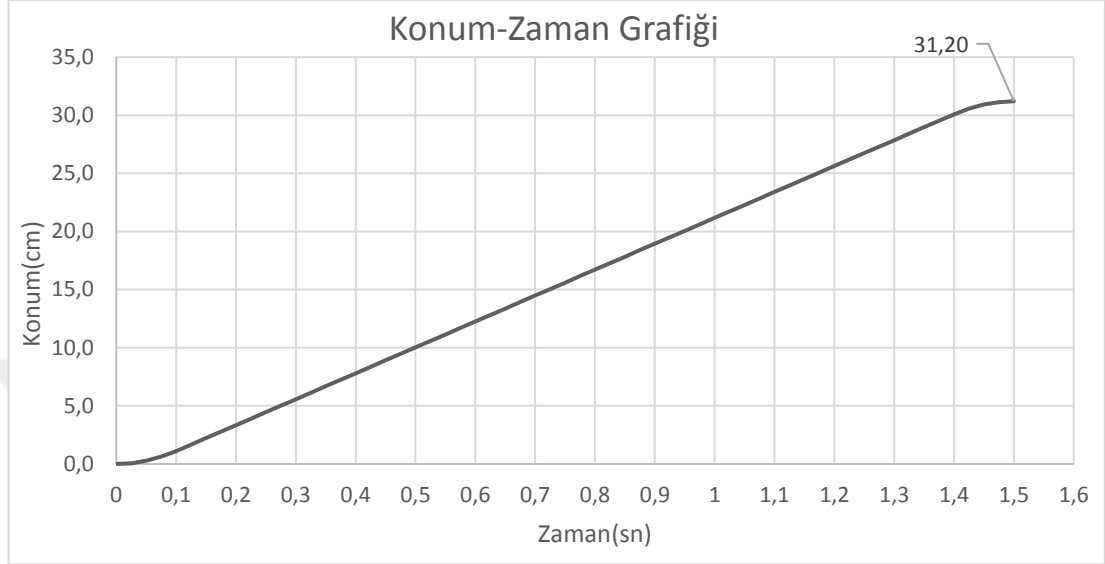
2.Deneyde kullanılan hız ve ivme değerleri yukarıda gösterilmektedir. Bu ayarlar doğrultusunda ikinci tost gövdesi için boyama işlemi yapıлып, analiz edilerek sistem geri beslemesi sağlanmıştır. Yapılan ikinci deney sonucunda bu verilerde iyileştirilme yapılması gerektiği tespit edilmiştir. İşlem süresi olarak robot ucunun tek bir sıralı eklem hareketi için toplam ihtiyaç duyduğu süre 2.4 saniye , tek yönde ise 1.2 saniyedir. Toplam süre bu deneyde biraz artmaktadır, ancak kalite oranı yükseltilebilmiştir. 2.deneyde elde edilen boya ölçüm miktarları mikron değeri olarak Şekil 5.25 de verilmektedir:



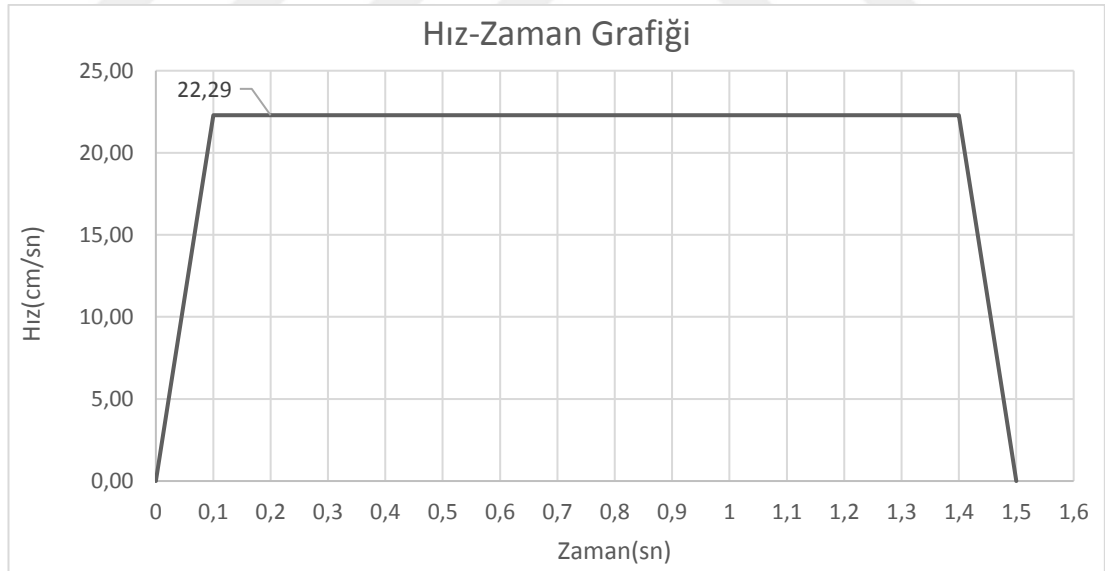
Şekil 5.25: Tost Gövdesi 2.Deney Boya Analizi

Şekil 5.25 de görüldüğü üzere boya dağılımı homojene yaklaştırılmıştır. Kenarlar azaltılmıştır ancak yoğunluk haritası istenen gibi yinede olamamıştır. İstenen boya kaplama miktarı 75-90 mikron arası olmalıdır. Bu deney de başarısız olmuştur.

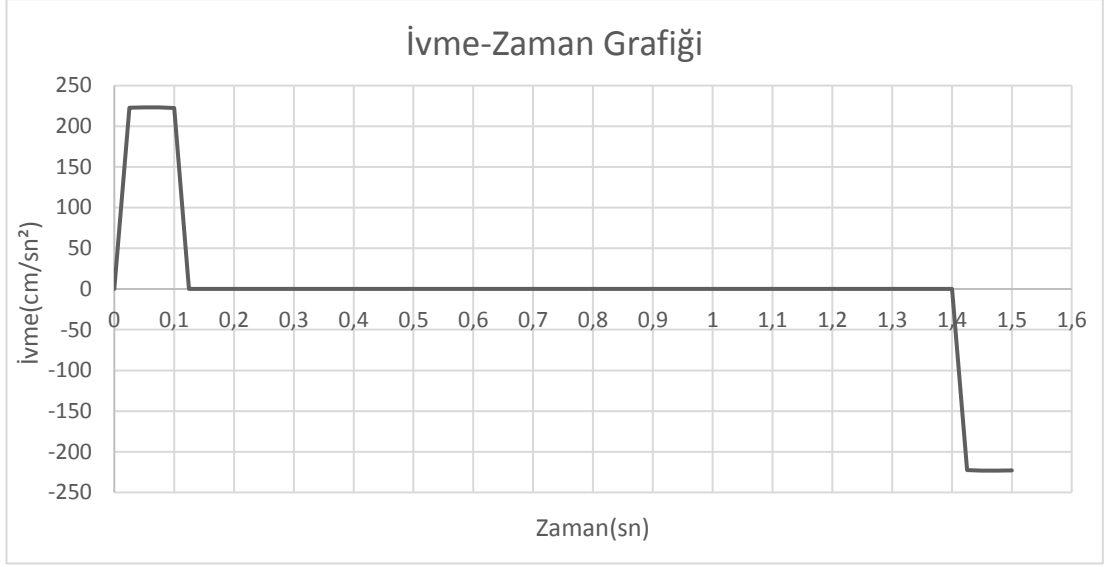
3.Deney: 1.5 saniye Z eksen gidiş süresi



Şekil 5.26: Tost Gövdesi 3.Deney Konum Zaman Grafiği

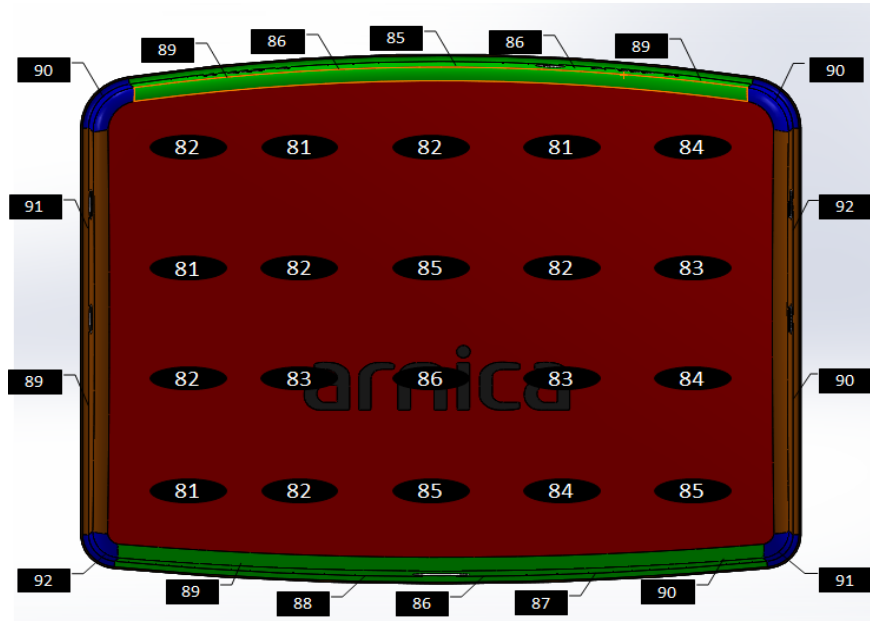


Şekil 5.27: Tost Gövdesi 3.Deney Hız Zaman Grafiği



Şekil 5.28: Tost Gövdesi 3.Deney İvme Zaman Grafiği

3.Deneyde kullanılan hız ve ivme değerleri yukarıda gösterilmektedir. Bu ayarlar doğrultusunda üçüncü tost gövdesi için boyama işlemi yapıp, analiz edilerek sistem geri beslemesi sağlanmıştır. Yapılan deney sonucunda mükemmel yüzey kaplama sonucuna ulaşılmıştır. İşlem süresi olarak robot ucunun tek bir sıralı eklem hareketi için toplam ihtiyaç duyduğu süre 3 saniye , tek yönde ise 1.5 saniyedir. Toplam süre biraz daha artmaktadır, ancak kalite mükemmel hale getirilmiştir. 3.deneyde elde edilen boya ölçüm miktarları mikron değeri olarak Şekil 5.29 de verilmektedir:



Şekil 5.29: Tost Gövdesi 3.Deney Boya Analizi

Şekil 5.29 de görüldüğü üzere boya dağılımı homojen bir şekilde uygulanabilmiştir. Metal gövde üzerinde her noktada boya miktarı 75-90 mikron arası olmalıdır. Bu deney sonucunda istenen verilere ulaşılabilmektedir. Sonrasında ayarlar kayıt altına alınmıştır. Bu yörünge analizi ile ivme-hız değerleri bu sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

5.2 Uygulanan Deneysel Yörünge 2

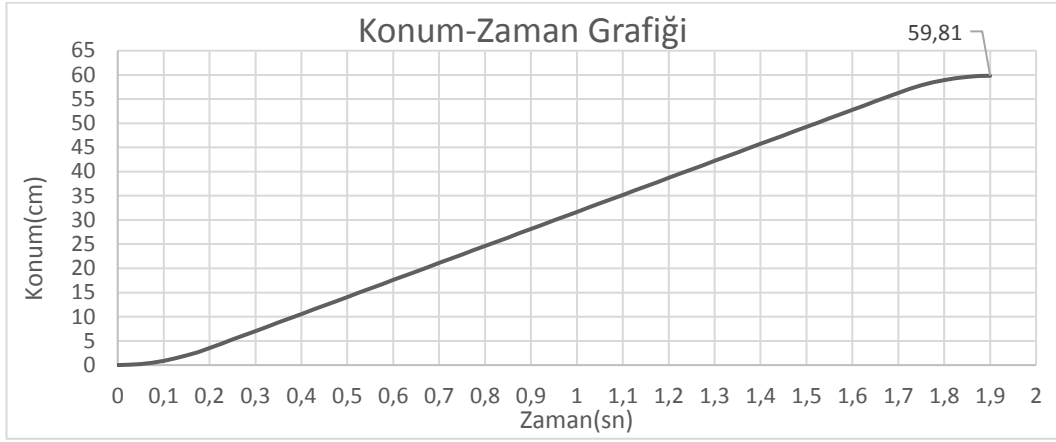
Tost gövdeleri ile yapılan yörünge analizleri ile mükemmel sonuçlara ulaştıktan sonra robot mekanizmasının gerçek boya ortamında fırın gövdeleri ile testleri başlamıştır. İlk olarak simülasyon ortamında öngörülen makine ayarları ve yörüngeleri ile işlemler yapılmıştır. Bu işlemler doğrultusunda robot mekanizmasının uç işlevcisinin ürün gövdesine doğru kordine edilmiş eklem hareketi, tost makinesindeki harekete benzer olarak yapılmıştır. Tost makinesinde elde edilen başarılı sonuçlar fırın ve diğer gövdeler boyanırken referans alınmış ama her ürün özelinde iyileştirmeler uygulanmıştır. Yukarıda bütün eksenler için verilen konum, hız ve ivme grafikleri fırın boyama işleminde de kullanıldığı için verilmemiştir ve direk deneyler aşamasına geçilmiştir. Yapılan deneyler ve boya nokta bulutları aşağıda verilmiştir.

5.2.1 Fırın gövdesi boyama analizi

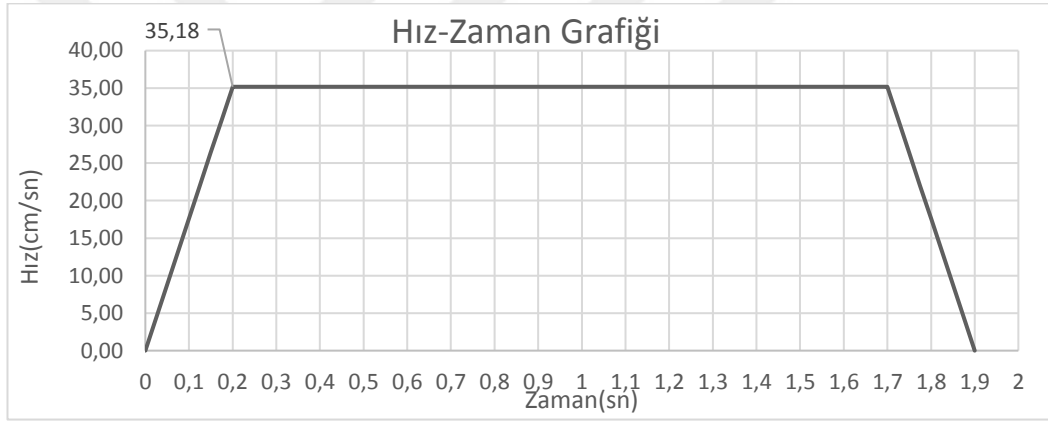
Fırınlara metal gövdesi için boyama işlemi yapılırken sıralı eklem hareketi prensibinden yararlanılmıştır. Bu işlem yapılırken Z eksenini kullanılmıştır.

Boya tabancasının ucu istenilen başlangıç noktasına getirildikten sonra 6 farklı varyasyon deneyi hız-ivme ayarları yapılarak mükemmel boya kaplama methodu ve ayarları tespit edilebilmiştir. Yapılan bu deneylerden 3 tanesi aşağıda verilmektedir.

