



**ADAPTİF ROBOTİK ARK KAYNAĞI YÖNTEMLERİ:  
ROBOTİK KAYNAK AĞZI BULMA VE KAYNAK AĞZI  
TAKİBİNDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

**Mustafa YUVALAKLIOĞLU**



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPTİF ROBOTİK ARK KAYNAĞI YÖNTEMLERİ: ROBOTİK KAYNAK  
AĞZI BULMA VE KAYNAK AĞZI TAKİBİNDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

**Mustafa Yuvalaklıoğlu**

Doç. Dr. Gültekin Karadere  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2018  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAYI

Mustafa Yuvalaklıoğlu tarafından hazırlanan “Adaptif Robotik Ark Kaynağı Yöntemleri: Robotik Kaynak Ağzı Bulma Ve Kaynak Ağzı Takibinde Deneysel alışmalar” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/~~oy okluğu~~ ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Gültekin Karadere


**Başkan:** Prof. Dr. Nurettin YAVUZ  
U. Ü. Müh. Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza 

**Üye:** Doç. Dr. Gültekin Karadere  
U. Ü. Müh. Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza 

**Üye:** Doç. Dr. Hakan Gökdağ  
B.T.Ü. Müh. ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza 

Yukarıdaki sonucu onaylarım.



**Prof. Dr. Ali BAYRAM**

**Enstitü Müdürü**

**6.. / 7 / 2018**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

06/07/2018

**Mustafa Yuvalakhoğlu**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi  
Adaptif Robotik Ark Kaynağı Yöntemleri: Robotik Kaynak Ağzı Bulma ve Kaynak  
Ağzı Takibinde Deneysel Çalışmalar

**Mustafa Yuvalaklıoğlu**

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Gültekin Karadere

Bu çalışmada modern imalat sanayiinde kullanımı oldukça yaygınlaşan robotik adaptif (akıllı) ark kaynağı yöntemlerinden lazer sensör ile kaynak ağzı bulma ve takip yöntemi, dokunarak kaynak ağzı bulma yöntemi ve ark yoluyla kaynak ağzı takip yöntemleri incelenmiştir. Her yöntem deneyler yapılmak sureti ile ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç kısmında yöntemlerin kıyaslaması yapılarak birbirlerine göre olan avantajları ve dezavantajları incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adaptif robotik ark kaynağı, akıllı robotik kaynak sistemleri, kaynak ağzı arama sensörleri, kaynak ağzı takip sensörleri, ark yoluyla kaynak ağzı takibi, lazer sensör, dokunarak kaynak ağzı bulma.

2018, IX+67 sayfa.

## ABSTRACT

MSc Thesis

Adaptive Robotic Arc Welding Methods in Manufacturing Industry: Experimental  
Studies on Robotic Seam Detection and Tracking

**Mustafa Yuvalakhoğlu**

Uludağ Üniversitesi

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Gültekin Karadere

In this research the most common adaptive (intelligent) robotic arc welding methods in modern manufacturing industry such as laser seam tracking, touch sensing and through-arc seam tracking have been investigated. These methods have been evaluated through a series of experiments. At the results section all the methods have been compared and their advantages and disadvantages have been investigated.

**Key words:** Adaptive robotic arc welding, intelligent robotic welding, seam detecting sensor, seam tracking sensor, arc wire touch sensor, gas nozzle touch sensor, through-arc seam tracking.

2018, IX+67 pages.

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, imalat sanayiinde gün geçtikçe yaygınlaşan robotik kaynak uygulamalarında; fikstürsüz imalat yapabilmek, aynı iş istasyonunda farklı parçaları kaynatabilmek, seri imalattaki parçalar arası varyasyonları kompanse edebilmek amaçlı kullanılmakta olan adaptif yani akıllı ark kaynağı yöntemleri öncelikle teorik olarak incelenmiş ve sonrasında deneyler yapmak sureti ile değerlendirilmiş ve kıyaslanmıştır.

Kullanımı her ne kadar dünyada yaygınlaşsa da ülkemizde hala çok da yaygın kullanılmayan bu adaptif veya akıllı kaynak yöntemleri hakkındaki uygulamalı değerlendirme çalışmasının özellikle ülkemiz imalat sanayii için yol gösterici ve faydalı olmasını umut ediyorum.

Sadece bu çalışmada değil tüm yüksek lisans eğitimim sırasında bilgi birikimleri ve tecrübeleri ile desteğini ve rehberliğini esirgemeyen değerli danışman hocam Sn. Doç. Dr. Gültekin Karadere'ye sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmam sırasında bana sürekli destek olan sevgili eşim ve oğluma, destekleri ve sabırları için çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca gösterdikleri ilgi, yardım, destek ve sabırları için sevgili annem, babam, ablam ve rahmetli babaanneme de ayrıca sonsuz şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Endüstriyel Robot Türleri.....	2
1.2. Gazaltı Kaynak Robotları.....	4
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	9
2.1. Lazer Sensörle Kaynak Ağzı Bulma ve Takip Yöntemi .....	9
2.2. Ark Yoluyla Kaynak Ağzı Bulma ve Takip Yöntemi.....	18
2.3. Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma Yöntemi .....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	25
3.1. Materyal. ....	26
3.1.1. Numune Parça .....	26
3.1.2. Fikstür Plakası.....	26
3.1.3. Fanuc ArcMate 120ic 6 Eksenli Kaynak Robotu.....	27
3.1.4. Fanuc Ark Yoluyla Kaynak Ağzı Takip (AYKT) Yazılımı.....	29
3.1.5. Fanuc Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma Sensör Yazılımı.....	30
3.1.6. Fanuc SevoRobot Kaynak Ağzı Takip Sensörü Yazılımı.....	31
3.1.7. ServoRobot PowerCam 3-Boyutlu Lazer Kaynak Ağzı Takip Sensörü .....	31
3.1.8. Fronius CMT 4000 Advanced Kaynak Makinası .....	33
3.2. Yöntem.....	35
3.2.1. Lazer Sensörle Kaynak Ağzı Bulma ve Takip Deneyleri .....	36
3.2.2. Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma Deneyleri .....	39
3.2.3. Ark Yoluyla Kaynak Ağzı Takip Deneyleri .....	42
4. BULGULAR ve TARTIŞMA .....	47
4.1. Lazer Sensörle Kaynak Ağzı Bulma ve Takip Deneyi Bulguları .....	47
4.2. Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma Deneyleri .....	50



4.3. Ark Yoluyla Kaynak Ağız Takip Deneyleri .....	53
4.4. Yöntemlerin Karşılaştırması .....	56
4.4.1. Yatırım maliyeti .....	56
4.4.2. Çevrim Süresi .....	57
4.4.3. Programlama Kolaylığı .....	58
4.4.4. Kullanım ve Bakım Kolaylığı .....	59
4.4.5. Hassasiyet ve Tekrar Edebilirlik .....	59
4.4.6. Proses Güvenirliliği (Reliability) .....	60
4.4.7. Proses Esnekliği .....	60
5. SONUÇ .....	62
KAYNAKLAR .....	64
ÖZGEÇMİŞ .....	67

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
U	Ark gerilimi
L	Kaynak memesi ile iş parçası arasındaki mesafe
I	Ark akımı
$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$	Kaynak teli, gazı ve kaynak makinasının karakteristiği gibi faktörlere bağlı sabitlerdir
V	Volt
dc	Direct Current (Doğru Akım)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklamalar</b>
DEC	Digital Equipment Corporation
PDP-6	Programmed Data Processor -6 (1963 model bir bilgisayar)
PKM	Paralel Kinematik Makina
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayar Kontrollü)
SKM	Seri Kinematik Makina
CCD	Charge Coupled Device (Elektrik şarj yüklü cihaz)
TMN	Takım Merkez Noktası (Tool Center Point -TCP-)
CMT	Cold Metal Transfer (yeni nesil bir ark kaynağı yöntemi)
I/O	Input / Output (Girdi / Çıktı )
AYKT	Ark Yoluyla Kaynak Ağzı Takibi
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Endüstriyel robotların mekanik yapılarının ana kategorileri .....	3
Şekil 1.2. Endüstriyel robotların kullanım alanları ve sanayilere göre dağılımı.....	4
Şekil 1.3. Gazaltı kaynak prosesi .....	5
Şekil 1.4. Endüstriyel Robot Bölgesi .....	7
Şekil 2.1. Üçgenleştirme yönteminin çalışma prensibi.....	10
Şekil 2.2. Üçgenleştirme yöntemi kullanan kaynak ağzı takip sisteminin tarama prensibi.....	12
Şekil 2.3. Kaynak torcunun önüne monte edilmiş lazer sensörlü kaynak ağzı takip sistemi .....	14
Şekil 2.4. Yaygın kullanılan kaynak ağzı tipleri .....	15
Şekil 2.5. Kaynak profili oluşturma prosesinin adımları .....	16
Şekil 2.6. A: Takım Merkez Noktası (TMN)'nin tanımı ve ark yoluyla kaynak ağzı takibi sırasındaki zikzak kaynağı yönleri, B: ark yoluyla kaynak ağzı takibi için optimum torç pozisyonu .....	19
Şekil 2.7. L-plakaların ark yoluyla kaynak ağzı takibi örneği .....	21
Şekil 2.8. T-boru imalatında ark yoluyla kaynak ağzı takibi örneği .....	22
Şekil 2.9. Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma: 3 Boyutlu Arama Örneği .....	24
Şekil 3.1. Deney Düzenegi.....	25
Şekil 3.2. Numune Parça.....	26
Şekil 3.3. Fikstür Plakası ve Numune Parça .....	27
Şekil 3.4. Fanuc ArcMate 120iC.....	28
Şekil 3.5. Fanuc R30ib Robot Kontrol Ünitesi .....	28
Şekil 3.6. AYKT'nin Kullanılabileceği Kaynak Ağzı Geometrilere.....	30
Şekil 3.7. Servorobot Power-Cam Lazer Kamera.....	32
Şekil 3.8. Robotic Servorobot Lazer Sensör Sistem Bileşenleri.....	33
Şekil 3.9. Fronius CMT 4000 Advanced Kaynak Makinası Bileşenleri.....	34
Şekil 3.10. Fikstür Orijini ve Numune Parça Ölçüm Noktaları .....	36
Şekil 3.11. Lazer Sensörle Kaynak Ağzı Bulma Fanuc Robot Programı .....	37

