

Çelik Tel Düzeltme Sistemi

Burak Atılgan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2010

Steel Wire Straightening System

Burak Atilgan

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Electrical - Electronics Engineering

February 2010

# Çelik Tel Düzeltme Sistemi

Burak Atılgan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Kontrol Kumanda Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Abdurrahman Karamancıoğlu

Şubat - 2010

## ONAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Burak Atılgan 'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Çelik Tel Düzeltme Sistemi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

**İkinci Danışman** : -

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Hasan Hüseyin ERKAYA

**Üye** : Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

**Üye** : Doç. Dr. Osman PARLAKTUNA

**Üye** : Y. Doç. Dr. Rıfat EDİZKAN

**Üye** : Y. Doç. Dr. İbrahim ÇELİKYÜREK

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada, oldukça geniş kullanım alanı olan paslanmaz çelik telleri daha verimli ve daha kaliteli ara mal olabilmesi için bir düzeltme sistemi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Konu ile ilgili olarak ileride yapılacak olan projeler için bir taban oluşturmak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz Çelik Tel, Doğrultucu, Kontrol, DC Motor, PWM

## **SUMMARY**

In this study, a straightener system for stainless steel wires is designed and manufactured, which has various uses in the industry. This system is intended to improve the efficiency and the quality of the stainless steel wires, which are intermediate goods in the industry. It is hoped that this system will serve as a basis for the relevant future research

**Key Words:** Stainless Steel Wire , Straightener, Control, DC Motor, PWM

## TEŞEKKÜR

Projenin tasarımında, uygulamasında ve sonuçlanmasında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Sn. Prof. Dr. Abdurrahman Karamancıoğlu'na, Projedeki aksaklıkların giderilmesi konusundaki yardımlarından dolayı Sn. Zafer Yıldırım'a, bana her türlü kolaylığı sağlayan TEİAŐ İSTK Müdürü Sn. Selim Savran ve Müdür Yardımcısı Sn. İkrım Erdoğan'a ve diğer çalışma arkadaşlarım ile her türlü destek ve yardımı sağlayan Aileme Teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLER HAKKINDA GENEL BİLGİ .....	2
2.1 Paslanmaz Çelik .....	2
2.2 Çeliğin Kullanım Alanları .....	4
3. TEL DÜZELTME SİSTEMLERİ .....	8
3.1 Soğuk Şekil Verme .....	8
3.2 Tel Düzeltici (Doğrultucu) .....	10
3.2.1 Ölçü Sistemine Göre .....	12
3.2.1.1 İnç Seriler .....	12
3.2.1.2 Metrik Seriler .....	13
3.2.2 Çalıştıkları Ortama Göre .....	14
3.2.2.1 Hafif Sanayi Tipi .....	14
3.2.2.2 Ağır Sanayi Tipi .....	15

**İÇİNDEKİLER (devam)****Sayfa**

4. PROJENİN MEKANİKSEL ve ELEKTRİKSEL TASARIMI .....	17
4.1 Mekanik Tasarım .....	17
4.2 Elektriksel Devre Tasarımı .....	24
4.2.1 Besleme Devresi .....	24
4.2.2 Motor Kontrol Devresi .....	27
4.2.2.1 Motor Kontrolü ve Yön Seçimi .....	27
4.2.2.2 PWM Nedir ve Devrede Uygulanması .....	28
4.2.2.3 AT89C2051 Mikroişlemcisi ve 24C02 EEPROM'unun Özellikleri .....	32
4.2.2.4 PIC Derleyici .....	34
4.2.2.5 Autonics Yaklaşım Sensörü .....	35
4.2.2.6 Elektronik Kontrol Devresinin Çalışması .....	36
4.2.3 ELEKTRİKSEL MOTORLAR .....	41
4.2.3.1 Sürekli Mıknatıslı Motorlar .....	42

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
4.2.4 Maliyet Analizi .....	47
4.2.4.1 Maliyet Azaltımı .....	48
5. SİSTEMİN YAZILIM KODLARI .....	49
6. ÖNERİLER ve SONUÇ .....	52
6.1 Proje Eksiklikleri ve Öneriler .....	52
6.2 Sonuç .....	54
7. KAYNAKLAR DİZİNİ .....	55

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Paslanmaz Çeliklerin Yapısında Bulunan Elementlerin Yüzdesi .....	6
2.2 304 Paslanmaz Çelik Ailesi ve Özellikleri .....	7
3.1 : Sjorgren Firmasının İnç ve Metrik Ölçülerdeki Doğrultucuları İçin Standartları .....	13
3.2 : Hafif Sanayi Tipi Düzeltme Sistemleri Standartları .....	14
3.3 : Ağır Sanayi Tipi Düzeltme Sistemleri Standartları .....	15
4.1 : Alt ve Üst Rulman Gruplarının Aralarındaki Mesafenin Çalışmaya Olan Etkisi ve Sonuçları .....	17
4.2 : Logo Power'in Özellikleri .....	28
4.3 : AT89C2051 Mikroişlemcisinin Bacak Bağlantıları.....	33
4.4 : Yaklaşım Sensörünün Özellikleri .....	37
4.5 : Motor Voltajı ile Devir Sayısı .....	45

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1: Paslanmaz Çelik Telde Koruyucu Tabaka Oluşumu .....	3
2.2 : Ostenitik Çeliklerin Birbirleri ile Olan İlişkileri .....	5
3.1 : Tel Doğrultma Sistemi -1 .....	11
3.2 :Tel Doğrultma Sistemi – 2 .....	13
3.3 : Ağır Sanayi Tipi Tel ve Boru Düzeltme Sistemi .....	15
4.1 : Düzeltme Hareketini Yapacak Olan Rulmanlar – 1 .....	17
4.2 : Düzeltme Hareketini Yapacak Olan Rulmanlardan Birinin Yapısı .....	18
4.3 : Düzeltme Hareketini Yapacak Olan Rulmanlar – 2 .....	18
4.4 : Sistemin Genel Görünümü – 1 .....	19
4.5 : Sistemin Genel Görünümü-2 .....	20
4.6 : Sistemin Çıkışı ve Sensör Bağlantısı .....	21
4.7: Sistemin Çizimi .....	22
4.8: Kontrol Panosu .....	26
4.9: Yön Seçim Anahtarı ve Bağlantı Devresi .....	27
4.10 : PWM Dalga Şekli .....	29
4.11 : PWM Modellemesi .....	30

## ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
4.12 :Farklı Anahtarlama Süreleri İçin Elde Edilen Dalga Şekilleri .....	30
4.13: AT89C2051 Mikroişlemcisinin Bacak Bağlantıları ve Özel Fonksiyonları .....	32
4.14: 24C02 EEPROM'u Mikroişlemcisinin Bacak Bağlantıları ve Özel Fonksiyonları .....	34
4.15 : Yaklaşım Sensörünün Boyutları ve Görünümü .....	36
4.16: PR12 - 2 DP Sensörünün Yapısı ,Giriş ve Çıkış Dalga Şekilleri	36
4.17 : Anahtarlar ve Panonun Kapağı .....	38
4.18 : Sistemin Akış Diagramı .....	40
4.19 : Dc Motora Ait Mekanik Yapı ve Dış Görünüş .....	41
4.20 : SM (Sürekli Mıknatıslı) Motorların Yapısı .....	43
4.21: Projede Kullanılan Motorun Teknik Çizimi .....	46
4.22 : Motorun Akım – Gerilim – Tork ve Hız Eğrileri .....	47
6.1 : İki Eksenli Doğrultma Yapabilen Sistem .....	52

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Bu tezde çapı 3 mm ve altında olan çelik tellerin düzeltilmesi için bir elektromekanik sistem tasarlanmakta ve imal edilmektedir. İmal edilen sistemin amacına uygunluğu incelenmekte ve geliştirme önerileri sunulmaktadır.

Üretildikten sonra nakliyede ve depolamada kolaylık ile maliyet azlığının sağlanması için çapı 3 mm'ye kadar olan çelik teller makaraya sarılarak paketlenir. Çapı 3 mm ve daha fazla olan teller ise çubuk halinde bulunur. Makaraya sarıldığından dolayı oluşacak olan eğrilik, çemberleşme ve yamuklukların düzeltilmesi, tel kullanılarak üretilen malzemelerin kalitesini ve işlevselliğini arttırabileceği gibi atık tel miktarında da azalma sağlayacaktır.

Özellikle küçük çaptaki (1–2 mm çapındaki) teller endüstride, kafes veya ızgara tipi yapıdaki ürünlerin imalatında (market sepeti ve arabaları, buzdolaplarının arkasında bulunan ızgaralar vb.) kullanılır. Ayrıca bir belgeselde izlenildiği üzere, baston tipi şekerlerin imalatında da projede kurulan düzeneğe benzeyen bir sistem kullanıldığı görülmüştür.

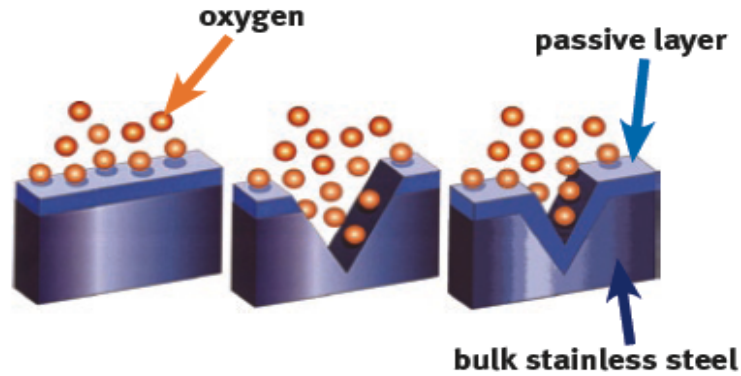
Bundan dolayı, özellikle ince çelik tellerin düzeltilmesini sağlayan bir sistemin kurulması ve uygulamasının yapılması ile endüstride üretim ve tasarım aşamasında kolaylık sağlanması amaçlanmıştır.

## **BÖLÜM 2 : PASLANMAZ ÇELİK HAKKINDA GENEL BİLGİLER**

### **2.1 PASLANMAZ ÇELİK**

Çelik, metalik demirin, karbon, manganez, silisyum, fosfor, kükürt ve birçok elementlerle bileşim, alaşım ve karışımı ile oluşan bir malzemedir. Dünya metal üretiminin yaklaşık yüzde 95'i demir olup demirin karbon ile yaptığı alaşımlar en yaygın kullanılan mühendislik malzemelerini oluşturmaktadır. Bunun başlıca nedeni, demirin kristal yapısının sıcaklığa bağlı olarak değişen (allotropik) bir metal olması ve demir-karbon alaşımlarına ısı işlemler ve /veya alaşımlama yoluyla çok farklı özellikler kazandırılabilmesidir. <sup>(1,2)</sup>

Yapısında yaklaşık olarak en az % 10 oranında krom ve en fazla % 1,2 oranında karbon içeren çelikler paslanmaz çelik (Stainless Steel) diye adlandırılır. Bulunduğu ortamın neminden dolayı oluşabilecek korozyona ve yüksek sıcaklıklara dayanımı mevcuttur. Bunu da içeriğinde bulunan krom sayesinde yapar. Ayrıca krom havadaki oksijen ile reaksiyona girerek çeliğin yüzeyinde ince bir krom oksit ( $Cr_2 O_3$ ) meydana getirir. Bu  $Cr_2 O_3$  tabakası pasif bir tabaka olup, havanın nemi ve oksijeninden dolayı oluşabilecek olan korozyona karşı içyapıyı korur. Yani uzun lafın kısası paslanmaz çelik aslında paslanan bir maddedir, paslanma onun zararına değil faydasına olup uzun ömürlü olmasını sağlar.