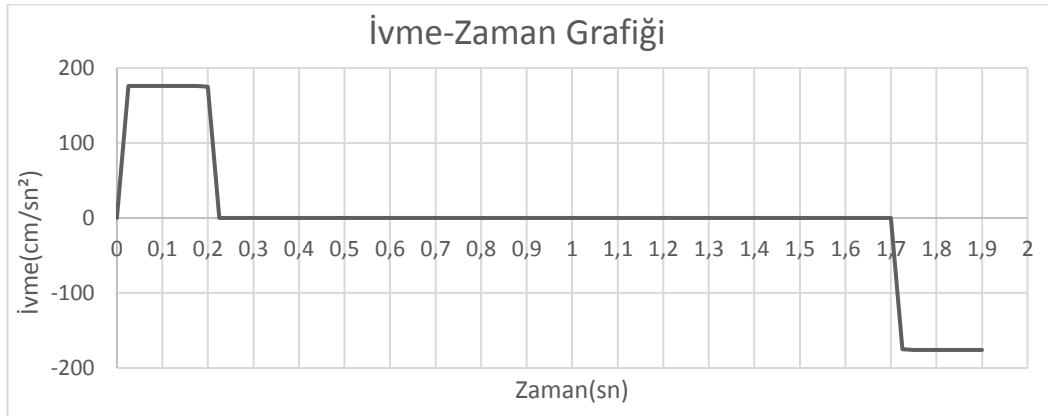
1.Deney: 1.9 saniye Z eksen gidiş süresi



Şekil 5.30: Fırın Gövdesi 1.Deney Konum Zaman Grafiği

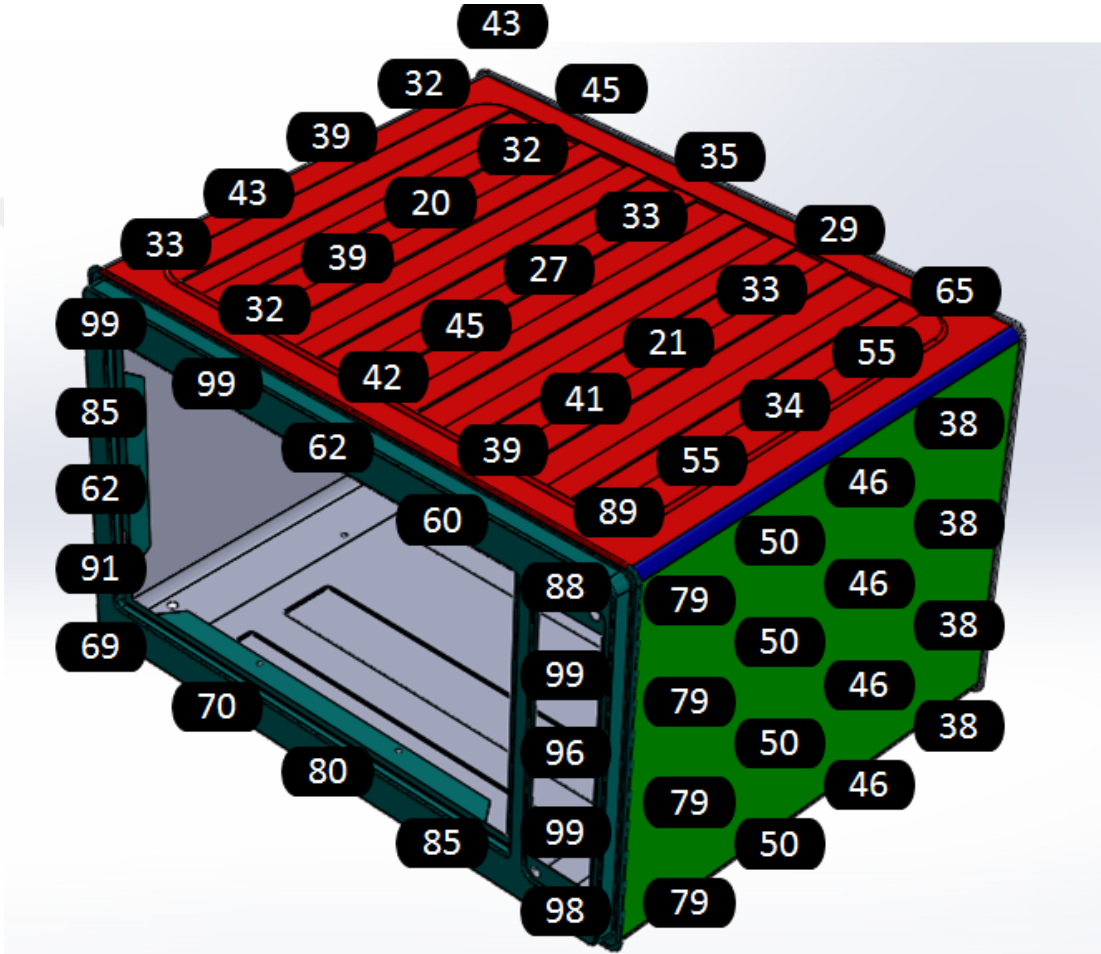


Şekil 5.31: Fırın Gövdesi 1.Deney Hız Zaman Grafiği



Şekil 5.32: Fırın Gövdesi 1.Deney İvme Zaman Grafiği

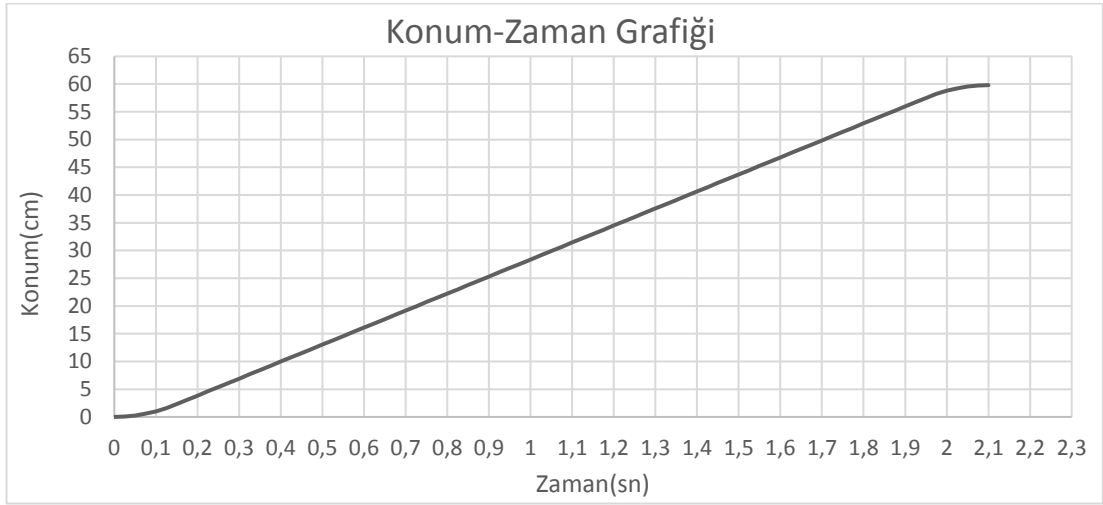
Yukarıda verilen hız ve ivme değerleri ile ilk fırın gövdesi boyama işlemi yapıp, analiz edilerek sistem geri beslemesi sağlanmıştır. Yapılan deney sonucunda ilk ayarların iyileştirilmesi gerektiği tespit edilmiştir. İşlem süresi olarak robot ucunun tek bir sıralı eklem hareketi için toplam ihtiyaç duyduğu süre 3.8 saniye, tek yönde ise 1.9 saniyedir. Toplam işlem süresi olarak çok iyi bir sonuca ulaşılmasına rağmen kalite başarısızdır. Boya ölçüm miktarları mikron değeri olarak Şekil 5.33 de verilmektedir:



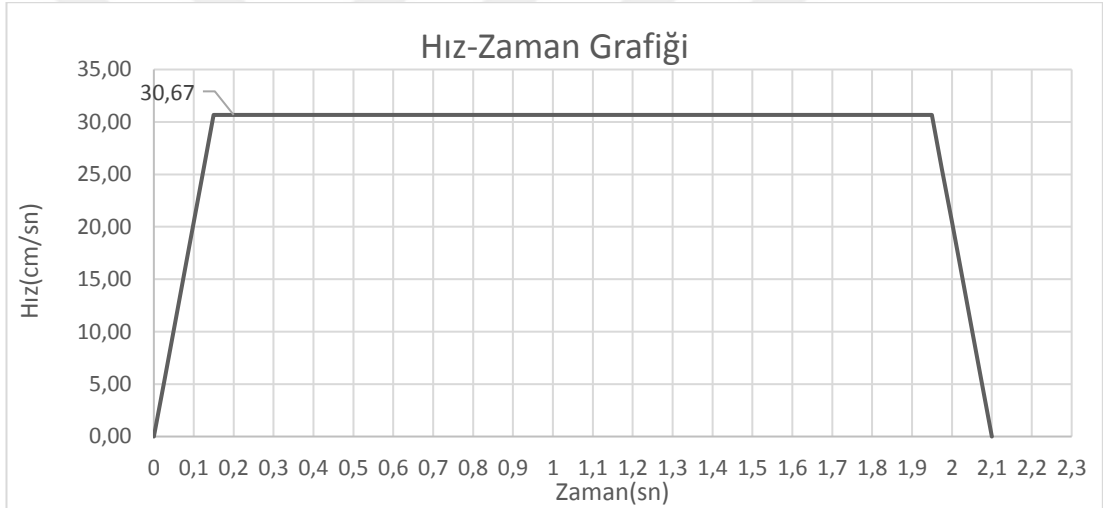
Şekil 5.33: Fırın Gövdesi 1.Deney Boya Analizi

Şekil 5.33 de verilen nokta bulutunda gösterildiği gibi boya dağılımı homojen değildir. Ön yüzeyde çok yüksek boya miktarı bulunurken, kenar yüzeyler az miktarda boya ile kaplanmaktadır. İstenen boya kaplama miktarı 75-90 mikron arası olmalıdır. Bu deney sonucu başarısız olmuştur. Bir sonraki deneyde bu eksiklikler tespit edilip hatalar iyileştirilmiştir.

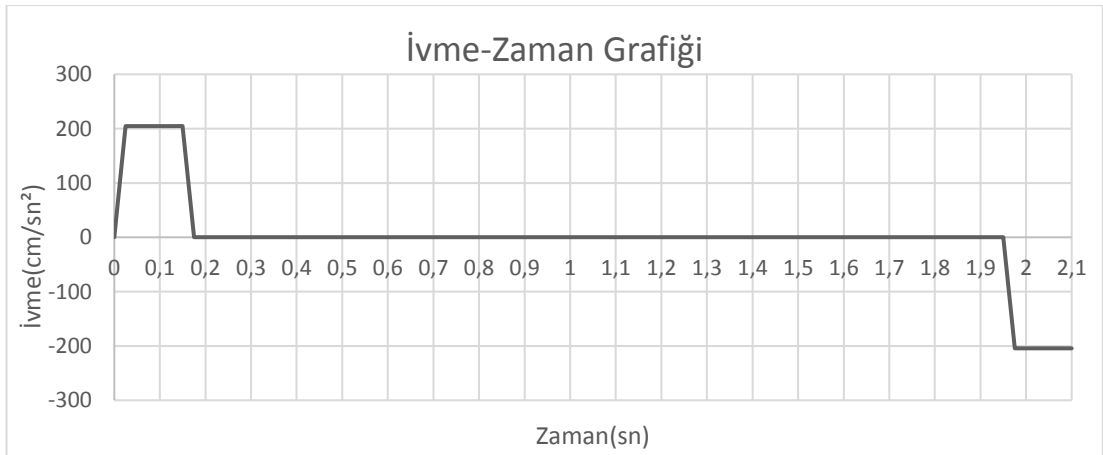
2.Deney: 2.1 saniye Z eksen gidiş süresi



Şekil 5.34: Fırın Gövdesi 2.Deney Konum Zaman Grafiği

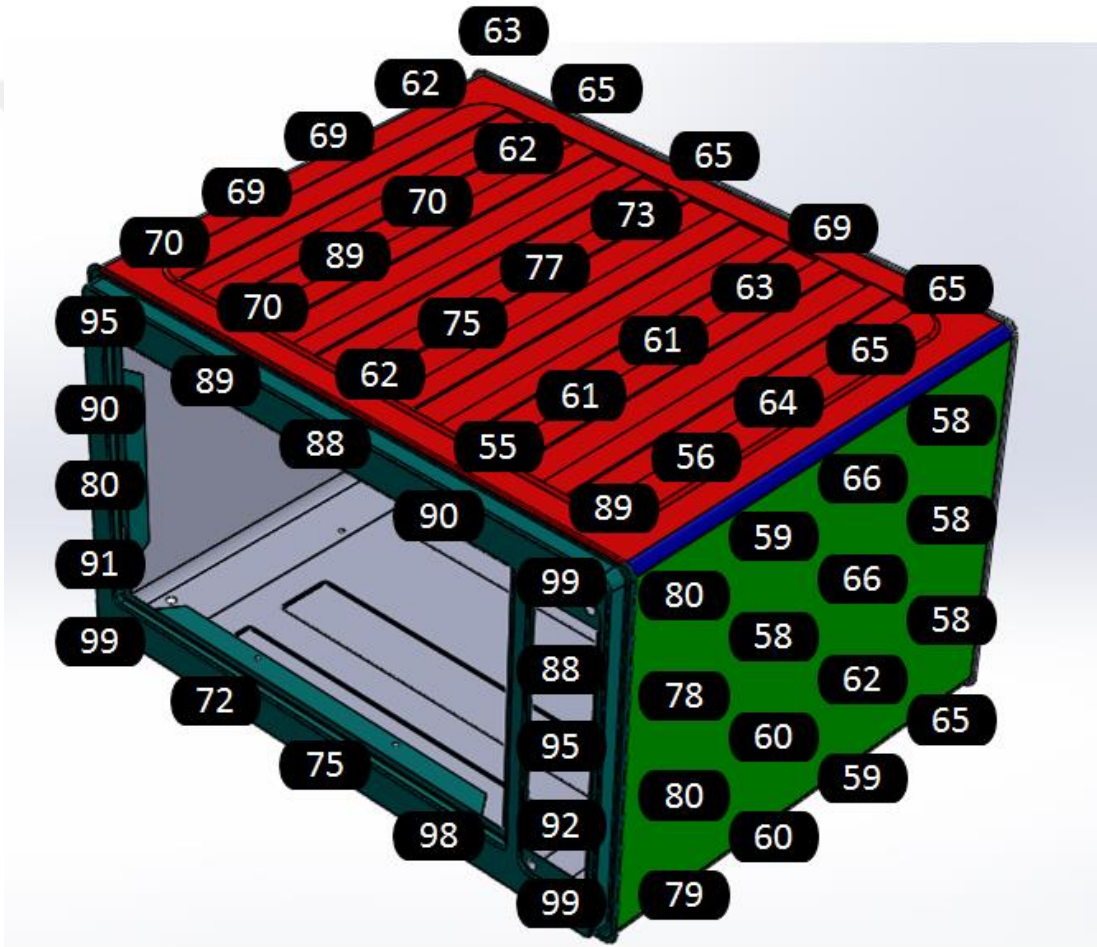


Şekil 5.35: Fırın Gövdesi 2.Deney Hız Zaman Grafiği



Şekil 5.36: Fırın Gövdesi 2.Deney İvme Zaman Grafiği

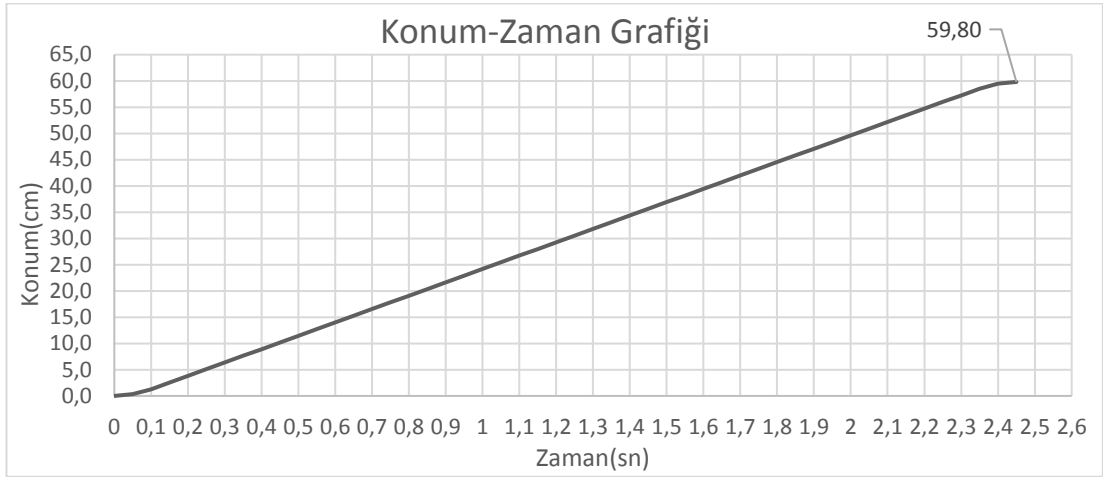
2.Deneyde kullanılan hız ve ivme değerleri yukarıda gösterilmektedir. Bu ayarlar doğrultusunda ikinci fırın gövdesi için boyama işlemi yapıp, analiz edilerek sistem geri beslemesi sağlanmıştır. Yapılan ikinci deney sonucunda bu verilerde iyileştirilme yapılması gerektiği tespit edilmiştir. İşlem süresi olarak robot ucunun tek bir sıralı eklem hareketi için toplam ihtiyaç duyduğu süre 4.2 saniye , tek yönde ise 2.1 saniyedir. Toplam süre bu deneyde biraz artmaktadır, ancak kalite oranı yükseltilebilmiştir. 2.deneyde elde edilen boya ölçüm miktarları mikron değeri olarak Şekil 5.37 de verilmektedir:



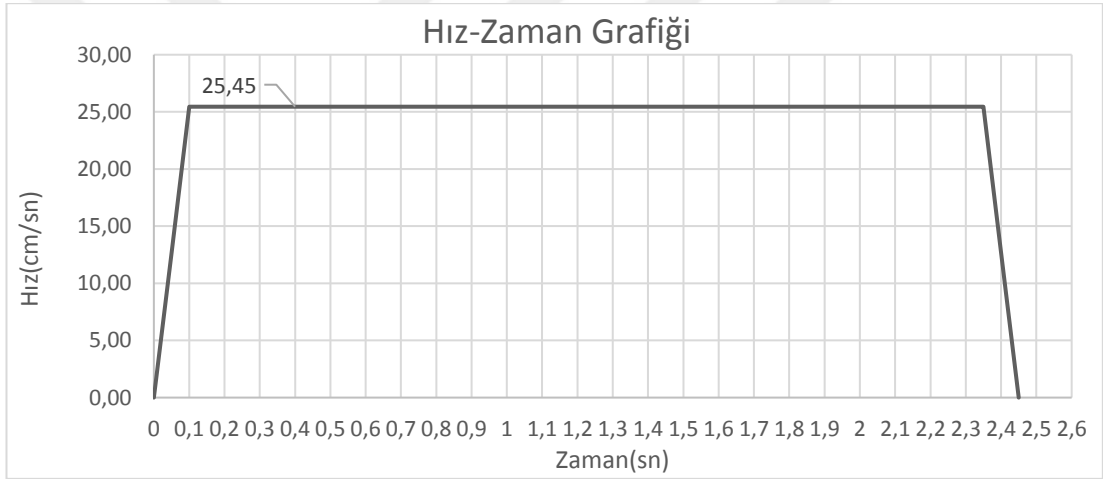
Şekil 5.37: Fırın Gövdesi 2.Deney Boya Analizi

Şekil 5.37 de görüldüğü üzere boya dağılımı homojene yaklaştırılmıştır. Ön kenar azaltılmıştır ancak yoğunluk haritası istenen gibi yinede olamamıştır. İstenen boya kaplama miktarı 75-90 mikron arası olmalıdır. Bu deney de başarısız olmuştur. Bir sonraki testte bu ayarda tespit edilen hatalar iyileştirilmiştir.