Şekil 3.12. Lazer Sensör Görüntü Algılama Parametre Ayarları.....	38
Şekil 3.13. Fanuc Robot Lazer Sensör Parametre Ayarları .....	38
Şekil 3.14. Fanuc Robot Dokunma Sensörü Parametre Ayarları.....	40
Şekil 3.15. Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma Fanuc Robot Programı .....	41
Şekil 3.16. Ark Yoluyla Kaynak Ağzı Takip Fanuc Robot Programı .....	43
Şekil 3.17. Fanuc Robot Ark Yoluyla Kaynak Ağzı Takibi Parametre Ayarları.....	44
Şekil 3.18. Fanuc Robot Zikzak Kaynak Parametre Ayarları.....	45
Şekil 4.1. Deney-1 Kaynak Öncesi ve Sonrası Karşılaştırmalı Fotoğraflar.....	49
Şekil 4.2. Deney-2 Kaynak Öncesi ve Sonrası Karşılaştırmalı Fotoğraflar.....	52
Şekil 4.3. Deney-3 Kaynak Öncesi ve Sonrası Karşılaştırmalı Fotoğraflar.....	55



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Fanuc ArcMate 120iC Teknik Özellikler .....	29
Çizelge 3.2. Servorobot Power-Cam 3D Laser Vision Camera Teknik Özellikler .....	32
Çizelge 3.3. Fronius CMT 4000 Advanced Kaynak Makinası Teknik Özellikleri.....	35
Çizelge 4.1. Deney-1 Numune Parça Konum Çizelgesi .....	47
Çizelge 4.2. Deney-2 Numune Parça Konum Çizelgesi .....	50
Çizelge 4.3. Deney-3 Numune Parça Konum Çizelgesi .....	53
Çizelge 4.4. Sensör sistemlerinin yatırım maliyetleri .....	57
Çizelge 4.5. Sensör sistemlerinin deneylerdeki çevrim süreleri .....	58
Çizelge 4.6. Sensör sistemlerinin tekrar edebilirlik yüzdeleri .....	60
Çizelge 5.1. Yöntemlerin değerlendirme matrisi .....	62

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada modern imalat sanayiinde kullanımı oldukça yaygınlaşan akıllı kaynak sistemlerinden en yaygınlarının hangileri oldukları, kullanım alanları ve birbirlerine göre farklılıkları kıyaslanacaktır.

Konunun detaylarına girmeden önce bu bölümde endüstriyel robotlar, gaz altı kaynak prosesi ve robotlu gaz altı kaynak prosesleri ile ilgili genel bilgiler verilecektir.

Litaretürde endüstriyel robot şu şekilde tanımlanmaktadır: endüstriyel robot otomatik olarak kontrol edilen, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, en az üç veya daha fazla eksenenden oluşan, endüstriyel uygulamalarda kullanılan bir yerde sabit veya taşınabilir türleri olan bir manipulatördür (Anonim, 2012a).

Robot kolların modern tarihi 1940'lı yılların sonlarından itibaren başlar. Bu yıllarda servo kontrollü kollar, ilk olarak nükleer maddelerin taşınması sırasında teknisyenlerin korunması amacıyla kullanılmaya başlanan usta-köle (master-slave) robot kolu sistemleriyle bağlantılı olarak geliştirilmeye başlanmıştır (Siciliano ve Khatib 2016).

Endüstriyel robotların icadı ise 1954 yılında, mucit George Devol'ın programlanmış nesne taşınması üzerine aldığı patentle olmuştur. Bu genç mühendisin girişimci Joseph Engelberger ile bir araya gelmesi ile de ilk endüstriyel robot şirketi olan Unimation kuruldu. Firmanın ilk robotu ise 1961 yılında General Motors otomotiv fabrikasında, bir döküm makinasındaki parçaların yerinden çıkartılması amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Takibeden yıllarda hidrolik hareket ettirilen Unimates robotların büyük çoğunluğu parça taşıma ve araç gövdesi punta kaynağı işlerinde kullanılmak üzere satılmıştır (Westerlund 2000).

Endüstriyel robot konusundaki büyük atılımlardan birisi 1969 yılında Victor Scheinman tarafından bir araştırma prototipi olarak tasarlanan Stanford Kolu'dur. 6 serbestlik derecesine sahip, tamamen elektrikli bu robot kol zamanının en ileri teknolojisi olan bir DEC PDP-6 bilgisayar ile kontrol edilmekteydi. Bu robot kolun bir prizmatik, beş döner eklemden oluşan insansı olmayan kinematik yapısı robotun hareketi esnasında hesaplanması gereken robot kinematik denklem hesaplarının bilgisayar tarafından kısa

sürede yapılmasını sağlayacak kadar basitti. Robotun sürücü sistemi; doğru akım (DA) elektrik motorlar, harmonik ve düz dişli kutuları, pozisyon ve hız geri beslemeleri için gerilim ve hız ölçerlerden oluşmaktaydı (Scheinman 1969).

1973 yılında ASEA (şu anki ABB) firması ilk mikro-bilgisayar kontrollü, tamamen elektrikli endüstriyel robot olan IRB-6'yı piyasaya sürdü. Bununla birlikte sürekli yörünge hareketi gerektiren gazaltı kaynağı ve malzeme işleme gibi bir çok endüstriyel imalat yöntemi robotlarla uygulanabilir hale geldi. Gelişmelerle birlikte 1970'li yıllarda robotlar özellikle otomotivdeki kaynak ve parça taşıma işlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaya başlandı (Anonim, 2012b).

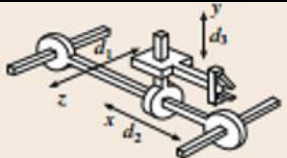
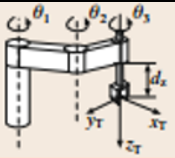
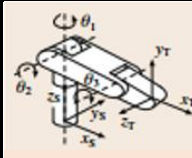




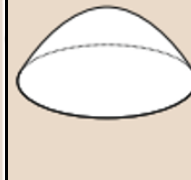




Endüstriyel robot alanında seri robot yapılarının kütle ve ataletlerinin azaltılması çabaları başlıca araştırma hedeflerinden olagelmıştır. Bunda araştırmacılar için en önemli örnek teşkil eden insan kolunun ağırlığının, taşıyabildiği yüke olan oranının 1/1'den bile iyi olmasının payı büyüktür. 2006 yılında robot üreticisi KUKA firması 7 serbestlik derecesine ve ileri tork kontrolü gibi yeteneklere sahip LBR isimli hafif robotlarının prototipini tanıttı (Haddadin ve ark. 2013). Günümüzde KUKA'nin en son modellerinden olan LBR IIWA 14 R820 modeli, 30 kg toplam robot ağırlığı ile 14 kg'lık yükleri taşıyabilmektedir (Anonim, 2016).

Endüstriyel robotları insan becerikliliği seviyelerine yaklaştıracak yeni adımlardan bir tanesinin de yakın zamanda tanıtılmaya başlayan iki kollu robot tasarımlarının olacağı çok açıktır (Bloss 2013). Robot yeteneklerinin insanla robotun güvenli bir şekilde birlikte çalışabilirliğini destekleyecek şekilde hızla gelişmekte olduğu da göz önünde bulundurulursa; halen yoğun insan işçiliği gerektiren işyerlerinde de üretim kapasitesinin, verimliliğinin ve ergonomik kalitenin artacağı yeni üretim yöntemlerinin devreye alınması mümkün olacaktır (Kock ve ark. 2011).

### **1.1. Endüstriyel Robot Türleri**

Robotlar sahip oldukları bağımsız kinematik eksenlerin sayısına, robotun kinematik özelliklerinin çoğunu etkileyen bu eksenlerin mekanik yapısına, eklem hareketlerini belirleyen hesaplama yöntemlerine ve robot çalışma sahasının şekil ve boyutlarına göre

sınıflandırılabilirler. Robotların mekanik yapıları birbirine komşu eklemleri (prizmatik, döner, silindirik veya küresel) birleştiren katı cisim olarak tanımlanan bağlantı kollarından oluşmaktadır. Şekil 1.1.'de en yaygın olarak kullanılan robot mekanik yapıları gösterilmektedir (Siciliano ve Khatib 2016).

