



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Endüstriyel Robot ve PLC Entegrasyonuyla  
Talaşlı İmalat Üretim İşleminin  
Gerçekleştirilmesi**

**Enes EFE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**AĞUSTOS-2018**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Enes EFE tarafından hazırlanan “Endüstriyel Robot ve PLC Entegrasyonu ile Talaşlı İmalat Üretim İşleminin Gerçekleştirilmesi” adlı tez çalışması 15/08/18 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Bayram AKDEMİR

#### Danışman

Doç. Dr. Muciz ÖZCAN

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz MUTLUER

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Ahmet AVCI  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Enes EFE

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### Endüstriyel Robot ve PLC Entegrasyonu ile Talaşlı İmalat Üretim İşleminin Gerçekleştirilmesi

Enes EFE

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Muciz ÖZCAN

2018, 89 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Muciz ÖZCAN

Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz MUTLUER

Dr. Öğr. Üyesi Bayram AKDEMİR

Her geçen gün teknoloji hızla gelişmekte ve bu gelişmeler üretim makineleri ve üretim yöntemlerinde bir takım olumlu değişimlere yol açmaktadır. Bu değişimlere hızlı bir şekilde ayak uydurabilen üreticiler, üretim miktarlarını artırarak kârlılık oranlarını da yükseltmekte ve rakiplerine karşı rekabet avantajı elde etmektedirler. Ancak her yapılan yenilik her üretim modeli için bazen aynı derece kârlılığı sağlamayabilir. Bu yüzden üreticiler üretimde yapılacak değişikliklerin kârlılığa neden olması için üretim şekillerini değiştirmeden önce doğru analizler yaparak kendilerine en uygun üretim yöntemini seçmeleri gerekmektedir. Günümüzde ise üreticiler için seri üretimde kârlılığa sebep olabilecek yöntemlerden birisi olarak karşımıza Endüstriyel Otomasyon Sistemleri çıkmaktadır. Endüstriyel Otomasyon Sistemlerinde Endüstriyel Robotlar, Programmable Logic Controller (PLC) gibi kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu kontrol elemanlarını üretim sürecinde kullanmak insan gücünden tasarrufun yanı sıra üretimde vazgeçilemeyen ve göz ardı edilmesi mümkün olmayan kaliteli üretim ve esnek üretimin gerçekleştirilebilmesine de olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada yan rakorlu küresel vana üretilen bir fabrikada Endüstriyel Otomasyon Sistemi kurulmuş ve kurulan bu sistemin maliyeti Endüstriyel Robot ve PLC beraber kullanılarak en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Üretim yönteminde Endüstriyel Robotun kullanılması ve mevcut sistemde ki üretimde bir takım değişiklikler yapılmasıyla esnek üretim sağlanmış ve üretimin aksamaması için bazı tedbirler alınmıştır. Kurulan sistem maliyetinin geri dönüşüm süreci hesaplanmasında Diferansiyel Evrim Algoritmasından yararlanılarak gelecekteki elektrik birim fiyatları tahmin edilmiştir. Bu çalışmada, yapılan yatırımın en fazla 2,5 yıl içerisinde geri döneceği ve mevcut yıllık üretim miktarının da yaklaşık 4 kat artacağı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Diferansiyel Evrim Algoritması, Endüstriyel Robot, Endüstriyel Otomasyon, PLC, Tahmin.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **REALIZATION OF MACHINING PRODUCTION PROCESS BY INDUSTRIAL ROBOT AND PLC INTEGRATION**

**Enes EFE**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE / DOCTOR OF PHILOSOPHY  
IN ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muciz OZCAN**

**2018, 89 Pages**

**Jury**

**Assoc. Prof. Dr. Muciz OZCAN  
Asst. Prof. Dr. Mümtaz MUTLUER  
Asst. Prof. Dr. Bayram AKDEMİR**

Technology rapidly advances on a daily basis and the resulting changes can provide numerous benefits for manufacturing methods and machines. Manufacturers who are able to swiftly embrace these developments can increase their manufacturing output, thereby boosting profitability and gaining competitive advantages over their rivals. However, the cost savings which result from new innovations can vary, depending on the manufacturing model. Consequently, manufacturers need to conduct accurate analyses for appropriate manufacturing methods in order to ensure that new changes are cost-effective. Nowadays, the use of industrial automation systems is gaining popularity as a method of increasing profitability for mass production, and these systems utilize control systems, such as industrial robots and programmable logic controllers. The use of these elements in the manufacturing process not only provides quality and flexible production methods, which are indispensable considerations, but also conserves human effort. The aim of this study was to minimize the cost of a factory-installed industrial automation system, which produced globe valves with side couplings, through the combined use of industrial robots and programmable logic controllers. While calculating returns from the installed system, the differential evolution algorithm was used to predict future unit prices of electricity, and it was determined that the cost of investment would be recovered after a maximum of 2.5 years and that current yearly production would increase fourfold.

**Keywords:** Differential Evolution Algorithm, Estimation, Industrial Automation, Programmable Logic Controller, Industrial Robots.

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, benden yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve her konuda bana anlayış gösteren değerli tez danışmanım Doç. Dr. Muciz ÖZCAN'a,

Necmettin Erbakan Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği'nin tüm bölüm hocalarına ve bana her konuda destek olan sayın hocam Öğr. Gör. Nihat Çankaya, Dr. Arş. Gör. Hüseyin Haklı'ya ve Müh. M. Sami Eser Bey'e,

Çalışmalarım sırasında desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün tüm öğretim elemanlarına;

Güler yüzlü ve yardımsever personelleriyle tüm Fen Bilimleri Enstitüsü ekibine,

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini her an arkamda hissettiğim başta eşim Fatma Nur EFE olmak üzere tüm aileme,

Teşekkürlerimi sunarım.

Enes EFE  
KONYA-2018

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Endüstriyel Otomasyon Sistemleri .....	1
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
2.1. Endüstriyel Otomasyon Sistemi.....	4
2.1.1 Endüstriyel robot.....	4
2.1.1.1. Robot kontrol elemanları .....	4
2.1.1.1.1. Robot kontrol sistemlerinde bilgisayar .....	5
2.1.1.1.2. Kontrol paneli .....	6
2.1.1.1.3. Kontrolör.....	7
2.1.1.1.4. Robot sürücü sistemleri .....	8
2.1.1.2. Robotların sınıflandırılması .....	11
2.1.1.3. Robot uç elemanları .....	14
2.1.1.3.1. Pnömatik gripper.....	14
2.1.1.3.2. Vakumlu gripper .....	16
2.1.1.3.3. Manyetik gripper.....	16
2.1.1.4. Endüstriyel robotların uygulama alanları .....	17
2.1.1.5. Endüstriyel robot sistemi üzerine literatürde yapılan çalışmalar .....	19
2.1.2. PLC .....	22
2.1.2.1. Merkezi işlem birimi (CPU) .....	24
2.1.2.2. Bellek birimi .....	24
2.1.2.3. Giriş birimi.....	24
2.1.2.4. Çıkış birimi .....	25
2.1.2.4.1. Röle çıkışlı PLC.....	25
2.1.2.4.2. Triyak çıkışlı PLC.....	26
2.1.2.4.3. Transistör çıkışlı PLC .....	27
2.1.2.5. Programlama birimi .....	27
2.1.2.6. PLC üzerine literatürde yapılan çalışmalar.....	28
2.1.3. Endüstriyel otomasyon sistemi üzerine literatürde yapılan çalışmalar.....	28
2.2. Diferansiyel Evrim Algoritması.....	35
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>39</b>
3.1. Endüstriyel Otomasyon Sisteminin Kurulması.....	39

3.2. DE Algoritması ile Elektrik Birim Fiyat Tahmininin Gerçekleştirilmesi.....	55
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>58</b>
4.1. Endüstriyel Sistemin Deneysel Sonuçları.....	58
4.2. Elektrik Birim Fiyatının Gelecek Projeksiyonları .....	59
4.3. Sistem Maliyet ve Kâr Hesabı .....	63
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>71</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>78</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>89</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

CP	:Communication Processor
CPU	:Central Processing Unit
HMI	:Human Machine Interface
I/O	:GİRİŞ and ÇIKIŞ
IWLAN	:Industrial Wireless Local Area Network
IT	:Information Technology
OP	:Operator Panel
OPC	:OLE for Process Control
OS	:Operating System
PID	:Proportional Integral Derivative
PLC	:Programmable Logic Controller
SCADA	:Supervisory Control and Data Acquisition
DEA	:Diferansiyel Evrim Algoritması
IMU	:Inertial Measurement Unit
EMG	:Elektromiyografi
MEMS	:Mikro Elektro Mekanik Sistemler
EEG	:Elektroensefalografi
SW	:Software
EEPROM	:Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory
DC	:Direct Current
AC	:Alternating Current
CNC	:Computer Numerical Control
PEM	:Polimer Elektrolit Membran
HTS	:Yüksek Sıcaklık Dönüşüm
GEA	:Genetik Algoritma
GDP	:Gayrisafi Milli Hasıla

## 1. GİRİŞ

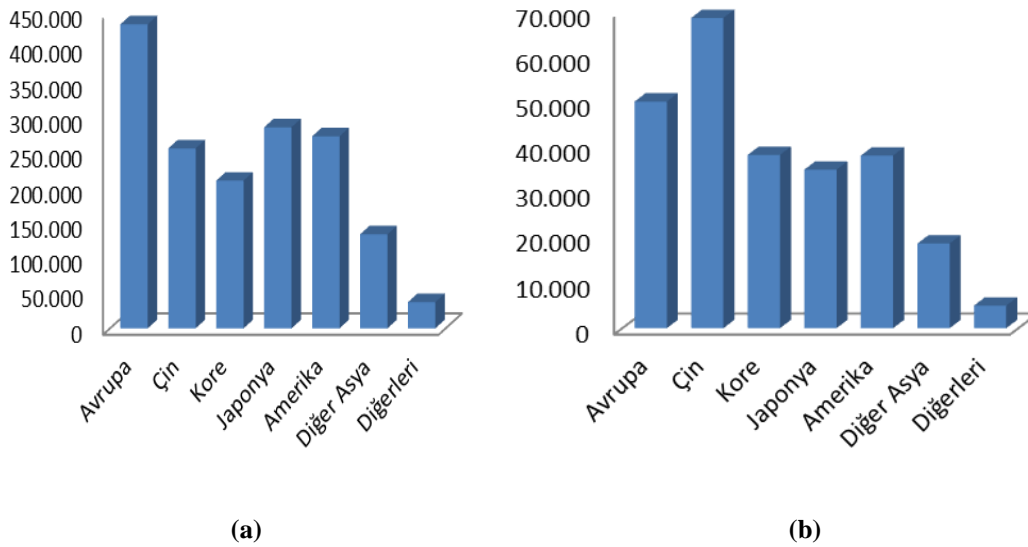
### 1.1 Endüstriyel Otomasyon Sistemleri

Her geçen gün teknoloji hızla ilerlemekte ve bunun sonucunda ortaya çıkan yenilikler hayatımızın önemli bir parçası olmaktadır. Artık küreselleşen piyasalarda kaliteli ve ucuz ürün üretmek kaçınılmaz bir zorunluluk haline gelmiştir. Günümüzde de seri üretim yapmak ve üretim maliyetini düşürmek otomasyon teknolojilerini kullanarak mümkün olabilmektedir (Yücel, 1991). İnsan uzuvlarıyla karar alma, gözlem yapma ve çaba gösterme gibi eylemlerin yerine bir aletin, bir sürecin veya bir sistemin otomatik kontrol edilebilmesinin mekanik veya elektronik cihazlarla yapılması işlemine otomasyon denir (Sheridan, 1992). Otomasyon sayesinde bir iş, insan ve makine arasında paylaşılır. Tüm işin paylaşılma oranı otomasyonun seviyesini belirler. Otomasyon Sisteminde insan gücü ağırlıktaysa yarı otomasyon, makine ağırlıktaysa tam otomasyon olarak isimlendirilir (Muciz Özcan, 2004). Endüstriyel Otomasyon (IA), rakip firmalarla sürekli rekabet halinde kalınabilmesi için, imalatta modern teknikler ve uygulamalar kullanan büyük bir üretim stratejisidir (Acharya, Sharma, & Kumar Gupta, 2017). Endüstriyel Otomasyon Sistemleri herhangi bir iş sektöründe insan gücünün yerini alabilmekte ve bu sistemlerde PLC, Endüstriyel Robotlar, bilgisayarlar ve bilgi teknolojileri gibi önemli kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu sayede üretim süreçlerinde kalitenin yükselmesi ve esnekliğin artması sağlanır. Gelişmiş ülkelerin üretim süreci incelendiğinde otomasyon sistemlerini yaygın bir şekilde kullandıkları görülmektedir.

Endüstriyel Otomasyon Sisteminin en önemli parçalarından biri olan Endüstriyel Robotun önemi ise her geçen gün artmaktadır (Çengelci & Çimen, 2005). Robotları endüstride ilk olarak Japonya kullanmıştır. Robotların kullanılmaya başlanmasıyla işsizlik oluşturacağı endişesi oluşmuştur. Fakat kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte endişelerin yersiz olduğu anlaşılmıştır. Robotların kullanılmasıyla birlikte yeni birçok iş kolu oluşmuş ve bu sayede işsizlikte de azalma gözlenmiştir (Peşkirioğlu). Günümüzde özellikle insan sağlığını ciddi derecede tehlikeye atan yüksek ısı, titreşim, kimyasal ve nükleer enerji ile çalışılan yerlerde daha sık kullanılmaktadır (De Silva, 1987). Şekil 1.1'de görüldüğü üzere Dünyada ki robot sayısı ekonomik dalgalanmalardan

etkilenmemiştir ve sürekli bir artış göstermiştir. Fakat bazı ülkelerde robotların çok yönlü kullanılmaya başlanmasıyla robot sayısında ki artışta bir azalma gözlenmeye başlanmıştır (Yasuda, 2017).

Endüstriyel Otomasyon Sisteminin önemli parçalarından bir diğeri ise Programmable Logic Controller (PLC)'lerdir. Modicon firması, 1969 yılında ilk ticari amaçla üretilen PLC 'leri geliştirmiştir. Röleli kumanda devreleri yerine geliştirilen bu PLC, üretildiği ilk yıllarda sadece temel yapıdaki lojik işlemleri yapabildiğinden PLC ismini almıştır. İlk üretilen PLC endüstride başarıyla uygulanınca Allen Bradley, GEC, GE (General Electric), Siemens ve Westinghouse gibi firmalar maliyeti orta düzeyde fakat performansı yüksek olan PLC'ler üretmişlerdir. Toshiba, Mitsubishi ve Omron vb. firmaların performansı yüksek ama maliyeti düşük PLC 'ler geliştirmelerinden sonra bu cihazların Endüstriyel Otomasyon Sistemlerinde kullanımı daha da yaygınlaşmaya başlamıştır (Kurtulan, 2001). PLC, esneklik, güvenilirlik, genişleme kolaylığı, düşük güç tüketimi gibi özelliklere sahip olup, bunların dışında da daha birçok özellik barındırmaktadır. PLC'de sadece yazılımı değiştirip, sistemde yapılan her türlü değişiklik ve genişlemenin kontrol edilmesi mümkündür (Rehg & Sartori, 2009).



**Şekil 1.1** Dünya genelindeki çalışan robotların (a) kümülatif sayısı (2015'e kadar) ve (b) 2015 yılı dağılımı

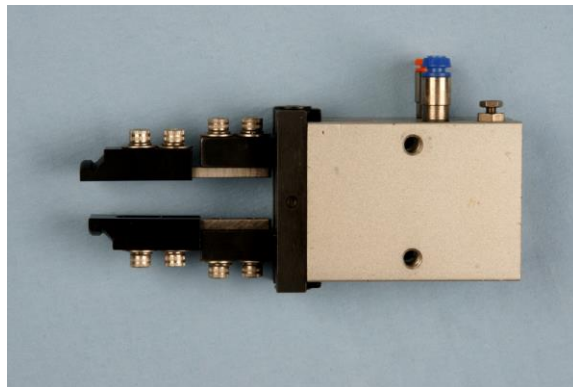
Gelişmiş ülkelerde mühendislik hizmeti, genel olarak saatlik ücret üzerinden verilmektedir. Ancak Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde mühendislik hizmeti büyük oranda aylık sabit maaş olarak ödenmektedir. Bu nedenle gelişmiş ülkeler PLC yazılımı gibi ek mühendislik hizmeti gerektiren kontrol sistemleri kullanmak yerine, genelde PLC gibi kontrol sistemlerine gerek duymayan üst seviye özellikler barındıran Endüstriyel Robotlar kullanmaktadır. Ancak bu robotların fiyatı temel seviye robotlara göre daha pahalıdır (Anonim, 2018k). Bu nedenle gelişmekte olan ülkeler için bu ek maliyet demektir. Bunun yerine uygun fiyatlı temel seviye bir robot ve PLC ile üretim süreci daha az kurulum maliyetiyle yapılabilir. Bu maliyeti azaltabilmek için yapılan çalışmaların sayısı literatürde oldukça azdır. Bundaki en önemli etkenlerden birisi kurulacak sistemin maliyetinin yüksek olmasıdır. Bu yüzden bu çalışma fiziki koşulları elverişli, aktif üretim yapan bir fabrikada yapılmış ve çalışma sonucunda elden edilen veriler kullanılarak çıkan sonuçlar istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken kurulan sistemin maliyet ve bunu karşılama süresi dikkate alınmıştır. Kurulan sistem maliyetini doğru hesaplayabilmek için sistemin harcayacağı elektriğin maliyete etkisinin de hesaplanması gereklidir. Bunun için Diferansiyel Evrim Algoritması (DE) kullanılarak gelecekteki elektrik birim fiyatları tahmin edilmeye çalışılmış ve bu sayede sistemin çalıştırılması planlanan sürede harcayacağı elektrik miktarının toplam fiyatlandırılması yapılmıştır. DE Algoritması seçilmesinin temel sebebi özellikle elektrik enerjisi gibi birçok alanda uygulanmış olup, oldukça başarılı sonuçlar elde edilmesidir (Canyurt, Ceylan, Ozturk, & Hepbasli, 2004; Eke, 2011; Sonmez, Akgungor, & Bektas, 2017).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Endüstriyel Otomasyon Sistemi

#### 2.1.1 Endüstriyel robot

Endüstride kullanılan robotların tanımı ISO 8373'e göre: Üç veya daha fazla eksene sahip, programlanabilir, birçok amaç için kullanılabilen, tekerlekli veya yere sabit olan manipülatör'e denir (Standard, 1994). Manipülatörün eksen sayısı ve özelliğine bağlı olarak hareket kabiliyeti değişmektedir. Manipülatör eklem hareketlerinde gerekli güç için elektriksel sürücü sistemleri, hidrolik sürücü sistemleri veya pnömatik sürücü sistemleri kullanılır. Endüstriyel Robot temelde manipülatör, Teach Pendant ve kontrolör kısımlarından oluşur. Endüstriyel Robotun sistem sınırları dışındaki bileşenlerine ise çevre birimleri denir. Diğer çevre birimleri ise sensörler, makinalar, gripper (tutucu)'lar, taşıma bantları, güvenlik ekipmanları vb.'dir. Kontrolör sayesinde Endüstriyel Robotun, çevre birimleriyle uyumlu çalışmasının sağlanması ve robotun istenen hareketleri yapması sağlanır (Dişlitaş, 2015).

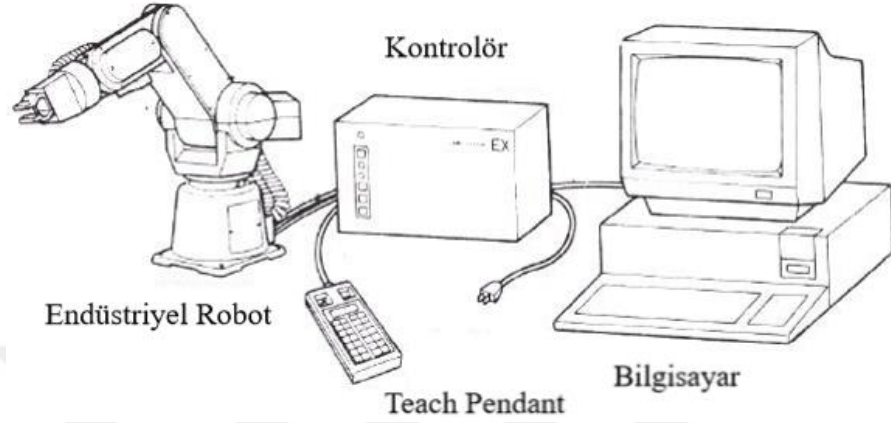


Şekil 2.1 Endüstriyel Robotlarda kullanılan bir Gripper örneği (Anonim, 2018b).

##### 2.1.1.1. Robot kontrol elemanları

Kullanılacak olan bir Endüstriyel Robot Sistemi Şekil 2.2'de görüldüğü gibi temelde kontrol ünitesi (kontrolör), teach pendant (kontrol paneli), bilgisayar ve

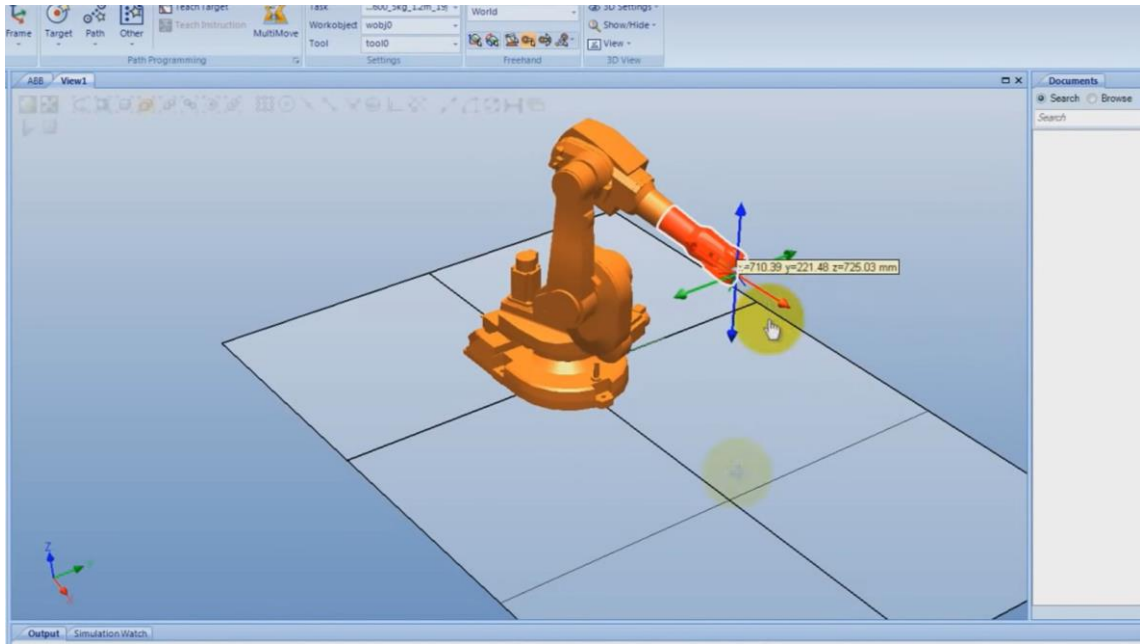
robottan oluşur. Ancak üretilecek ürün türü veya yapılan işin çeşidine göre uygun donanımlar da eklenebilir (MEGEP, 2012).



Şekil 2.2 Robot Kontrol Elemanları

#### 2.1.1.1.1. Robot kontrol sistemlerinde bilgisayar

Endüstriyel Otomasyon Sistemlerinde kullanılacak olan robotun en temel ünitelerinden biri bilgisayarlardır. Bilgisayarlar sayesinde robota yüklenecek program oluşturulup düzenlenebilir. Çevrim dışı yani off-line programlamada yine bilgisayarlar kullanılır ve bu sayede simülasyon yapılabilir. Robotların neredeyse hepsinde pozisyon konumlama için komutları vardır. Çeşitli programlama editörlerince bu komutlar bilgisayarlarda yazılabilir veya paket olarak getirilebilir. Robotun kontrol ünitesine bu programlar bilgisayar aracılığı ile yüklenir. Robotların bazıları direkt olarak bilgisayar portlarına bağlı olabilir. Bu tip bir durumda bilgisayar üzerinden kontrol sinyalleri oluşturulup robot kontrol edilebilir. Şekil 2.3’de bilgisayar ortamında yazılmış komutların, robot pozisyonlarında kullanım şekli görülmektedir.



**Şekil 2.3** Robot Sümülasyon Programı

Bilgisayar ortamında yazılan programlar text (.txt) formatında olduğu için her türlü programda düzenlenmeleri mümkündür. Ancak pozisyon komutları ve dosyalama sistemleri oldukça kolay olmalarına rağmen firmalar genelde kendi editörlerini geliştirmişlerdir (Yıldız, 1996).

#### **2.1.1.1.2. Kontrol paneli**

Kontrol Paneli, bir elektronik veya bilgisayar sistemi tarafından işlemlerin gerçekleştirilmesi ve sonrasında yapılan bu işlemlerin yeniden yapılabilmesi için mekanik hareketleri veya işlemleri kaydedip hafızasına alan bir ayardır. Günümüzde robotların çoğu, kontrol paneli (teaching box) olarak isimlendirilen ünitelerce kumanda edilmektedir. Kontrol paneli üzerinde start-stop ve acil durum butonları bulunmaktadır. Ayrıca kontrol panelinde “çalışma devam ediyor” göstergesi ile hata lambaları da yer almaktadır. Endüstriyel Robot Sistemlerinde kullanılan örnek bir kontrol paneli ise Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



**Şekil 2.4** Kontrol Paneli

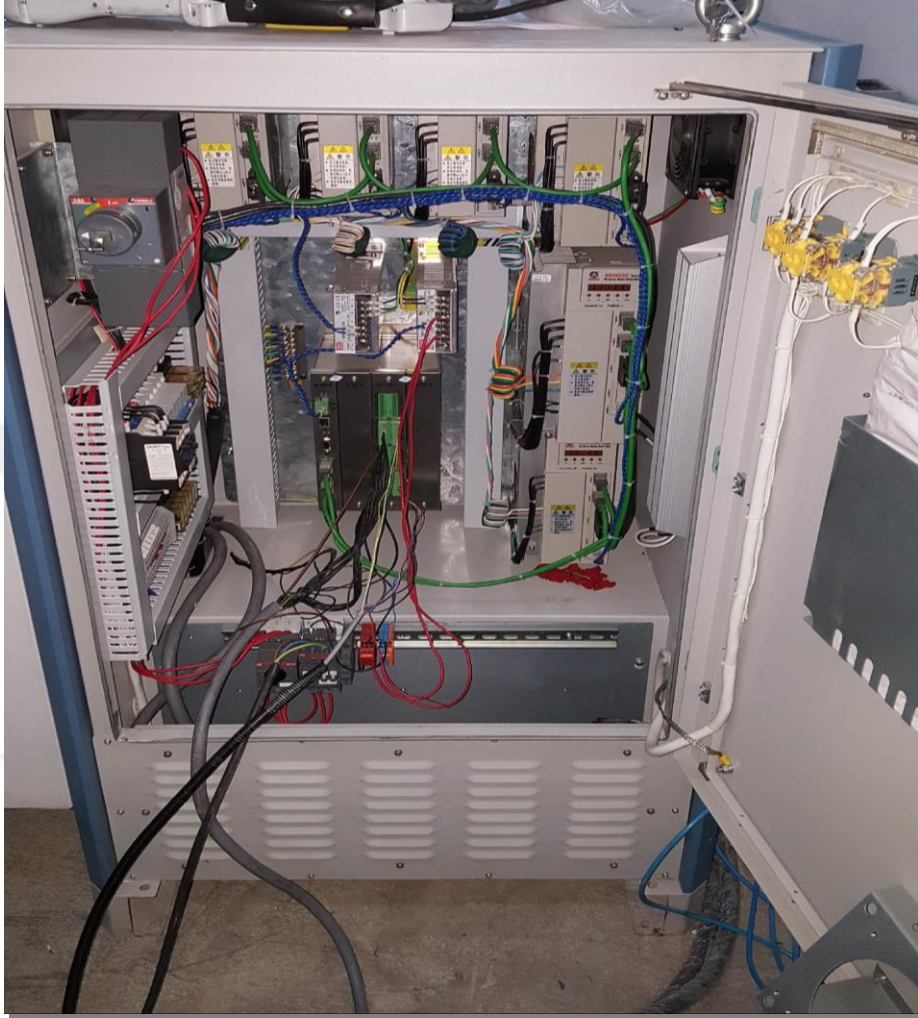
Kontrol paneli üzerinden kolaylıkla programlar oluşturulabilir. İlk olarak program oluşturulmadan önce programı oluşturacak kişi Şekil 2.4'e verilen Kontrol panelinin sağ en üst köşesinde yer alan anahtarı teach moduna çevirmek gerekir. Sonra robotun istenen konum ve duruşa getirilmesi için robot eksenleri girilmelidir.

Robot kontrol ünitesinin yazılımına bağlı olarak programlama işlemi basit ya da biraz zor şekilde gerçekleştirilebilir. Bu sebeple kullanılacak olan robot seçiminde kontrol ünitesinin yazılımına dikkat edilmelidir. Program oluşturulurken kullanılan yazılımda kartezyen koordinat sistemi, takım koordinat sistemi ve eksen hareket sistemi gibi çok seçenekli koordinat sistemleri bulunmaktadır. Bu da program yapan kişinin fazla zorlanmadan programları kolay bir şekilde oluşturabilmesini sağlar. Robot kontrol ünitesinin yazılımında program oluşturacak kişinin kendine has koordinat sistemini oluşturabilmesi için gerekli ekstra özelliklerde yer alabilir (Gök & Afyon, 1999).

#### **2.1.1.1.3. Kontrolör**

Kontrolör, Endüstriyel Robotta yapılması istenen hareketlerin gerçekleştirilmesini ve robotun çevre birimleriyle uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlayan sistem birimidir. Bu amaçla bilgisayar tarafından ilgili programa bağlı olarak sinyaller üretilir ve bu doğrultuda gerekli kontrol işlemleri yapılır. Bu çalışmada kullanılan kontrolör Şekil 2.5'te gösterilmiştir. CNC'ye uygun kontrolör üretici firma tarafından gönderilir. Kontrolörde kullanılacak yere kolayca adaptasyonunu sağlamak

için kontrol panosu içerisinde kullanıma hazır, robotun çevre birimleriyle iletişimini sağlayacak belli bir sayıda giriş ve çıkışlar mevcuttur (Anonim, 2018d).