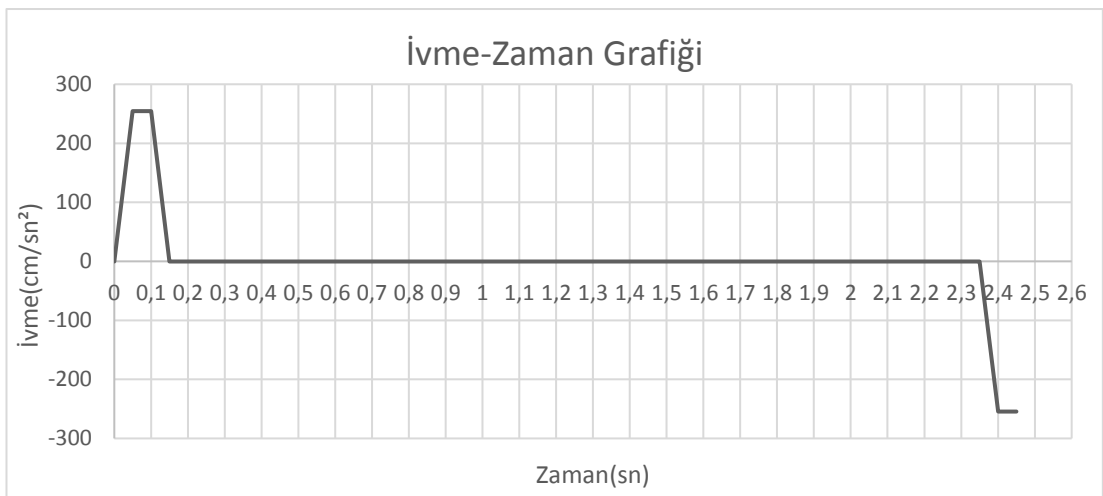
3.Deney: 2.45 saniye Z eksen gidiş süresi



Şekil 5.38: Fırın Gövdesi 3.Deney Konum Zaman Grafiği

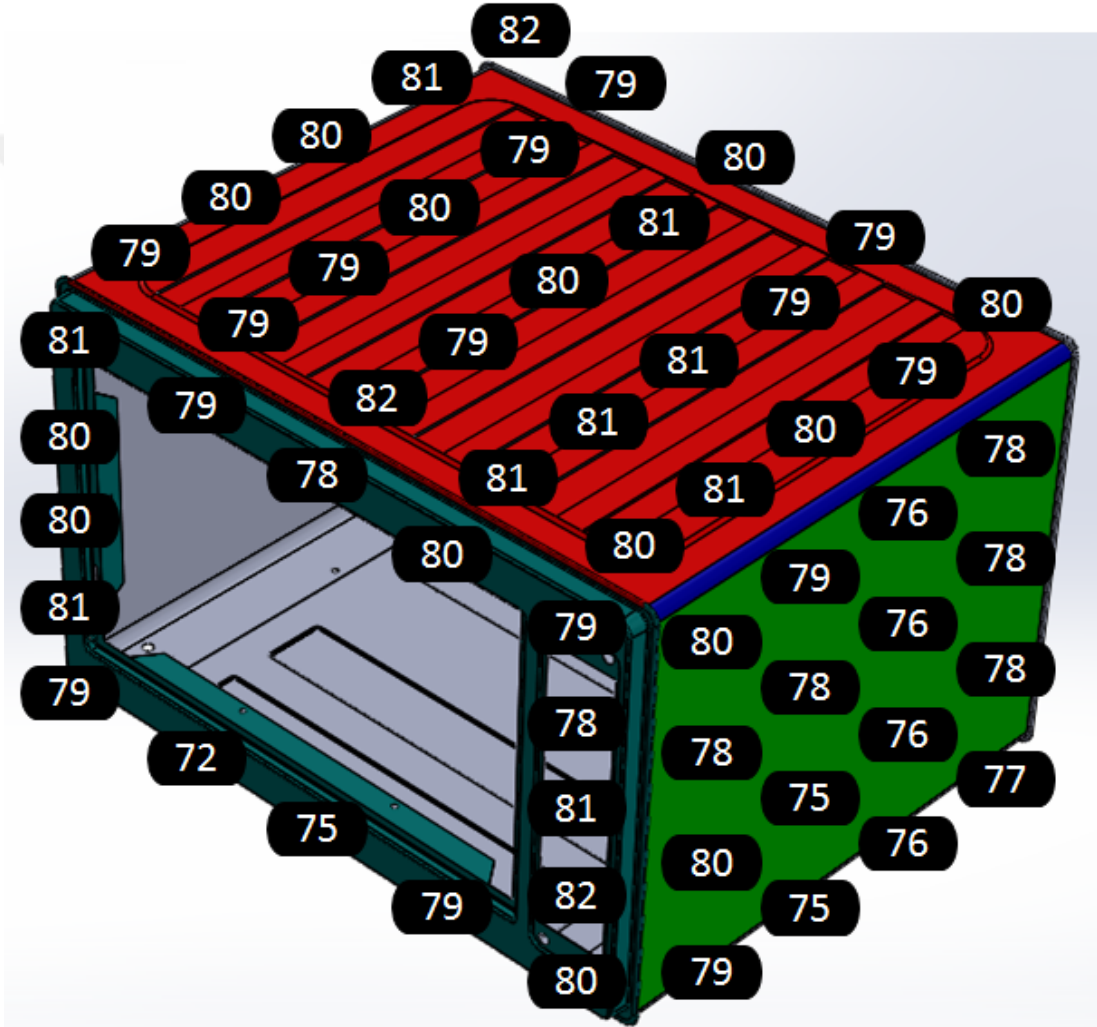


Şekil 5.39: Fırın Gövdesi 3.Deney Hız Zaman Grafiği



Şekil 5.40: Fırın Gövdesi 3.Deney İvme Zaman Grafiği

3.Deneyde kullanılan hız ve ivme değerleri yukarıda gösterilmektedir. Bu ayarlar doğrultusunda üçüncü fırın gövdesi için boyama işlemi yapıp, analiz edilerek sistem geri beslemesi sağlanmıştır. Yapılan deney sonucunda mükemmel yüzey kaplama sonucuna ulaşılmıştır. İşlem süresi olarak robot ucunun tek bir sıralı eklem hareketi için toplam ihtiyaç duyduğu süre 5.5 saniye , tek yönde ise 2.45 saniyedir. Toplam süre biraz daha artmaktadır, ancak kalite mükemmel hale getirilmiştir. 3.deneyde elde edilen boya ölçüm miktarları mikron değeri olarak Şekil 5.41 de verilmektedir:



Şekil 5.41: Fırın Gövdesi 3.Deney Boya Analizi

Şekil 5.41 de görüldüğü üzere boya dağılımı homojen bir şekilde uygulanabilmiştir. Metal gövde üzerinde her noktada boya miktarı 75-90 mikron arası olmalıdır. Bu deney sonucunda istenen verilere ulaşılabilmektedir. Sonrasında ayarlar kayıt altına alınmıştır. Bu yörünge analizi ile ivme-hız değerleri bu sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Boya robotu tasarımı yapılırken fabrikada üretilen her ürün gövdesini boyama kabiliyetine sahip, metal yüzeyin her noktasına aynı mikron kalınlığında boya atabilecek bir sistem ihtiyacı belirlenmişti. Bu doğrultuda tez kapsamında üretilen robot mekanizması 3 boyutlu olarak tasarlandı ve üretime hazır hale getirildi. Sistemde gerekli olan motorlar(servo ve step motorlar), mekanik sistem elemanları(raylar, alüminyum ve demir uzuvlar, kızaklar ve arabalar, körükler, hareketli kablo kanalları, redüktörler vb.) ve elektronik sistem elemanları(elektrik panosu, güç kaynakları, plc ve operatör paneli, motor sürücüleri vb) tedarik edilmiştir. Ayrıca otomatik toz boya corona tipi boya tabancası üretici firmalar ile görüşülerek tedarik edilerek sisteme dahil edilmiştir. Yapılan ilk montajlar ve manüel kumandalama sırasında sistemde titreşimler farkedilmiştir. Bu neticede uzuvlar güçlendirilmiştir ve ilgili sorunlar çözülmüştür. Uzuvları daha doğrusu eksenleri çalıştıran motorlar yapılan hesaplamalar doğrultusunda seçilmiş ve sistem gayet hızlı bir şekilde hareket edebilmiştir. Bu neticede uzuvları çalıştıran motorların yeterli olduğu tesbit edilmiştir. Boya tabancasının bağlı olduğu ve ürün gövdelerinin asıldığı step motorlar yetersiz kalmıştır ve 1/40 oranında planet redüktör ile güçlendirilmiştir. Bütün sistem bir araya getirildiğinde gayet kullanışlı mobil bir robot mekanizması ortaya çıkmıştır. Robot mekanizması X ekseninde 650mm , Y ekseninde 1500mm ve Z ekseninde ise 610mm harekete yeteneğine sahip olmuştur. Bu hareket yeteneği ile fabrikada üretilen bütün ürünler boyanabilmektedir. Yapılan yörünge analizleri ve simülasyonları ile sistemin çalışma şekli belirlenmiştir. Robot mekanizması en kısa mesafe belirlenerek boyanacak ürünün başlangıç noktasına gidebilmektedir. Yapılan matematiksel analizler sayesinde sistem uzuvları ve ilgili tahrik elemanları tasarlanırken sistemin ana kriteri olarak göz önünde tutulmuştur.. Yapılan analiz sonucunda istenilen şartlarda hareketlerin gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Robotun yörünge planlaması ve çalışması robot ucu yani boya tabancasının çalışma presibi yüzünden, yukarıda bahsedilen yaklaşma ve çalışma prensibine göre işlenmektedir. Malzemeye boya atmak için lineer hareketler tercih etmek gerekmektedir. Sistemde kullanılan lineer paslanmaz kızak ve arabalarla bu işlem sessiz ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Robot kolu tasarlanmadan önce hassasiyeti kabul edilebilir bir tasarım düşünölmüştür. Bu amaçla gerçekleştirilen robot kolun istenilen hassasiyette olup olmadığını ölçmek için sabit noktalar belirlenip (sistemin işleme başladığı noktaya dönüşü ve istenilen noktaya gidiş) analiz edilmiştir. Bunun sonucunda robot kolun 2mm'lik bir hassasiyete sahip olduğu gözlenmiştir.

Sistemde kullanılan endüstriyel servo motorlar ve güçlendirilmiş step motorlar robot ve makine endüstrisinde en çok tercih edilen motorlardır. Bu motorlar tez kapsamında amaçlanan hedefleri karşılayan motorlardır. Bu motorlar sessiz ve olabildiğince titreşimsiz çalışan motorlardır. Bu motorlar sistemin hareketlerini kolaylaştırmaktadır. PLC kontrolcüsünden gelen rampalı kalkış ve duruş hareket komutları sayesinde sistemde oluşabilecek titreşimlerin önüne geçilmiştir.

Ana konstruksiyonu oluşturan sigma profiller her ne kadar üretim aşamasında aşırı kolaylık sağlasada, yüksek hızlarda esnemeye ve titreşime sebebiyet verdiğiinden dolayı ileride yapılacak olan 8 adet seri üretim boya robotunda tercih edilmeyecektir. Bunun yerine T tipi demir profiller kullanılacak ve daha sağlam bir yapı oluşturulacaktır. Prototip boya robotu gün içinde çok kullanılan bir mekanizma olmayacağı için bu sistem için bu sağlamlık yeterli görölmüştür. Ayrıca sistemde maliyetten dolayı kullanılan step motorlarda bütçe talebinde bulunup servo motorlara dönüştürülecektir. Bu sayede sistemin x ve z uzvunun açık çevrim çalışmasının önüne geçilmiş olunacaktır. Sistemin tamamı insan faktörü (operatör) kullanılarak kapalı çevrim gibi çalışmaktadır.

Elektrostatik toz boya metal gövdeye 20cm uzaklıktan dik açı ile atıldığı için bir çok hassasiyet probleminde ortadan kaldırmaktadır. Tez kapsamındaki robot kol uygulamasında malzeme ile direk temas yoktur. Havaya atılan elektrirk yükü ile yüklenmiş toz boya zerrecikleri topraklanmış metal gövdeye havada uçarak mıknatıslanma etkisi ile gidip yapışmaktadır. Kullanılan otomatik boya tabancası kontrolcüsü sayesinde de diğer manuel sistemlerdeki gibi boya fazladan havaya atılmamıştır. Sadece malzemenin olduğu noktalara boya atılmıştır. Bu sayede daha az boya kullanılarak homojen bir boyama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Sistemde motorlara binen yükleri azaltmak için hafifliğinden dolayı alüminyum malzemeler kullanılmıştır. Ancak bazı noktalarda alüminyum çelik kadar güçlü

dayanım göstermektedir. Bu sebeple elik değil ama daha kalın alüminyum parçalar tercih edilebilir.

Benzer sistemlerde bu tez kapsamında uygulandığı gibi maliyet düşürmek için step motorlar kullanılmak istenirse, sırf robot kol tasarımları için üretilmiş encoderli step motorlar tercih edilebilir. Ne kadar güçlü step motor tercih edilirse sistem o kadar sorunsuz çalışmaktadır. Ayrıca sistemin dikey ekseninde kullanılan triger kayışının genişliği ne kadar fazla ise o kadar sorunsuz bir sistem elde edilmiş olunacaktır. Başka bir nokta ise mobil sistemlerde kullanılan tekerleklerin kilitleme mekanizmaları ne kadar güçlü ise sistemde oluşacak titremelerde o kadar az olacaktır. Ayrıca motorları güçlendirmek için normal piyasa malı redüktörler ilk olarak tercih edilmiştir. Ucuz ve çok bulunabilir olmalarının yanında çok fazla dezavantajı vardır. Step motorların hızlarına uygun değiller ve çok titreşimli, boşluklu redüktörlerdir. Bunun için step motorları güçlendirmek için planet boşluksuz redüktör tercih edilirse daha kontrol edilebilir bir sistem ortaya çıkarılabilir. Bu tez kapsamında 1 adet 1/20 servo motor için 2 adette 1/40 step motorlar için planet boşluksuz redüktör temin edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1]**Adres-1** < <https://www.isindaylight.com.tr/dekoratif-aydinlatma/elektrostatik-toz-boya-hakkinda-genel-bilgi.html> >, alındığı tarih: 10.02.2019
- [2]**Adres-2** < <https://www.pulver.com.tr/elektrostatik-toz-boya>>, alındığı tarih: 10.02.2019
- [3]**Adres-3** < https://www.berkteknik.com.tr/page/blog_detay/18/elektrostatik-toz-boya-nedir.htm >, alındığı tarih: 11.02.2019
- [4]**Adres-4** < http://www.yenibiryatirim.com/files/listing_dosya_pdf_1416216827795137389.pdf >, alındığı tarih: 11.02.2019
- [5]**Adres-5** < <http://sontinhdienhq.com/khai-niem-day-chuyen-san-xuat-son-tinh-dien.html> >, alındığı tarih: 12.02.2019
- [6]**Adres-6** < <http://renkkimya.com.tr/elbosan.asp>>, alındığı tarih: 12.02.2019
- [7]**Adres-7** <<https://colourspray.en.made-in-china.com/product/ESonDRgvgrkX/China-Ce-Automatic-Powder-Coating-Spray-Gun-with-Reciprocator-for-Frame-and-Furniture-Powder-Spraying.html> >, alındığı tarih: 15.02.2019
- [8]**Adres-8** < <http://www.tcipowdercoatings.com/2015/09/> >, alındığı tarih: 18.02.2019
- [9]**Adres-9** <http://www.boymak.com.tr/tr/elektrostatik_toz_boya_tesisler/tribo-automatic.html# >, alındığı tarih: 25.02.2019
- [10]**Adres-10** < http://www.tozboyatesisleri.com/galeri_1_7.htm >, alındığı tarih: 05.03.2019
- [11]**Adres-11** < <http://boothzombiepic.blogspot.com/2013/08/paint-booth-exhaust-filters.html> >, alındığı tarih: 09.03.2019
- [12]**Adres-12** < <http://www.krmmachine.com/ar/toz-boya-sistemleri/> >, alındığı tarih: 14.03.2019
- [13]**Adres-13** < <http://www.akozgrup.com/tozboya.html> >, alındığı tarih: 20.03.2019
- [14]**Adres-14** < <http://www.elektrik.gen.tr/2015/08/robot-sistemlerin-kontrolu-ve-olusan-konum-hatalarinin-analizi/372> >, alındığı tarih:03.04.2019
- [15]**Bayraktaroğlu Z.Y.** (2018). Robot Teknolojisine Giriş Nobel Akademik Yayıncılık.