Kategori	Kartezyen	SCARA	Mafsallı	Paralel
Robot ana eksen yapısı	 3 Prizmatik mafsalsal	 1 Prizmatik, 2(3) Döner mafsalsal	 3 Döner mafsalsal	 3,4 veya 6 Prizmatik mafsalsal
Çalışma alanı şekli				
Teknik örnek				

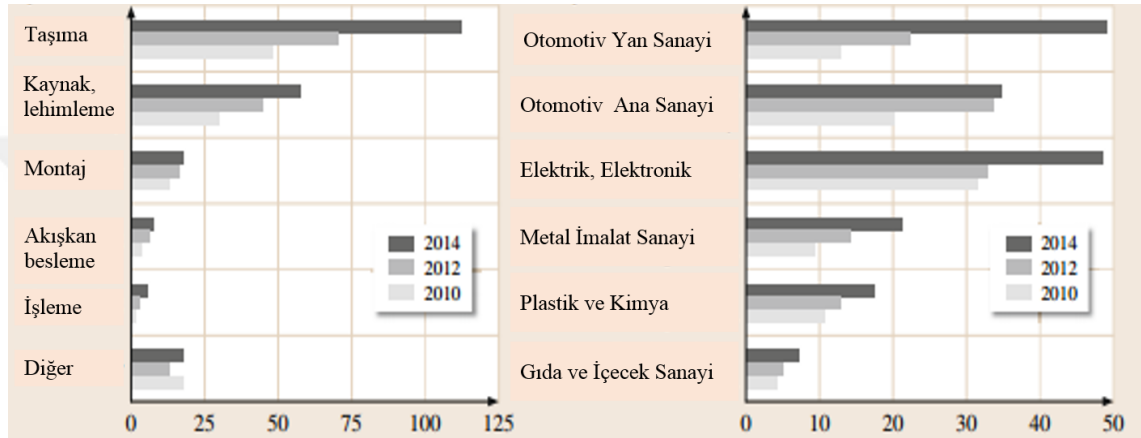
**Şekil 1.1.** Endüstriyel robotların mekanik yapılarının ana kategorileri (Siciliano ve Khatib 2016)

Robotların mekanik yapısının seçimi çoğunlukla taşıma kapasitesi ve çalışma alanı boyutları gibi mekanik gereksinimlere bağlıdır. Yatırım bütçelerine bağlı olarak genelde robot çalışma alanı boyutları ile rijitliği arasında da seçim yapmak gerekebilir. Genel olarak robot erişimleri göz önünde bulundurulduğu zaman, eklemlili mekanik tasarımlar daha avantajlı görünmekle birlikte, rijitlik ve doğruluk gibi faktörler de işin içine girince robot seçimi daha da zor hale gelebilmektedir. Şekil 1.1'deki ilk üç tip seri kinematik makinalar (SKM) olarak isimlendirilirken, son tip paralel kinematik makinadır (PKM). Maksimum rijitliği elde edebilmek ve aynı zamanda maliyeti de en az seviyelerde tutmayı hedefleyerek; robotun tutucu kolu farklı yönlerden daha iyi desteklenebilir. PKM'ler bu bakımdan avantajlıdır. Bununla beraber, eğer yüksek rijitlik ana gereksinim



ise (düşük ağırlık ve yüksek beceriklilik değil), CNC bir takım tezgahı prensip olarak robotik bir kartezyen mekanizmaya çok benzerlik gösterir (Siciliano ve Khatib 2016).

Şekil 1.2’de de görüldüğü üzere endüstriyel robotların en fazla kullanıldığı uygulamalar parça ve malzeme taşıma, kaynak (punta ve gaz altı), montaj, mastik ve boya prosesleridir. Endüstri bazında ise robotlar en yaygın olarak otomotiv sektöründe kullanılmaktadır (Anonim, 2017a).

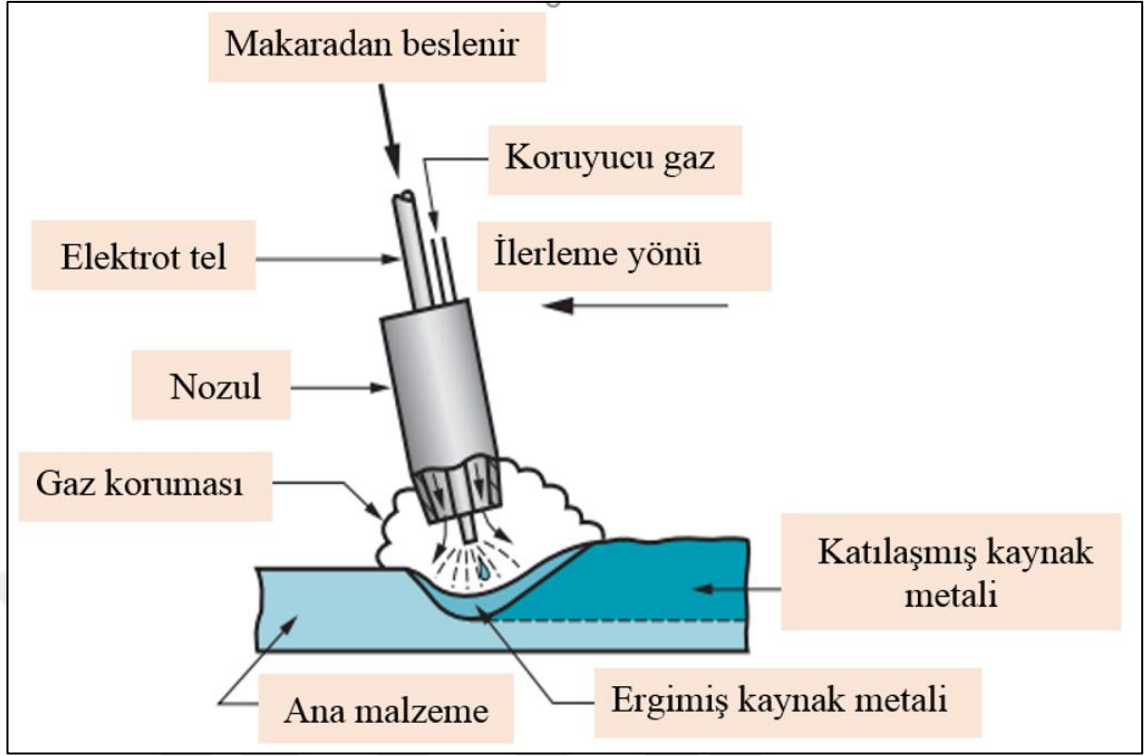


Şekil 1.2. Endüstriyel robotların kullanım alanları ve sanayilere göre dağılımı (Anonim, 2017a)

## 1.2. Gazaltı Kaynak Robotları

Bu araştırmada robotların en yoğun ve eskiden beridir kullanılmakta oldukları gaz altı kaynağı uygulamasının adaptif yöntemleri inceleneceği için gaz altı kaynağı ile ilgili olarak da kısaca bilgi vermek faydalı olacaktır.

Ark kaynağı, iş parçası ile kaynak elektrodu arasında oluşan elektrik arkı sayesinde ortaya çıkan ısı ile metallerin birbirine kaynaştırılmasının sağlandığı bir ergitme kaynak yöntemidir. Gazaltı kaynağı ise elektrod olarak çıplak (örtüsüz) metal tel, oksidasyon koruması içinse koruyucu gaz kullanılan bir ark kaynağı yöntemidir. Çıplak tel, kaynak işlemi sırasında, şekil 1.3’te gösterildiği gibi kaynak tabancasının ucundan çıkacak şekilde sürekli ve otomatik bir şekilde bir tel bobininden beslenir (Groover 2010).



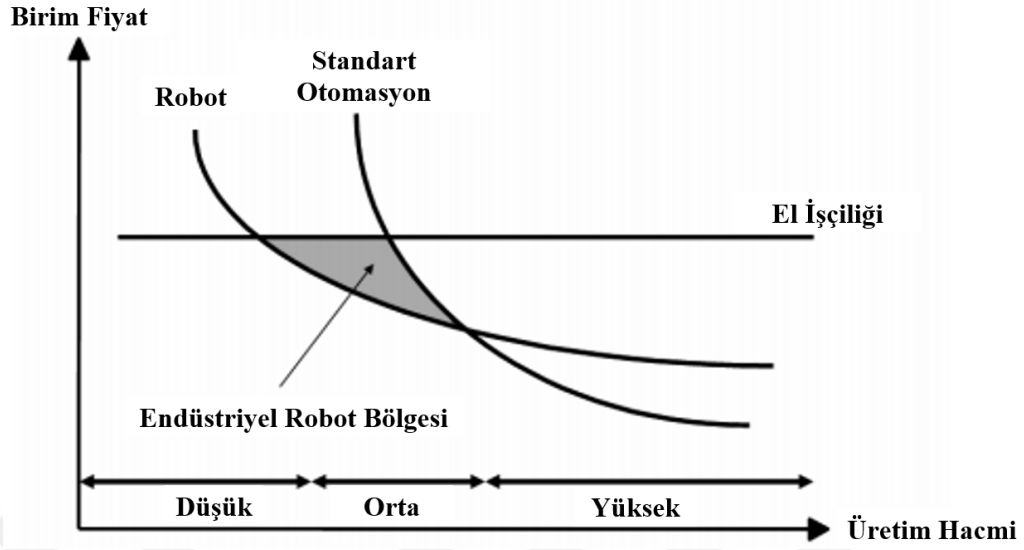
**Şekil 1.3.** Gazaltı kaynak prosesi (Groover 2010)