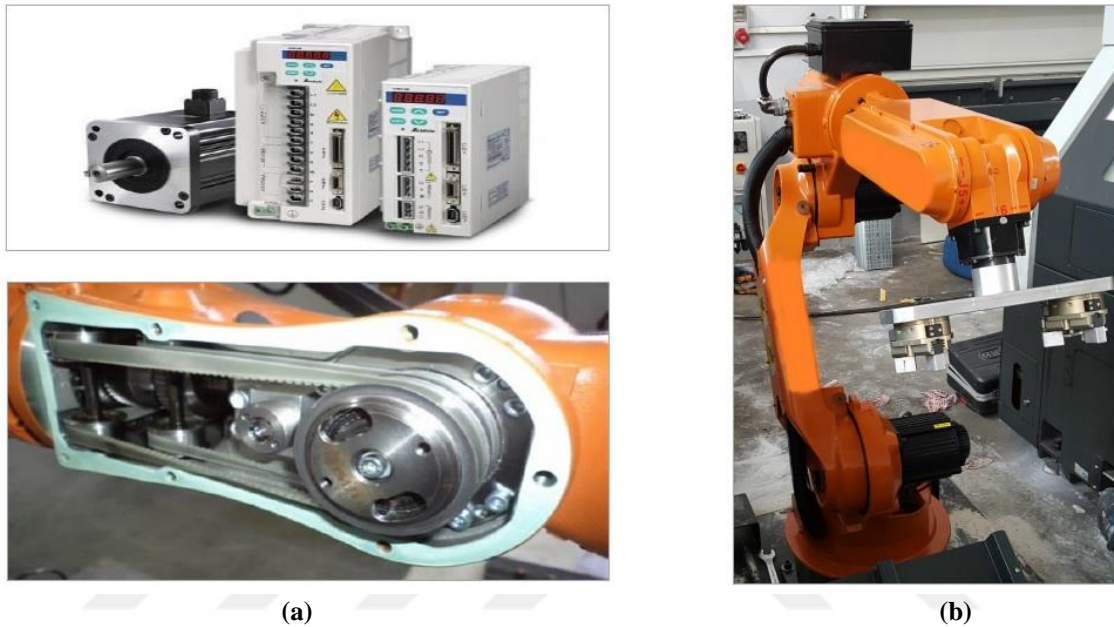
Şekil 2.5 Kontrolör

#### 2.1.1.1.4. Robot sürücü sistemleri

Endüstriyel Robotların eklem hareketlerini yapabilmeleri için belli bir miktarda güç gereklidir. Bu gücün sağlanmasında 3 tip sürücü sistemleri kullanılır. Bunları kullanan robotlar aşağıdaki gibi isimlendirilirler;

1. Elektrik Sürücülü Endüstriyel Robotlar
2. Pnömatik Sürücülü Endüstriyel Robotlar
3. Hidrolik Sürücülü Endüstriyel Robotlar

Günümüzde birçok Endüstriyel Robot, step motor ve DC servomotor sürücülerini kullanmaktadır. Şekil 2.6'ya bakıldığında elektrik sürücülü Endüstriyel Robot ve Servo sürücü kontrol kartı ve güç katı görülebilir. Elektrik sürücülü Endüstriyel Robotlar diğer sürücülü robotlarla kıyaslandığında temiz yapıdadırlar yani yağ sızdırma vb. sorunları yoktur.

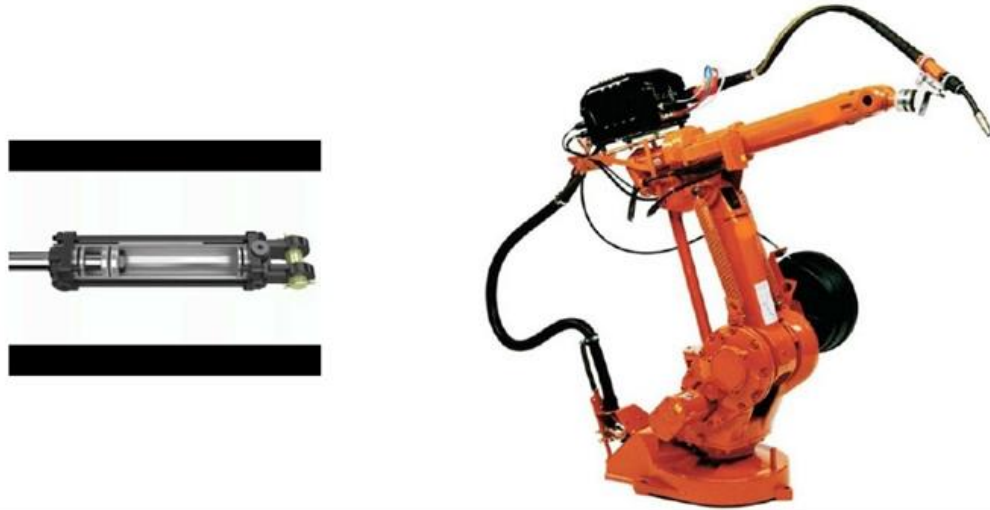


Şekil 2.6 (a) Elektriksel sürücü sistem mekanizmaları (b) elektrik sürücülü Endüstriyel Robot

Ayrıca tekrarlanabilirlik ve hassasiyet bakımından da daha iyidirler. Ancak elektrik sürücülü Endüstriyel Robotlar hidrolik sürücülü Endüstriyel Robotlarla kıyaslandığında daha yavaş hareket ederler ve güç tüketimleri de daha azdır. Endüstriyel Robotun kurulacağı yerdeki taban bağlantısının kesinlikle yapılması gerekmektedir. Elektrik motorları ile birlikte kullanılan redüktörler sayesinde sistemin torku değiştirilebilir ve hız ayarlaması yapılarakta sistem hassas bir hale getirilebilmektedir. Bu sistemlerde genellikle DC servomotorlar kullanılır. Bunun nedeni ise düşük güçlerde yüksek tork üretebilmeleridir. Bu sistemlerde Step Motorlar ise genelde yüksek tork kullanımı gerektirmeyen işlerin gerçekleştirilmesi işleminde kullanılmaktadır. Örneğin malzemenin tutulması, taşınması ve yerleştirilmesi gibi basit işlemlerin gerçekleştirilmesinde step motorlar kullanılmaktadır.

Genelde çok ağır şartlarda çalışan endüstriyel uygulamalarda ise hidrolik sürücülü Endüstriyel Robotlar tercih edilmektedir. Şekil 2.7'de Hidrolik sürücülü

Endüstriyel Robota örnek bir sistem gösterilmiştir. Hidrolik sürücülü Endüstriyel Robotlar yüksek hız ve dayanıma sahip oldukları için çelik işleme fabrikaları, otomobil parçası üreten fabrikalar gibi ağır yüklere sahip yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrolik sürücülü Endüstriyel Robotlarda dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise taban montaj bağlantısının düzgün bir şekilde gereken hassasşyette yapılmasıdır. Bu robotların olumsuz yanları ise hantal ve büyük olması çalışırken ise gürültü oluşturmasıdır. Ayrıca Hidrolik sürücülü Endüstriyel Robotlarda yaygın olarak yağ sızdırma problemleri sıkça karşımıza çıkmaktadır ve bu da temizlik sorunlarına neden olabilmektedir. Bunların dışında, hidrolik sürücülü Endüstriyel Robotların performansları doğrusal olmadığından kontrol edilebilmeleri de oldukça zordur (Ohroku, Irawan, & Nonami, 2009).



**Şekil 2.7** Hidrolik Sürücülü Endüstriyel Robot (Anonim, 2017a).

Pnömatik sürücülü Endüstriyel Robotlar genellikle eksen serbestlik derecesi (Degree Of Freedom-DOF) küçük olan ufak robotlarda kullanılmaktadır. Tutma-bırakma gibi basit işlerde hızlı ve başarılı sonuçlar vermektedir. Pnömatik sürücülü Endüstriyel Robotların enerji verimlilikleri oldukça yüksek olmasına rağmen feedback (geri besleme) kontrolü zordur. Bu robotlarda kontrol işleminin zor olmasının asıl sebebi hava basıncı tertibatının sıkıntılı olmasıdır. Bundan dolayı hareketli robot pistonlarının ataleti hızlı bir şekilde ortadan kaldırılamaz. Bu sebeple pnömatik sürücülü Endüstriyel Robotlar, genelde basit uygulamalar için kullanılırlar (Dişlitaş, 2015).

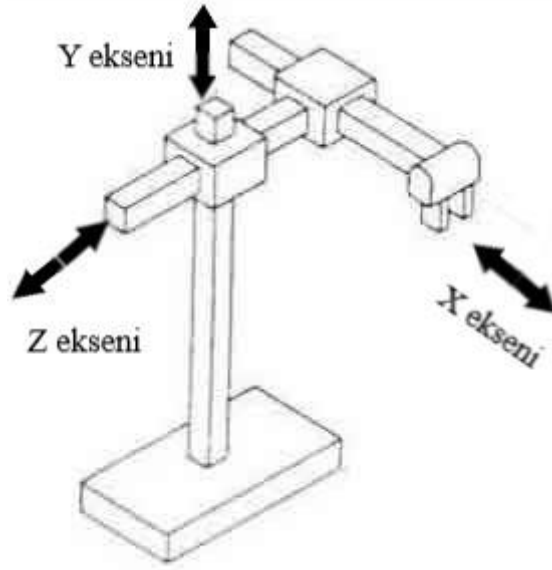


Şekil 2.8 Pnömatik Sürücülü Endüstriyel Robot (Anonim, 2018j).

### 2.1.1.2. Robotların sınıflandırılması

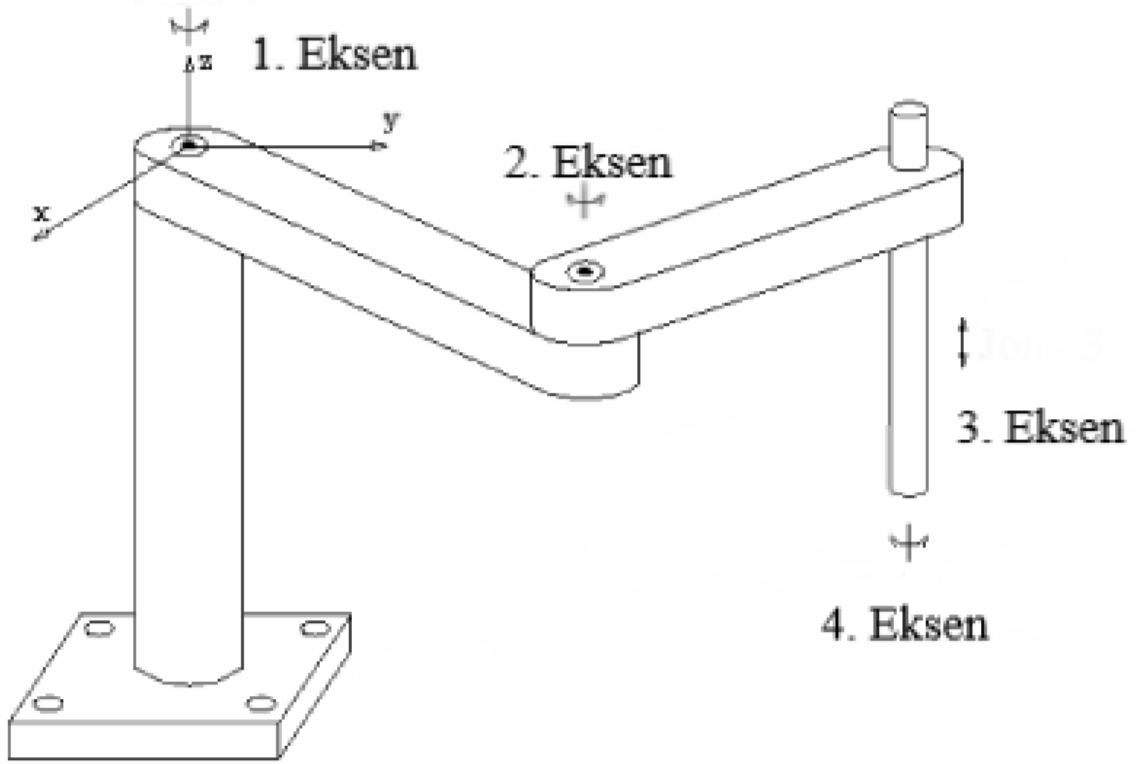
Robotlar bir veya daha fazla eksenle hareket edebilirler. Sadece kendi etrafında dönebilen robotlara tek eksenli robotlar denir. Hem aşağı hem de yukarı doğru hareket edebilen robotlara ise çift eksenli robotlar denmektedir, bu hareketlere yatay eksenle ileri-geri yönlü hareketlerin eklenmesiyle de 3 eksenli robotlar elde edilir. Robotlarda eksen sayısı arttıkça çalışma alanı genişler. Bir robotun eksen sayısı robotta kullanılan motor sayısına bağlıdır. Robotta kullanılan motor sayısının artması robotun manevra yeteneğinin yükselmesine neden olur. Eksen sayılarına göre robotlar (manipülatör) incelenecek olursa;

3 eksenli robotlara kartezyen veya scara robotlar denir. Kartezyen robotlar daha çok 3D yazıcılarda kullanılmaktadır. Şekil 2.9’da görüldüğü üzere kartezyen robotlar x-y-z eksenlerinde hareket ederler ve eğilme (tilt) veya dönüş (turn) hareketlerini yapamadıkları için genelde tut-bırak işlerinde kullanılırlar. Tutulan parçalar döndürülmek veya başka bir açıda taşınmak istenirse eksen sayısı daha fazla olan robot tercih edilmelidir.



Şekil 2.9 Kartrezyen robot (x-y-z eksenini)

Kartezyen robotlara dönen bir eksen daha ilave edilirse 4 eksenli robotlar oluşturulur. 4 eksenli robota verilebilecek en güzel örnek delta robotlarıdır. Bu robotlar oldukça basit yapılıdır ve daha çok hızlı paketleme işlerinde kullanılırlar. Örneğin konveyör bant üzerinden parça alımı işlemi yapılırken x ve y eksenleri konum ayarlamada, z eksenini ise parçaya yaklaşımda kullanılır. Bunlara eklenen 4. eksen yani dönme ekseniniyle de parça başka bir yere rahatlıkla taşınabilir. Şekil 2.10'da 4 eksenli bir robot ve yapısı verilmiştir.



Şekil 2.10 4 eksenli robot

5 eksenli robotlar, dönme yeteneği olmayan kartezyen robotlara 2 dönme eksenini ilave edilmesiyle oluşturulmuşlardır. X-y-z eksenlerine ilaveten y ve z eksenlerine konumlandırılan 2 dönme eksenine sahiptirler. X ekseninde dönemedikleri için tam anlamıyla özgür bir manevra yetenekleri bulunmamaktadır.

X, y ve z eksenlerinde hareket edebildikleri gibi aynı zamanda bu eksenlerde dönme işlemi de gerçekleştirebilen robotlara 6 eksenli robotlar denilmektedir. Manevra kabiliyetleri oldukça yüksek olduğundan kullanım alanları çok geniştir.

Endüstriyel Robotlarda kullanılan eksen sayısı ise en az 3'tür ve bu sayı robotun kullanılacağı işin çeşidine göre değişebilir (Türedi & Bircan, 2016). Yapılacak işin niteliğine bağlı olarak 6 eksenden daha fazla eksene sahip robotlarda üretilebilir. Bu sayede hareket kabiliyeti artırılan robotlar istisnai özel işlerde de kullanılabilir.

### 2.1.1.3. Robot uç elemanları

Tarihte kullanılan ilk uç elemanları, çok eski zamanlarda icat edilmiştir. Geçmişte kullanılan ilk uç elemanı ise telechir (uzaktaki el)'dir. İlk uç elemanı insan eliyle taşınması mümkün olmayan ve sıcaklık düzeyi oldukça yüksek olan tehlikeli parçaların taşınmasında kullanılmaktaydı. Bu uç elemanları, kullanılmaya başlandığında henüz elektronik devre sistemleri olmadığı için bilgisayarla kontrol imkânı olmayan basit bir mekanik elemanlardı. Yıllar geçtikçe kullanım alanları da genişledi ve özellikle tıp bilimleri ile askeri alanlarda kullanımları gittikçe yaygınlaştı (Koc, Unver, & Ozturk, 1990).

Endüstriyel Robotlar genellikle montaj, kaynak, boyama vb. işlemlerde kullanılır. Bu uygulamalarda yaygın olarak kullanılan robot uç elemanları ise gripper yani tutucular'dır. Gripper bir Endüstriyel Robot Sisteminde en önemli göreve sahip ana unsurlardan biridir ve gripperlar otomasyon uygulamalarında sonuca direkt etki ederler. Kullanılan gripperların performansı büyük ölçüde gripperın hassasiyet ve esnekliğine bağlıdır.

Yaygın olarak kullanılan gripper türleri ise şunlardır;

- Pnömatik Gripper
- Vakumlu Gripper
- Manyetik Gripper

#### 2.1.1.3.1. Pnömatik gripper

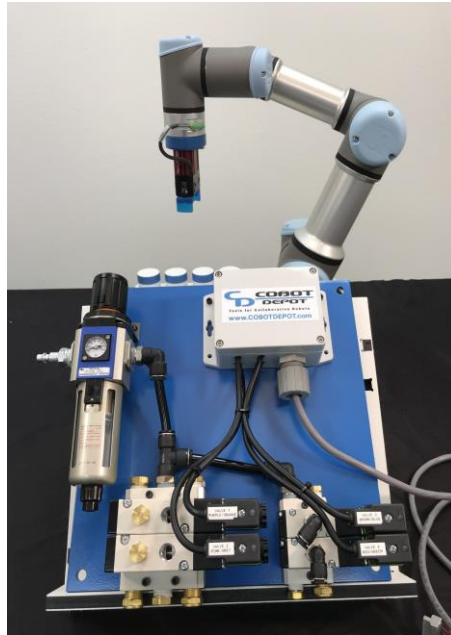
Pnömatik gripperlar diğer gripperlara göre daha avantajlı ve güvenilir bir seçenektir. Bundaki en önemli sebepler ise, pnömatik gripperların farklı boyutlarda üretilebilmeleri ve daha hızlı tepkime süreleriyle oldukça kullanışlı ve esnek bir yapıya sahip olmalarıdır. Pnömatik gripperların sıkma kuvveti oldukça fazladır ve basit kontrol edilebilir olması ile maliyetide düşünüldüğünde üreticilerin en fazla kullandığı gripper türleri arasında yer almaktadır.



Şekil 2.11 Pnömatik Gripper

Pnömatik gripperlar hafif ve kompakt yapıları sayesinde yüksek hıza sahip montaj robotları için en ideal seçeneklerden biridir. Ancak bu gripperların kullanımı için üreticilerin basınçlı hava altyapısına sahip olmaları gerekmektedir. Aksi halde bu gripperların, basınçlı hava kullandıkları için, üretim sahalarında kullanılmaları mümkün değildir. Bu gripperlarda motor ve sürücüsü bulunmamaktadır. Bu sayede pnömatik gripperlar basit ve hızlı bir şekilde devreye alınabilir.

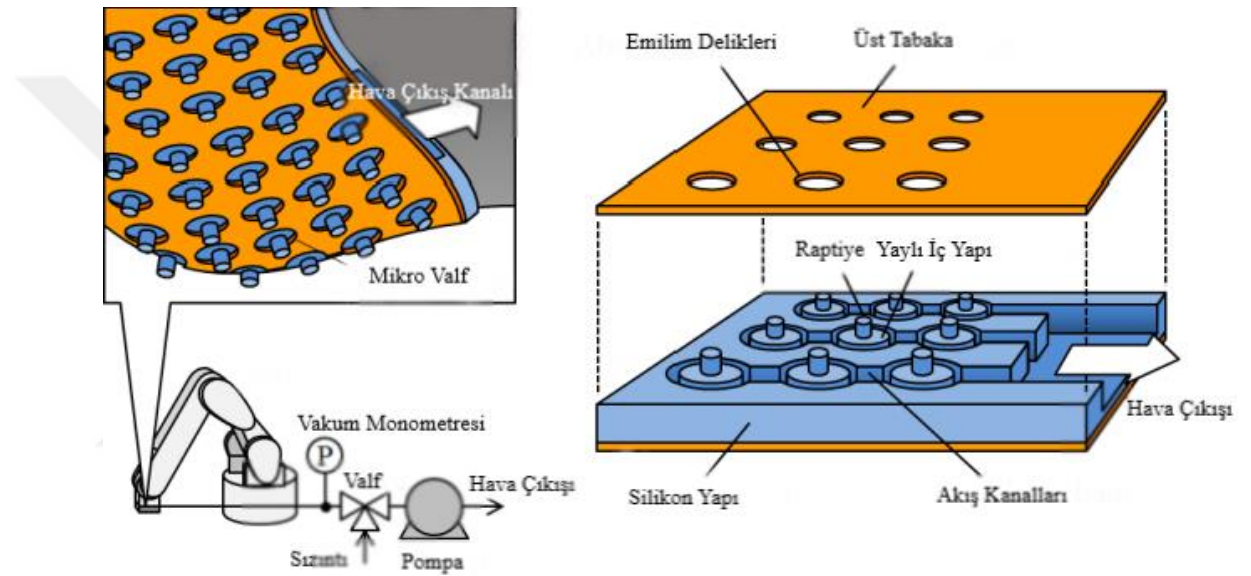
Bu gripperlarda tutma kuvveti pnömatik regülatörler aracılığıyla ayarlanmaktadır. Hız ayar valfleri sayesinde pnömatik gripperların hızlarını kontrol etmek mümkündür. Diğer birçok gripper türlerinde ki gibi yüksek ısınma problemleri olmadığı için de herhangi bir pozisyonda zaman sınırlaması olmadan bekletilebilir.



Şekil 2.12 Pnömatik Regülatör (Anonim, 2017b).

### 2.1.1.3.2. Vakumlu gripper

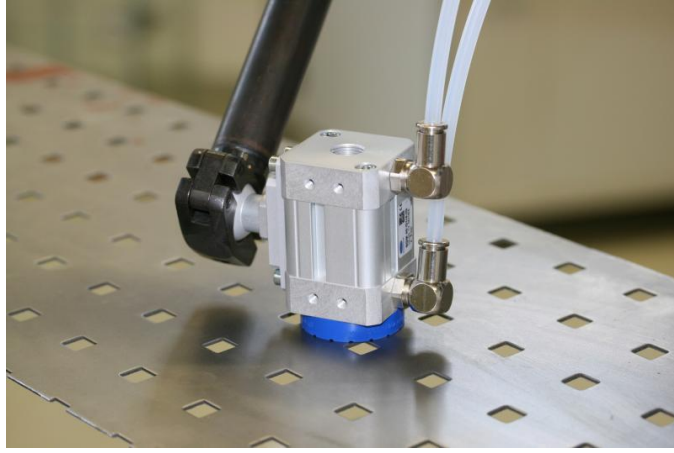
Endüstriyel Robot Sistemlerinde kullanılan gripperların türü ürün özelliklerine göre seçilmelidir. Vakumlu gripperlar ise yüksek hızlı elleçleme uygulamalarında tercih edilebilirler. Farklı ölçü ve karakteristiklere sahip cam kavanoz, konserve, oval teneke, seramik, bobin, varil vb. ürünlerin taşınmasında yaygın olarak kullanılırlar. Vakumlu gripper sadece yatay taşıma işlemi için değil aynı zamanda 90° veya 180° taşıma işlemi içinde rahatlıkla kullanılabilir.



Şekil 2.13 Vakumlu Gripper Yapısı (Takahashi, Nagato, Suzuki, & Aoyagi, 2013).

### 2.1.1.3.3. Manyetik gripper

Manyetik gripperlar genellikle demir esaslı saç ve metal ürünlerin elleçleme işlemlerinde kullanılmaktadırlar. Manyetik gripperlarda hareketli herhangi bir parça yer almadığı için oldukça güvenli bir yapıya sahiptirler. Bu gripperlar basınçlı havayla çalışmakta olup elektrik kesintilerinden etkilenmemektedirler.



Şekil 2.14 Manyetik Gripper (Anonim, 2018e).

#### 2.1.1.4. Endüstriyel robotların uygulama alanları

Endüstriyel Robotlar oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bu robotların üreticiler tarafından kullanılması aşağıda yer alan faktörlere bağlıdır:

- Üretim miktarında artış ve esnekliğin yükseltmek istenmesi
- İnsan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek çalışma sahaları
- İşçilik maliyetinden tasarruf isteği
- Ürün kalitesinde artış isteği
- Üretimde meydana gelen hata oranlarının düşürülmek istenmesi
- Üretim şeklinde hassasiyetin artırılmak istenmesi
- Daha hızlı bir üretim şekli istenmesi (ERSÖZ, 2007).

Tablo 2.1’de Endüstriyel Robot uygulama örnekleri ve kullanılan robot grupları verilmiştir.

**Tablo 2.1** Endüstriyel Robot Uygulama Alanları (Bradley, Dawson, Burd, & Loader, 1991).

Uygulama Grubu	Uygulama Örnekleri	Sabit Konumlu	Gezer Konumlu	Otomasyon Sistemleri	Gözlem ve Bilgilendirme	Eylem ve İşlem	Normal Boyut	Mini boyut	Mikro boyut
Endüstriyel Robot ve cihazlar, Otomasyon Sistemleri	Otomatik üretim tezgahları ve hatları	x		x		x	x		
	Kaynak robotları		x			x	x		
	Boyama robotları		x			x	x		
	Montaj robotları	x		x		x	x		
	Makina sağlığı izleme	x					x		
	Çevre koşullarını izleme	x	x				x		
	Kalite kontrol robotları	x	x				x		
	Bakım robotları	x	x			x	x		
	Malzeme taşıma robotları		x				x		
	Depolama robotları	x		x		x	x		
Tıp ve Sağlık Sistemleri	Teşhise yardımcı cihazlar	x	x				x	x	x
	Protezler						x	x	x
	Tedaviye yardımcı robotlar	x	x			x	x	x	x
Savunma Uygulamaları	Patlayıcı taşıyan robot		x			x	x		
	Silah nitelikli robotlar		x				x		
	Gözlem robotları	x	x				x	x	
	İmha robotları		x				x		
Tarım Endüstrisi	Hasat robotları		x			x	x		
	Tarım ürünlerini işleme robot ve makineleri	x		x		x	x		
	Ürün sınıflandırma sistemleri	x			x		x		
	Kalite denetleme sistemleri	x			x		x		
Eğitim ve Eğlence	Eğitim robotları	x	x			x	x	x	
	Araştırma robotları	x	x		x		x	x	
	Eğlence sistemleri	x	x		x		x		
Diğer çeşitli uygulamalar	Kurtarma robotları ve uzaktan kumandalı makineler		x		x	x	x		
	Yangın söndürme robotları		x		x	x	x		
	Duvar tırmanan robotlar ve uzaktan kumandalı makineler (Yangın, boyama, kaynak, gözlem vb. işler için)		x		x	x	x		
	Su altı robotlar ve uzaktan kumandalı makineler (Gözlem, arkeoloji, kurtarma, tamir, bakım, boyama vb. işler için)		x		x	x	x		
	Maden kazaları ve deprem sonrası kurtarma robotları		x		x	x	x		
	Radyoaktif ve zehirli ortamlarda çalışan robotlar		x			x	x		

### 2.1.1.5. Endüstriyel robot sistemi üzerine literatürde yapılan çalışmalar

Shiakolas ve ark. (2002)'de yaptıkları çalışmada Endüstriyel Robotların doğruluk ve tekrarlanabilirlik özelliklerini ele almışlardır. Bu özellikleri etkileyen faktörleri tanımlamış ve bir hata ağacı geliştirmişlerdir. Daha sonra Denavit-Hartenberg kinematik parametreleri, homojen dönüşüm matrisi ve diferansiyel dönüşüm matris teorisi kullanılarak, doğruluk ve tekrarlanabilirlik araştırılarak ilgili önlemler geliştirilmiştir.

Hu Chen ve ark. (2006) robot öğretimi ve robot dili sistemi için iki farklı programlama yöntemi anlatmıştır. Ayrıca manipülatör düzeyinde robot dilinin program ve öğretim fonksiyonu tanıtılmaktadır. Bu öğretim sisteminin oluşturulması analiz edilmektedir ve başlatma için akış şeması çerçevelendirilmektedir.

Niola ve ark. (2007) robotun yörünge planlaması için bir video sistemi kullanma imkânı üzerine çalışma yapmış ve bu uygulama sayesinde yörüngeleri PC monitörüyle planlamak, sadece fare ile monitörden yönlendirme yapmayla mümkün olmuştur.

Fenghua ve ark. (2009) yurtiçi ve yurtdışında paletleme robotlarını dikkatle incelendikten sonra, PLC'yi çekirdek olarak kullanarak yeni endüstriyel paletleme robotu sistemi geliştirmişlerdir. Pratik kullanım, paletleyici robotun istikrarla, güvenilir performansla çalıştığını ve çeşitli işletme gereksinimlerini karşılama öncülüğünde istenen sonuçlara ulaştığını ve endüstriyel uygulamalar için geniş çaplı kullanılabileceğini göstermiştir.

James ve Huosheng (2012) Edubot isimli robot kolunu EMG ve IMU sensör kullanarak kontrol etmişlerdir. Robotun herhangi bir cismi tutup bırakma işlemini gerçekleştirmesi EMG verileriyle sağlanmıştır. Robota IMU sensöründen gelen veriler sayesinde de, yaw(esneme) açısıyla sağ veya sol, pitch açısıyla da yukarı aşağı işlemleri yaptırılabilmiştir.

Takahashi ve ark. (2013) Mikro Elektro Mekanik Sistemler (MEMS) kullanarak Endüstriyel Robot Sistemleri için vakumlu gripper önermişlerdir. Gripper esnek bir

polimer malzemeden yapıldığından ve sadece yüzey ile temas ettirilen valfler emilim için açıldığından, gripper kavisli ürünlerde de rahatlıkla kullanılabilir.

DAŞ Ersin ve ark. (2013) yılında yaptıkları bir çalışmada, altı eksene sahip bir Endüstriyel Robot'un dinamik denklemlerini çıkararak kontrol ve simülasyonunu yapmışlardır. ABB marka IRB 140 model robot referans alınarak simülasyon ve simülasyona dayalı kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu robot altı serbestlik dereceli uzayda hareket etmektedir. Robotun her bir eklemi, ayrı olarak PID türünde kontrolcü tasarlanmış ve istenilen değerlerde çalışması sağlanmıştır.

Chen ve Dong (2013) robot işlemenin doğruluğunu ve verimliliğini artıracak ve sadece CNC makinelerinin yapabileceği düşünülen görevler için robot işleme sistemlerinin geliştirilmesi üzerine araştırmalar yapmışlardır.

Li ve ark. (2014) Exoskeleton robot kolu kuvvet kontrolü için EMG sinyallerini kullanmışlardır. Bilek ve dirsek kaslarından kas çifti belirlenmiştir. Belirlenen kas çiftinden EMG sinyallerini, 4 kanal 1024 Hz frekans ile örnekleyerek toplamışlardır. Toplanan bu sinyallerden istenmeyen frekanstaki sinyaller sırasıyla 10 – 500 Hz arasında bant geçiren filtre, derecesi dört olan Butterworth filtresi ve çentik filtresi ile çıkarılmıştır. Sonrasında ise kapalı çevrim kuvvet kontrolü, filtrelenmiş sinyal üzerinde Proportional – Integral (PI) denetleyicisi uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Shin ve ark. (2014) IMU sensörlerinden alınan verilerle kolun oryantasyonunu Euler açılarıyla tespit etmişlerdir. EMG verileri Arduino kartıyla toplanmış ve Matlab programına seri port haberleşmesi ile yollanmıştır. Sistem sonunda robot sağa dönme, sola dönme gibi hareketleri başarıyla uygulamıştır.

Simoni ve ark. (2015) Endüstriyel Robot manipülatörleri için sıcaklık etkilerini hesaba katan yeni bir sürtünme modeli sunmuşlardır. Bu çalışmada özellikle, sürtünmenin robot işlemleri sırasında çok fazla değişebileceği gösterildikten sonra eklem sürtünmesinin polinom tanımına dayanan iki çözüm sunulmuş ve bunlar karşılaştırılmıştır.

He ve ark. (2016) bir robot kolu kontrolü için EEG sinyalleri kullanan HRI sistemi tasarlamışlardır. EEG sinyallerini kafaya yerleştirilen elektrotların yardımıyla yükseltesten bilgisayar ortamına aktarmışlardır. Daha sonra EEG sinyalleri Haar wavelet filtresinden geçirilerek gürültülerden arındırılmıştır. Latent Dirichlet Allocation (LDA) algoritmasıyla gürültülerden arındırılmış sinyallerden EEG sinyallerini sınıflandırmışlardır. Robot kontrolörüne sınıflandırılan EEG sinyallerini göndermişler ve robota aşağı-yukarı hareketlerini başarıyla yaptırabilmişlerdir.

Stückelmaier ve ark. (2017) gelişmiş kontrol şemalarını kullanarak endüstriyel robotların yol doğruluğunu arttırmak için kademeli bir yöntem sunmuşlardır. Ayrıca bu çalışma dinamik modelleme ve tanımlamanın yanı sıra kinematik kalibrasyonu içermiştir.