- [16]**Sciavico, L., Siciliano, B.**, "Modeling and control of robot manipulators", The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 11-26 (1996)
- [17]**Adres-15** < <https://urun.makinatorkiye.com/plc-kontrollu-toz-boyama-robotu-strong-3000-s-tbr-001-p-99436> > , alındığı tarih:10.05.2019
- [18]**Adres-16** < <https://www.rippert.de/en/automation/wet-paint-coating-with-industrial-robots/> > , alındığı tarih:18.05.2019
- [19] Asel A.Ş. Fabrika Boyahanesi.
- [20]**Adres-17** <<http://akademik.duzce.edu.tr/Content/Dokumanlar/sabriuzuner/Dosya/c07a65de-067a-4c10-966a-5a6018e61911.pdf> > , alındığı tarih:30.05.2019
- [21]**Karyot T. B.** (2010). Robotiğe Giriş Ders Notları.
- [22]**Adres-18** <http://www2.omu.edu.tr/akademik_birimler/muhendislik/elektr> , alındığı tarih: 10.06.2020.
- [23]**Bingül Z. Ve Küçük S.** (2005). *Robot Tekniği*. Birsen Yayınevi.
- [24]**Adres-19** < <https://www.sahinrulman.com> > , alındığı tarih:10.11.2020
- [25]**Adres-20** < <https://minitechcnc.com/mini-mill-300/> > , alındığı tarih:15.11.2020
- [26]**Adres-21** < <http://ia.delta-turkey.com/> > , alındığı tarih:10.11.2020
- [27]**Adres-22**< [https://tr.aliexpress.com/item/32855157196.html?aff_platform=api-new-product detail&aff_trace_key=cb3195a9282247d4b0a05e 498bc21878-1609691643799-05951&terminal_id=e7c930551bc841 7481e9c5c581075c83&tmLog=new_Detail](https://tr.aliexpress.com/item/32855157196.html?aff_platform=api-new-product%20detail&aff_trace_key=cb3195a9282247d4b0a05e498bc21878-1609691643799-05951&terminal_id=e7c930551bc8417481e9c5c581075c83&tmLog=new_Detail) > , alındığı tarih: 18.11.2020
- [28]**Adres-23**< <https://www.teknik-bilgiler.com/makine-elemanlari/Kay%C4%B1%C5%9F-Kasnak-Sistemleri%2C-Kay%C4%B1%C5%9F-Kasnak-Nedir%3F> > , alındığı tarih: 22.11.2020
- [29]**Adres-24**< <https://www.emosgroup.com.tr/emos-urunler/elektronik> > , alındığı tarih: 05.12.2020
- [30]**Adres-25**< <https://www.elektroteknoloji.com> > , alındığı tarih: 07.12.2020
- [31]**Adres-26**< https://tr.aliexpress.com/item/1005001278858018.html?spm=a2g0o.search0302.0.0.59a25829wsviNS&algo_pvid=e66c1427-e715-40d5-a9f1-3d5df3b3cb87&algo_expvid=e66c1427-e715-40d5-a9f1-3d5df3b3cb87-

7&btsid=0bb0624116096928642848166ead19&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_ > , alındığı tarih: 09.12.2020

[32]**Adres-27**< <https://rayhaber.com/2013/01/aluminyum-sigma-profil-ozellikleri-nelerdir/> > , alındığı tarih: 12.12.2020

[33]**Adres-28**< <http://www.neopro.org/iletisim.asp> > , alındığı tarih: 15.12.2020

[34]**Adres-29**< <https://www.idasotomasyon.com/plc-nedir/> > , alındığı tarih: 17.12.2020

[35]**Adres-30**< <http://kareltechnik.com/tr/hareketli-kablo-kanali/> > , alındığı tarih: 19.12.2020

[36]**Adres-31**<<https://slideplayer.biz.tr/slide/3373478/>> , alındığı tarih: 22.12.2020

[37]**Adres-32** Kumar, V, “**Cartesian Trajectory Planning for Robot Manipulators**”, University of Pennsylvania, School of Engineering and Applied Science Department of Mechanical Engineering. <http://www.seas.upenn.edu/~meam520/notes02/CartesianControl10.pdf>, (2006)

[38]**Tonbul**, T. S, Sarıtas, M, “**Bes Eksenli Bir Edubot Robot Kolunda Ters kinematik Hesaplamalar Ve Yörünge Planlaması**”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 16-59, 2003

EKLER

EK A.1: ECMA Serisi Servo Motor Kullanma Klavuzu

EK A.2: Nema 23 1.4Nm Step Motor Kullanma Klavuzu

EK A.3: Nema 23 2.2Nm Step Motor Kullanma Klavuzu

EK A.4: Nema 24 3.1Nm Step Motor Kullanma Klavuzu

EK A.5: SHN 15B Araba Kullanma Klavuzu

EK A.6: SHN 20A Araba Kullanma Klavuzu

EK B.1: Delta DVP 14SA2 PLC Kullanma Klavuzu

EK B.2: Delta DOP-B07E411 HMI Kullanma Klavuzu

EK B.3: Delta Asd-B2 Servo Motor Sürücüsü Kullanma Klavuzu

EK B.4: Proface Corona Boya Tabancası Sürücüsü Kullanma Klavuzu

EK B.5: Nema Step Motor Kullanma Klavuzu

EK B.6: Autonics PRD12-4DP Endüktif Sensör Kullanma Klavuzu

EK B.7: Omron S8FS-G30024C Güç Kaynağı Kullanma Klavuzu




EK A.1

11.2 Specifications of Servo Motor (ECMA Series)

Low Inertia Servo Motor

Model: ECMA Series	C204		C206		C208		C209		C210	
	01	02	04	04	07	07	10	10	20	
Rated output power (kW)	0.1	0.2	0.4	0.4	0.75	0.75	1.0	1.0	2.0	
Rated torque (N-m) ^{*)}	0.32	0.64	1.27	1.27	2.39	2.38	3.18	3.18	6.37	
Maximum torque (N-m)	0.96	1.92	3.82	3.82	7.16	7.14	8.78	9.54	19.11	
Rated speed (r/min)	3000									
Maximum speed (r/min)	5000				3000			5000		
Rated current (A)	0.90	1.55	2.60	2.60	5.10	3.66	4.25	7.30	12.05	
Maximum current (A)	2.70	4.65	7.80	7.74	15.3	11	12.37	21.9	36.15	
Power rating (kW/s) (without brake)	27.7	22.4	57.6	22.1	48.4	29.6	38.6	38.1	90.6	
Rotor moment of inertia ($\times 10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^2$) (without brake)	0.037	0.177	0.277	0.68	1.13	1.93	2.62	2.65	4.45	
Mechanical time constant (ms) (without brake)	0.75	0.80	0.53	0.73	0.62	1.72	1.20	0.74	0.61	
Torque constant-KT (N-m/A)	0.36	0.41	0.49	0.49	0.47	0.65	0.75	0.43	0.53	
Voltage constant-KE (mV/(r/min))	13.6	16.0	17.4	18.5	17.2	27.5	24.2	16.8	19.2	
Armature resistance (Ohm)	9.30	2.79	1.55	0.93	0.42	1.34	0.897	0.20	0.13	
Armature inductance (mH)	24.0	12.07	6.71	7.39	3.53	7.55	5.7	1.81	1.50	
Electrical time constant (ms)	2.58	4.30	4.30	7.96	8.36	5.66	6.35	9.30	11.4	
Insulation class	Class A (UL), Class B (CE)									
Insulation resistance	>100M Ω , DC 500V									
Insulation strength	1500V AC, 60 seconds									
Weight (kg) (without brake)	0.5	1.2	1.6	2.1	3.0	2.9	3.8	4.3	6.2	
Weight (kg) (with brake)	0.8	1.5	2.0	2.9	3.8	3.69	5.5	4.7	7.2	
Max. radial shaft load (N)	78.4	196	196	245	245	245	245	490	490	
Max. thrust shaft load (N)	39.2	68	68	98	98	98	98	98	98	
Power rating (kW/s) (with brake)	25.6	21.3	53.8	22.1	48.4	29.3	37.9	30.4	82.0	
Rotor moment of inertia ($\times 10^{-4}\text{kg}\cdot\text{m}^2$) (with brake)	0.04	0.192	0.30	0.73	1.18	1.95	2.67	3.33	4.95	
Mechanical time constant (ms) (with brake)	0.81	0.85	0.57	0.78	0.65	1.74	1.22	0.93	0.66	
Brake holding torque [Nt-m (min)]	0.3	1.3	1.3	2.5	2.5	2.5	2.5	8.0	8.0	
Brake power consumption (at 20°C) [W]	7.2	6.5	6.5	8.2	8.2	8.2	8.2	18.5	18.5	

Model: ECMA Series	C204		C206		C208		C209		C210	
	01	02	04	04	07	07	10	10	20	
Brake release time [ms (Max)]	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Brake pull-in time [ms (Max)]	25	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Vibration grade (um)	15									
Operating temperature	0 ~ 40°C									
Storage temperature	-10 ~ 80°C									
Operating humidity	20% to 90% RH (non-condensing)									
Storage humidity	20% to 90% RH (non-condensing)									
Vibration capacity	2.5G									
IP rating	IP65 (when waterproof connectors are used, or when an oil seal is used to be fitted to the rotating shaft (an oil seal model is used))									
Approvals										

Footnote:

*1 Rate torque values are continuous permissible values at 0~40°C ambient temperature when attaching with the sizes of heatsinks listed below:

ECMA-__04 / 06 / 08 : 250mm x 250mm x 6mm

ECMA-__10 : 300mm x 300mm x 12mm

ECMA-__13 : 400mm x 400mm x 20mm

ECMA-__18 : 550mm x 550mm x 30mm

Material type : Aluminum - F40, F60, F80, F100, F130, F180


*2 For the specifications of the motors with rotary magnetic encoders, please refer to the specifications of the corresponding standard models.

 **NOTE**

1) Please refer to Section 1.2 for details about the model explanation.

Medium / High Inertia Servo Motor

Model: ECMA Series	E213				E218		F218	G213		
	05	10	15	20	20	30	30	03	06	09
Rated output power (kW)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.0	3.0	3.0	0.3	0.6	0.9
Rated torque (N-m) ^{*1}	2.39	4.77	7.16	9.55	9.55	14.32	19.10	2.86	5.73	8.59
Maximum torque (N-m)	7.16	14.32	21.48	28.65	28.65	42.97	57.29	8.59	17.19	21.48
Rated speed (r/min)	2000						1500	1000		
Maximum speed (r/min)	3000						2000			
Rated current (A)	2.9	5.6	8.3	11.01	11.22	16.1	19.4	2.5	4.8	7.5
Maximum current (A)	8.7	16.8	24.81	33.0	33.66	48.3	58.2	7.44	14.49	22.5
Power rating (kW/s) (without brake)	7.0	27.1	45.9	62.5	26.3	37.3	66.4	10.0	39.0	66.0
Rotor moment of inertia (× 10 ⁻⁴ kg.m ²)	8.17	8.41	11.18	14.59	34.68	54.95	54.95	8.17	8.41	11.18
Mechanical time constant (ms)	1.91	1.51	1.11	0.96	1.62	1.06	1.28	1.84	1.40	1.07
Torque constant-KT (N-m/A)	0.83	0.85	0.87	0.87	0.85	0.89	0.98	1.15	1.19	1.15
Voltage constant-KE (mV/(r/min))	30.9	31.9	31.8	31.8	31.4	32.0	35.0	42.5	43.8	41.6
Armature resistance (Ohm)	0.57	0.47	0.26	0.174	0.119	0.052	0.077	1.06	0.82	0.43
Armature inductance (mH)	7.39	5.99	4.01	2.76	2.84	1.38	1.27	14.29	11.12	6.97
Electrical time constant (ms)	12.96	12.88	15.31	15.86	23.87	26.39	16.51	13.55	13.55	16.06
Insulation class	Class A (UL), Class B (CE)									
Insulation resistance	>100MΩ, DC 500V									
Insulation strength	AC 1500V, 60 sec									
Weight (kg) (without brake)	6.8	7.0	7.5	7.8	13.5	18.5	18.5	6.8	7.0	7.5
Weight (kg) (with brake)	8.2	8.4	8.9	9.2	17.5	22.5	22.5	8.2	8.4	8.9
Max. radial shaft load (N)	490	490	490	490	1176	1470	1470	490	490	490
Max. thrust shaft load (N)	98	98	98	98	490	490	490	98	98	98
Power rating (kW/s) (with brake)	6.4	24.9	43.1	59.7	24.1	35.9	63.9	9.2	35.9	62.1
Rotor moment of inertia (× 10 ⁻⁴ kg.m ²) (with brake)	8.94	9.14	11.90	15.88	37.86	57.06	57.06	8.94	9.14	11.9
Mechanical time constant (ms) (with brake)	2.07	1.64	1.19	1.05	1.77	1.10	1.33	2.0	1.51	1.13
Brake holding torque [Nt-m (min)]	10.0	10.0	10.0	10.0	25.0	25.0	25.0	10.0	10.0	10.0
Brake power consumption (at 20°C) [W]	19.0	19.0	19.0	19.0	20.4	20.4	20.4	19.0	19.0	19.0

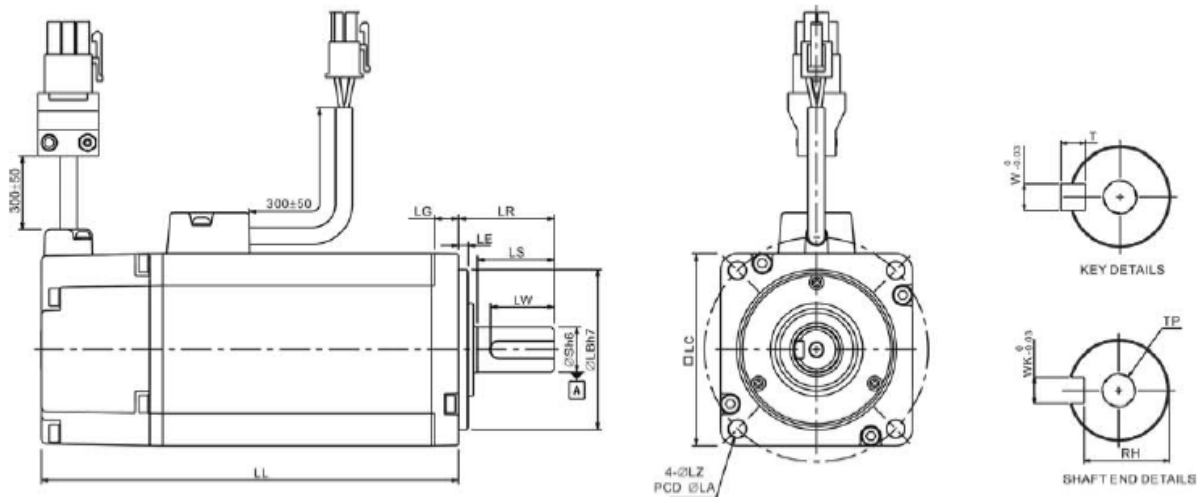
Model: ECMA Series	E213				E218		F218	G213		
	05	10	15	20	20	30	30	03	06	09
Brake release time [ms (Max)]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Brake pull-in time [ms (Max)]	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Vibration grade (um)	15									
Operating temperature	0 ~ 40°C									
Storage temperature	-10 ~ 80°C									
Operating humidity	20% to 90% RH (non-condensing)									
Storage humidity	20% to 90% RH (non-condensing)									
Vibration capacity	2.5G									
IP rating	IP65 (when waterproof connectors are used, or when an oil seal is used to be fitted to the rotating shaft (an oil seal model is used))									
Approvals										

Footnote:

- *1 Rate torque values are continuous permissible values at 0~40°C ambient temperature when attaching with the sizes of heatsinks listed below:
 ECMA-__04 / 06 / 08 : 250mm x 250mm x 6mm
 ECMA-__10 : 300mm x 300mm x 12mm
 ECMA-__13 : 400mm x 400mm x 20mm
 ECMA-__18 : 550mm x 550mm x 30mm
 Material type : Aluminum – F40, F60, F80, F100, F130, F180
- *2 For the specifications of the motors with rotary magnetic encoders, please refer to the specifications of the corresponding standard models.

