

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENDÜSTRİYEL ROBOTLARDA KAYNAK  
YÖRÜNGESİNİN ANALİZİ VE KONTROLÜ**

**Hazırlayan  
Burak ULU**

**Danışman  
Prof. Dr. Şahin YILDIRIM**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2017  
KAYSERİ**

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ENDÜSTRİYEL ROBOTLARDA KAYNAK  
YÖRÜNGESİNİN ANALİZİ VE KONTROLÜ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Burak ULU**

**Danışman  
Prof. Dr. Şahin YILDIRIM**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından  
FYL-2016-6348 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Temmuz 2017  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Burak ULU



## YÖNERGEYE UYGUNLUK

Endüstriyel Robotlarda Kaynak Yörüngesinin Analizi ve Kontrolü adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Tezi Hazırlayan

Burak ULU



Danışman

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM



Mekatronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

Prof. Dr. Şahin YILDIRIM danışmanlığında **Burak ULU** tarafından hazırlanan “**Endüstriyel Robotlarda Kaynak Yörüngesinin Analizi ve Kontrolü**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Mekatronik Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

28.07.2017

**JÜRİ:**

Başkan : Prof. Dr. Şahin YILDIRIM



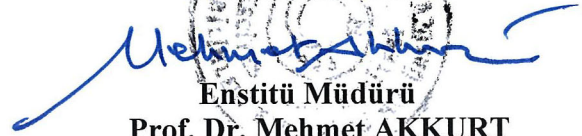
Üye : Doç. Dr. İkbal ESKİ



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hacı Ali ERTAŞ

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 01/08/2017 tarih ve 2017/32-13 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
Enstitü Müdürü  
Prof. Dr. Mehmet AKKURT

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Prof. Dr. Şahin YILDIRIM' a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı başta eşim Banu ULU ve saygıdeğer Arş. Gör. Sertaç SAVAŞ, Arş. Gör. Abdullah GÖÇER hocalarıma, ayrıca bu zorlu süreçte gösterdikleri anlayıştan dolayı tüm aileme, dostlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışması sürecinde maddi destek imkanı veren Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na (Başvuru No: 1649B021507250, Program Kodu: 2210-C) ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FYL-2016-6348) teşekkür ederim.

Burak ULU

Kayseri, Temmuz 2017

# ENDÜSTRİYEL ROBOTLARDA KAYNAK YÖRÜNGESİNİN ANALİZİ VE KONTROLÜ

**Burak ULU**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2017  
Danışman: Prof. Dr. Şahin YILDIRIM**

## ÖZET

Her geçen gün endüstride robotların kullanımı hızla artmaktadır. Özellikle, robotik kaynak işlemi sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstride robotların kullanımının bu şekilde artması sonucu çok sayıda araştırma, geliştirmelere faaliyetine ihtiyaç duyulmuştur. Özellikle bu robotların, uzaktaki harici bir bilgisayar tarafından kontrol edilmesi ve kaynak kalitesini artırmak için otomatik yörünge planlama konuları bu çalışmalar arasında dikkat çekmektedir .

Bu deneysel çalışma optimum kaynak yörüngesi planlaması için görüntü işleme tekniğini de kullanarak yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yeni yaklaşım kaynak yolu yörüngesini, imalat hatalarından kaynaklı hatalardan etkilenmeden oluşturmaktadır. İlk olarak, robotla bilgisayar arasında bir haberleşme protokolü geliştirilmiştir. Bu arayüzün geliştirilmesinde önceki çalışmalarda geliştirilen yazılım kütüphanelerinden faydalanılmıştır. Daha sonra, otomatik olarak kaynak yolunun üretilmesi için matlab programı üzerinden görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Bu tekniğin kullanılması sonucu oluşan yörünge hataları geliştirilen sinir ağı modeli ile giderilerek optimum sonuç elde edilmiştir.

Sonuçlar, numuneler üzerinde incelemeler yapılarak değerlendirildi. Değerlendirme kriteri olarak, kaynağın homojen yapısı, kalitesi, üretim zamanı, enerji sarfiyatı dikkate alınmıştır. Değerlendirme yöntemi olarak da çekme testleri, gözlemsel değerlendirme, matematiksel hesaplamalar yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Robotik ark kaynağı, sinir ağları, yörünge planlama, endüstriyel robotlar.

# ANALYSIS AND CONTROL OF WELD SEAM TRAJECTORY ON THE ROBOT MANIPULATORS

**Burak ULU**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**M.Sc. Thesis, July 2017**

**Supervisor: Prof. Dr. Şahin YILDIRIM**

## ABSTRACT

Recently, the use of robots is continuously increasing in industry. Especially, robotic welding is widespread used as manufacturing process. Because of this increase in the use of robots in the industry, there is a need to study on a number of improvements. In particular, it is significant to robot controlling via computer and autonomous trajectory planning for enhance the welding quality.

This experimental research presents a new approach using image processing for detect location of welding seam for the planning optimal trajectory. This new study provides the weld seam trajectory to be created without being affected by manufacture faults. Firstly, communication interface between the robot and the computer is developed by using previous related software library. Then, the weld seam trajectory are automatically generated using image processing via Matlab and reference points are determined on the trajectory for tracking of the manipulator. Furthermore, the related parameters are tested with neural network predictor to predict optimal trajectory on resulting image using image processing.

The results show that this approach improved that neural network predictor can increase trajectory accuracy for quality welding process.

**Keywords:** Robotic arc welding, Neural Network, Trajectory planning, Industrial Robots.

## İÇİNDEKİLER

### ENDÜSTRİYEL ROBOTLARDA KAYNAK YÖRÜNGESİNİN ANALİZİ VE KONTROLÜ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK .....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK .....	ii
ONAY .....	iii
TEŞEKKÜR .....	iv
ÖZET .....	v
ABSTRACT .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	x
TABLolar LİSTESİ .....	xii
<b>GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>

#### 1.BÖLÜM

##### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

<b>1.1. Temel Kavramlar .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Literatür Araştırması .....</b>	<b>2</b>

#### 2. BÖLÜM

##### GEREÇ VE YÖNTEMLER

<b>2.1. Giriş .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Endüstriyel Robotlar .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1. Endüstriyel Robot Çeşitleri .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1.1. Kartezyen Robotlar (Lineer Robotlar) .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.1.2. Silindirik Robotlar .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.1.3. Küresel (Polar) Robotlar .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.1.4. SCARA Robotlar .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.1.5. Antropomorfik Robot Manipülâtör .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.1.6. Paralel Robotlar .....</b>	<b>13</b>

2.2.2. Endüstride Robotların Kullanım Alanları .....	14
2.3. KUKA Tipi Endüstriyel Robot Manipülatörü .....	16
2.3.1. Robot Manipülatörün Teknik Parametreleri .....	19
2.3.2. Harici Kontrolör ile Robot Arasındaki Haberleşme Yöntemleri .....	20
2.3.2.1. Seri Arayüz Üzerinden Haberleşme .....	20
2.3.2.2. Harici Modül Üzerinden Haberleşme .....	20
2.3.2.3. Komut Kanalı Üzerinden Haberleşme .....	21
2.4. Kamera Sistemi .....	21
2.5. Test Numuneleri .....	22

### 3. BÖLÜM

#### DENEYSSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN METHODLAR

3.1. Görüntü İşleme Yöntemi ile Kaynak Yolunun Tespit Edilmesi .....	23
3.1.1. Giriş .....	23
3.1.2. Görüntü İşleme Nedir? .....	23
3.1.2.1. Görüntü İşleme Adımları .....	25
3.1.3. Dijital Görüntü İşlemede Kenar Belirleme Yöntemleri .....	26
3.1.3.1. Türeve Dayalı Kenar Belirleme Yöntemleri .....	27
3.1.3.1.1. Prewitt Kenar Belirleme Operatörü .....	27
3.1.4. Yapılan Çalışma .....	28
3.2. YSA Kullanarak Elde Edilen Görüntünün İyileştirilmesi .....	30
3.2.1. Giriş .....	30
3.2.2. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri .....	30
3.2.3. Yapay Sinir Hücresinin Ağ Yapısı ve Çalışma Prensibi .....	31
3.2.4. Bir Yapay Sinir Ağı Tasarımı İçin İzlenecek Adımlar .....	33
3.2.5. Yapay Sinir Ağları Ağ Yapıları .....	34
3.2.5.1. Tek Katmanlı Ağ Yapıları .....	34
3.2.5.2. Çok Katmanlı Ağ Yapıları .....	35
3.2.6. Yapılan Çalışma .....	35
3.2.6.1. SCG Algoritması .....	37

## 4. BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Giriş .....	38
4.2. Deneyde Kullanılacak Test Malzemelerinin Hazırlanması .....	38
4.3. Görüntü İşleme Tekniği ile Kaynak Yolunun Tespit Edilmesi .....	39
4.3.1. Kamera Kullanarak İş Parçasından Görüntü Elde Edilmesi .....	39
4.3.2. Prewitt Kenar Algılama Algoritmasının Uygulanması .....	41
4.3.3. Görüntünün İstenilen Boyutlara Getirilmesi .....	41
4.4. Görüntü Üzerindeki Hataların Giderilmesi için Sinir Ağı Modelinin Geliştirilmesi .....	43
4.5. Pozisyon Bilgilerinin Bilgisayar üzerinden Robota Gönderilmesi .....	44
4.6. Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması .....	45
4.6.1. Kaynatılan İş Parçasının Çekme Deneyi ile Test Edilmesi .....	45
4.6.1.1. Numunelerin Hazırlanması .....	46
4.6.1.2. Laboratuvar Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	47

## 5. BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR .....	52
ÖZGEÇMİŞ .....	55

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Deneysel sistemin genel bir görünümü .....	6
Şekil 2.2.	Unimate firması tarafından üretilen ilk endüstriyel robot kol prototipi .....	7
Şekil 2.3.	Kartezyen robot kol .....	9
Şekil 2.4.	Silindirik robot kol .....	10
Şekil 2.5.	Küresel robot kol .....	11
Şekil 2.6.	Scara tipi robot kol .....	12
Şekil 2.7.	Antropomorfik robot manipülatör ve eksen serbestlikleri .....	12
Şekil 2.8.	Paralel tip robot kol .....	13
Şekil 2.9.	Çift kol robot mekanizması .....	13
Şekil 2.10.	Endüstriyel robotların uygulama alanları .....	14
Şekil 2.11.	(a) KUKA KR6 robot manipülatörü -(b) Fronius kaynak kontrol ünitesi ..	16
Şekil 2.12.	i. ve i-1. eklemler arasında eklem değişkenlerinin belirlenmesi .....	17
Şekil 2.13.	KUKA KR6 robot manipülatörün kinematik parametrelerinin Belirlenmesi .....	18
Şekil 2.14.	KUKA KR6 robot manipülatörü hareket eksenleri .....	19
Şekil 2.15.	Seri arayüz üzerinden haberleşme .....	20
Şekil 2.16.	Harici arayüz üzerinden haberleşme .....	20
Şekil 2.17.	Komut kanalı üzerinden haberleşme .....	21
Şekil 2.18.	Deneyde kullanılan kamera sistemi .....	22
Şekil 2.19.	Test numunesi- (a) Perspektif görünüş (b) Üstten görünüş .....	22
Şekil 3.12.	(a) İkili Görüntü- (b) Gri düzey görüntü .....	24
Şekil 3.2.	Görüntü İşleme Adımları .....	26
Şekil 3.3.	Kenar belirleme maskeleri .....	26
Şekil 3.4.	Prewitt maskeleri .....	27
Şekil 3.5.	(a) Orijinal görüntü (b) Prewitt Gx (c) Prewitt Gy. ....	28
Şekil 3.6.	(a) Gri Görüntü- (b)Prewitt Algoritması Uygulanan Görüntü .....	28
Şekil 3.7.	Bwareaopen Fonksiyonu Kullanılmış Görüntü .....	29
Şekil 3.8.	(a)Kesilen Görüntü- (b)Minimize Edilen Görüntü .....	29
Şekil 3.9.	YSA şematik gösterimi .....	32
Şekil 3.10.	Geliştirilen sinir ağı modeli .....	36
Şekil 3.11.	SCG algoritması kullanılarak görüntünün iyileştirilmesinin görünümü ....	37
Şekil 4.1.	Deney parçalarının kaynak için hazırlanması .....	38

Şekil 4.2.	Sistemden görüntü alınmasını gösteren set-up .....	39
Şekil 4.3.	Kameradan elde edilen görüntü .....	40
Şekil 4.4.	Görüntünün gri forma dönüştürülmesi .....	40
Şekil 4.5.	Prewitt kenar algoritmasının uygulanması .....	41
Şekil 4.6.	(a) Kaynak yolunun elde edilmesi - (b) Görüntü boyutunun küçültülmesi .....	42
Şekil 4.7.	Sinir ağı modelinin şematik gösterimi .....	43
Şekil 4.8.	Bilgisayar ile KUKA robotun haberleşmesinin şematik gösterimi .....	45
Şekil 4.9.	(a)YSA uygulanmadan önce-(b)YSA uygulandıktan sonra elde edilen görüntü .....	45
Şekil 4.10.	(a) Operatör esaslı kaynaklı birleştirme- (b) Robotik destekli kaynaklı birleştirme .....	46
Şekil 4.11.	Çekme deney seti için numunelerin düzenlenmesi hali .....	47
Şekil 4.12.	Çekme deneyi laboratuvarı ve test süreci .....	47
Şekil 4.13.	Malzemenin gerilme-yüzde uzama grafiği .....	48
Şekil 4.14.	Malzemenin kuvvet-yüzde uzama grafiği .....	48

## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Endüstriyel robotların temel kullanım alanlarına yönelik fotoğraflar .....	15
Tablo 2.2.	Robotun D-H parametreleri .....	18
Tablo 2.3.	KUKA KR6 ark kaynağı robotunun teknik parametreleri .....	19
Tablo 3.1.	Çalışmadaki sinir ağı parametreleri .....	36
Tablo 4.1.	Çekme deneyi sonrası elde edilen sayısal değerler .....	49



## GİRİŞ

Teknolojik gelişmelere rağmen, özellikle robotik destekli kaynaklı birleştirmelerde: bir çok istenmeyen hatalar oluşabilmektedir. Bunun sonucu, özellikle hareketli(dinamik) kaynaklı birleştirmelerde, çatlaklara , kırılmalara ve büyük sonuçlar doğuracak kazalara sebebiyet vermektedir.

Bu tez çalışmasında, temel olarak simülasyon ve deneysel çalışmalar doğrultusunda günümüz endüstrisinde son derece büyük öneme sahip robotlu kaynak prosesi için görülen kaynak hatalarını minimize edici metotların geliştirilmesi üzerine bilimsel çalışmalar içermektedir.

Operatör esaslı kaynaklarda daha çok yığılmalı ve yörünge dışına çıkan kaynak hataları olmaktadır. Buna ek olarak çok iyi ark sağlanamadığından hatalı ve tekrar gerektiren kaynaklar da oluşabilmektedir. Bu nedenle, deneysel tez çalışmasında tam otomasyonlu ve kamera görüntü sistemi ile çok iyi performanslı ve kaliteli kaynaklı birleştirme üzerine araştırma geliştirme yapılacaktır.

Kaynak kalitesinin yanı sıra, küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde, robotlu kaynak prosesinde karşılaşılan temel problemlerden en önemlisi yeni bir iş için robot yörüngesinin programlanmasında harcanan zamandır [1]. Kaynatılacak her farklı numune için parametreler değişeceğinden, bundan dolayı robotun manuel olarak tekrar programlanması gerekmektedir. Bu sebepten doğan zaman kayıpları üretim verimliliği açısından sıkıntılar oluşturmaktadır. Buna ek olarak kaynatılacak parçalarda görülen, kaynak profili tipi, kaynak boyu ve şekil farklılığı, imalat hataları kaynak yörüngesinin değişmesine sebebiyet vermektedir. Bu problemler, belirlenen kaynak yörüngesinde adaptasyon ihtiyacı oluşturmaktadır. Bu deneysel tez çalışmasında, optimum kaynak yörünge ve parametrelerini tespit etmek üzerine yörünge ve en iyi kaynak şekli üzerinde geliştirmeler yapılacaktır.

## 1.BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

#### 1.1. Temel Kavramlar

Teknolojik gelişmelerin çok iyi düzeyde devam etmesine rağmen, özellikle metal parçaların kaynaklı birleştirilmesinde, kaynak profili tipi, kaynak boyu ve şekli farklılığından dolayı, homojen ve rijit bir kaynak yapısı sağlanamamaktadır. Bununla birlikte, operatör esaslı kaynaklarda, enerji sarfiyatı, kaynak kalitesi ve bekleme süresi nedeniyle çok iyi olamamaktadır. Ayrıca kaynaklı birleştirmede, farklı şekil formundaki parçaların birleştirilmesi farklılık göstermektedir. Yüksek ark etkisinden; birleştirilen metal parçaların uç bölgelerinde, deformasyon ve malzeme yorulması oluşabilmektedir.

Bu uygulamalı robotik destekli kaynaklı birleştirme proje çalışmasında, pozisyonlama ve optimum yörünge belirleme üzerine çalışılacaktır. Pozisyonlamada, kamera sistemi kullanılacak bir algoritma yardımıyla, optimum yörüngede en iyi kaynaklı birleştirme, doğrusal ve eğrisel yörüngeler için gerçekleştirilecektir. Bunun yanında; farklı kaynak profilleri de test edilerek, optimum enerji sarfiyatında, en homojen, rijit kaynak yapısı belirlenecektir.

Elde edilecek geliştirilmiş çalışmaların sonuçları, sanayide robotik kaynak otomasyonu alanında temel problemler olan yörünge planlama, optimum kaynak parametrelerini belirleme, zaman ve enerji kayıpları için bir çözüm sağlayacağı kaçınılmazdır.