Jeong ve ark. (2017) endüstriyel akıllı sistemlerde ana rol oynayan PLC entegreli robot için bir SW mimarisinden bahsetmişlerdir.

Özcan Muciz ve ark. (2017) gerçekleştirdikleri bir teknik ve PLC kullanarak yaptıkları boom kaynak manipülatörüyle yaklaşık % 50 enerji tasarrufu sağlamışlardır.

Wang Shiyong ve ark. (2017) akıllı fabrika için Endüstriyel Robotların bulut destekli etkileşimi ve belli bir düzende ortak hareket edebilmeleri üzerine çalışma yapmışlardır.

El Naser ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada çapak temizleme amacıyla kullanılan bir robot kol tasarımı sunmuşlardır. Çapak temizleme robot kolunun izleyeceği yörüngenin belirlenmesi amacıyla temizlenecek parçanın CAD modeli referans alınmış ve pozisyon kontrolü için bu yörünge kullanılmıştır.

Garcia Riberio ve ark. (2017) zorlukların üstesinden gelinmesi gereken bir fabrika ortamının yeniden oluşturulmasını içeren yarışmaya katılıp, robotla ilgili çalışmalar anlatmışlardır.

Urrea ve Pascal (2018) bir Endüstriyel Robot için parametre tanımlama yöntemlerinin tasarımı, simülasyonu, karşılaştırılması ve değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır.

Boru B. (2018) Thalmic Labs tarafından üretilen Myo Armband ürününü kullanmış ve bu sayede insan kol hareketlerinin algılanması ve Endüstriyel Robot kolunu kontrol etmesi üzerine bir insan robot arayüzü geliştirmiştir. Uygulama için ABB marka IRB120 Endüstriyel Robotu kullanmıştır. Geliştirilen yazılım sayesinde EMG ve jiroskop verilerinden elde edilen bilgiler hareket ve konum verilerine dönüştürülerek ethernet üzerinden eş zamanlı gönderilmesi ile Endüstriyel Robotun insan hareketlerini takip etmesi sağlanmıştır.

Dilibal ve Şahin (2018) yaptıkları çalışmada, son zamanlarda dijital endüstride oldukça yaygınlaşmaya başlayan işbirlikçi robotlar ile esnek robotik sistemlerin sistematik analizini yapmışlar ve mevcut işbirlikçi robotlar arasında karşılaştırma gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca işbirlikçi robotların temel gelişim konsepti ile beraber esnek robotik sistemle kavrama sentezinde etkin olan kriterleri araştırmışlardır.

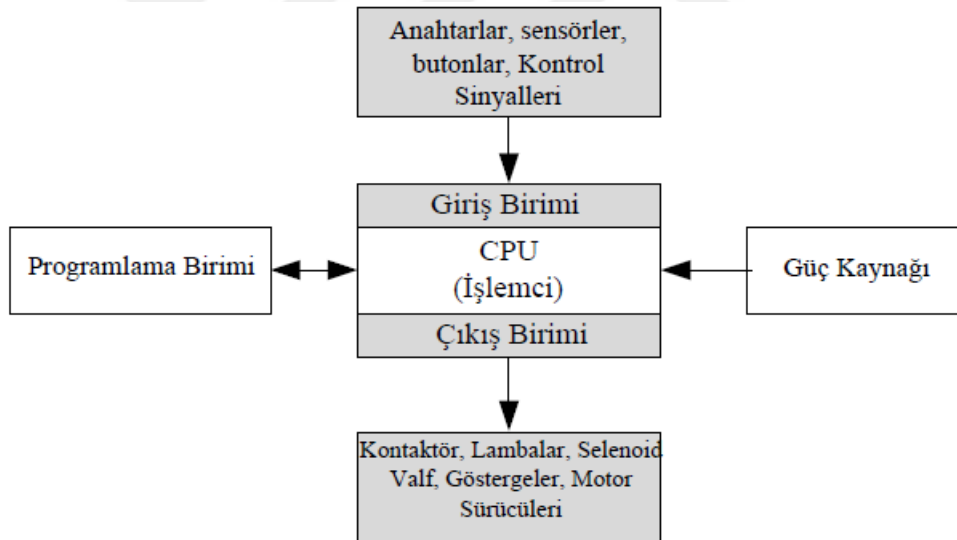
### **2.1.2. PLC**

‘Programmable Logic Controller’ kelimelerinin baş harfleri ile adlandırılan PLC’ler mikroişlemci bir tabana sahiptir. Bu PLC’ler sahada yer alan algılayıcılardan bilgiler alırlar ve üzerinde yer alan programa göre bu bilgileri işlerler. Tüm bu işlemlerin sonucunda da sahadaki enstrümantasyon cihazlarını kontrol edebilirler. Endüstriyel Otomasyon Sistemlerinde PLC, kontrol ve kumanda mekanizmasını gerçekleştirebilmek amacıyla kullanılmaktadır. PLC sahada bulunan cihazlardan bilgi alabilmek ve bilgi yazabilmek için GİRİŞ (giriş) birimleri ile ÇIKIŞ (çıkış) birimleri, sahada çalışan cihazlar ile haberleşebilmek için ise haberleşme birimleri ile donatılmış olup, SCADA (uzaktan kontrol ve gözleme sistemi) ile uyum içinde çalışabilen endüstriyel tip bir bilgisayardır (Mirzaoğlu & Sarıtaş, 2008).

PLC’ler, sayıcılar, yardımcı röleler ve zaman röleleri gibi kumanda kontrol elemanlarının yerine dizayn edilmiş olup birçok aygıtın kombinasyonundan oluşan bir

entegre sistemdir. Bu sistemlerde sıralama, sayma, zamanlama ve herhangi bir lojik işlem yazılımla sağlanır. Bu yüzden her türlü gelişmiş otomasyon problemleri PLC kullanılarak, güvenli ve son derece hızlı bir şekilde çözülebilir. PLC'ler kendi içerisinde yer alan programları kullandıklarından dolayı, tek bir PLC ile birçok farklı program yazarak otomasyon sistemi kurmak ve böylece zamanı daha verimli kullanmak mümkündür. PLC ile beraber kullanılan SCADA sayesinde de, kurulan sistemde meydana gelebilecek herhangi bir arızanın tespiti ile tespit edilen arızanın giderilmesi oldukça kolaydır.

Genel olarak PLC giriş birimi, çıkış birimi ve CPU (merkezi işlem birimi) olmak üzere 3 temel birimden oluşur. Bunların dışında PLC'lerde güç kaynağı, programlama birimi ve diğer birimlerde bulunmak zorundadır. PLC'lerin içyapısı şekil 2.15'de verilmiştir (BİNGÖL, Aydoğan, DİDİN, Yalçiner, & DUYGULU, 2010).



Şekil 2.15 PLC içyapısı

PLC'lerin röleli kontrol devrelerinden farkı;

-Kontrol Devre Tasarımı daha kolay ve kötü çevre koşullarında güvenlidir.

-Sadece yazılım değiştirilerek herhangi bir donanım değiştirilmeden farklı uygulamalarda kullanılabilir.

-Kablo bağlantıları sayısı röleli kontrol devrelerine göre çok daha az olduğundan az yer kaplarlar ve bu yüzden arıza tespitleri daha kolaydır.

-Kolay kolay arıza yapmazlar, arıza durumunda bakımları kolaydır.

-Bilgisayar veya herhangi bir kontrolörle haberleşme olanağı sayesinde bilgisayarlı otomasyon sistemi kurulması mümkündür.

### **2.1.2.1. Merkezi işlem birimi (CPU)**

Merkezi İşlem Birimi PLC'nin en önemli birimi olup, bütün mantıksal ve aritmetik işlemler ile sayma ve zamanlama gibi işlemler bu birimde gerçekleşir. İşlemci otomasyon sistemini kontrol edecek olan programın derlenmesi ve yürütülmesi işlemi için bellek ile devamlı iletişim halindedir (Simatic, 2000).

### **2.1.2.2. Bellek birimi**

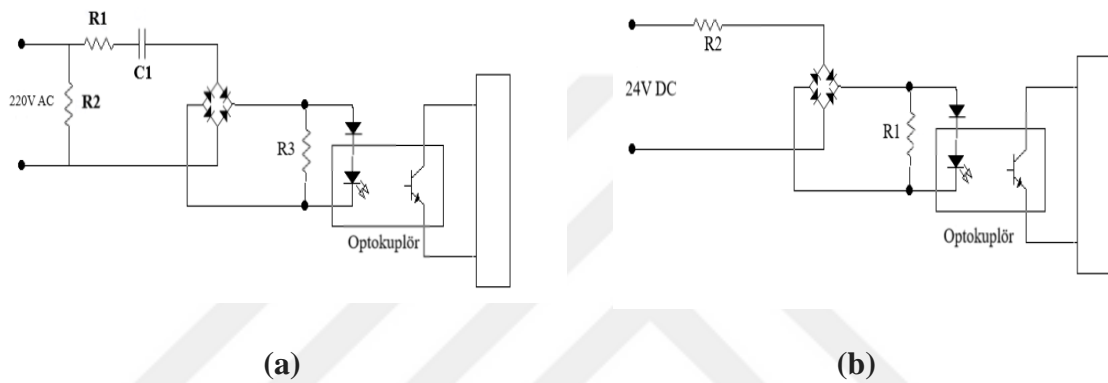
Bellek birimi verileri tutmakla görevlidir ve tutulan veriler istenildiği takdirde ilgili kısımlara gönderilir. Bellek birimi program belleği, sistem belleği ve veri belleği gibi kısımlara ayrılmıştır. Her bellek alanının farklı görevleri vardır. PLC'lerde çoğunlukla kullanılan bellek elemanı Erasable Programmable Read Only Memory (EPROM)'dur. Bu bellek elemanı programlanabilir, silinebilir, tekrar yazılabilir, salt okunur bir hafıza birimidir. PLC'lere özgü olan programlar hafıza biriminde saklanır ve buradan da CPU'lara gönderilir (Acıelma, 2000).

### **2.1.2.3. Giriş birimi**

PLC giriş birimi, kumanda ve kontrol işlemi yapılan sistemle ilgili girişlere gelen sinyalleri değerlendirir ve bu sinyalleri lojik gerilim seviyelerine dönüştürür. Giriş birimi üzerinden alınan sinyallerin son hali seviye, sıcaklık, basınç, yakınlık gibi

sensörlerden gelen 1 veya 0 şeklinde binary değerlerdir. Giriş birimi 24,48,100-120,200 ve 240 Volt doğru veya alternatif akım olabilir (Webb & Reis, 2002).

PLC giriş elemanları temaslı ve temassız algılayıcı olmak üzere 2'ye ayrılabilir. Temaslı algılayıcılara kontaktörler, butonlar, şalter-anahtarlar ve mekanik sınır anahtarları örnek verilebilir. Temassız algılayıcılara ise optik temassız algılayıcılar ile kapasitif ve endüktif temassız algılayıcılar örnek gösterilebilir. Şekil 2.16'da AC ve DC giriş birimi devreleri verilmiştir.



Şekil 2.16 220V AC (a) ve 24V DC (b) giriş birimi devresi

#### 2.1.2.4. Çıkış birimi

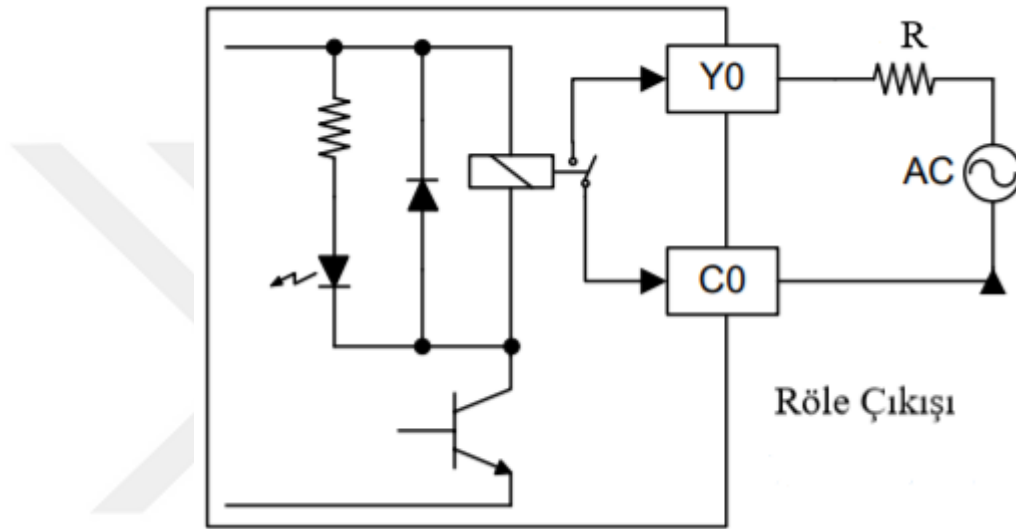
PLC çıkış birimi, giriş birimine uygulanan lojik gerilim voltaj sinyallerini, kontrol edilen sistemde yer alan röle, kontaktör gibi kumanda elemanlarının çalışmalarına uygun sinyallere dönüştüren birimdir. PLC çıkış birimi transistör, röle veya triyaklı devrelerden oluşur. Yüksek hızlı açma-kapama gerektiren uygulamalarda transistörlü veya triyaklı çıkış devreleri kullanılır (Acıelma, 2000).

##### 2.1.2.4.1. Röle çıkışlı PLC

Röle çıkışlı PLC'lerin çıkışları kontak şeklindedir. Bu PLC'lerin çıkış devreleri sadece kontaklardan oluştuğu için hem AC hemde DC gerilimle kullanılabilirler. Röle çıkışlarına 2 ampere kadar akım uygulanabilir. Kutupları olmadığı için DC motor gibi çeşitli alanlarda kullanılabilirler.

Röle çıkışlı PLC'lerin dezavantajları ise;

- Cevap verme hızları transistör ve triyak çıkışlı PLC'lere göre düşüktür.
- Mekanik hareketli olmalarından dolayı röle kontaklarının belli bir süre sonra aşınmaları mümkündür.



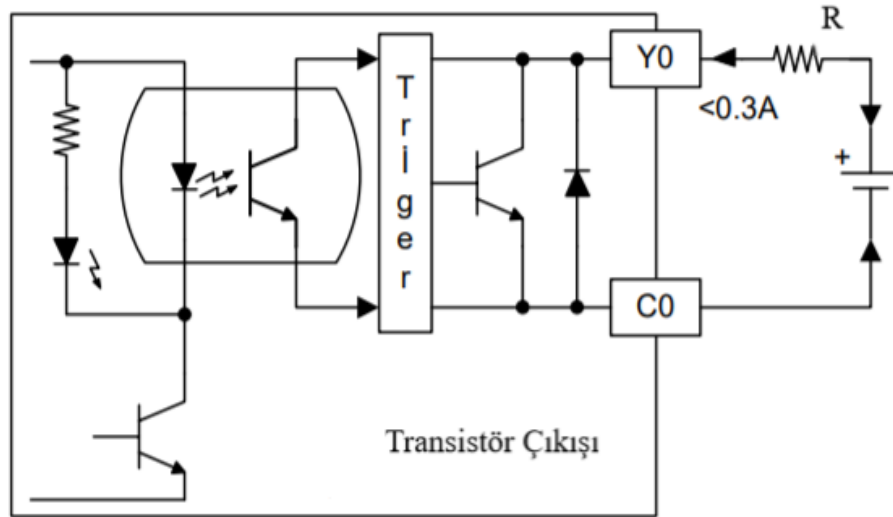
Şekil 2.17 Röle çıkışlı PLC (Anonim, 2012)

#### 2.1.2.4.2. Triyak çıkışlı PLC

Triyak çıkışlı PLC'ler de çıkış elemanı tristör veya triyak'tır ve kontaklı tip PLC olarak adlandırılırlar. Triyak çıkışlı PLC'lerin cevap verme hızları transistör çıkışlı PLC'lere göre yavaş, röle çıkışlı PLC'lere göre ise oldukça hızlıdır. Bu PLC'lerin çıkışına uygulanabilecek gerilim 85-242 Volt aralığında alternatif gerilimdir, çıkışlarından alınabilecek max. akım ise 0,3 amper civarındadır. Triyak çıkışlı PLC'ler uygulamalarda pek fazla kullanılmazlar (Ball, 2007).

### 2.1.2.4.3. Transistör çıkışlı PLC

Transistör çıkışlı PLC'lerin çıkış akımları yaklaşık 0,5 amper seviyelerindedir ve cevap verme süreleri oldukça kısa olup 0,2 milisaniye'dir. Bu PLC'lerde Photo Coupler kullanılmaktadır. Bu PLC'lerin çıkışlarında transistör kullanıldığı için kutuplar vardır ve kablolama yaparken bu kutuplara dikkat edilmesi gerekir. Endüstriyel Otomasyon Sisteminde kullanılan Endüstriyel Robot veya CNC kontrol ünitesi kontrolünde yüksek akım kullanımına ihtiyaç yoktur. Bu nedenle bu sistemlerde hızlı cevap verebilen transistör çıkışlı PLC'ler tercih edilmektedir. Transistör çıkışlı PLC'lerde mekanik herhangi bir kontak olmadığı için gürültü ve aşınma yoktur denilebilir ve bu nedenle sessiz ve uzun ömürlüdürler.



Şekil 2.18 Transistör çıkışlı PLC (Anonim, 2012)

### 2.1.2.5. Programlama birimi

Bilgisayarda yazılan ve PLC kontrolü amaçlı kullanılan program bu birimde saklanır ve işlenir. Bu birime program kaydedilmeden önce eğer varsa hafızasındaki program silinir ve yeni program tekrar hafızasına yüklenir (Simatic, 2000).

### 2.1.2.6. PLC üzerine literatürde yapılan çalışmalar

Cosgun ve Yucedag (1998) PLC sistemlerini incelemişler ve PLC ile bir asenkron motora yol verme üzerinde çalışma yapmışlardır.

Aydogmus (2009) bulanık denetleyicili bir sıvı seviyesi kontrol sistemi için PLC üzerinden SCADA (denetleyici kontrol ve veri toplama) kontrolü sunmaktadır. Bu amaçla bir sıvı seviye kontrol seti ve PLC birlikte monte edilirken yapılan çalışmada kullanılan PLC'de bulanık modül veya yazılım bulunmamaktadır.

Dong ve Kuang (2013) Mitsubishi PLC ve bir GSK robotu arasındaki iletişim sinyalinin analiz etmişlerdir.

Bansal Pai ve ark. (2017) soğutma bankaları arasında otomatik geçiş yapılarak manuel transformatör soğutma kontrol sisteminin problemini ortadan kaldıran PLC tabanlı akıllı bir soğutma sistemi önermişlerdir.

### 2.1.3. Endüstriyel otomasyon sistemi üzerine literatürde yapılan çalışmalar

Kahveci (2007) Profinet sistemleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Günümüzde Endüstriyel Otomasyon uygulamalarının yapıldığı tesislerde, endüstriyel veri iletişim sistemleri her seviyede ki otomasyon için büyük bir öneme sahiptir. Profinet yeni ve oldukça gelişmiş bir yapıda olan endüstriyel haberleşme protokolüdür.

Mirzaoğlu (2008) bir irmik tesisinin otomasyonunu PLC ve SCADA kullanarak yapmıştır. Ayrıca çalışmasında PLC ve SCADA 'nın tanımını yapmış, tarihçesi, yapısı, çalışması, programlanması ve avantajları hakkında da detaylı bilgiler vermiştir.

Lakhoua (2009) yaptığı çalışmada, bir termik santralin otomasyon sistemini incelemiştir. Santralde kullanılan otomasyon sisteminde yer alan SCADA'nın fonksiyonel analizi yapılmıştır. Termik santraller birçok sistemin birlikte yer aldığı gelişmiş sistemlerdir. Her bir sistem kendi altında çalışan bir alt sistem barındırmaktadır. Günümüzde bu tür santraller oldukça gelişmiş sistemler olduğu için

otomasyon kullanmadan çalışmaları düşünülemez. Yapılan çalışmada ayrıca çeşitli analizlere yer verilmiş olup, otomasyon ile kontrol edilen başka sistemlerden de bahsedilmiştir.

İbrahim (2010) yaptığı çalışmada petrol depolama ve petrol dağıtım hatlarının otomasyon sistemini deneysel olarak gerçekleştirmiştir. Çalışmada SCADA kullanılmış olup elde edilen veriler izlenebilmiştir.

Zhang ve ark. (2011), ağa bağlı motor sistemleri için uzak PID kontrolü ve statik çıkış geri besleme kontrolü kullanarak modelleme yapmışlardır.

Manjunath ve Raman (2011) gerçekleştirdikleri çalışmalarında Open Process Control (OPC) tabanlı, bulanık mantık yönetimli PID kontrol ile geleneksel PID kontrolün performansını yükseltmek istemişlerdir. PID kontrolün iyi çalışabilmesi, sistemin matematiksel modelinin doğru bir şekilde ortaya konabilmesine bağlıdır. Bu nedenle, karmaşık ve değişken sistemler için PID uygulamak oldukça zordur. Fakat bulanık mantık denetimi karmaşık uygulamalar için iyi çalışır ve kesin bir matematiksel modele ihtiyaç duymaz. Yapılan bu çalışmada, iki giriş ve üç çıkışa sahip kendini uyarlayabilen bir bulanık PID denetleyicisi tasarlanmıştır ve akış işlem istasyonunun son kontrol elemanı kontrol edilmiştir. Ayrıca çalışmada MATLAB ve S7-300 PLC kullanılmış, aralarındaki gerçek zamanlı veri alışverişi ise OPC sunucusu aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Bayındır ve Çetinceviz (2011) üretim tesisleri için laboratuvar ortamında yaptıkları bir çalışmada su pompalama kontrol sistemi otomasyonu kurmuşlardır. Üretim işleminin gerçekleşeceği endüstriyel tesislerde yer alan titreşimler, hareketli parçalar veya kimyasallar verilerin iletileceği kabloları zarar verebilir. Bu nedenle, yapılan çalışmada PLC ile beraber endüstriyel kablosuz yerel alan ağı (IWLAN) teknolojileri kullanılmıştır. Kurulan sistemde ayrıca su pompası, sensörler, bir iletişim işlemcisi (CP), iki IWLAN modülü ve bir dağıtılmış giriş / çıkış (I / O) modülü kullanılmıştır. Sistem haberleşmesi Endüstriyel Ethernet'e dayalıdır. PLC, depoda yer alan su seviyesinin durumuna göre su pompasına dijital bir sinyal göndererek devrenin açma-kapama işlemini yapar.

Sangeetha ve ark. (2012) yaptıkları bir çalışmada, kaskad soğutma sistemi otomasyonunu PID kontrollü PLC, OPC, SCADA ve internet kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada, SCADA, PLC ve OPC hakkında bilgiler verilmiştir. PID parametrelerinin seçiminden bahsedilmiş ve kontrol sistemine etkileri anlatılmıştır.

Cai ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada denizaltıların derin sularda daha güvenli bir şekilde çalışmalarını sağlamak amacıyla bir otomasyon sistemi tasarlamışlardır. Tasarlanan otomasyon sisteminde PLC ve SCADA kullanılmıştır. Özellikle denizaltıların derin sondaj platformlarında kullanılmasıyla beraber yaşanabilecek herhangi bir kaza veya patlama riskini düşürecek şekilde geliştirilmiş bir kontrol sistemi önermişlerdir.

Akshay ve ark. (2012) çalışmalarında, bir SLC-500 PLC ve LABVIEW haberleşmesi kullanarak eş zamanlı olarak, endüstriyel bir prosesin kontrol işlemini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada ayrıca PLC ve SCADA hakkında bilgiler de verilmiştir.

Kulkarni ve Elango (2013) şişe dolum tesisinde Endüstriyel Otomasyon Sistemi kullanmışlardır. İçecek sektörünün hızla büyümesi sonucu artan talebi karşılayabilmek için bu sektöre ait ürünler hızlı ve yüksek hassasiyetle doldurulmaları gereklidir. Bu talebi karşılayabilmek için PLC kullanılmış ve sürecin titizlikle izlenebilmesi SCADA ile sağlanmıştır. Ayrıca kurulan bu sistemde PID kontrol kullanılmış ve oluşabilecek hatalar en asgari seviyelere çekilmeye çalışılmıştır.

Sağlam (2013) çalışmasında PID kontrollü bir otomasyon sistemi kurmuştur. Kurulan sistem Polimer Elektrolit Membran (PEM) yakıt pili kullanan bir mikro-kojenerasyon sisteminin içinde yer alan Yüksek Sıcaklık Dönüşüm (HTS) reaktöründeki katalizör bölgesinin sıcaklık kontrolünü, hatasız, hassas ve güvenli bir şekilde yapılmasını sağlar.

Karayel (2013) yaptığı çalışmada pelton türbinli prototip bir mikro hidroelektrik santralinin PLC ile otomasyonunu yapmıştır. Kurulan otomasyon sisteminde PID tipi kontrol yapılmış ve 500W asenkron jeneratör kullanılmıştır. Verilerin kontrolü ve izlenmesi SCADA üzerinden sağlanmıştır. SCADA, PID kontrol ve PLC hakkında bilgiler verilmiştir.

Nandaniya (2013) otomatik kanal kontrolü ile solar sistem otomasyonu ve görüntülemesinin PLC, SCADA ve sürücü kullanılarak yapılması hakkında bilgiler vermiştir.

Chopade ve ark. (2013) çalışmalarında bir buhar boilerin otomasyon işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kurulan otomasyonda PLC ve SCADA kullanılmış ve boilerin basınç ve sıcaklık değerleri farklı sensörlerden gelen veriler sayesinde izlenebilmiştir. Kurulan sistem sayesinde ihtiyaca göre buhar üretilmiş ve boilerin daha verimli şekilde çalışması sağlanmıştır.

Köse ve ark. (2013) yaptıkları bir çalışmada, bir doğru akım motorunun gerçek zamanlı hız kontrolünü PID ve bulanık mantık kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan Doğru Akım motoru sabit mıknatıslı fırçalı DC motordur. Farklı tip giriş sinyalleri motora uygulanarak, hem PID hemde bulanık mantık kontrol yöntemlerinde istenen referans aralığında motorun çalışması istenmiştir. Çalışma sonucunda her iki kontrol yöntemleriyle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve meydana gelen farklılıkların nedenleri açıklanmıştır.

Morsi ve El-Din (2014), bir petrol rafinesine otomasyon sistemi kurmuşlardır. Kurulan sistemde PLC ve SCADA kullanılmıştır, bu sayede yalnızca ana birimler değil tüm rafinerinin kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Baykan (2014) yaptığı çalışmada, PLC ve SCADA ile otomasyon yapılarak bilyeli değirmenlerde yaşanan veya yaşanabilecek pek çok olası problemin giderilebileceğini bildirmiştir. Gittikçe artan enerji tüketimi, verimli çalışmama, bakımların geç yapılması, yağlamaların bir düzen dâhilinde yapılamaması, değirmenin çalışmasının anlık olarak izlenememesi gibi problemler bir otomasyon sistemi kurularak

giderilmiştir. Kurulan otomasyon sisteminin işletmeye sağladığı avantajlar da detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Arık (2014) çalışmasında tıbbi ve aromatik bitkiler için laboratuvar şartlarında yer alan bir kurutucunun otomasyonunu yapmıştır.

Bhagwan ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, daha önce manuel çalışmakta olan bir boyler sisteminin PLC ve SCADA kullanarak otomasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Otomasyon sistemi kurulan Boylerde ekonomizör ve ön ısıtma gibi sistemler de mevcuttur. Kurulan otomasyon sisteminin nasıl çalıştığı ve tasarım aşamalarının neler olduğu detaylı olarak anlatılmıştır. Ayrıca yapılan çalışmada PID kontrol kullanılmıştır.

Moyo ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, bir otomatik boyler sisteminin kontrolü için SCADA kullanarak buhar kaçağı tespit sistemi kurmuşlardır.

Tushar ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada eşanjörün çalışması ve mevcut etkinliğini PLC, SCADA ve OPC kullanarak incelemişlerdir. Aynı zamanda PID'den yararlanılmış ve PID etkinlikleri gözlemlenmiştir. PID parametrelerin seçimleri ile sisteme yansıyan etkilerinden de bahsedilmiştir.

Panchal ve ark. (2015) mevcut bir sistemi, otomasyon kullanarak daha verimli hale getirmişlerdir. Otomasyon kullandıkları cihaz Steady State Superconducting Tokamak isminin baş harflerinden oluşan SST-1'dir. Bu cihazda Helyum soğutma ve sıvılaştırma ünitesi mevcuttur ancak verimi düşüktür. Bu çalışma sayesinde cihaz daha efektif ve verimli çalışır duruma gelmiştir.

Sorte ve ark. (2015) bir barajın PLC tabanlı otomasyonunu yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada Allen Bradley PLC kullanmışlardır. Eş zamanlı olarak seviye ve sınır anahtarları ile diğer değişken parametrelerin kontrolü gerçekleştirilmiştir. DC motor kumandası yapılmıştır. Yapılan çalışmada ayrıca PLC ve SCADA üzerine genel bilgiler verilmiş ve mevcut kullanılmakta olan barajlar için otomasyon sisteminin getirdiği avantajlardan bahsedilmiştir.

Usalan ve ark. (2015) çalışmalarında, endüstriyel bir fırının otomasyonunu PLC, SCADA ve operatör paneli kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Yapılan otomasyon sayesinde fırının etkinliği artmış ve kullanımı kolaylaşmıştır.

Kaur (2015) yaptığı çalışmada, bir hidroelektrik santrali için SCADA kullanmanın öneminden bahsetmiştir. Otomasyon bir kontrol sistemidir ve akıllı elektronik devrelerle birlikte kullanılır. Günümüzde otomasyonun özellikle enerji sektöründe artan bir rolü vardır.

Priyadharsona ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada pompalamalı depolamalı bir hidroelektrik santralini incelemişlerdir. Santral altındaki havzada yer alan su, normal saatlerde santralin üzerinde yer alan baraja pompalanmaktadır ve pik saatlerde baraja pompalanan bu su elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Kurulu olan otomasyon sisteminde PLC, HMI ve SCADA yer almaktadır.

Panchal ve ark. (2015) Endüstriyel Otomasyon Sistemi kullanarak bir tankın seviye kontrolünü yapmışlardır. Kurulan sistemde PLC ve LabView tabanlı SCADA kullanılarak PID kontrollü bir seviye kontrol sistemi tasarlanmıştır.

Oğuz ve ark. (2015) çalışmalarında, PLC kullanarak iki aşamalı bir biyodizel üretim tesisinin otomasyonunu yapmışlardır. Yapılan çalışma sonunda, iki aşamalı olarak üretilen biyodizel değerlerinin, tek aşamalı olarak üretilen biyodizel değerlerinden daha iyi olduğu görülmüştür.

Alphonsus ve Abdullah (2016) PLC üzerine yapılan uygulamalarla ilgili genel bir derleme yapmıştır. PLC'yle yapılan uygulamalar ve kullanımları hakkında bilgiler verilmiştir. PLC ile neler yapılabileceği veya beklentilerin neler olduğu anlatılmıştır.

Priyanka ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada, petrol taşımacılığında kullanılan boruların pompalar aracılığıyla uygun basınç değerine çıkarılmalarını sağlayan PLC tabanlı PID kontrol kullanan otomasyon sistemi kurmuşlardır. Böyle bir otomasyon sisteminin kurulması sayesinde; pompalar uygun değerlerde çalıştırılabilmiş ve istenen fark basınç değeri elde edilerek petrol akışı daha sağlıklı sağlanmıştır.