Şekil 2.1: Paslanmaz Çelik Telde Koruyucu Tabaka Oluşumu <sup>(3)</sup>

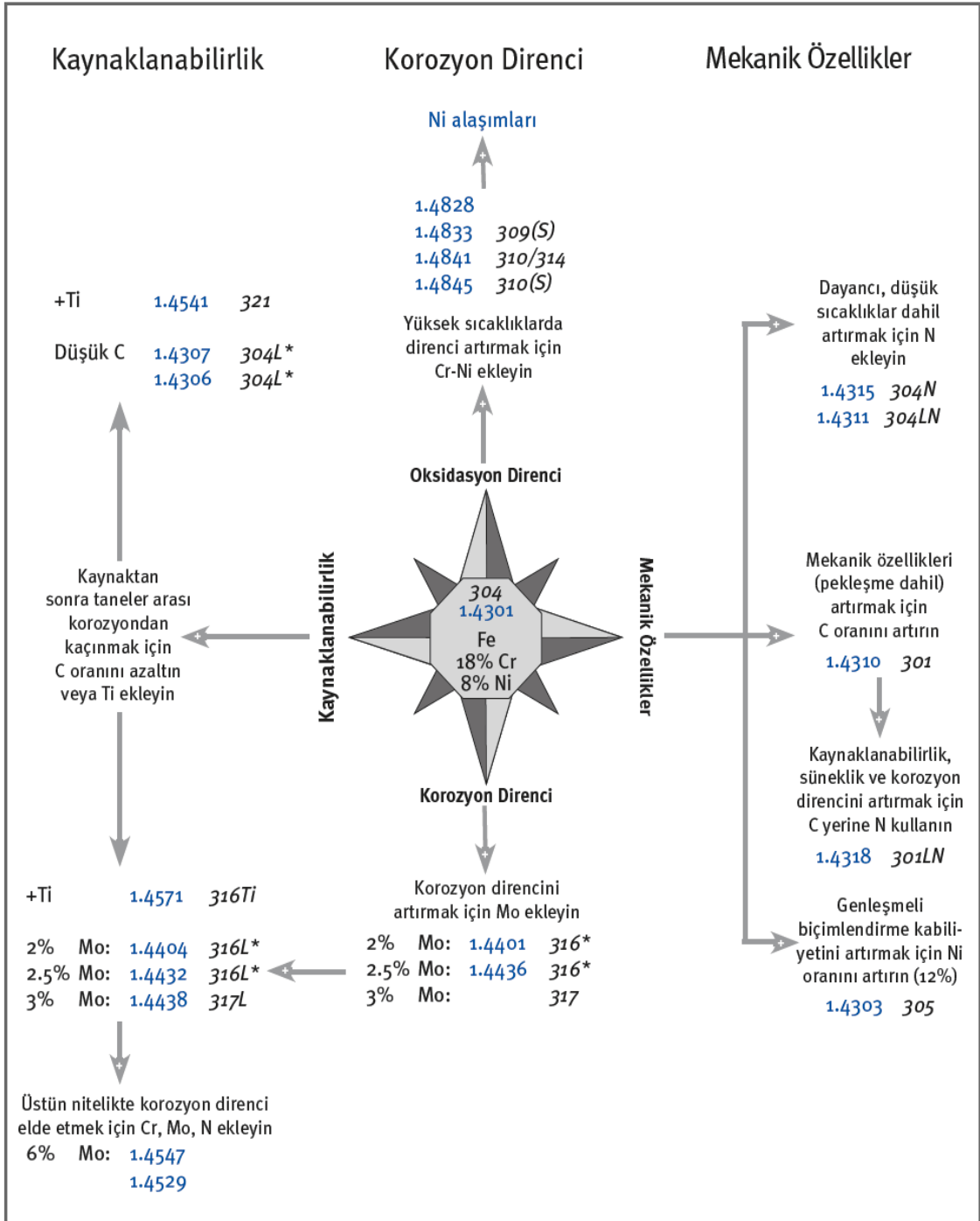
Krom miktarının yükseltilmesi ile ve/veya nikel (Ni) /Molibden (Mo) gibi elementlerin katılması da korozyona karşı olan dayanımı artırır. Ayrıca Azot (N), Silisyum (Si), Selenyum (Se), Bakır (Cu), Titanyum (Ti), Niyobyum (Nb), Kükürt (S) gibi elementlerin katılması çeliğin direncine oldukça olumlu etkilerde bulunur.

304 seri numaralı paslanmaz çelik nedir? 304 paslanmaz çelik bir ostenitik çeliktir, yani sıcaklık ile molekül yapısı değişmediği için düşük sıcaklıklarda (oda sıcaklığı) kolaylıkla şekil ve form verilebilen çeliklerdir. Yapılarında yaklaşık olarak %16 - %18 oranında Krom, %8 - %10,5 civarında Nikel ile %2 oranında mangan içeren çeliklerdir. <sup>(4)</sup>

## 2.2 ÇELİĞİN KULLANIM ALANLARI

İşlenen metallerden ve alaşımlardan en geniş paya sahip olan çeliğin kullanım alanlarını sıralamak imkânsızdır, çünkü hemen hemen her yerde vardır. Sıradan cisimlerden, en ince zevklere hitap eden aletlere; çok ufak parçalardan (en küçük mekanik parçalardan, hassas teraziler vb.), en büyük parçalara (gaz tankları vb.) kadar çelik sonsuz sayıda ürün için temeldir. Bazı önemli kullanım alanları aşağıda verilmiştir;

- Her tür yapının iskeletini ve çatısını oluşturmak ve betonu güçlendirmek için
- Su, gaz, petrol ve diğer aşındırıcı sıvıları taşımak için kullanılan borularda ve boru hatlarında,
- Otomotiv sektöründe araçların motor, egzoz ve hareketli parçalarının büyük kısmında,
- Besinler ile sağlığa zarar verici reaksiyonlara girmediği için her türlü mutfak malzemesi imalatında,
- Besin maddelerini ve diğer sıvı maddeleri uzun süreli depolamak amacıyla üretilen kap ve kutuların imalatında,
- Televizyon, bilgisayar ve telefon gibi cihazların hassas ve küçük elektronik aksamlarında,
- Tıpta yapay protez ve vidalar ile tıbbi malzemelerinin üretiminde kullanılır.



Şekil 2.2: Ostenitik Çeliklerin Birbirleri ile Olan İlişkileri <sup>(4)</sup>

Tablo 2.1: Paslanmaz Çeliklerin Yapısında Bulunan Elementlerin Yüzdesi <sup>(5)</sup>

Kalite	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Diğer	AISI	Werkstoff
K304	Max. 0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18-20	8-10.5	-	-	304	1,4301
K309	Max. 0.20	2.00	0.045	0.030	1.00	22-24	12-15	-	-	309	1,4845
K310	Max 0.25	2.00	0.045	0.030	1.50	24-26	19-22	-	-	310	1,4841
K314	Max 0.25	2.00	0.045	0.030	1.50-3.00	23-26	19-22	-	-	314	1,4841
K316	Max. 0.06	2.00	0.045	0.030	1.00	16-18	10-14	2.50-3.00	-	316	1,4401
K321	Max. 0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17-19	9-12	-	Ti = 0.8	321	1,4541
K304L	Max. 0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	18-20	10-12.5	2.00	-	304L	1,4306
K316L	Max. 0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	16-18	12-15	2.50	-	316L	1,4404
K316Ti	Max. 0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16-18	10-14	2.00	Ti = 0.80	316Ti	1,4571
K430	Max. 0.12	1.00	0.040	0.030	Max. 0.75	16-18	-	-	-	430	1,4016

Şekil-2.2 ve Tablo 2.1'de görüldüğü gibi çeliğin içeriğindeki maddelerin miktarlarında ufak oranlarda değişiklikler yaparak istenilen özelliklere sahip çelik tel üretimi sağlanabilir.

Tablo 2.2: 304 paslanmaz Çelik Ailesi ve Özellikleri <sup>(4)</sup>

ASTM Standards	304	304L	304LN
EN Standardı	1.4301	1.4306	1.4311
UNS Standardı	S30400	S30403	S30453
Sınıfı	Ostenitik	Ostenitik	Ostenitik
%0.2 Akma Dayanımı (MPa)	Enaz 200 (tavlanmış) 500'e kadar (soğuk had.)	Enaz 190 (tavlanmış) 500'e kadar (soğuk had.)	En az 270 (tavlanmış)
Çekme Dayanımı (MPa)	500 (tavlanmış) 700 (soğuk Had.)	470 (tavlanmış) 660 (soğuk had.)	550-750
Sertlik (HRB)	130-180	130-170	150-210
Tavlama Sıcaklığı (°C)	1000-1100	1000-1080	1000-1100
Sıcak Şek. Verme Sıc. (°C)	1150-850	1150-850	1150-850
Soğuk Şekil Verme Özelliği	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
Talaşlı İmalat Özelliği	Uygun takım ve soğutma ile	Uygun takım ve soğutma ile	Uygun takım ve soğutma ile
Kaynak Kabiliyeti	Gaz eritme dışındaki yöntemler için mükemmel	Gaz eritme dışındaki yöntemler için mükemmel	Gaz eritme dışındaki yöntemler için mükemmel
Korozyon Dayanımı	Atmosferde kuru havada korozyona dayanımı mükemmel. Nemli olmayan nötr ortamlarda iyi.	Korozyon dayanımı 304'e benzerdir. Ek olarak tanelerarası korozyona ve gerilmeli korozyon çatlamaasına da dayanıklı. Nitrik aside dayanımı iyi.	Korozyon dayanımı 304'e benzerdir. Ek olarak azot katkısıyla mekanik özellikler iyileştirilmiştir.
Yüksek Sıcaklıkta	870 (°C)'ye kadar tufal oluşumu görülmez. Oksitleyici ve nemli klorürlü ortamlarda gerilme korozyonu çatlamaası görülebilir.	900°C'ye kadar tufal oluşumu görülmez.	900°C'ye kadar tufal oluşumu görülmez. 400°C'ye kadar tanelerarası korozyona iyi direnç gösterir. Mekanik zorlama altında 500 °C'a kadar
Kullanım Alanları	En yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik. Ev eşyaları, mutfak cihazları. Mimar ve otomotiv uygulamalar. Düşük sıcaklıklarda da kullanılabilir.	304'e benzer. Ancak kaynak sonrasında tavlama mümkün olmayan parçalarda kullanılır. Özellikle derişik nitrik asitli ortamlar için.	304L'e benzer. Ancak mekanik özellikleri daha iyi. 400°C'a kadar sürekli işletme koşullarında kullanılabilir. Kimyasıt, ve fermentasyon tesislerindeki basıçlı kap ve

## **BÖLÜM 3**

### **TEL DÜZELTME SİSTEMLERİ**

#### **3.1 SOĞUK ŞEKİL VERME**

Üretim aşamasında malzemelerin verimli kullanılarak maliyetin azaltılması, israfın önüne geçilmesi, ürünün en doğru ve düzgün şekilde üretim bandından çıkabilmesi için ölçümlerinin düzgün yapılabilmesi gerekmektedir. Ölçümün en doğru şekilde yapılabilmesi için ise malzemenin en düzgün bir şekilde üretilmesi veya üzerindeki eğrilik ve pürüzlerin yok edilmiş olarak, olabilecek en düz şekle getirilmesi gerekmektedir. En basit tanımı ile doğrultma Eğilmiş, bükülmüş ya da burulmuş parçaları, çeşitli araç ve gereçlerden faydalanarak elde veya makinelerde düzeltme işlemine doğrultma denir.

Tel, levha gibi metal malzemeler ile çalışırken paketlenme, depolama, taşınma esnasında üzerlerinde oluşabilecek hasar, kıvrım ve eğriliklerin yok edilmesi veya azaltılması, üretimin verimliliği, devamlılığı, kalitesi ve maliyet azaltılması gibi faktörlerin sağlanması açısından hayati önem taşımaktadır. Bu düzeltmeler genelde üretim bandından önce çok fazla ek masraf ve karmaşık sistem gerektirmeyen basit işlemler ile yapılabilmektedir.

“Örneğin, kaynak edilen parçada görülen çekme ile parçanın bozulması, sacların işlenmesinde deforme olması, küçük çaplı parçaların işlem esnasında eğilmesi doğrultma ile giderilir.”<sup>(6)</sup> Doğrultma, bir soğuk şekil verme işlemidir.

Soğuk Şekillendirme ise “Oda sıcaklığındaki bir metal malzemenin belirli bir uzunlukta hassas bir şekilde kesildiği ve ardından da daha farklı boyutlarda metal parçalar elde edilmesi amacı ile yapılan kesme, parçalama ve düzeltme yöntemidir”<sup>(7)</sup>

Soğuk şekillendirme yukarıdaki tanımdan da anlaşılacağı üzere, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin (kırılganlık, basınca ve baskıya dayanıklılık, kimyasal yapı, boşlukların varlığı vb) izin vermesi durumunda şekil vermede kullanılan ilk ve en pratik yöntemdir.

Soğuk şekil vermenin sıcak şekil vermeye karşı olan avantajları aşağıda sıralanmaktadır;

- Daha yüksek doğruluk, daha dar toleranslar,
- Daha yüksek yüzey kalitesi,
- Pekleşme, dayanım ve sertliği artırılması,
- Şekillendirme sırasındaki tane akışı, üründe istenen yönlendirilmiş özelliklerin sağlanması,
- Parçanın ısıtılması gerekmemesi
- Düşük maliyet.

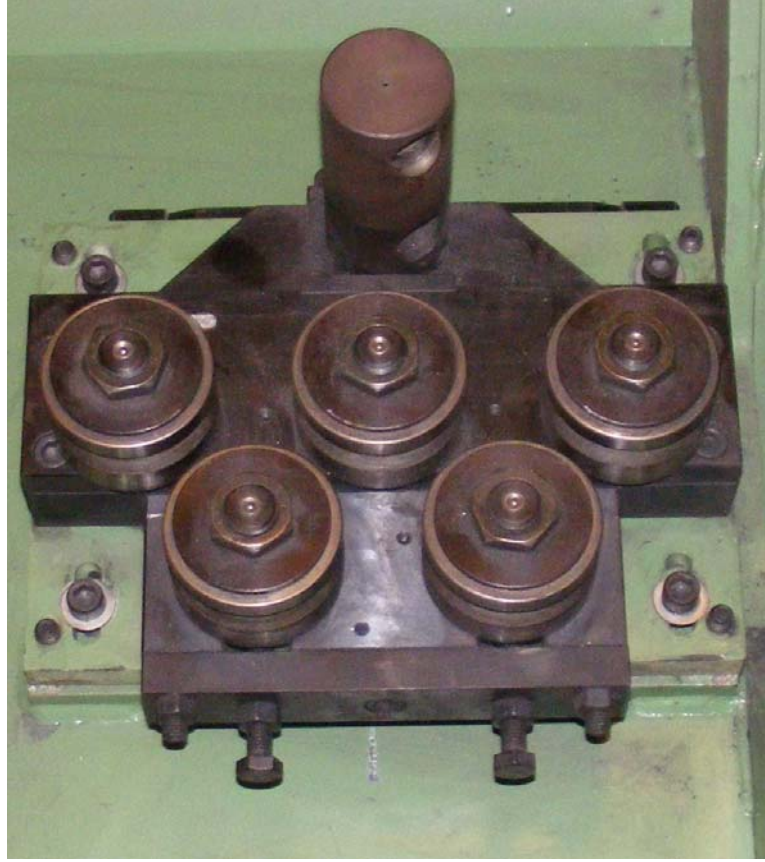
Soğuk şekillenmenin önemli bir özelliği de maddenin hacminin korunuyor olmasıdır. Yani silindirik şeklindeki malzemenin çapı (r) yarı değerine (r/2) düşerse;  $V = \pi r^2 h$  bağıntısından yükseklik (h) değeri 4 katına çıkar. Yani sadece maddenin şekli değişir ağırlığı ve hacminde bir değişiklik olmaz.