#### 1.2. Literatür Araştırması

Endüstriyel kaynak robotlarıyla ilgili optimum kaynak kalitesinin elde edilmesi ve kaynak yörüngesi belirleme ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Soo Kim et al. [2] tarafından yapılan çalışmada, yapay sinir ağı (YSA) tekniği kullanılarak robotik gaz altı ark kaynağında optimum kaynak kalitesi elde edebilmek için kaynak parametrelerinin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple, iki farklı öğrenme algoritması, Error Backpropagation algoritması ve Levenberg-Marquardt algoritması, kullanılarak geliştirilen sinir ağı modelleri ile sonuçların doğruluğu karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak yapılan çalışmada, paso sayısı, kaynak hızı, kaynak akımı ve ark voltajı gibi parametreler yapay sinir ağı modeline giriş olarak ayarlanırken, çıkış katmanında kaynak genişliği bilgisi kullanılmıştır. Ağ yapısı eğitilirken 3 farklı paso, akım ve voltaj değerleri ve 12-50 cm/dk aralığındaki hız değerleri kullanılarak üretilen örneklerden faydalanılmıştır. Kullanılan bu giriş parametreleri sonucu oluşan kaynak genişliği metalurjik mikroskop arayüzü kullanılarak görüntü işleme yöntemi ile analiz edilmiş ve elde edilen veriler YSA yapısına çıkış olarak ayarlanmıştır. Deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen karşılaştırma sonuçları, Levenberg-Marquardt algoritmasının önerilen modeller için geçerli sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Dinham ve Fang [1,7] tarafından yapılan çalışmada, robotik ark kaynağı prosesinde kaynak bağlantılarının otonom olarak tespit edilebilmesi için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Bu yeni yaklaşım, şekli veya konumu hakkında herhangi bir ön bilgi olmadan kaynatılacak iş parçalarının eklem bağlantılarını adaptif olarak tespit edebilme yeteneğine sahiptir. Yüzey kusurlarını gidermek için ampirik olarak ayarlanmış piksel alanı temelli eşiklerin kullanılması yerine fiziksel olarak geometrisi milimetre cinsinden ölçülen ve sezgisel hale getirilen eşikler tercih edilmiştir.

Dinham et al. tarafından yapılan diğer çalışmada, robot ark kaynağı prosesinde görüntü işleme kullanarak otonom yörünge oluşturma uygulama projesi gerçekleştirilmiştir. İkili eşik görüntüsü ile elde edilen görüntü üzerinden sadece kaynak dikişi görüntüsünü ayırmak için ortalama filtre ve smooting teknikleri kullanılmıştır [3,5]. Bu deneysel çalışmada temel prensip olarak kaynak dikişinin görüntüden tespit edilebilmesi için köşe ve kenar algımla algoritmaları kullanılmıştır. Net bir yörünge elde etmek için başlangıç ve bitiş noktaları ile yörünge üzerinde bunları takip eden noktalar hazırlanan yazılımla üretilmeye çalışılmıştır. Uygulamada 2 kamera kullanılmış olup, sonuçlar kaynak yolunun tespiti için esnek yapıda çözümler sunmaktadır.

Shi ve Wang ise robotik kaynak işleminde lazer sensör kullanarak daha düzgün kaynak yolu takibinin olası durumu incelenmiştir. Elde edilen karşılaştırma sonuçları yöntemin başarısını göstermiştir [4]. Bu çalışmada daha çok su altı kaynak çalışmaları için otomatik kaynak yolu takip eden robotik bir sistem üzerinde durulmuştur. Su altında kaynak çalışmaları manuel olarak yapılması zor ve sonuçları açısından belirli bazı problemleri barındırmaktadır. Yapılan bu deneysel çalışma bu problemlere çözüm için umut vaad ediyor.

XZ ve SB tarafından yapılan çalışmada, kaynak robotunun başlangıç pozisyonunun tespit edilmesi üzerinde durulmuştur [6]. Kamera tarafından elde edilen sağ ve sol resim kullanılarak 3 boyutlu uzayda robotun pozisyonun belirlenmesi amaçlanmıştır. Daha sonra 2 adımda kaynak yolunun tespiti ve takibi işlemleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak kaynatılacak yörünge görüntü işleme tespit edilmiştir. İkinci aşamada ise kaynağın tipinin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Deneysel çalışmada S şeklinde kaynak yörüngesi üzerinde çalışılmış ve gayet başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Aggarwal et al. [8] yapay sinir ağlarını ters kinematik denklemin çözümünde kullanmışlardır. Robotun uç işlevcisinin konumunda yola çıkarak eksen açılarının hesaplanması ters kinematik denklemler kullanılarak mümkün olmaktadır. Bu işlem endüstriyel robotlarda sıkça tercih edilen 6 serbestlik dereceli modeller için son derece karmaşık çözümler içermektedir. Böylesine karmaşık bir hesaplama için bir yapay sinir ağı modeli oluşturularak ters kinematik çözümleme için yeni bir teknik sunulmuştur. Deneysel çalışmalar için PUMA-560 6 serbestlik dereceli robot kullanılmıştır.

Eski vd. ise robot manipülatörün çalışmasında karşılaşılan hataların belirlenebilmesi için bir yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir.[9]. Endüstride robotlu kaynak prosesinin artmasıyla beraber ortaya çıkan sorunlardan bir tanesi de uzun süreli kaynak yapan robotların eklemlerinde meydana gelen hatalardır. Bu hatalar robotun uç işlevcisinin etkilemekte dolayısıyla robotun hassasiyeti ve konumlamasıyla ilgili bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla bu da yapılan işin kalitesini düşürmekte ve imal edilen ürünlerle ilgili bazı sorunlar gözlenmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada robotun her bir eklemi üzerine bağlanan sensörler vasıtasıyla her bir eklem üzerinde meydana gelen titreşimler ve gürültü değeri ölçülmüş ve bu değerler ile oluşturulan yapay sinir ağı modeli eğitilmiştir. Elde edilen sinyallere ve bu sinyallerin istenilmeyen seviyelere

ulaşma durumuna göre durumuna göre robotun bakım zamanı yapay sinir ağı modeli tarafından tahmin edilebilmesi sağlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada KUKA firmasına ait KR6 model altı serbestlik dereceli bir endüstriyel robot kullanılmıştır. Bu alışma, özellikle robotlu kaynak prosesinde önemli bir problemi çözmeye yönelik son derece verimli sonuçlar ortaya koymuştur.

Francisco et al. endüstriyel robotlarda optimum yörüngenin belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir [10]. Bu çalışmada, sanayide robotların çalışma ortamın birbirleri ile veya diğer nesnelere ile çarpışmadan ve yapılan prosesin en etkili biçimde gerçekleştirilebilmesi için en ideal yörüngenin oluşturulmasını amaçlayan etkili bir algoritma geliştirilmiştir.

Sanfilippo et al. tarafından yapılan çalışmada, KUKA firmasına ait endüstriyel robotlar için bir haberleşme arayüzü gerçekleştirilmiştir [11]. Geliştirilen bu arayüz sayesinde robotun TCP/IP üzerinden bilgisayar kullanılarak uzaktan kontrol edilebilmesi mümkün olmuştur. Normalde robotun bilgisayar üzerinden kontrol edilebilmesi için KUKA firması tarafından satılan bir arayüzün kullanılması gerekiyordu. Fakat sağlanan bu arayüz ile yapılabilecek işlemler hep sınırlı olup hem de maliyet açısından dezavantaj oluşturmaktaydı. Daha önce de matlab üzerinden KUKA marka robotların kontrolü için arayüzler geliştirilmiş olsa da Francisco ve arkadaşları tarafından Java programlama dili kullanılarak geliştirilen bu platform sayesinde son derece esnek uygulamalar yapılabilmesi olası hale gelmiştir.

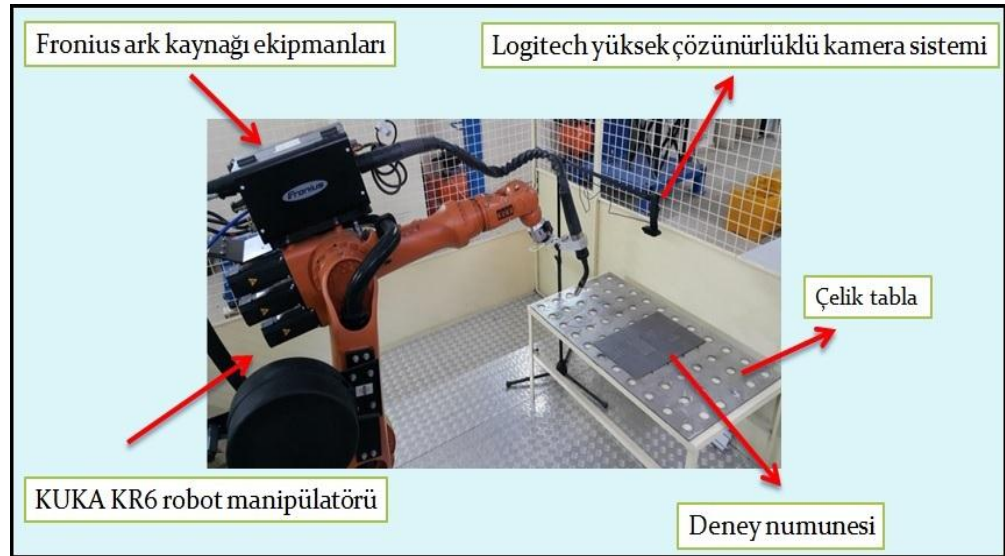
## 2. BÖLÜM

### GEREÇ VE YÖNTEMLER

#### 2.1. Giriş

Tez çalışması boyunca deneysel çalışmalar, bölümümüzün Mekatronik Sistemler Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda kurulan deneysel sistemin genel görünümü Şekil 2.1' de görülmektedir. Deneysel çalışmalar için hazırlanan sistem aşağıdaki ekipmanlarından oluşmaktadır:

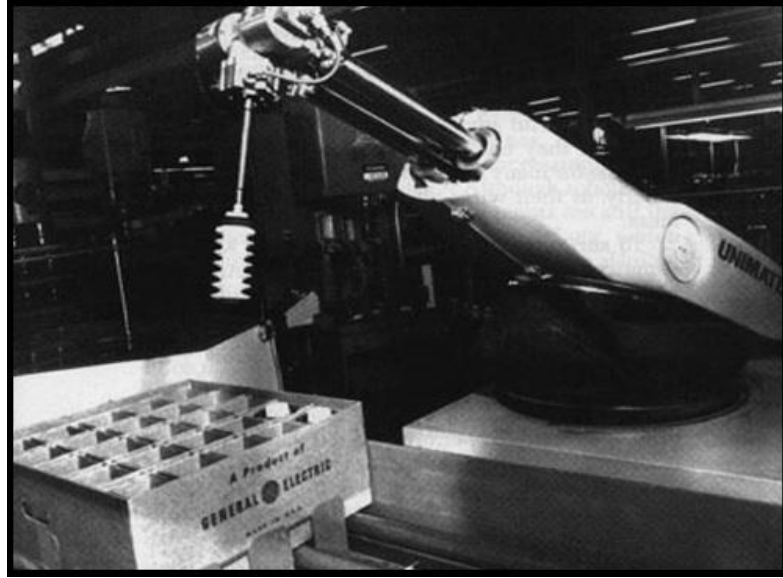
- Endüstriyel Robot Manipülatorü
- Kaynak Ekipmanları
- Çalışma Fikstürü
- Deney Numuneleri
- Kamera
- Görüntü İşleme ve Kontrol İşlemleri için Bilgisayar



Şekil 2.13. Deneysel sistemin genel bir görünümü

## 2.2. Endüstriyel Robotlar

Amerikan Robot Endüstrisi'nin 1979'da yaptığı tanıma göre robot, programlanmış hareketlerle malzemeleri uygulanacak prosese göre taşıyan veya işleyebilen, farklı işlevler için yeniden programlanabilen çok fonksiyonlu manipülatörlerdir [12]. Bu kavram Çekçe'de köle ve işçi anlamlarına gelmekle birlikte robotik ilk tasarımlar 1136-1208 yıllarında yaşamış olan, Leonardo da Vinci'ye dahi ilham kaynağı olduğu düşünülen, Ebû'l İz El Cezerî Müslüman Türk mucit tarafından gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise endüstriyel uygulamalardan, gündelik aktivitelere kadar kullanılan robotları diğer otomatik makinelerden ayıran en önemli fark tekrar programlanabilmeleridir. Yıllar içerisinde büyük gelişmeler gösteren robotik sistemler, en geniş kullanım alanını endüstriyel robot kollar ile yakalamışlardır. Bu sayede birçok amaç için kullanılabilen robotların şüphesiz en yaygın olanları endüstriyel robot kollarıdır. 1950'lerin sonunda Unimate tarafından ilk prototip Şekil 2.2 ile başlanan endüstriyel robot kol kullanımı, 2000'li yıllara doğru altı haneli rakamların üzerine çıkmıştır.



Şekil 14.2. Unimate firması tarafından üretilen ilk endüstriyel robot kol prototipi[13]

Bu robot kollar temel olarak 3 ana bileşenden oluşmaktadır;

**Eyleyiciler:** Robotun hareketini sağlayan tahrik elemanları olan eyleyiciler 3 ana başlıkta değerlendirilebilir; pnömatik tahrik, hidrolik tahrik ve elektrik motorları ile tahrik.

Robot kollar kullanım gereksinimlerine göre bu tahrik yöntemleri ile programlanmış hareketleri ve görevleri yerine getirebilmektedirler.

**Kontrolör:** Robotun bir nevi beynini oluşturan bu kısım, koşullara bağlı olarak hareket sinyallerini üreten, prosesin programlandığı kısımdır.

**Algılayıcılar:** Otomasyon sistemlerinin vazgeçilmezi olan algılayıcılar, robotik sistemler için de dış dünya ile haberleşme kanallarıdır. Kontrolör algılayıcılardan aldığı bilgileri yorumlayarak hareket şekline karar verir ve bu doğrultuda eyleyicilerini tetikleyerek, fiziki eylemlerini gerçekleştirir.

### 2.2.1. Endüstriyel Robot Çeşitleri

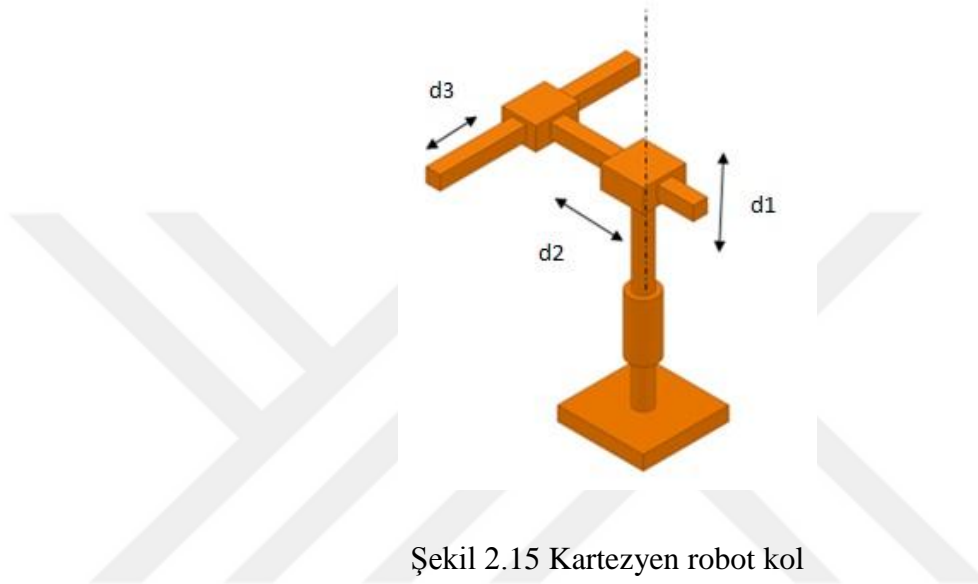
Birçok endüstriyel robot kol sınıflandırma yaklaşımı olmakla birlikte, robot kol üreticileri robotları mekanik yapılarına göre sınıflandırma konusunda hemfikir olmuşlardır. Mekanik yapılarına göre endüstriyel robotlar en temelde şu düzenlemlerle sınıflandırılabilir;

- Kartezyen robotlar (Lineer robotlar)
- Silindirik robotlar
- Küresel (polar) robotlar
- SCARA robotlar
- Antropomorfik robot Manipulatörler
- Paralel robotlar (delta)

#### 2.2.1.1. Kartezyen Robotlar (Lineer Robotlar)

Temel olarak 3 serbestlikte hareket eden kartezyen düzenlemeli robotlar sadece öteleme yapan kayar elemanlardan oluşmaktadır. Her bir eleman birbirine dik olan X, Y ve Z eksenlerinde hareket etmektedir. Sadece doğrusal hareket edebilen eksenler sebebiyle, yönlenme gibi hareketler sağlanamaz. Robotun yapısından küçük olan çalışma alanları dikdörtgen prizması şeklindedir. Dolayısıyla en kısıtlı hareket serbestliğine sahip robotlardır. Genellikle tutma, taşıma, montaj, sınıflandırma, istifleme işleri için

kullanılmaktadırlar. Basit yapıya sahip oldukları için, pozisyon hesaplamaları, üç işlevcinin konum hesabı, mafsalsal konum hesaplamaları ve hareket planlamaları oldukça kolaydır. Islak, nemli ve rutubetli ortamlarda kullanılabildikleri gibi ağır yüklerin taşınmasında da sıkça kullanılırlar. Kartezyen düzenleme sahip bir robot kolun eksen serbestlikleri Şekil 2.3' de görülmektedir.



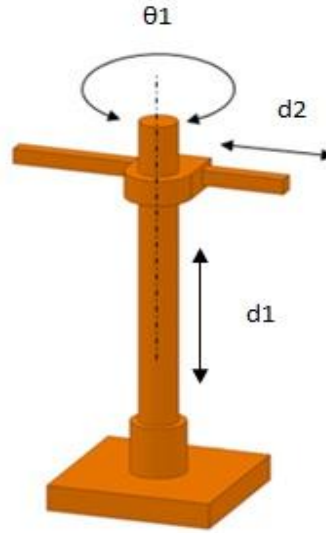
Şekil 2.15 Kartezyen robot kol

Küçük güç gerektiren Kartezyen robotlar genellikle pnömatik olarak tahrik edilmektedir. Dolayısıyla da yatırım maliyetleri ucuz ve işletme maliyetleri daha düşük olmaktadır. Daha büyük güç gereksinimi olan robotlar ise hidrolik olarak veya elektrik motorları ile tahrik edilmektedir. Bu robotlar yüksek güç gereksinimlerini karşılamalarının yanında hem yatırım maliyetleri açısından daha pahalı, hem de bakım işlemleri ve maliyetleri açısından daha masraflıdır [15].

### 2.2.1.2. Silindirik Robotlar

Silindirik düzenlemeli robotlar, çalışma alanlarının ve hareket serbestliklerinin bir silindir şeklinde oluşmasından bu isme almaktadırlar. Silindiri oluşturan yarıçap, yükseklik ve dairesel açı değeri, ilk üç mafsalsal her biri ile ayrı ayrı sağlanmaktadır. İlk mafsalsal Z ekseninde dönerken, diğer iki mafsalsaldan biri Z ekseninde, diğeri ise X-Y düzleminde öteleme hareketini sağlamaktadır. Kartezyen düzenleme göre daha geniş bir hareket serbestliği sağlarken, yine de silindirik dar bir iş hacminde çalışmaktadırlar. Dolayısıyla daha çok hareket hacimlerinde engel olmayan tutma, taşıma işleri için

yaygın olarak kullanılırlar. Silindirik düzenleme sahip bir robot kolun eksen serbestlikleri Şekil 2.4' de görülmektedir.