Hadimani ve ark. (2016) lastik enjeksiyon makinası için Endüstriyel Otomasyon Sistemi kurmuşlardır. Kurulan sistemde PLC ve SCADA kullanılmıştır. Endüstriyel Otomasyon Sistemi kurulmadan önce yapılan üretim miktarıyla, kurulduktan sonra yapılan üretim miktarı karşılaştırılmıştır. Kurulan Endüstriyel Otomasyon Sisteminde kullanılan ekipmanlar listelenerek otomasyon ile sağlanan verim artışının nedenleri anlatılmıştır. Endüstriyel Otomasyon Sistemi kurulumu öncesi üretim sürecinde meydana gelen sorunların Endüstriyel Otomasyon Sistemi kurulumu sonrası nasıl giderildiği örneklenmiştir.

Rahman ve ark. (2016) gerçekleştirdikleri bir çalışmada, PLC ve SCADA kullanarak bir boyler kazanı otomasyonu yapmışlar ve verimlilik artışını test etmişlerdir. Endüstriyel Otomasyon Sistemi kurulumu sonrası kazanın buhar kalitesinde artış ve kazan veriminde yükseliş meydana gelmiştir.

Çankaya ve ark. (2016) PLC kullanarak gerçek üretim koşullarında Endüstriyel tip bir tulumba tatlısı kızartma makinasının otomasyonunu tasarlamışlardır. Tasarlanan otomasyon sisteminde asıl amaç, kızartma yağlarının dayanımını yükseltmek, kızartma yağı sıcaklığını belirli bir set değerinde tutmak ve çok küçük bir tolerans aralığında salınım yapmasını sağlamaktır. Yağ sıcaklığı kontrolü için PID kontrol tipi, ısıtıcı olarak ise geniş bir yüzeye sahip olan elektrikli rezistans kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; tulumba tatlısı kızartma makinasında kullanılan yağın kalite parametrelerinin yükseldiği ve ömürlerinin uzadığı, meydana gelen atık yağda ise azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Sabiha kılıç yaptığı çalışmada nesnelerin interneti olarak ifade edilen Endüstri 4.0'ın Dünya ve Türkiyede ki yansımalarını incelemiştir. Günümüzde rekabet koşullarının artması üretimde verimliliğin yükselmesini gerektirmiştir. Günümüz işletmeleri artan talep ve ihtiyaca daha hızlı cevap verebilmek için üretimde esnekliği artırma, ürünlerin pazara sunum sürelerini kısaltma ve seri üretim yapabilmenin yollarını aramaktadırlar. Yapılan çalışmada ayrıca çeşitli analizlere yer verilmiş olup Türkiye'nin Endüstri 4,0 ve benzeri sanayileşme hamlelerini ne derece yapabildiği irdelenmiş ve Dünyada ki mevcut konumundan bahsedilmiştir.

## 2.2. Diferansiyel Evrim Algoritması

Diferansiyel Evrim Algoritması (DE) 1995 yılında Price ve Storn tarafından geliştirilmiştir. Sürekli verilerin olduğu problemlerde oldukça etkili sonuçlar verebilir. İşleyiş ve operatörleri açısından genetik algoritmaya (GA) dayanmaktadır. DE Algoritmasını kısaca özetlemek gerekirse popülasyonu temel alan sezgisel bir optimizasyon tekniğidir (Storn & Price, 1995). Eş zamanlı olarak pek çok noktada araştırma gerçekleştirebilir. Operatörlerden yardım alır ve iterasyonlar yaparak ortaya konan problemin, her defasında daha iyi sonuçlar verecek şekilde çözümünü araştırmaktadır. İkili kodlu klasik GA'dan farklı olarak değişkenlerde gerçek değerler kullanılmaktadır (Hrstka & Kučerová, 2004).

DE algoritmasının önemli parametreleri şunlardır; popülasyon büyüklüğü (Np), ölçekleme faktörü (F) ve çaprazlama oranı (Cr). DE Algoritmasında bulunan temel adımlar ise;

**Adım 1.** Başlangıç popülasyonunun belirlenmesi

**Adım 2.** Başlangıç popülasyonunun değerlendirilmesi

**Adım 3.** Mutasyon

Popülasyon içinden rasgele seçilmiş olan bir bireye, yine rasgele seçilen iki bireyin ölçeklendirilmiş farkını ekleyen bir süreçtir.

$$v_{m,t+1} = x_{r_3,t} + F \times (x_{r_1,t} - x_{r_2,t}) \quad (1)$$

Denklem 1'de  $v_{m,t+1}$  mutasyon bireyi gösterirken,  $x_{r_1,t}$ ,  $x_{r_2,t}$  ve  $x_{r_3,t}$  popülasyon içinden rasgele seçilen bireyleri temsil etmektedir ( $x_{r_1} \neq x_{r_2} \neq x_{r_3} \neq x_i$ ). F değeri ise ölçekleme faktörüdür.

**Adım 4.** Çaprazlama

Çaprazlama oranı (Cr) değerinin dikkate alınmasıyla mutasyon işlemi sonucunda oluşan yeni bireyden hangi genlerin alınması gerektiği belirlenir. 0-1 arasında rasgele üretilmiş olan bir sayı Cr değerinden küçükse  $V_{j,m,t+1}$ 'den seçilir, Cr değerinden büyükse de mevcut vektörden seçilir. Bu işlemler mutasyon bireyden, belirlenen oranda genin alınması amacıyla yapılır. Çaprazlama yönteminin matematiksel ifade edilme şekli;

$$x_{j,u,t+1} = \begin{cases} v_{j,m,t+1} & \text{Eğer } rand[0,1] \leq Cr \text{ or } j = j_{rand} \\ x_{j,i,t} & \text{Aksitakdirde} \end{cases} \quad (2)$$

Denklem (2)'de,  $x_{u,t+1}$  çaprazlama işlemi sonucunda oluşan aday bireyi temsil etmekte ve j mevcut gen indisini göstermektedir. Hiçbir gen için çaprazlama oranından daha küçük bir sayı elde edilmezse, mevcut birey aynı şekilde kalır. Bu durumun önüne geçmek için en azından bir geninin değişikliğini sağlamak amacıyla rasgele seçilen bir gen ( $j_{rand}$ ) güncellenir.

#### **Adım 5. Seçim**

Aday birey ve mevcut birey arasından aranan kritere yakın olan seçilir. Bu yöntem genel olarak açgözlü seçim denilir. Aday çözümü ile mevcut bireyin amaç fonksiyonu performansları karşılaştırılarak iyi olan seçilir.

#### **Adım 6. Durdurma Kriteri**

Durdurma kriteri sağlanana kadar Adım 3, Adım 4 ve Adım 5 sırasıyla tekrarlanırken, diğer durumda en iyi çözüm rapor edilerek algoritma sonlandırılır.

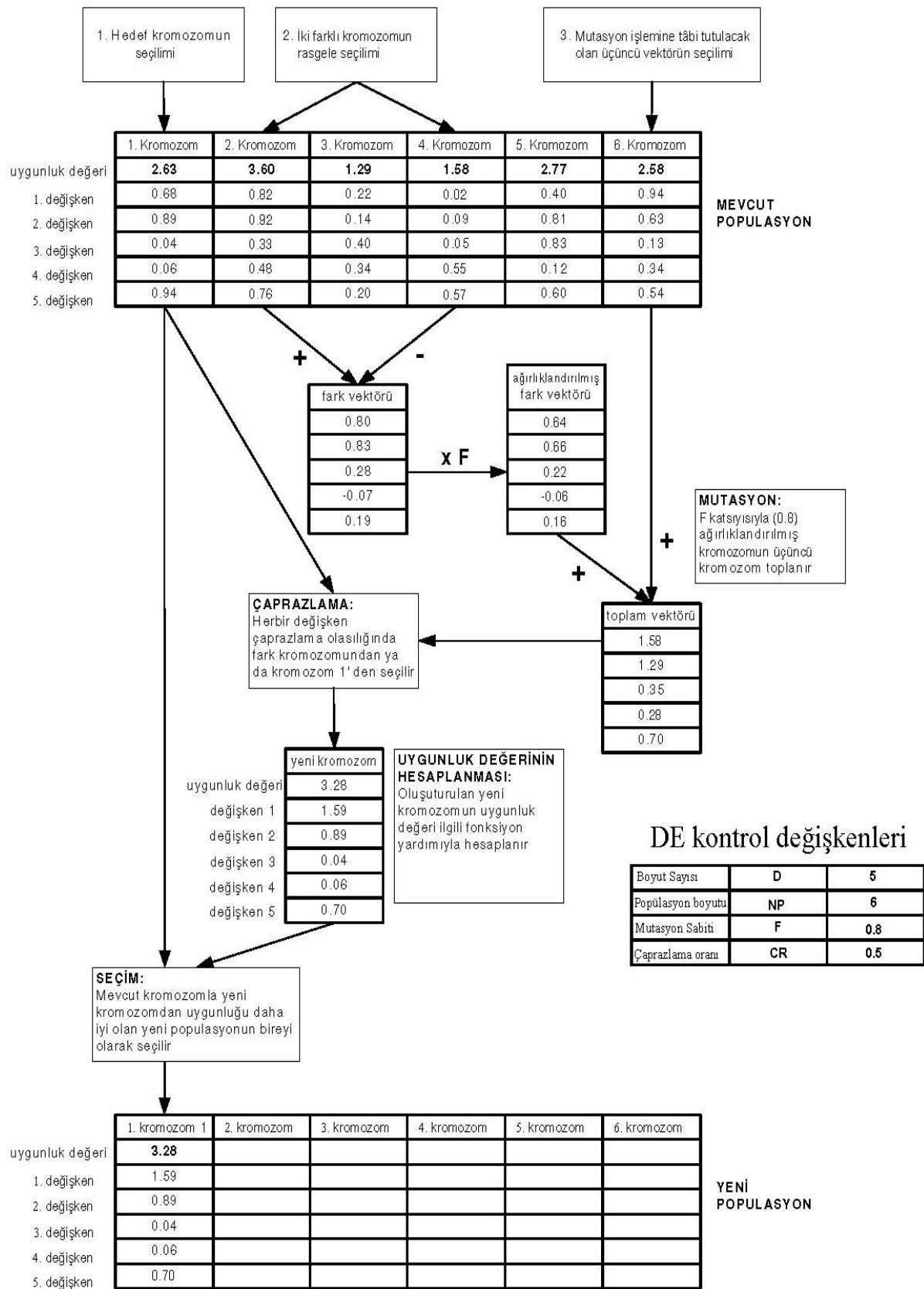
Diferansiyel Evrim Algoritmasıyla ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında;

Zaharie D. (2002) yaptığı çalışmada diferansiyel evrim algoritmalarının kontrol parametreleri ile popülasyon varyansının evrimi arasındaki ilişkiyi hem teorik hemde deneysel bir bakış açısıyla analiz etmiştir.

Schmidt ve Thierauf (2005) DE algoritması üzerine bir çalışma yapmış ve DE algoritmasının genetik algoritmaya dayandığını ifade etmiştir. Şekil 2.19'da görüldüğü gibi DE Algoritmasının adımlarını göstermiştir.

Eke (2011) yük tahmini enerji sektöründe oldukça önemli bir kavram olup yaptığı çalışmada DE algoritmasını kullanarak orta dönem yük tahmininde bulunmuştur.

Wang L. ve ark. (2018) elektrik enerjisi tüketimini tahmin etmek için yine DE algoritmasından yararlanmışlardır.



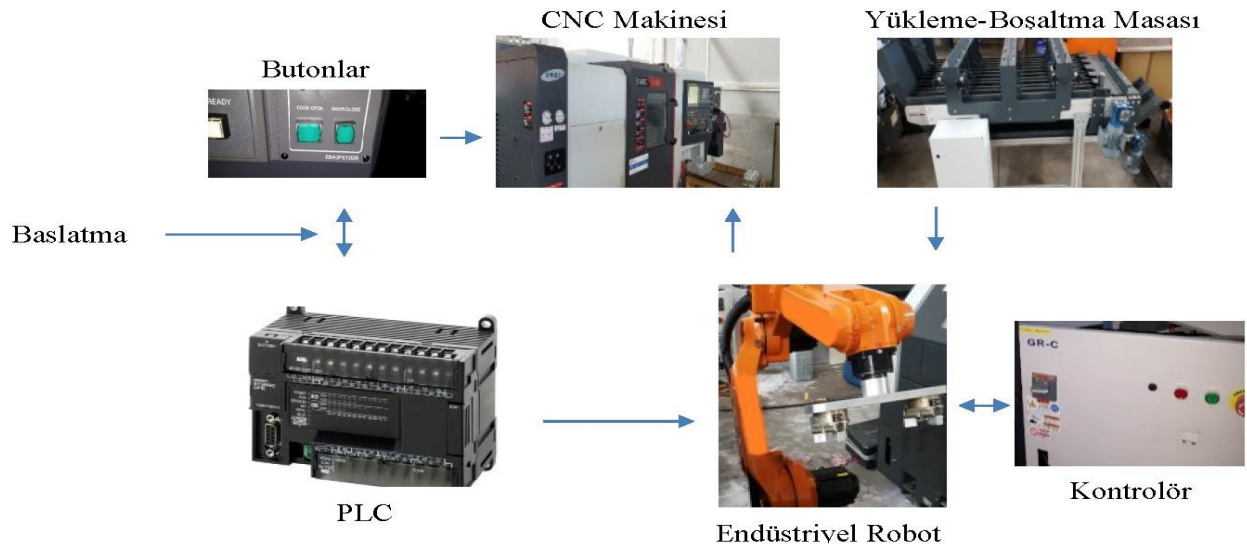
Şekil 2.19 DE Algoritmasının adımları. Kullanılan Fonksiyon  $F(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma küresel vana üretimi yapan bir firmada gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma ise küresel vananın yan rekorlarının talaşlı imalat yöntemiyle işlendiği CNC tezgâhları üzerinde yapılmıştır. Burada üretim işlemi için mevcut olan 2 adet CNC tezgâhı, bir adet 6 eksenli Endüstriyel Robot ve bir adet PLC kullanılarak otomasyon işlemi entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Entegrasyon işlemi sonucunda CNC tezgâhı ve çevre donanımı olan Robot kolu ve PLC'nin uyum içinde çalışabilmeleri için ortamdaki alınacak veri sinyalleri ve ortamı kontrol etmek için gerekli olan çıkış sinyallerinin ne olması gerektiği belirlendi ve gerekli olan yazılımların sisteme entegrasyonu ile kontrol işlemi gerçekleştirilmeye çalışıldı.

#### 3.1. Endüstriyel Otomasyon Sisteminin Kurulması

Bu çalışmada gerçekleştirilen Endüstriyel Otomasyon Sistemi Şekil 3.1'de verilmiştir. Sistemde 2 adet CNC makinesi, bir adet Yükleme-Boşaltma Masası, bir adet Endüstriyel Robot ve bir adet PLC kullanılmıştır. CNC makineleri karşılıklı konulmuş ve ortalarına robot yerleştirilmiştir. Yükleme-Boşaltma Masası da robotun ön tarafına yerleştirilmiştir. Şekil 3.1'de verilen sistemde PLC, Yükleme-Boşaltma masası ve butonların kontrolünde, Endüstriyel Robot ise CNC makinesi kontrolünde ana rol oynamaktadır ve Endüstriyel Robot ile PLC bu süreçte devamlı iletişim halindedir. Kullanılan PLC ile Endüstriyel Robot kolu ve CNC'nin uyumlu bir şekilde senkronize çalışmaları sağlanarak sistemde bulunan donanım elemanlarının kontrol edilmeleri sağlamıştır. Çalışmada kullanılan Endüstriyel Robot ve PLC'nin özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Sistemde kullanılan kontrol elemanlarının şematik gösterimi

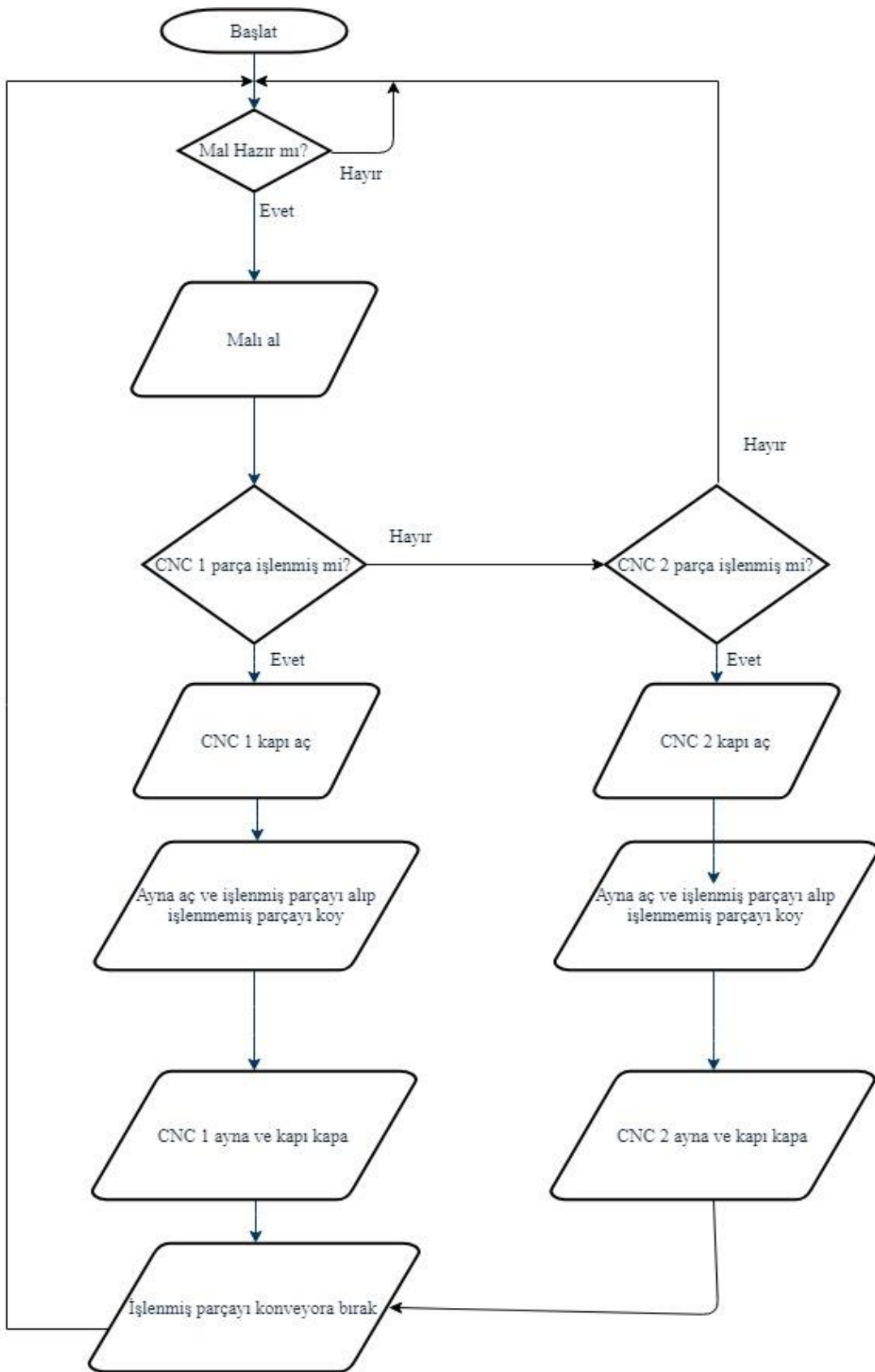
Tablo 3.1 Kullanılan PLC Özellikleri

CP1E CPU	Dijital Giriş Sayısı	Dijital Çıkış Sayısı	Max. Giriş-Çıkış	Haberleşme Portları	Giriş/Çıkış Fonksiyonları	Çıkış Tipi	Güç Ünitesi	Genişleme	Program Kapasitesi	Veri Belleği Kapasitesi	Mantık Yürütme Hızı
N-type with 60 I/O points	36	24	180	RS-232C port	6 Encoder GİRİŞ (2 × 100 kHz, 4 × 10kHz) 2 Pulse ÇIKIŞ (100 kHz)	Transistor	20.4 to 26.4 VDC	3 üniteye kadar	8K steps	8K words	1.19 µs

Tablo 3.2 Kullanılan Endüstriyel Robot Özellikleri

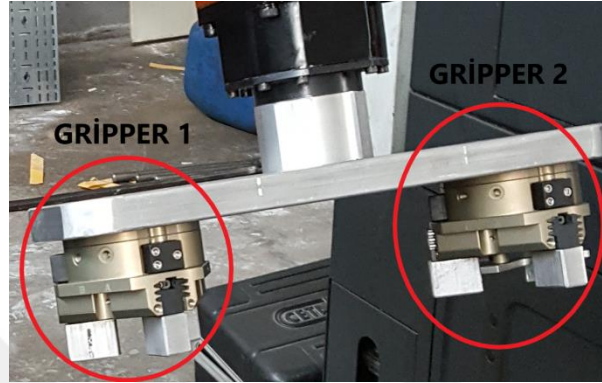
Tür	Eksen Sayısı	Sürücü Tipi	Etkin Yükleme (kg)	Tekrarlı Konumlama Doğruluk (mm)	Hareket Aralığı (°)	En Yüksek Hız (°/s)	İzin Verilen Üst Tork (N.m)	Hareket Yarıçapı (mm)	Robot Kendi Ağırlığı (kg)
GSK-RB20	6	AC Servo Sürücü	20	±0.05	J1: ±170	J1: 163	J4: 40	1595	290
					J2: +132~-95	J2: 111	J5: 50		
					J3: +73~-163	J3: 125	J6: 22		
					J4: ±180	J4: 300	-		
					J5: ±133	J5: 198	-		
					J6: ±360	J6: 394	-		

PLC ve Endüstriyel Robot'a kontrol işlemlerini gerçekleştirmek için gerekli olan program yazılmıştır. PLC ve Robota Yüklenen programların uyum içinde çalışmalarını sağlamak için dikkate alınan ait akış diyagramını Şekil 3.2'de verilmiştir.



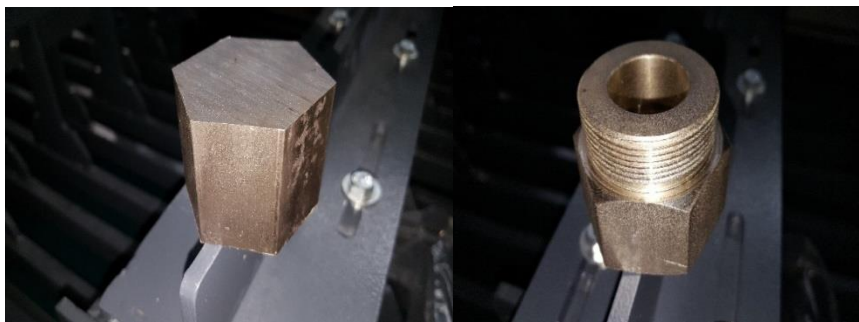
Şekil 3.2 Endüstriyel Otomasyon Akış Diyagramı

Yapılan çalışmada ilk olarak iş parçasını işlenmek üzere CNC'ye yüklemek için yan rakorlu küresel vanaya uygun gripper seçimi yapılmıştır. Pnömatik gripperlar diğer gripperlar ile karşılaştırıldığında elleçleme işlemlerinde hızlı ve başarılı sonuçlar verdiği için (Dişlitaş, 2015) aynı zamanda üreticinin basınçlı hava altyapısı uygunluğu nedeniyle tercih edilmiş olup kullanılan gripperlar şekil 3.3'te gösterilmiştir.



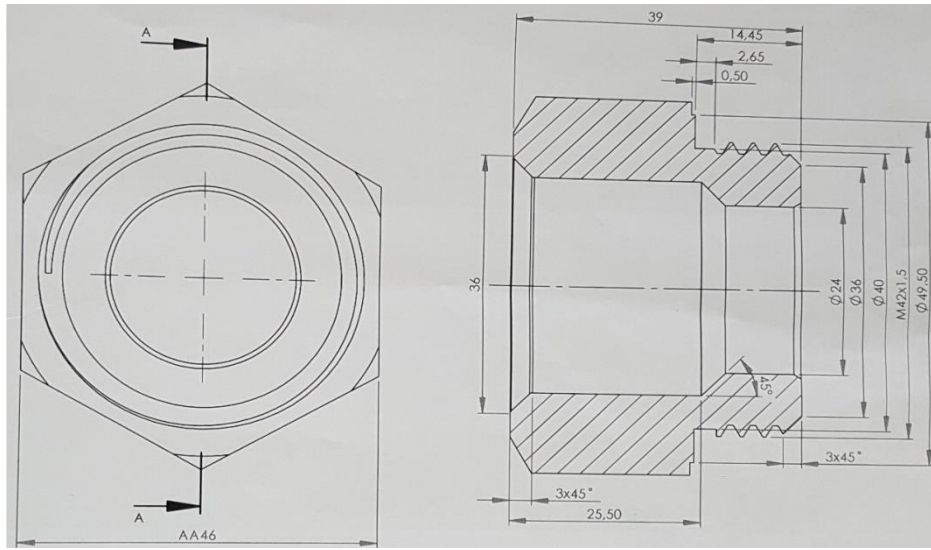
**Şekil 3.3** Çalışmada kullanılan End Effector – Standart Pnömatik Gripper

Çalışmada iki adet gripper kullanılarak CNC makinesinde işlenmiş parça ile işlenmemiş parçanın değişimi sağlanmıştır. Şekil 3.4'de gripperler tarafından alınan işlenmiş ve işlenmemiş parçalara ait görüntüler verilmiştir. İlk gripper aracılığıyla işlenmiş parça CNC makinesinden alınmakta işlenmemiş parça ise 2.gripper tarafından işlenebilmesi için CNC'ye taşınmaktadır. 2 gripper kullanılmasının nedeni CNC'de üretimin kesintisiz devam ettirmek ve gereksiz yere beklemlerin önüne geçmek için yapılmış olup dolayısıyla birim zamanda üretilen iş parçası sayısını artırmak hedeflenmiştir. CNC de işlenmiş iş parçasının ebatları Şekil 3.5'de verilmiştir.



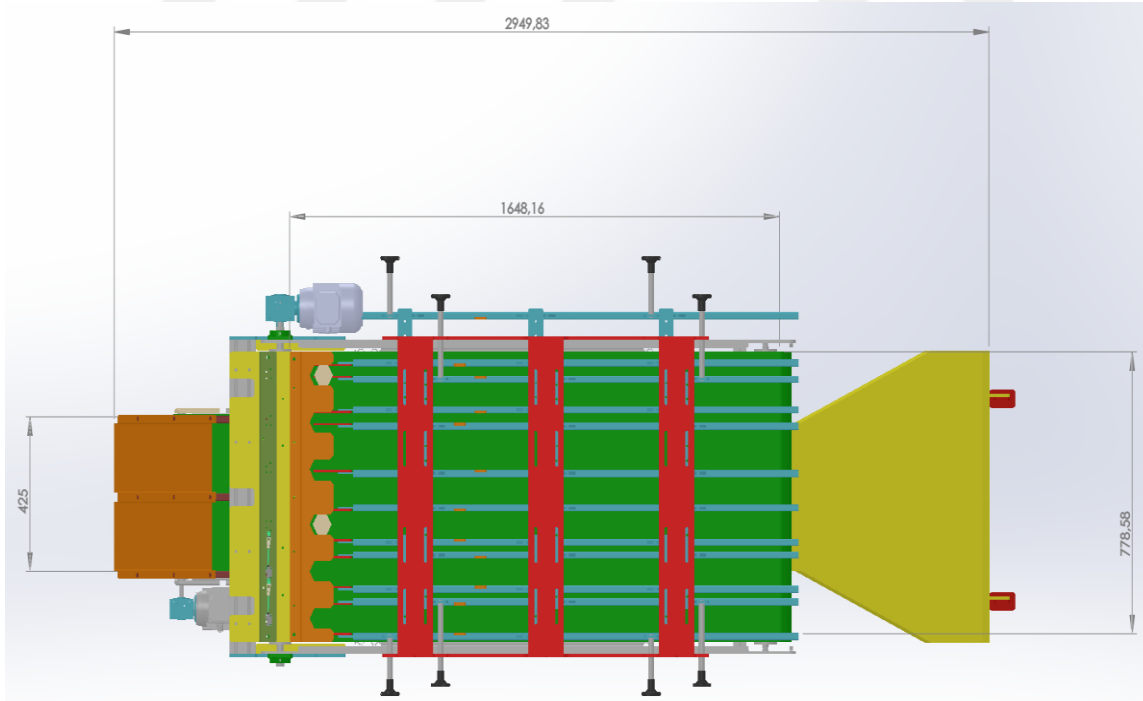
**Şekil 3.4 (a)** İşlenmemiş parça

**(b)** İşlenmiş Parça

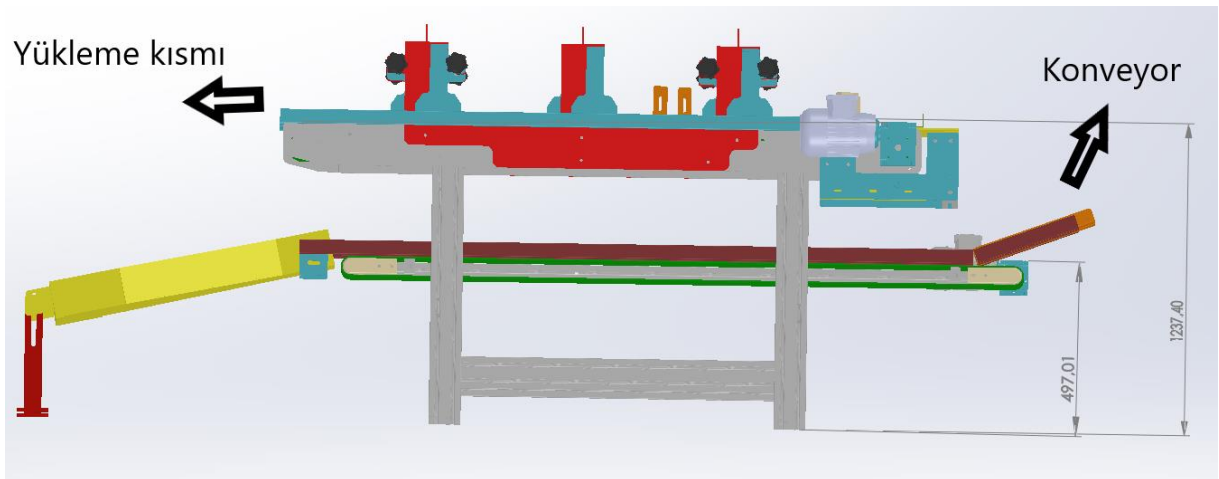


Şekil 3.5. İşlenmiş iş parça Ebatları

Gripper seçimi gerçekleştirildikten sonra Şekil 3.6 ve 3.7’de verilen robot koluna uygun yükleme-boşaltma masası tasarlanmıştır. Şekil 3.6’da Yükleme-Boşaltma masasının üstten Şekil 3.7’de ise yandan görünümü verilmiştir. İşlenmiş parçalar buradan robot tarafından alınarak konveyör’a taşınmıştır.