 **NOTE**

-
- 1) Please refer to Section 1.2 for details about the model explanation.¹

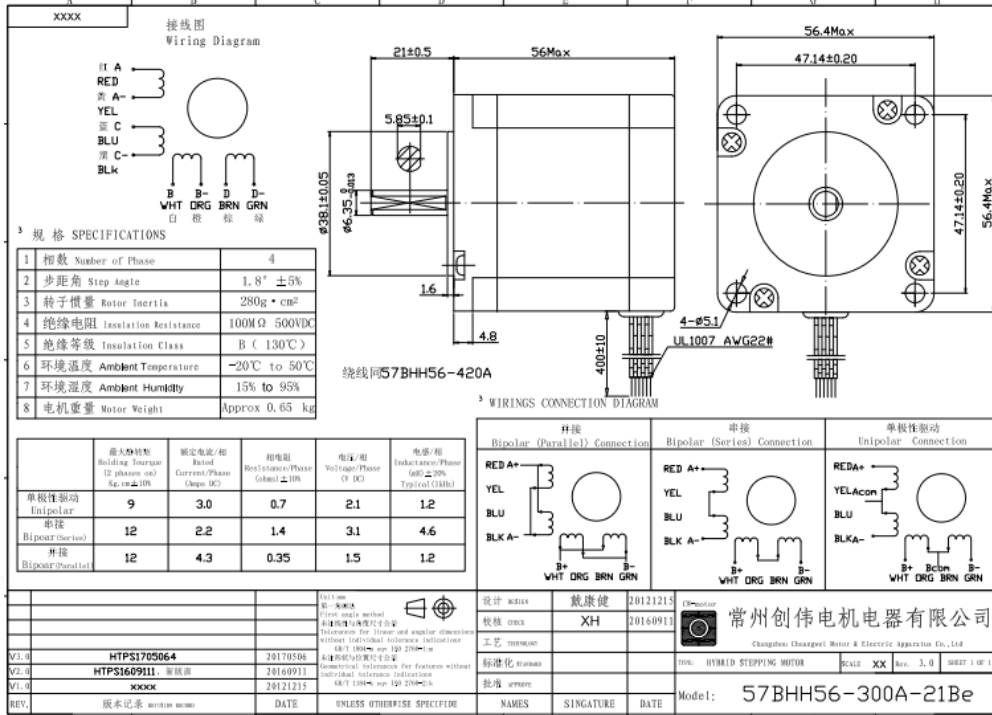


Model	C20401□S	C20602□S	C20604□S	C20804□S	C20807□S	C20907□S	C20910□S
LC	40	60	60	80	80	86	86
LZ	4.5	5.5	5.5	6.6	6.6	6.6	6.6
LA	46	70	70	90	90	100	100
S	8 $^{+0}_{-0.009}$	14 $^{+0}_{-0.011}$	14 $^{+0}_{-0.011}$	14 $^{+0}_{-0.011}$	19 $^{+0}_{-0.013}$	16 $^{+0}_{-0.011}$	16 $^{+0}_{-0.011}$
LB	30 $^{+0}_{-0.021}$	50 $^{+0}_{-0.025}$	50 $^{+0}_{-0.025}$	70 $^{+0}_{-0.030}$	70 $^{+0}_{-0.030}$	80 $^{+0}_{-0.030}$	80 $^{+0}_{-0.030}$
LL (without brake)	100.6	105.5	130.7	112.3	138.3	130.2	153.2
LL (with brake)	136.6	141.6	166.8	152.8	178	161.3	184.3
LS (without oil seal)	20	27	27	27	32	30	30
LS (with oil seal)	20	24	24	24.5	29.5	30	30
LR	25	30	30	30	35	35	35
LE	2.5	3	3	3	3	3	3
LG	5	7.5	7.5	8	8	8	8
LW	16	20	20	20	25	20	20
RH	6.2	11	11	11	15.5	13	13
WK	3	5	5	5	6	5	5
W	3	5	5	5	6	5	5
T	3	5	5	5	6	5	5
TP	M3 Depth 8	M4 Depth 15	M4 Depth 15	M4 Depth 15	M6 Depth 20	M5 Depth 15	M5 Depth 15

NOTE

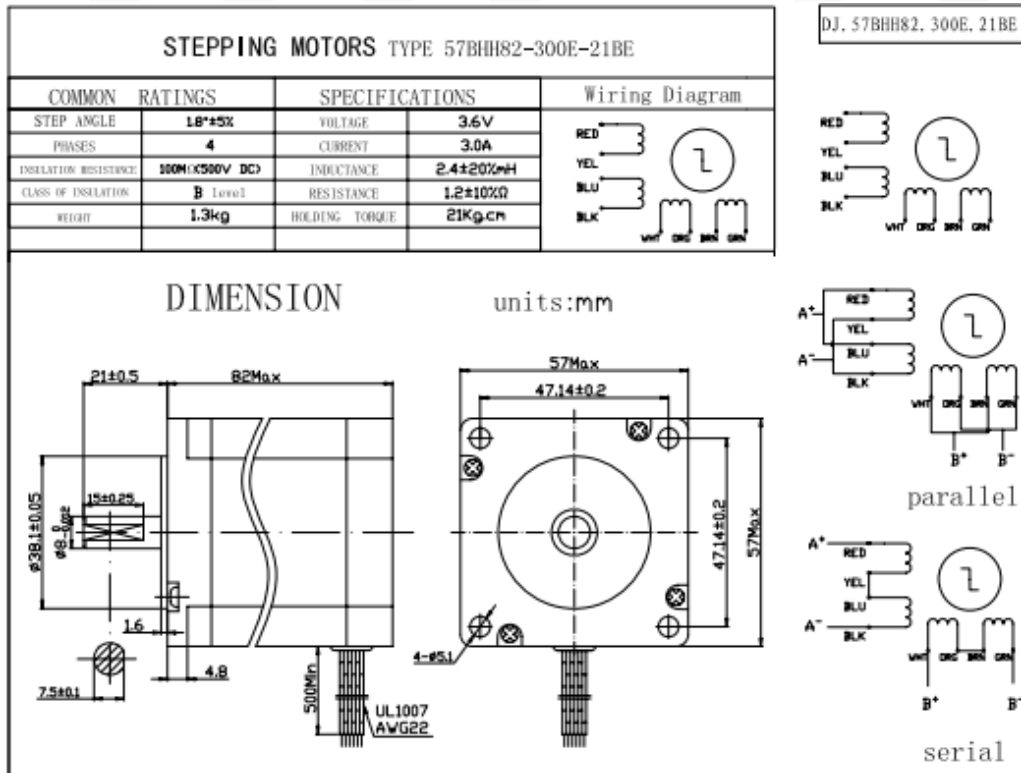
- 1) Dimensions are in millimeters.
- 2) Dimensions and weights of the servo motor may be revised without prior notice.
- 3) The boxes (□) in the model names are for optional configurations. (Please refer to section 1.2 for model explanation.)
- 4) Except ECMA-CM0604PS LL: 116.2mm, for the specifications of the motors with rotary magnetic encoders, please refer to the specifications of the corresponding standard models.

EK A.2



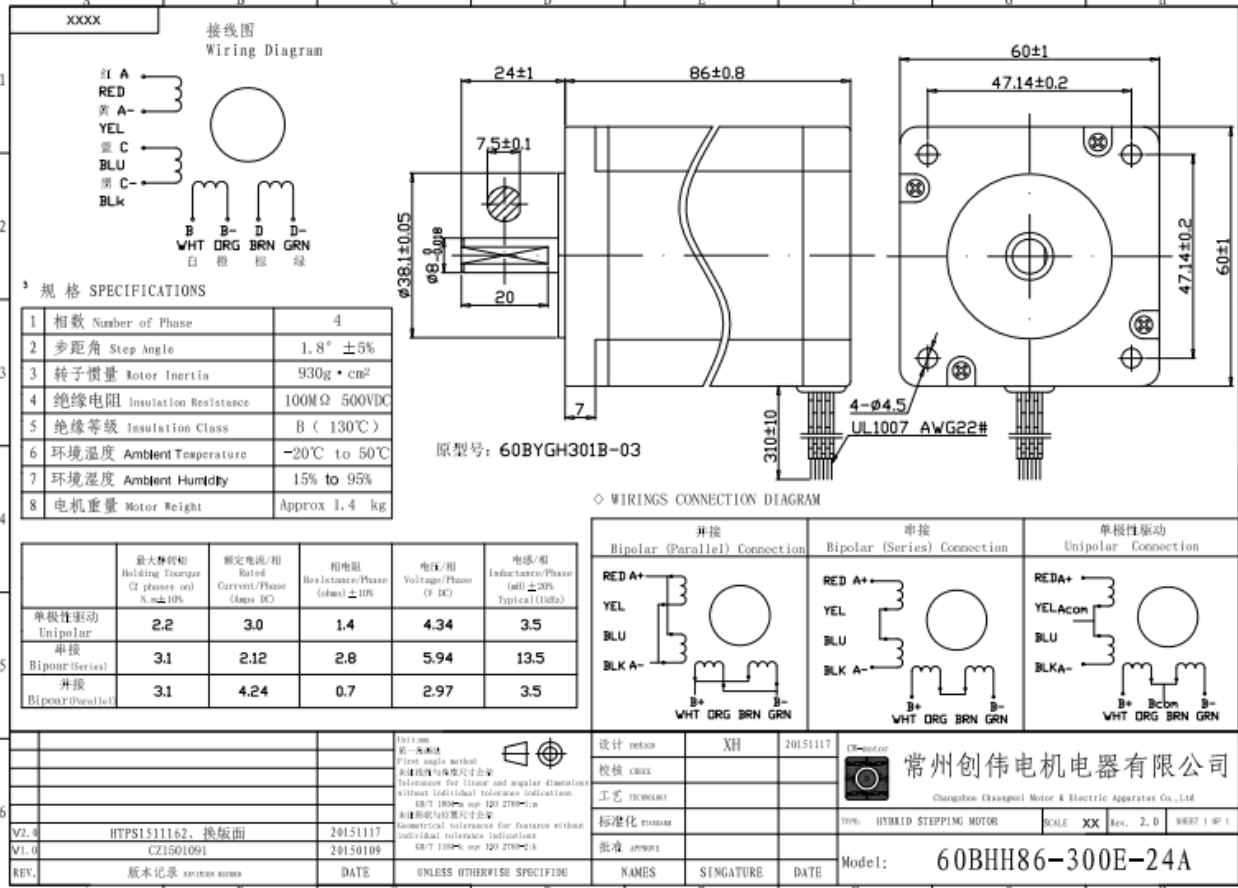
Şekil A.2: Nema 23 1.4Nm Step Motor Kullanma Klavuzu

EK A.3



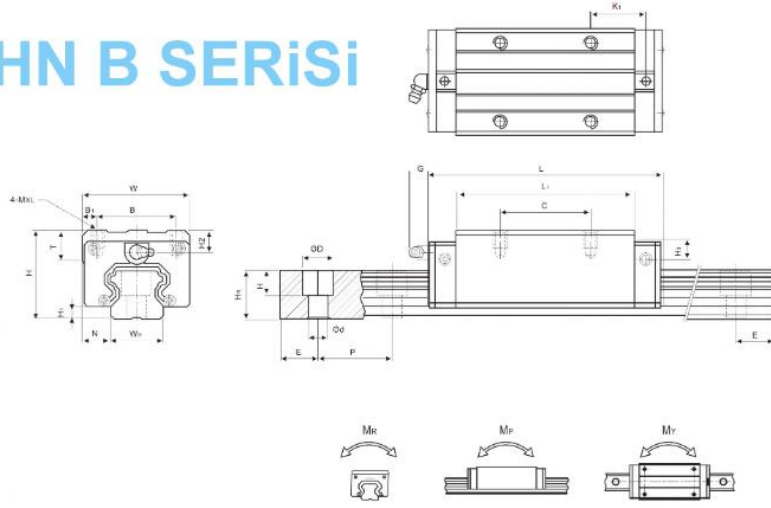
Şekil A.3: Nema 23 2.2Nm Step Motor Kullanma Klavuzu

EK A.4



Şekil A.4: Nema 24 3.1Nm Step Motor Kullanma Klavuzu

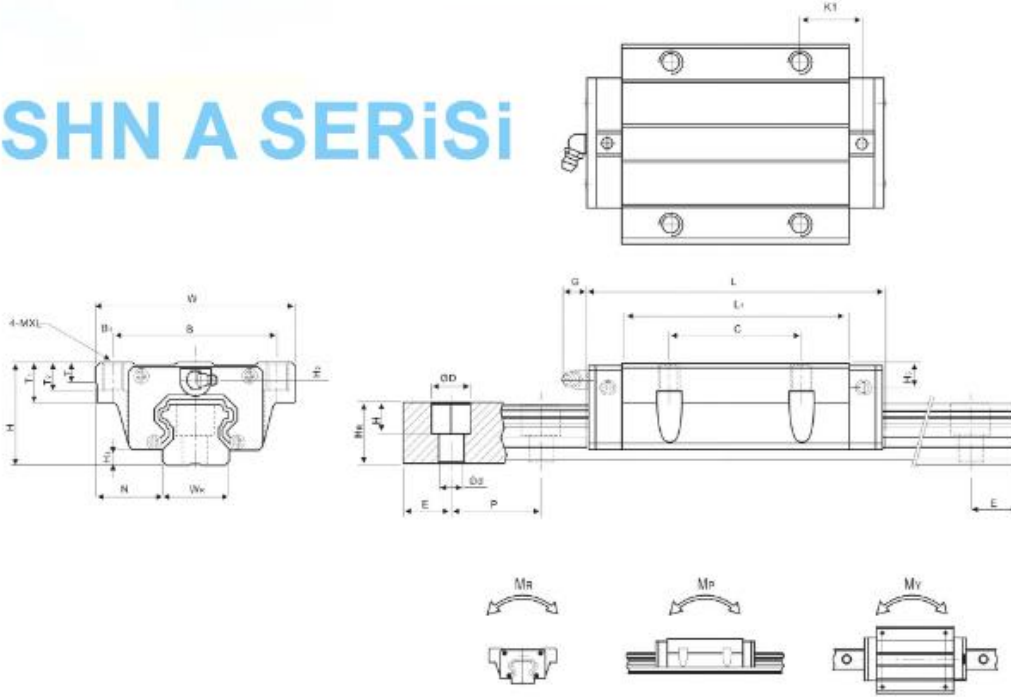
SHN B SERİSİ



URUN KODU	(mm)				(mm)														(mm)											
	H	H1	N	W	B	C	L1	L	K1	G	4-MxL	T2	H2	H3	W1	H1	D	h	d	P	E	(mm)	C(KN)	Co(KN)	MR	MP	MY	kg	kg/m	
SHN 15 B	28	4.3	9.5	34	26	4	26	39.4	61.4	10	5.3	M4x5	6	7.95	7.7	15	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4x16	11.38	25.31	0.17	0.15	0.15	0.18	1.45
EMN: 95 g																														

Şekil A.5: SHN 15B Araba Kullanma Klavuzu

SHN A SERİSİ



ÜRÜN KODU	(mm)			(mm)										(mm)			C(KN)	Co(KN)	Mr kN-m	Mp kN-m	Mv kN-m	kg	kg/m									
	H	Hh	N	W	B	B1	C	L1	L	K1	G	M	T	T1	T2	Hc								40L	Wr	Hk	D	h	d	P	E	
SHN 15 A	24	4.3	16	47	38	4.5	30	38.4	61.4	8	5.3	M5	6	8.9	6.95	3.95	3.7	15	7.5	5.3	4.5	60	20	M4x16	11.38	25.31	0.17	0.15	0.15	0.18	1.45	
SHN 20 A	30	4.6	21.5	63	53	5	40	50.5	77.5	12.25	12	M6	8	10	9.5	6	7	20	17.5	9.5	8.5	6	60	20	M5x16	17.75	37.84	0.38	0.27	0.27	0.40	2.21
SHN 20 AI	30	4.6	21.5	63	53	5	40	50.5	77.5	12.25	12	M6	8	10	9.5	6	7	20	17.5	9.5	8.5	6	60	20	M5x16	17.75	37.84	0.38	0.27	0.27	0.40	2.21

Şekil A.6: SHN 20A Araba Kullanma Klavuzu

■ Electrical Specifications

Item \ Model	DVP12SA211R	DVP12SA211T
Power supply voltage	24 VDC (-15 to 20%) (with counter-connection protection on the polarity of DC input power) DVPPS01/PS02: input 100 to 240 VAC, output 24 VDC/1A (PS02: 2A)	
Connector	European standard removable terminal block (Pin pitch: 3.5mm)	
Operation	Maximum power loss time is 10ms or less.	
Inrush current	Max. 7.5 A@24 VDC, I ² t = 0.25 A ² S	
Fuse capacity	2.5 A/30 VDC, Polyswitch	
Power consumption	1.8 W	1.5 W
Power protection	With counter-connection protection on the polarity of DC input power	
Insulation resistance	> 5 MΩ (all I/O point-to-ground: 500 VDC)	
Noise immunity	ESD (IEC 61131-2, IEC 61000-4-2): 8kV Air Discharge EFT (IEC 61131-2, IEC 61000-4-4): Power Line: 2kV, Digital I/O: 1kV, Analog & Communication I/O: 1kV RS (IEC 61131-2, IEC 61000-4-3): 26MHz ~ 1GHz, 10V/m	
Grounding	The diameter of grounding wire cannot be smaller than the wire diameter of terminals L and N (All DVP units should be grounded directly to the ground pole).	
Operation / storage	Operation: 0 to 55°C (temp.), 50 to 95% (humidity), Pollution degree 2 Storage: -25 to 70°C (temp.), 5 to 95% (humidity)	
Vibration / shock resistance	International standards: IEC61131-2, IEC 68-2-6 (TEST Fc)/IEC61131-2 & IEC 68-2-27 (TEST Ea)	
Weight (g)	140g	131g

Spec. \ Items		Input Points	
		24 VDC (-15 to 20%) single common port input	
Input No.	X0 to X2	X3 to X7	
Input type	DC (SINK or SOURCE)		
Input current (±10%)	24 VDC, 5 mA		
Input impedance	4.7 kΩ		
Max. frequency	100 kHz	10 kHz	
Action level	Off → On	> 15 VDC	
	On → Off	< 5 VDC	
Response time	Off → On	< 2.5 μs	< 20 μs
	On → Off	< 5 μs	< 50 μs
Filter time	Adjustable within 0 ~ 20ms by D1020 (Default: 10ms)		

Spec. \ Items		Output Points		
		Relay	Transistor	
Output No.	Y0 to Y3	Y0, Y2	Y1, Y3	
Max. frequency	1 Hz	100 kHz	10 kHz	
Working voltage	250 VAC, < 30 VDC	5 to 30 VDC #1		
Max. load	Resistive	1.5 A/1 point (5 A/COM)	0.5 A/1 point (2 A/COM)	
	Inductive	#2	15 W (30 VDC)	
	Lamp	20 WDC/100 WAC	2.5 W (30 VDC)	
Response time	Off → On	Approx. 10 ms	2 μs #3	20 μs #3
	On → Off		3 μs #3	30 μs #3

#1: UP, ZP must work with external auxiliary power supply 24 VDC (-15 to +20%), rated consumption approx. 1mA/point.

I/O Configuration(Load 0.5A)

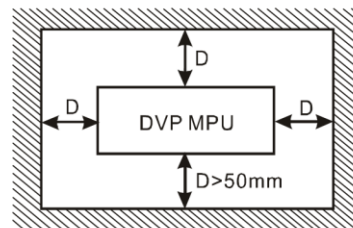
Model	Input		Output		I/O Configuration	
	Point	Type	Point	Type	Relay	Transistor
DVP 12SA211R	8	DC (Sink Or Source)	4	Relay	S/S	S/S
DVP 12SA211T					X0	X0
	X1	X1				
	X2	X2				
	X3	X3				
	X4	X4				
	X5	X5				
	X6	X6				
	X7	X7				
				Transistor	Y0	Y0
					Y1	Y1
					Y2	Y2
					Y3	Y3
					UP	UP
					ZP	ZP
					SG	SG
					COM3+	COM3+
				COM3-	COM3-	

Note: The layout of output terminals on DVP-SA2 is different from that on DVP-SA.