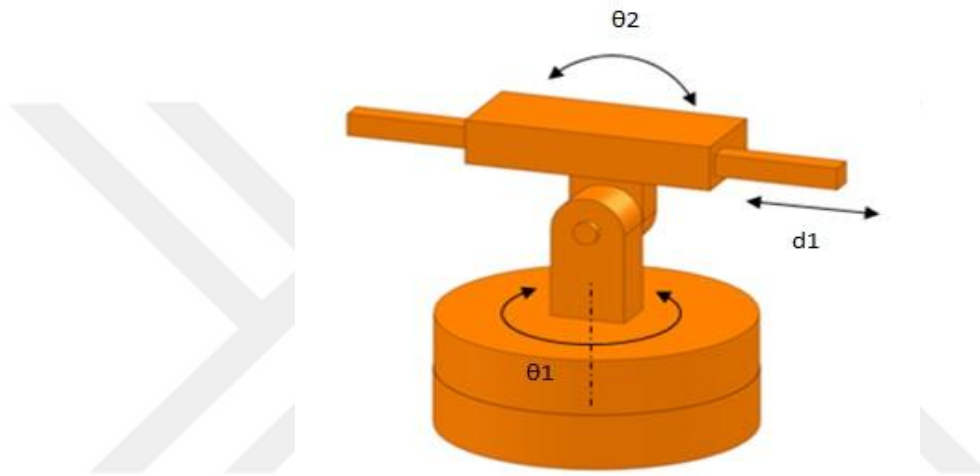
Şekil 2.16. Silindirik robot kol

Silindirik robotların hareket kabiliyetinin dar olması ile birlikte çalışma alanı içerisinde istenilen noktalara ulaşım kabiliyeti oldukça iyidir. Çalışma alanının genişliğini ise doğrusal hareket yapan mafsalların öteleme uzunluğuna bağlıdır. Bu tip robotlar da kullanım alanları ve yük taşıma kabiliyetlerine göre pnömatik ve hidrolik olarak veya elektrik motorları ile tahrik edilebilmektedir. Zorlu çalışma alanlarında çalışabilme avantajı ile denizaltılardan uzay gözlem araçlarına kadar kullanım olanağı bulmaktadırlar. Endüstriyel ortamlarda ise özellikle nokta kaynağı işlemleri için kullanılmaktadırlar.

### 2.2.1.3. Küresel (Polar) Robotlar

Mafsal düzenlemeleri robot kolların çalışma alanlarını ve hareket serbestliklerini direk olarak etkilediği için, robot kol tasarım ve tercihlerinde önemli yer tutmaktadırlar. Polar düzenleme olarak da anılan küresel düzenleme sahip robotlar, silindirik düzenleme ile benzer serbestliklere sahip olmakla birlikte, daha geniş bir çalışma hacmi ve daha esnek hareket serbestliği sağlamaktadırlar. Bir kürenin hacmini oluşturan iki açısız bir de doğrusal değişim, her bir mafsal tarafından sağlanmaktadır. İlk iki mafsal bel ve omuz şeklinde iki döner hareket serbestliği sağlarken, üçüncü mafsal oluşan küresel alan içerisinde öteleme hareketi yapmaktadır. Bu hareket serbestliğinin yanında

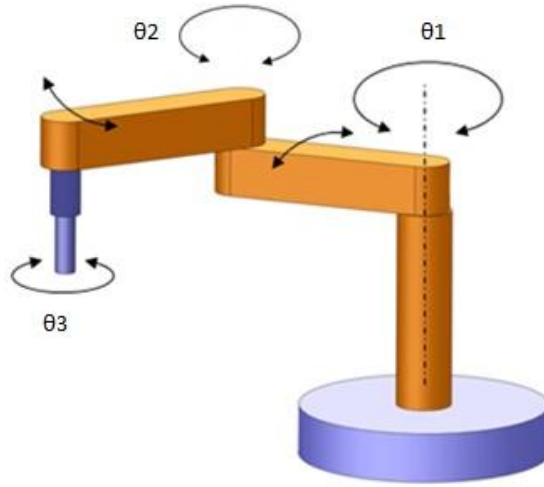
kinematik hesaplamaları, dolayısıyla programlama ve kontrolleri de daha zordur. Çalışma alanının genişliği öteleme yapan uzvun erişim büyüklüğüne bağlıdır. Özellikle hidrolik olarak tahrik edilen küresel robotlar, yüksek güç sağladıkları için eğme ve bükme işlemlerinde sıklıkla kullanılırlar. Daha düşük yüklerde ise sarkaç benzeri hareketleri kolayca yapabileceklerinden dolayı kaynak ve zamlama işlerinde kullanılırlar [15]. Küresel düzenleme sahip bir robot kolun eksen serbestlikleri Şekil 2.5' de görülmektedir.



Şekil 2.17. Küresel robot kol

#### 2.2.1.4. SCARA Robotlar

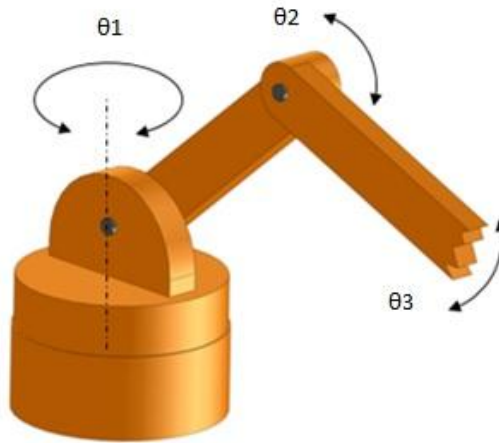
Scara tipi robotlar alışageldik bir düzenleme sahip olmamasına rağmen, yüksek hız sağlayan robot kollarıdır. İlk üç serbestlik dönme ve üçüncü serbestlik öteleme hareketi ile sağlanır. Genellikle dönme hareketi elektrikli motorlar ile sağlanan Scara tipi robotlar hesaplama ve erişim kolaylığı ile yüksek hız ve erişim serbestliği sağlamaktadır. Öteleme yapan son mafsala ise pnömatik olarak tahrik edilebilir. Bu avantajları sayesinde endüstride yaygın olarak kullanılan bu tip robotlar özellikle düşük yüklerde tutma, taşıma, ayırma ve istifleme işlemlerinde kullanılır. Maliyetleri ucuz, programlanmaları kolay olan Scara tipi robotlar özellikle elektronik kart üretimi gibi dar çalışma alanına sahip üretim hatlarında yüksek hız performanslarıyla kullanılabilirler [15]. Scara tipi bir robot kolun eksen serbestlikleri Şekil 2.6' da görülmektedir.



Şekil 2.18. Scara tipi robot kol[14]

### 2.2.1.5. Antropomorfik Robot Manipülator

Bu tip robotlar insan gövde-omuz-dirsek yapısını model aldığı için eklemli veya insan kolu manipülator olarak anılmaktadırlar. İlk üç eksen serbestliklerinin hepsi dönerdir ve sırası ile gövde, omuz ve dirsek dönüş hareketlerini gerçekleştirmektedirler. Çalışma uzayları geniş olmakla birlikte en yüksek hareket esnekliğine sahip robotlardır. Bu sebeple endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Kaynak, montaj, boya ve yüzey temizleme gibi birçok işlemde kullanılabilir. Bununla birlikte kinematik hesaplamaları da oldukça zordur. Tahrik elemanı olarak büyük ölçüde elektrik motorları kullanılır [15]. Eklemli-İnsan Kolu manipülator ve eklem serbestlikleri Şekil 2.7' de görülmektedir.



Şekil 2.19. Antropomorfik robot manipülator ve eksen serbestlikleri

### 2.2.1.6. Paralel Robotlar

Bu bölüme kadar anlatılan robot kollar en yaygın kullanım alanına sahip olmakla birlikte, seri düzenlemeye sahip robotlardır. Seri robotlarda her bir mafsal birbirine seri olarak bağlanmıştır ve birbiri sıra hareket serbestliği sağlarlar. Bunlara ek olarak mekanizmaların birbirine paralel olarak bağlandığı ve tek bir uç işlevciyi hareket ettirdiği paralel robotlarla birlikte, aynı veya farklı bir iş için paralel hareket eden çift kol robot kollar da mevcuttur. Paralel robotlar da Scara tipi robotlar gibi dar bir alanda yüksek hız sağlamaktadırlar. Çift kol robotlar ise daha çok taşınması zor, kırılğan malzemelerin taşınmasında (araba camlarının taşınması vb.) veya etkileşimli çalışma ortamlarında (tutma-taşıma esnasında kaynak, boyama vb.) kullanılmaktadırlar. Şekil 2.8’ de paralel bir robot, Şekil 2.9’ da ise çift kol robotlar görülmektedir.



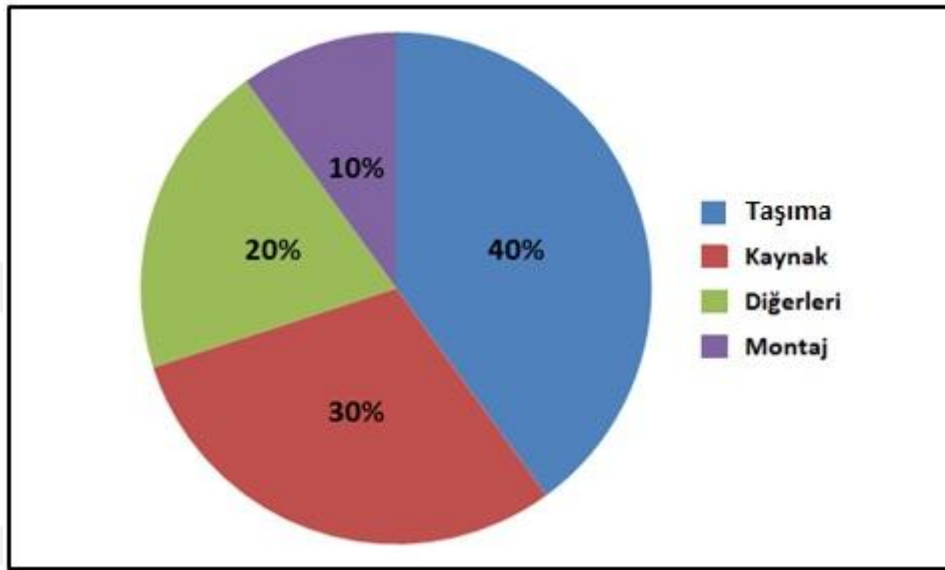
Şekil 2.20. Paralel tip robot kol [12]



Şekil 2.21. Çift kol robot mekanizması [12]

### 2.2.2. Endüstride Robotların Kullanım Alanları





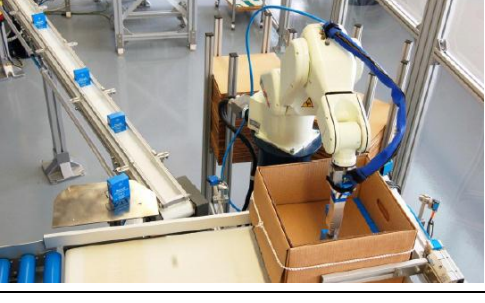
Endüstride robot kol kullanımı tutma-taşıma, kaynak-lehimleme, montaj sökme, boyama gibi birçok otomasyon uygulamasında her geçen gün artmaktadır. Dünya genelinde endüstriyel robot kol kullanımının genel yüzdeleri ile uygulandıkları alanlara göre Şekil 2.10' da görülmektedir.



Şekil 2.22. Endüstriyel robotların uygulama alanları

Daha önceki bölümlerde bahsedilen birçok avantaj sebebiyle endüstriyel uygulamalarda otomasyon sistemlerinin vazgeçilmezi olan robot kollar başta otomotivden, elektrik-elektronik ürün imalatına; kimya sanayisinden, makine sanayisine, hatta yiyecek-içecek sektörlerine kadar birçok alanda üretim, test, kontrol, aktarım hattında kullanılmaktadırlar. Endüstriyel robot kolların temel kullanım alanları ve bu alanlara yönelik fotoğraflar Tablo 2.1' de verilmiştir.

Tablo 2.3. Endüstriyel robotların temel kullanım alanlarına yönelik fotoğraflar [12]

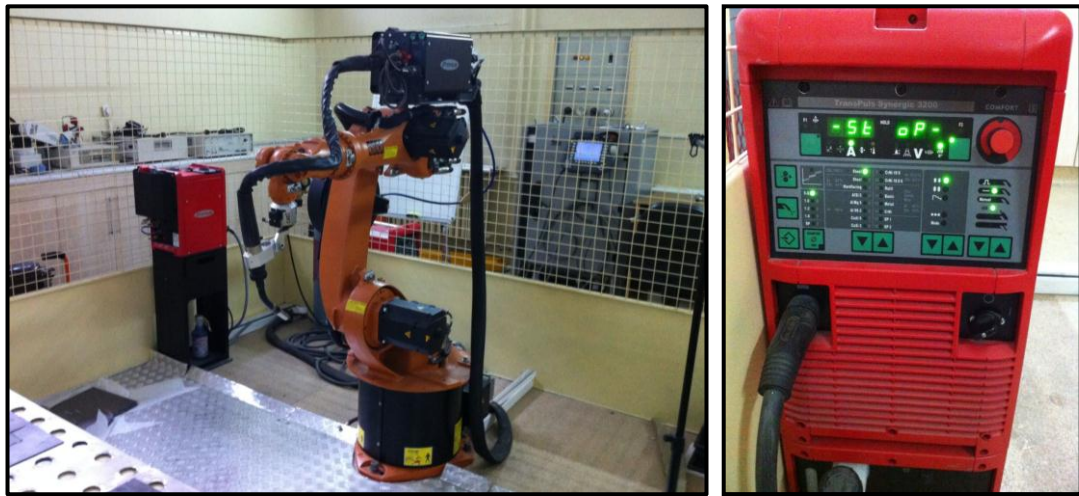
No	Uygulama Alanı	Fotoğraf
1	Taşıma	
2	Kaynak	
3	Montaj	
4	Boyama	
5	Paketleme	

### 2.3. KUKA Tipi Endüstriyel Robot Manipulatörü

Robotik destekli birleştirmede, KUKA KR6 tipi robot manipulatörle kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Temel olarak deneysel uygulamada kullanılan sistem elemanları aşağıdaki gibidir:

1. Kuka Kr 6 Arc robot kolu
2. Kontrol panosu
3. El kumandası (KCP)
4. Kaynak kontrol ünitesi
5. Kaynak torcu temizleme ünitesi
6. Argon gaz tüpü

Denyde kullanılan altı serbestlik dereceli robot kol, düşük yük taşıma kapasitesine sahip küçük tipte bir robottur. Tasarımı sayesinde birçok uygulama için maliyet ve yer tasarrufu sağlamaktadır. Farklı konumlarda yerleştirilebilir ve böylece en uzak köşelere bile erişebilir [16]. Tüm bu özelliklerinden dolayı KUKA KR6 yüksek yük taşıma kapasitesi gerekmeyen, yüksek hız ve dar alanda çalışma kabiliyeti gerektiren uygulamalarda tercih sebebidir. Robot manipulatörü ve Fronius kaynak kontrol ünitesi Şekil 2.11' de görülmektedir.

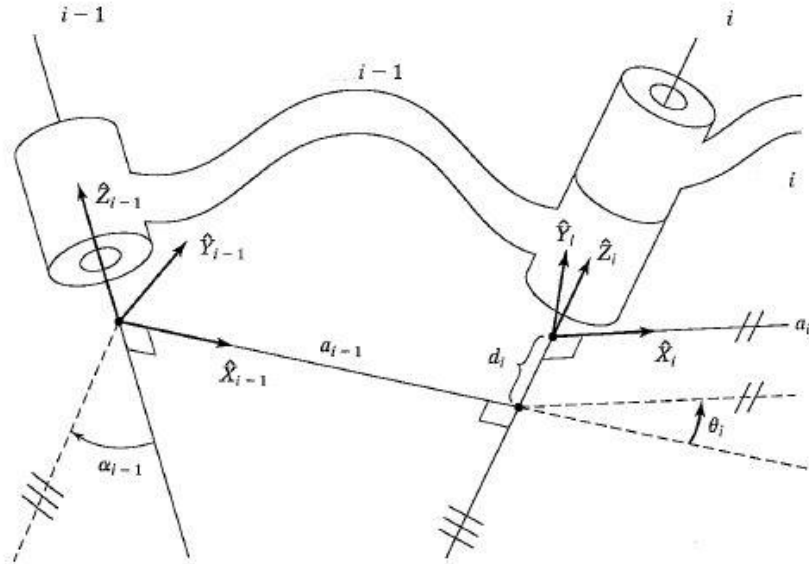


(a)

(b)

Şekil 2.23. (a) KUKA KR6 robot manipulatörü -(b) Fronius kaynak kontrol ünitesi

Sıfır konumunda bulunan bir robot manipülâtörün, ileri yön kinematiğini bulmak için öncelikle robotun her bir eklemi belirlenerek bu eklemlere koordinat sistemi yerleştirilir.  $i$ . ekleme yerleştirilen koordinat sisteminin  $i-1$ . eklemine yerleştirilen koordinat sistemine göre Şekil 2.12’ de belirlenen  $\alpha_{i-1}$ ,  $\theta_i$ ,  $a_{i-1}$  ve  $d_i$  eklem değişkenlerinden(D-H değişkenleri) yararlanarak robotun bir ekleme ait dönüşüm matrisi denklem 2.1’ deki gibi elde edilir [17]. Aşağıda verilen denklem 2.2’ de, altı serbestlik dereceli bir robot manipülâtörün dönüşüm matrislerinin çarpılmasıyla robotun ileri kinematiğinin çıkarılması gösterilmiştir. Bu denklem neticesinde, eksen açılarından robotun uç işlevcisinin kartezyen koordinatları hesaplanabilmektedir.