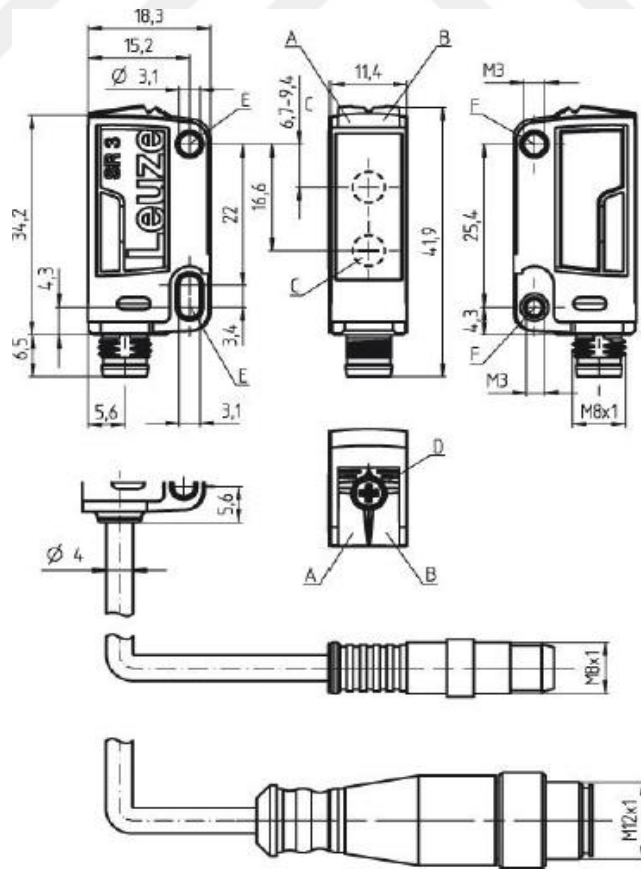


Şekil 3.6 Yükleme-Boşaltma Masası üstten görünümü ve ölçüleri



Şekil 3.7 Yükleme-Boşaltma Masası yandan görünümü ve ölçüleri

Yükleme-Boşaltma Masası ile Endüstriyel Robot arasındaki parça alışverişi 1000 Hz anahtarlama frekansına sahip optik yaklaşım sensörleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Parça hazır olduğunda optik yaklaşım sensörleri aracılığıyla robotun kontrol panosuna hazır sinyali gönderilmiş ve robotun gripper yardımıyla iş parçasını alması sağlanmıştır.



Şekil 3.8 Çalışmada kullanılan Ht3c 4p m8 Leuze Optik Yaklaşım Sensörü (Anonim, 2018i).

Şekil 3.9’da Yükleme-Boşaltma Masasında kullanılan sensörler ve Şekil 3.10’da robotun gripper ile iş parçasını alma anı görülmektedir.

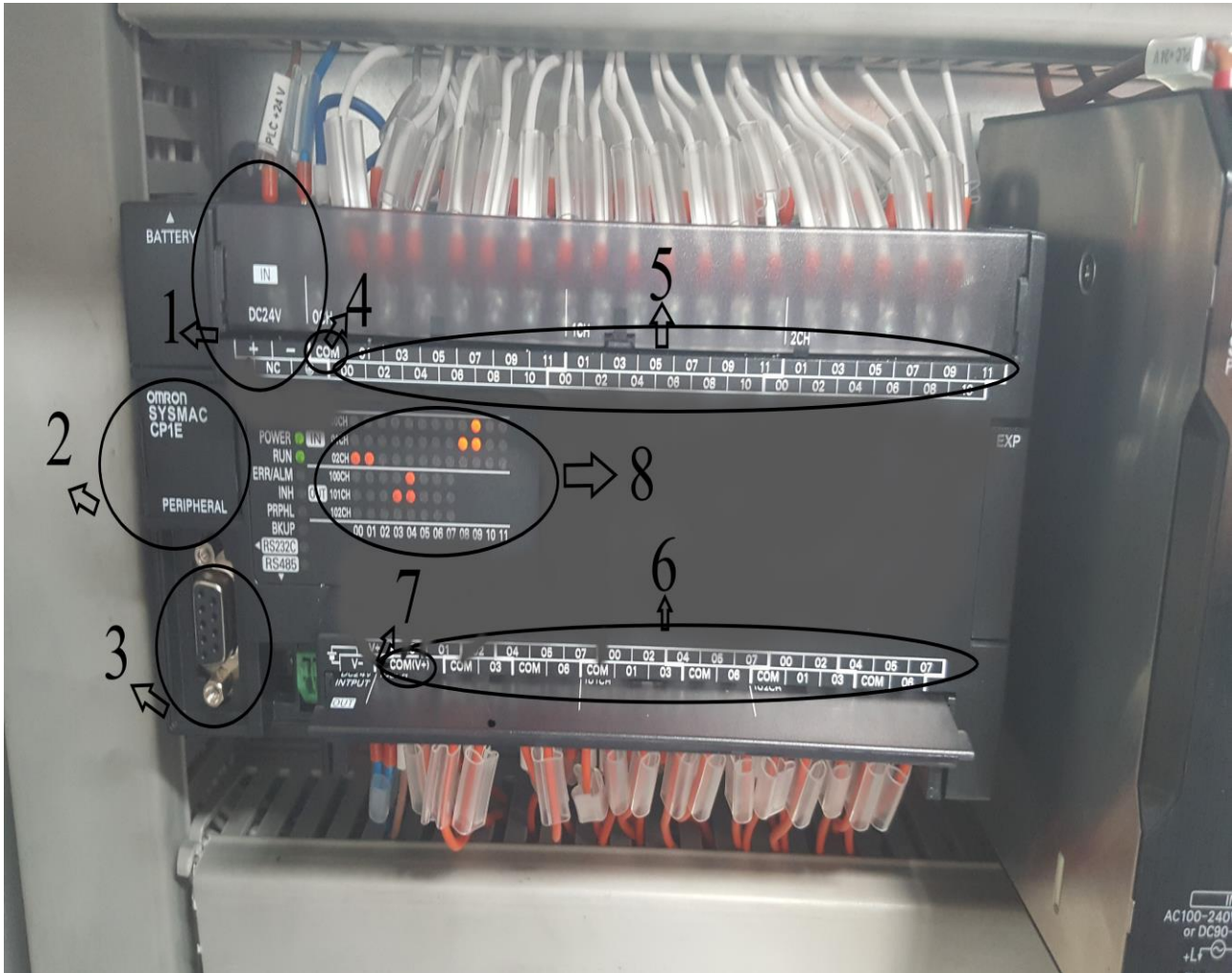


Şekil 3.9 Yükleme-Boşaltma Masası Sensörler



Şekil 3.10 Gripper parça alma anı

Yükleme Boşaltma masası ve CNC makinelerinin Endüstriyel Robotla koordineli hareket edebilmeleri için 36 dijital giriş ve 24 dijital çıkışlı OMRON CP1E model temel seviye bir PLC kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan PLC’de 4 x 10 Khz tek yönlü hızlı sayıcı, 1 x 100 Khz çift yönlü hızlı sayıcı, 1 x 10 Khz puls çıkışı mevcuttur (Anonim, 2018h). Bu çalışmada kullanılan PLC Şekil 3.11’de verilmiştir.



**Şekil 3.11** Çalışmada kullanılan PLC bağlantıları

(Şekil Üzerinde 1) 24V PLC besleme girişleri, 2) PLC usb girişi, 3) PLC RS232C, girişi, 4) Dijital giriş COM, 5) Dijital giriş birimi, 6) Dijital çıkış birimi, 7) Dijital çıkış COM, 8) Dijital girişler ve çıkışlar led göstergeleridir.)

Çalışmada kullanılan PLC NPN giriş ve PNP çıkışa sahip olduğu için yük beslemesinde, negatif bağlantı dışarıdan yapıлып pozitif bağlantı PLC çıkışından alınmıştır. Kurulan Endüstriyel Otomasyon Sisteminde PLC’ye ait dijital girişler Tablo

3.3.'de ve Dijital çıkışlar Tablo 3.4'de Robot koluna ait dijital girişler Tablo 3.5'de dijital çıkışlar ise Tablo 3.6'de verilmiştir.

**Tablo 3.3** PLC'ye ait Dijital giriş bilgileri

<b>Girişler</b>					
SIRA	KABLO NO-İSMİ	I_0 KART NO-İSMİ	GİRİŞ/ÇIKIŞ	BAĞLANTI İSMİ	PROGRAMDA İSMİ
1	IN0.0	0.0	GİRİŞ	CNC 1 KAPI KAPAT BUTONU	IN0.0
2	IN0.1	0.1	GİRİŞ	CNC 1 KAPI AÇ BUTONU	IN0.1
3	IN0.2	0.2	GİRİŞ	CNC 2 KAPI AÇ BUTONU	IN0.2
4	IN0.3	0.3	GİRİŞ	CNC 2 KAPI KAPAT BUTONU	IN0.3
5	IN0.4	0.4	GİRİŞ	KONVEYOR	IN0.4
6	IN0.5	0.5	GİRİŞ	MAL VER	IN0.5
7	IN0.6	0.6	GİRİŞ	RESERVE(ROBOT)	IN0.6
8	IN0.7	0.7	GİRİŞ	RESERVE(ROBOT)	IN0.7
9	IN0.8	0.8	GİRİŞ	FOTOSEL 1	IN0.8
10	IN0.9	0.9	GİRİŞ	FOTOSEL 2	IN0.9
11	IN10	0.10	GİRİŞ	FOTOSEL 3	IN0.10
12	IN11	0.11	GİRİŞ	FOTOSEL 4	IN0.11
13	IN1.0	1.0	GİRİŞ	FOTOSEL 5	IN1.0
14	IN1.1	1.1	GİRİŞ	FOTOSEL 6	IN1.1
15	IN1.2	1.2	GİRİŞ	BOŞALTMA KONVEYÖRÜ ALARM	IN1.2
16	IN1.3	1.3	GİRİŞ	YÜKLEME MASASI ÇALIŞIYOR	IN1.3
17	IN1.4	1.4	GİRİŞ	YÜKLEME MASASI ALARM	IN1.4
18	IN1.5	1.5	GİRİŞ	MASADAN ÇIKIŞ RESERVE	IN1.5
19	IN1.6	1.6	GİRİŞ	BUZZER RESETLEME BUTONU	IN1.6

**Tablo 3.4** PLC'ye ait Dijital çıkış bilgileri

<b>Çıkışlar</b>					
SIRA	KABLO NO-İSMİ	I_0 KART NO-İSMİ	GİRİŞ/ÇIKIŞ	BAĞLANTI İSMİ	PROGRAMDA İSMİ
1	OT100.0	100.0	ÇIKIŞ	MAL HAZIR(PLC)	OT100.0
2	OT100.1	100.1	ÇIKIŞ	MAL YOK(PLC)	OT100.1
3	OT100.2	100.2	ÇIKIŞ	ROBOT RESERVE(BOŞ)	OT100.2
4	OT100.3	100.3	ÇIKIŞ	ROBOT RESERVE(BOŞ)	OT100.3
5	OT100.4	100.4	ÇIKIŞ	CNC_1 KAPI AÇ	OT100.4
6	OT100.5	100.5	ÇIKIŞ	CNC_1 KAPI KAPAT	OT100.5
7	OT100.6	100.6	ÇIKIŞ	CNC_2 KAPI AÇ	OT100.6
8	OT100.7	100.7	ÇIKIŞ	CNC 2 KAPI KAPAT	OT100.7
9	OT101.0	101.0	ÇIKIŞ	BOŞALTMA KONVEYÖRÜ	OT101.0
10	OT101.1	101.1	ÇIKIŞ	YÜKLEME MASASI YAVAŞ ÇALIŞ	OT101.1
11	OT101.2	101.2	ÇIKIŞ	YÜKLEME MASASI HIZLI ÇALIŞ	OT101.2
12	OT101.3	101.3	ÇIKIŞ	YÜKLEME MASASI RESERVE(BOŞ)	OT101.3
13	OT101.4	101.4	ÇIKIŞ	BUZZER	OT101.4

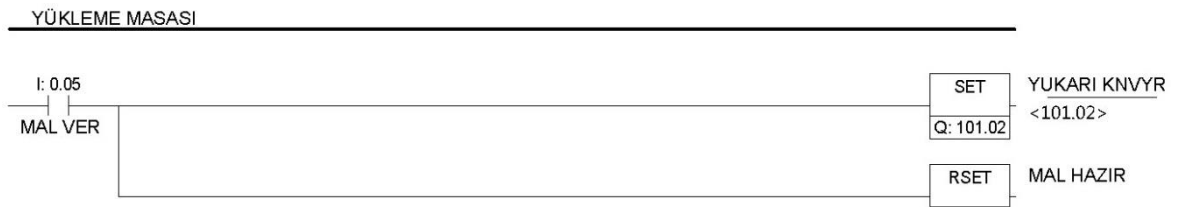
**Tablo 3.5** Endüstriyel Robota ait giriş bilgileri

<b>Girişler</b>					
SIRA	KABLO NO-İSMİ	I_0 KART NO-İSMİ	GİRİŞ/ÇIKIŞ	BAĞLANTI İSMİ	PROGRAMDA İSMİ
1	IN0	DI_0	GİRİŞ	MALHAZIR(PLC)	IN0
2	IN1	DI_1	GİRİŞ	MALYOK(PLC)	IN1
3	IN2	DI_2	GİRİŞ	PLC RESERVE(BOŞ)(PLC)	IN2
4	IN3	DI_3	GİRİŞ	PLC RESERVE(BOŞ)(PLC)	IN3
5	IN4	DI_4	GİRİŞ	CNC_1 AYNA AÇIK	IN4
6	IN5	DI_5	GİRİŞ	CNC_1 AYNA KAPALI	IN5
7	IN6	DI_6	GİRİŞ	CNC_1 RESERVE(BOŞ)	IN6
8	IN7	DI_7	GİRİŞ	CNC_1 M30	IN7
9	IN8	DI_8	GİRİŞ	CNC_1 ALARM	IN8
10	IN9	DI_9	GİRİŞ	CNC_1 KAPI KAPALI	IN9
11	IN10	DI_10	GİRİŞ	CNC_1 KAPI AÇIK	IN10
12	IN11	DI_11	GİRİŞ	CNC_2 AYNA KAPALI	IN11
13	IN12	DI_12	GİRİŞ	CNC_2 AYNA AÇIK	IN12
14	IN13	DI_13	GİRİŞ	CNC_2 RESERVE(BOŞ)	IN13
15	IN14	DI_14	GİRİŞ	CNC_2 M30	IN14
16	IN15	DI_15	GİRİŞ	CNC_2 ALARM	IN15
17	IN16	DI_16	GİRİŞ	CNC_2 KAPI AÇIK	IN16
18	IN17	DI_17	GİRİŞ	CNC_2 KAPI KAPALI	IN17
19	IN18	DI_18	GİRİŞ	ACİL STOP	IN18
20	IN19	DI_19	GİRİŞ	RESERVE(BOŞ)	IN19
21	IN20	DI_20	GİRİŞ	GRİPPER 1 AÇIK	IN20
22	IN21	DI_21	GİRİŞ	GRİPPER 1 KAPALI	IN21
23	IN22	DI_22	GİRİŞ	GRİPPER 2 KAPALI	IN22
24	IN23	DI_23	GİRİŞ	GRİPPER 2 AÇIK	IN23

**Tablo 3.6** Endüstriyel Robota ait çıkış bilgileri

<b>Çıkışlar</b>					
SIRA	KABLO NO-İSMİ	I_0 KART NO-İSMİ	GİRİŞ/ÇIKIŞ	BAĞLANTI İSMİ	PROGRAMDA İSMİ
1	OT0	DO_0	ÇIKIŞ	CNC_1 KAPI KAPAT	OT0
2	OT1	DO_1	ÇIKIŞ	CNC_1 KAPI AÇ	OT1
3	OT2	DO_2	ÇIKIŞ	CNC_2 KAPI AÇ	OT2
4	OT3	DO_3	ÇIKIŞ	CNC_2 KAPI KAPAT	OT3
5	OT4	DO_4	ÇIKIŞ	KONVEYOR	OT4
6	OT5	DO_5	ÇIKIŞ	MAL VER	OT5
7	OT6	DO_6	ÇIKIŞ	PLC RESERVE(PLC)	OT6
8	OT7	DO_7	ÇIKIŞ	PLC RESERVE(PLC)	OT7
9	OT8	DO_8	ÇIKIŞ	CNC_1 CYCLE START	OT8
10	OT9	DO_9	ÇIKIŞ	CNC_1 AYNA AÇ KAPAT	OT9
11	OT10	DO_10	ÇIKIŞ	CNC_1 RESERVE(BOŞ)	OT10
12	OT11	DO_11	ÇIKIŞ	CNC_2 CYCLE START	OT11
13	OT12	DO_12	ÇIKIŞ	CNC_2 AYNA AÇ KAPAT	OT12
14	OT13	DO_13	ÇIKIŞ	CNC_2 RESERVE(BOŞ)	OT13
15	OT14	DO_14	ÇIKIŞ	RESERVE(BOŞ)	OT14
16	OT15	DO_15	ÇIKIŞ	GRİPPER 1	OT15
17	OT16	DO_16	ÇIKIŞ	GRİPPER 2	OT16
18	OT17	DO_17	ÇIKIŞ	AYNA HAVA	OT17

PLC sayesinde Yükleme-Boşaltma Masasının kontrolü ve CNC kapılarının açılıp kapanması kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemleri gerçekleştirmek için PLC'yi üreten firmaya ait merdiven programlama dili yazılımı kullanılmıştır. Örneğin Şekil 3.12'de verilen PLC ladder diyagramında Endüstriyel Robot OT5 çıkışından mal sür sinyali gönderdiğinde PLC IN0.5 üzerinden bunu algılar burada yazılan program sayesinde yükleme masasının çalıştırılarak malın CNC'ye verilmek üzere yüklemesi sağlanır.



**Şekil 3.12.** PLC yazılımıyla mal sürme işlemi gerçekleştirmeye ait Merdiven dili programı

CNC makinesi kapı ve aynalarının kontrolü işlemi aynı zamanda Endüstriyel Robot üzerinden de gerçekleştirildi. Hem PLC hem de Endüstriyel Robotla kontrol edilebilmesi sayesinde Endüstriyel Robot'un kapalı olduğu durumlarda PLC üzerinden CNC makinesinin kapılarının açılıp kapatılabilmesi sağlandı. Böylece manuel olarak da sistemin kontrolü işlemine olanak sağlandı.



(a)



(b)



(c)

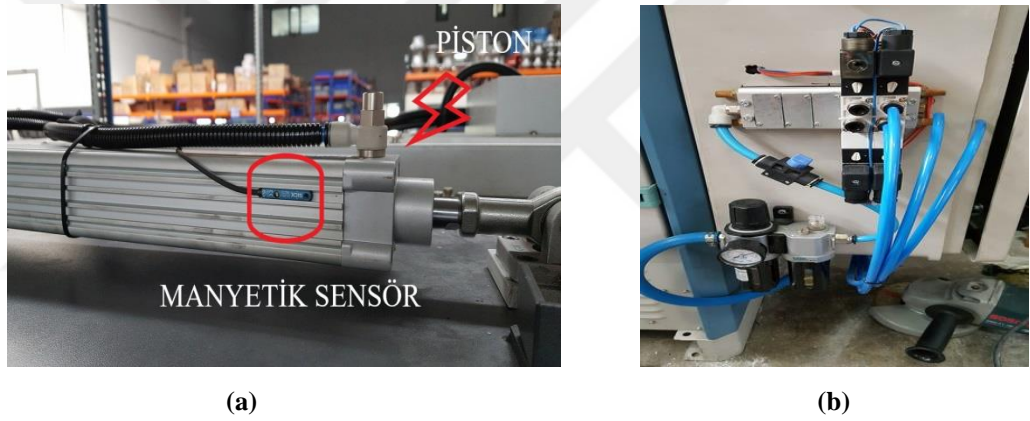


(d)

**Şekil 3.13** Endüstriyel Robot kol hareketleri (a) işlenmemiş parçanın Yükleme-Boşaltma masasından alınma anı (b)-(c) CNC makinesinden işlenmiş ve işlenmemiş parça değişimi (d) işlenmiş parçanın konveyora bırakılma anı

Şekil 3.13’de görüldüğü gibi sistemin çalışması önce Endüstriyel Robot kolu masadan işlenmemiş parçayı alacak (a), sonra CNC makinesine işlenmesi için yükleyecek ve aynı zamanda işlenmiş parçayı da CNC’nin içerisinden alacak (b)-(c), son olarak da (d) makineden işlenmiş parçayı alıp konveyör’a bırakacak şekilde tasarlanmıştır.

CNC makinesi kapılarının kontrolünü manuel’den otomatik hale geçirebilmek için ise Şekil 3.14’de görüldüğü gibi çift taraflı pnömatik regülatör, 40X40X600 mm (en, boy, genişlik) uzunluğunda pnömatik piston ve 5000 Hz anahtarlama frekansına sahip manyetik sensörler kullanıldı.



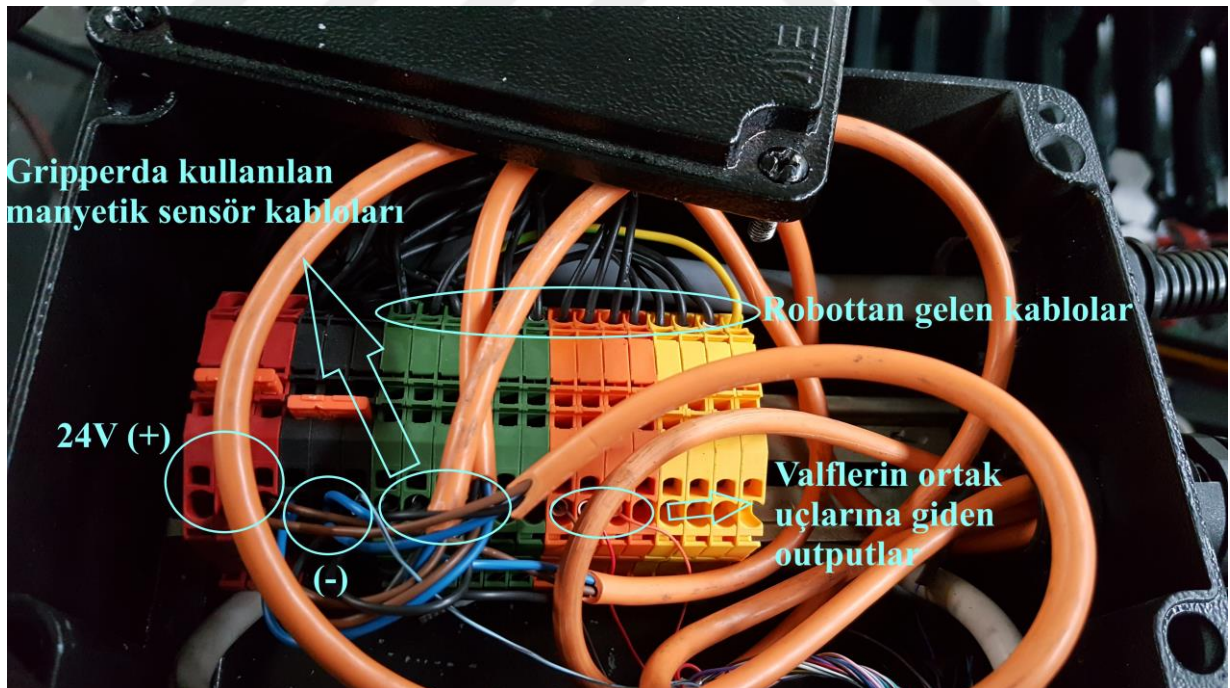
**Şekil 3.14** Piston ve çift taraflı pnömatik regülatör

Pnömatik gripperların tutma kuvveti Şekil 3.14 (b)’de görülen pnömatik regülatörden sağlanmış ve kontrolü Şekil 3.15 ’de verilen 24V DC elektro pnömatik valfler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Robottan gelen gripper aç-kapa, ayna hava aç-kapa çıkış sinyalleri kullanılarak, bu valfler üzerinden kontrol sağlanmıştır.



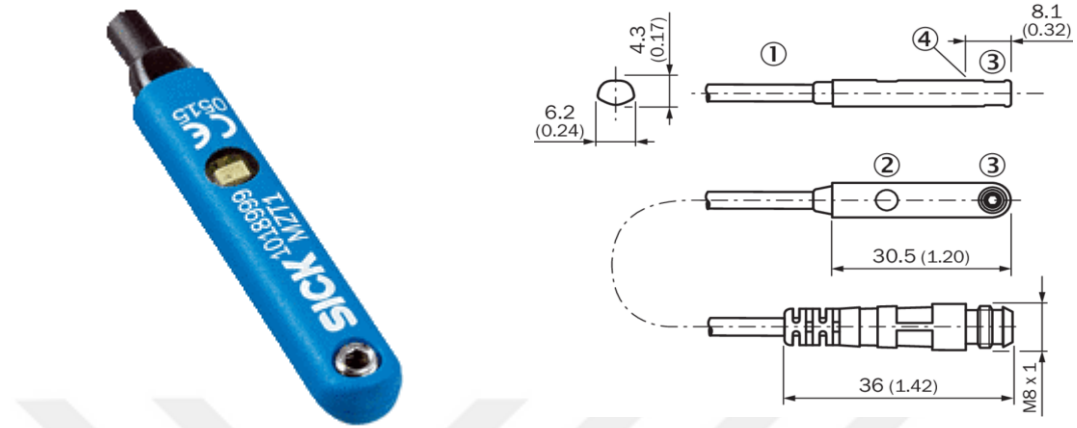
Şekil 3.15 24V DC elektropnömatik valfler

Gripper'ların açık-kapalı olduğu bilgisi pistonlarda da kullanılan manyetik sensörlerden elde edilmiştir. Gripperda kullanılan manyetik sensör çıkış bilgilerini ve robotun gripper'ına ait çıkış bilgilerini taşıyan elektrik kabloları, Şekil 3.16'da görüldüğü gibi robota yerleştirilen bir kontrol panosuna taşınmıştır.



Şekil 3.16 Gripper manyetik sensörlere ait çıkış ve gripper çıkış bilgisini taşıyan elektriksel kabloların kontrol panosundaki yerleri

Şekil 3.17 ve Tablo 3.7’de hem kapı hemde gripper kontrolünde kullanılan manyetik sensör ölçüleri ve özellikleri verilmiştir.

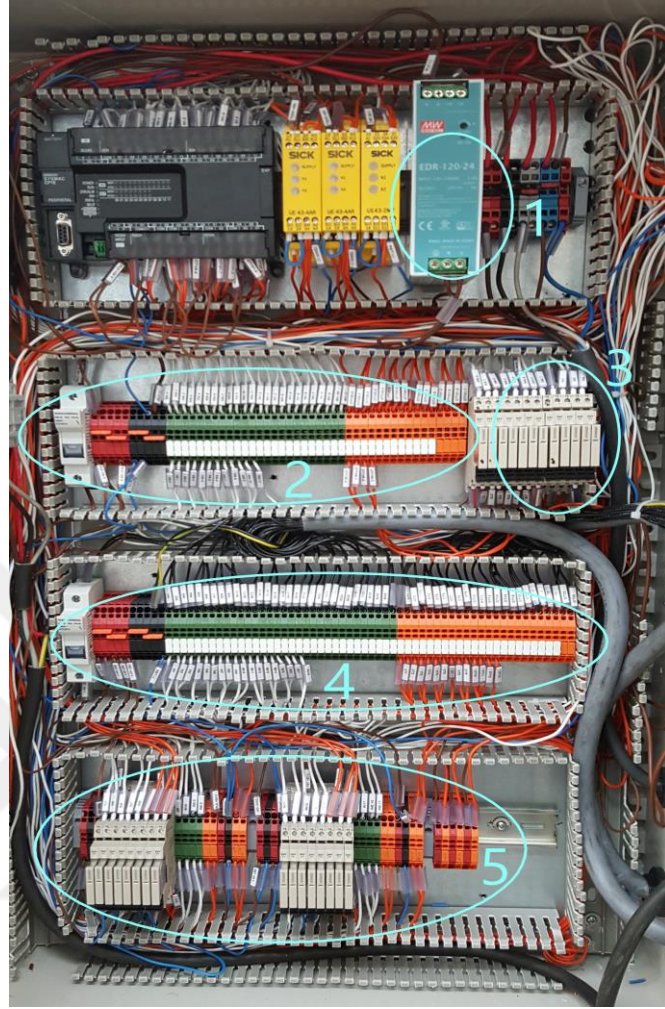


Şekil 3.17 Çalışmada kullanılan SICK MZT1 Manyetik Sensor (Anonim, 2018f).

Tablo 3.7 Çalışmada kullanılan SICK MZT1 Manyetik Sensor Özellikleri (Anonim, 2018f).

Silindir yapı	Adaptörlü silindir yapıları	Gövde uzunluğu	Anahtarlama çıkışı	Anahtarlama frekansı	Çıkış fonksiyonu	Elektriksel kablolama	Koruma sınıfı
T-slot	Profil çubuklu silindir	30,5 mm	PNP	5.000 Hz	Normalde açık	DC 3 telli	IP67
T-slot	Tie-rod silindir	30,5 mm	PNP	5.000 Hz	Normalde açık	DC 3 telli	IP67
T-slot	Kırlangıç kuyruğu slotlu silindir	30,5 mm	PNP	5.000 Hz	Normalde açık	DC 3 telli	IP67
T-slot	Yuvarlak silindir	30,5 mm	PNP	5.000 Hz	Normalde açık	DC 3 telli	IP67
T-slot	CDQ2 SMC rayı	30,5 mm	PNP	5.000 Hz	Normalde açık	DC 3 telli	IP67
T-slot	ECDQ2 SMC rayı	30,5 mm	PNP	5.000 Hz	Normalde açık	DC 3 telli	IP67

Kurulan Endüstriyel Otomasyon Sistemindeki PLC’de, giriş-çıkış işlemlerini gerçekleştirebilmek için imal edilen pano Şekil 3.18’de verilmiştir.



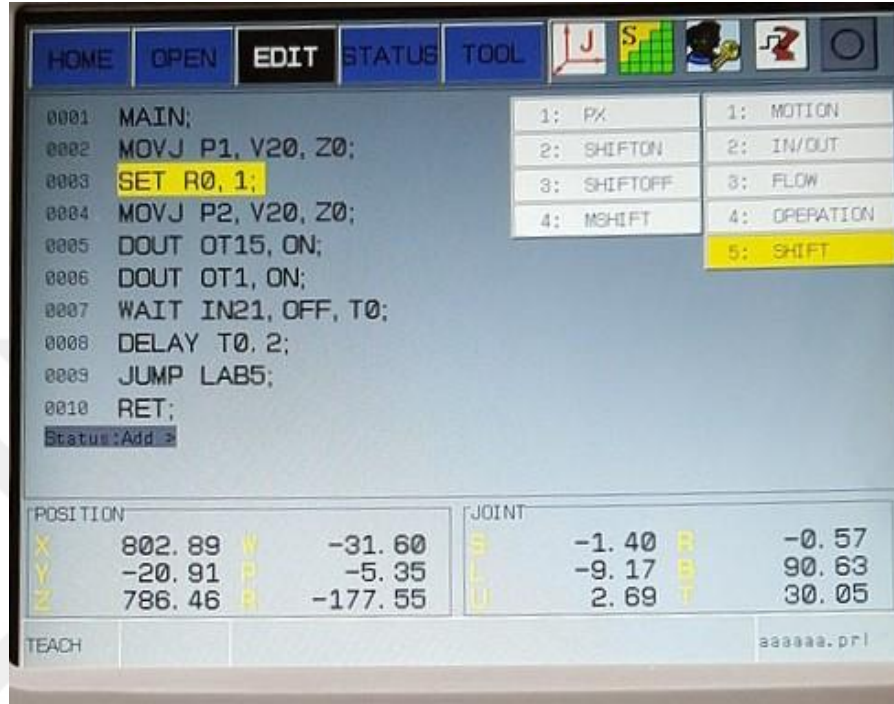
Şekil 3.18 PLC Pano

Şekil 3.18'e bakıldığında;

- 1) 24V DC Güç ünitesi
- 2) PLC GİRİŞ-ÇIKIŞ kabloları
- 3) Slim Röleler
- 4) Robot GİRİŞ-ÇIKIŞ kabloları
- 5) CNC makineleri GİRİŞ-ÇIKIŞ kabloları

Kontrol işleminde 3 nolu slim rölelerin kullanım sebebi robot koluna ait kontrol çıkışının npn çıkışlı olmasıdır. Panoda ayrıca pako şalter, sigortalar, güvenlik röleleri ve 220V'luk priz yer almaktadır.

Son olarak Endüstriyel Robotun üretim işleminde sistematik ve kararlı çalışabilmesi için programlanması, kendi bünyesinde hazır gelen ve C diline benzer olan GSK RB20 Robot dili yazılımıyla yapıldı.