Gazaltı kaynağında, birleştirilecek parçaların kalınlığına ve tel besleme oranına bağlı olarak çapı 0.8 mm-6.45 mm arası kaynak telleri kullanılabilir. Koruyucu gaz olarak ise Helyum ve Argon gibi soygazlar veya CO<sub>2</sub> gibi aktif gazlar kullanılmaktadır. Gaz ve gaz karışımı seçiminde malzeme türü ve kaynaklı birleştirmede istenilen özellikler gibi faktörler önemlidir. Genel olarak alüminyum alaşımları ve paslanmaz çelik kaynaklarında soygazlar kullanılırken, az ve orta karbonlu çeliklerin kaynağında CO<sub>2</sub> gibi aktif gazlar tercih edilir. Çıplak tel elektrod ve koruyucu gazın birlikte kullanılması kaynak esnasında ve sonrasında kaynak cürufu oluşmasını engeller ve böylelikle cürufun elle taşlanması ve temizlenmesi gibi katma değeri olmayan ilave işçiliğe gerek kalmaz. Bu nedenle gazaltı kaynağı aynı kaynak bağlantısı üzerinde birden çok paso atılması gereken durumlar için de ideal bir prosedir. Gazaltı kaynağı 1940'li yıllardan beridir, imalat sanayiinde çok çeşitli demir bazlı ve demir dışı metalin kaynağında yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektrod ark kaynağında kısa çubuk elektrotlar kullanılmasına rağmen, gazaltı kaynağında sürekli beslenebilen kaynak teli bobinlerinin kullanılması özellikle proses zamanının daha kısa olmasına imkan vermektedir. Aynı

nedenlerle gazaltı kaynağının otomasyonu çok daha kolaydır. Gazaltı kaynağının, elektrot kaynağına kıyasla çok daha az atıl elektrod bırakması, daha yüksek elektrod besleme oranına sahip olması, cüruf oluşturmaması ve daha esnek üretime olanak sağlaması gibi diğer avantajları da vardır. (Groover 2010)

İmalat sanayiinde manuel gazaltı kaynağının bazı dezavantajları vardır. Öncelikle iyi eğitilmiş ve deneyimli kaynakçılar gerektirmektedir. Usta kaynakçılar tarafından bile yapılsa, kaynak kalitesinin sürekli aynı seviyede tutulabilmesi oldukça zordur. Kaynakçıların birbirleri arasındaki performans farkları, ve hatta aynı kaynağının vardiya başı ve sonu performanslarının farklı olması gibi nedenler kalite tekrar edebilirliğini ve standardizasyonunu güçleştirmektedir. Ayrıca proses, işçi sağlığı ve güvenliği açısından da sakıncalar içermektedir. Çıkan ultraviyole ışınlar ve kaynak gazları, ısınan iş parçası ve iş ortamı, bazı kaynak pozisyonlarının ergonomik zorluğu gibi tehlikeler içermektedir. Proses verimliliği açısından da çevrim sürelerinin uzunluğu, operatörlerin dinlenme gereksinimleri gibi nedenlerle yüksek verimliliği sağlamak oldukça güçtür. Manuel gazaltı kaynağındaki tüm bu dezavantajlar göz önünde bulundurulunca, standart ve yüksek kalitenin gerektiği ve yüksek imalat hacimlerinin olduğu otomotiv sanayii gibi sektörlerde robotlu gazaltı kaynağı uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Manuel gazaltı kaynağının başlıca dezavantajlarını saydıktan sonra şu önemli soruyu sorabiliriz, robotik gazaltı kaynağı neden kullanılmaktadır? Bunun sebeplerini şu şekilde özetleyebiliriz:

1. Endüstriyel robot kollar imalat proseslerini insana benzer bir şekilde ve en az insanlarla kıyaslanabilir kalitede ve çok daha uzun süre boyunca yapabilirler,
2. Endüstriyel robot kollar küçük ve orta ölçekli üretim hacimlerinde “üretim maliyeti” ve “üretim hacmi” arasındaki en iyi oranı sunarlar (bkz. şekil 1.4). Yüksek rekabetin olduğu, müşterilerin ürün özelliklerini belirlediği, ürünlerin kullanım ömürlerinin kısaldığı, düşük fiyatlı ama yüksek kaliteli ürünlere olan talebin arttığı günümüz pazar koşullarında firmalar çoğunlukla siparişe göre üretim yapmakta, stoklu üretim riskine girmemektedirler. Bu da üretimlerin genel olarak küçük ve orta ölçekli olmasını gerektirmektedir,



Şekil 1.4. Endüstriyel Robot Bölgesi (Pires ve ark. 2006)

3. Robot kollar programlanabilir olmaları nedeniyle çok farklı imalat görevlerini yapabilecek şekilde adapte olabilen eşsiz esneklikte makinalardır. Bu özellikleri nedeniyle robotlar çok sık görev değişikliği gerektiren imalat ortamlarında kullanmak için çok uygundur. Pazardaki değişikliklere hızlı karşılık verebilmek ve yeni ürünleri piyasaya hızlıca sürebilmek için bu çok önemlidir. (Pires ve ark. 2006)

Tüm bu avantajlarına rağmen standart robotlu gazaltı kaynağı sistemleri, programlanmış kaynak ağız yörüngelerini takip edebilirler. Fakat bazı durumlarda ortaya çıkabilecek parçalar arası farklılıklar, fikstürlemeden kaynaklanan tekrar edebilirlik problemleri veya tüm bunlar önlenirse bile; kaynak esnasında oluşan atıklıklar robotlu gazaltı kaynağını oldukça zor hale getirebilmektedirler. Otomotiv ana sanayii ve yan sanayii gibi gelişmiş kalite güvence sistemlerini kullanıp; sıkı toleranslarla, yüksek adetlerde imalat yapabilen ve çok yüksek kaynak parametresi gerektirmeyen ince sac kaynaklarının yoğunlukta olduğu endüstrilerde standart gazaltı kaynak robotu sistemleri rahatça kullanılabilir. Hem parça tekrar edebilirliği hem de parçaların iyi fikstürlenmesi, robotların bir kere programlandıktan sonra aynı yörüngeyi her parça için aynı şekilde takip edebilmesini sağlamaktadır. Bu yörüngeler boyunca robot, kaynak makinasından

gerekli kaynak parametrelerini çağırarak, kaliteli ve tekrar edebilir kaynaklı imalatları yapabilir.

Fakat bazı sektörlerde parçaların kalınlığı, imalatın zorluğu nedeniyle sıkı toleransların elde edilememesi, ya da uçak motoru ve enerji gaz türbini gibi parça maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle parçaların belirli bir süre kullanıldıktan sonra tamirinin gerektiği fakat yüksek sıcaklık ve aerodinamik kuvvetlere maruz kalmış parçaların olduğu durumlarda kaynak ağzının tekrar edebilirliği çok zorlaşmaktadır. Sıkı toleranslarla tekrar edebilir kaynak ağzı hazırlamak veya yine bu amaçla kullanılacak fikstürler kullanmak da çok maliyetli olabilmektedir. Bazı parçalarda ise kaynak öncesi durumda kaynak ağzı tekrar edebilirliği sağlansa bile, kaynatılacak parçaların özellikleri, kullanılması gereken kaynak parametrelerinin parçanın çok ısınmasına neden olması gibi sebeplerden dolayı parçalar kaynatılırken çarpılabilmekte, bu da kaynak ağzı şeklinin de değişmesine neden olabilmektedir. İşte yukarıda sayılan sebeplerden dolayı standart robotlu gazaltı kaynağının kullanılmadığı fakat gerek maliyet gerekse kalite ve iş güvenliği gibi nedenlerden dolayı robotlu üretimin kaçınılmaz olduğu durumlarda adaptif gazaltı kaynağı yöntemlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada endüstride gün geçtikçe yaygınlaşan robotik kaynak uygulamalarında; fikstürsüz imalat yapabilmek, aynı iş istasyonunda farklı parçaları kaynatabilmek, seri imalattaki parçalar arası varyasyonları kompanse edebilmek amaçlı kullanılmakta olan adaptif ark kaynağı yöntemlerinin teorik olarak incelenmesi ve sonrasında denemeler yapmak sureti ile kıyaslanması amaçlanmaktadır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gazaltı kaynağında kullanılan geometri sensörleri, kaynak ağız geometrisi ile ilgili geometrik parametre bilgilerinin elde edilebilmesini sağlamaktadır. Bu bilgiler hem kaynak ağız takibi yapabilmek hem de kaynak kalite kontrolü açısından çok önemlidir. Bilgi toplama işi bir çok yolla yapılabilir, fakat en yaygını kaynak ağız takip sistemleridir. Bu sistemler hem kaynak ağız hakkında bazı bilgileri hem de kaynak esnasındaki hedef pozisyon bilgisini toplayabilirler. Toplanan bilgilere örnek olarak nominal patikadan sapma miktarı, oryantasyon (açısal dönüklük) değişiklikleri ve parçalar arası aralık ölçüsü verilebilir. Robotlu gazaltı kaynağında sensör kullanımı denince genellikle sensörlerin kaynak esnasında kullanımı akla gelir. Fakat bazı durumlarda sensörler kaynağa başlamadan önce kaynak ağızının veya iş parçalarının yerini ve açısal dönüklüğünü (oryantasyonunu) saptama amacıyla da kullanılabilirler. Bu amaçla görüntü tanıma ve binary (iki terimli) sensörler gibi değişik konum tespiti teknikleri kullanılabilir. Fakat, asıl zor ve uğraştırıcı olanı kaynak esnasında sensör kullanımınıdır. Yüksek sıcaklık, yoğun kaynak ışığı ve yüksek elektrik akımının olduğu ağır çalışma ortamlarında özellikle bu amaç için imal edilmiş sensörler kullanılmalıdır. Bu amaçla en yaygın kullanılan sensörler optik kaynak ağız takip sensörleri ve ark yoluyla kaynak ağız takip (through-arc sensing) sensörleridir (Pires ve ark. 2006).