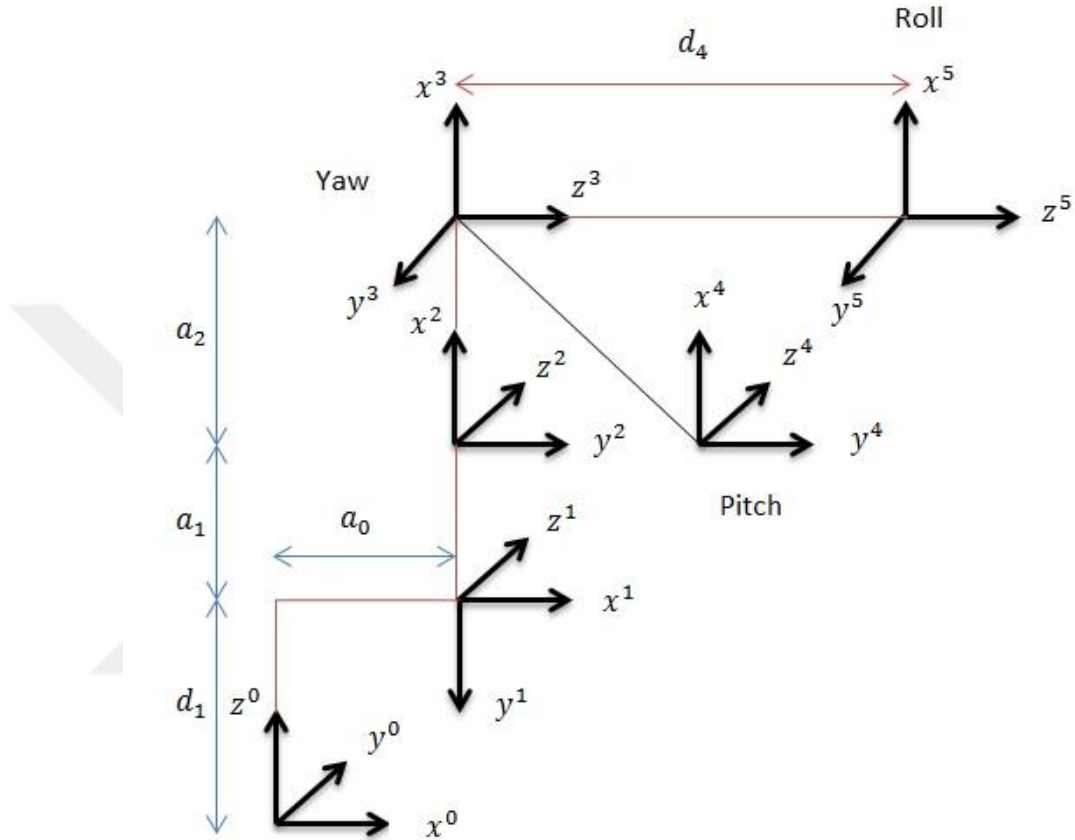
Şekil 2.12.  $i$ . ve  $i-1$ . eklemler arasında eklem değişkenlerinin belirlenmesi

$${}^{i-1}T_i = \begin{pmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 & a_{i-1} \\ \sin(\theta_i)\cos(\alpha_{i-1}) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_{i-1}) & -\sin(\alpha_{i-1}) & -\sin(\alpha_{i-1})d_i \\ \sin(\theta_i)\sin(\alpha_{i-1}) & \cos(\theta_i)\sin(\alpha_{i-1}) & \cos(\alpha_{i-1}) & \cos(\alpha_{i-1})d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

$${}^0T_6 = {}^0T_1 * {}^1T_2 * {}^2T_3 * {}^3T_4 * {}^4T_5 * {}^5T_6 = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Deneyde kullanılan KUKA KR-6 robot manipülâtörünün D-H(Denavit- Hartenberg) kinematik parametrelerinin belirlenmesi Şekil 2.13’ de gösterilmiştir. Tablo 2.2’ deki

gibi belirlenen parametreler kullanılarak, her bir satırdaki parametreler ile bir ekleme ait dönüşüm matrisi elde edilir. Bu işlem her eklem için yapılır ve en sonunda bulunan dönüşüm matrisleri çarpılarak robotun ileri kinematığı elde edilir.



Şekil 2.13. KUKA KR6 robot manipütörün kinematik parametrelerinin Belirlenmesi

Tablo 4.2. Robotun D-H parametreleri

Eksen (i)	$\theta_i$	$d_i$	$a_{i-1}$	$\alpha_{i-1}$
1	$\theta_1$	$d_1$	$a_0$	$-\pi/2$
2	$\theta_2$	0	$a_1$	0
3	$\theta_3$	0	$a_2$	$-\pi/2$
4	$\theta_4$	$d_4$	0	$\pi/2$
5	$\theta_5$	0	0	$-\pi/2$
6	$\theta_6$	0	0	0

### 2.3.1. Robot Manipülâtörün Teknik Parametreleri

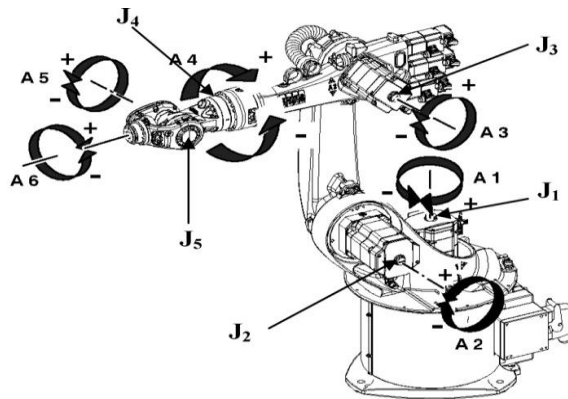
Teknik özellikleri detaylı olarak Tablo 2.3’ de verilen robot kol 0,1 mm tekrarlanabilirlik hassasiyete sahiptir. Bu sayede aynı işi defalarca çok küçük hata toleransları içerisinde gerçekleştirebilmektedir. Robot, istenilen prosese göre programlanabildiği gibi, kontrol paneli üzerinden klavye ve 6 yönlü joistik (fare) yardımıyla da manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Robot manipülâtörünün hareket eksenleri Şekil 2.14’ de görülmektedir. Ayrıca robot manipülâtöre ait dinamik modeli denklem 2.3’ deki gibi gösterilmiştir.

$$\mathbf{M}(\theta(t))\ddot{\theta}(t) + \mathbf{V}_m(\theta(t), \dot{\theta}(t))\dot{\theta}(t) + \mathbf{F}(\dot{\theta}(t)) + \mathbf{G}(\theta(t)) + \boldsymbol{\tau}_d(t) = \boldsymbol{\tau}(t) \quad (2.3)$$

Burada  $\mathbf{M}\theta(t)$ , robot manipülâtörün  $n \times n$  atalet matrisi,  $\mathbf{V}_m(\theta(t), \dot{\theta}(t))$   $n \times 1$  merkezkaç ve koriolis matrisi,  $\mathbf{F}\dot{\theta}(t)$   $n \times n$  sürtünme matrisi,  $\mathbf{G}\theta(t)$   $n \times 1$  boyutlu yerçekimi matrisi ve  $\boldsymbol{\tau}_d(t)$   $n \times 1$  bozucu etken matrisi olarak belirtilmiştir. Robot manipülâtör 6 serbestlik derecesine sahip olduğundan;  $n=6$ ,  $\theta$ = mafsalsal açısı,  $\dot{\theta}$ = mafsalsal açısal hızı,  $\ddot{\theta}$ = mafsalsal açısal ivmesi olarak belirlenir.

Tablo 2.3. KUKA KR6 ark kaynağı robotunun teknik parametreleri

Özellik	Değer
Maksimum erişim mesafesi	1611 mm
Çalışma hacmi	14,5 m <sup>3</sup>
1, 2 ve 3. eksenler için servo motor hızları	3000 dev/dak
4, 5 ve 6. eksenler için servo motor hızları	6000 dev/dak
Taşıdığı yük kapasitesi	6 kg
Ağırlık	235 kg



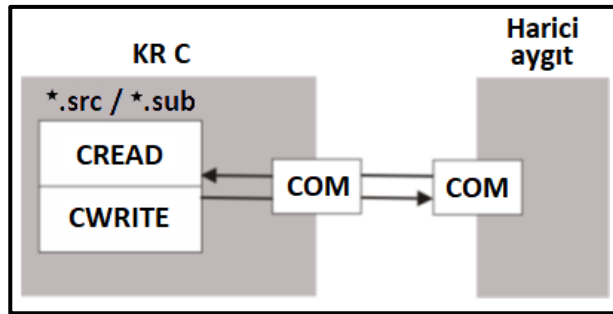
Şekil 2.14. KUKA KR6 robot manipülâtörü hareket eksenleri

## 2.3.2. Harici Kontrolör ile Robot Arasındaki Haberleşme Yöntemleri

### 2.3.2.1. Seri Arayüz Üzerinden Haberleşme

Robot kontrolörünün, diğer kontrolörler ile seri arayüz üzerinden haberleşmesi için CREAD/CWRITE komutları kullanılmaktadır. Veriler gerçek zamanlı olarak iletilir. Haberleşme sistemi şematik olarak Şekil 2.15' de görülmektedir. Bu iletişim protokolü genellikle;

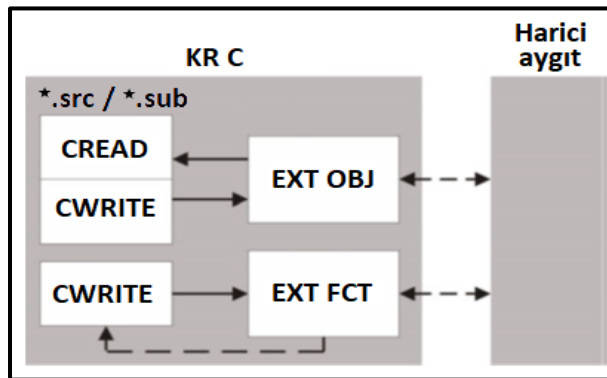
- Kamera sistemleri,
- Diğer robot kontrolörleri,
- Akıllı sensör sistemleri ile haberleşmede kullanılır.



Şekil 2.15. Seri arayüz üzerinden haberleşme [18]

### 2.3.2.2. Harici Modül Üzerinden Haberleşme

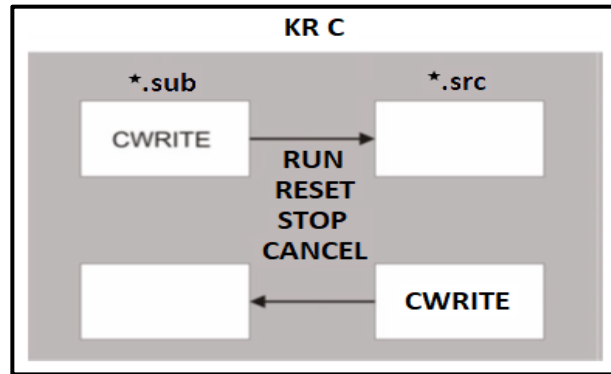
Harici modüller, TCP/IP, Ethernet arayüzleri, seri arayüzler gibi haberleşme arayüzleri için kullanılan sürücülerdir. Bu modüller robotun kontrolcüsüne sonradan entegre edilir. Haberleşme sistemi şematik olarak Şekil 2.16' da görülmektedir.



Şekil 2.16. Harici arayüz üzerinden haberleşme [18]

### 2.3.2.3. Komut Kanalı Üzerinden Haberleşme

CWRITE yordamı ile bir program yorumlayıcıya “Run”, “Reset”, “Stop”, “Cancel” gibi durumlar komut kanalı üzerinden iletir. Bu haberleşme sistemi ise şematik olarak Şekil 2.17’ de görülmektedir.



Şekil 2.17. Komut kanalı üzerinden haberleşme [18]

### 2.4. Kamera Sistemi

Tez çalışmasının deneysel bölümünde, kaynatılacak iş parçasının üzerinde kaynak yolunun tespit edilebilmesi için görüntü işleme teknolojisi kullanılmıştır. Gerekli işlemlerin uygulanıp hareket yörüngesinin elde edilebilmesi için iş parçasının görüntülerini elde edebilen yüksek çözünürlüklü bir kamera kullanılmıştır. Çalışmalar henüz deneysel boyutta olduğu için yüksek maliyetli endüstriyel tip kamera alımından kaçınılmış olup Logitech C920 marka full HD çözünürlüğe sahip bir kamera deneyde kullanılmıştır. Şekil 2.18’ de görülen kameranın teknik özellikleri ise şöyledir;

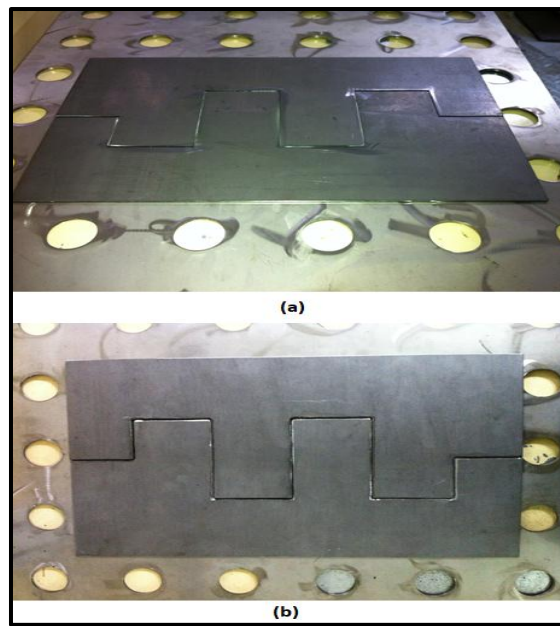
- Saniyede 30 kare hızda geniş ekran full HD 1080p kalitesinde video kayıt imkânı,
- 20 aşamalı otomatik odaklama, daha hızlı yanıt verme, daha yüksek hassasiyet,
- Carl Zeiss optikleri sayesinde daha net görünüş imkânı,
- Yazılımla iyileştirilmiş 15 megapiksel görüntü kalitesi,
- Sabitleme klipleri ile kolay montaj imkânı,
- Otomatik olarak zayıf ışık düzeltmesi,
- USB 3.0 desteği.



Şekil 2.18. Denejde kullanılan kamera sistemi

### 2.5. Test Numuneleri

Deneysel çalışmaların kaynak prosesinde numune olarak kullanılmak üzere, 400x300 mm boyutlarında, 3 mm et kalınlığına sahip toplam 20 adet alaşımlı çelik malzemeler imal ettirilmiştir. Ayrıca zemin için 20 mm et kalınlığına sahip yine paslanmaz çelik malzemeden bir tabla imal ettirilmiştir. Bu tabla, numunelerle kaynama yapmaması ve kontrast farkı olması için ısıl işleme tabi tuturulmuş, yüzeyinde iyileştirilmeler yapılmıştır. Buna ilaveten görüntü işlemede kalibrasyon ve pozisyonlamada yardımcı olması için tabla üzerinde belirli formda delikler açtırılmıştır. Test numunelerinin farklı açılarında görünümü Şekil 2.19' da verilmiştir.



Şekil 2.19. Test numunesi– (a) Perspektif görünüş (b) Üstten görünüş

## 3. BÖLÜM

### DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN METHODLAR

#### 3.1. Görüntü İşleme Yöntemi ile Kaynak Yolunun Tespit Edilmesi

##### 3.1.1. Giriş

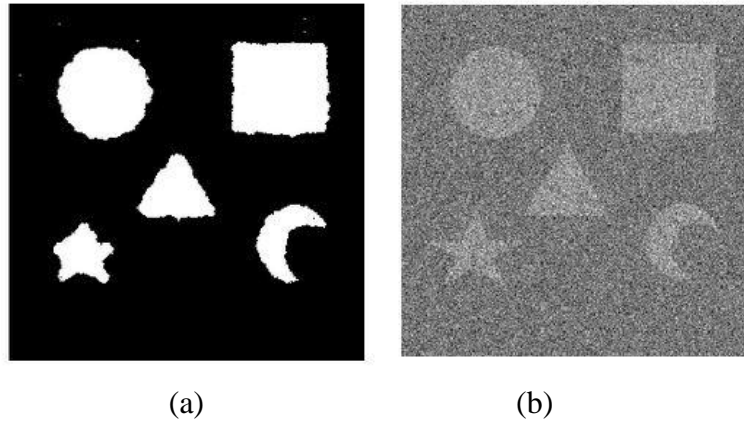
İş parçasının görüntüsü elde edildikten sonra resim üzerinde görüntü işleme teknikleri uygulanmıştır. Görüntü işleme aşamasında MATLAB programından yararlanılmıştır.

##### 3.1.2. Görüntü İşleme Nedir?

Görüntü, gerçek hayatta iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanır [19]. Örneğin,  $f(x,y)$  tarzında bir fonksiyonda  $f$  resime ait (parlaklık gibi) bir şiddet birimi olarak ele alınırken  $x$  ve  $y$  değişkenleri görüntünün gerçek koordinatlarını olarak düşünülür. Dijital görüntü ise, elemanları, uzaydaki  $x$  ve  $y$  değişken konumlarına karşılık gelen noktaların  $f(x,y)$  parlaklık değerlerini içeren matris olarak tanımlanır.

Genel olarak 4 farklı dijital görüntüden bahsetmek mümkündür.

- 1) Binary Görüntü; siyah ya da beyaz yani 1 ya da 0 olmak üzere 2 farklı değerden oluşurlar.
- 2) Gri Renk Seviyeli Görüntü; ikili görüntüye ek olarak gri tonların kullanıldığı görüntüdür. Bu görüntüler renk bilgisi değil sadece parlak bilgisi içerirler. 256 gri değer bir byte olarak ele alınarak 0'dan 255'e kadar olan değerlerle ifade edilirler. Genel olarak 0 siyah, 255 beyaz olarak ele alınırken tam tersi 0 beyaz 255 siyah olarakta ele alınabilir. Arada bulunan değerler, diğer gri tonları temsil eder. Şekil 3.1' de ikili görüntünün gri düzeye dönüştürülmesi gösterilmiştir [20].



Şekil 3.24. (a) İkili Görüntü- (b) Gri düzey görüntü [20]

3) Renkli Görüntü; Dijital ortamda 24 bitlik veri olarak ele alınır. Görüntü aynı nesneye ait R(Kırmızı), G(Yeşil), B(Mavi)olarak kodlanmış üç adet gri düzeyli görüntünün üst üste ekrana iletilmesi ile oluşur.

4) Çok Spektrumlu Görüntü; görünür spekturumun dışındaki bölgelerden elde edilmiş, yanlış renkli görüntü olarak adlandırılan görüntülerdir.

Görüntü işleme, dijital araçlar vasıtasıyla elde edilen görüntülerin, elektronik ve bilgisayar ortamında çeşitli yazılımlar aracılığıyla gereksinimlere uygun olarak özellik ve yapılarının değiştirilmesi, geliştirilmesi ve son olarak analizlerinin yapılması işlemidir [19]. Gelişen teknolojiyle birlikte, görüntü işleme tekniklerinde de her geçen gün daha başarılı çalışmalar elde edilmektedir. Bu tekniklerle dijital görüntü üzerinde bir cismin boyutu, rengi, şekli, parlaklığı, ağırlık merkezi gibi özellikleri tespit edilir. Ayrıca görüntü üzerinde gürültüler yok edilip, görüntü kalitesi artırılarak daha verimli çalışmalar elde edilmiştir. Bu kapsamda bakıldığında görüntü işleme konusunu 5 grup altında incelemek mümkündür [21].