Şekil 3.19 Robot yazılım örneği

Şekil 3.19'a bakıldığında kurulan sistemde kullanılan yazılımdan bir kesit verilmiştir. MOVJ komutu robot kolu hareketini, DOUT komutu ÇIKIŞ işlemini, WAIT komutu sinyal kontrol, delay komutu ise bekleme işlemini sağlar, LAB komutu ise alt program başlığıdır. Şekil 3.19'da yazılan komutlar tek tek incelenirse;

MOVJ P1, V20, Z0; Robot kolu hareketi,  
SET R0, 1; R0 değişkenini 1 yap,  
DOUT OT15, ON; Gripper 1 aç,  
DOUT OT1, ON; CNC 1 Kapı aç,  
WAIT IN21, OFF, T0; Gripper 1 açılmadıysa açılmasını bekle,  
DELAY T0,2; 0,2 saniye bekle,  
JUMP LAB5; LAB5 isimli alt programa git.

Programda gripper açma işleminden sonra konulan WAIT IN21 komutu olası sensör kopmalarından kaynaklanabilecek hatalarda önlem amaçlı kullanılmıştır.

### 3.2. DE Algoritması ile Elektrik Birim Fiyat Tahmininin Gerçekleştirilmesi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen sistemin verimini görebilmek ve kaç yıl içinde maliyetini kurtaracağını tespit edebilmek için elektrik birim fiyatının gelecek yıllardaki değerinin bilinmesi gerekmektedir. Birçok parametreye bağlı olan elektrik birim fiyatı yıllara göre değişkenlik göstermesi nedeniyle zeki sistemler ile tahmin yapılarak daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar elde edilmek istenmiştir. Literatürde elektrik birim fiyatına yönelik doğrudan bir çalışma olmasa da, enerji tahmin talebi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Enerji talebinin tahmini için genetic algorithm (Canyurt et al., 2004; Ceylan & Ozturk, 2004), particle swarm optimization (Gulcu & Kodaz, 2017; Unler, 2008), ant colony optimization (Toksari, 2009), artificial bee colony (Sonmez et al., 2017) differential evolution algorithm (Beskirli, Hakli, & Kodaz, 2017), hybrid techniques (Kiran, Ozceylan, Gunduz, & Paksoy, 2012) gibi doğa esinli algoritmalar sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca elektrik üretimi ve tüketiminin tahmini konusunda da çalışmalar bulunmaktadır (Kavaklioglu, Ceylan, Ozturk, & Canyurt, 2009; Toksari, 2016; Yumurtaci & Asmaz, 2004). DE algoritmasının kolay uygulanabilir yapısı ve etkili performansının yanısıra, Beskirli et.al (Beskirli et al., 2017) çalışması incelendiğinde diğer doğa esinli algoritmalara göre enerji tahmin talebi konusunda daha başarılı olması nedenleriyle bu çalışma da elektrik birim fiyatı tahmini için DE algoritması kullanılmıştır.

Enerji talebinin sağlanması esnasında dört ekonomi tabanlı kriter dikkate alınmaktadır: Gayrisafi Milli Hasıla (GDP), nüfus, ithalat ve ihracat (Beskirli et al., 2017; Unler, 2008). Bu kriterler elektrik birim fiyatını da doğrudan etkilemektedir. Bu kriterlerin yanında, elektrik üretimi ve elektrik tüketimi elektrik birim fiyatının belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada elektrik birim fiyatının tahmini için toplamda altı kriter kullanılmış ve bu kriterlerin 1995-2015 yılları arasındaki değerleri Tablo 3.8’de verilmiştir. Tablo 3.8’de ki veriler (Anonim, 2018l; Tedas, 2018; Tuik, 2018; Yumurtaci & Asmaz, 2004)’den temin edilmiştir.

**Tablo 3.8** Türkiye'nin 1995 ve 2015 yılları arasındaki Kuruş/Kwh, GDP, nüfus, ithalat, ihracat, elektrik üretimi ve elektrik tüketim verileri

Year	Kuruş/Kwh	Değişkenlerin isimleri ve sayıları					
		1	2	3	4	5	6
		GDP (\$10 <sup>9</sup> )	Nüfus (10 <sup>6</sup> )	İthalat (\$10 <sup>9</sup> )	İhracat (\$10 <sup>9</sup> )	Elektrik Üretimi (10 <sup>9</sup> )	Elektrik Tüketimi (10 <sup>9</sup> )
1995	0.20	168.08	58.48	35.71	21.64	86.25	67.39
1996	0.36	181.07	59.42	43.63	23.22	94.86	74.16
1997	0.71	188.73	60.37	48.56	26.26	103.30	81.89
1998	1.14	270.94	61.32	45.92	26.97	111.02	87.71
1999	1.94	247.54	62.28	40.67	26.59	116.44	91.20
2000	3.43	265.38	63.24	54.50	27.78	124.92	98.30
2001	4.72	196.73	64.19	41.40	31.33	122.73	97.07
2002	10.62	230.49	65.14	51.55	36.06	129.40	102.95
2003	12.00	304.90	66.08	69.34	47.25	140.58	111.77
2004	11.22	390.38	67.00	97.54	63.17	150.70	121.14
2005	11.22	481.49	67.90	116.77	73.48	161.96	130.26
2006	10.00	526.42	68.76	139.58	85.54	176.30	143.07
2007	9.39	648.75	69.59	170.06	107.27	191.56	155.14
2008	14.37	742.09	70.44	201.96	132.03	198.42	161.95
2009	14.15	616.70	71.33	140.93	102.14	194.81	156.89
2010	15.31	731.60	72.32	185.54	113.88	211.21	172.05
2011	15.31	773.97	73.40	240.84	134.91	229.40	186.10
2012	15.81	786.28	74.56	236.54	152.47	239.50	194.92
2013	18.16	823.04	75.78	251.66	151.81	240.15	198.05
2014	18.16	799.36	77.03	242.17	157.62	251.96	207.38
2015	19.28	719.62	78.27	207.23	143.84	261.78	217.31

Tablo 3.8'de ki veriler incelendiğinde, elektrik üretim ve elektrik tüketimi yıllara göre devamlı olarak artış gösterse de elektrik birim fiyatının bazı yıllarda düşüş gösterdiği ya da sabit kaldığı gözlemlenmektedir. 1995 yılından 2013 yılına kadar devamlı artış gösteren GDP ve Import değerlerinde ise son 2 yıl için bir düşüş göze çarpmaktadır. Enerji ya da elektrik talebinin tahmini için linear ve quadratic olmak üzere genellikle iki farklı model uygulanmıştır (Beskirli et al., 2017; Toksari, 2009; Unler, 2008). Yapılan çalışmalar incelendiğinde quadratic modelin çok daha başarılı olduğu görülmüş ve bu nedenle çalışmada quadratic model tercih edilmiştir. Dört değişken için kullanılan quadratic formdaki denklem aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Toksari, 2009; Unler, 2008):

$$\begin{aligned}
E_{quadratic} = & w_1 + w_2 X_1 + w_3 X_2 + w_4 X_3 + w_5 X_4 + w_6 X_1 X_2 \\
& + w_7 X_1 X_3 + w_8 X_1 X_4 + w_9 X_2 X_3 + w_{10} X_2 X_4 \\
& + w_{11} X_3 X_4 + w_{12} X_1^2 + w_{13} X_2^2 \\
& + w_{14} X_3^2 + w_{15} X_4^2
\end{aligned} \tag{3}$$

Denklem (3)' deki  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  ve  $X_4$  parametreleri sırasıyla GDP, nüfus, ithalat ve ihracat değerlerini temsil etmekte iken,  $w_1 - w_{15}$  ise ağırlık değerlerini göstermektedir. Eq. (1), dört değişken için gerekli formülasyonu göstermektedir, eğer değişken sayısı artarsa formülasyonda ona göre düzenlenmelidir. Dört değişken için Denklem 3' de görüldüğü gibi 15 ağırlık değeri oluşurken (aynı zamanda problemin boyutu), değişken sayısı beş olduğunda 21, altı olduğunda ise toplamda 28 ağırlık değeri hesaplanacaktır. Ağırlık değerlerine göre bulunan tahminin doğruluğu ise Denklem 4'deki amaç fonksiyonu ile hesaplanmaktadır.

$$\min f(v) = \sum_{r=1}^R (E_r^{observed} - E_r^{predicted})^2 \tag{4}$$

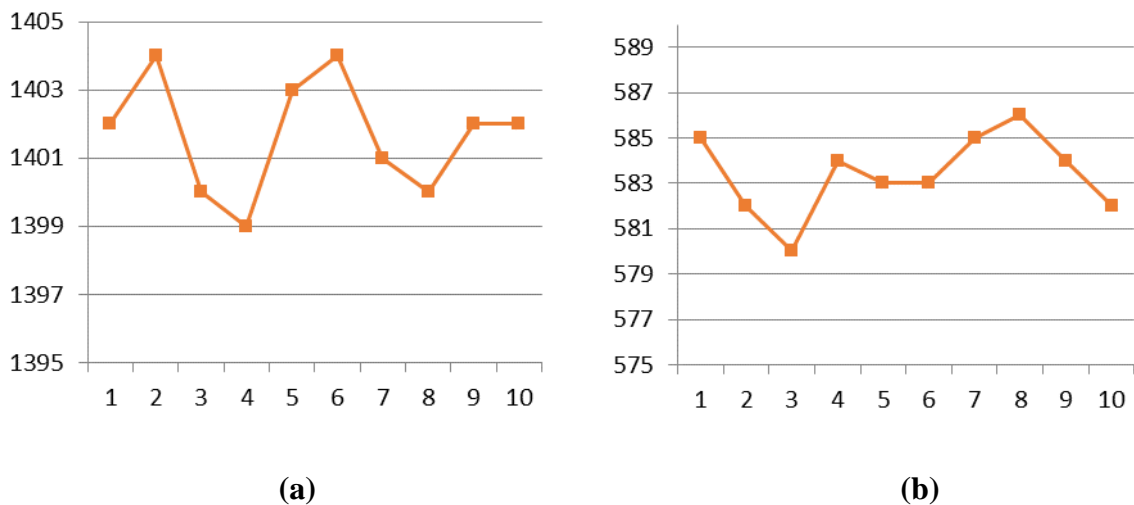
$E_r^{observed}$  ve  $E_r^{predicted}$  gözlenen ve tahmin edilen elektrik birim fiyatını gösterirken, R ise gözlem yapılan yıl sayısını ifade etmektedir. Buradaki temel amaç tüm yıllar için minimum  $f(v)$  değerini veren ağırlık değerlerini bulmaktır (Beskirli et al., 2017).  $f(v)$  değeri ne kadar küçük olursa, verilen yıllar için yapılan tahmin de o kadar başarılı olmaktadır.

#### 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yapılan deneysel testler i5-6400 işlemciye sahip Amd Radeon R7-200 ekran kartı ve 8gb ram özelliklerine sahip bir bilgisayarda yapılırken, Endüstriyel Otomasyon Sistemi ise doğrudan firma tesislerinde uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar 3 kısma ayrılmış olup, İlk kısımda sistemin başarısı değerlendirilirken ikinci kısımda elektrik birim fiyatı tahmin sonuçları paylaşılmış son olarak maliyet analizi ve kâra geçiş noktası hesaplanmıştır.

##### 4.1. Endüstriyel Sistemin Deneysel Sonuçları

Endüstriyel Robot kolu ve PLC kullanılarak tasarlanan sistem sayesinde elde edilen üretim miktarı sistem kurulmadan önceki miktara göre ciddi oranda artmıştır. Sistem kurulmadan önce üretim miktarı günlük (08:00-18:00) ortalama 400 seviyelerinde iken sistem kurulduktan sonra Şekil 4.1 (b)'de görüldüğü gibi bu miktar yaklaşık 585 seviyelerine yükselmiştir. Sistem aralıksız çalıştığında ise bu rakam 1400 dolaylarına ulaşmaktadır. Burdaki en önemli etken sistem kurulmadan önce işçilerin yemek araları ve molaları dâhil edildiğinde günlük ortalama 8 saat civarı üretim yapılırken, sistem kurulduktan sonra 24 saat aralıksız üretim yapılabilmesidir. Diğer önemli bir etken ise sistem kurulmadan önce hatalı üretim miktarı % 3-4 seviyelerinde iken bu miktar sistem kurulduktan sonra % 0,7-0,8 seviyelerine gerilemiştir.



Şekil 4.1 Sistem sonrası (a) Günlük (24 saat) üretim miktarı (b) 08:00-18:00 arası üretim miktarı

Bu çalışmada tasarlanan sistemin önemli bir diğer avantajı ise PLC ile birlikte sistemin manuel üretime izin verebilmesidir. Tablo 4.1’de PLC ve Endüstriyel Robot kolunun, ayrı ayrı ve birlikte yapılan üretim şekillerindeki avantajı ve dezavantajı gösterilmektedir. Tablo 4.1’den de anlaşılacağı üzere kurulan bu sistemde talaşlı imalat ancak Endüstriyel Robot kolu kullanıldığında mümkün olabilmektedir ancak robot kolunun PLC olmadan tek başına kullanılması manuel üretim için yeterli değildir.

**Tablo 4.1** Endüstriyel Otomasyon Üretim Süreci

<b>Kontrol Elemanları</b>	<b>Talaşlı İmalat</b>	<b>Sistemin manuel üretime izin vermesi</b>
Endüstriyel Robot kolu	Gerçekleştirilebilir	Gerçekleştirilemez
PLC	Gerçekleştirilemez	Gerçekleştirilebilir
Endüstriyel Robot kolu + PLC	Gerçekleştirilebilir	Gerçekleştirilebilir

#### **4.2. Elektrik Birim Fiyatının Gelecek Projeksiyonları**

Tablo 3.8’ da verilen 21 yıla ait veriler ile DE algoritması elektrik birim fiyatı tahmini için kullanılmıştır. Deneylerde, DE algoritmasındaki ölçekleme faktörü F 0.5 alınırken, çaprazlama oranı 0.9 olarak belirlenmiştir. Popülasyon büyüklüğü 100, maximum fonksiyon değerlendirme sayısı ise  $5 \times 10^5$  olarak seçilmiştir.

Tablo 4.2’de verilen değişkenlerden GDP, nüfus, ithalat ve ihracat değerleri temel ölçütler olarak dikkate alınmıştır. Bu ölçütlerin yanı sıra, elektrik üretimi ve elektrik tüketimi ölçütleri ise ayrı ayrı ve birlikte olarak test edilmiştir. Değişken sayısına göre denklem 3’de verilen quadratic form düzenlenmiştir.

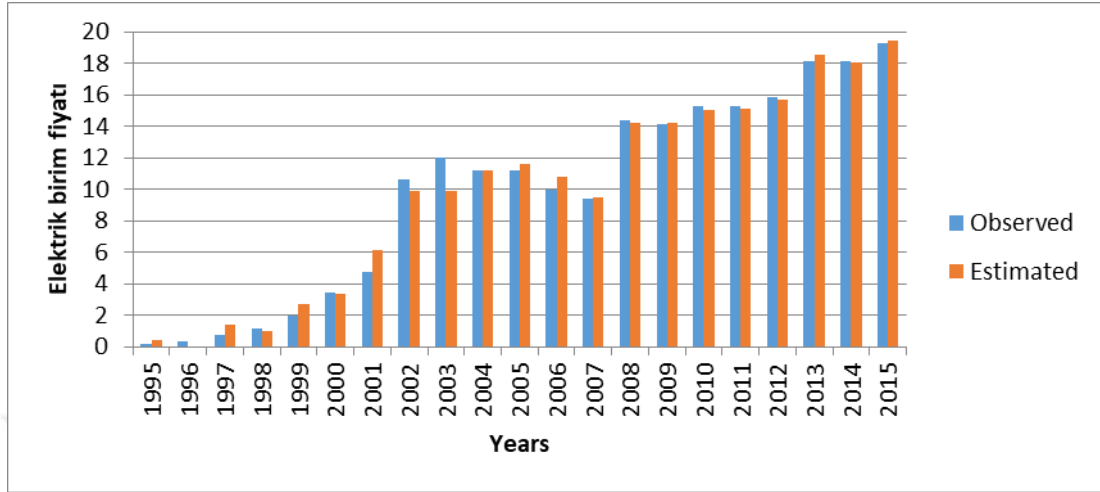
DE algoritması, dört farklı durum için seçilen değişkenlerle 10 kez çalıştırılmıştır. 10 çalıştırma sonucu elde edilen en iyi çözümler dikkate alınmıştır. Tablo 4.2’de dört farklı değişken seçimi için elde edilen hata oranları ve ağırlık değerleri paylaşılmıştır.

**Tablo 4.2** Hata oranları ve Ağırlık Değerleri

Coefficients	Seçilen Değişkenler			
	1,2,3,4	1,2,3,4,5	1,2,3,4,6	1,2,3,4,5,6
w1	10,00000	-9,17532	9,62941	-8,48483
w2	-0,24023	0,09704	3,32920	-2,61183
w3	-1,29403	-9,99305	1,60644	9,02448
w4	-3,00539	2,19926	-4,12544	-8,70575
w5	6,02331	-4,09795	-6,21791	-1,76599
w6	0,00453	3,31954	-6,13156	9,94205
w7	0,00122	-0,00483	-0,08804	-7,33863
w8	0,00204	-0,01348	-0,00783	-0,01581
w9	0,04775	0,00536	-0,02306	-0,03232
w10	-0,09946	-0,00096	0,02342	0,21898
w11	-0,00991	-0,03412	0,15556	0,49497
w12	-0,00041	0,14561	0,20481	-0,54486
w13	0,01937	-0,15470	0,04591	-0,29004
w14	-0,00037	0,06002	0,04389	0,43933
w15	0,00681	0,01262	-0,07044	1,65158
w16	-	-0,05923	-0,05802	-1,34516
w17	-	0,00168	0,00228	0,58050
w18	-	0,24909	0,01065	1,91664
w19	-	-0,00033	0,01433	-2,07848
w20	-	-0,03886	0,03802	-2,73528
w21	-	0,03174	0,01783	2,86035
w22	-	-	-	-1,90207
w23	-	-	-	-0,01904
w24	-	-	-	-0,55196
w25	-	-	-	-0,17802
w26	-	-	-	-0,85209
w27	-	-	-	-0,38560
w28	-	-	-	2,64912
<b>R. Error</b>	<b>33,21</b>	<b>9,79</b>	<b>21,83</b>	<b>3016,10</b>

Tablo 4.2 incelendiğinde, 9.79 hata oranı ile en başarılı elektrik birim fiyatı tahmininin 1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı değişken kombinasyonunda elde edildiği gözlemlenmiştir. Temel olarak belirlenen dört değişkenin yanı sıra elektrik üretimi ve elektrik tüketimi ölçütleri de dikkate alınarak tahmin yapıldığında ise hatanın diğer durumlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Hata değerinde meydana gelen hafif artışlar, uygunluk fonksiyonunda her yıl için bulunan hata değerinin karesine bağlı olarak, uygunluk değerinde daha büyük bir yansıma sahiptir (Beskirli et al., 2017).

Gelecek projeksiyonlar için en az hata oranına sahip olan GDP, nüfus, ithalat, ihracat ve elektrik tüketimi kombinasyonu dikkate alınmıştır.



Şekil 4.2 Gözlenen ve tahmin edilen elektrik birim fiyatlarının karşılaştırılması

Şekil 4.2’de 1995-2015 yılları için seçilen kombinasyon (1,2,3,4 ve 5) sonucu elde edilen tahmin değerleri ile gözlenen elektrik birim fiyatı değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.2’ de görüldüğü gibi tahminlerin gözlenen değerlere çok yakın olması nedeniyle önerilen modelin elektrik birim fiyatının tahmin edilmesinde başarılı olduğu söylenebilir. 2000, 2007 ve 2009 yıllarında yapılan tahminler gözlenen değere çok yakın iken, 2002 ve 2003 yıllarında hata miktarının diğer yıllara göre biraz daha fazla olduğu Şekil 4.2’de görülmektedir.

Türkiye’nin 2016-2035 yılları arasındaki elektrik birim fiyatının tahminini gerçekleştirmek için, üç farklı senaryo hazırlandı.

Senaryo 1: 2012-2035 yılları arasında ortalama GDP büyüme hızının % 3, nüfus artış hızının % 1, ithalat artış hızının % 3, elektrik üretim artış ve ihracat artış hızının % 5 olduğu varsayılmaktadır.

Senaryo 2: 2012-2035 yılları arasında GDP ortalama büyüme hızının % 4, nüfus artış hızının % 2, ithalat büyüme hızının % 4, elektrik üretim artış ve ihracat artış hızının % 5 olduğu varsayılmaktadır.

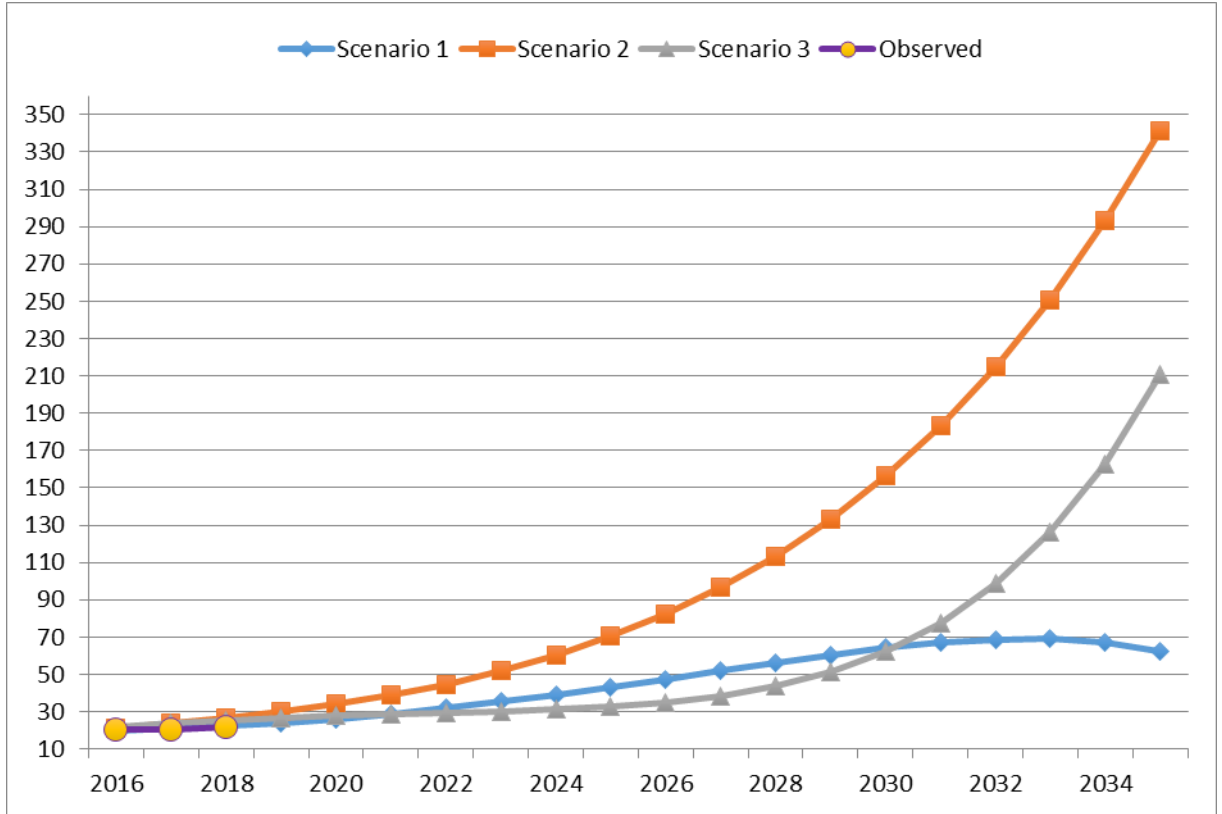
Senaryo 3: 2012-2035 yılları arasında ortalama GDP büyüme hızının % 6, nüfus artış hızının % 4, ithalat artış hızının % 6, elektrik üretim artış ve ihracat artış hızının % 7 olduğu varsayılmaktadır.

**Tablo 4.3** 1-3 Senaryoları için Türkiye'nin gelecek projeksiyonları

Yıllar	Gözlemlenen elektrik birim fiyatı	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
2016	20.52	19.99	21.45	21.79
2017	20.52	20.92	23.80	23.80
2018	21.97	22.25	26.60	25.49
2019	-	24.00	29.95	26.87
2020	-	26.18	33.99	27.96
2021	-	28.80	38.86	28.85
2022	-	31.85	44.72	29.61
2023	-	35.30	51.76	30.39
2024	-	39.11	60.20	31.38
2025	-	43.23	70.29	32.84
2026	-	47.56	82.29	35.10
2027	-	52.00	96.51	38.58
2028	-	56.39	113.29	43.82
2029	-	60.54	133.03	51.50
2030	-	64.21	156.16	62.45
2031	-	67.10	183.16	77.68
2032	-	68.84	214.56	98.44
2033	-	68.99	250.96	126.23
2034	-	67.02	293.02	162.85
2035	-	62.29	341.48	210.49

GDP, nüfus, ithalat, ihracat ve elektrik tüketimi kombinasyonu sonucu DE algoritması ile bulunan ağırlık değerleri ve verilen senaryolar kullanılarak elde edilen gelecek projeksiyonlar Tablo 4.3'de sunulmuştur. Oluşturulan senaryolar, verilerin düşük, normal ve yüksek seviye artışlarına göre tasarlandı. Tablo 4.3 incelendiğinde, 2016-2018 yılları arasında gözlenen tahminlere en yakın tahminlerin Senaryo 1 tarafından elde edildiği görülmektedir. Senaryo 2'de tahminlerin hızla yükselişe geçtiği ve diğer iki senaryoya göre daha yüksek tahminler yapıldığı gözlemlenmektedir. Senaryo 3'e göre yapılan tahminler ise, Senaryo 1 ve Senaryo 2'nin arasında kalmaktadır. Ayrıca, diğer Senaryo 2 ve Senaryo 3 için yıllara göre tahmin değerleri sürekli artarken, Senaryo 1'e göre yapılan tahminlerde son iki yıl için bir düşüş gözlemlenmektedir. Şekil 4.3'de elektrik birim fiyatının 2016-2035 yılları

arasında üç farklı senaryoya göre gelecek projeksiyonları verilmektedir. Şekil 4.3’de ayrıca 2016-2018 yılları arasında gözlenen elektrik birim fiyatı değerleri de paylaşılmıştır.



Şekil 4.3 1-3 Senaryoları için Türkiyenin gelecek projeksiyonları

Şekil 4.3 incelendiğinde, Senaryo 2’ye göre yapılan tahminler çok hızlı artış gösterirken, Senaryo 1 ve Senaryo 3’te daha düşük tahminler yapılmıştır. Başlangıçta Senaryo 3, diğeri iki durumun altında kalırken, 2030 yılından sonraki yıllar için yapılan tahminlerdeki hızlı artış nedeniyle Senaryo 1’i geride bırakmıştır.

#### 4.3. Sistem Maliyet ve Kâr Hesabı

Kurulan sistemin maliyet ve kâr hesabını yapabilmek için elektrik birim fiyatının gelecek projeksiyonlarından yararlanılmıştır. Elektrik birim fiyatına ülkenin uyguladığı tek terimli sanayi grubu için dağıtım bedeli % 40, enerji fonu % 1, Belediye Tüketim Vergisi (BTV) % 5, Katma Değer Vergisi (KDV) % 18 vergilendirmeleri eklendi ve Tablo 4.4’deki gibi herşey dahil elektrik fiyatı bulundu. Tablo 4.4’de 3 farklı senaryoda

bulunan sonuçlar, 2035 yılına kadar sistemin harcayacağı güce göre belirlenen enerji maliyetleridir. Üretici için sistemin ilk kurulum maliyeti işçilik dahil toplam ortalama 42.000 Euro'dur (Kurulan sistem için üreticiden çıkan bedel esas alınmıştır). Küresel yan rakorlu vana fiyatları için (Anonim, 2018k) baz alınmış ve çalışan işçilerin ücretleri asgari ücret olarak alınmıştır (Anonim, 2018g). Yıllık artış oranı ise enflasyonun oldukça değişken yapıda olduğu ve yapılan çalışmalarda tahmin edilmesinin çok zor olduğu anlaşıldığı için (Bokharı & Feridun, 2006; Kara & Orak, 2008; Özer & Türkyılmaz, 2005) T.C Merkez Bankası enflasyon beklentileri dikkate alınarak hesaplanmıştır (Anonim, 2018a). Sistemin harcadığı enerji ise sistemde kullanılan kontrol cihazlarının etiket değerlerine göre bulunmuştur (Anonim, 2018c, 2018h).

**Tablo 4.4.** Senaryolara göre oluşturulan vergiler dâhil elektrik fiyatları ve sistemin harcayacağı enerji maliyeti

Senaryolar	a	b	1	a	b	2	a	b	3
Yıl	24 Saatlik çalışma sonunda sistemin çektiği enerji toplam fiyat TL (10 <sup>^3</sup> )	08:00-18:00 çalışma sonunda sistemin çektiği enerji toplam fiyat TL (10 <sup>^3</sup> )	Herşey dahil elektrik fiyatı Kurus/Kwh	24 Saatlik çalışma sonunda sistemin çektiği enerji toplam fiyat TL (10 <sup>^3</sup> )	08:00-18:00 çalışma sonunda sistemin çektiği enerji toplam fiyat TL (10 <sup>^3</sup> )	Herşey dahil elektrik fiyatı Kurus/Kwh	24 Saatlik çalışma sonunda sistemin çektiği enerji toplam fiyat TL (10 <sup>^3</sup> )	08:00-18:00 çalışma sonunda sistemin çektiği enerji toplam fiyat TL (10 <sup>^3</sup> )	Herşey dahil elektrik fiyatı Kurus/Kwh
2019	13,51	5,63	39,36	22,15	9,23	64,54	36,33	15,14	105,85
2020	14,74	6,14	42,94	24,17	10,07	70,42	39,63	16,51	115,49
2021	16,21	6,75	47,23	26,59	11,08	77,46	43,60	18,17	127,04
2022	17,93	7,47	52,23	29,40	12,25	85,66	48,21	20,09	140,48
2023	19,87	8,28	57,89	32,58	13,58	94,93	53,43	22,26	155,69
2024	22,01	9,17	64,14	36,10	15,04	105,19	59,21	24,67	172,52
2025	24,33	10,14	70,89	39,90	16,63	116,27	65,44	27,27	190,68
2026	26,77	11,15	78,00	43,90	18,29	127,93	72,00	30,00	209,80
2027	29,27	12,20	85,28	48,00	20,00	139,86	78,72	32,80	229,37
2028	31,74	13,22	92,48	52,05	21,69	151,67	85,37	35,57	248,73
2029	34,07	14,20	99,28	55,88	23,28	162,83	91,65	38,19	267,04
2030	36,14	15,06	105,30	59,27	24,69	172,69	97,20	40,50	283,21
2031	37,76	15,74	110,04	61,93	25,81	180,46	101,57	42,32	295,95
2032	38,74	16,14	112,89	63,54	26,48	185,14	104,21	43,42	303,64
2033	38,83	16,18	113,14	63,68	26,53	185,56	104,44	43,52	304,31
2034	37,72	15,72	109,92	61,87	25,78	180,26	101,46	42,27	295,63
2035	35,06	14,61	102,16	57,50	23,96	167,54	94,30	39,29	274,76

Tablo 4.5’de kurulan Endüstriyel Otomasyon Sistemi sonrası işçilikten elde edilen kâr bulunmuştur. Sistem kurulmadan önce sadece işçilik ücreti varken sistem kurulduktan sonra işçilik ücreti yerini sistemin harcadığı elektrik enerjisine bırakmıştır. Sistemin harcadığı enerji (kwh), elektrik fiyatlandırmasında yapılan 3 senaryoya göre ayrı ayrı hesaplanmış ve 24 saatlik çalışma sonucunda elde edilen kâr a senaryosu, 08:00-18:00 saatleri arası çalışma sonucunda elde edilen kâr b senaryosu olarak ele alınmıştır. Yıllık toplam çalışılan gün sayısı hafta sonu tatilleri dikkate alınarak 260 gün olarak belirlenmiştir. 3 farklı senaryoya göre Tablo 4.5’de yer alan kâr miktarları, Tablo 4.5’de verilen işçilik ücreti (brüt) ile Tablo 4.4’de yer alan sistemin harcadığı enerji (TL) farkından oluşmaktadır.