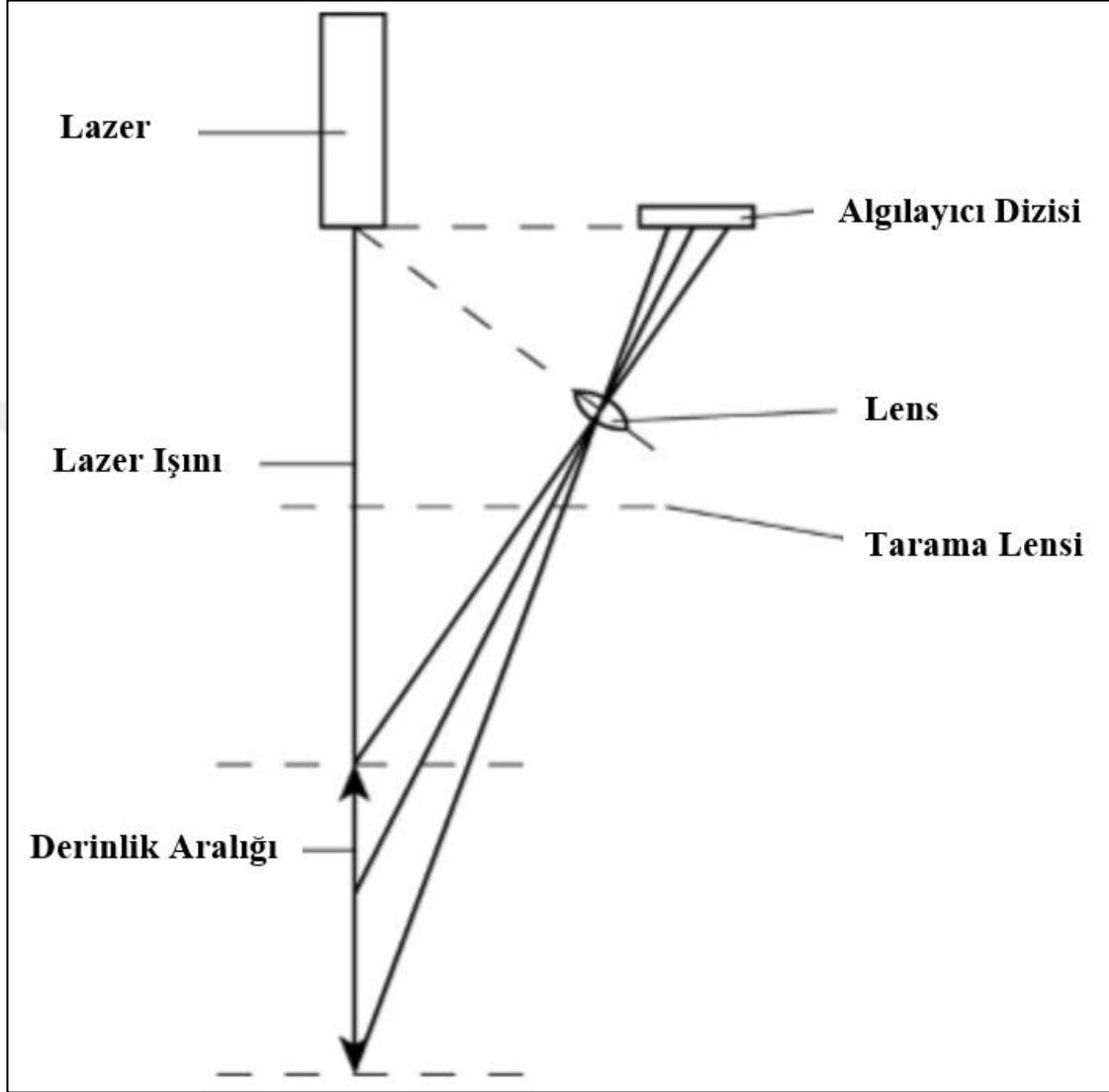
### 2.1. Lazer Sensörle Kaynak Ağız Bulma ve Takip Yöntemi

Optik sensörler gazaltı kaynağı esnasında kaynak ağızını takip ederken aşağıda bahsedilen temel prensipleri kullanırlar:

- i. Bir lazer ışını tarama hareketi ile kaynak ağızı boyunca yansıtılır,
- ii. Bir CCD algılayıcı dizisi lazer şeridi aracılığı ile kaynak ağızı özelliklerini ölçmek için kullanılır.

Bu yöntemin farklı şekilleri endüstride kullanılmaktadır. Örneğin lazer ışınının kaynak ağızı üzerine çizgisel şerid halinde değil de dairesel olarak yansıtılması bunlardan biridir. Bu durumda sensörün torcun bir yerinden köşelerdeki veya görüş alanı içerisindeki

kaynak ağzını bulma esnekliği daha fazladır. Mesafe ölçümü için; gazaltı kaynanağında önemi çok büyük olan üçgenleştirme yöntemi kullanılır (bkz. Şekil 2.1) (Agren 1995).



**Şekil 2.1.** Üçgenleştirme yönteminin çalışma prensibi (Agren 1995)

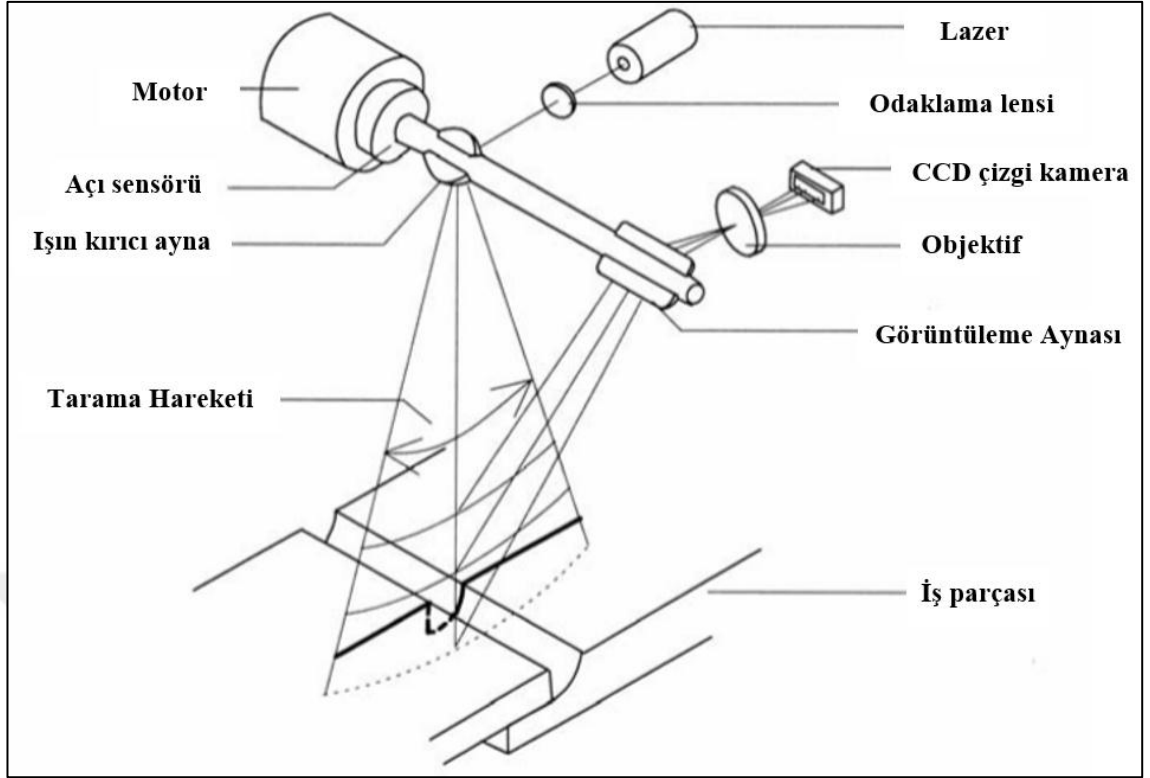
Lazer ışını nesne üzerine düşürülür ve lazer sensörü lensinden görünen nesne yansıması; sensör ve nesne arasındaki mesafe sayesinde saptanır. Eğer nesne sensöre yakın ise çıkan ışın ile algılayıcının odaklama lensinden gelen yansıma arasındaki açı büyük olur, eğer nesne daha uzak ise bu açı küçük olur. Sensör ile nesne arasındaki mesafenin tespiti, gelen ışınının genellikle CCD dizisi şeklinde olan algılayıcı üzerine

odaklanmasıyla gerçekleştirilir. CCD dizisinin hangi pikselinin aydınlandığına bağlı olarak nesneye olan uzaklığı hesaplamak mümkündür (Agren 1995).