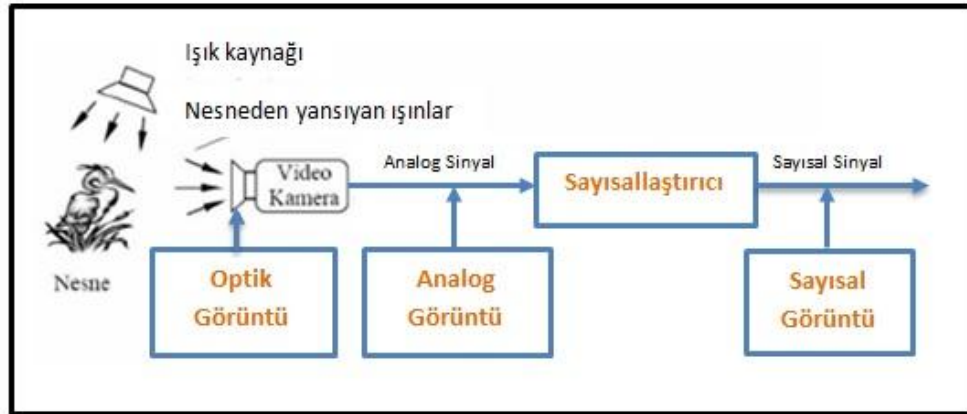
- Bilgisayarla grafik; masaüstü yayıncılık, elektronik medya ve video oyunları gibi sahalar için resim üretme ile ilgilenir.
- Resim transferi; resimlerin kablo, uydu veya başka bir yolla transferini tarif eder. Resim transferinin önemli bir sahası, dijital resimler için ihtiyaç duyulan oldukça yüksek veri miktarını azaltmakla ilgilenen resim sıkıştırma'dır.
- Resim onarımı; resimlerin gürültüsünü azaltma, bulanık resimleri netleştirme ve kontrastın artırılması gibi işlemlerdir.

- Resim Analizi; elle veya bir yazıcı ile yazılmış karakterleri tanıma, iş parçalarının ölçümlerinin kontrolü, yüzey bozukluklarına göre ağaç tabakalarının sınıflandırılması, hücrelerin analizi gibi işler için kullanılır.

Çevre Analizi; görüntü işlemenin en ilginç konularındandır. Bir tipik uygulama olarak otomatik araçların elektronik gözü; araştırmacı uzay robotu örnek verilebilir.

### 3.1.2.1. Görüntü İşleme Adımları

Görüntü işlemede öncelikli olarak yapılan işlem, ışık kaynağı vasıtasıyla aydınlatılmış olan nesneden yansıyan ışınların kameraya aktarılması işlemidir. Bu ışınlar sayesinde nesne tanınarak, kamera üzerinde elektrik sinyallerine dönüşüm gerçekleştirilir. Bu sayede optik görüntüden analog görüntü elde edilmiş olur. Analog olarak oluşturulan görüntünün analog/dijital dönüştürücüler yardımıyla dijital sinyallere dönüşümü gerçekleştirilir. Dijital görüntünün elde edildikten sonra ön işleme adımına geçilir. Ön işleme adımı, elde edilen görüntüden daha sağlıklı olarak yararlanabilmek için görüntü üzerinde ufak çaplı değişimlerin yapıldığı bölümdür. Ufak çaplı değişimler olarak ele alınan değişimlere görüntü üzerinde bulunan gürültülerin yok edilmesi parlaklık ayarının yapılması gibi işlemler örnek olarak gösterilebilir. Bu adımın ardından segmentasyon yani parçalara ayırma adımı gerçekleştirilir. Segmentasyon, görüntünün anlamlı parçalara ayrıştırılması işlemidir. Her bir parça içerisinde farklı özellikler tutulmaktadır. Uydudan çekilen bir çevre görüntüsünde akarsuyun ve dağların ayrıştırılması işlemi segmentasyon işlemi olarak gösterilebilir. Segmentasyon yöntemlerinde, ayrıştırılmak istenilen özelliklere ve kullanılan görüntülere göre farklılıklar mevcuttur. Bu sebepten tüm görüntülerde kullanılabilecek genelleştirilmiş bir segmentasyon yöntemi bulunmaz. Buna bağlı olarakta görüntü işlemenin en zor adımlarından birisi segmentasyon adımı olarak düşünülür. Segmentasyon adımından sonra, görüntü üzerinde çalışılacak alanın üzerine yoğunlaşmanın gerçekleştirildiği, bu alanın ön plana çıkarıldığı adım gelmektedir. Segmentasyon ile ayrıştırılan parçalardan, çalışmada kullanılacak olan parça ön plana alınır. Tüm bu işlemlerin ardından tanıma ve yorumlama işlemi gerçekleştirilerek görüntü işleme yapılmış olur. Yorumlama ve tanıma aşamasında görüntüdeki parçaların önceden yapılan tanımlamalara göre etiketlenerek işlenmesi yapılır [20].



Şekil 3.2. Görüntü İşleme Adımları

### 3.1.3. Dijital Görüntü İşlemede Kenar Belirleme Yöntemleri

Görüntü işleme konusunda temel öneme sahip konulardan birisi kenar belirleme işlemidir. Görüntü üzerinde kenar, görüntünün fiziksel olarak algılanmasında oluşan önemli bir değişime karşılık gelir. Görüntü içeriğini oluşturan nesneler görüntü üzerinde farklı gri tonlama değerleriyle belirlenir. Farklılık arka planın sabit bir gri ton değerini taşıdığı durumda bu değerde bir süreksizlik şeklinde belli olur. Bu açıdan ele alındığında, görüntü üzerindeki gri seviyelerinde ani değişikliklerin olduğu bölgelere kenar adı verilir. Görüntüde bu değişimi belirlemede en çok bir maskeden geçirilmesi yöntemi uygulanır. Bu değişimleri ortaya çıkaran maskeler, kenarların çevrelerindeki diğer piksellerden farklı gri ton değerlerine sahip olduğu düşüncesiyle yüksek geçiren filtre görevi görürler. Kenar belirlemede kullanılan tekniklerin temeli bölgesel türeve dayandırılır. 1. Dereceden türeve dayalı kenar belirleme operatörleri sobel kenar belirleme operatörü, canny kenar belirleme operatörü ve prewitt kenar belirleme operatörü olarak ele alınır. Kenar belirleme maskeleri Şekil 3.3' de gösterilmiştir [19].

$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 2 & 2 & 2 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & 2 \\ -1 & 2 & -1 \\ 2 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}$
Yatay	+45°	Dikey	-45°

Şekil 3.3. Kenar belirleme maskeleri

### 3.1.3.1. Türeve Dayalı Kenar Belirleme Yöntemleri

Görüntü gradienti; Vektörün büyüklüğü vektörün doğrultusu boyunca her bir birimdeki değişikliğin büyüklüğünü ifade eden ve yöne bağımlı olan bir vektör olarak tanımlanır. Bir  $f(x,y)$  fonksiyonunda gradient bağıntısı;

$$\text{Gradient ; } \nabla f = \text{grad}(f) \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

$$\text{Gradient'in genliği ; } M(x,y) = \text{mag}(\Delta f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

$$\text{Gradient'in yönü ; } \alpha(x,y) = \tan^{-1} \left[ \frac{g_x}{g_y} \right]$$

Kenarın yönü ;  $\theta = \alpha - 90^\circ$  şeklindedir.

$f'(x,y)$  ayrıca kenarın yönünü ve büyüklüğünü bulmak için de kullanılır. Eğer  $|f'(x,y)|$  çok büyük ise,  $f(x,y)$  çok hızlı değişim gösterir ve bu durum hızlı bir parlaklık değişimini ifade eder. Eğer  $f'(x,y)$  pozitif ise,  $f(x)$  artan bir fonksiyondur. Buradan hareketle birçok kenar belirleme algoritmasının temeli, gradient genliği değerinin hesaplanması ve onun bir eşik değerle karşılaştırılmasına dayanır. Çalışmamızda kullanılan kenar belirleme operatörü prewitt açıklanmıştır.

#### 3.1.3.1.1. Prewitt Kenar Belirleme Operatörü

Prewitt kenar belirleme operatörü birinci derece türevleri olan  $G_x$  ve  $G_y$  maskelerini kullanarak görüntüyü filtreler. Prewitt filtresi görüntü üzerinde filtre gezdirilmesi bakımından daha az zaman harcar. Şekil 3.4' de Prewitt kenar belirleme operatörünün görüntü üzerinde  $G_x$  ve  $G_y$  maskeleri geçirildikten sonraki görüntüler gösterilmiştir.

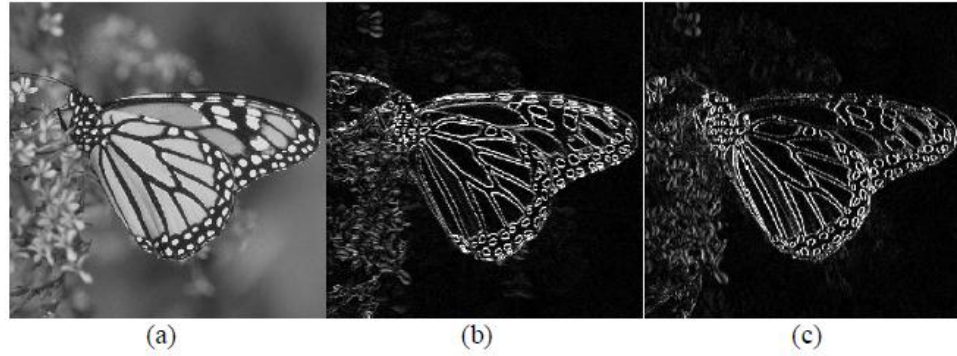
-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

$G_x$  Maskesi

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

$G_y$  Maskesi

Şekil 3.4. Prewitt maskeleri

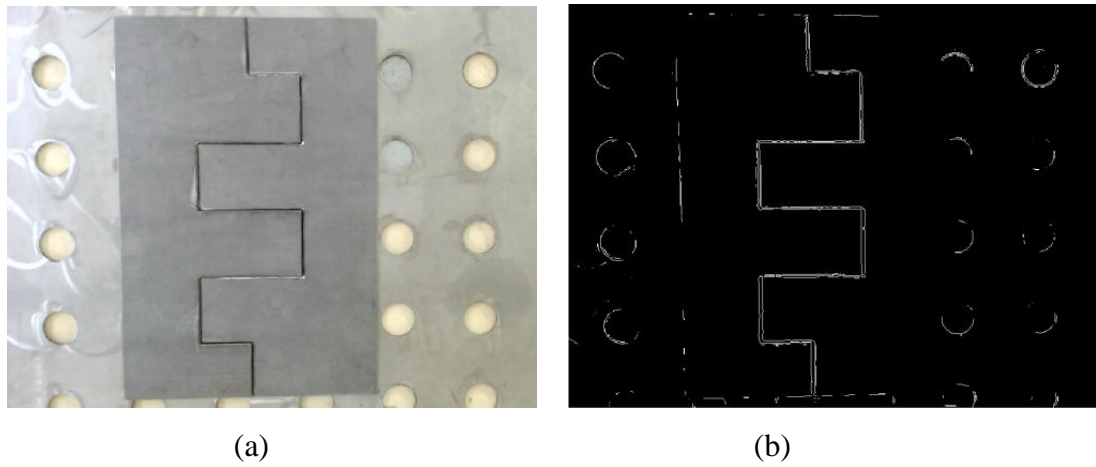


Şekil 3.5. (a) Orijinal görüntü (b) Prewitt Gx (c) Prewitt Gy.

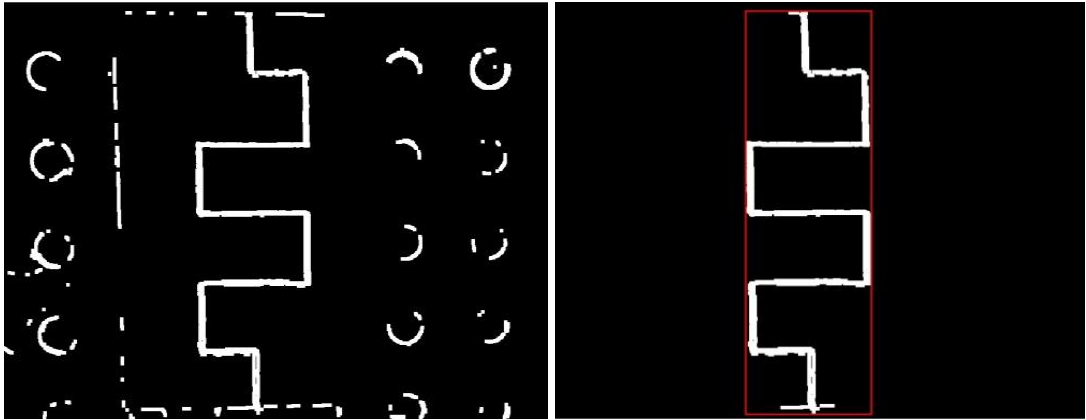
Çalışma kapsamında kullanılan bir diğer önemli işlem MATLAB fonksiyonlarından `bwareaopen` fonksiyonunun kullanılmasıdır. `Bwareaopen`; ikili resimdeki küçük nesnelere kaldırmak için kullanılır. Çalışmamızda da arka planda bulunan küçük resimleri kaldırmak üzere kullanılmıştır.

#### 3.1.4. Yapılan Çalışma

İlk olarak, iş parçasının görüntüsü, tezgah üzerinde gösterildiği gibi elde edilir. Yakalanan görüntüler, kaynak dikişini saptamak için Matlab programı aracılığıyla görüntü işleme algoritmaları kullanılarak filtrelenir, ardından elde edilen görüntüler Şekil 3.6' da gösterildiği gibi binary resim formatına dönüştürülür.



Şekil 3.6. (a) Gri Görüntü- (b)Prewitt Algoritması Uygulanan Görüntü

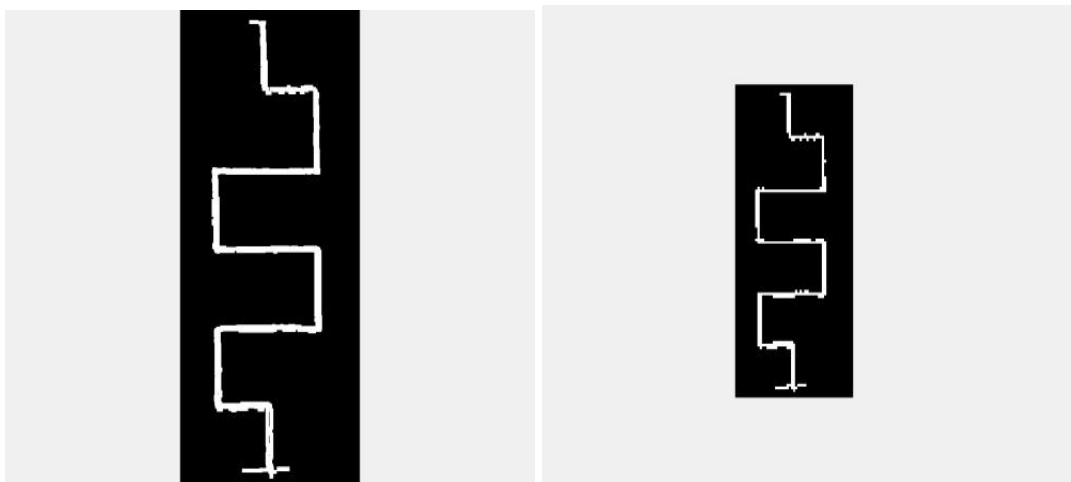


Şekil 3.7. Bwareaopen Fonksiyonu Kullanılmış Görüntü

Bu deneysel çalışmada, dikiş algılama için görüntü işleme, matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir Kamera tarafından çekilen 1024x576 boyutlu renkli görüntüler, Şekil 3.7' de gösterilen bir gri tonlamalı görüntüye dönüştürülmüştür. RGB'den gri tonlamaya dönüşüm denklem kullanılarak gerçekleştirilmiştir:

$$I_{gray} = [0.3 \quad 0.59 \quad 0.11] = \begin{bmatrix} I_{rgb}\{R\}(u,v) \\ I_{rgb}\{G\}(u,v) \\ I_{rgb}\{B\}(u,v) \end{bmatrix} .$$

Burada,  $I_{gray}$  kamera tarafından hesaplanan gri görüntü,  $(u, v)$  piksel koordinatıdır  $I_{rgb}\{R\}(u,v)$ ,  $I_{rgb}\{G\}(u,v)$ ,  $I_{rgb}\{B\}(u,v)$  sırasıyla sol RGB resminin kırmızı, yeşil ve mavi bileşenleri [3] 'dir.



(a)

(b)

Şekil 3.8. (a)Kesilen Görüntü- (b)Minimize Edilen Görüntü

Resim gri tonlamaya dönüştürüldükten sonra, Şekil 3.6 (a)'daki kaynak yapılacak iş parçasının görüntüsündeki kaynak dikişini tanımlamak için kenar algılama algoritması *prewitt* kullanılır. Fakat algoritma uygulandıktan sonra, arka planda kaynak dikişiyle birlikte istenmeyen kenarlar görülür. Bu nedenle Matlab'ın *bwareopen* (BW, P) işlemi, ikili görüntü BW'den P piksel daha az olan tüm bağlı nesnelere kaldırarak başka bir ikili görüntü [22] üretir. Elde edilen görüntü boyutu Şekil 3.8 (a)'da gösterildiği gibi kaynak dikişine daha kolay odaklanmak için 260x576 piksele kesilir. Son olarak, elde edilen görüntü boyutu Şekil 3.8 (b)'de gösterildiği gibi 116x53 piksellikte minimize edilmiştir. Piksel sayısı sinir ağının girdi verileri olarak kullanılmak üzere düşürülmüştür.

## **3.2. YSA Kullanarak Elde Edilen Görüntünün İyileştirilmesi**

### **3.2.1. Giriş**

Bu bölümde, yörünge belirleme yöntemi ve oluşturulan sinir ağı modeline genel bir bakış sunulmuştur. İlk olarak iş parçasının görüntüsünün yakalanması ve görüntü işleme tekniklerinin uygulanarak temiz görüntü elde edilmesi sağlanmıştır. Sinir ağı modeli, görüntü üzerindeki istenmeyen gürültüleri gidermek için üretilmiştir. Daha sonra, tespit edilen noktaların kartezyen koordinatları hesaplanmıştır. Son olarak kaynak dikiş yörüngesi planlanmıştır ve pozisyon değişkenleri robot kumandaya gönderilmiştir.