**Tablo 4.5** Sistemin kurulumu sonrası işçilikten elde edilen kâr

Yıl	YRKV ort. adet fiyat TL	24 saatlik toplam üretim TL (10 <sup>^3</sup> )	08:00- 18:00 toplam üretim TL (10 <sup>^3</sup> )	Sistem öncesi toplam üretim TL (10 <sup>^3</sup> )	İşçi maaşı (brüt) TL (10 <sup>^3</sup> )	Sen. 1- a İşçilik kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Sen. 1- b İşçilik kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Sen. 2- a İşçilik kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Sen. 2- b İşçilik kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Sen. 3- a İşçilik kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Sen. 3- b İşçilik kâr TL (10 <sup>^3</sup> )
2019	1,5	546,0	228,2	156,0	26,9	13,4	21,3	4,8	17,7	-9,4	11,8
2020	1,65	600,6	251,0	171,6	29,4	14,6	23,2	5,2	19,3	-10,3	12,9
2021	1,82	660,7	276,1	188,8	31,9	15,7	25,1	5,3	20,8	-11,7	13,7
2022	2,00	726,7	303,7	207,6	34,4	16,5	27,0	5,0	22,2	-13,8	14,4
2023	2,20	799,4	334,0	228,4	37,0	17,1	28,7	4,4	23,4	-16,5	14,7
2024	2,42	879,3	367,4	251,2	39,7	17,7	30,5	3,6	24,6	-19,5	15,0
2025	2,66	967,3	404,2	276,4	42,5	18,2	32,4	2,6	25,9	-22,9	15,2
2026	2,92	1064,0	444,6	304,0	45,5	18,7	34,3	1,6	27,2	-26,5	15,5
2027	3,22	1170,4	489,1	334,4	48,6	19,3	36,4	0,6	28,6	-30,1	15,8
2028	3,54	1287,4	538,0	367,8	51,9	20,2	38,7	-0,2	30,2	-33,5	16,3
2029	3,89	1416,2	591,8	404,6	55,4	21,3	41,2	-0,5	32,1	-36,2	17,2
2030	4,28	1557,8	650,9	445,1	59,1	23,0	44,1	-0,1	34,4	-38,1	18,6
2031	4,71	1713,6	716,0	489,6	63,1	25,3	47,4	1,2	37,3	-38,5	20,8
2032	5,18	1884,9	787,6	538,6	67,3	28,6	51,2	3,8	40,8	-36,9	23,9
2033	5,70	2073,4	866,4	592,4	71,8	33,0	55,6	8,1	45,3	-32,6	28,3
2034	6,27	2280,8	953,0	651,7	76,6	38,9	60,9	14,7	50,8	-24,9	34,3
2035	6,89	2508,9	1048,3	716,8	81,7	46,6	67,1	24,2	57,7	-12,6	42,4

Tablo 4.6’da verilen toplam üretimden sistem kurulmadan önceki toplam üretim çıkarılarak, üretimden elde edilen toplam kâr işçilikten elde edilen toplam kâr’a

eklenmiş ve sistem kurulumu sonrası yıllara göre oluşan toplam kâr Tablo 4.6'da gösterilmiştir. 24 saatlik çalışma süresi ile 08:00-18:00 arası çalışma süresinden elde edilen kâr 3 farklı senaryoya göre bulunmuş ve elde edilen veriler yine Tablo 4.6'da verilmiştir.

**Tablo 4.6** Sistemin kurulumu sonrası yıllara göre elde edilen toplam kâr

Yıl	24 saatlik çalışma sonunda satışlardan elde edilen kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	08:00-18:00 arası çalışma sonunda satışlardan elde edilen kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 1-a toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 1-b toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 2-a toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 2-b toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 3-a toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 3-b toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )
2019	390,00	72,15	403,40	93,43	394,75	89,82	380,57	83,92
2020	429,00	79,37	443,64	102,60	434,21	98,67	418,74	92,22
2021	471,90	87,30	487,58	112,44	477,21	108,12	460,19	101,03
2022	519,09	96,03	535,60	123,00	524,13	118,22	505,32	110,38
2023	571,00	105,63	588,11	134,34	575,40	129,04	554,55	120,35
2024	628,10	116,20	645,75	146,69	631,66	140,82	608,56	131,19
2025	690,91	127,82	709,07	160,18	693,50	153,69	667,96	143,05
2026	760,00	140,60	778,70	174,92	761,57	167,78	733,47	156,07
2027	836,00	154,66	855,34	191,07	836,61	183,27	805,89	170,47
2028	919,60	170,13	939,76	208,80	919,45	200,34	886,14	186,46
2029	1011,56	187,14	1032,89	228,34	1011,08	219,26	975,32	204,36
2030	1112,72	205,85	1135,71	249,93	1112,58	240,29	1074,65	224,49
2031	1223,99	226,44	1249,32	273,80	1225,15	263,73	1185,52	247,22
2032	1346,39	249,08	1374,96	300,26	1350,17	289,93	1309,50	272,98
2033	1481,02	273,99	1514,01	329,62	1489,15	319,27	1448,40	302,29
2034	1629,13	301,39	1667,99	362,26	1643,85	352,20	1604,26	335,70
2035	1792,04	331,53	1838,64	398,58	1816,21	389,23	1779,41	373,90

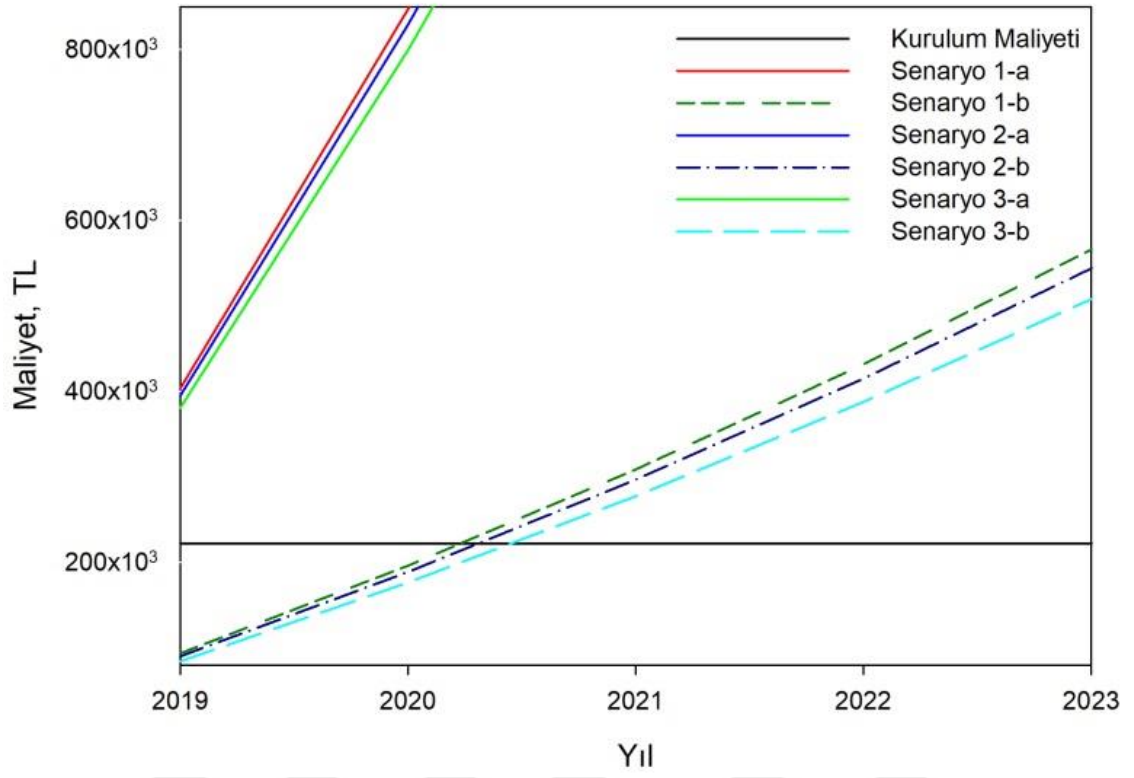
Tablo 4.7'de kurulan sistem sonrası elde edilen kümülatif toplam kâr verilmiş ve sistemin ilk kurulum maliyetine göre karşılaştırılmıştır. Sistemin ilk kurulum maliyeti 01.06.2018 tarihindeki TC. Merkez Bankası döviz kuruna göre TL cinsinden hesaplanmıştır.

**Tablo 4.7** Sistemin kurulumu sonrası elde edilen kümülatif toplam kâr

Yıl	Senaryo 1-a toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 1-b toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 2-a toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 2-b toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 3-a toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Senaryo 3-b toplam kâr TL (10 <sup>^3</sup> )	Sistem ilk kurulum maliyeti TL (10 <sup>^3</sup> )
2019	403,40	93,43	394,75	89,82	380,57	83,92	222,31
2020	847,03	196,02	828,96	188,49	799,31	176,14	222,31
2021	1334,62	308,47	1306,17	296,61	1259,51	277,17	222,31
2022	1870,22	431,47	1830,30	414,83	1764,83	387,55	222,31
2023	2458,33	565,80	2405,70	543,87	2319,37	507,90	222,31
2024	3104,08	712,50	3037,36	684,69	2927,93	639,10	222,31
2025	3813,16	872,67	3730,86	838,38	3595,89	782,14	222,31
2026	4591,86	1047,59	4492,43	1006,16	4329,36	938,22	222,31
2027	5447,20	1238,67	5329,04	1189,43	5135,25	1108,69	222,31
2028	6386,96	1447,47	6248,49	1389,77	6021,39	1295,15	222,31
2029	7419,85	1675,81	7259,57	1609,03	6996,71	1499,50	222,31
2030	8555,56	1925,74	8372,15	1849,32	8071,35	1723,99	222,31
2031	9804,89	2199,54	9597,31	2113,05	9256,87	1971,20	222,31
2032	11179,85	2499,80	10947,47	2402,98	10566,37	2244,19	222,31
2033	12693,86	2829,43	12436,62	2722,25	12014,77	2546,47	222,31
2034	14361,85	3191,69	14080,47	3074,45	13619,02	2882,17	222,31
2035	16200,49	3590,27	15896,68	3463,68	15398,43	3256,08	222,31

Sistem ilk kurulum maliyeti 42 bin Euro (222306 TL 01.06.2018 TC Merkez Bankası döviz kuruna göre)

Sistemin 2019 yılından itibaren faaliyete geçtiği düşünülerek, yapılan hesaplamalar sonucu Şekil 4.4'te görüldüğü gibi en fazla 2-3 yıl içerisinde üreticinin kâr'a geçtiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.4 Sistemin kazanç grafiği

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yan rakorlu küresel vana (YRKV) üretim prosesi; fabrikaya gelen ham maddenin iç ve kenarlarından işlenmek üzere CNC makinesine verilmesi ve sonrasında işlenmiş maddenin CNC makinesinden alınıp temizlenerek kutulara konulup işlenmemiş maddenin yeniden işlenmek üzere CNC makinesine verilmesi şeklinde bir prosesi içermektedir. Yapılan bu çalışmada, YRKV üreten bir fabrikaya kurulan Endüstriyel Otomasyon Sistemi gerçekleştirilmiş ve üretim sonucu elde edilen veriler irdelenmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada CNC ile talaşlı imalat yapılan bir işletmede üretimi ve kârlılığını artırmak için mevcut sisteme 6 eksenli Endüstriyel Robot kolu ilave edilmiş ve robot kolu ile CNC'nin senkronize çalıştırılması ve gerekli olan kontrol işlemlerini gerçekleştirebilmek için PLC kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada kurulan sistemin üreticiye olan maliyeti gerçekçi olarak hesaplanmaya çalışılmıştır. Kurulan sistemin üreticiye mâl olacak maliyetini hesaplamak için sistemin çalışması esnasında harcayacağı elektriğin toplam maliyetide göz önüne alınmıştır. Bunun için Türkiye'de gelecekteki elektrik birim fiyatları tahmin edilmeye çalışılarak elektrik enerjisi birim maliyetleri de dikkate alınmıştır. Elektrik birim fiyatı tahmini yapılırken, elektrik birim fiyatının gelecek yıllardaki değerlerini etkileyeceği düşünülen birçok parametreye bağlı olabileceği dikkate alınarak daha sağlıklı ve güvenilir sonuçlar verdiği bilinen zeki sistemler kullanılmıştır. Literatürde daha önce yapılan benzer çalışmalara bakıldığında tahminlerde doğa esinli algoritmaların sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında bu konuda daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde doğa esinli algoritmalar sınıfında oldukça başarılı olduğu görülen Diferansiyel Evrim Algoritması seçilmiştir. Bu algoritma çalışmamızda Türkiye'nin gelecekteki elektrik birim fiyatları tahmin etme işleminde kullanılmıştır. Tablo 3.8'de görüldüğü gibi Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilen tahminlerde, elektrik birim fiyatlarına doğrudan veya dolaylı etki eden Gayrisafi Milli Hasıla (GDP), nüfus, elektrik üretimi, elektrik tüketimi, ithalat ve ihracat olmak üzere toplam 6 kriter kullanılmış ve yapılan bu tez çalışmasında da, diğer çalışmalar incelendiğinde daha başarılı olduğu görülen linear model yerine quadratic model tercih edilmiştir. Bu sayede sistemin harcayacağı toplam enerji bedeli hesaplanarak, sistem kurulmadan önceki işçilik bedeliyle karşılaştırma yapılabilmektedir.

Kurulan Endüstriyel Otomasyon Sistemi sayesinde üretimde yapılan hata oranlarında da ciddi derecede azalma görülmüştür. Sistem kurulmadan önce üretimde kullanılan insan işgücü kaynaklı hatalardan YRKV üretiminde günlük hatalı üretim miktarı % 4'lere dayanırken, sistem kurulduktan sonra bu hata oranı % 0,7'lere kadar gerilemiştir. Bu hatada sistemde kullanılan robot kolunun hassasiyetinden kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda Şekil 4.4'den de anlaşılacağı gibi üreticinin en fazla yaklaşık 2,5 yıl içerisinde yaptığı yatırımının karşılığını alacağı ve sonraki yıllarda önemli derecede kâr elde edebileceği görülmüştür.

Sonuç olarak kurulan sistemin PLC kullanmayan diğer sistemlere göre avantajlarını ele alırsak, öncelikle sistemin gerektiğinde manuel olarak çalıştırılabilmesi ve bu sayede üretimin süreklilik kazanması gösterilebilir. Diğer önemli avantaj ise sistemin kuruluşunda PLC kullanılarak, PLC'nin sistemde yaptığı işlevi tek başına yapabilen, ek özelliklere sahip robot kullanılmadığı için ortalama 1000€ kazanç sağlanabilmesidir. Son olarak robot kolu yazılımının PLC sayesinde daha sade hale gelmesi sistemin kullanılabilirliğini daha da kolaylaştırmıştır. Ayrıca böyle bir sistemin kurulması sonucunda üretimde verimlilik, esneklik ve miktar önemli ölçüde artmıştır.

Gelecekte kurulacak böyle bir sistemin kontrol elemanları mümkün olduğunca daha az enerji tüketen tipleri tercih edilip sistemin daha düşük enerji tüketmesi sağlanabilir. Böylece kurulacak sistem daha verimli hale getirilebilir. Ancak enerji tüketimi az olan kontrol elemanlarının fiyatları daha pahalı olabileceği için sistem maliyeti yeniden hesaplanarak üreticinin, yatırımlarının karşılığını alacağı süreye göre uygun olan kontrol elemanları tercih edilmelidir. Bunun dışında sistemin kullandığı elektrik enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilerek sistem daha ekonomik ve çevreci hale getirilebilir. Ayrıca kurulan sisteme kablosuz haberleşme sistemi eklenerek, uzaktan sistemin kontrol edilmesi sağlanıp kullanılabilirliği artırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Acharya, V., Sharma, S. K., & Kumar Gupta, S. (2017). Analyzing the factors in industrial automation using analytic hierarchy process. *Computers & Electrical Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.08.015>
- Acıelma, F. (2000). *Programlanabilir Lojik Kontrol (PLC) Laboratuvarı*: Devlet Kitapları.
- Akshay, N., Sravanth, K. U., Varanasi, R., & Reddy, J. A. (2012). Real Time Automated Control of Industrial Processes with PLC–LABVIEW Communication. *International Journal for Research in Science & Advanced Technologies, 1*, 035-038.
- Alphonsus, E. R., & Abdullah, M. O. (2016). A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60*, 1185-1205.
- Anonim. (2012). *PLC DONANIMI VE ÇEVRE BİRİMLERİ*. Ankara.
- Anonim. (2017a). Hidrolik Sürücülü Robot. Retrieved from [new.abb.com](http://new.abb.com)
- Anonim. (2017b). Pnömatik Regülatör. Retrieved from [www.cobotdepot.com](http://www.cobotdepot.com)
- Anonim. (2018a). Enflasyon Oranları. Retrieved from <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/085d78c0-9809-4b33-a6b6-21e0a22a6405/BA-Rapor-Int.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-085d78c0-9809-4b33-a6b6-21e0a22a6405-mdP0V6f>
- Anonim. (2018b). Gripper. Retrieved from <http://www.zacobria.com>
- Anonim. (2018c). GSK ROBOT. Retrieved from [http://www.gsk.com.cn/cplb/info\\_951.aspx?itemid=685&lcid=126](http://www.gsk.com.cn/cplb/info_951.aspx?itemid=685&lcid=126)
- Anonim. (2018d). Kontrolör. Retrieved from [www.ieiworld.com](http://www.ieiworld.com)
- Anonim. (2018e). Manyetik Gripper. Retrieved from <http://www.miknatis.net>
- Anonim. (2018f). Manyetik Sensör. Retrieved from [www.sick.com](http://www.sick.com)
- Anonim. (2018g). Minimum wage. Retrieved from [http://www.gib.gov.tr/sites/default/files/fileadmin/mevzuatek/gvkteb303taslak\\_28052018.pdf](http://www.gib.gov.tr/sites/default/files/fileadmin/mevzuatek/gvkteb303taslak_28052018.pdf)
- Anonim. (2018h). OMRON CP1E. Retrieved from <https://industrial.omron.com.tr/tr/products/cp1e>
- Anonim. (2018i). Optik Yaklaşım Sensörü. Retrieved from <http://www.leuze.com>
- Anonim. (2018j). Pnömatik Sürücülü Robot. Retrieved from <http://tr.immrobot.com/>
- Anonim. (2018k). Robot Price. Retrieved from <http://www.abb.com/abblibrary/DownloadCenter/?showresultstab=true&QueryText=ACB%2FMCCB+Price+List>
- Anonim. (2018l). Turkey Data. Retrieved from <https://data.worldbank.org/country/turkey>
- Arık, H. (2014). *Tıbbi ve aromatik bitkilerin kurutulmasına uygun laboratuvar tipi raflı kurutucunun otomasyon sisteminin geliştirilmesi ve performansının belirlenmesi*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydogmus, Z. (2009). Implementation of a fuzzy-based level control using SCADA. *Expert Systems with Applications, 36*(3), 6593-6597.
- Ball, S. J. (2007). *Education plc*: London: Routledge.

- Bayindir, R., & Cetinceviz, Y. (2011). A water pumping control system with a programmable logic controller (PLC) and industrial wireless modules for industrial plants—An experimental setup. *ISA transactions*, 50(2), 321-328.
- BAYKAN, E. (2014). *Maden konsantrasyon tesislerinde kullanılan bilyalı değirmenlerin otomasyonu ve verimlilik analizi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Beskirli, M., Hakli, H., & Kodaz, H. (2017). The energy demand estimation for Turkey using differential evolution algorithm. *Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 42(10), 1705-1715. doi:10.1007/s12046-017-0724-7
- Bhagwan, S. (2015). Control Of Boiler Operation Using PLC–SCADA. *International Journal OF Engineering Sciences & Management Research*, 2(3).
- Bhaskarwar, T. V., Giri, S. S., & Jamakar, R. (2015). *Automation of shell and tube type heat exchanger with PLC and LabVIEW*. Paper presented at the Industrial Instrumentation and Control (ICIC), 2015 International Conference on.
- Bİngöl, O., Aydoğan, T., DİDİN, H. R., Yalçiner, A. S., & DUYGULU, K. (2010). PLC KONTROLLÜ OTOMATİK KATLI OTOYOL SİSTEMİ. *Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(1), 65-76.
- Bokhari, S., & Feridun, M. (2006). Forecasting inflation through econometric models: an empirical study on Pakistani data.
- Boru, B. (2018). EMG VE JİROSKOP VERİLERİ İLE ENDÜSTRİYEL ROBOT KOLUNUN GERÇEK ZAMANLI KONTROLÜ. *Sakarya University Journal of Science*, 22(2), 1-1.
- Bradley, D., Dawson, D., Burd, N., & Loader, A. (1991). *Mechatronics, electronics in products and processes*: Chapman and Hall Verlag, London.
- Cai, B., Liu, Y., Liu, Z., Wang, F., Tian, X., & Zhang, Y. (2012). Development of an automatic subsea blowout preventer stack control system using PLC based SCADA. *ISA transactions*, 51(1), 198-207.
- Cannan, J., & Hu, H. (2012). *A Multi-sensor armband based on muscle and motion measurements*. Paper presented at the Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2012 IEEE International Conference on.
- Canyurt, O. E., Ceylan, H., Ozturk, H. K., & Hepbasli, A. (2004). Energy demand estimation based on two-different genetic algorithm approaches. *Energy Sources*, 26(14), 1313-1320. doi:10.1080/00908310490441610
- Ceylan, H., & Ozturk, H. K. (2004). Estimating energy demand of Turkey based on economic indicators using genetic algorithm approach. *Energy Conversion and Management*, 45(15-16), 2525-2537. doi:10.1016/j.enconman.2003.11.010
- CHEN, D.-q., & KUANG, Y.-c. (2013). Communication between Mitsubishi PLC and GSK Industrial Robot. *Mechanical Engineer*, 4, 023.
- Chen, Y., & Dong, F. (2013). Robot machining: recent development and future research issues. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66(9-12), 1489-1497.
- Chetanakumar Hadimani, S., Radha, R., & Manjunath, S. (2016). *Automation of Rubber Injection Moulding Machine*.
- Chopade, S. S., Verma, P., & Verma, P. (2013). Simulation of boiler control using PLC & SCADA. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 3(3), 276-279.
- Coşkun, İ., & Yücedağ, İ. (1998). Plc Ve Plc İle Rotoru Sargılı Asenkron Motora Yol Verme. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2), 121-128.

- ÇANKAYA, N., Arslan, D., & Elgun, A. (2016). *The effects of heating equipments on quality parameters of oil and waste oil generation in deep-frying process of donuts*. Paper presented at the 16th International Nutrition and Diagnostics Conference, Prague.
- Çengelci, B., & Çimen, H. (2005). Endüstriyel robotlar. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 69-78.
- Daş, E., Türköz, O., & Şanver, U. (2013). Altı Eksenli Endüstriyel Bir Robotun Dinamik Denklemlerinin Çıkarılarak Simülasyon ve Kontrolünün Gerçekleştirilmesi.
- De Silva, D. (1987). Reactions to Robots, Engineering: April.
- DİLİBAL, S., & ŞAHİN, H. (2018). İŞBİRLİKÇİ ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR VE DİJİTAL ENDÜSTRİ. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(1), 86-96.
- Dişlitaş, S. (2015). Endüstriyel Robot Programlama. *Baskı, Endüstriyel Robot Programlama Eğitimi ile Mesleki ve Teknik Eğitim Güçlendirilmesi (ERPE-METEG) Projesi, Çorum*.
- Dusawar, R., & Lalwani, K. K. (2015). PLC based Dam Automation System.
- Eke, İ. (2011). Diferansiyel evrim algoritması destekli yapay sinir ağı ile orta dönem yük tahmini. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 3(1), 28-32.
- El Naser, Y. H., Karayel, D., Ozkan, S. S., & Atali, G. (2017). *Talaşlı İmalatta Otomatik Çapak Alma İşlemi için Endüstriyel Robot Kol Tasarımı*. Paper presented at the 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku-Azerbaijan).
- ERSÖZ, H. (2007). *ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR VE UYGULAMA ALANLARI* (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Fenghua, Z., Baoling, H., Qingsheng, L., Lin, S., & Lin, H. (2009). Control system design of palletizing robot based on PLC technology [J]. *Computer Measurement & Control*, 11, 027.
- Gök, G. V., & Afyon, Ç. (1999). KAYNAK UYGULAMALARINDA ROBOT TEKNOLOJİSİ.
- Gulcu, S., & Kodaz, H. (2017). The estimation of the electricity energy demand using particle swarm optimization algorithm: A case study of Turkey. *8th International Conference on Advances in Information Technology*, 111, 64-70. doi:10.1016/j.procs.2017.06.011
- He, W., Zhao, Y., Tang, H., Sun, C., & Fu, W. (2016). A wireless BCI and BMI system for wearable robots. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 46(7), 936-946.
- Hrstka, O., & Kučerová, A. (2004). Improvements of real coded genetic algorithms based on differential operators preventing premature convergence. *Advances in Engineering Software*, 35(3-4), 237-246.
- HU, Z.-h., CHEN, H.-m., XU, M.-x., WANG, X.-f., & LI, H.-z. (2006). Programming method for arc welding robot of MOTOMAN teaching [J]. *Electric Welding Machine*, 3, 011.
- İbrahim, M. H. (2010). *SCADA sistemi kullanarak petrol depolama ve dağıtım hatlarının kontrolü ve otomasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Jeong, H. S., Ji, S. H., Jung, H. S., & Koo, J. C. (2017). *Design of SW architecture for PLC integrated robot*. Paper presented at the Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2017 14th International Conference on.
- Kahveci, E. (2007). *Endüstriyel veri iletişim sistemlerinde bir profinet uygulaması*. (Yüksek Lisans Tezi), Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kara, A. H., & Orak, M. (2008). Enflasyon hedeflemesi. *Krizler, Para ve İktisatçılar*, Ed. Ercan Kumcu, Istanbul: Remzi Kitabevi, 81-157.
- KARAYEL, M. (2013). *Mikrotip hidroelektrik santraller için plc tabanlı SCADA sistem otomasyonu ve RTU/PLC ile frekans ve gerilim regülasyonunun gerçekleştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kaur, S. (2015). *Role of SCADA in Hydro Power Plant AUTOMATION* (Vol. 4).
- Kavaklioglu, K., Ceylan, H., Ozturk, H. K., & Canyurt, C. E. (2009). Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks. *Energy Conversion and Management*, 50(11), 2719-2727. doi:10.1016/j.enconman.2009.06.016
- KILIÇ, S., & ALKAN, R. M. (2018). Dördüncü Sanayi Devrimi Endüstri 4.0: Dünya ve Türkiye Değerlendirmeleri. *Journal of Research*, 2(3), 29-49.
- Kiran, M. S., Ozceylan, E., Gunduz, M., & Paksoy, T. (2012). A novel hybrid approach based on Particle Swarm Optimization and Ant Colony Algorithm to forecast energy demand of Turkey. *Energy Conversion and Management*, 53(1), 75-83. doi:10.1016/j.enconman.2011.08.004
- Koc, E., Unver, E., & Ozturk, H. (1990). Design, manufacture and performance research of double acting hydraulic press. *Journal of Engineers and Machinery*, 31(367), 23-30.
- Köse, F., Kaplan, K., & Ertunç, H. M. (2013). PID ve bulanık mantık ile DC motorun gerçek zamanda STM32F407 tabanlı hız kontrolü. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013*, 26-28.
- Kulkarni, S. L., & Elango, M. (2013). DEVELOPMENT OF PLC BASED CONTROLLER FOR BOTTLE FILLING MACHINE.
- Kurtulan, S. (2001). *PLC ile endüstriyel otomasyon*: Birsen Yayınevi.
- Lakhoua, M. N. (2009). Application of Functional Analysis on a SCADA system of a Thermal Power Plant. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 9(2), 90-98.
- Li, Z., Wang, B., Sun, F., Yang, C., Xie, Q., & Zhang, W. (2014). sEMG-based joint force control for an upper-limb power-assist exoskeleton robot. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 18(3), 1043-1050.
- Manjunath, R. M., & Raman, S. J. (2011). Fuzzy adaptive PID for flow control system based on OPC. *International Journal of Computer Applications 2011*, 1, 5-8.
- MEGEP, E. E. T. A. (2012). Robotik: Ankara.
- Mirzaoğlu, İ., & Sarıtaş, M. (2008). PLC VE SCADA Kullanarak Bir İrmik Üretim Sisteminin Otomasyonu.
- Morsi, I., & El-Din, L. M. (2014). SCADA system for oil refinery control. *Measurement*, 47, 5-13.
- Moyo, M., Tumbudzuku, W., & Manyunga, N. (2015). An Automatic Boiler Control And Steam Leak Detection System Monitored By Scada: NUST.
- Nandaniya, M. (2013). A Review Paper of Automatic Canal Gate Control of 3-ø Induction Motor with PLC and VFD, Powered by Solar System and Monitoring

- by SCADA. *International Journal of Emerging Trends in Electrical and Electronics (IJETEE-ISSN: 2320-9569)*, 1(1), 32-39.
- Niola, V., Rossi, C., & Savino, S. (2007). Vision system for industrial robots path planning. *International journal of Mechanics and control*, 8(1), 35-45.
- Oğuz, H., Özcan, M., Yağcı, M., & Özkan, A. O. (2015). Automation of the Two Stage Biodiesel Production Process/İki Aşamalı Biyodizel Üretim Süreci Otomasyonu. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 4(4), 254-260.
- Ohroku, H., Irawan, A., & Nonami, K. (2009). A 3D modeling for hydraulic-drive hexapod walking robot using 3D geometric technique with distributed numerical model. *Int J Autom Robot Auton Syst*, 9(1), 236.
- Özcan, M. (2004). *Otomasyon sistemlerinde PLC uygulamaları*: Atlas Yayın dağıtım.
- Özcan, M., Yağcı, M., & Alver, V. (2017). An alternative boom design and welding technique to minimize energy consumption during boom production. *Scientia Iranica. Transaction B, Mechanical Engineering*, 24(6), 2856-2863.
- Özer, M., & Türkyılmaz, S. (2005). Türkiye'de Enflasyon İle Enflasyon Belirsizliği Arasındaki İlişkinin Zaman Serisi Analizi. *Iktisat İşletme ve Finans*, 20(229), 93-104.
- Pai, S., Bansal, N., Desai, K., Doshi, A., Moharkar, D., & Pathare, M. (2017). *Intelligent PLC based transformer cooling control system*. Paper presented at the Nascent Technologies in Engineering (ICNTE), 2017 International Conference on.
- Panchal, P., Patel, A., & Barve, J. (2015). *PI control of level control system using PLC and LabVIEW based SCADA*. Paper presented at the Industrial Instrumentation and Control (ICIC), 2015 International Conference on.
- Peşkircioğlu, N. Otomasyon ve Entegre Kalite Kontrolü. *Verimlilik Dergisi*(15), 19-40.
- Priyadharson, A. S. M., Ganesan, R., & Surarapu, P. K. (2015). PLC–HMI Automation based Cascaded Fuzzy PID for Efficient Energy Management and Storage in Real Time Performance of a Hydro Electric Pumped Storage Power Plant. *Procedia Technology*, 21, 248-255.
- Priyanka, E., Maheswari, C., & Meenakshipriya, B. (2016). Parameter monitoring and control during petrol transportation using PLC based PID controller. *Journal of applied research and technology*, 14(2), 125-131.
- Rahman, S. S. U., Nayak, G. C., & Nayak, S. G. (2016). Programmable Logic Controller Application in Boiler Automation-A Case Study. *International Journal of Control Theory and Applications*, 9, 171-177.
- Rehg, J. A., & Sartori, G. J. (2009). *Programmable logic controllers*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Prentice Hall.
- Ribeiro, T., Garcia, I., Pereira, D., Ribeiro, J., Lopes, G., & Ribeiro, A. F. (2017). *Development of a prototype robot for transportation within industrial environments*. Paper presented at the Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), 2017 IEEE International Conference on.
- Sağlam, G. (2013). *Pem Yakıt Pili Bir Mikro-kojenerasyon Sistemi İçin Kendi Kendini Ayarlayan Pı Denetleyici*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sangeetha, A. L., Naveenkumar, B., Ganesh, A. B., & Bharathi, N. (2012). Experimental validation of PID based cascade control system through SCADA–PLC–OPC and internet architectures. *Measurement*, 45(4), 643-649.
- Schmidt, H., & Thierauf, G. (2005). A combined heuristic optimization technique. *Advances in Engineering Software*, 36(1), 11-19.