Kaynak ağzı hazırlığına ve geometrik şekline bağlı olarak, lazer ışını aynalara benzer yansımalar üretebilir. Örneğin V-kanalı şeklindeki bir kaynak ağzını ele alırsak, lazer ışını burada bir çok yansıma pozisyonları üretecektir fakat bunların kaynak ağzının yüzeylerine bağlı olarak yoğunlukları farklı olacaktır. Bu nedenle, bu tip sensörlerin ilgi alanına ait olmayan yansımaları filtreleyebilecek gerçek zamanlı görüntü işleme kabiliyetlerinin olması şarttır. Bu bağlamda yüksek yansıtıcılığa sahip malzemelerin kaynağı sırasında bu sensörlerin kullanımında bazı problemler çıkabileceği ve işlevselliğinin doğrulanması için testler yapılması gerekebileceğinin not edilmesi gerekir (Pires ve ark. 2006).

Üçgenleştirme sensörünün temel işlevi, ışının düştüğü nesne üzerindeki yere olan mesafesinin ölçülmesidir. Bu, örneğin kaynak veya kesme gibi robotlu uygulamalar sırasında yüksekliğin kontrolü gibi durumlarda faydalı olabilmektedir. Fakat, üçgenleştirmenin gazaltı kaynağındaki yaygın kullanımı, kaynak ağzı takibi içindir ve bu da kaynak ağzı geometrisinin ölçülmesini gerektirir. Kaynak ağzı geometrisinin ölçülmesi, ışının kaynak ağzı boyunca taranması prensibi ile sağlanır (bknz. Şekil 2.2 ) (Agren 1995).





**Şekil 2.2.** Üçgenleştirme yöntemi kullanan kaynak ağızı takip sisteminin tarama prensibi (Agren 1995)

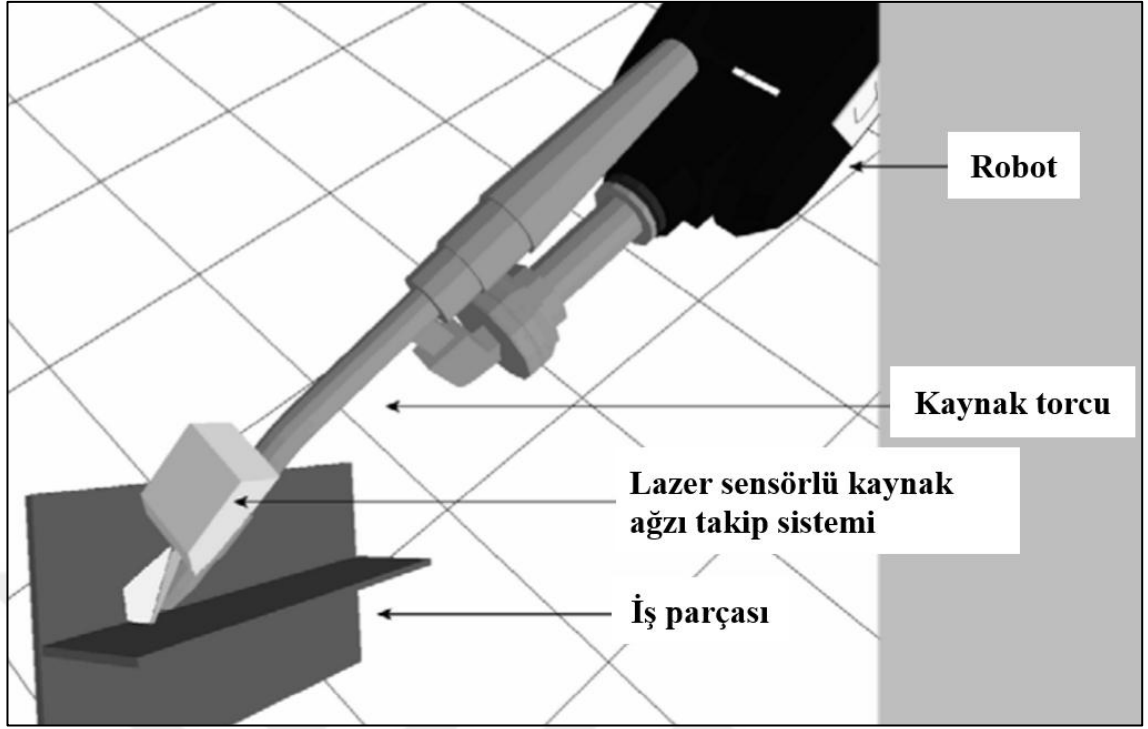
Tarama sırasında sensör, kaynak ağızı profilinin iki boyutlu resmini iki boyutlu koordinat dizisi şeklinde elde eder. Kaynak işlemi sırasında, robot ve sensör kaynak ağızı boyunca hareket ederken, kaynak ağızı geometrisinin tüm üç boyutlu tanımlamasını içeren modeli oluşturulabilir (Pires ve ark. 2006).

Eğer lazer şeridi nesne üzerine yansıtılır ve iki boyutlu CCD dizisi tarafından algılanırsa, görüntü bilgisi robotu hiç hareket ettirmeden kullanılabilir. Bu lazer şeridinin dairesel olduğu ve köşeye hedeflendiği durumlarda faydalı olan bir tekniktir. Sonrasında, köşe ve duvarların yerleri robotun sadece bir pozisyonundan saptanabilir. Bu yöntem, bir keresinde sadece bir duvarın ölçüldüğü geleneksel tekniğe göre çok daha kısa sürmektedir (Pires ve ark. 2006).

Çoğu durumda, üçgenleştirme temelli optik kaynak ağızı takip sistemleri, robotu kaynak esnasında gerçek zamanlı olarak yörüngede tutmak için kullanılırlar. Bununla beraber,

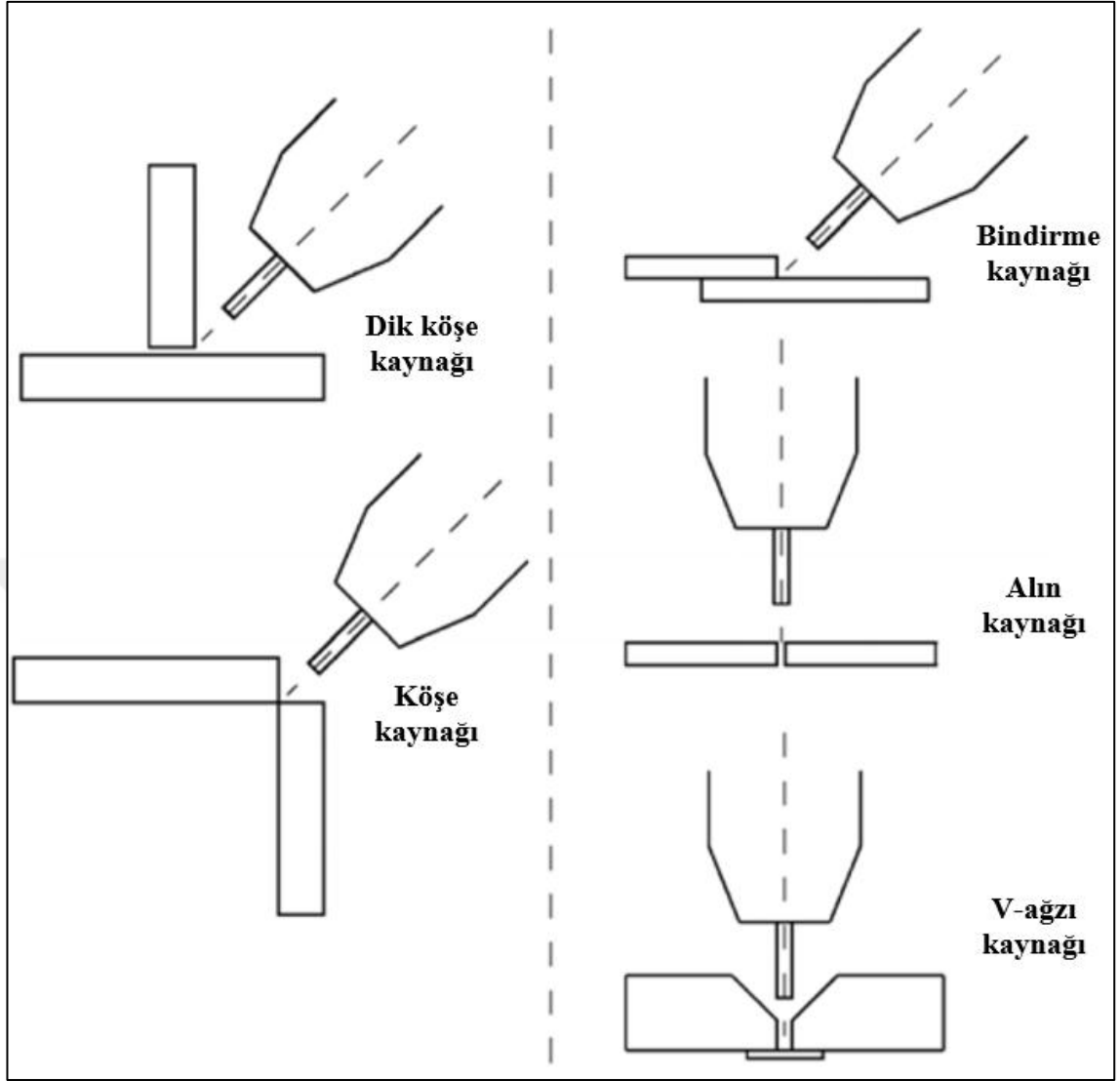
bu sensörlerin yetenekleri bununla sınırlı değildir. Bir çok durumda; kaynak hacmi, boşluk ölçüsü, kayıklık, punta kaynağı, vb. bilgileri de toplayabilmektedirler. Bu bilgiler hem kaynak makinasının hem de robotun önceden belirlenmiş şartlara uygun kaynakları atabilmesi için uyarlanabilir geri besleme kontrolü ile çalışmasına imkan verir. Örneğin, kaynak boşluğuna göre belirlenecek kaynak torcu ilerleme hızı robot tarafından, kaynak gücüyle ilgili diğer parametreler de kaynak makinası tarafından eş zamanlı kontrol edilebilir (Agren 1995).