Altın, gümüş, platin ve bakır gibi metaller hem yumuşaktır, hem de işlenmeye genel olarak uygundur. Bunun nedeni sahip oldukları atom veya moleküllerin birbiri ile olan çekim kuvvetinin zayıflığıdır. Metaller inceldikçe çekmeye karşı direnci artacağından dolayı çekmeye ve ezilmeye karşı direnci artacağından tavlama işlemi yapılması gerekebilir.

Tavlama; şekil verilmeden önce, metallerin demirci ocağı, indüksiyon fırını, tuz veya maden banyoları gibi ortamlarda ısıtılması işlemidir. Böylece gevşeyen ve yumuşayan malzemeye daha kolay şekil verilir.

### **3.2 TEL DÜZELTİCİ (DOĞRULTUCU)**

Tel düzeltici, sabit eksen etrafında dönen belli ebatlarda kanala sahip rulmanların çeşitli şekilde dizilerek oluşturduğu içinden geçen tel, profil, kablo ve boruların üzerilerindeki eğriliklerin yok edilerek düzgün bir şekil almasını sağlayan sistemlerdir. Sistemde bulunan rulman sayısı işin durumuna ve malzemenin cinsine göre değişir ve genel olarak 3 ile 9 arasında değişen sayıdadırlar. 0.01 mm çapındaki tellerden 25 mm çapındaki boruları doğrultabilen düzelticiler mevcuttur. Rulmanların birbirleri ile olan mesafeler x-y eksenini üzerinde değişikliğe uğrayabilecek yapıda olanların yanında, rulman mesafeleri sabit yapıda olanları da mevcuttur. Daha önce de belirtildiği üzere bu düzeltme işlemi soğuk şekillendirmenin bir alt işlemlerinden biridir.



Şekil 3.1: Tel Doğrultma Sistemi-1 <sup>(8)</sup>

Tel düzeltme sistemleri yaptıkları işlere ve kanallarının derinliğini belirlemek için kullanılan ölçü sistemlerine göre gruplandırılabilir.

Ölçü sistemine göre;

a) İnç

b) Metrik

Kullanım alanına göre ise;

a) Hafif Sanayi Tipi

b) Ağır Sanayi Tipi

### 3.2.1 ÖLÇÜ SİSTEMİNE GÖRE

#### 3.2.1.1 İnç Seriler:

Rulmanların üzerilerinde bulunan kanallar inç ölçü birimine göre ayarlanmıştır. (1 inç = 25,4 mm) Amaç inç ölçü birimlerini kullanan ülkelerin (ABD ve İngiltere) ürettiği tel ve borularda tam bir uyum içinde çalışmasıdır. (Genel olarak dünyada boruların çap ve et kalınlığının belirlenmesinde inç sistemi kullanılmaktadır.).

Eskişehir Organize Sanayi Bölgesinde, Arçelik marka buzdolabı tellerinin ve borularının üretimini yapan MATASAN AŞ'de üretim konusunda yapılan görüşmede, bu tip inç sistemlerinin kullanılmadığı belirtildi. Çünkü rulmanlar arası mesafeler y ekseninde ayarlanabilir bir sistem kullanıldığı için, borunun çapı inç biriminde de olsa rulmanlar arası mesafeyi y ekseninde uygun bir değere getirerek bu sorunu aşabilmek, verimli bir şekilde istenilen düzgünlükte ürün eldesinde başarılı olmaktadır.

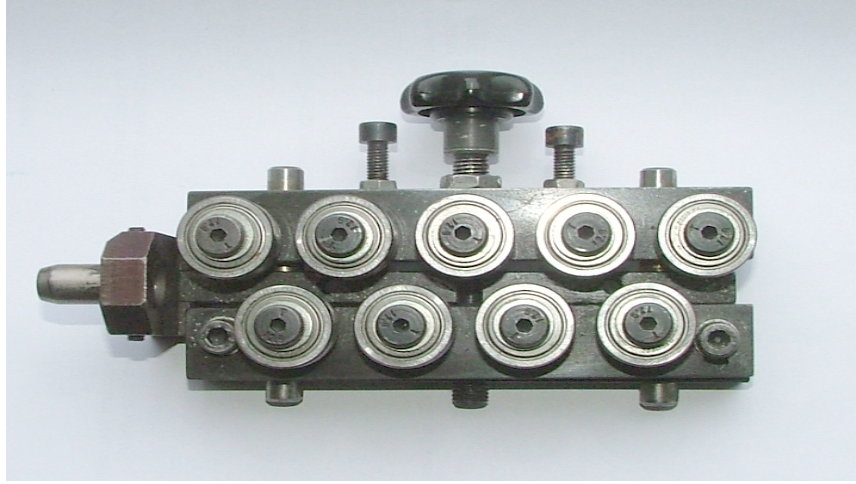
İnternette tel doğrulma makinelerinin standartları için yapılan araştırmada, farklı markaların farklı boyutlarda teli doğrultan ölçülerde makine ürettikleri öğrenilmiştir. Ancak Sjorgren Firmasının İnç serisi için yaptığı makinelerin düzeltebileceği aralıklar aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.1: Sjorgren Firmasının İnce ve Metrik Ölçülerdeki Doğrultucuları İçin Standartlar<sup>(9)</sup>

Makinenin Doğrultabileceği Tellerin Boyut Aralıkları (Tel Çapı)	
İnce Sistemde	Metrik Sistemde
0,0015'' – 0,010''	0,038 mm – 0,25 mm
0,0030'' – 0,015''	0,076 mm – 0,38 mm
0,03'' – 0,062''	0,76 mm – 1,57 mm
0,062'' – 0,125''	1,57 mm – 3,17 mm
0,375'' – 0,5''	7,5 mm – 12,7 mm
0,5'' – 1''	12,7 mm – 25,4 mm

### 3.2.1.2 Metrik Seriler:

Metrik Sistemi kullanan Avrupa ülkelerinin ürettiği tellerin düzeltilmesini yapacak olan sistemlerdir. Türkiye’de genel olarak kullanılan seri olup, bazılarının boyutları Tablo 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.2: Tel Doğrultma Sistemi – 2 <sup>(10)</sup>

### 3.2.2 ÇALIŞTIKLARI ORTAMA GÖRE

#### 3.2.2.1 Hafif Sanayi Tipi:

Daha çok ince ve orta kalınlığa sahip (0,8 mm – 7 mm), kolay şekil alabilen malzemelerden yapılmış olan (Altın, gümüş, bakır, platin vb) tellerin düzeltilmesinde kullanılır.

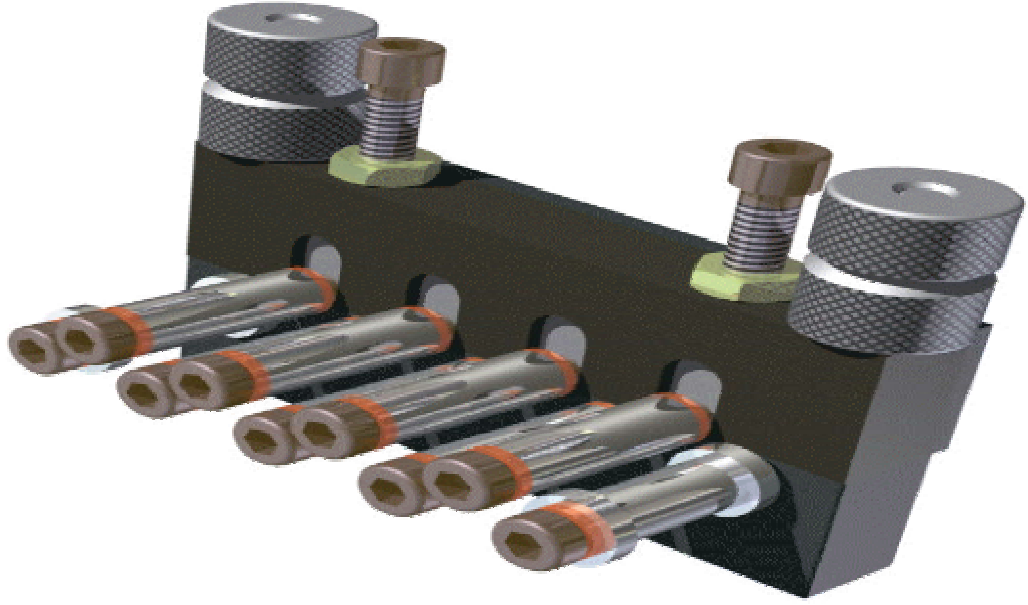
Telin üzerine, rulmanlar tarafından uygulanan kuvvet çok aşırı olmamaktadır. Ayrıca rulmanların yapıldığı madde sert çelikten ziyade, yumuşak malzemeler tarafından oluşabilecek olan aşınmaya dayanıklı olan yumuşak çelikten veya demirden alaşımlarıdır. Makine karşılığı olan ağır sanayi tipindekilere oranla daha küçük ve hafiftir.

Tablo 3.2: Hafif Sanayi Tipi Düzeltme Sistemleri Standartları <sup>(8)</sup>

(Çap / mm)
0,8 mm – 1,5 mm
1 mm – 2 mm
1,5 mm – 3 mm
2 mm – 4 mm
3 mm – 5 mm
5 mm – 7 mm

### 3.2.2.2. Ağır Sanayi Tipi:

Sert malzemeden üretilmiş veya büyük çapa sahip tellerin ( $>7\text{mm}$ ) düzeltilmesi amacıyla kullanılır. Rulmanların dış kısmı sert tellere dayanıklı malzemelerden yapılmış olup, temastan dolayı oluşabilecek aşınmalara karşı ise dayanıklıdır. Tellerin üzerine binen yük fazla olması gerektiğinden, büyük çapta rulmanlar kullanılmalıdır. Rulman sayısı en az 5 olup, 7 veya 9 tane civarında olması ideal düzeltmeyi sağlar. Böylece yol boyunca uygulanan kuvvet miktarı artmaktadır.



Şekil 3.3 : Ağır Sanayi Tipi Tel ve Boru Düzeltme Sistemi <sup>(10)</sup>

Tablo 3.3: Ağır Sanayi Tipi Düzeltme Sistemleri Standartları <sup>(8)</sup>

5 mm – 15 mm
10 mm – 20 mm
15 mm – 25 mm
20 mm – 30 mm
3 mm – 5 mm
5 mm – 7 mm

## **BÖLÜM 4:**

### **PROJENİN MEKANİKSEL ve ELEKTRİKSEL TASARIMI**

#### **4.1 MEKANİK TASARIM:**

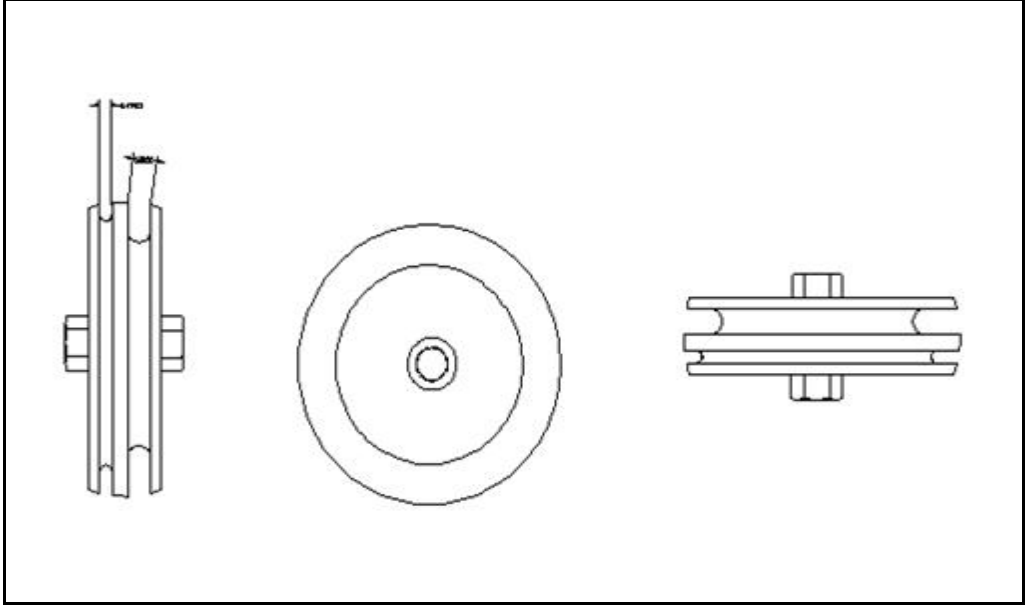
Sistem’de düzeltme yapacak 0,5 ve 1 mm çapında dışı kanallı olarak torna tezgâhında işlenilen rulmanlar kullanıldı. Ayrıca girişteki bir rulmanın üzerine kauçuk bir parça geçirilerek sisteme giriş anında oluşacak olan kayma ve patinaj engellenmeye çalışılmıştır. Toplamda 8 tane olan bu rulmanların 1’i motora bağlı iken kalan 6 tanesi ise motordan bağımsız olarak 3 tanesi üst tarafa sabitlenmiş olup, 3 tanesi ise alt tarafta y ekseninde hareket ederek, üstteki sabit rulmanlar ile arasında olan mesafeleri değişecek şekilde yer almaktadır. Böylece yaklaşık olarak 1 ile 3 mm arasında değişen mesafede ayar yapılabilmektedir. Ama 2 mm çapındaki tel için sistemin en uygun alışma aralığı yaklaşık 1,75 mm’dir. Bu mesafeler tamamen deneme yanılma yolu ile bulunmuş olup, telin cinsine göre değişiklikler gösterebilir. Telin düzeltilerek geçebileceği en uygun aralığın saptanabilmesi projede en çok sorun yaşanan aşamalardan biri olmuştur. Alt kademe rulmanları ile üst kademe rulmanları arasında bulunan aralıklarda yapılan küçük değişiklikler, telin düzeltilmesi konusunda farklı sonuçlar vermiştir. Mesafelerin değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Alt ve Üst Rulman Gruplarının Aralarındaki Mesafenin Çalışmaya Olan Etkisi ve Sonuçları

Mesafe (mm)	Sonuç
<1,2 mm	Tel geçmesinde sorun yaşandı, motor aşırı zorlandı.
~ 1,5 mm	Yukarıda bulunan rulmanlardan baskı geldiği için tel aşağıya doğru L şeklinde büküldü.
~ 2 mm	Tel yukarıya doğru L yapacak bir şekilde, doğrultuldu.
> 2,5 mm	Herhangi bir doğrultma olmadı çünkü tel makaralar tarafından sürülemedi.