- Sheridan, T. B. (1992). *Telerobotics, automation, and human supervisory control*: MIT press.
- Shiakolas, P., Conrad, K., & Yih, T. (2002). On the accuracy, repeatability, and degree of influence of kinematics parameters for industrial robots. *International journal of modelling and simulation*, 22(4), 245-254.
- Shin, S.-O., Kim, D., & Seo, Y.-H. (2014). *Controlling mobile robot using imu and emg sensor-based gesture recognition*. Paper presented at the Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), 2014 Ninth International Conference on.
- Simatic, Ø. S. (2000). PLC S7-200 Öğretim Kitabı: İstanbul.
- Simoni, L., Beschi, M., Legnani, G., & Visioli, A. (2015). *Friction modeling with temperature effects for industrial robot manipulators*. Paper presented at the Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ International Conference on.
- Sonmez, M., Akgungor, A. P., & Bektas, S. (2017). Estimating transportation energy demand in Turkey using the artificial bee colony algorithm. *Energy*, 122, 301-310. doi:10.1016/j.energy.2017.01.074
- Standard, I. (1994). 8373. *Manipulating industrial robots–Vocabulary*.
- Storn, R., & Price, K. (1995). Differential evolution-A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces [R]. *Berkeley: ICSI*.
- Stückelmaier, P., Grotjahn, M., & Fräger, C. (2017). *Iterative improvement of path accuracy of industrial robots using external measurements*. Paper presented at the Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2017 IEEE International Conference on.
- Takahashi, T., Nagato, K., Suzuki, M., & Aoyagi, S. (2013). *Flexible vacuum gripper with autonomous switchable valves*. Paper presented at the Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on.
- Tedas. (2018). Turkey's Electricity price. Retrieved from [http://www.tedas.gov.tr/#!tedas\\_tarifeler](http://www.tedas.gov.tr/#!tedas_tarifeler)
- Toksari, M. D. (2009). Estimating the net electricity energy generation and demand using the ant colony optimization approach: Case of Turkey. *Energy Policy*, 37(3), 1181-1187. doi:10.1016/j.enpol.2008.11.017
- Toksari, M. D. (2016). A hybrid algorithm of Ant Colony Optimization (ACO) and Iterated Local Search (ILS) for estimating electricity domestic consumption: Case of Turkey. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 776-782. doi:10.1016/j.ijepes.2015.12.032
- Tuik. (2018). Turkey's GDP. Retrieved from [http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=2218](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=2218)
- Türedi, A. T., & Bircan, D. A. (2016). ENDÜSTRİYEL ROBOTİK OTOMASYON SİSTEMLERİNDE GÖRÜLEN HATALARIN VE SİSTEM GÜVENİLİRLİĞİNİN HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ YÖNTEMİ İLE ANALİZİ. *Engineer & the Machinery Magazine*(672).
- Unler, A. (2008). Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025. *Energy Policy*, 36(6), 1937-1944. doi:10.1016/j.enpol.2008.02.018
- Urrea, C., & Pascal, J. (2018). Design, simulation, comparison and evaluation of parameter identification methods for an industrial robot. *Computers & Electrical Engineering*, 67, 791-806. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.09.004>

- USALAN, M. A. S. (2015). *Bir endüstriyel fırın otomasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Wang, L., Hu, H., Ai, X.-Y., & Liu, H. (2018). Effective electricity energy consumption forecasting using echo state network improved by differential evolution algorithm. *Energy*, 153, 801-815.
- Wang, S., Zhang, C., Liu, C., Li, D., & Tang, H. (2017). Cloud-assisted interaction and negotiation of industrial robots for the smart factory. *Computers & Electrical Engineering*, 63, 66-78. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.05.025>
- Webb, J. W., & Reis, R. A. (2002). *Programmable logic controllers: principles and applications*: Prentice Hall PTR.
- Yasuda, K. (2017). *The future vision of industrial robot*. Paper presented at the Power Semiconductor Devices and IC's (ISPSD), 2017 29th International Symposium on.
- Yıldız, A. (1996). *Robot denetimi için özgün bir el terminali tasarımı ve inşası*.
- Yumurtacı, Z., & Asmaz, E. (2004). Electric energy demand of Turkey for the year 2050. *Energy Sources*, 26(12), 1157-1164. doi:10.1080/00908310490441520
- Yücel, İ. H. (1991). Sanayide Robot Teknolojisi. *Uygulaması Ve Önemi*, DPT Yayınları, Ankara, Aralık.
- Zaharie, D. (2002). *Critical values for the control parameters of differential evolution algorithms*. Paper presented at the Proceedings of MENDEL.
- Zhang, H., Shi, Y., & Mehr, A. S. (2011). Robust static ÇIKIŞ feedback control and remote PID design for networked motor systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(12), 5396-5405.

**EKLER****EK-1** Endüstriyel Robot Kolu Yazılım Kodları

P001=-7.129988,-34.034904,27.277305,1.444951,92.910204,-  
7.220599,0.000000,0.000000;

P002=2.143110,17.065692,-7.655441,0.009586,80.242037,-  
118.556066,0.000000,0.000000;

P003=-0.138399,21.665975,0.451917,0.203221,67.585097,-  
150.000136,0.000000,0.000000;

P004=2.143110,17.670316,6.301146,0.010036,65.680881,-  
118.559413,0.000000,0.000000;

P005=2.143110,17.092087,-7.906901,0.009586,80.467202,-  
118.556365,0.000000,0.000000;

P006=-73.763128,-  
43.662063,53.457445,94.459059,74.727188,78.551646,0.000000,0.000000;

P007=-  
81.315494,20.265314,8.216464,95.170783,83.124234,53.861765,0.000000,0.000000;

P008=-  
77.370327,21.552145,6.450690,97.021886,79.618214,53.973260,0.000000,0.000000;

P009=-  
76.516601,21.901543,5.986709,97.417987,78.855684,53.992550,0.000000,0.000000;

P010=-  
81.681708,20.161933,8.279269,94.988323,83.442155,53.935122,0.000000,0.000000;

P011=-80.724343,28.902932,-  
12.456615,93.792823,81.633410,65.928324,0.000000,0.000000;

P012=-82.095701,29.625477,-  
13.723809,93.326054,82.913327,66.558719,0.000000,0.000000;

P013=-81.024896,29.030014,-  
9.446272,94.134824,82.134848,53.087811,0.000000,0.000000;

P014=-80.816646,24.330556,-6.357091,93.840931,81.797382,-  
51.077124,0.000000,0.000000;

P015=9.930633,37.749924,-39.158229,-  
0.569744,90.630797,30.075286,0.000000,0.000000;

P016=-79.024940,24.754348,-6.941002,94.386424,80.085984,-  
51.037879,0.000000,0.000000;

P017=-77.132605,25.563543,-8.046600,94.932423,78.264864,-  
50.886490,0.000000,0.000000;

P018=-81.338033,23.955116,-5.857289,93.693133,82.301392,-  
51.167775,0.000000,0.000000;

P019=-73.476177,-43.517785,51.752515,93.525679,74.012186,-  
96.472831,0.000000,0.000000;

P020=-6.473823,-33.523508,57.252014,-  
4.060538,64.718717,81.646060,0.000000,0.000000;

P021=-6.473823,-29.775640,64.498561,-  
4.553305,53.755148,82.605653,0.000000,0.000000;

P022=-6.473823,-34.511978,49.272193,-  
3.825395,73.666198,80.987318,0.000000,0.000000;  
P023=-6.353175,22.155849,-0.048029,0.236942,67.618664,-  
156.227603,0.000000,0.000000;  
P024=-4.476505,17.378405,4.794471,0.053198,67.482200,-  
125.195750,0.000000,0.000000;  
P025=-4.476505,16.899940,-5.353073,0.050051,78.108318,-  
125.184949,0.000000,0.000000;  
P026=-4.476505,17.000823,-6.711726,0.050500,79.366330,-  
125.184174,0.000000,0.000000;  
P027=43.617777,-14.797626,30.289657,84.205674,107.048311,-  
103.257148,0.000000,0.000000;  
P028=70.756642,34.644518,-14.519414,83.531041,106.135981,-  
174.656034,0.000000,0.000000;  
P029=56.137688,1.248080,27.353587,78.427802,112.688126,-  
116.267522,0.000000,0.000000;  
P030=67.383488,36.656541,-17.450165,82.564617,109.398877,-  
174.103900,0.000000,0.000000;  
P031=70.218043,35.086075,-15.179271,83.393461,106.663544,-  
174.490001,0.000000,0.000000;  
P032=67.282793,37.830038,-19.330728,82.776604,109.585341,-  
173.370418,0.000000,0.000000;  
P033=67.672705,37.210389,-15.197434,79.752787,109.306495,-  
117.170699,0.000000,0.000000;  
P034=67.712247,36.013731,0.410578,75.255014,106.136591,-  
131.933566,0.000000,0.000000;  
P035=67.999150,35.159657,-3.647177,76.855943,107.089991,-  
126.898517,0.000000,0.000000;  
P036=2.143110,17.379300,4.960921,0.010036,67.311990,-  
118.558880,0.000000,0.000000;  
P037=65.333733,31.878410,6.728305,74.966966,107.337554,-  
191.836937,0.000000,0.000000;  
P038=67.362513,30.300208,9.191036,76.109085,105.592588,-  
192.317865,0.000000,0.000000;  
P039=68.909601,29.260411,10.721302,77.044442,104.321905,-  
192.525134,0.000000,0.000000;  
P040=65.851975,31.414614,7.536339,75.222015,106.860700,-  
192.073400,0.000000,0.000000;  
P041=44.834916,-17.000678,51.930053,47.600415,112.244247,-  
149.793091,0.000000,0.000000;  
P042=31.031501,-18.604063,21.068324,1.761396,87.785936,-  
159.775630,0.000000,0.000000;  
P043=-31.895814,-6.088801,37.537127,-0.040621,61.038251,-  
33.951615,0.000000,0.000000;  
P044=-31.895814,-1.250237,43.707392,-0.046466,50.029531,-  
33.941779,0.000000,0.000000;  
P045=-31.895814,-8.895396,25.353536,-0.036574,76.028944,-  
33.962503,0.000000,0.000000;

P046=-4.476505,17.713935,6.349001,0.053647,65.592063,-  
125.197418,0.000000,0.000000;  
P047=-10.830546,18.167795,-6.386553,0.087368,77.879886,-  
131.549664,0.000000,0.000000;  
P048=-10.830546,18.633734,3.337433,0.092314,67.690136,-  
131.566600,0.000000,0.000000;  
P049=-12.416054,23.903959,-2.346831,0.266616,68.195834,-  
162.298363,0.000000,0.000000;  
P050=-10.830546,18.933251,4.770692,0.093662,65.957139,-  
131.569648,0.000000,0.000000;  
P051=-10.830546,18.396179,-9.156172,0.086918,80.421753,-  
131.545277,0.000000,0.000000;  
P052=-17.900343,21.547028,-12.005450,0.130530,80.135990,-  
138.620182,0.000000,0.000000;  
P053=-17.900343,21.650595,-0.883279,0.138173,68.910423,-  
138.647583,0.000000,0.000000;  
P054=-19.288937,27.314060,-7.032119,0.294491,69.502860,-  
169.175080,0.000000,0.000000;  
P055=-17.900343,21.964874,0.848105,0.139972,66.864631,-  
138.652648,0.000000,0.000000;  
P056=-17.900343,22.160376,-16.553713,0.129631,84.071325,-  
138.611064,0.000000,0.000000;  
P057=-24.840423,35.048693,-34.343099,0.295840,89.105867,-  
174.628601,0.000000,0.000000;  
P058=-23.719995,25.996377,-18.221489,0.163351,81.917704,-  
144.439984,0.000000,0.000000;  
P059=-24.840291,31.581881,-13.253020,0.312884,71.483734,-  
174.722572,0.000000,0.000000;  
P060=-23.719995,25.940455,-4.614745,0.174142,68.367116,-  
144.480724,0.000000,0.000000;  
P061=-23.719995,26.203287,-19.646722,0.162901,83.136208,-  
144.436341,0.000000,0.000000;  
P062=-29.078730,32.033108,-26.823528,0.206335,84.719092,-  
149.774373,0.000000,0.000000;  
P063=-29.078730,31.038150,-13.689088,0.215327,72.579795,-  
149.819758,0.000000,0.000000;  
P064=-29.855254,37.779235,-22.468334,0.323715,74.528373,-  
179.724055,0.000000,0.000000;  
P065=-29.078453,31.180089,-12.107104,0.217753,70.856405,-  
149.826214,0.000000,0.000000;  
P066=-29.078453,32.308587,-28.247464,0.206513,85.868486,-  
149.769596,0.000000,0.000000;  
P070=-23.719995,25.718782,-6.113692,0.171894,70.087637,-  
144.475555,0.000000,0.000000;  
P071=71.140430,34.332279,3.666173,77.100193,103.109638,-  
132.838252,0.000000,0.000000;  
P072=70.918254,32.680578,1.732671,77.805623,104.063767,-  
129.277912,0.000000,0.000000;

```
P073=-79.597269,24.086094,-  
4.684298,93.969369,80.818317,24.094237,0.000000,0.000000;  
P074=-76.913991,25.137421,-  
6.753041,94.686039,78.209910,24.931367,0.000000,0.000000;  
P075=-76.913991,25.503595,-  
3.983124,95.330773,78.483791,21.740952,0.000000,0.000000;  
MAIN;  
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;  
SET R0 ,1 ;  
DOUT OT5 ,ON ;  
DELAY T0.2 ;  
DOUT OT5 ,OFF ;  
DOUT OT15 ,ON ;  
DOUT OT16 ,ON ;  
WAIT IN20 ,ON ,T0 ;  
WAIT IN23 ,ON ,T0 ;  
WAIT IN0 ,ON ,T0 ;  
LAB0:  
JUMP LAB1 ,IF R0 == 1 ;  
JUMP LAB2 ,IF R0 == 2 ;  
JUMP LAB3 ,IF R0 == 3 ;  
JUMP LAB4 ,IF R0 == 4 ;  
JUMP LAB5 ,IF R0 == 5 ;  
JUMP LAB6 ,IF R0 == 6 ;  
JUMP LAB0;  
LAB1 :  
WAIT IN0 ,ON ,T0 ;  
DOUT OT16 ,ON ;  
MOVJ P2 ,V80 ,Z2 ;  
MOVL P36 ,V300 ,Z1 ;  
WAIT IN23 ,ON ,T0 ;  
MOVL P4 ,V40 ,Z0 ;  
DELAY T0.4 ;  
DOUT OT16 ,OFF ;  
DELAY T0.5 ;  
WAIT IN22 ,ON ,T0 ;  
MOVL P5 ,V400 ,Z1 ;  
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;  
INC R0;  
JUMP LAB7 ;  
LAB2 :  
DOUT OT16 ,ON ;  
MOVJ P25 ,V80 ,Z2 ;  
MOVL P24 ,V300 ,Z1 ;  
WAIT IN23 ,ON ,T0 ;  
MOVL P46 ,V40 ,Z0 ;  
DELAY T0.4 ;  
DOUT OT16 ,OFF ;  
DELAY T0.5 ;
```

```
WAIT IN22 ,ON ,T0 ;
MOVL P26 ,V400 ,Z1 ;
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;
INC R0;
JUMP LAB7 ;
LAB3 :
DOUT OT16 ,ON ;
MOVJ P47 ,V80 ,Z2 ;
MOVL P48 ,V300 ,Z1 ;
WAIT IN23 ,ON ,T0 ;
MOVL P50 ,V40 ,Z0 ;
DELAY T0.4 ;
DOUT OT16 ,OFF ;
DELAY T0.5 ;
WAIT IN22 ,ON ,T0 ;
MOVL P51 ,V400 ,Z1 ;
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;
INC R0;
JUMP LAB7 ;
LAB4 :
DOUT OT16 ,ON ;
MOVJ P52 ,V80 ,Z2 ;
MOVL P53 ,V300 ,Z1 ;
WAIT IN23 ,ON ,T0 ;
MOVL P55 ,V40 ,Z0 ;
DELAY T0.4 ;
DOUT OT16 ,OFF ;
DELAY T0.5 ;
WAIT IN22 ,ON ,T0 ;
MOVL P56 ,V400 ,Z1 ;
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;
INC R0;
JUMP LAB7 ;
LAB5 :
DOUT OT16 ,ON ;
MOVJ P58 ,V80 ,Z2 ;
MOVL P70 ,V300 ,Z1 ;
WAIT IN23 ,ON ,T0 ;
MOVL P60 ,V40 ,Z0 ;
DELAY T0.4 ;
DOUT OT16 ,OFF ;
DELAY T0.5 ;
WAIT IN22 ,ON ,T0 ;
MOVL P61 ,V400 ,Z1 ;
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;
INC R0;
JUMP LAB7 ;
LAB6 :
DOUT OT16 ,ON ;
```

```
MOVJ P62 ,V80 ,Z2 ;
MOVL P63 ,V300 ,Z1 ;
WAIT IN23 ,ON ,T0 ;
MOVL P65 ,V40 ,Z0 ;
DELAY T0.4 ;
DOUT OT16 ,OFF ;
DELAY T0.2 ;
WAIT IN22 ,ON ,T0 ;
MOVL P66 ,V400 ,Z1 ;
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;
SET R0 ,1 ;
DOUT OT5 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT5 ,OFF ;
JUMP LAB7 ;
LAB7 :
JUMP LAB8 ,IF IN7 == ON ;
JUMP LAB9 ,IF IN14 == ON ;
JUMP LAB7 ;
LAB8 :
WAIT IN7 ,ON ,T0 ;
WAIT IN8 ,OFF ,T0 ;
DOUT OT15 ,ON ;
DOUT OT0 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT0 ,OFF ;
MOVJ P6 ,V80 ,Z1 ;
WAIT IN10 ,ON ,T0 ;
MOVL P7 ,V800 ,Z1 ;
WAIT IN20 ,ON ,T0 ;
MOVL P8 ,V300 ,Z0 ;
MOVL P9 ,V40 ,Z0 ;
DELAY T0.4 ;
DOUT OT15 ,OFF ;
WAIT IN21 ,ON ,T0 ;
DOUT OT9 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT9 ,OFF ;
WAIT IN4 ,ON ,T0 ;
DELAY T0.4 ;
MOVL P10 ,V400 ,Z1 ;
DOUT OT17 ,ON ;
MOVL P11 ,V60 ,Z0 ;
MOVL P73 ,V60 ,Z0 ;
MOVL P74 ,V60 ,Z0 ;
MOVL P75 ,V60 ,Z0 ;
DELAY T1 ;
MOVL P13 ,V60 ,Z0 ;
DOUT OT17 ,OFF ;
```

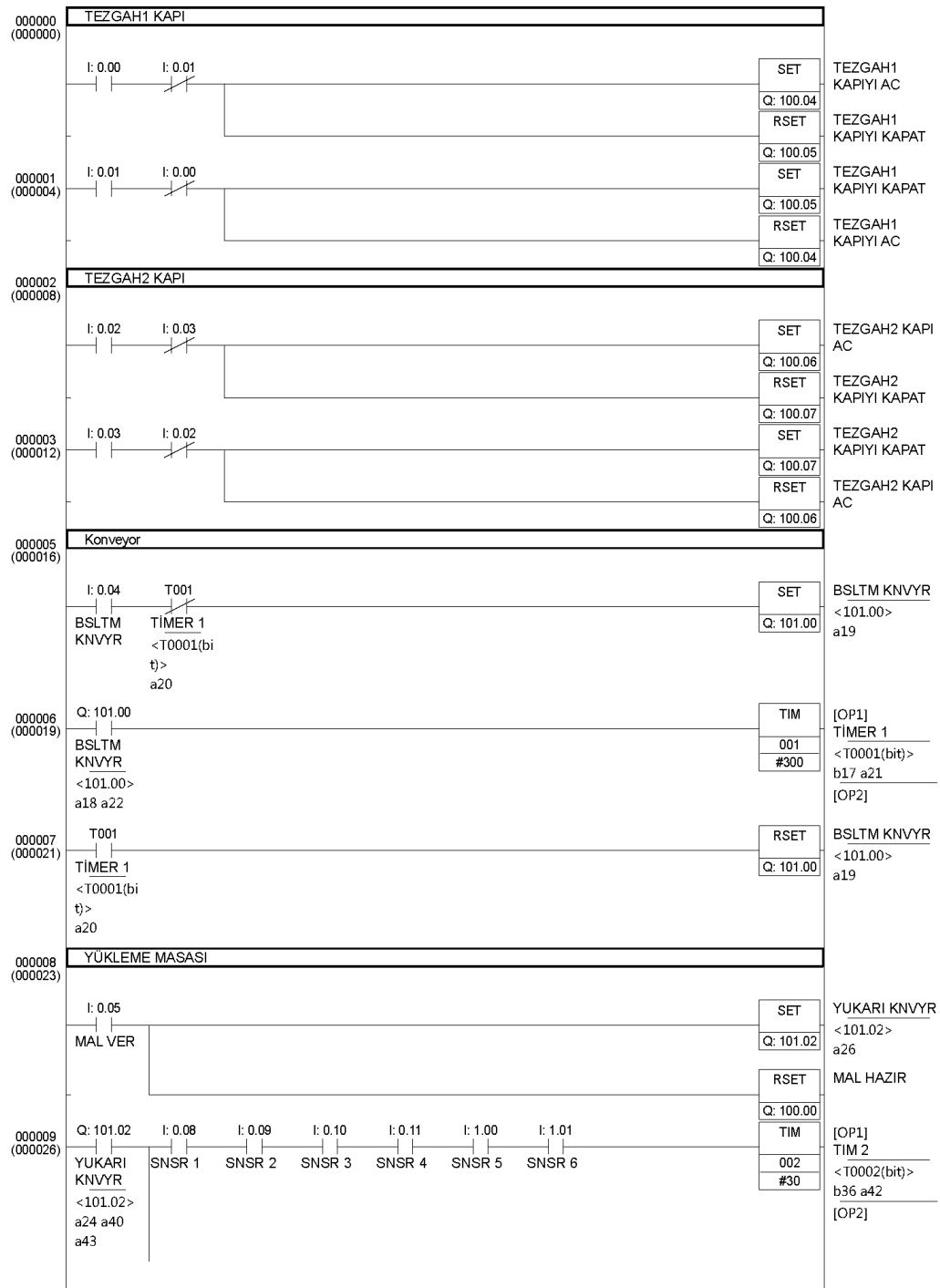
```
MOVJ P14 ,V80 ,Z0 ;
WAIT IN4 ,ON ,T0 ;
MOVL P16 ,V300 ,Z0 ;
MOVL P17 ,V40 ,Z0 ;
DOUT OT16 ,ON ;
WAIT IN23 ,ON ,T0 ;
DOUT OT9 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT9 ,OFF ;
WAIT IN5 ,ON ,T0 ;
DELAY T0.4 ;
MOVL P18 ,V400 ,Z0 ;
MOVL P19 ,V800 ,Z1 ;
DOUT OT1,ON;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT1 ,OFF ;
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;
WAIT IN9 ,ON ,T0 ;
DOUT OT8 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT8 ,OFF ;
JUMPLAB11 ;
LAB9 :
WAIT IN14 ,ON ,T0 ;
WAIT IN15 ,OFF ,T0 ;
DOUT OT15 ,ON ;
DOUT OT2 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT2 ,OFF ;
MOVJ P27 ,V80 ,Z1 ;
WAIT IN16 ,ON ,T0 ;
MOVL P29 ,V800 ,Z1 ;
MOVL P30 ,V800 ,Z1 ;
WAIT IN20 ,ON ,T0 ;
MOVL P31 ,V300 ,Z0 ;
MOVL P28 ,V40 ,Z0 ;
DOUT OT15 ,OFF ;
WAIT IN21 ,ON ,T0 ;
DOUT OT12 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT12 ,OFF ;
DELAY T0.4 ;
WAIT IN12 ,ON ,T0 ;
MOVL P32 ,V300 ,Z0 ;
MOVL P33 ,V600 ,Z1 ;
DOUT OT17 ,ON ;
MOVL P34 ,V60 ,Z0 ;
MOVL P71 ,V60 ,Z0 ;
DELAY T1 ;
```

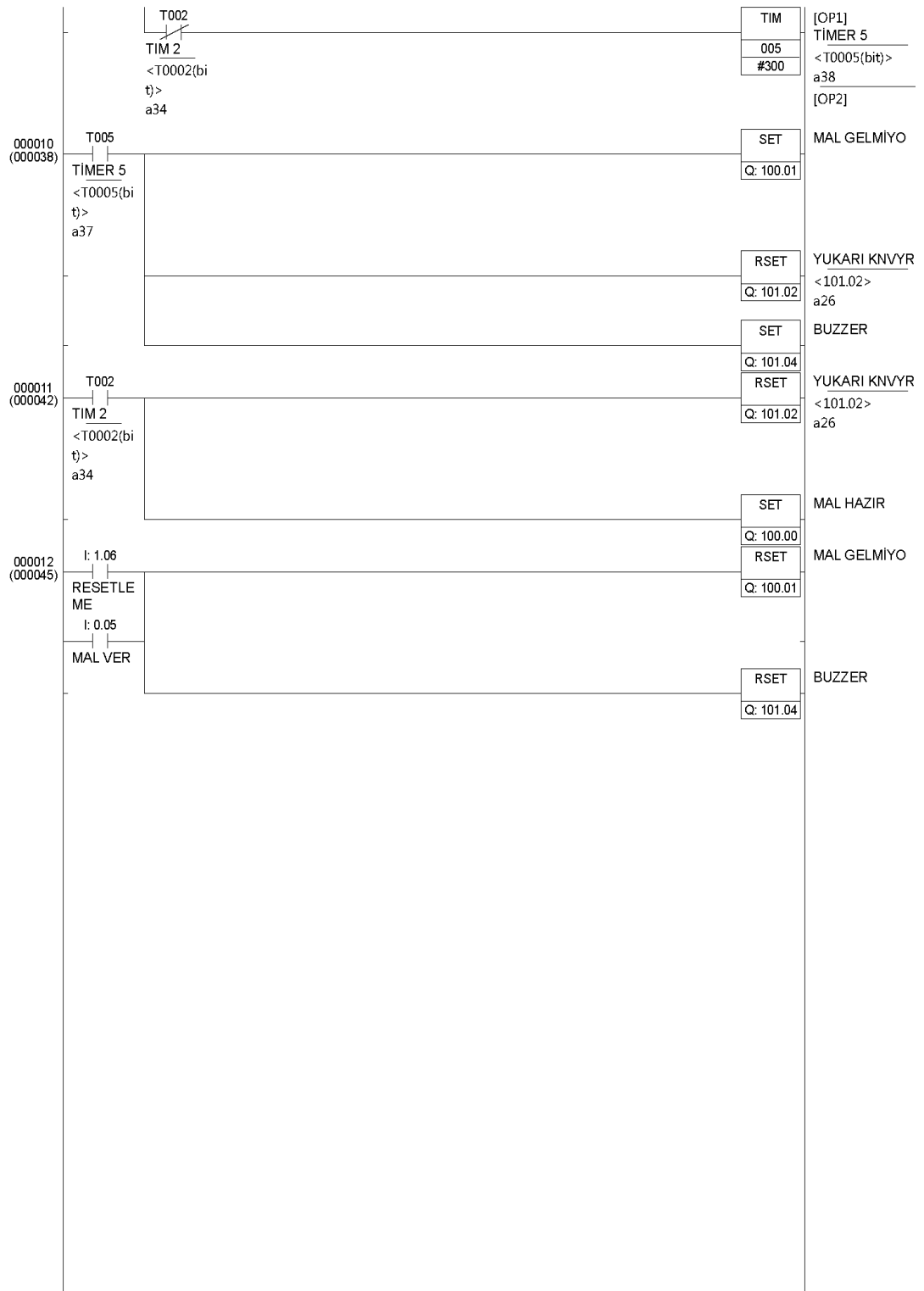
```
MOVL P72 ,V60 ,Z0 ;
MOVL P35 ,V60 ,Z0 ;
DOUT OT17 ,OFF ;
MOVL P37 ,V500 ,Z0 ;
WAIT IN12 ,ON ,T0 ;
MOVL P38 ,V300 ,Z0 ;
MOVL P39 ,V40 ,Z0 ;
DOUT OT16 ,ON ;
WAIT IN23 ,ON ,T0 ;
DOUT OT12 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT12 ,OFF ;
WAIT IN11 ,ON ,T0 ;
DELAY T0.4 ;
MOVL P40 ,V400 ,Z0 ;
MOVL P41 ,V800 ,Z2 ;
DOUT OT3 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT3 ,OFF ;
MOVJ P42 ,V80 ,Z2 ;
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;
WAIT IN17 ,ON ,T0 ;
DOUT OT11 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT11 ,OFF ;
JUMP LAB10 ;
LAB10 :
MOVJ P20 ,V60 ,Z2 ;
MOVL P21 ,V400 ,Z0 ;
DOUT OT15 ,ON ;
WAIT IN20 ,ON ,T0 ;
DELAY T0.4 ;
MOVL P22 ,V600 ,Z2 ;
MOVJ P1 ,V80 ,Z2 ;
DOUT OT4 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT4 ,OFF ;
JUMP LAB0 ;
LAB11 :
MOVJ P43 ,V60 ,Z2 ;
MOVL P44 ,V400 ,Z0 ;
DOUT OT15 ,ON ;
WAIT IN20 ,ON ,T0 ;
DELAY T0.4 ;
MOVL P45 ,V600 ,Z2 ;
MOVJ P1 ,V90 ,Z2 ;
DOUT OT4 ,ON ;
DELAY T0.2 ;
DOUT OT4 ,OFF ;
```

```
JUMP LAB0;  
END;
```



## EK-2 PLC LADDER Diyagramı





## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Enes EFE  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : MUSTAFAKEMALPAŞA/1990  
**Telefon** : 0544 221 02 39  
**Faks** :  
**e-mail** : [eeefe@konya.edu.tr](mailto:eeefe@konya.edu.tr)

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selçuklu Anadolu Lisesi	2009
Üniversite	: Mevlana Üniversitesi	2014
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi	2018
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

2014-2015	Ünver Asansör	Mühendis
2015	Çelik Elektrik	Mühendis
2016	Hitit Üniversitesi	Ar. Gör.
2017-Devam	NEÜ	Ar. Gör.

### UZMANLIK ALANI

Endüstriyel Otomasyon

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

E. EFE and M. ÖZCAN, 2018, "COMMON USE OF INDUSTRIAL ROBOTS AND PLC IN PRODUCTION," presented at the 3rd International Congress on 3D Printing (Additive Manufacturing) Technologies and Digital Industry 2018, ANTALYA, Türkiye.