■ Dimension & Installation

Please install the PLC in an enclosure with sufficient space around it to allow heat dissipation, See [Figure 3].

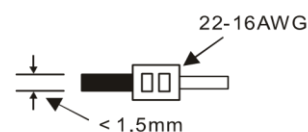
- **Direct Mounting:** Use M4 screw according to the dimension of the product.
- **DIN Rail Mounting:** When mounting the PLC to 35mm DIN rail, be sure to use the retaining clip to stop any side-to-side movement of the PLC and reduce the chance of wires being loose. The retaining clip is at the bottom of the PLC. To secure the PLC to DIN rail, pull down the clip, place it onto the rail and gently push it up. To remove the PLC, pull the retaining clip down with a flat screwdriver and gently remove the PLC from DIN rail.



[Figure 3]

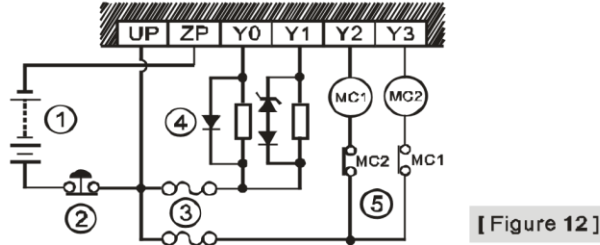
■ Wiring

1. Use 22-16AWG (1.5mm) single or multiple core wire on I/O wiring terminals. See the figure in the right hand side for its specification. PLC terminal screws should be tightened to 1.90 kg-cm (1.65 in-lbs) and please use only 60/75°C copper conductor.
2. DO NOT wire empty terminal. DO NOT place the I/O signal cable in the same wiring circuit.

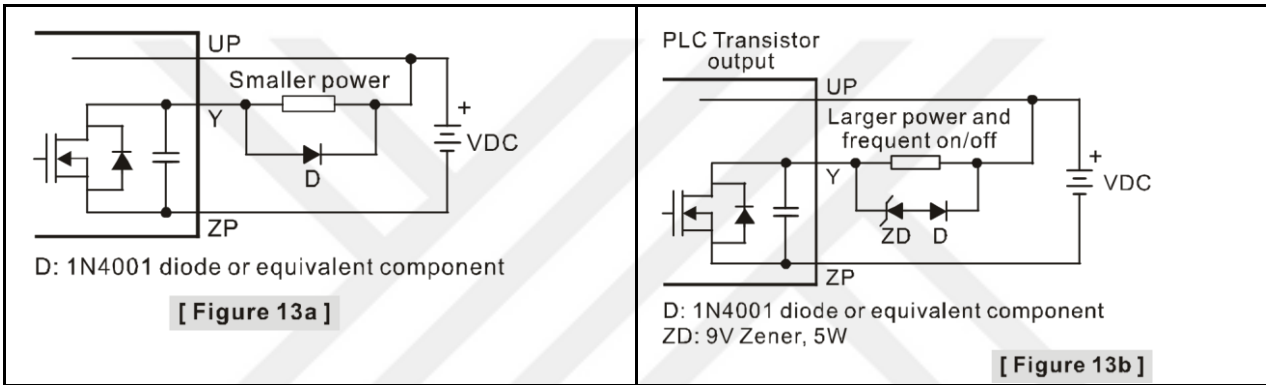


- ③ Fuse: 5 to 10A fuse at the shared terminal of output contacts to protect the output circuit
- ④ Transient voltage suppressor (SB360 3A 60V): Extends the life span of contact.
 - 1. Diode suppression of DC load: Used when in smaller power [Figure 10a]
 - 2. Diode + Zener suppression of DC load: Used when in larger power and frequent On/Off [Figure 10b]
- ⑤ Incandescent light (resistive load)
- ⑥ Absorber: Reduces the interference on AC load [Figure 11]

• **Transistor (T) output circuit wiring**



[Figure 12]



[Figure 13a]

[Figure 13b]

- ① DC power supply
- ② Emergency stop
- ③ Circuit protection fuse
- ④ The output of the transistor model is “open collector”. If Y0/Y1 is set to pulse output, the output current has to be bigger than 0.1 A to ensure normal operation of the model.
 - 1. Diode suppression: Used when in smaller power [Figure 13a]
 - 2. Diode + Zener suppression: Used when in larger power and frequent On/Off [Figure 13b]
- ⑤ Manually exclusive output: For example, Y2 and Y3 control the forward running and reverse running of the motor, forming an interlock for the external circuit, together with the PLC internal program, to ensure safe protection in case of any unexpected errors.

◆ **RS-485 Wiring**

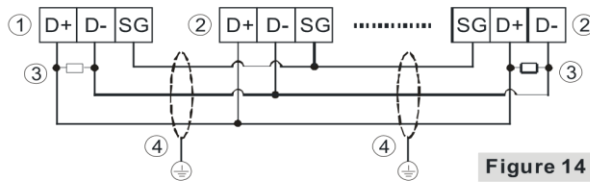


Figure 14

- ① Master node
- ② Slave node
- ③ Terminal resistor
- ④ Shielded cable

Note:

1. Terminal resistors are suggested to be connected to master and the last slave with resistor value of 120Ω.
2. To ensure communication quality, please apply double shielded twisted pair cable (20AWG) for wiring.

■ **Precision of the RTC (Second/Month)**

Temperature (°C/°F)	0/32	25/77	55/131
Maximum error (Second)	-117	52	-132

Duration in which the RTC is latched: One week



DOP-B07 High Color • Wide Screen • User-Friendly HMI Products

B07S(E)411 / B07S411K / B07S401K

Instruction Sheet

(1) Preface

Thank you for purchasing DELTA's DOP-B series. This instruction sheet will be helpful in the installation, wiring and inspection of Delta HMI. Before using the product, please read this instruction sheet to ensure correct use. You should thoroughly understand all safety precautions before proceeding with the installation, wiring and operation. Place this instruction sheet in a safe location for future reference. Please observe the following precautions:

- Install the product in a clean and dry location free from corrosive and inflammable gases or liquids.
- Ensure that all wiring instructions and recommendations are followed.
- Ensure that HMI is correctly connected to a ground. The grounding method must comply with the electrical standard of the country (Please refer to NFPA 70: National Electrical Code, 2005 Ed.).
- Do not disassemble HMI, modify or remove wiring when power is applied to HMI.
- Do not touch the power supply during operation. Otherwise, it may cause electric shock.

If you have any questions during operation, please contact our local distributors or Delta sales representatives.

The content of this instruction sheet may be revised without prior notice. Please consult our distributors or download the most updated version at <http://www.delta.com.tw/ia>

(2) Pin Definition of Serial Communication

DOP-B07S(E)411 / DOP-B07S411K / DOP-B07S401K COM1 Port

COM Port	PIN	MODE1
PIN1	1	RS-232
	2	RXD
	3	TXD
	4	
	5	GND
	6	
	7	RTS
	8	CTS
	9	

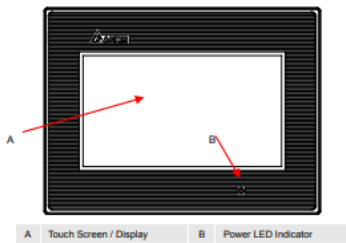
DOP-B07S(E)411 / DOP-B07S411K // DOP-B07S401K COM2 Port

COM Port	PIN	MODE1		MODE2		MODE3	
		COM2	COM3	COM2	COM3	COM2	COM3
PIN1	1	RS-232	RS-485	RS-485	RS-485	RS-232	RS-422
	2	RXD		D+		RXD	TXD+
	3	TXD				TXD	
	4		D+		D+		RXD+
	5	GND		GND		GND	
	6			D-			TXD-
	7						
	8		D-		D-		
	9						RXD-

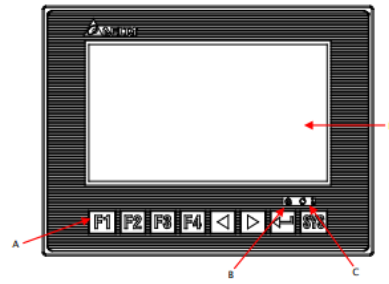
Note1: Blank = No Connection.

(3) Parts Names

DOP-B07S(E)411 (Front View)



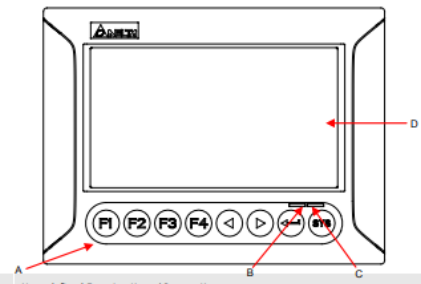
DOP-B07S411K (Front View)



User-defined Function Keys / System Keys	
A	User-defined Function Keys: F1, F2, F3, F4 System Keys: <, >, ←, →, SYS
B	Power LED Indicator Lights in green when HMI works normally.
C	Operation LED Indicator (Blue) ^{Note1} The operation LED indicator blinks in blue when either the communication is carried out or the data is accessing (please refer to the "Note1" below for explanation). Alarm LED Indicator (Red) The alarm LED indicator blinks in red when one of the alarms is on.
D	Touch Screen / Display

NOTE
1. The definition of the operation LED indicator (blue) can be determined by the users freely.

DOP-B07S401K (Front View)

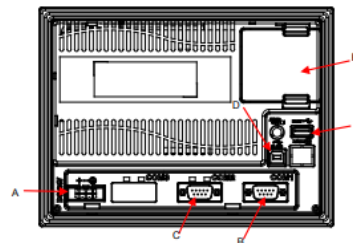


User-defined Function Keys / System Keys	
A	User-defined Function Keys: F1, F2, F3, F4 System Keys: <, >, ←, →, SYS
B	Power LED Indicator (Green) Lights in green when HMI works normally.
C	Left side: Operation LED Indicator (Blue) ^{Note1} The operation LED indicator blinks in blue when either the communication is carried

Right side: Alarm LED Indicator (Red) The alarm LED indicator blinks in red when one of the alarms is on.
D Touch Screen / Display

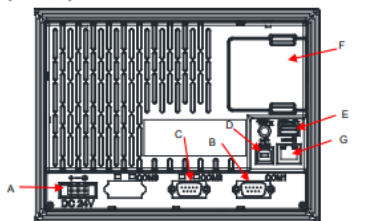
NOTE
1. The definition of the operation LED indicator (Blue) can be determined by the users freely.

DOP-B07S411K / DOP-B07S401K (Rear View)



A Power Input Terminal	B COM1
C COM2	D USB Slave
E USB Host	F Battery Case

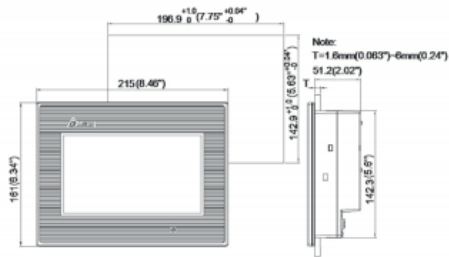
DOP-B07S(E)411 (Rear View)



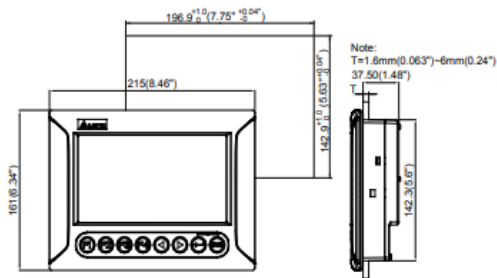
A Power Input Terminal	B COM1
C COM2	D USB Slave
E USB Host	F Battery Case
G Ethernet Interface (LAN) Note: DOP-B07E411 only.	

(4) Dimensions

DOP-B07S(E)411 / DOP-B07S411K



DOP-B07S401K



MODEL	DOP-B07S411	DOP-B07E411	DOP-B07S411K	DOP-B07S401K
Operation Voltage ^(Note 2)	DC +24V (-10% ~ +15%) (please use isolated power supply)			
Voltage Endurance	AC500V for 1 minute (between charging (DC24V terminal) and FG terminals)			
Power Consumption ^(Note 2)	4.0W			
Backup Battery	3V lithium battery CR2032 × 1			
Backup Battery Life	It depends on the temperature used and the conditions of usage, about 3 years or more at 25 °C.			
Operation Temperature	0°C ~ 50°C			
Storage Temperature	-20°C ~ +60°C			
Ambient Humidity	10% ~ 90% RH [0 ~ 40 °C], 10% ~ 55% RH [41 ~ 50 °C] Pollution Degree 2			
Vibration	IEC 61131-2 compliant 5Hz<math>\leq f < 8.3\text{Hz}</math> = Continuous: 3.5mm, 8.3Hz<math>\leq f < 150\text{Hz}</math> = Continuous: 1.0g			
Shock	IEC 60068-2-27 compliant 15g peak for 11 ms duration, X, Y, Z directions for 6 times			
Dimensions (W) x (H) x (D) mm	215 x 161 x 50			
Panel Cutout (W) x (H) mm	196.9 x 142.9			
Weight	Approx. 820g		Approx. 840g	

NOTE

- 1) The half-life of backlight is defined as original luminance being reduced by 50% when the maximum driving current is supplied to HMI. The life of LED backlight shown here is an estimated value under 25 °C normal temperature and humidity conditions.
- 2) The value of the power consumption indicates the electrical power consumed by HMI only without connecting to any peripheral devices. In order to ensure the normal operation, it is recommended to use a power supply which the capacity is 1.5 ~ 2 times the value of the power consumption.
- 3) The content of this instruction sheet may be revised without prior notice. Please consult our distributors or download the most updated version at <http://www.delta.com.tw/ja>.

(5) Specifications

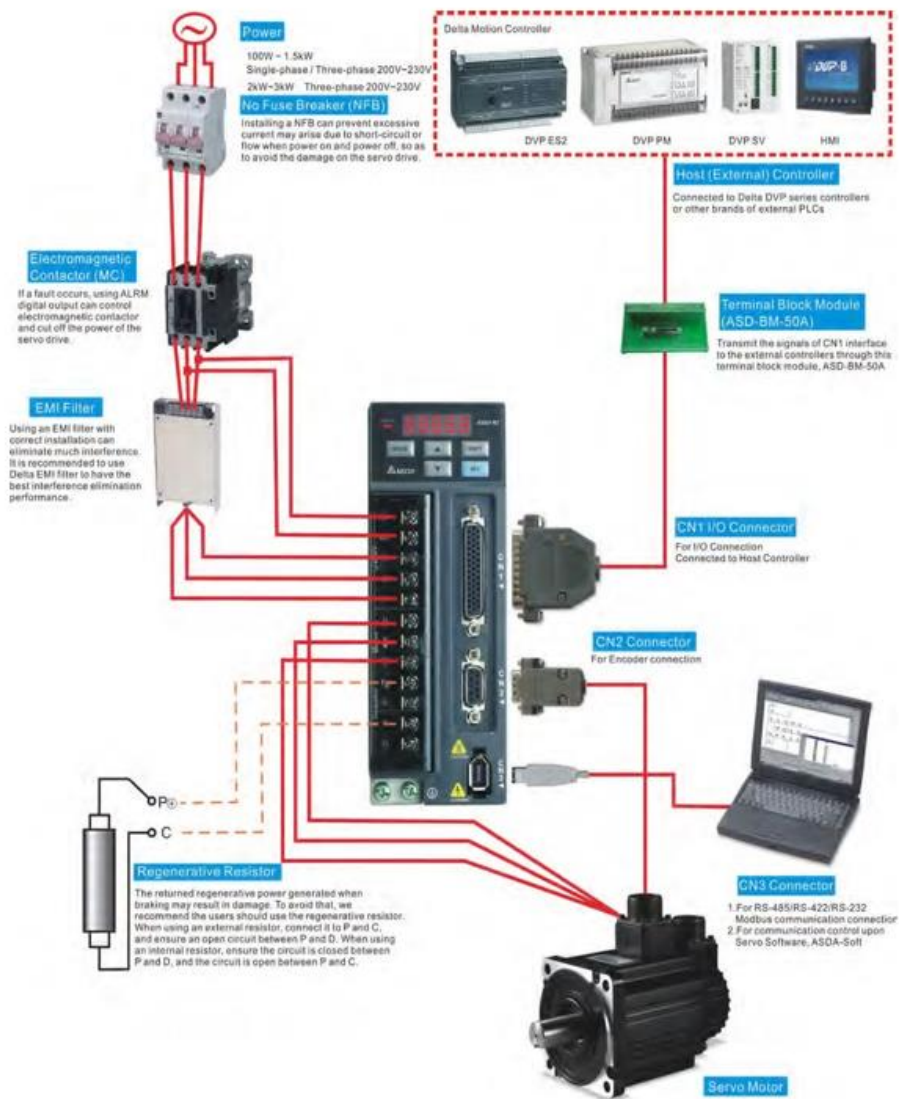
MODEL	DOP-B07S411	DOP-B07E411	DOP-B07S411K	DOP-B07S401K	
LCD MODULE	Display Type	7" TFT LCD (65535 colors)			
	Resolution	800 x 480 pixels			
	Backlight	LED Back Light (less than 20,000 hours half-life at 25 °C) ^(Note 1)			
	Display Size	154.08 x 85.92mm			
Operation System	Delta Real Time OS				
MCU	32-bit RISC Micro-controller				
NOR Flash ROM	Flash ROM 128 MB (OS System: 30MB / Backup: 16MB / User Application: 82MB)				
SDRAM	64Mbytes				
Backup Memory	16Mbytes				
Buzzer	Multi-Tone Frequency (2K ~ 4K Hz) / 85dB				
Ethernet Interface	N/A	IEEE 802.3, IEEE 802.3u 10/100 Mbps auto-sensing (has built-in isolated power circuit ^(Note 2))	N/A		
USB	1 USB Slave Ver 2.0 1 USB Host Ver 1.1				
Serial COM Port	COM1	RS-232(supports hardware flow control)			
	COM2	RS-232 / RS-485			
	COM3	RS-422 / RS-485			
Function Key	N/A	User defined key x 4 + System key x 4			
Perpetual Calendar (RTC)	Built-in				
Cooling Method	Natural air circulation				
Safety Approval	CE / UL				
Waterproof Degree	IP65				

ASDA-B2 Connections and Wiring

This chapter provides information on wiring ASDA-B2 series products, the descriptions of I/O signals and gives typical examples of wiring diagrams.