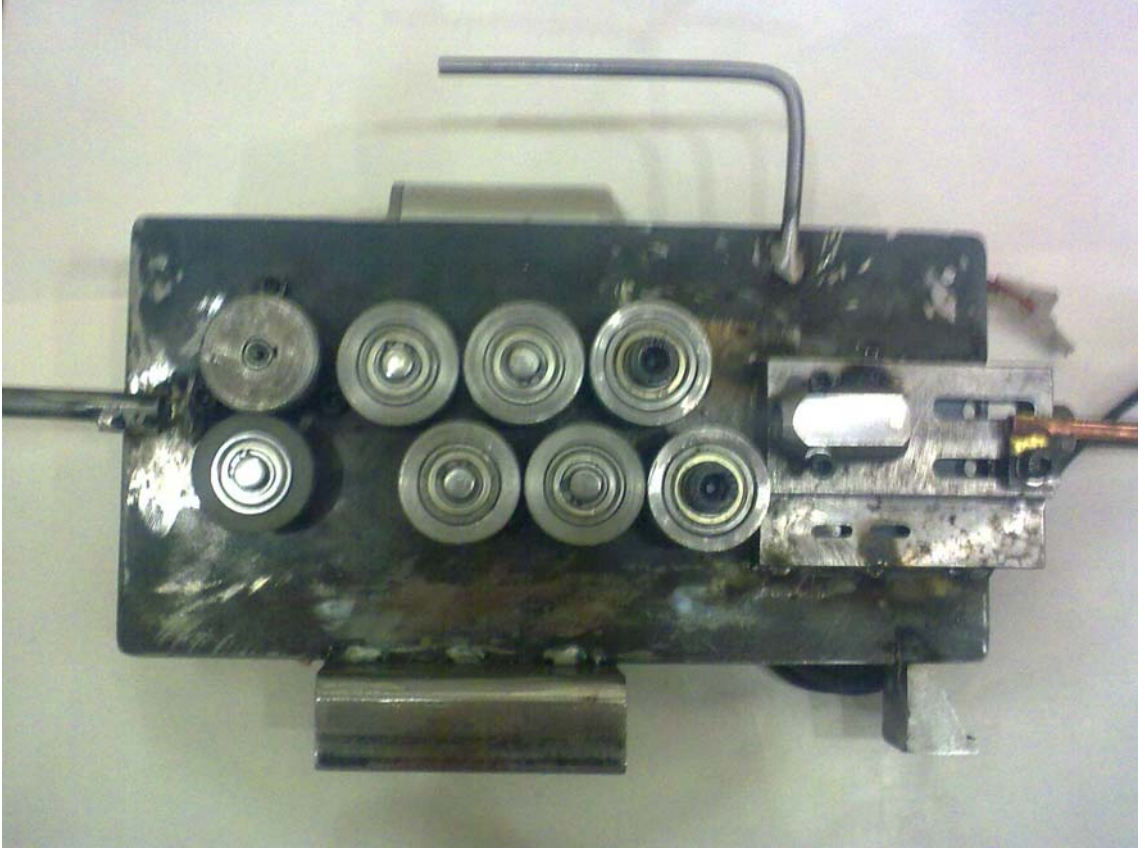
Şekil 4.1: Düzeltme Hareketini Yapacak Olan Rulmanlar - 1



Şekil 4.2: Düzeltme Hareketini Yapacak Olan Rulmanlardan Birinin Yapısı



Şekil 4.3: Düzeltme Hareketini Yapacak Olan Rulmanlar - 2



Şekil 4.4: Sistemin Genel Görünümü - 1

Projede, 2 mm çapındaki 304 paslanmaz Çelik Tel, 302 Kafes Teli ile birlikte 2 mm çapında bakır bir tel ile denemeler yapılmıştır. Böylece telin cinsinin doğrultma üzerindeki etkisi de gözlenmiştir. Bakır tel en yumuşak tel olduğundan bir sorun yaşamadan hemen hemen mükemmel bir sonuç alınmıştır. 304 paslanmaz çelik tel ise yumuşaklık derecesi bakımından 302 kafes telinden daha yumuşak, ancak bakır telden sert olduğundan dolayı elde edilen sonuç tatmin edicidir. En sert tellerden biri olan kafes telinde ise makine de zorlanacak şekilde çalıştırılmasına rağmen zayıf yani ancak dikkatli bakan bir gözle görülecek seviyede hafif bir düzeltme olmuştur.

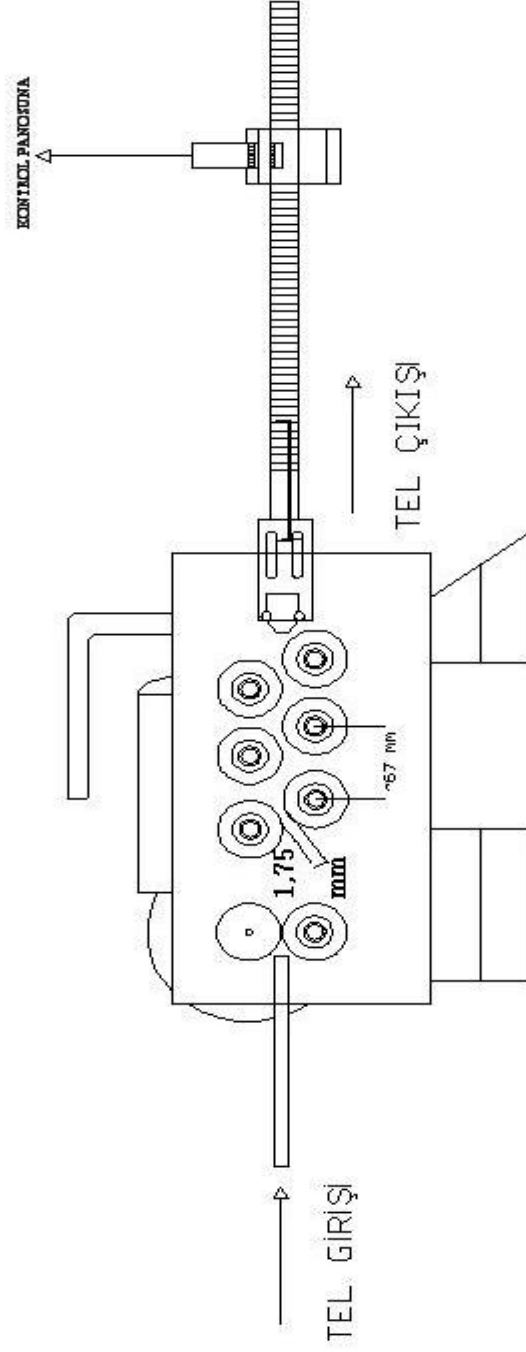


Şekil 4.5: Sistemin Genel Görünümü-2

Sistemin çıkışına bakırdan bir kanal yapılarak sensörün görebileceği noktaya kadar telin yer çekiminden kaynaklanan aşağıya doğru sarkma hareketine maruz kalmadan gelmesi amaçlanmıştır. Kanalın bakırdan yapılması ile zamanla oluşabilecek kaymalarda bakırın kolay şekil alma özelliği kullanılarak kanalın sensörle mesafesinin aynı kalması sağlanacaktır.



Şekil 4.6: Sistemin Çıkışı ve Sensör Bağlantısı



Şekil 4.7: Sistemin Çizimi

## 4.2 ELEKTRİKSEL DEVRE TASARIMI

Sistemde görev yapan DC Motorun istenilen hızda ve noktalar arasında çalışmasını sağlayacak bir devrenin tasarlanması, kurulması, test edilerek devreye alınması projenin önemli bir ayağını oluşturmaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere, kontrolünün kolay olması ve hassas çalışmalara yapısının uygun olması sebebi ile Sürekli Mıknatis yapısına sahip DC Motor'un projede kullanılması uygun bulunmuştu.

Bir adet mikro kontrolör ile uygun elektronik devre elemanları kullanılarak oluşturulacak olan kontrol devresi, projede görev yapan DC Motorun istenilen şekilde çalışabilmesini sağlayacaktır. Bunun için, DC motor kontrol devreleri ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Konu ile ilgili olarak sahip olunan bilgiler, araştırmalar sonucu elde edilen bilgiler ile sentezlenerek, proje için en uygun olduğuna inanılan devrenin tasarlanması sağlanmıştır.

### 4.2.1 BESLEME DEVRESİ

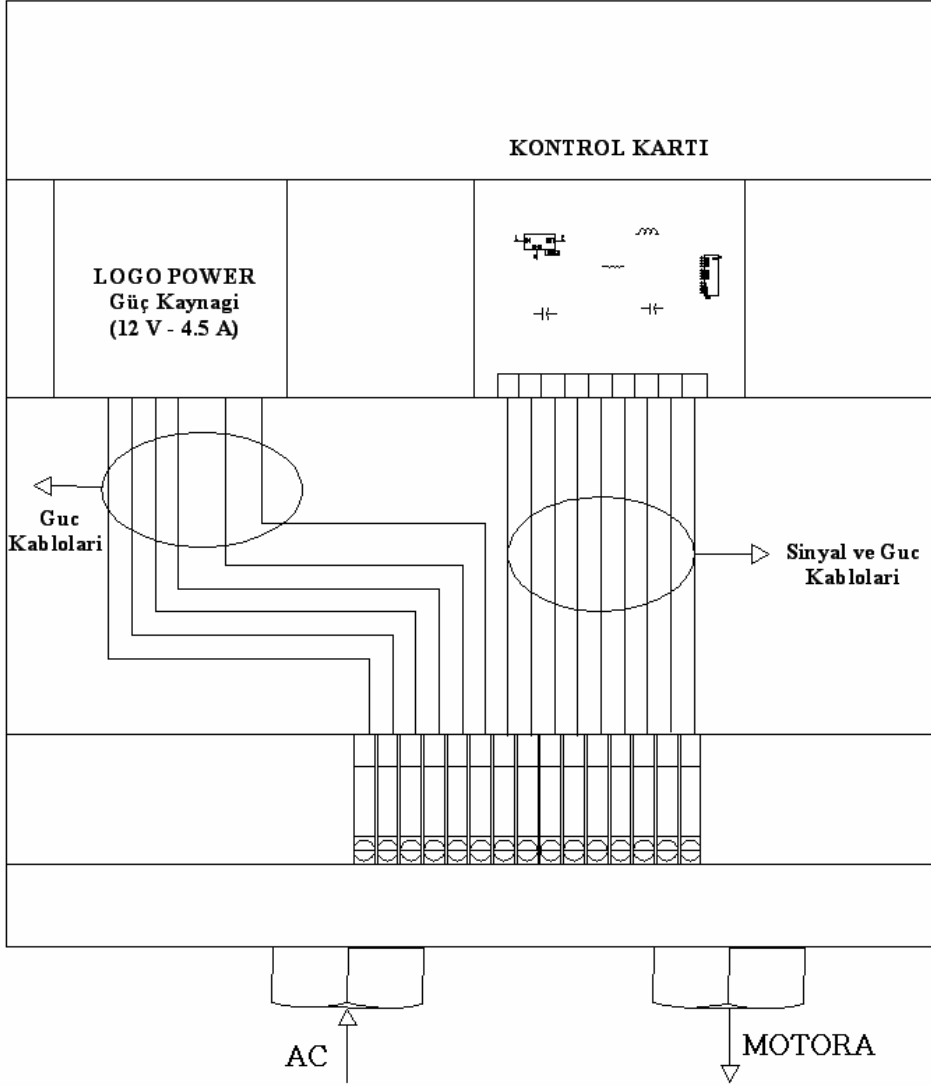
Sistem, 12 Volt gerilim ile beslenen bir kontrol devresi ile kontrol edilmektedir. Güç kaynağından gelen 12 Voltluk DC gerilimin AT89C2051 entegresinin beslenebilmesi için +5 Vdc'ye düşürülmesi gerekmektedir. Bu da 10k $\Omega$  ve 4,7k $\Omega$ 'luk dirençler, 220pf'lık kapasitör ve 1N4734 zener diyotu ile yapılan voltaj düşürücüsü devresi ile sağlandı.

Elektrik Devresine gerekli olan gücü sağlamak için Siemens firmasının ürettiği 12 voltluk, 4,5 Amperlik Logo Power Güç Kaynağı kullanılmıştır. 12 voltluk gerilim PWM metodu kullanılarak uygun değerlere getirilerek motora uygulanmıştır. Böylece sistemin uygun hızlarda çalışmasını sağlanmıştır.