Yapay sinir ağları insan beyninin sinir hücrelerinden oluşmuş katmanlı ve paralel yapısından esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan ve her biri kendi belleğine sahip işlem elemanlarından oluşan paralel ve dağıtılmış bilgi işleme yapılarıdır. Bir başka deyişle insan beyninin fonksiyonel yapısının taklit edilmesiyle oluşturulmuş sayısal sistemlerdir. Temel amaç, insanın öğrenme özelliğinden yararlanarak oluşturduğu yeni bilgiler türetebilme ve keşfedebilme gibi yeteneklerinin taklit edilerek, herhangi bir yardım almadan otomatik olarak bu özellikleri gerçekleştiren sistemlerin oluşturulmasıdır.

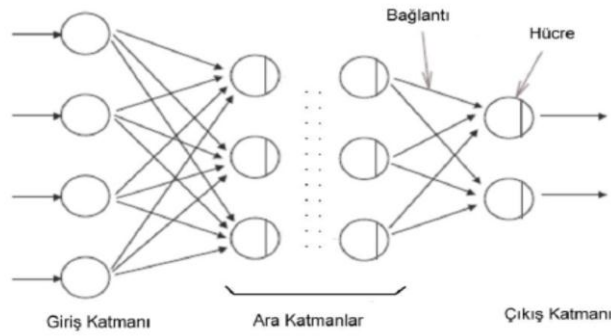
### **3.2.2. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri**

Yapay sinir ağlarının karakteristik özellikleri uygulanan modele göre değişmesine rağmen, tüm modeller için ortak özellikler vardır [23]. Bu özellikler;

- Makine öğrenmesi gerçekleştirirler.
- Çalışmalar donanımsal ya da yazılımsal olarak modellenabilir, dolayısıyla çalışma stilleri bilinen programlama yöntemlerine benzememektedir.
- Veriler, bir veri tabanı veya program içerisinde gömülü değildir. Veriler, ağ üzerinde ağırlıklarla saklanmakta dolayısıyla ortaya çıkartılması ve yorumlanması çoğu zaman mümkün olmamaktadır.
- Ağların eğitilmesi için elde nümerik verilerin bulunması zorunluluğu vardır, aksi takdirde ağ eğitilemez ve sistem oluşturulamaz. Ağın eğitilmesi sırasında tüm örnekler yeteri kadar ağa gösterilmiş olmalıdır, gösterilmediği durumda ağın başarılı sonuçlar vermesi beklenemez.
- Eldeki veriler test ve eğitim verisi olarak ayrıştırılır, ağın öğrenmesi eğitim verileriyle, performansının değerlendirilmesi ise test verileriyle gerçekleştirilir.
- Gösterilen veriler yardımıyla eğitilen ağ, genellemeler yaparak daha önce görmediği veriler hakkında değerler üretebilir.
- Algılamaya yönelik çalışmalarda, örüntü ilişkilendirme ve tamamlama işlemlerinde çok etkin çözümler üretebilir.
- Ağ eğitimi gerçekleştirildikten sonra eksik bilgi ile çalışabilir. Bu özellik hatalara karşı toleranslı olmasını sağlar. Böylece hata toleransına göre dereceli olarak bozulma gerçekleşir. Yani bir ağ zaman içerisinde yavaş yavaş bozulma gösterir.

### 3.2.3. Yapay Sinir Hücresinin Ağ Yapısı ve Çalışma Prensibi

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağlarını oluşturmaktadır. Sinir hücreleri rastgele değil, genellikle 3 katman halinde ve her katman kendi içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluşturmaktadırlar. Bu katmanlar Şekil 3.9' da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. YSA şematik gösterimi

- Girdi Katmanı; proses elemanları bu katmanda verileri alarak ara katmanlara iletmekle görevlidir. Bazı ağlarda bu katmanlarda herhangi bir bilgi işleme gerçekleştirilmez.
- Ara Katmanlar; girdi katmanından gelen veriler işlenerek çıktı katmanına gönderilir. Bir ağ için birden fazla ara katman olması mümkün olduğu gibi en basit ysa yapısında bu katman bulunmaz. Ara katmanları olmayan sadece giriş ve çıkış katmanı olan ağlar, karmaşık işlevleri hesaplama yeteneğinden yoksundur. Bu nedenle karmaşık hesaplamalar için oluşturulan ağlarda en az bir ara katman olmak zorundadır. Ara katman gizli katman olarak da anılır.
- Çıktı Katmanı; ara katmandan alınan bilgiler, çıktı katmanına iletilerek dış dünyaya gönderilir.
- Katmanlar Arası Bağlantılar; tam bağlantı; ilk katmandaki her bir sinir hücresi, ikinci katmandaki her bir sinir hücresine bağlıdır. Kısmi bağlantı; ilk katmanın bir sinir hücresi, ikinci katmandaki her sinir hücresiyle bağlantılı değildir. İleri besleme; ilk katmandaki sinir hücreleri çıkışlarını ikinci kat sinirlerine gönderir fakat ikinci kat sinirlerinden geri giriş alamazlar. Çift yönlü; ikinci katman sinirlerinin çıkışlarını birinci katman sinirlerine taşıyan bir başka bağlantı kümesi bulunur. Burada ileri besleme veya çift yönlü bağlantılar, tam veya kısmi bağlantı olabilir. Hiyerarşik; eğer sinir ağı yapısı hiyerarşik bir düzene sahipse, düşük katmandaki sinirlerin verileri bir sonraki seviyedeki katmanın sinirlerine iletilir. Rezonans; çift yönlü bağlantılı katmanlar ve kesin durum oluşuncaya kadar defalarca veriyi bağlantı üzerinden göndermeye devam edebilir.

Yapay sinir ağlarının çalışması belirlenen bir ağ yapısı ve veriler aracılığıyla giriş değerlerinin alınıp eğitim gerçekleştirildikten sonra çıktı değerlerinin üretilmesi şeklindedir. Burada optimal çözüme ulaşmak görecelidir. Ağ yapısının, parametrelerin ve aktivasyon fonksiyonunun seçilmesi gibi faktörler deneyimli olmayı gerektirir. Ağın eğitilmesi için ağa gösterilecek örnekler bir vektör halinde sisteme verilir. Eğitim süreci sonunda, yapay sinir ağında elde edilen hata değerinin kabul edilebilir bir değere inmesi beklenir. Ancak hata kareleri ortalamasının düşmesi her zaman için yapay sinir ağının öğrendiği sonucunu göstermez. Yapay sinir ağının asıl amacı girdi değerlerine karşılık üretilen çıktı değerlerinin doğru olarak belirlenmesidir. Öğrenme, yapay sinir ağının eğitimi sırasında kullanılmamış ancak verilen giriş değerlerini, ağın doğru bir şekilde sınıflandırabilme yeteneğidir. Ağ gereğinden fazla girdi-çıkı ilişkisi öğrenirse, veriler “ezberlenir”. Bu durum genellikle gereğinden fazla gizli katman kullanıldığında veya ağın gereğinden fazla veri kullanılarak eğitilmesinden kaynaklanır. Ezberleme, öğrenmenin iyi bir şekilde gerçekleşmediğini ve girdi-çıkı eğrisinin düzgün olmadığını gösterir. Verilerin ezberlenmiş olması yapay sinir ağı için istenmeyen bir durum olup, verileri ezberleyen ağa ait eğitim hatasının düşük olmasını ve test hatasının yüksek olmasını sağlar. Verileri ezberleyen ağ gerçek hayattaki örüntüyü iyi temsil edemeyeceği için kullanılamaz.

#### **3.2.4. Bir Yapay Sinir Ağı Tasarımı İçin İzlenecek Adımlar**

YSA uygulamasının başarısının, uygulanacak olan yaklaşımlar ve deneyimlerle yakından ilgili olduğundan daha önce bahsetmiştim. Uygulamanın başarısında uygun metodolojiyi belirlemek büyük önem taşır. Yapay sinir ağının geliştirilmesi için birden çok etkenin göz önünde bulundurulması gerekir. Bunlar şu şekilde özetlenir;

- Ağ yapısının seçilmesi ve yapı özelliklerinin belirlenmesi (katman sayısı, katmandaki nöron sayısı, v.b); yapay sinir ağının tasarımı sürecinde ağ yapısının seçilmesi, probleme bağlı olarak gerçekleşir. Hangi problem de hangi ağın kullanıldığını bilmek hem deneyim hem de bilgi gerektirir. Ayrıca, uygun yapay sinir ağ yapısının seçimi, ağda kullanılacak olan öğrenme algoritmasına da bağlıdır.
- Aktivasyon fonksiyonların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi,

- Öğrenme algoritmasının seçilmesi ve parametrelerinin belirlenmesi; başarıyı belirleyen en önemli faktör öğrenme algoritmasının seçilmesidir. Bunun dışında ara katman sayısının belirlenmesi de önemlidir. Çoğu problemde, 2 ya da 3 katmanlı bir ağ yapısı yeterli sonuçlar üretebilir. Katman sayısını belirlemenin en iyi yolu, denemeler yaparak karar vermektir. Bir diğer önemli seçimde nöron sayısının belirlenmesidir; nöron sayısının belirlenmesi de deneme yaparak sağlanır. Başlangıçta istenilen performansa ulaşıncaya kadar nöron sayısı artırılır ya da azaltılır. Tercihen nöron sayısı olabildiğince az olmalıdır. Çünkü az olması öğrenme yeteneğini artırır, fazla olması ağın verileri ezberlemesine neden olur.
- Eğitim ve test verisinin oluşturulması; verilerin normalizasyonu da performansı doğrudan etkiler. Veri normalizasyonu, işlemci elemanlarının verileri kümülatif toplamlarla koruma eğilimleri nedeniyle zorunludur ve aşırı değerlendirilmiş kümülatif toplamların oluşturacağı olumsuzlukların engellenmesini sağlar. Genellikle verilerin  $[0,1]$  veya  $[-1,+1]$  aralıklarından birine ölçeklendirilmesi önerilir.
- Performans fonksiyonunun seçimi; başarıyı etkileyen önemli parametrelerden birisi de performans fonksiyonunun seçilmesidir.

### 3.2.5. Yapay Sinir Ağları Ağ Yapıları

#### 3.2.5.1. Tek Katmanlı Ağ Yapıları

Sadece girdi ve çıktı katmanlarından oluşan, karmaşık işlemlerin yapılması için tercih edilmeyen ağ yapılarıdır. İlk olarak geliştirilen katmanlar bu şekildedir. Çıktı katmanları bütün girdi katmanlarına bağlıdır, bağlantıların her birinin ağırlığı vardır. Bu ağlarda proses elemanlarının değerlerinin ve dolaylı yoldan ağın çıktısının sıfır olmasını engellemek adına bir eşik değer elemanı vardır. Eşik değerinin girdisi ise daima bir olarak tanımlanmaktadır. Ağ çıktısı, ağırlıklandırılmış girdi değerlerinin eşik değeri ile toplanması sonucunda hesaplanmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu doğrusaldır. Sınıflandırma işlemi yapılabilir. Ağda elde edilen 2 çıkış değeri vardır. Çıkış değeri 1 ya da -1 değerindedir. Öğrenme esnasında ağırlıklar değiştirilir bu değişimin manası doğrunun eğiminin değiştirilmesidir. Doğrunun sınıflar arasında kayması için sadece ağırlık değerinin değil aynı zamanda eşik değerinin de değiştirilmesi gerekir. Tek

katmanlı ağ yapıları içerisinde önemli olarak, Perceptron ve Adaline/Madaline modelinden bahsedilebilir.

### 3.2.5.2. Çok Katmanlı Ağ Yapıları

Bir problem için yapay sinir ağları yapısında girdiler ve çıktılar arasında doğrusal bağlantı olmadığı durumda tek katmanlı sistemler yetersiz kalır. Hatta bu durum ysa araştırmalarına bir süre ara verilmesinin sebebinin teşkil etmiştir. Çok katmanlı ağ yapılarının temelinde bulunan ÇKA (Çok Katmanlı Algılayıcı) modeli; bir giriş katmanı, bir veya daha fazla ara katman(gizli katman) ve bir de çıkış katmanından oluşur. Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir üst katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlanır. Bilgi akışı ileri doğru olup geri besleme yoktur dolayısıyla bu yapı, ileri beslemeli sinir ağı modeli olarakta adlandırılır. Giriş katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Delta Öğrenme Kuralını kullanan bu ağ modeli, özellikle sınıflandırma, tanıma ve genelleme yapmayı gerektiren problemler için oldukça önem teşkil eder. ÇKA modelinin temel amacı, ağın beklenen çıktısı ile üretilen çıktı arasındaki hatanın en aza indirilmesidir. Bu ağlara eğitim sırasında hem girdiler hem de o girdilere karşılık üretilmesi gereken çıktılar gösterilir (danışmanlı öğrenme). Kullanılan eğitime algoritmasına göre, ağın çıkışı ile istenilen çıkış arasındaki hata tekrar geriye doğru yayılarak, hata minimuma düşünceye kadar ağın ağırlıkları değiştirilir. ÇKA ağının çalışma prosedürü şu şekildedir; öncelikli olarak örnekler toplanır. İkinci adımda öğrenilmesi istenen olay için oluşturulacak olan ağın topolojik yapısı belirlenir. Bu adımdan sonra ağ için gerekli olacak öğrenme parametreleri belirlenir. Daha sonra ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması, öğrenme setinden örneklerin seçilmesi ve ağa gösterilmesi, öğrenme sırasında ileri hesaplamaların yapılması, elde edilen çıktının beklenen çıktı ile karşılaştırılması ve ağırlıkların değiştirilmesi adımları uygulanır.

### 3.2.6. Yapılan Çalışma

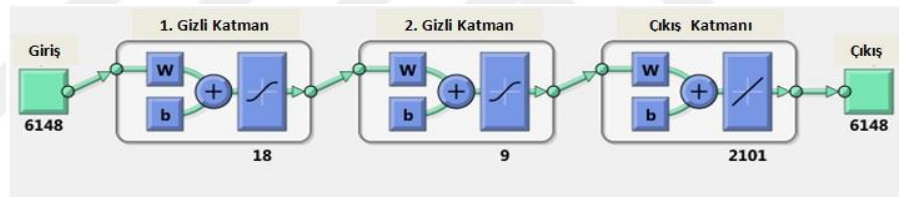
Çalışmada, örnek kümesindeki ilişkiyi uyarlayıp öğrenebilen ve yeni girdi elemanlarına uygulayabilen bir yapay sinir ağı modeli önerilmiştir.

Bu model, bilinen şekillere benzeyen fakat gürültü sebebiyle bozuk olan pikseller gibi, önceden görülen şekillere benzeyen herhangi bir girişim özelliklerine odaklanabilmeli ve aynı zamanda gürültüyü tamamen ihmal edebilmelidir [24]. Bu fikirle elde edilen

kaynak dikiş görüntülerindeki hataları ortadan kaldırmak için yeni bir geri beslemeli sinir ağı yapısı geliştirilmiştir. Bu sinir ağı modeli, Tablo 3.1’ deki değerlere göre Scaled Conjugate Gradient(trainscg) fonksiyonu ile eğitilmiştir, Şekil 3.10.

Tablo 3.1. Çalışmadaki sinir ağı parametreleri

YSA parametreleri	Değer
Maks. tekrar sayısı	2000
Hata hedefi	0.00001
Giriş sayısı	529
Çıkış sayısı	529
Katman sayısı	3
Gizli katmandaki nöron sayısı	10-5



Şekil 3.10. Geliştirilen sinir ağı modeli

Oluşturulan sinir ağı modeli için çıkış katmanından elde edilen çıkış değeri aşağıdaki denklem ile belirtilir:

$$y_k(t) = \sum_1^{6148} \left[ \frac{1}{1 + e^{-\left(\sum_{j=1}^{18} w_{ij}(t)t + b_j\right)}} \right] w_{jk}(t) + b_k.$$

Burada,  $m_j(t)$  gizli katmandaki j. Nöronun çıkışıdır,  $w_{ij}$  giriş katmanındaki nöronlar ile gizli katmandaki nöronlar arasındaki bağlantının ağırlıklarını gösterir,  $b_j$  ise bias değerini verir [9].

Şekil 3.10’ de görüldüğü gibi YSA modelinin girişi düzeltilmesi istenen resmin her bir pikselinden oluşturulan 1x6148 boyutundaki matrisdir. Yani YSA modelinde Input Image[0]’ dan Input Image[6147]’ e kadar toplam 6148 adet giriş mevcuttur.

### 3.2.6.1. SCG Algoritması

Scaled conjugate gradient algoritması `traincgp`, `traincgf` ve `traincgb` de olduğu gibi eşlenik yönlere dayalıdır, ancak bu algoritma her yinelemede bir satır araması yapmaz [25]. Genellikle bu algoritma Levenberg-Marquardt algoritmasına göre daha fazla tekrar sağlayacağı için, sinir ağı eğitilirken doğruluk oranının da artmasını sağlamıştır. Bu sebeple de SCG algoritması bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu algoritma ile elde edilen sonuçlar Şekil 3.11’de görüldüğü gibi başarısını kanıtlamıştır..



Şekil 3.11. SCG algoritması kullanılarak görüntünün iyileştirilmesinin görünümü

## 4. BÖLÜM

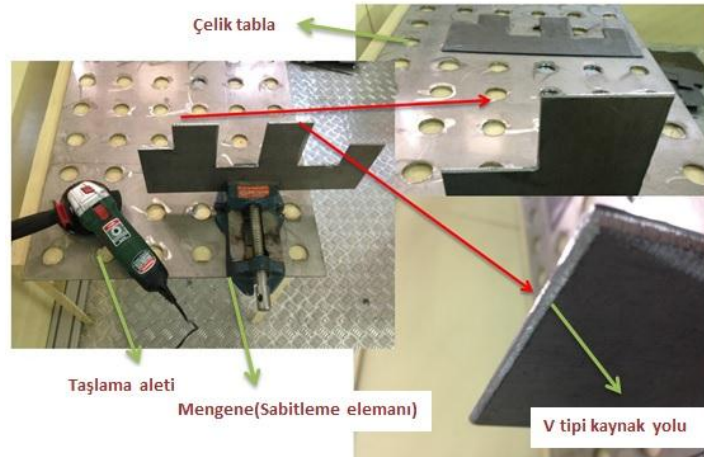
### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 4.1. Giriş

Proje kapsamında deneysel çalışmalar bölümümüze ait Mekatronik Sistemler Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Teorik olarak yapılan çalışmaların, deneysel ortamda gözlenmesi, hata ve eksiklerin belirlenmesi çalışma açısından son derece faydalı. Ayrıca pratik uygulamalarda karşılaşılan problemler yapılan çalışmanın derinleştirilmesini sağlamıştır.