3.1 Connections

3.1.1 Connecting to Peripheral Devices



3.1.2 Servo Drive Connectors and Terminals

Terminal Identification	Terminal Description	Notes		
L1c, L2c	Control circuit terminal	Used to connect single-phase AC control circuit power. (Control circuit uses the same voltage as the main circuit.)		
R, S, T	Main circuit terminal	Used to connect single-phase or three-phase AC main circuit power depending on connecting servo drive model.		
U, V, W FG (⊕)	Servo motor output	Used to connect servo motor		
		Terminal Symbol	Wire Color	Description
		U	Red	Connecting to three-phase motor main circuit cable.
		V	White	
		W	Black	
FG(⊕)	Green	Connecting to ground terminal (⊕) of the servo drive.		
P⊕, D, C, ⊖	Regenerative resistor terminal or braking unit	Internal resistor	Ensure the circuit is closed between P⊕ and D, and the circuit is open between P⊕ and C.	
		External resistor	Connect regenerative resistor to P⊕ and C, and ensure an open circuit between P⊕ and D.	
		External resistor	Connect regenerative resistor to P⊕ and C, and ensure an open circuit between P⊕ and D.	
		External braking unit	Connect braking unit to P⊕ and ⊖, and ensure an open circuit between P⊕ and D, and P⊕ and C. (N terminal is built in L1c, L2c, ⊖, and R, S, T.) P⊕ : Connecting to (+) terminal of V_BUS voltage. ⊖ : Connecting to (-) terminal of V_BUS voltage.	
⊕ two places	Ground terminal	Used to connect grounding wire of power supply and servo motor.		

Terminal Identification	Terminal Description	Notes																											
CN1	I/O connector	Used to connect external controllers. Please refer to section 3.3 for details.																											
CN2	Encoder connector	Used to connect encoder of servo motor. Please refer to section 3.4 for details.																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Terminal Symbol</th> <th>Wire Color</th> <th>PIN No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T+</td> <td>Blue</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>T-</td> <td>Blue/Black</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Reserved</td> <td>-</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Reserved</td> <td>-</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Reserved</td> <td>-</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Reserved</td> <td>-</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>+5V</td> <td>Red / Red & White</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>GND</td> <td>Black / Black & White</td> <td>6, 7</td> </tr> </tbody> </table>	Terminal Symbol	Wire Color	PIN No.	T+	Blue	4	T-	Blue/Black	5	Reserved	-	3	Reserved	-	2	Reserved	-	1	Reserved	-	9	+5V	Red / Red & White	8	GND	Black / Black & White	6, 7
		Terminal Symbol	Wire Color	PIN No.																									
		T+	Blue	4																									
		T-	Blue/Black	5																									
		Reserved	-	3																									
		Reserved	-	2																									
		Reserved	-	1																									
		Reserved	-	9																									
+5V	Red / Red & White	8																											
GND	Black / Black & White	6, 7																											
CN3	Communication connector	Used to connect PC or keypad. Please refer to section 3.5 for details.																											
CN4	Reserved connector	Reserved																											
CN5	Analog voltage output terminal	Used to monitor the operation status. The drive provides two channels, MON1 and MON2 to output the analog voltage data. Output voltage is reference to the power ground (GND).																											

 **NOTE**

1) U, V, W, CN1, CN2, CN3 terminals provide short circuit protection.

Wiring Notes

Please observe the following wiring notes while performing wiring and touching any electrical connections on the servo drive or servo motor.

1. Ensure to check if the power supply and wiring of the "power" terminals (R, S, T, L1c, L2c, U, V, & W) is correct.
2. Please use shielded twisted-pair cables for wiring to prevent voltage coupling and eliminate electrical noise and interference.

3. As a residual hazardous voltage may remain inside the drive, please do not immediately touch any of the "power" terminals (R, S, T, L1c, L2c, U, V, & W) and/or the cables connected to them after the power has been turned off and the charge LED is lit. (Please refer to the Safety Precautions on page ii).
4. The cables connected to R, S, T and U, V, W terminals should be placed in separate conduits from the encoder or other signal cables. Separate them by at least 30cm (11.8 inches).
5. If the encoder cable is too short, please use a twisted-shield signal wire with grounding conductor. The wire length should be 20m (65.62ft.) or less. For lengths greater than 20m (65.62ft.), the wire gauge should be doubled in order to lessen any signal attenuation. Regarding the specifications of 20m (65.62ft.) encoder cable, please choose wire gauge AWG26, UL2464 metal braided shield twisted-pair cable.
6. As for motor cable selection, please use the 600V PTFE wire and the wire length should be less than 98.4ft. (30m). If the wiring distance is longer than 30m (98.4ft.), please choose the adequate wire size according to the voltage.
7. The shield of shielded twisted-pair cables should be connected to the SHIELD end (terminal marked \oplus) of the servo drive.
8. For the connectors and cables specifications, please refer to section 3.1.6 for details.

3.1.3 Wiring Methods

For servo drives from 100W to 1.5kW the input power can be either single or three-phase. However, single -phase connections are for servo drives 1.5kW and below only.

In the wiring diagram figures 3.2& 3.3:

Power ON : contact "a" (normally open)

Power OFF : contact "b" (normally closed)

MC : coil of electromagnetic contactor, self-holding power, contact of main circuit power

Figure 3.2 Single-Phase Power Supply (1.5kW and below)

Figure 3.2 Single-Phase Power Supply (1.5kW and below)

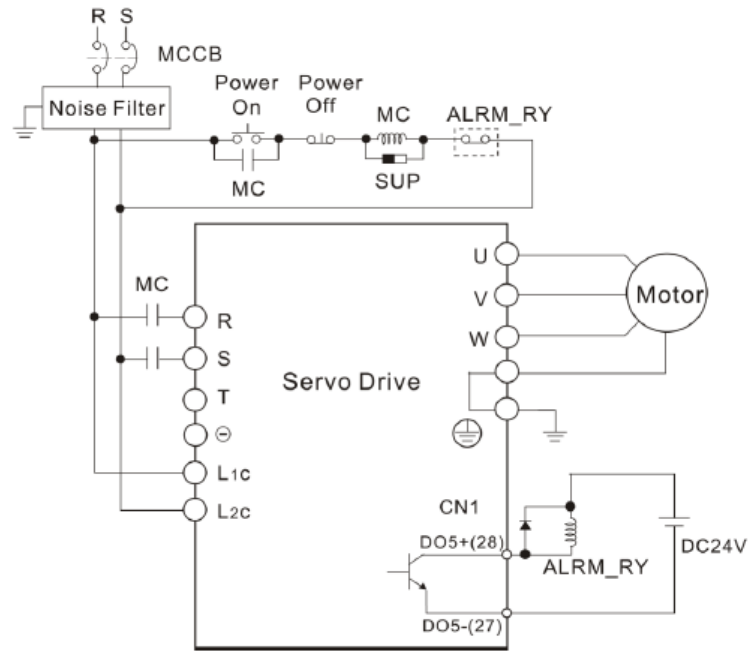
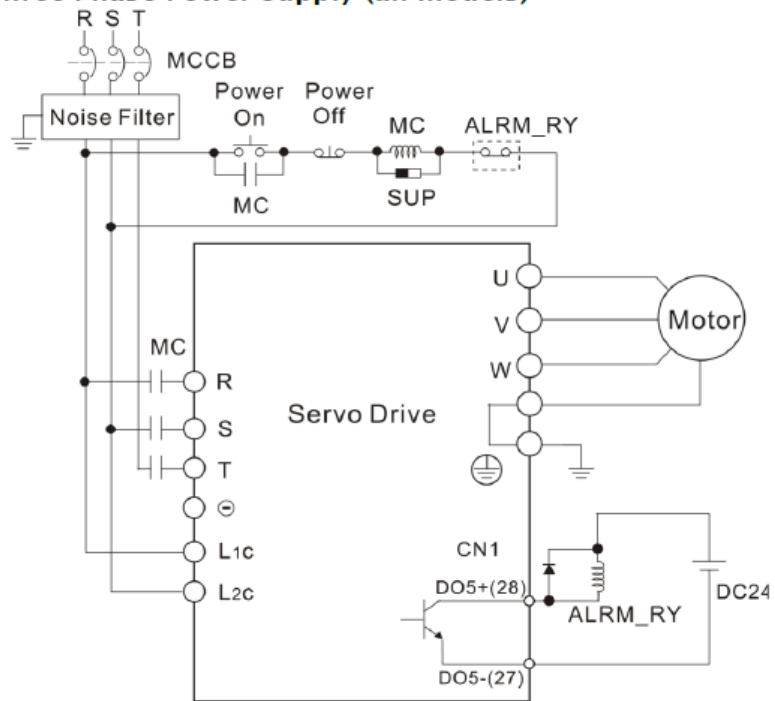


Figure 3.3 Three-Phase Power Supply (all models)



EK B.4



NEO PRO CONTROL ÜNİTESİ



Teknik Veriler

NEO PRO CR13 KONTROL ÜNİTESİ

NEO PRO CR13 - VERSİYONLAR

NEO PRO CR13	MODBUS	UZAKTAN KUMANDA
MANUEL	-	OPSİYONEL
TOMATİK	VAR	VAR

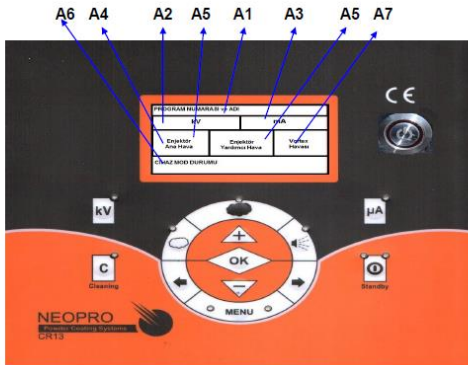
NEO PRO CR13 ÜNİTESİ İLE KULLANILABİLEN TABANCALAR

NEO PRO CR13 CONTROL BOX	ORERATION
NEO PRO CORONA OTOMATİK	EVET
NEO PRO CORONA MANUEL	EVET
NEO PRO TRIBO OTOMATİK	EVET
NEO PRO TRIBO MANUEL	EVET

Ebatlar

CR13 KONTROL ÜNİTESİ	
En	205mm
Derinlik	300mm
Yükseklik	174mm
Ağırlık	9 kgs

GÖRSEL ELEMANLARVE ÇALIŞTIRMA BUTONLARI



	: Enjektör Hava	A1	Program Numarası ve Adı
	: Yardımcı Hava	A2	Statik Voltajı (V)



NEO PRO CR13 CONTROL ÜNİTESİ İŞLEVLERİ- GENEL BAKIŞ

Ayar Özellikleri

- Toz Boya Oranı, Yardımcı Hava Ayarı, Elektrod Temizleme Havası, Akım ve Yüksek voltaj ayarı

Ozellikler

- 250 adet program hafızası,
- Hata Bildirimi
- Uzaktan Kumanda

Seçenekler

- Opsiyonel Modbus bağlantısı

Çalışma Modları

Program Modu

Bu moda 250 adet ayrı ayar programı tanımlanmıştır. Kullanıcının isteğine göre ayarlanabildiği kaydedilebilir.



Not: Programlar "KAYDET" düğmesine basılarak veya uzun süre "OK" tuşuna basılarak hafızaya alınabilir.



Elektriksel Veriler

CR13 KONTROL ÜNİTESİ	
Şebeke Voltajı	190 – 240 VAC
Frekans	50 – 60 Hz
Giriş Elektrikliği	40 VA
Nominal Çıkış Voltajı (Tabancaya)	Max. 12 V
Nominal Çıkış Akımı (Tabancaya)	Max. 1 A
Koruma Sınıfı	IP54
Ortam Sıcaklığı	0°C - +45°C
Max. Çalışma sıcaklığı	85°C

Pnömatik Veriler

CR13 KONTROL ÜNİTESİ	
Hava Bağlantısı	¼ Erkek Bağlantı
Giriş Basıncı	6.0 Bar
Max. Giriş Basıncı	8 Bar / 116 PSI
Min. Giriş Basıncı	6 Bar / 97 PSI
Basıncılı Havanın içindeki Max. Nem Oranı	1,3 g/m3
Max. Oilin Content of pressure air	0,1 mg/m3

BESLEME



Elektrik Besleme Bağlantısı

1. Faz (190-240 VAC)
2. Nötr
3. Boş
4. Toprak



Hava Bağlantısı

1. Kaskat (-)
2. Boş
3. Tetik Girişi
4. Tetik Beslemesi
5. Boş
6. Kaskat (+)
7. Topraklama



Haberleşme C1

Haberleşme Soketi

1. - 5 V
2. + 5 V
3. D +
4. D -



Haberleşme C3

Haberleşme Soketi

1. - 5 V
2. + 5 V
3. D +
4. D -



: VORTEX Hava



: Sola Git



: Sağa Git



: Yükseltme



: Azaltma

A3 Akım (Mikro Amper)

A4 Boya Hava Basıncı

A5 Yardımcı Hava Basıncı

A7 Vortex Hava Basıncı

Electrical Specifications

Parameter	Min	Typical	Max	Unit
Input Voltage(DC)	20	-	50	VDC
Output current	0	-	5.6	A
Pulse Signal Frequency	0	-	200	KHZ
Logic Signal Current	7	10	16	MA

2. Current and microstep Setting

Current setting

Peak	RMS	SW1	SW2	SW3
Default		off	off	off
2.1A	1.5A	on	off	off
2.7A	1.9A	off	on	off
3.2A	2.3A	on	on	off
3.8A	2.7A	off	off	on
4.3A	3.1A	on	off	on
4.9A	3.5A	off	on	on
5.6A	4.0A	on	on	on

Standstill Current Setting

SW4 is used for standstill current setting. OFF meaning that the standstill current is half of the dynamic current; and ON meaning that standstill current is the same as the selected dynamic current. Usually the SW4 is set to OFF, in order to reduce the heat of the motor and driver.

Microstep Setting

Step/Rev	SW5	SW6	SW7	SW8
Default	on	on	on	on
800	off	on	on	on
1600	on	off	on	on
3200	off	off	on	on
6400	on	on	off	on
12800	off	on	off	on
25600	on	off	off	on
51200	off	off	off	on
1000	on	on	on	off
2000	off	on	on	off
4000	on	off	on	off
5000	off	off	on	off
8000	on	on	off	off
10000	off	on	off	off
20000	on	off	off	off
40000	off	off	off	off
40000	off	off	off	off

3. Connectors and Pin Assignment

Control signal Connector

Control Signal connector	
Name	Description
PUL+	Pulse signal positive
PUL-	Pulse signal negative
DIR+	Direction signal positive
DIR-	Direction signal negative
ENA+	Enable signal positive, usually left unconnected(enable)
ENA-	Enable signal negative, usually left unconnected(enable)

Power and Motor Connector

GND	Power Ground
+VDC	Power supply, +20~+50 VDC
A+	Motor phase A
A-	
B+	Motor phase B
B-	

VCC	R
5V	0
12V	680 Ω
24V	1.8K Ω

Control Signal Connector Interface

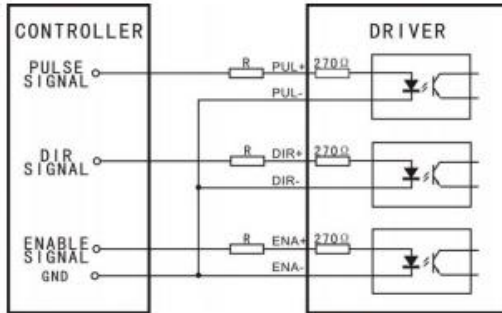


Figure1: Common-Cathode

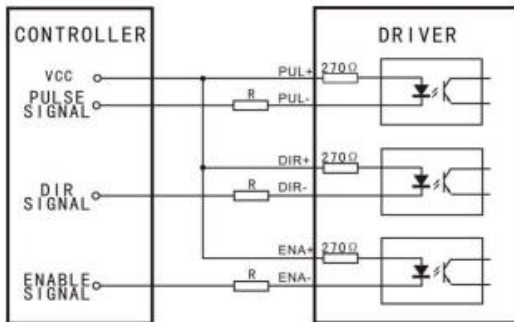


Figure2: Common-Anode

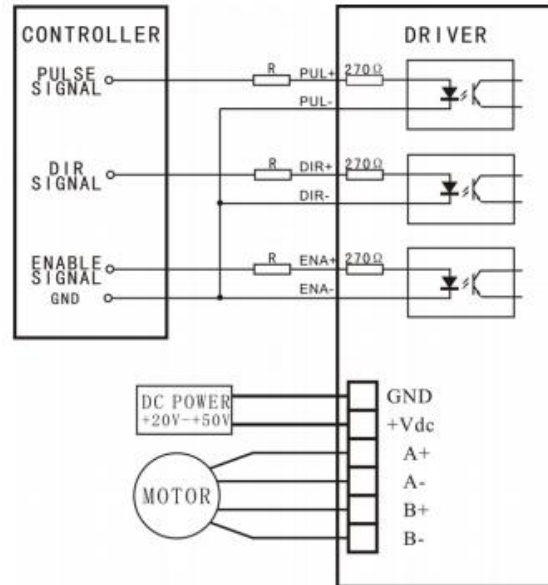


Figure 3: Typical connection

PR Series

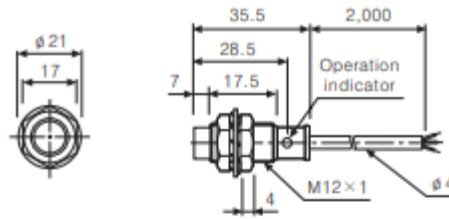
●PR12-4D□

Cylindrical type proximity sensor

■ **Features**

- Improved the noise resistance with dedicated IC (DC 3-wire)
- Reverse power polarity, surge, overcurrent protection (Except for PR08 Series.)
- Long life cycle and reliable simple operation
- Red LED status indication
- IP67 rated waterproof structure (IEC standard)
- Replacer for micro switches and limit switches