“Endüstriyel otomasyon sistemlerinin, ölçme ve kontrol sistemlerinin, sensörlerin ve TTL yapıdaki elektronik devrelerin beslenmeleri gibi birçok geniş alanda kullanılan bir güç kaynağıdır.”<sup>(11)</sup>

Tablo 4.2: Logo Power'in Özellikleri<sup>(11)</sup>

	<b>LOGO! Power 12 V / 1.9 A</b>	<b>LOGO! Power 12 V / 4.5 A</b>
<b>Emniyet</b>		
Elektriksel izolasyon, primer/sekonder	Var, SELV (EN 60950/VDE 0805'e göre)	
Emniyet sınıfı	II (IEC 536/VDE 0106 T1'e göre)	
Koruma sınıfı	IP 20 (EN 60529/VDE 470 T1'e göre)	
CE işareti	Var	
UL/CSA sertifikası	Var UL 508 / CSA 22.2	
FM onayı	Hazırlanıyor	
<b>Genel detaylar</b>		
Ortam sıcaklığı	-20 ... +55°C, doğal konveksiyon ile	
Saklama ve nakliye sıcaklığı	- 40 ... +70°C	
Giriş klemensleri	L1 ve N için birer adet (1x2.5mm <sup>2</sup> veya 2x 1.5 mm <sup>2</sup> )	
Çıkış klemensleri	L+ ve M için ikişer adet (1x2.5mm <sup>2</sup> veya 2x 1.5 mm <sup>2</sup> )	
Montaj şekli	35 mm DIN rayı üzerine	
Boyutlar(ExYxD)	72 x 80 x 55 mm	126 x 90 x 55 mm
Yakl. ağırlık	0.2 kg	0.4 kg
Boyutlar in mm (WxHxD)	72 x 80 x 55	126 x 90 x 55
Yakl. Ağırlık	0.2 kg	0.4 kg

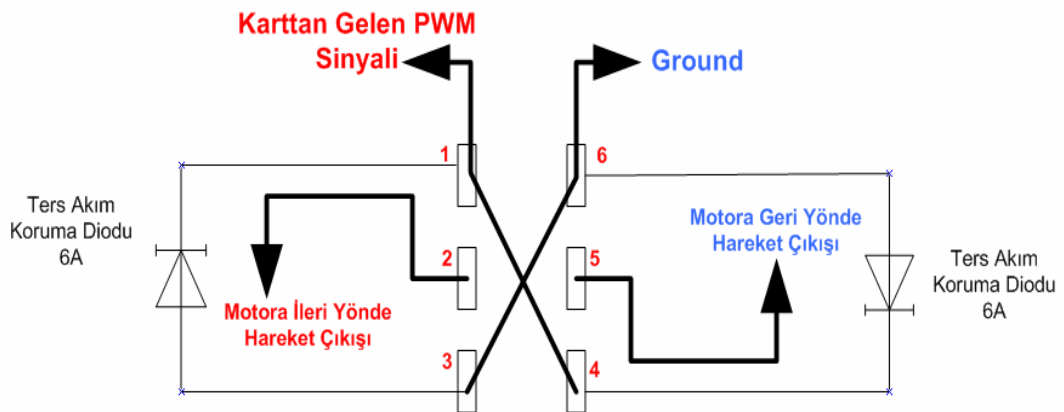


Şekil 4.8: Kontrol Panosu

## 4.2.2: MOTOR KONTROL DEVRESİ

### 4.2.2.1: Motor Kontrolü ve Yön Seçimi

Motorun dönme yönüne göre tel ileri veya geri yönde sürülmektedir. İleri yönde tel sürülmesi ile tel doğrultulması, geri yönde hareket ile de sıkışmış olan telin mekanizmaya zarar vermeden sistemden çıkarılması amaçlanmıştır. Bunun için basit bir yön seçme devresi kurulmuştur. 1 – 0 – 2 anahtarın şekil 4.9’de de görüldüğü üzere 1. Bacağına Karttan gelen PWM sinyali, 6 numaralı bacağına ise 0 gerilim uygulanmıştır. Ayrıca 1. ve 4. Bacaklar ile 3. Ve 6. Bacaklar kendi aralarında köprülenerek motorun yönünün butona bağlı olarak değiştirilmesi sağlanmıştır. Devrede bulunan 6 Amperlik diyotlar ile de ters akımın motora akarak zarar vermesi engellenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.9: Yön Seçim Anahtarı ve Bağlantı Devresi

#### 4.2.2.2 PWM Nedir ve Devrede Uygulaması

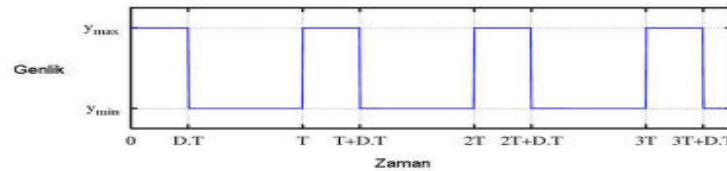
Sistemde hareketi sağlayacak olan motorun hızının, PWM yöntemi kullanılarak (Pulse-width modulation (*PWM*, Darbe genişlik modülasyonu), yani üretilecek olan darbelerin, genişliklerini kontrol ederek, çıkışta üretilmek istenen gerilim değerinin elde edilmesi ile kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Devre kartının üzerinde bulunan arttır ve azalt butonları ile motora gidecek olan voltajın ton ve toff sürelerinin değiştirilmesi ve böylece motor hızının değiştirilmesi sağlanmıştır. <sup>(12)</sup>

PWM elektrik ve elektronikte birçok alanda, farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

Telekomünikasyon, güç, voltaj düzenleyiciler, ses üreteçleri veya yükselteçler gibi çeşitli uygulama alanları ve farklı uygulamaları bulunmaktadır.

PWM'in en çok duyulduğu yer, güç kaynaklarıdır. SMPS (Switched mode power supply) güç kaynakları, düzenlenecek olan çıkış voltajlarını bu teknikten yararlanarak elde etmektedirler. Bu sayede, yüksek akım ve düşük voltajlı güç elde edimimleri için, transformatörlerden çok daha etkin ve çok daha küçüklerdir.

Üretilen kare dalga darbe sinyallerinin genişliklerinin ortalaması, çıkışta üretilecek olan analog değer elde edilmesini sağlar. En iyi açıklama (Şekil 4.15) ile yapılabilir.



Şekil 4.15: PWM Dalga Şekli <sup>(13)</sup>

Kare dalganın frekansına  $f(t)$ , en düşük genlik değerine  $y_{\min}$ , en yüksek genlik değerine  $y_{\max}$  ve sinyal oranına (duty cycle)  $D$  olarak kısaltılırsa, ortalama sinyal,

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$f(t)$  kare dalga olduğundan,  $f(t)$ ,  $y_{\max}$  için  $0 < t < D \cdot T$  ve  $y_{\min}$  için  $D \cdot T < t < T$  değerlerini alabilir.

Buradan,

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{T} \left( \int_0^{DT} y_{\max} dt + \int_{DT}^T y_{\min} dt \right) \\ &= \frac{D \cdot T \cdot y_{\max} + T(1-D)y_{\min}}{T} \\ &= D \cdot y_{\max} + (1 - D) y_{\min} \end{aligned}$$

elde edilir. <sup>(13)</sup>

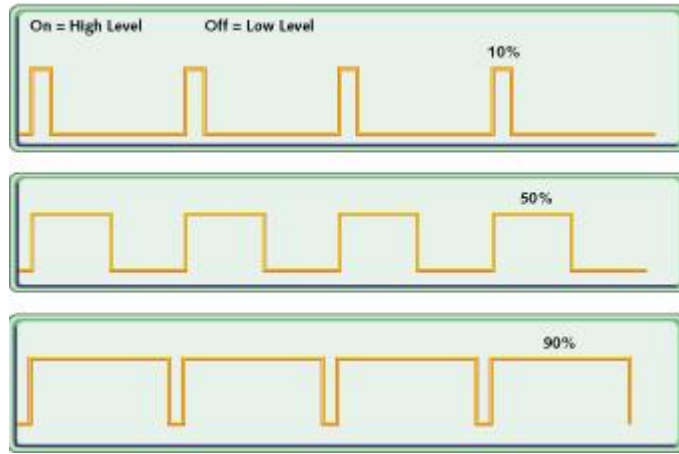
Yukarıda verilen formül genellikle  $y_{\min} = 0$  iken  $\bar{y} = D \cdot y_{\max}$  olarak kullanılır. Görüldüğü gibi elde edilecek ortalama değer direk sinyal oranına (duty cycle) bağlıdır.

PWM tekniği, motor sürücülerinde, voltaj düzenleyicilerde, telekomünikasyonda kodlama ve çözme teknikleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. PWM analog devrelerin sayısal çıkışlarla kontrol edilmesinde kullanılan en güçlü tekniktir. Piyasada bulunan birçok mikro denetleyici PWM modülü içermektedir. Bu PWM modülü, frekansının ve sinyal oranı programlanarak çalıştırılabilir. Burada üretilecek olan kare sinyalin kontrolü bir devreye bağlanmış seri bir anahtar ile modellenilebilir.



Şekil 4.11: PWM Modellemesi <sup>(14)</sup>

Burada anahtar belirli oranlarla açılıp kapandığında, lambanın ışık şiddeti değişecektir. PWM ile üretilebilecek olan çeşitli oranlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.12: Farklı Anahtarlama Süreleri İçin Elde Edilen Dalga Şekilleri <sup>(14)</sup>

Burada, en üstte verilen grafik, Duty Cycle %10, ortadaki %50, alttaki ise %90 için çizilmiştir. Bu oranlarla üretilecek olan analog sinyal değeri, %10 için 0.9V, %50 için 4.5V ve %90 için 8.1V olacaktır.

Bu modelde kullanılan basit anahtar yerine rahatlıkla transistör kullanılabilir. Bu transistör de mikro denetleyici tarafından kontrol edilebilir. Bu sayede mikro denetleyici tarafından kontrol edilen basit bir analog sistem elde edilmiş olur.

Çok düşük bir frekans ile üretilen darbe sinyalleri ve bunlarla kontrol edilen bir anahtar ile kontrol edilen bir lambada, lambanın yanma ve sönme zamanları hissedilebilecektir. Bu durum ışığın şiddetinin değişikliğinde öte, titreme şeklinde görünecektir. Bunu engellemek için anahtarlama frekansı yükseltilmelidir. Genellikle uygulamalarda, 1 kHz – 200 kHz arasındaki frekanslarda çalışılır<sup>(14)</sup>

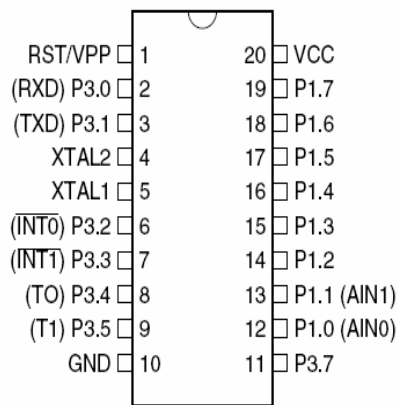
PWM'in en önemli avantajlarından biri sayısalan analoga dönüştürme işlemini oldukça basit bir yapı ile sağlamasıdır. Sinyalin sadece 1 ve 0'larının oranları belirlenerek, üretilecek olan analog sinyal elde edilir.

Ancak, analog sinyalin üretiminde oluşacak olan gürültü bir dezavantajdır. Sayısal olarak üretilen sinyal analoga çevrilmeden önce, gerektiği durumlarda RC veya LC filtreler kullanılarak oluşan bu gürültü önenebilir.

#### 4.2.2.3 AT89C2051 Mikroişlemcisi ve 24C02 EEPROM' unun Özellikleri

Sistemin kontrolünde Atmel firmasının ürettiği AT89C2051 mikroişlemcisi kullanılmıştır. Mikroişlemciye input butonları ile (Start – Stop, PWM Frekansı Arttır ve Azalt ve Sensör) gelen input değerlerinin işlenerek, motora çıkış voltajı olarak geri dönmesi sağlanmıştır.

AT89C2051, 8 bitlik bir mikroişlemci olup, DC motor uygulamalarında oldukça sık kullanılan, güvenli çalışan bir mikroişlemcidir. 2Kb'lık bir programlanabilir flash belleğe sahiptir. Bu mikroişlemcinin en büyük handikabı olup, bu sorun da 24C02 EEPROM entegresi kullanılarak aşılmıştır. Mikroişlemci ile EEPROM arasında seri haberleşme sağlanmış (24C02 EEPROM'u, AT89C2051 mikroişlemcisinin 15. ve 16. pinlerine bağlanarak) veri iletişimi sağlamıştır, böylece PWM değerleri EEPROM'DA depolanarak daha güvenli olarak kullanılacaktır. Mikroişlemci master, EEPROM ise slave olarak görev yapar.