Eğer boşluk değişiyorsa kontrol edilebilecek birkaç şey vardır: (i) metal besleme işlemi kaynak şekli sabit kalacak bir şekilde yapılmalıdır, (ii) büyük boşluk ana malzeme yanmasına hassas olduğu için kontrol yöntemi olarak ilerleme hızını, tel sürme hızı (kaynak akımı) ile birlikte düşürmek seçilebilir, (iii) öte yandan çok düşük akım değerleri kaynaşma eksikliğine ve kaynaklarda çatlak oluşumuna neden olabilir. Daha yüksek akım değerlerini kullanabilip ana malzemelerin de yanmasını engellemek için zig-zag kaynağı yapılabilir. Tüm bunlar gösteriyor ki kontrol planları bazıları sınır şartlar olan bazıları da birbirlerinin etkisini gideren ve yeni yollarla kaynak yapmaya öncülük eden bir çok parametreyi dikkate almalıdır. Kalın plakaların robot kaynağında genellikle kaynak çoklu pasolar şeklinde atılır. Önce bir kök pasosu ve sonrasında da kaynak ağzını dolduracak ilave pasolar atılır. Bu durumlarda kaynak ağzı takip sensörünün kullanımı farklı şekillerde olabilir. Çogunlukla takip kök paso için yapılır. Bu işlem sırasında robot kaynak yörüngesini kaydeder ve sonraki pasolar gerçek kaynak ağzı geometrisini baz alan kök pasoya göre atılır (Pires ve ark. 2006).



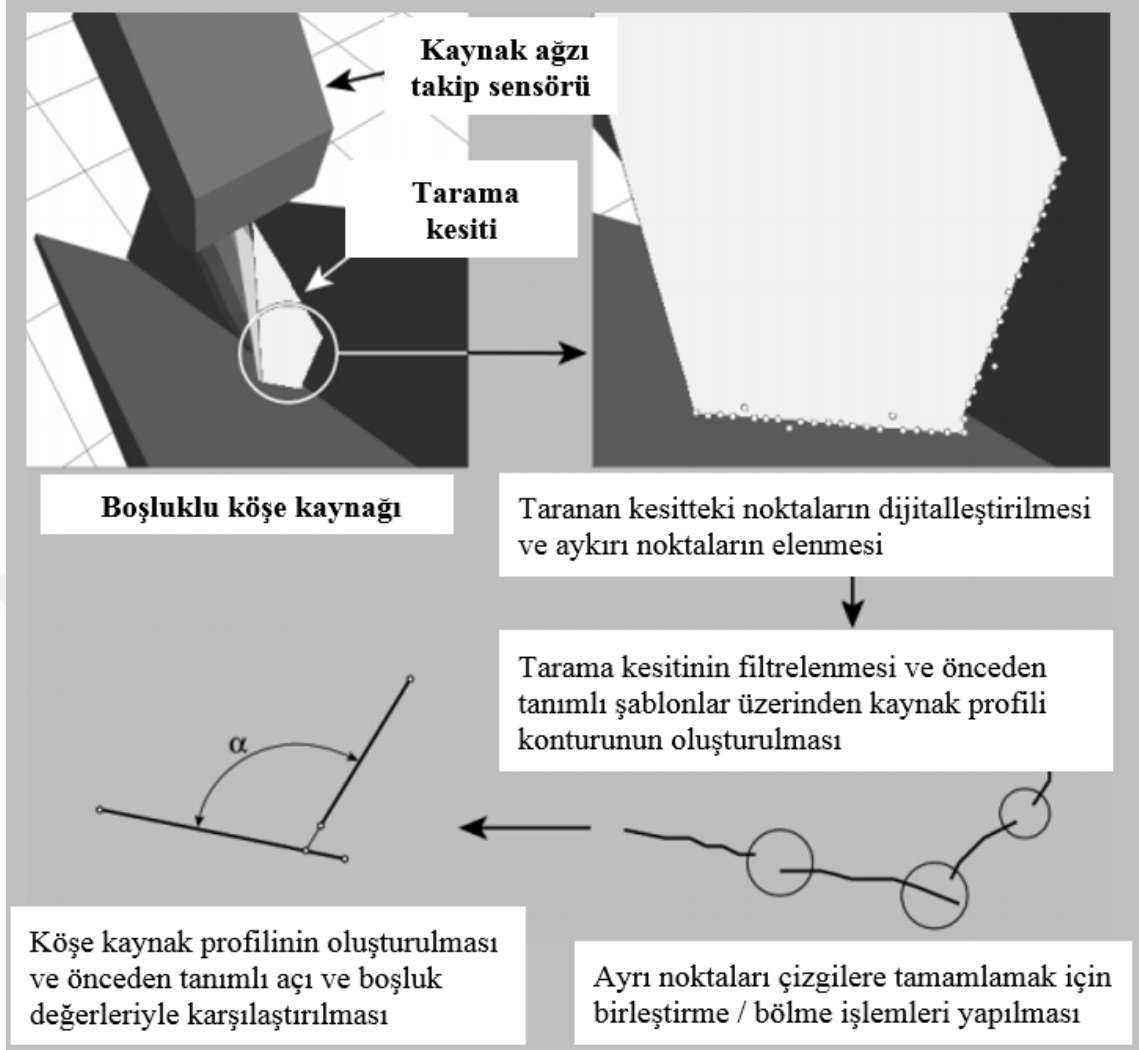
**Şekil 2.3.** Kaynak torcunun önüne monte edilmiş lazer sensörlü kaynak ağız takip sistemi (Cederberg ve ark. 2002)

Lazerli kaynak ağız takip sistemi genellikle kaynak torcuna monte edilir ve kaynak yapılacak yönün biraz ön tarafına kaynak ağız görüş alanı içerisine girecek şekilde ayarlanır (bkz. şekil 2.3). Bu robotun bir serbestlik derecesi kullanıp sensörü kaynak ağız ile hizalı tutmasını gerektirir. Başka bir yöntem ise, ayrı bir hareket kullanarak sensörün kaynak torcu etrafında dönmesinin sağlanması ve böylece sensör ile kaynak torcu arasındaki hizalama ilişkisinin sağlanmasıdır. Kaynak ağız takip sensörü kaynak torcunun izlemesi gereken hedef pozisyon bilgilerini sürekli olarak ölçmeli ve bildirmelidir. Bu bilgiler robot kontrol ünitesi tarafından ileride kullanılmak üzere zamanla ilişkilendirilmek suretiyle ara belleğe kaydedilmelidir. Lazer tarayıcıdan gelen bilgilerin kullanılabilmesi için kaynak ağız özelliklerinin görüntüden çekilmesi ve robot ara belleğinde kayıtlı hedef pozisyon bilgilerinin belirlenmesi gerekir. Kaynak ağız özelliklerini çeken algoritma, tespit edilecek kaynak ağıza bağlı olup, önceden tanımlanır. Farklı kaynak ağız tipleri şekil 2.4'te gösterilmiştir (Cederberg ve ark. 2002).



**Şekil 2.4.** Yaygın kullanılan kaynak ağzı tipleri (Cederberg ve ark. 2002)

Kaynak ağzı özelliklerini tanıma prosesi şu temel adımları içerir: (i) aykırı bilgilerin tespiti ve silinmesi, (ii) kaynak profili konturunun oluşturulması ve önceden tanımlı şablonlar üzerinden çizgi parçalarının oluşturulması, (iii) çizgi parçalarının birleştirilmesi, ve (iv) kaynak ağzı parametrelerinin önceden belirtilmiş toleranslar içinde olduğunun ve kaynak ağzının temel alınan şablona uygunluğun doğrulanması (bknz. şekil 2.5) (Cederberg ve ark. 2002).



**Şekil 2.5.** Kaynak profili oluşturma prosesinin adımları (Cederberg ve ark. 2002)

Kontrol açısından bakacak olursak, kaynak ağız takibi genellikle ölçülen kaynak hatasının tam telafisi ile yapılır. Takip genellikle sadece anma yörüngesi kullanılarak yapılır. Anma yörüngesi kaynak ağzının olması gereken şeklindedir. Takip sırasında robot kontrol ünitesi yeni hedef pozisyon bilgilerini sensörden alır ve anma yörüngesini kaynak teli ucu pozisyonunu değiştirmek suretiyle yeniler. Bunun bazı avantajları ve dezavantajları vardır. Avantaj olarak, elde bir anma yörüngesi olduğu için robotun kafa açılarını (oryantasyonunu) sabit tutarken yörüngeyi bazı küçük değişikliklerle takip etme kabiliyetini doğrulamak çok kolaydır. Bu, eksen limitleri, tekillikler ve olası çarpışmalar gibi problemlerin azaltılması anlamına gelecektir. Dezavantaj olarak, kullanıcı anma yörüngesini önceden tanımlamalı ve programlamalıdır (Pires ve ark. 2006).