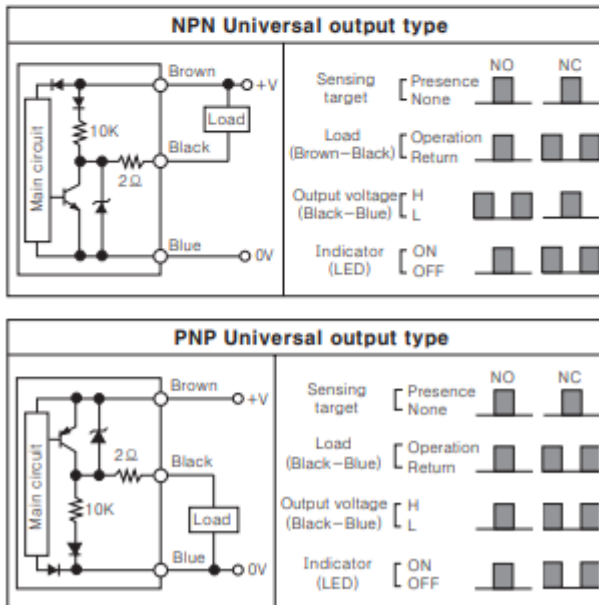
● **DC 3-wire type**



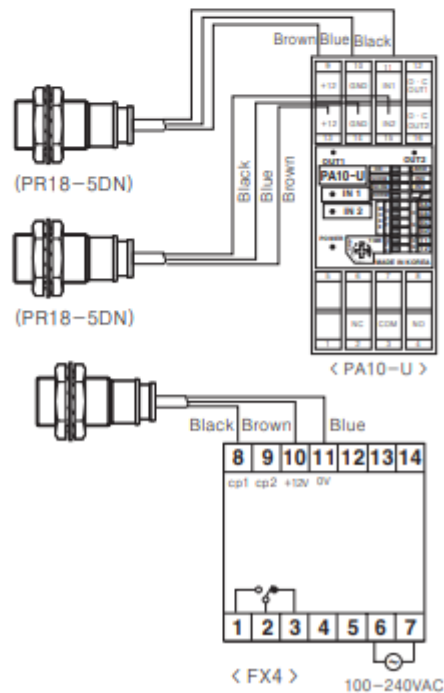
Model	PR08-1.5DN PR08-1.5DP PR08-1.5DN2 PR08-1.5DP2	PR08-2DN PR08-2DP PR08-2DN2 PR08-2DP2	PR12-2DN PR12-2DP PR12-2DN2 PR12-2DP2	PR12-4DN PR12-4DP PR12-4DN2 PR12-4DP2	PR18-5DN PR18-5DP PR18-5DN2 PR18-5DP2	PR18-8DN PR18-8DP PR18-8DN2 PR18-8DP2	PR30-10DN PR30-10DP PR30-10DN2 PR30-10DP2	PR30-15DN PR30-15DP PR30-15DN2 PR30-15DP2
Sensing distance	1.5mm ± 10%	2mm ± 10%	2mm ± 10%	4mm ± 10%	5mm ± 10%	8mm ± 10%	10mm ± 10%	15mm ± 10%
Hysteresis	Max. 10% of sensing distance							
Standard sensing target	8 × 8 × 1mm (Iron)	12 × 12 × 1mm (Iron)	18 × 18 × 1mm (Iron)	25 × 25 × 1mm (Iron)	30 × 30 × 1mm (Iron)	45 × 45 × 1mm (Iron)		
Setting distance	0 - 1.0mm	0 - 1.4mm	0 - 1.4mm	0 - 2.8mm	0 - 3.5mm	0 - 5.6mm	0 - 7mm	0 - 10.5mm
Power supply (Operation voltage)	12-24VDC (10-30VDC)							
Leakage current	Max. 10mA							
Response frequency (kHz)	1.5kHz	1kHz	1.5kHz	500Hz	350Hz	450Hz	200Hz	
Residual voltage	Max. 1.5V							
Affection by Temp.	±10% Max. for sensing distance at +20°C within temperature range of -25 ~ +70°C. PR08 Series: Max. ±20%							
Control output	200mA							
Insulation resistance	Min. 50MΩ (at 50VDC)							
Dielectric strength	1500VAC 50/60Hz for 1minute							
Vibration	1mm amplitude at frequency of 10 ~ 50Hz in each of X, Y, Z directions for 2 hours							
Shock	500m/s ² (50G) in X, Y, Z direction for 3 times							
Indicator	Operation indicator (Red LED)							
Ambient temperature	-25 ~ +70°C (at non-freezing status)							
Storage temperature	-30 ~ +80°C (at non-freezing status)							
Ambient humidity	35 ~ 95%RH							
Protection circuit	Surge, Reverse power polarity, Overcurrent protection circuit							
Protection	IP67 (IEC standard)							
Cable spec.	#4 × 3P, 2m				#5 × 3P, 2m			
Approval	CE							
Unit weight	Approx. 36g	Approx. 36g	PR: Approx. 19g PRS: Approx. 69g	PR: Approx. 29g PRS: Approx. 69g	PR: Approx. 11g PRL: Approx. 13g	PR: Approx. 11g PRL: Approx. 15g	PR: Approx. 19g PRL: Approx. 23g	PR: Approx. 19g PRL: Approx. 27g



○ **DC 3-wire type**



○ **DC 3-wire type**



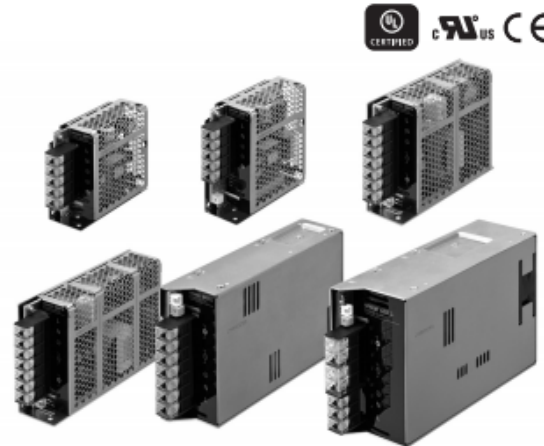
Şekil B.6: Autonics PRD12-4DP Endüktif Sensör Kullanma Klavuzu

Switch Mode Power Supply S8FS-G (15/30/50/100/150/300/600-W Models)

Superior Basic Performance That Ensures Reliability. Wide Range of Standards Certification and Greater Usability.

- Superior basic performance that ensures reliability
Ambient temperatures up to 70°C, greater resistance to rusting with aluminum/stainless steel case, and applications at altitudes up to 3,000 m.
- Certification for Global Standards
North America: UL 508 (Listing)*, CSA C22.2
Europe: Overvoltage Category III (EN 50178)
EMI: Class B (EN 61204-3)
No need for control circuit transformers for which the Machinery Directive is specified. (EN/IEC 61558-2-16)
*Refer to pages 4 to 10 for certified models.

- Greater Usability
The Terminal Block Cover prevents screws from dropping out and the Front Cover prevents ingress of foreign matter.



Refer to Safety Precautions for All Power Supplies and Safety Precautions on page 29.

Lineup

Output voltage (VDC)	Power rating						
	15 W	30 W	50 W	100 W	150 W	300 W	600 W
5 V	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	---	---
12 V	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
15 V	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
24 V	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
48 V	---	---	---	---	Yes	Yes	Yes

Model Number Structure

Model Number Legend

Note: Not all combinations are possible. Refer to List of Models in Ordering Information, below.

S8FS- G

- | | | | | |
|---|---|--|--|--|
| 1. Power Ratings
015: 15 W
030: 30 W
050: 50 W *1
100: 100 W *2
150: 150 W *3
300: 300 W
600: 600 W | 2. Output voltage (VDC)
05: 5 V
12: 12 V
15: 15 V
24: 24 V
48: 48 V | 3. Configuration
C: With cover/Direct mounting
CD: With cover/DIN Rail mounting

4. Option (1)
None: Screw terminal block
E: Connectors *4 | 5. Option (2) *5
None: None
W: Parallel operation

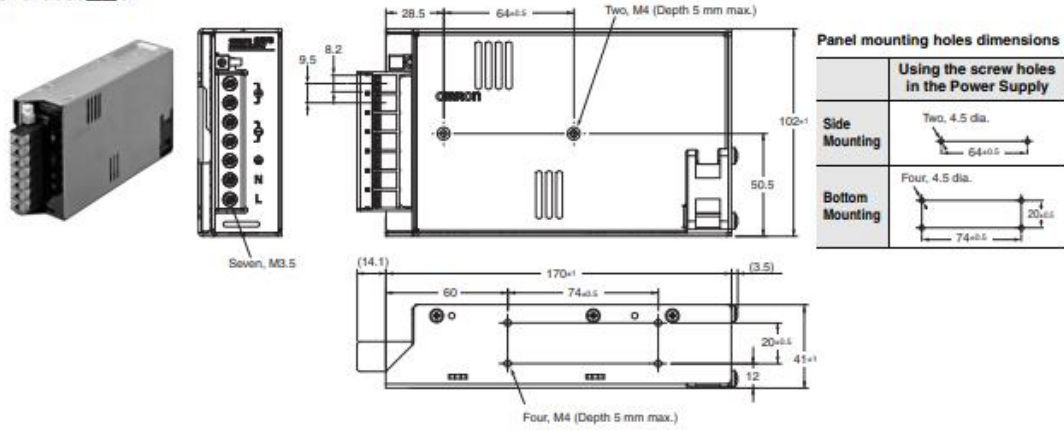
6. Option (3) *6
None: None
R: Remote control | 7. Option (4) *7
None: None
H: Extended hold time |
|---|---|--|--|--|

*1. The output electric power is 40 W for products with an output voltage of 5 V.
 *2. The output electric power is 80 W for products with an output voltage of 5 V.
 *3. The output electric power is 105 W for products with an output voltage of 5 V.

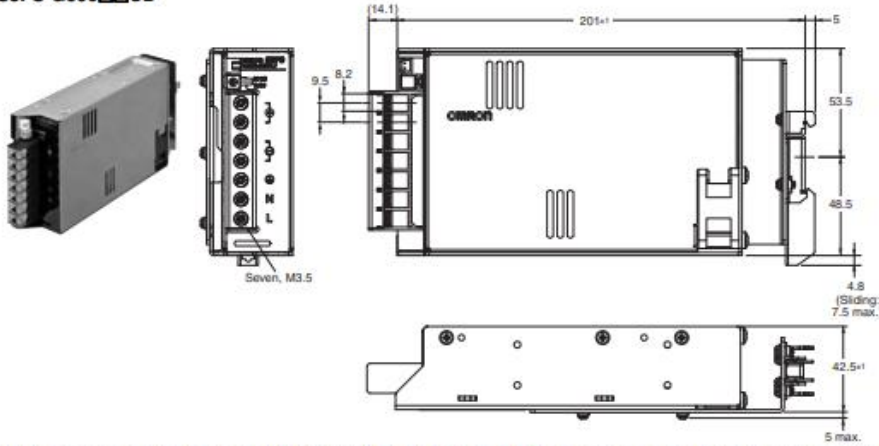
*4. Applicable only for 150 W or less and 24 V.
 *5. Applicable only for 600 W and 24 V.
 *6. Applicable only for 100 W or more and 24 V.
 *7. Applicable only for 300 W or more and 24 V.

300W

S8FS-G300□□C



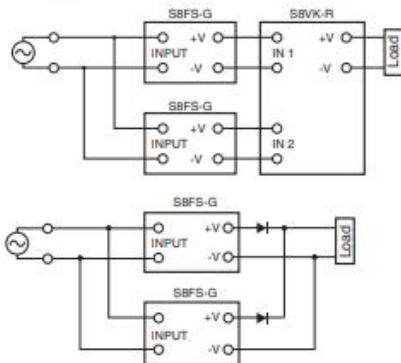
S8FS-G300□□CD



Note: Use a Front-mounting Bracket (S82Y-FSG-30F) when the DIN Rail is not strong enough for your usage environment.

Backup Operation

Backup operation is possible if you use two Power Supplies of the same model. Even if one Power Supply fails, operation can be continued with the other Power Supply. Make sure that the maximum load does not exceed the capacity of one Power Supply. Connect the S8VK-R or external diodes as shown in the following figure for backup operation. Refer to the S8VK-R datasheet (Cat. No.: T059) for information on using the S8VK-R.



Charging a Battery

If you connect a battery as the load, install overcurrent control and overvoltage protection circuits.

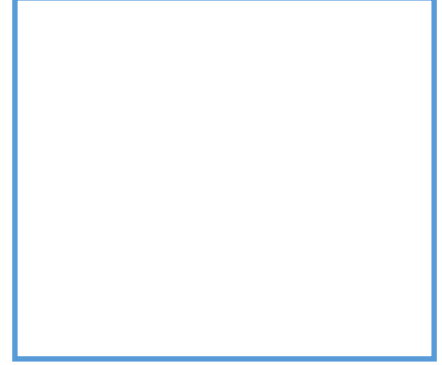
Built-in Fan Replacement

<Only S8FS-G300□□□/600□□□>
The built-in fan cannot be replaced.

Audible Noise at Power ON

<Only S8FS-G300□□□/600□□□>
A harmonic current suppression circuit is built into the Power Supply. This circuit can create noise when the input is turned ON, but it will last only until the internal circuits stabilize and does not indicate any problem in the Power Supply.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mevlüt HERDİLİ



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği

- Hidrolik Servo Universal Çekme Kopma Test Cihazı tasarımı ve imalatı
- 4 Adet hassas dikey paketleme makinesi imalatı
- Tam otomatik 3 eksen boya robotu(Yüksek lisans tezi)
- Elektrikli lahmacun ve sulu yemek yapabilen Arzum tost makinesi proje sorumluluğu(Tasarım-Plastik prototip-Çin de metal prototip- Kalıp üretimi ve diğer süreçler)
- Tam otomatik 3 eksen dizgi ve montaj makinesi tasarımı ve imalatı(Devam ediyor)
- İkinci el olarak alınan kalite kontrol cihazlarının satın alması - yenileme ve tamir işlemleri - montaj bantlarına kurulumu
- Tefal firması İçin yeni model tost makinesi tasarımı - Tost tava tasarımı
- Tost makinesi revizyonu kol tasarımı ve prototiplenip kalıp üretimi
- 70 lt mini fırın tasarımı ve metal prototiplemesi
- Cnc Router İmalatı ve kurulumu
- Elektrikli tencere tasarımı ve prototiplemesi
- Otomatik dikey paketleme makinesi
- Otonom Mayın Arama Robotu(Mekatronik yüksek lisans ders projesi)
- Parmak izinden fabrika personel ve yerleşimi otomasyonu
- Elektronik tost makinesi tasarımı ve imalatı

- Prototip tost makinesi tasarımı, imalatı ve montajı
- Üretim takip, analiz ve barkotlama cihaz ve yazılımları
- Fabrika ses ve müzik sistemi tasarımı, yazılımı ve montaj işlemleri
- Hassas sıcaklık ve fonksiyon test deney ünitesi tasarımı ve imalatı
- Fabrika Ar-Ge ve Teknik Ofisin Tadilat ve Modernize edilmesi sorumluluğu
- Üretim bandı son kontrol ünitesi otomasyonu
- Fabrika ISO9001 uyumluluk süreçlerinin uygulanması
- Mini Cnc prototipleme makinesi tasarımı ve imalatı
- Fırın kontrol anahtarı ve termostat ömür kontrol test cihazı
- Barkod yazma makinesi için barkod otomatik sarıcı makinesi
- Mini fırınlar için android Bluetooth ve WiFi ile kontrol uygulaması
- 6 farklı model Dokunmatik ve mobil kontrollü Mini fırın tasarımı ve imalatı
- Etüv Fırın test sistemi tasarımı ve imalatı,
- İklimlendirme ünitesi tasarımı ve imalatı,
- 70 kanal bilgisayar destekli Datalogger,
- Otomatik Davul Fırın Birleştirme ve kıvrırma makinası,
- Glow Wire(kızgın tel) deneyi yapabilen akıllı test sistemi tasarımı ve imalatı.
- Fabrikada bulunan makinaların periyodik bakımı,
- Teflon pişirme fırını tasarımı ve montajı,
- Regülatörler için hassas konumlama(ayar yapma) amaçlı step motor sürücüsü,
- Servo motor pano bakımı ve revizyonu,
- Tam otomatik elektrikli ev aletleri için sıcaklık test cihazı(Dokunmatik kayıt yapabilen datalogger),
- Fabrikada bulunan hidrolik preslerin plc ile kontrolü ve dokunmatik panel ile tasarımı, montajı.
- Türkiye Geneli Yıldızlı Projeler Yarışması 3.lük,
- 2241-A TUBİTAK PROJESİ otomatik stoklama robotu(tam otomatik asansör mekanizması),
- KYK bursu-Bereket vakfı bursu-CYDD bursu/Voleybol birinciliği,satranç 1.,2..3./lise 3./örümcek robot-kapı kilid sistemi-pil şarj devresi-lojik işlemler devresi-LVD test cihazı