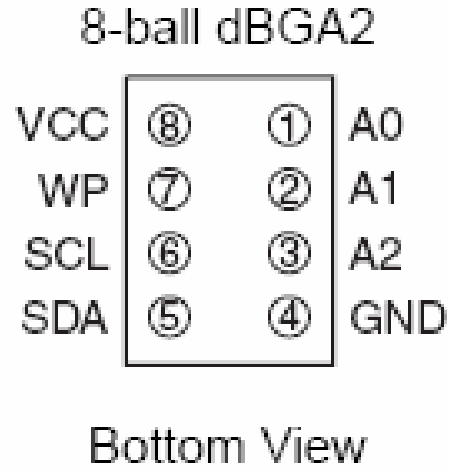
Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

Şekil 4.13: AT89C2051 Mikroişlemcisinin Bacak Bağlantıları ve Özel Fonksiyonları <sup>(15)</sup>

Tablo 4.3: AT89C2051 Mikroişlemcisinin Bacak Bağlantıları Tablosu <sup>(15)</sup>

Pin Number	Description
1	RESET - Reset
2	P3.0 - Port 3 - RXD
3	P3.1 - Port 3 - TXD
4	XTAL2 - Crystal
5	XTAL1 - Crystal
6	P3.2 - Port 3 - INT0
7	P3.3 - Port 3 - INT1
8	P3.4 - Port 3 - TO
9	P3.5 - Port 3 - T1
10	GND - Ground
11	P3.7 - Port 3
12	P1.0 - Port 1 - AIN0
13	P1.1 - Port 1 - A1N1
14	P1.2 - Port 1
15	P1.3 - Port 1
16	P1.4 - Port 1
17	P1.5 - Port 1
18	P1.6 - Port 1
19	P1.7 - Port 1
20	Vcc - Positive Power Supply

Pin Name	Function
A0 - A2	Address Inputs
SDA	Serial Data
SCL	Serial Clock Input
WP	Write Protect
NC	No Connect
GND	Ground
VCC	Power Supply



Şekil 4.14: 24C02 EEPROM'u Bacak Bağlantıları ve Özel Fonksiyonları<sup>(16)</sup>

#### 4.2.2.4 PIC Derleyicisi:

PIC devresinin kontrol programı için, Mikroelektronika (Sırbistan Cumhuriyeti) firmasının geliştirdiği MIKRO C derleyicisi kullanılmıştır. C tabanlı bir yazılım olan MIKRO C, sahip olduğu PWM kütüphanesinin komutları ile motor kontrolü kolaylıkla yapılabilmektedir. MIKRO C derleyicisinin PWM kütüphanesinde PWM modülünü hazırlaması ve devreye alarak çalışmasını sağlayacak olan işlemlerin otomatik olarak yapılmasını sağlayan 4 adet basit komut vardır. Bunlar;

- PWM\_INIT
- PWM\_SET\_DUTY
- PWM\_START
- PWM\_STOP şeklinde adlandırılır.

- i. PWM\_INIT: PWM modülünün kullanacağı frekansın (Hz) belirlendiği komuttur. Projede 5 kHz frekansında bir PWM frekansı kullanılmıştır.

PWM\_INIT(5000);

- ii. PWM\_SET\_DUTY: PWM oranının ayarlandığı komuttur. 0 – 255 arasında bir tam sayı değer alır.

0: % 0 PWM

63 : %25 PWM

127 : %50 PWM

192 : % 75 PWM

255 : %100 PWM

şeklinde değerler almalıdır.

- iii. PWM\_START: PWM'in başlamasını sağlar. Bütün PWM Modülü olan mikroişlemcilerde uygun şekilde çalışmayı sağlar.

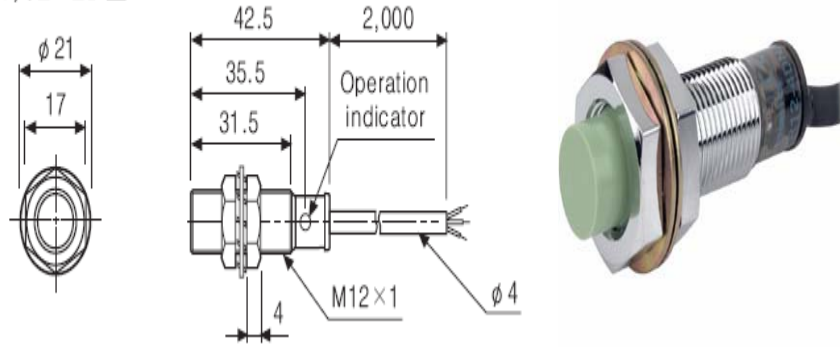
- iv. PWM\_STOP: PWM\_START komutu ile başlatılmış olan PWM işlemini bitirir.

#### **4.2.2.5 AUTONICS PR12 – 2 DP Yaklaşım Sensörü:**

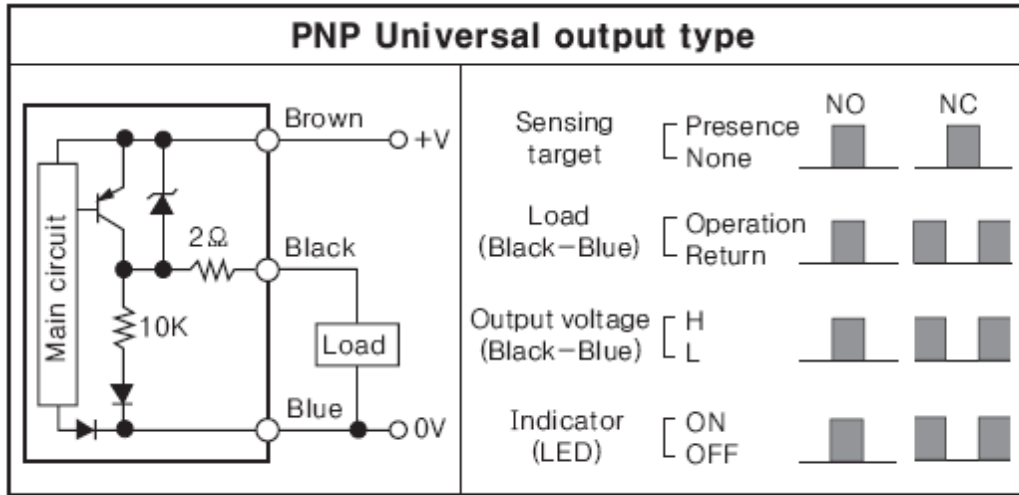
Projede motorun otomatik olarak durmasını sağlamak üzere Autonics firmasının (G. Kore) ürettiği PR12 – 2 DP yaklaşım (proximity) sensörü kullanılmıştır. Devrede kullanılma amacı, düzeltme mekanizmasından çıkan telin belirli uzunluklarda kesilebilmesini sağlamak için motorun durdurulmasıdır.

Sensörün monte edilmesi için çıkış kısmına yaklaşık 30 cm uzunluğunda bir cıvata eklenmiş olup, sensörün takılabileceği yer ise bu cıvata üzerinde hareket edebilecek şekilde bir somunla, cıvataya iliştilmiştir. Böylece sensörün yeri değiştirilerek,30 cm'e kadar uzunlukta düzeltilmiş tel eldesi sağlanabilir.

●PR(T)12-2D□



Şekil 4.15: Yaklaşım Sensörünün Boyutları ve Görünümü <sup>(17)</sup>



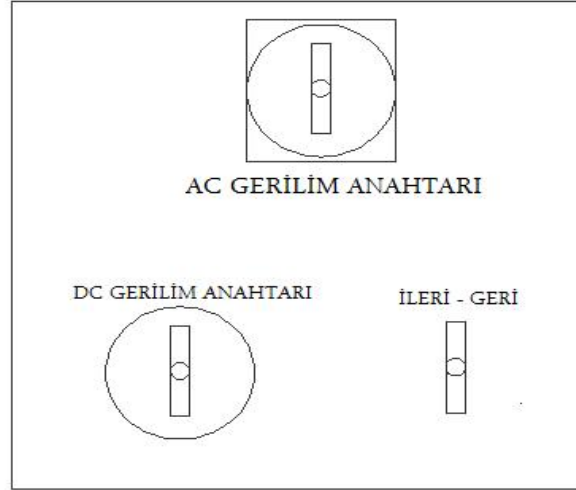
Şekil 4.16: PR12 - 2 DP Sensörünün Yapısı, Giriş ve Çıkış Dalga Şekilleri <sup>(17)</sup>

Tablo 4.4: Yaklaşım Sensörünün Özellikleri <sup>(17)</sup>

Model	PR08-1.5DN PR08-1.5DP PR08-1.5DN2 PR08-1.5DP2 PRL08-1.5DN PRL08-1.5DP PRL08-1.5DN2 PRL08-1.5DP2	PR08-2DN PR08-2DP PR08-2DN2 PR08-2DP2 PRL08-2DN PRL08-2DP PRL08-2DN2 PRL08-2DP2	PR12-2DN PR12-2DP PR12-2DN2 PR12-2DP2 PRS12-2DN PRS12-2DP PRS12-2DN2	PR12-4DN PR12-4DP PR12-4DN2 PR12-4DP2 PRS12-4DN PRS12-4DP PRS12-4DN2 PRL12-4DN PRL12-4DP	PR18-5DN PR18-5DP PR18-5DN2 PR18-5DP2 PRL18-5DN PRL18-5DP PRL18-5DN2 PRL18-5DP2	PR18-8DN PR18-8DP PR18-8DN2 PR18-8DP2 PRL18-8DN PRL18-8DP PRL18-8DN2 PRL18-8DP2	PR30-10DN PR30-10DP PR30-10DN2 PR30-10DP2 PRL30-10DN PRL30-10DP PRL30-10DN2 PRL30-10DP2	PR30-15DN PR30-15DP PR30-15DN2 PR30-15DP2 PRL30-15DN PRL30-15DP PRL30-15DN2 PRL30-15DP2
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 ~ 1.05mm	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(*1)	1.5kHz	1kHz	1.5kHz	500Hz		350Hz	400Hz	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 500VDC)							
Dielectric strength	1500VAC 50/60Hz for 1minute							
Vibration	1mm amplitude at frequency of 10 ~ 55Hz in each of X, Y, Z directions for 2 hours							
Shock	500m/s <sup>2</sup> (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.	φ 4×3P, 2m				φ 5×3P, 2m			
Approval	CE							
Unit weight	Approx. 36g	Approx. 36g	PR:Approx. 70g PRS:Approx. 68g	PR:Approx. 70g PRS:Approx. 68g	PR:Approx. 119g PRL:Approx. 150g	PR:Approx. 118g PRL:Approx. 150g	PR:Approx. 184g PRL:Approx. 222g	PR:Approx. 181g PRL:Approx. 227g

\*(\*1) The response frequency is the average value. The standard sensing target is used and the width is set as 2 times of the standard sensing target, 1/2 of the sensing distance for the distance.

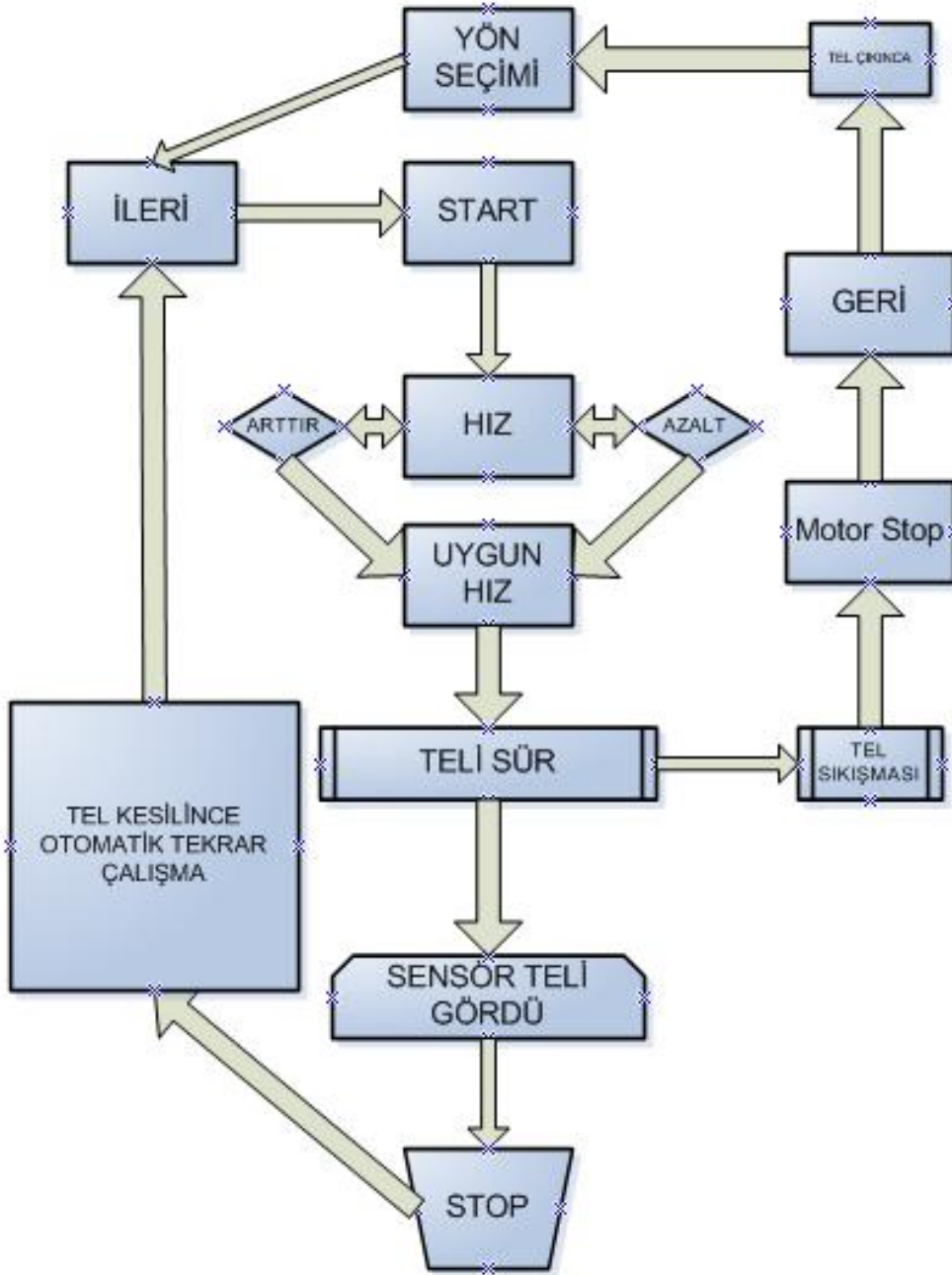
#### 4.2.2.6 Elektronik Kontrol Devresinin Çalışması



Şekil 4.17: Anahtarlar ve Panonun Kapağı

1. Sistemi ve devreyi beslemekte olan 220 Vac ve 24 Vdc'yi kesmek için 2 adet anahtar panonun üzerinde bulunmaktadır.
2. Daha önce de belirtildiği gibi üzerinde bulunan 6 amperlik diyotlar ile birlikte motorun dönüş yönünü değiştirebilen bir adet anahtar da mevcuttur.
3. Devre üzerinde bulunan PWM frekansının artmasını veya azalmasını sağlayarak motorun hızını değiştiren ve devrenin start stop işlemlerini yapan 3 adet küçük buton mevcuttur. Pano üzerine butonların taşınması işlemi uygun butonların bulunamaması sebebi ile gerçekleştirilememiştir.