#### 4.2. Deneyde Kullanılacak Test Malzemelerinin Hazırlanması

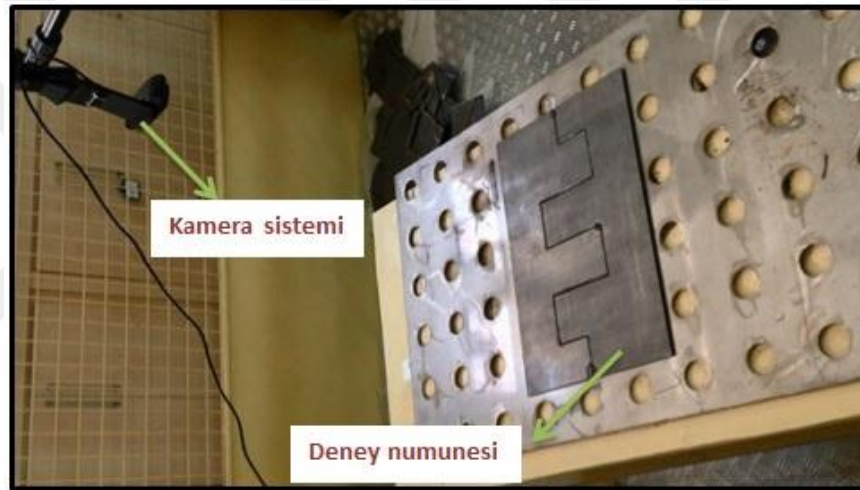
Deneyde kaynatılacak parçalar sanayiye lazer kesim ile kare dalga formunda kestirilerek kaynak için yol açılmıştır. Hazırlanan bu test malzemeleri 300x400 mm boyutlarında, 3 mm et kalınlığına sahip çelik malzemeden imal edilmiştir. Daha sonra elde edilen parçalar laboratuvar ortamında, kaynak yapılacak kenarları taşlanarak V formuna getirilmiştir, Şekil 4.1.



Şekil 4.1. Deney parçalarının kaynak için hazırlanması

### 4.3. Görüntü İşleme Tekniği ile Kaynak Yolunun Tespit Edilmesi

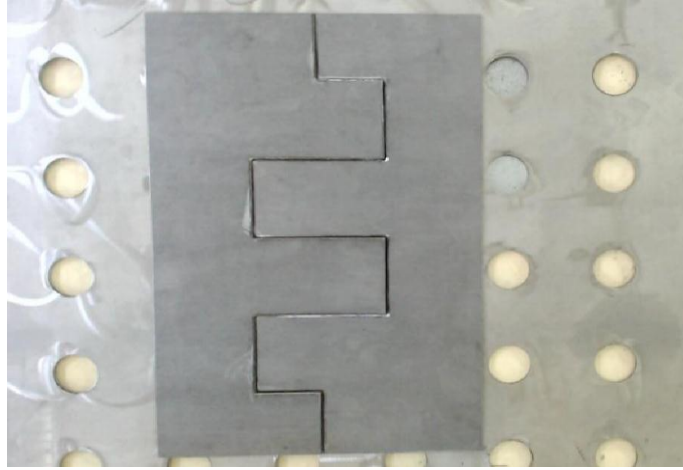
İş parçası üzerinde kaynak prosesinin gerçekleştirilmesi için robotun programlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, robotun farklı kaynak prosesleri için her defasında programlanması yerine kaynak yörüngesinin otomatik tespit edilip genel bir program üzerinde sadece hareket noktalarının güncellenmesiyle tek bir programla farklı özellik ve konumdaki parçaları kaynatması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, ilk olarak Şekil 4.2' de görülen deney düzeneğinde iş parçasının fotoğrafı çekilmektedir. Daha sonra bu görüntü üzerinde sayısal işlemler gerçekleştirilerek görüntü üzerinden kaynak yörüngesi ayrıştırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.2. Sistemden görüntü alınmasını gösteren set-up

#### 4.3.1. Kamera Kullanarak İş Parçasından Görüntü Elde Edilmesi

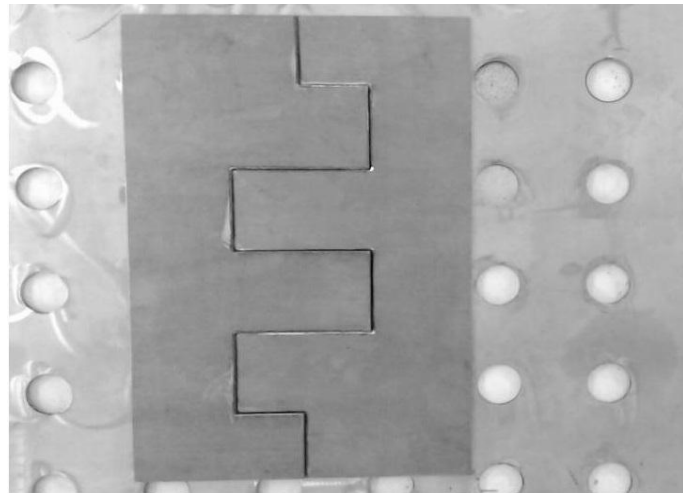
Deneyel sistemde kullanılan full HD kamera ile 1024x576 piksel çözünürlüklü görüntüler elde edilmiştir. Bu çalışmada, kamera ile düzgün görüntü elde etmek, çalışmanın görüntü işleme adımı için en önemli safhalardan bir tanesidir. Ortamın ışığı, malzeme üzerindeki hatalar, kameranın kalitesi elde edilen görüntüyü dolayısıyla uygulanacak tekniklerin başarı oranını etkileyecektir. Yapılan çalışmada, metal malzemeler kullanılması da tüm kriterler açısından şartları sonuna kadar zorlamıştır. Çünkü, metalin ışığı yansıtması, rengi, üzerindeki imalat sırasında oluşan hataların sonuçları fazlasıyla etkilemesi deneyler sırasında, görüntü üzerinde kaynak yolunun belirlenmesinde zorluk çıkarmıştır.



Şekil 4.3. Kameradan elde edilen görüntü

Şekil 4.3' de kamera tarafından çekilen görüntü gösterilmiştir. Bu resimde de görüldüğü gibi iş parçasının altında bulunan tabla farklı malzemeden seçilmiştir. Paslanmaz çelik alaşımı kullanılan malzeme, ısıl işleme yüzey kalitesi artırılmış ve iş parçasıyla kontrast farkı olması amaçlanmıştır. Üretilen bu tabla malzemesinden beklenen bir diğer özellikse kaynak işlemi sonucunda iş parçası ile yapışmaması için kaynak özelliklerinin farklı olmasıdır.

Kamera tarafından elde edilen bu 1024x576 piksel çözünürlüklü renkli görüntü önce gri forma dönüştürülerek sayısal işleme hazır hale getirilir. Şekil 4.4' de görülen gri tondaki resim üzerindeki pikseller sayısal olarak 1 ve 0 arasında değerler almaktadır.

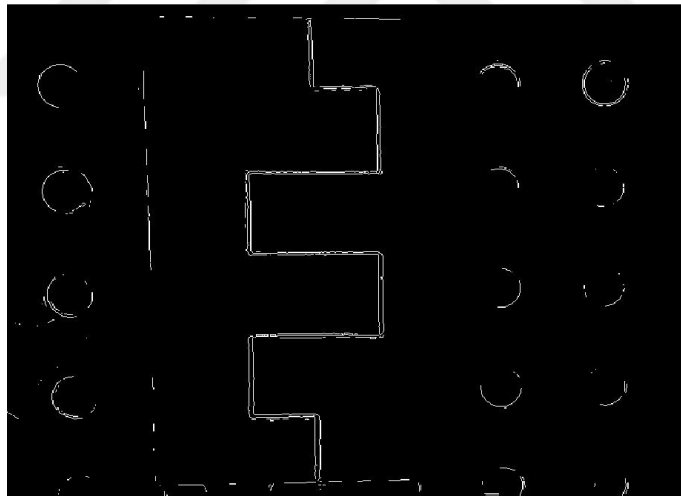


Şekil 4.4. Görüntünün gri forma dönüştürülmesi

### 4.3.2. Prewitt Kenar Algılama Algoritmasının Uygulanması

İş parçasından elde edilen resmin gri forma dönüştürülmesinin ardından uygulanan bir işlem resmin digital bir resim haline dönüştürülmesidir. Bu işlem neticesinde görüntünün sadece 1 ve 0' dan oluşması beklenmektedir. Dolayısıyla karşımıza sadece siyah ve beyazdan oluşan bir görüntü oluşacaktır. Fakat iş parçası ve etrafındaki bir takım hatalar(çizikler, istenilmeyen şekiller, görüntüyü etkileyen diğer faktörler..) bu işlem sırasında siyah arka plan üzerinde beyaz gürültüler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yaşanmaması için eşikleme uygulanarak belirli boyutun altında olan şekiller filtrelenmiştir. Bu aşamada uygulanan bir diğer işlemse prewitt kenar algılama algoritmasının elde edilen digital resme uygulanması olmuştur.

Şekil 4.5' de prewitt algoritması uygulanması sonucu oluşan görüntü gösterilmiştir. Bu görüntüden de görüleceği gibi digital resim üzerinde sadece belirli boyuttaki düz ve yuvarlak şeklindeki kenarlar kalarak diğer bütün şekil ve gürültüler yok edilmiştir.

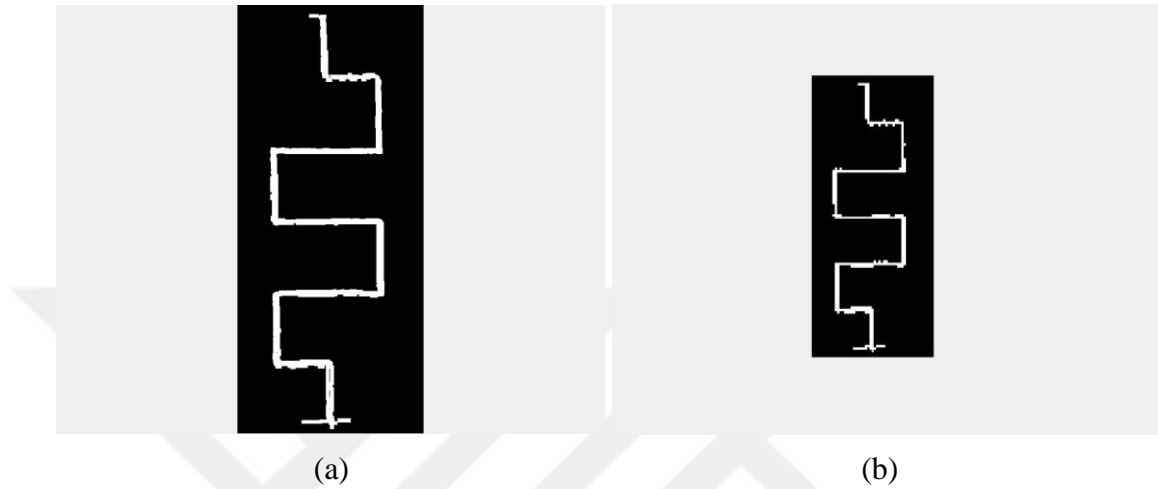


Şekil 4.5. Prewitt kenar algoritmasının uygulanması

### 4.3.3. Görüntünün İstenilen Boyutlara Getirilmesi

Üzerinde sadece kenarların bulunduğu son görüntü hedef resme biraz daha yaklaşıldığını göstermektedir. Fakat bizim istediğimiz, kaynak yapılacak yörünge resimden düzgün bir şekilde tamamen ayrılmasıdır. Bunun için kare dalga formundaki kaynak yolunun diğer şekillerden ayrıştırılarak daha düzgün ve belirgin hale getirilmesi bundan sonraki aşamalarda temel hedef olacaktır. Bu amaçla matlab üzerinde yine

bwareaopen komutu ile görüntü üzerinde filtreleme yapılmış ve dilate komutuyla da elde edilen kaynak yörüngesi Şekil 4.6.(a)' da da görüldüğü gibi daha belirgin bir hale dönüştürülmüştür. Yine aynı şekilde görüldüğü gibi resmin gereksiz bölgeleri silinerek resmin boyutu küçültülmüştür.



Şekil 4.6 (a) Kaynak yolunun elde edilmesi - (b) Görüntü boyutunun küçültülmesi

Fakat elde edilen görüntü üzerinde de görüldüğü gibi (Şekil 4.6.(a)) ayrıştırılan kaynak yörüngesi şekli üzerinde bir takım hatalar mevcuttur. Yörünge üzerinde hedef noktaların belirlenebilmesi için bu hataların giderilerek düzgün bir şekil elde edilmesi gerekmektedir. Bu deneysel çalışmada, görüntü üzerindeki hataların giderilip istenilen yapıda bir kaynak yörünge şeklinin elde edilebilmesi için bir sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Bunun için resmin piksel değerlerinden oluşan tek boyutlu bir dizi oluşturularak sinir ağı modelinde giriş olarak kullanılmıştır. Sinir ağı modelinde çıkış olarak, kendi belirlediğimiz hatasız resim hedef olarak seçilerek ağ modeli eğitilmiştir.

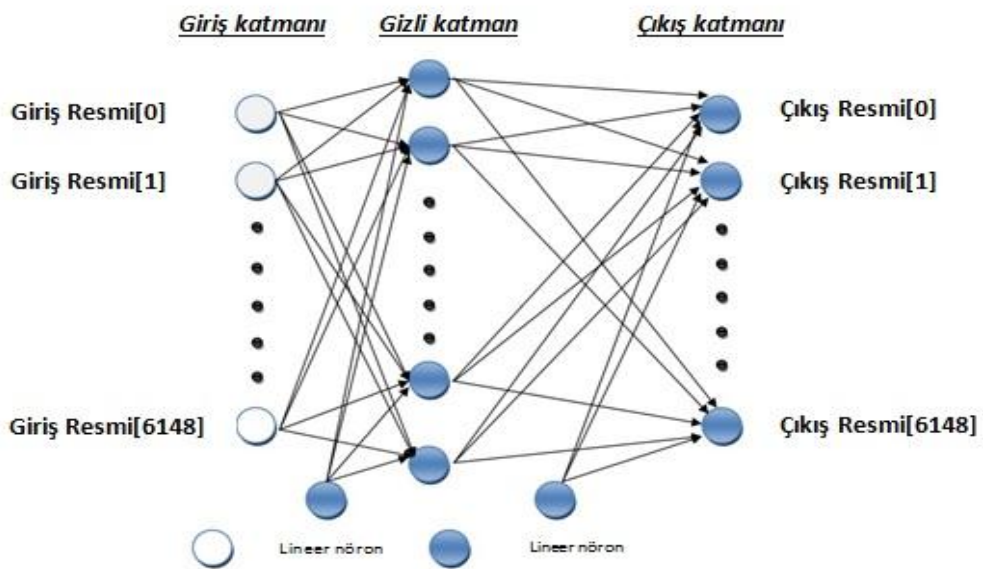
Resmin gereksiz kısımlarının kesilip görüntünün küçültülmesine rağmen, görüntü hala 260x576 piksel çözünürlüklüdür. Bu da resmin 149760 adet pikselden oluştuğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla geliştirilen sinir ağı modeli 149760 adet girişten oluşacaktır. Bu kadar büyük giriş değeriyle sinir ağı modelinin eğitilmesi, hedef resmin oluşturulması ve resmin tahminlenme süresinin uzun olması göz önünde bulundurulunca elde edilen son resmin Şekil 4.6.(b)' de görüldüğü gibi belirli oranda küçültülerek 116x53 piksel yoğunluklu hale dönüştürülmesi kararlaştırılmıştır. Bu da oluşturulan sinir ağı modeli için 6148 giriş kullanılacağı anlamına gelmektedir.

Dolayısıyla sinir ağı modelinin çıkışında da 6148 piksellik bir resim elde edilmesi amaçlanmıştır.

#### 4.4. Görüntü Üzerindeki Hataların Giderilmesi için Sinir Ağı Modelinin Geliştirilmesi

YSA, non-lineer problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar ortaya koyan bir yapay zeka tekniğidir. Hesaplaması zor veya pek mümkün olmayan hesaplamalarda YSA kullanılarak sonuç için başarılı tahminlerde bulunmak mümkündür. Yapılan bu deneysel çalışmada, görüntü işlemede resim üzerindeki hataların iyileştirilmesi için bir sinir ağı tahminleyici modelinin kullanılmasıyla son derece başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlarda, sinir ağlarının bu alanda kullanılabileceğini bize göstermiştir.

Bu çalışmada, feedforward ağı tipi kullanılmış olup 3 katmanlı sinir ağı modelinin eğitilmesi için Scaled Conjugate Gradient (traincsg) fonksiyonu seçilmiştir. Oluşturulan sinir ağı yapısı, giriş, çıkışlar ve katman yapıları Şekil 4.7' deki şematik yapıda detaylıca gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Sinir ağı modelinin şematik gösterimi

#### 4.5. Pozisyon Bilgilerinin Bilgisayar üzerinden Robota Gönderilmesi

Bu aşamaya kadar yapılan bütün çalışmalar görüntü işleme tekniği ile iş parçası üzerinde robotun izleyeceği yörüngeyi belirlemek üzerineydi. Görüntü işleme tekniği ile elde edilen yörünge istenilen seviyede olmadığı için bir sinir ağı modeli oluşturuldu ve görüntü üzerindeki hatalar giderilerek istenilen yörünge oluşturulması amaçlandı. Bütün bu çalışmaların anlamlı hale gelmesi için yine büyük bir problemin daha çözülmesi gerekiyordu. Bu da, tüm bu işlemlerin gerçekleştirildiği bilgisayar üzerinden elde edilen verilerin robota gönderilmesi için robotla bilgisayarı haberleşirmenin sağlanmasıyla mümkün olacaktı.