4. Sistemin ucunda bulunan proximity sensör (Autonics PR 12 – 2DP) de aktif olduğu zaman sistemin durmasını sağlayacaktır. Böylece telin belirli mesafede düzeltilerek, kesime hazır hale getirilmesi sağlanacaktır. Telin uzunluğunun artışından dolayı oluşabilecek dairesel yönde tekrar şekil almanın önüne geçilecektir.
5. PIC kartının çıkış klemensinden motora çıkış alınır. Böylece motorun, kontrol kartından gelecek olan komutlara göre sağlanmış olunur.
6. PIC kartına güç kaynağından gelecek olan besleme girişleri ile motora gidecek olan çıkış klemenslerinin içerisine 6 amperlik cam sigorta konulmuştur. Böylece güç kaynağı, kart ve motor aşırı akımdan korunmuş olunur.

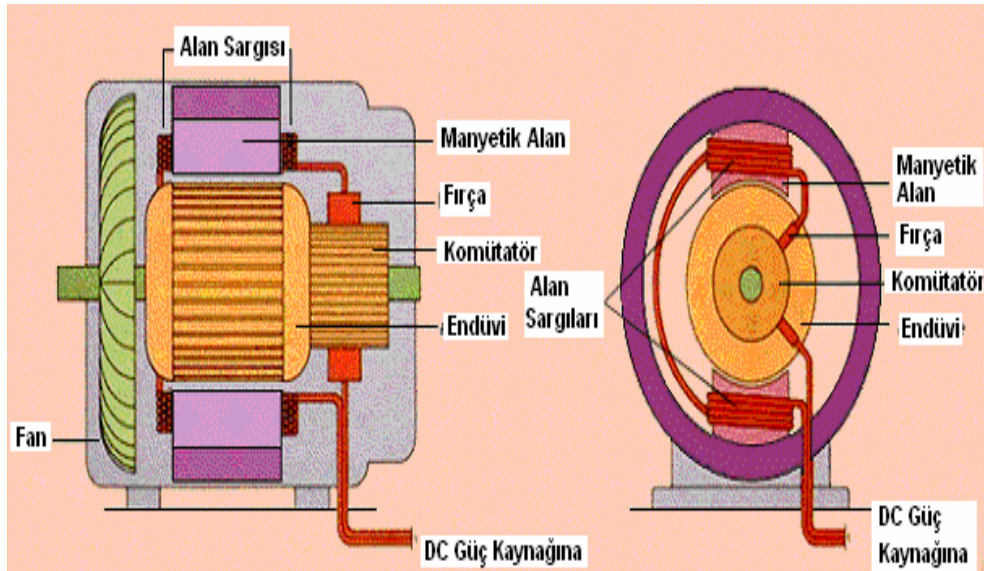


Şekil 4.18: Sistemin Akış Diyagramı

### 4.2.3 ELEKTRİKSEL MOTORLAR

Sistemde hareketi sağlamak için sürekli mıknatıslı bir DC Akım Motoru kullanılmıştır. Ancak sistemde nasıl kullanıldığından önce doğru akım motorları hakkında kısa bir teorik bilgi verilmesi uygun görülmüştür.

Bir demir nüve üzerine sarılan bobin telin üzerinden akım geçirildiğinde demir nüve mıknatıslanarak kutup başları olan N - S kutuplarını oluşturarak çevresindeki zıt kutupları veya metal cisimleri çekmektedir. Bu teoriden yola çıkan bilim adamları çekme itme kuvvetini ard arda koyarak ve bu hareketi dairesel harekete çevirerek ilk elektriksel motoru yapmışlardır. Bu motorlar kendi aralarında ana hatlarıyla gruplara ayrılmaktadır. <sup>(18)</sup>



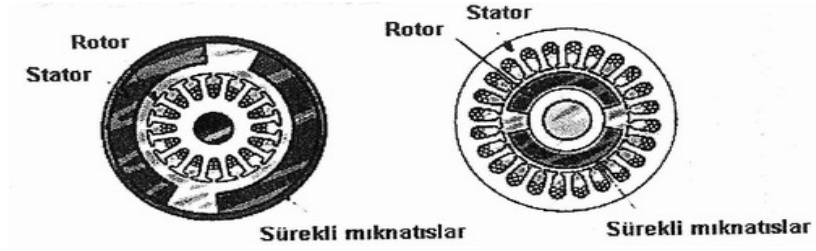
Şekil 4.19: DC Motora Ait Mekanik Yapı ve Dış Görünüş <sup>(18)</sup>

Yukarıda da belirtildiği gibi bobin üzerinden geçen akımın sonucunda oluşan manyetik alan sayesinde, oluşan kutuplaşmayı ileri ve geri yönlü olarak kullanarak dairesel harekete dönüştürülmesi temel alınan en basit yapıdır. Diğer motorların tamamı bu mantık üzerine kurulmuştur. <sup>(19)</sup>

Doğru Akım motorları yüksek verimleri, basit kumanda üniteleri ile değişken yükler altında hız ayarı imkânı sağlarlar. Motorlarda hassas devir kontrolü, iş kalitesinin yükselmesine, verimin artmasına ve üretim üzerinde daha fazla kontrol sağlanmasına yol açmaktadır.

#### **4.2.3.1 Sürekli Mıknatıslı Motorlar**

Mıknatısların kullanılması, çalışma prensibi ve tasarım açısından özellikle doğru akım ve eşzaman motorların çalışması için çok kolaylaştırır. Daha önce de açıklandığı gibi, doğru akım makinelerinde endüvi ve uyarma sargıları olmak üzere iki ana sargı mevcuttur. Bu sargılar farklı şekillerde beslenerek, motorda dönme hareketi için gereken akıyı oluştururlar. <sup>(20)</sup> Akı üretimi için sargı yerine sürekli mıknatıs malzeme kullanımı ile elde edilen motorlar sürekli mıknatıs motorlardır. Sürekli mıknatıs motorlarda, endüvi devresinin klasik tip doğru akım motorlardaki gibi fırça-kolektör düzeneği üzerinden beslenmesidir.



Şekil 4.20: SM (Sürekli Mıknatıslı) Motorların Yapısı <sup>(21)</sup>

Senkron motorların rotorunda bir doğru akım sargısı, statorunda ise farklı sayılarda faz sargıları bulunmaktadır. Rotorda mıknatıs kullanımı ile sürekli bir uyarma alanı oluşturulur. Rotor sargısı ortadan kalktığından dolayı, bunun beslenmesi için gereken fırça-kolektör düzeneği ihtiyacı da ortadan kalkacaktır. Bu nedenle bu tip motorlar fırçasız tip Sürekli Mıknatıs (SM) motorlar olarak anılır. Şekil 4.20’de bu iki tip motorun yapıları görülmektedir.

Fırçasız tip SM motorlar, stator sargılarının beslenme şekline göre iki grupta incelenir. Sürekli mıknatıslı senkron motorlar, sabit moment üretimi için sinüzoidal formda stator akımına gereksinim duyar ve sinüzoidal zıt emk'ya sahiptir. SM doğru akım motorları ise sabit moment üretimi için dikdörtgen biçiminde stator akımlarına gereksinim duyar ve trapezoidal formda zıt emk'ya sahiptir.

Gerek yapısında, gerekse kontrol organlarında kullanılan malzeme ve yan ürünlerin artan teknolojik olanaklara bağlı olarak gelişimiyle birlikte, fırçasız tip DA motorları, özellikle klasik sargılı doğru akım motorlarına ciddi rakip oluşturmaktadır. Bu nedenle fırçasız tip doğru akım makineleri;

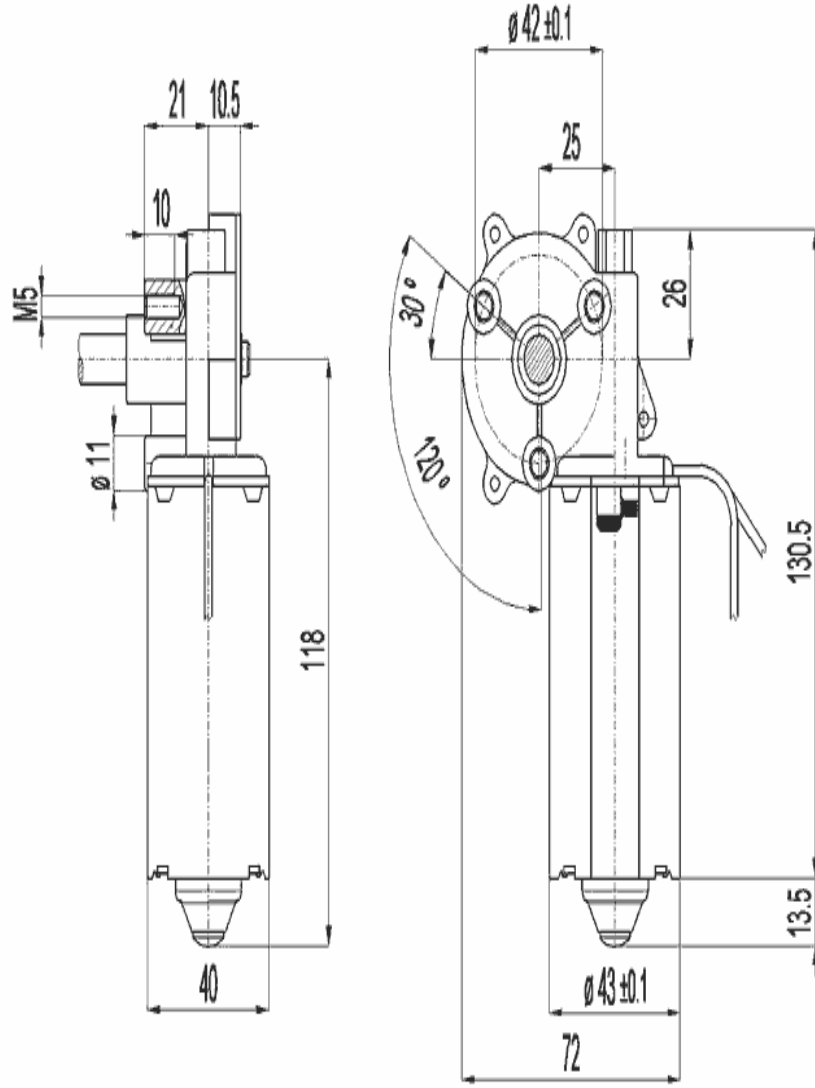
- Isıtma ve havalandırma sistemlerinde,
- Sağlık endüstrisinde,
- Soğutucularda,
- Uzay endüstrisinde,
- Robot endüstrisinde,
- Fırçalı tip makinelerin kullanımının sakınca doğurabileceği, yanıcı ve parlayıcı çalışma ortamlarında,
- Endüstride yürüyen bantlarda, Pompa ve fan motoru uygulamalarında kullanılmaktadır.

Projede kullanılan motor İtalyan ELVİ firmasının ürettiği 24 Vdc,40 watt gücündeki fırçasız sabit mıknatıslı doğru akım motorudur. Bu tip motorlar uygun kontrol sistemleri ile voltajın + veya - değerler alması ile saat yönünde veya saat yönünün tersinde dönebilmektedir. Elvi marka motor, aslında kaynak makinelerinde bulunan teli düzelterek süren kısımda görev yapmaktadır. Benzer uygulamalarda kullanılması tercih sebebidir. Motor ile ilgili teknik çizimler ve grafikler aşağıda verilmiştir.

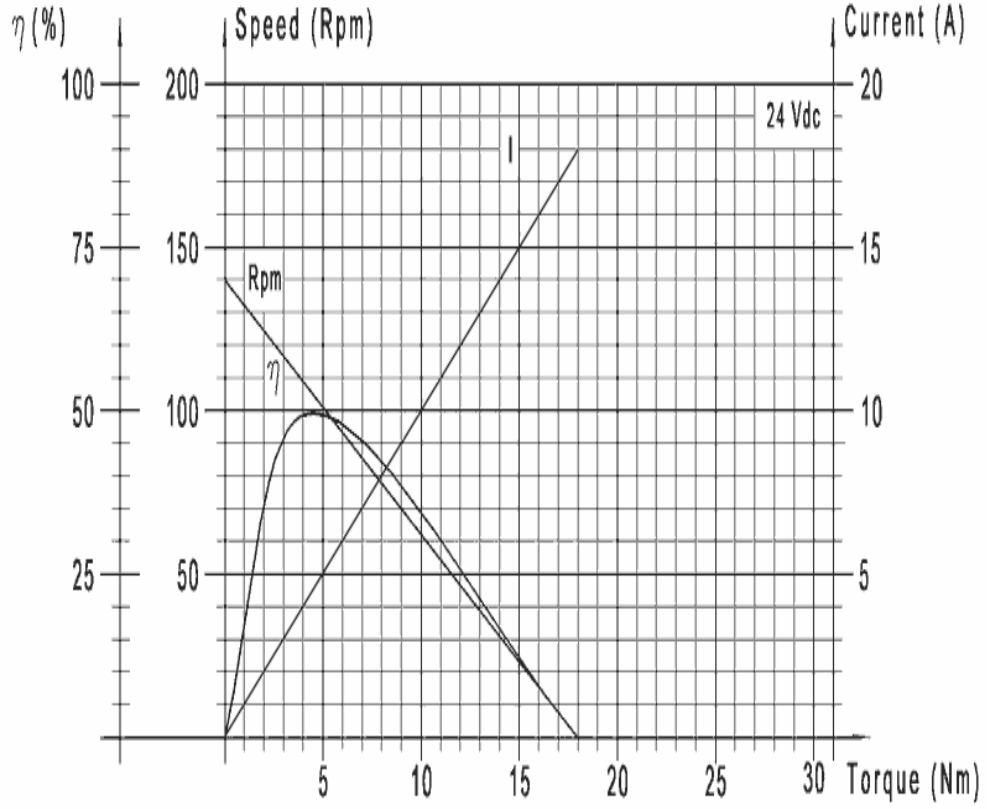
Tablo 4.5: Motor Voltajı ile Devir Sayısı

DC Voltaj (V)	Devir Sayısı (rpm)
2	10
4	18
6	36
8	66
12	96

Tablo 4.5’da görüldüğü gibi motor düşük voltaj değerlerinde dönüş olarak yeterli değerler vermiştir. Kurulan sistemde düşük devir sayısında daha iyi sonuç alacağımız için motorun çalıştırılması için besleme voltajı 12Vdc olarak belirlenmiştir. Motor redüktörlü olduğundan ani kalkış ve duruşlarda sorun yaşanmamaktadır. Redüktör, Elektrik Motorlarının yüksek dönüş hızlarını makineler için gerekli olan dönüş hızlarına düşürmek için tasarlanan kapalı dişli sistemleridir şeklinde tanımlanabilir.



Şekil 4.21: Projede Kullanılan Motorun Teknik Çizimi<sup>(22)</sup>



Şekil 4.22: Projede Kullanılan Motorun Akım – Gerilim – Tork ve Hız Eğrileri <sup>(22)</sup>

#### 4.2.4 MALİYET ANALİZİ

Projede Kullanılan Malzemelerin Fiyatları ile İşçilik Ücretlerinin listesi ile temin ve tesis edildikleri firmalar aşağıda verilmiştir.

▪ 24 Volt, 40 Watt Envi Marka DC Motor	: 70 TL
▪ Rulman – Sekman	: 10 TL
▪ Kurulum Malzemeleri (Demir – Sac vb)	: 20 TL
▪ 12 Volt, 48 Watt Güç Kaynağı	: 100 TL
▪ Proximity Switch	: 20 TL
▪ Kontrol Kartı için Elektronik Malzemeler	: 10 TL
▪ Buton ve Pano Malzemeleri	: 20 TL
▪ Sistem Kurulumu (Tornacıya Ödenen)	: 200 TL
▪ TOPLAM	: 450 TL

Elektriksel Malzemeler Anot Elektrik'ten,

Kontrol Kartı Malzemeleri Başak Elektronik'ten

Rulman ve Sekmenler Canko Rulman'dan

Kurulum Malzemeleri Küçük Sanayi'de İlgili işi yapan dükkânlardan temin edilmiştir.

Sistem Kurulumu ise Dönerler Torna Atölyesine yaptırılmıştır.

Sistem Kontrolü ve gerekli düzeltmeler ise Zafer Makine'ye yaptırılmıştır.

Ayrıca EPTA firmasından da teknik destek alınmıştır.

#### **4.2.4.1 Maliyet Azaltımı**

220 VAC'den 12 Vdc'ye dönüştüren güç kaynağı piyasadan hazır olarak alındı. Uygun değerde bir trafo, kapasitör, direnç ve köprü diyotlar ile güç kaynağı yapılabilir.

Böylece maliyette 60 – 70 TL civarında bir düşüş elde edilebilir.

## BÖLÜM 5

### SİSTEMİN YAZILIM KODLARI

```

#define adc_port P2 //ADC Port
#define rd P1_4 // P1.4'ten sinyali oku
#define wr P1_3 // P1.3'e yaz
#define PWMPIN P1_0
int i;
if (p3.2==1)
{void conv(); //Dönüştürme başlangıcı
void read(); //ADC fonksiyonu
unsigned char adc_val;
void main(){
while(1){
conv(); //Dönüştürme başlatma
read(); //ADC'yi oku
P3 = adc_val; //P1.3'e yolla
}}
void conv(){
cs = 0; // CS 0
wr = 0; // WR 0
wr = 1; // WR 1
cs = 1; // CS 1
while(intr); //interrupt 0 ise
void read(){
cs = 0; // CS 0
rd = 0; // RD 0
adc_val = adc_po // Analog_Digital Çevrimi oku
rd = 1; // RD 1
cs = 1; // CS 1
}
}

PWM_INIT(5000);

```

```

void timer0( ) interrupt 1 {
    if(F0=1) {
        F0 = 1;
        PWMPIN = 1;
        TH0 = P3;
        PWM_Set_Duty(TH0);
        TF0 = 0;
        return;
    }
    else {
        TH0 = 255 - P3;
        TF0 = 0;
        PWM_Set_Duty(TH0);
    }
    PWM_START;
    return;
}
}

```

```

//timer interrupt 'i set edilmiş ise
// Timer Flag 1
// ;PWM 'i kur,
//Timer0'yu analog değere göre kur
// interrupt flag=0
//Return
//OFF Süresi
//Timer'i tekrar kur
//Clear Interrupt flag
//return

```

```

unsigned char i;
SDA = P2.1;
SCL = P2.0;
void WriteI2C(unsigned char Data)
{

```

```

// SDA pin (Data)
// SCL pin (Clock)

```

```

    for (i=0;i<8;i++)
    {
        SDA = (Data & 0x80)
        SCL=1;
        SCL=0;
        Data <=>1;
    }

```

```

//Bilgiyi belirlenen adrese yaz

```

```

SCL = 1;
Wait(10ms);

```

```

    SCL = 0;

}

unsigned char ReadI2C(bit ACK_Bit)
// Mikroişlemciden Bilgileri oku

unsigned char Data=0;
SDA = 1;
for (i=0;i<8;i++)
{
    SCL = 1;
    Data <= 1;
    Data = (Data SDA); //Adreslenen bilgiler ile karşılaştır
    Wait(10ms);
    SCL = 0;}
if (ACK_Bit == 1) // Yaz Biti aktif ise
SDA = 0; // Okuma yaz
Else{
SDA = 1; // Okumayı kes
Wait(10ms);
SCL = 1;
Wait(10ms);
SCL = 0;}

return Data;
}
}

```

## BÖLÜM 6

### SONUÇ ve ÖNERİLER

#### 6.1 ÖNERİLER

Projede, otomatik bir tel doğrultma sistemi tasarlanmış olup, uygun bir hızlarda istenilen şekilde düzeltmeler yapılması sağlanmıştır. Ancak her projede olduğu gibi bazı eksiklikler görülmüş olup bunların giderilmesi için bazı öneriler aşağıda verilmiştir.

- Sistem sadece y ekseninde bir düzeltme yapacak şekilde tasarlandığı için, x ekseninde bazı eğrilikler fark edilmiştir. Bunun için dikeyde bulunan sistemin, aynısının yatay ekseninde de olması ile bu eğriliklerin düzeltilerek çok daha düzgün bir tel elde edilmesi sağlanabilir. Bunun için ideal olan sistem aşağıda verilmiştir. Projenin sonuna doğru oluşan zaman kısıtlılığından dolayı yeni bir tasarım yapılamamıştır. Ancak bu çalışma daha sonra yapılacak olan sistemlerin tasarımında yol gösterebilir.



Şekil 6.1: İki Eksenli Doğrultma Yapabilen Sistem <sup>(23)</sup>

- Projedeki bir diğerk eksiklik ise konumları y ekseninde değişebilen alt kısım rulmanların mesafe ayarlarının yapılma şeklinin konusudur. Her bir rulmanın konumu birbirinden bağımsız olarak ayarlanmaktadır. Bu da düzgün bir konumlandırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Böylece üründe oluşabilecek eğriliklerin düzeltilmesi için daha fazla deneme yapmaya ihtiyaç duyulabileceğini aklımıza getirmektedir. Bu bağımsız sistemlerin yerine en altta bulunan hareketli rulmanların mesafe ayarlarını aynı anda yapabilecek bir sistemin tasarım gerekmektedir.

- Maliyet azlığının sağlanması projenin en hayati noktalarından biri idi. Bundan dolayı kontrol devresi PIC tabanlı olmuştur. Sistemde PIC yerine PLC ve röle içeren bir kontrol sistemi kullanılmış olsaydı, daha hassas, daha gelişmiş ve daha kararlı bir kontrol yapılabilirdi.

- Sistemde motor giriş noktasından olduğundan bir itme hareketi yapacak şekilde çalışmaktadır. Ancak sistemin çıkışına çekme hareketi yapabilecek şekilde yerleştirilmiş olması sistemin daha az enerji harcayarak çalışmasını sağlayabilirdi.

- Sistemin çıkışına doğrultulmuş olan çelik telin, başka işlemlerde kullanılması için makaradan kesilerek ayrılması gerekmektedir. Bunun içinde özel bir kesme mekanizması tasarlanmalıdır. Böylece endüstriyel işlemlerde, doğrultulmuş olan telin kullanılması sağlanmalıdır.

## 6.2 SONUÇ:

Projede, makara halinde satılan paslanmaz çelik tellerin doğrultulmasını sağlayan bir sistem tasarlanarak, mekaniksel ve elektriksel uygulaması yapılmıştır. Daha önce bilgi ve tecrübe sahibi olunmayan tellerin özellikleri, mekaniksel tasarım ve mikro kontrolör tabanlı sistem kontrolü konusunda tecrübe kazanılmıştır. Böylece yeni projeler için farklı bakış açıları elde edilmiştir. Konu ile ilgili olarak akademik seviyede bilgi sahibi olunmuştur.

Tasarım konusunda tecrübeli kişilerden ve kaynaklardan yapılan araştırmalardan da yararlanılmış olsa da zamanla, daha önce de belirtilen bazı eksikliklerin ve aksaklıkların olduğu anlaşılmıştır. Bundan dolayı aynı konu hakkında bazı yeni tasarımlara öncülük edeceğini varsayarak, akademik düzeyde konu ile ilgili olan tasarımcılara yol gösterebilecek bir proje yapılmıştır.

## Kaynaklar

1. Selahaddin Sanbaşoğlu, Metalurji Yüksek Mühendisi, Standart Çeliklerin Uluslararası Eşdeğerleri, 1985, Sayfa 3
2. TMMOB Prof. Dr. H. Çimenoğlu, Prof. Dr. E. Geçkinli, Y. Müh. S. Yıldırım, Y. Müh. M. Baydoğan, Metalurji Mühendisleri Odası, Çelik ve Dökme Demirlerin Metalografisi ve Mekanik Muayenesi, 16–18.05.2001 Sayfa 1-2
3. Paslanmaz Çelik Nedir? , Avrupa Paslanmaz Çelik Geliştirme Birliği Standartları (The European Stainless Steel Development Association (Euroinox) Standarts), 2005, 4. - 6. Sayfalar
4. Sarıtaş AŞ Çelik Paslanmaz Çelik Katalogu, Prof. Dr. Ahmet Aran, 2003, 26. Sayfa
5. Kromtel Ltd. Şti Paslanmaz Çelik Ürün Katalogu, 2007, 4. Sayfa
6. MEB, Mesleki Eğitim Geliştirme Projesi Metal Teknolojisi Ders Notları, 2007, 25. Sayfa
7. National Machinery Firmasının Web Sitesi  
([www.nationalmachinery.com](http://www.nationalmachinery.com))
8. Wireworld Firmasının Web Sitesi  
([www.wireworld.com/witelsalbertusa.com](http://www.wireworld.com/witelsalbertusa.com))
9. Sjorgren Tel Doğrultma Sistemleri Katalogu, 2005, Sayfa 12 – 16
10. Sjorgen Firmasının Web Sitesi ([www.sjorgren.com](http://www.sjorgren.com))

11. Siemens Logo Power Ürün Katalogu, 2007, Sayfa 2 - 5
12. Motor Control PWM, Microchip Technology Inc., 2005, 1 - 3
13. Sumo Robot Denetimi Lisans Tezi, İlyas Yılmaz, Uludağ Üniversitesi, 2005, 7. Sayfa
14. Control Strategy for Single- Phase PWM AC DC Voltage Source Converters based on Lyapunov's Direct Method, Hasan Kömürçügil, Osman Kükreç, 2000, Sayfa 29 , 36, 45
15. ATMEL Firmasının AT89C2051 Mikroişlemcisi Katalogu, 2000
16. ATMEL Firmasının 24C02 EEPROM Katalogu, 1999
17. Autonics Firmasının Sensör Katalogu, 2008, 1. - 3. Sayfalar
18. GEMS DC Motor Kataloğu, 2009, 3. ve 4. Sayfalar
19. Mikro Denetleyicili PI Denetimli Da Motoru Sürücü Devre Tasarımı Ve Uygulaması Konulu Tez Çalışması, İlhami Çolak, Ramazan Bayındır,2004, 32. Sayfa
20. Küçük Güçlü Bir Rüzgâr Jeneratöründe Kullanım İçin Eksenel Akıllı Bir Sürekli Mıknatıslı Motorun Analizi, Tasarımı Ve Gerçekleştirilmesi, Emin Yıldırım - M. Timur Aydemir, 2002, 19. ve 21. Sayfalar
21. [www.electronics-tutorials-ws/io/io.7.html](http://www.electronics-tutorials-ws/io/io.7.html)
22. Elvi Firmasına ait Ürün Katalogu (DC MOTOR), 2004
23. Direct Industry firmasının Ürün Kataloğu, 2009