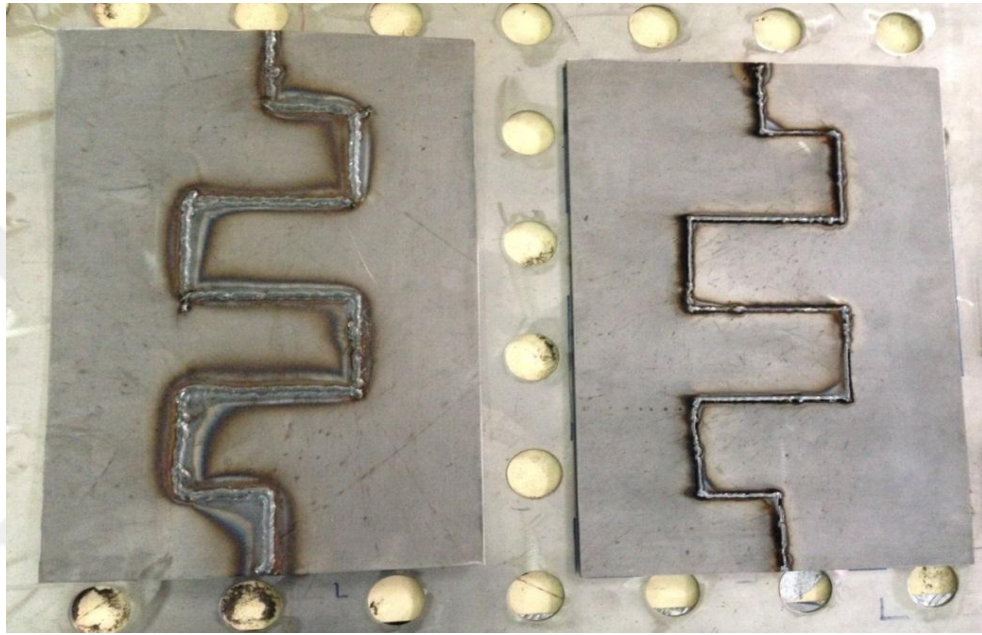
Bu aşama tezin en çok zaman alan aşaması olmuştur. Çünkü KUKA robotu ile bilgisayarı haberleşirmek için KUKA firmasının kendi sunmuş olduğu yazılımı kullanmak dışında çok bir seçenek bulunmuyordu. Fakat bu yazılımın hem pahalı olması hem de kısıtlı kullanım imkanı sunması sebebiyle bu çalışmada kullanılması uygun bulunmamıştır. Fakat yapılan araştırmalar sonucunda bulunan, F. Sanfilippo isimli araştırmacının yaptığı bir çalışma bizimde kendi haberleşme arayüzümü oluşturmamız konusunda önemli bir kaynak olmuştur. F. Sanfilippo yaptığı çalışmada JopenShowVar isimli java platformunda hazırlanan bir kütüphane sunmuştur. Bu kütüphane içerisinde robotla haberleşmeyi sağlayan, robotun sistem değişkenlerini okuma ve bu değişkenlere değer yazma imkanı sunan sınıflar bulunmaktadır. Ayrıca yine aynı araştırmacı, KUKA tarafında da bilgisayar ile KUKA' nın haberleşmesi için aracı görevi gören KUKAVARPROXY isimli bir sürücü geliştirmiştir. Hem oluşturulan bu kütüphane hem de KUKA tarafında kullanılan sürücü bizim çalışmamızda kullanılmış olup, bu altyapının üzerine bizde kendi kullanıcı arayüzümü geliştirdik.

Haberleşmenin sağlanabilmesi için öncelikle bilgisayar ile robot fiziki olarak ethernet kablosuyla birbirlerine bağlanmışlardır. Ayrıca, haberleşmede TCP/IP protokolü kullanılmıştır.

Şekil 4.8' de robotla bilgisayar arasında haberleşmenin nasıl sağlandığı şematik olarak gösterilmiştir. JopenShowVar kütüphanesi bilgisayar tarafında KUKAVARPROXY sürücüsü ise KUKA tarafında haberleşme için aracılık yapan hem bizim hazırladığımız arayüzün hem de KUKA tarafında kullanılan arayüzün adeta tercümanı görevini görmektedir.



olup şekil itibariyle sağdaki robot tarafından yapılan kaynağa göre çok sayıda hata bulundurmaktadır. Kare dalga formundaki kaynak yörüngesinde yörüngenin sıklıkla değişmesi yapılan işlemin zorluğunu artırdığından her iki proses arasındaki kalite farkı daha da arttığı gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonuçlarının daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için uygulama sonucu elde edilen parçalar bir de laboratuvar ortamında çekme deneyine tabii tutulmuştur.



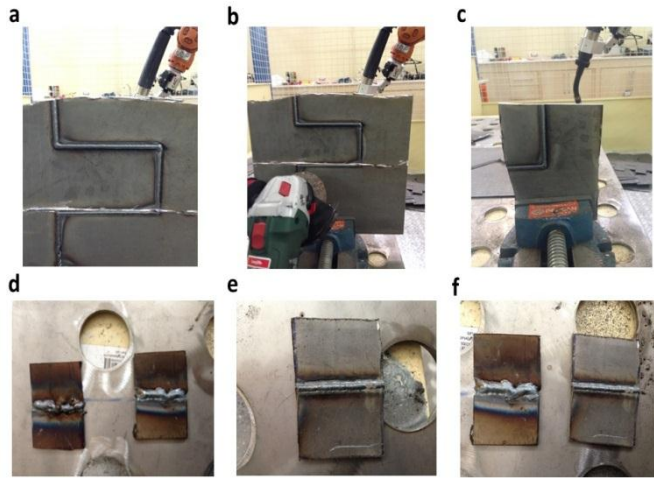
(a)

(b)

Şekil 4.10.(a) Operatör esaslı kaynaklı birleştirme- (b) Robotik destekli kaynaklı birleştirme

#### 4.6.1.1. Numunelerin Hazırlanması

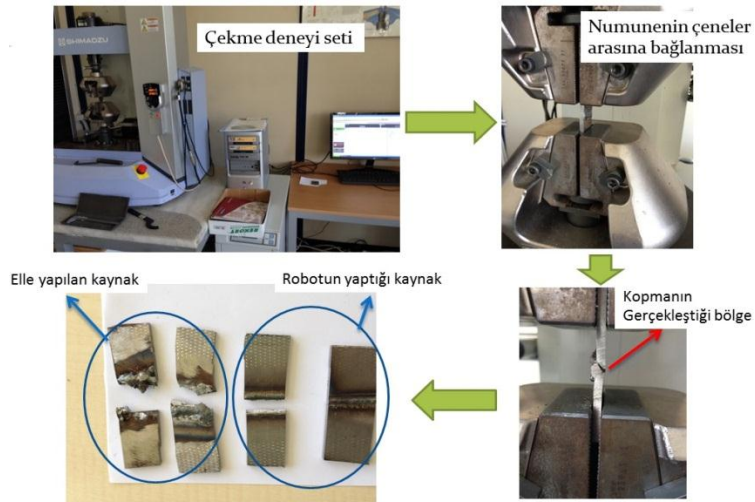
Deneyde elde edilen parçaların çekme deneyi için fazla büyük olması sebebiyle test cihazının ölçüm sınırları dahilinde parça üzerinden 60x40 mm kesitlerinde parçalar kesilerek deney için numuneler hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanırken, her iki prosesle elde edilen parçaların aynı bölgelerinden örnekler alınmasına dikkat edilmiştir. Deneyin gerçekleştiği laboratuvarında numunelerin oluşturulması aşamaları Şekil 4.11' de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Çekme deney seti için numunelerin düzenlenmesi hali

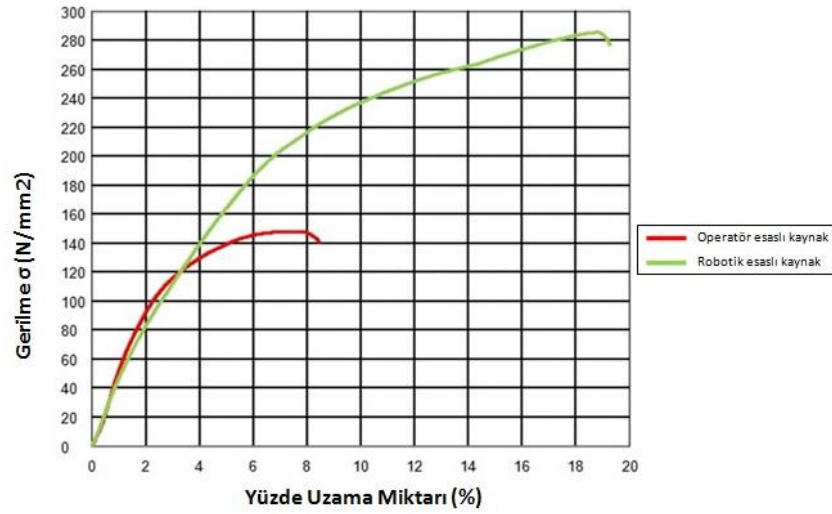
#### 4.6.1.2. Laboratuvar Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneysel çalışma sonucu elde edilen numuneler Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde (TAUM) test edilmiştir. Test aşamaları Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Ayrıca 5 mm/dk test hızında çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.12. Çekme deneyi laboratuvarı ve test süreci

Deney sonuçlarına göre oluşan Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’deki grafiklerde numunelere ait gerilme- yüzde uzama ve kuvvet- yüzde uzama grafikleri görülmektedir. İlk grafikte görüldüğü gibi robotla kaynatılan parçanın daha yüksek gerilime dayandığı net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.13. Malzemenin gerilme-yüzde uzama grafiği

Kuvvet- yüzde uzama grafiği incelendiğinde, öncelikle bir miktar aynı kuvvet uygulandığında benzer uzama karakteristiği gösteren malzemeler 8000 N kuvvet değerinden sonra farklılık göstermeye başladığı gözlenmiştir. Elle kaynatılan parçanın yaklaşık 8861 N kuvvet uygulandığında koptuğu, robotik kaynak prosesi ile elde edilen parçanın ise yaklaşık 17100 N' a kadar dayanım gösterdiği görülmektedir. Buna ilaveten, elle kaynatılan parçadan alınan numunenin deney sonunda yaklaşık 1.99 mm uzadıktan sonra koptuğu, robotik kaynak prosesiyle elde edilen numunenin de yaklaşık 4.32 mm uzadıktan sonra koptuğu ölçülmüştür.



Şekil 4.14. Malzemenin kuvvet-yüzde uzama grafiği

Tablo 4.1’ de de deney sonuçlarına ait sayısal veriler gözlenmektedir. Bu sonuçlara göre robotik kaynak prosesinin elle yapılan kaynağa göre bariz bir şekilde daha sağlam olduğu kanıtlanmıştır.

Tablo 4.1. Çekme deneyi sonrası elde edilen sayısal değerler

Özellik	Elle Kaynak	Robotik Kaynak
Max. Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	147.684	285.009
Max. Kuvvet (N)	8861.02	17100.6
Max. Yüzde Uzama (%)	7.68502	18.7883
Max. Uzama (mm)	1.99810	4.32131
Max. Şekil Değişimi (mm)	1.99810	4.32131
Elastiklik Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	5451.16	4712.56

## 5. BÖLÜM

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, deneysel çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş olup edinilen tecrübeler ve sonraki çalışmalar için neler yapılabileceği hakkında bilgiler verilmiştir. Otomatik olarak kaynak yolunun tespiti çalışmasında görüntü işleme ile elde edilen görüntülerin düzeltilmesinde YSA kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar görüntü işlemenin kullanılacağı diğer çalışmalar için umut vaat edici niteliktedir.

Robotik kaynak prosesinde sanayide karşılaşılan önemli bir probleme çözüm olması amacıyla kurulan sistemden elde edilen sonuçlar bize sonraki çalışmalar için yön gösterici nitelikte olmuştur. Yapılan deneysel çalışmanın geliştirilmesiyle beraber sanayide sıkça karşılaşılan otomatik kaynak yolunun tespiti, kaynak başlangıç noktasının belirlenmesi, imalat hatalardan kaynaklı standart dışı malzemelerin bulunması gibi robotlu kaynak otomasyonu içerisinde sıkça karşılaşılan problemlere çözüm bulunabilecektir.

Ayrıca yapılan bu çalışmalar bize robotlu kaynak otomasyonun elle yapılan kaynak işlemine göre üstünlüklerini de gözler önüne sermiştir. Özellikle kaynak doğrultusunun sürekli değiştiği kaynak profillerinde iki proses arasındaki fark yapılan testler sonucunda ortaya konulmuştur.

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen tecrübeler, sonraki çalışmalar için aşağıdaki önerilerin yapılmasına olanak sağlamıştır:

- Görüntülerden elde edilen kaynak yörüngesinin üzerinde robota öğretilecek noktaların otomatik olarak elde edilmesi ve bu noktaların java platformu üzerinde robota gönderilmesi konusunda geliştirmeler yapılmalıdır. Yapılan bu çalışmada

görüntü işleme ile haberleşme farklı platformlarda yapıldığından elde edilen sonuçlar otomatik olarak bilgisayara gönderilememiş olup Matlab' dan elde edilen pozisyon verileri robotun kullanıcı arayüzüne elle girilmiştir. Fakat geliştirme süresinin devam ettirilmesi sonucu her iki işlemde aynı platforma taşınması mümkün olacaktır.

- Bir sonraki deneysel çalışmada daha küçük ve kolay formdaki malzemelerle çalışmak daha faydalı olacaktır. Bu sayede, deneylerin tekrar sayısı artacağı gibi düşünülen metodların uygulanması da çok fazla zaman almayacaktır.
- Bu çalışmada görüntü üzerinde nokta koordinatları tespiti üzerinde yoğunlaşmıştır, bir sonraki çalışmada eksen açıları ile bir YSA modeli geliştirilebilir. Çünkü, görüntü üzerinden hedef noktaların koordinatlarının tespit edilmesinde bir takım güçlükler ile karşılaşmaktadır. Bu zorluklar nokta tespiti için kullanılan yazılımın geliştirilmesi ile çözüme kavuşabilir. Fakat daha kolay ve belki de daha sağlıklı bir çözüm için yine elde edilen resimlerin girdi olarak kullanıldığı bir YSA modeli ile direkt olarak robotun eklem açılarının tahminlenmesi sağlanabilir.
- Matlab görüntü işleme konusunda bir takım problemler çıkardı, LabView veya OpenCV kullanılması çalışmanın daha verimli ilerlemesini sağlayabilirdi.

## KAYNAKLAR

1. Dinham, M., Fang, G., 2014. Detection of fillet weld joints using an adaptive line growing algorithm for robotic arc welding. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **30**: 229-243.
2. Kim, S., Son, J., Lee, S., Yarlagadda, P., 2004. Optimal design of neural networks for control in robotic arc welding. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **20**: 57-63.
3. Dinham, M., Fang, G., 2013. Autonomous weld seam identification and localisation using eye-in-hand stereo vision for robotic arc welding. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **29**: 288-301.
4. Shi, Y., Wang, G., 2007. Adaptive robotic welding system using laser vision sensing for underwater engineering, 1213-1218 s. *IEEE International Conference on Control and Automation*, 30 Mayıs- 01 Haziran 2007, Guangzhou, CHINA, 2191 s.
5. Micallef, K., Fang, K., Dinham, M. 2011. Automatic seam identification and path planning in robotic welding. **Robotic Welding Intelligence and Automation**, **88**: 23-32.
6. Chen, X.Z., Chen, S.B., 2010. The autonomous detection and guiding of start welding position for arc welding robot. *Industrial Robot: An International Journal*, **37**: 70-78.
7. Dinham, M., Fang, G., 2012. Weld seam detection using computer vision for robotic arc welding, 771-776 s. *8 th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 20-24 Ağustos 2012, Seoul, KOREA, 1109.
8. Aggarwal, L., Aggarwal, K., Urbanic, R.J., 2014. Use of artificial neural networks for the development of an inverse kinematic solution and visual identification of singularity zone(s). **Proceedings of the 47<sup>th</sup> CIRP conference on manufacturing systems**, **17**: 812-817.

9. Eski, İ., Erkaya, S., Savaş, S., Yıldırım, Ş., 2011. Fault detection on robot manipulators using artificial neural networks. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, **27**: 115-123.
10. Rubio, F., Llopis-Albert, C., Valero, F., Suner, J.L., 2016. Industrial robot efficient trajectory generation without collision through the evolution of the optimal trajectory. **Robotics and Autonomous Systems**, **86**: 106-112.
11. Sanfilippo, F., Hatledal, L.I., Zhang, H., Fago, M., Pettersen, K.Y., 2014. JOpenShowVar: an open-source cross-platform communication interface to kuka robots. In: Proceeding of the 2014 IEEE international conference on information and automation ICIA2014, Hailar, pp. 1154-1159.
12. Erpe-Meteg, 2015. Endüstriyel robot programlama, Çorum, 267 s.
13. Joshi, S.N., 2013. Mechatronics and manufacturing automation. (Web sayfası: <http://ifr.org/robot-history>, (Erişim tarihi: Haziran 2017)).
14. Joshi, S.N., 2013. Mechatronics and manufacturing automation. (Web sayfası: <http://nptel.ac.in/courses/112103174/module7/lec5/3.html>, Erişim tarihi: Haziran 2017).
15. Ersöz, H., 2007. Endüstriyel robotlar ve uygulama alanları. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 119 s.
16. Kuka Robotik Türkiye, 2015. Kuka endüstriyel robotları. (Web sayfası: <https://www.kuka.com/tr-tr/%C3%BCr%C3%BCnler-hizmetler/robot-sistemleri/end%C3%BCstriyel-robot>, Erişim tarihi: Haziran 2017)
17. Bingül Z., Küçük S., 2009. Robot kinematiği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 348 s.
18. Kuka Robotic, 2003. KR C2/ KR C3 expert programming. Kuka Roboter GmbH, Augsburg, pp 178.
19. Perihanoğlu, G.M., 2015. Dijital görüntü işleme teknikleri kullanılarak görüntülerden detay çıkarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 93 s.

20. Yavuz, E., 2015. 3 serbestlik dereceli (3R) bir robot manipulatörünün kontrolü ve görüntü işlemeye dayalı nesne taşınması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 200 s.
21. Aslantaş, V. 2012. Görüntü işleme genel bakış. Erciyes Üniversitesi, 118 s.
22. Mathworks, 2010. Matlab bwareopen operation. (Web sayfası: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/bwareaopen.html>, Erişim tarihi: Aralık 2016).
23. Öztemel, E., 2006. Yapay sinir ağları. Papatya Yayıncılık, İstanbul, 231 s.
24. Elmas, Ç., 2007. Yapay zeka uygulamaları. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 425 s.
25. Mathworks, 2010. Matlab trainscg operation. (Web sayfası: <https://www.mathworks.com/help/nnet/ref/trainscg.html>, Erişim tarihi: Aralık 2016).

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Burak ULU

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 1 Aralık 1989, İstanbul

Medeni Durumu: Evli

Tel: +90 542 419 10 32

email: [burakulu@erciyes.edu.tr](mailto:burakulu@erciyes.edu.tr)

Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği  
Bölümü 38030 Melikgazi/KAYSERİ

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	ERÜ Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü	2014
Lise	Ordu Anadolu Lisesi, Ordu	2008

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014- Halen	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Araştırma Görevlisi

### YABANCI DİL

İngilizce