Eğer bunun yerine; robota sadece nerede başlayıp nerede bitireceği öğretilirse, robotun sensör tarafından ölçülen yörüngeyi eş zamanlı olarak takip etmesi gerekir. Bu durum, robotun yörüngeyi hem hedef pozisyonu hem de torç oryantasyonu bilgileri olacak şekilde hesaplamasını gerektirdiği için, robot sistemine ilişkin ilave şartlar getirir. Bunu yaparken robot; tekillik bölgelerine girme, eksen limitleri ve iş parçasına çarpma gibi kontrol problemleriyle kolaylıkla karşılaşabilir. Bununla birlikte, yüksek faydalı ve daha esnek kaynak ağzı takibi, mevcut sensörleri kullanarak sağlanabilir. Sensör datasını kullanmak, robotun ölçülen ve oluşturulan yörüngeyi takibini sağlaması için; ara bellekteki hedef pozisyon datalarının filtrelenebilmesi gerekir. Bunun için önerilen yöntemlerden birisi, yaklaşık olarak beş adet hedef pozisyon kullanarak;  $x$ ,  $y$ ,  $z$  için bir polinom eğrisi ve şu an bulunulan noktada bir tanjant vektörü oluşturmaktır. Bu birçok nedenle faydalıdır: (i) kaynak ağzının genelleştirilmiş bir tanımı, oluşturulan yörünge kalibrasyon amaçlı olarak yeniden kullanımını kolaylaştırır, (ii) oluşturulan yörünge takibeden kaynak pasoları için anma yörüngeyi olarak kullanılır, (iii) punta kaynakları gibi devamsızlıklar bile olsa, takibeden hedef pozisyonlar için tanjant vektörü kullanılabilir, (iv) tanjant vektörü, şimdiki yörünge vektörü ile karşılaştırılabilir ve buradan lazer tarayıcı tarafından ölçülen kaynak ağzına göre, kaynak torcunun en uygun oryantasyonu hesaplanabilir. Lazer tarayıcının sıklıkla kullanılan çalışma verisi, 10-50 Hz'lik bir tarama süpürme frekansındır. Eğer 20 mm/s'lik bir kaynak hızı olduğunu varsayarsak, bu yaklaşık 1 süpürme/mm yapacaktır. Bu gazaltı kaynağı için birçok durumda yeterlidir. Lazer tarayıcının hassasiyeti de yüksek olup, 0.1 mm'den daha iyidir. Bununla birlikte, şu da unutulmamalıdır ki, kaynak ağzı ve çevresinde kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan şiddetli düzensizlikler nedeniyle tekli tarama süpürmeleri, aykırı datalar oluşturabilir (Pires ve ark. 2006).

Pratik açıdan lazer tarayıcılar çok hassas ve dayanıklı sensörler oldukları için kaynak prosesi için gerekli birçok şartı karşılarlar. Bununla birlikte kaynak torcu üzerine monte edilmeleri gerektiğinden dolayı biraz fazla yer kaplarlar. Robotun programlanması ve kaynak torcunun pozisyonlanması konularında da bazı ek koşullar getirirler. Aynı zamanda lazer tarayıcı sensörler hala nispeten pahalıdırlar. Bu nedenle eğer ark yoluyla kaynak ağzı takibi gibi alternatif yöntemler kullanılabiliriyorsa, bunlar genellikle lazer tarayıcı sensörlere tercih edilir (Pires ve ark. 2006).

## 2.2. Ark Yoluyla Kaynak Ağızı Bulma ve Takip Yöntemi

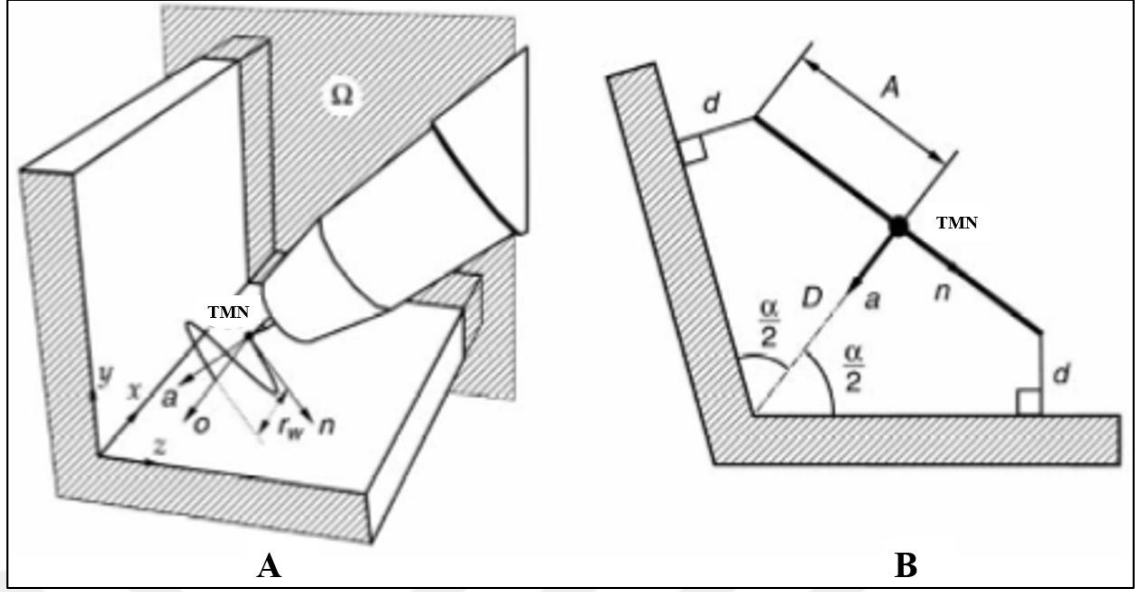
Ark yoluyla kaynak ağızı takibi diye adlandırılan yöntemde, kaynak ağızı takibi; zikzak hareketi ve bu hareket sırasında kaynak arkının sensör olarak kullanması prensibine dayalı olarak yapılır. Bu yöntem 1980'li yıllarda bulunmuştur. Yöntemin arkasında yatan prensip, kaynak memesi ile iş parçası arasındaki mesafe değiştiği zamanki akım farkını kullanmaktır. Altında yatan prensip nispeten kolaydır ve bu nedenle kullanımı uygun maliyetlidir. Robotik gazaltı kaynağının bir çok türünde yaygın olarak kullanılabilir (Pires ve ark. 2006).

Ark gerilimi (U), ark akımı (I) ve kaynak memesi ile iş parçası arasındaki mesafe (L) arasındaki yaklaşık ilişki şu denklemle ifade edilmektedir:

$$U = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 / I + \beta_4 L \quad (2.1)$$

Bu denklemdeki  $\beta_1 - \beta_4$  sabitleri kaynak teli, gazı ve kaynak makinasının karakteristiği gibi faktörlere bağlıdır. Bir çok durumda, kaynak makinası sabit gerilim sağlayacak şekilde ayarlanır ve böylelikle daha kararlı bir kaynak prosesi elde edilir. Böylece, mesafe değeri L değişince, ark akımı I da genellikle oransal ve ters işaretli olarak değişecektir (Cook 1983).

Bu genellikle mekanize gazaltı kaynağı ve özellikle de robotlu gazaltı kaynağında, kaynak esnasında zikzak hareketi yapmak için kullanılabilir. Bu, şekil 2.6'daki gibi bir kaynak ağızında yapıldığı zaman, kaynak memesi ile iş parçasının köşeleri arasındaki mesafe zikzak hareketi sırasında değişecektir, böylece akım da değişecektir. Bu nedenle, tüm diğer parametreler sabit tutulmak kaydı ile; kaynak memesi ile iş parçası duvarları arasındaki mesafenin uzun olması, kısa olmasına göre daha düşük ark akımına neden olacaktır. Bu zikzak hareketi sırasında kullanılabilir. Zikzak hareketi genellikle sinüs veya üçgen hareket şeklinde olmakla beraber daha zor hareketler de bulunmaktadır (Fridenfalk ve Bolmsjö 2004).



**Şekil 2.6.** A: Takım Merkez Noktası (TMN)'nin tanımı ve ark yoluyla kaynak ağzı takibi sırasındaki zikzak kaynağı yönleri, B: ark yoluyla kaynak ağzı takibi için optimum torç pozisyonu (Fridenfalk ve Bolmsjö 2004)

Uygulamada, akım Hall Etkisi sensörü veya şönt direnci kullanılarak ölçülür. Sinyalden gelen gürültüleri azaltmak için alçak geçirgen filtre kullanılır. Otomatik kontrol açısından, sensör datası şablon eşleştirmesi kullanılarak devamlı olarak veya diferansiyel kontrol kullanılarak sadece dönüş noktalarında analiz edilebilir. Sensör datasının hassasiyetinin oldukça düşük olması gibi nedenlerden dolayı, çoğu durumda diferansiyel kontrol yeterli olmaktadır. Bu nedenle gazaltı kaynağı akımında güvenilir bir değişim ve fark ölçebilmek için kaynak ağzı bulma prensibi birkaç mm'lik zikzak genişliğine ihtiyaç duyar. Bu ayrıca elde edilebilecek toleransların zikzak hareketi kullanılabilecek yani düz harekete göre daha kalın kaynakların atılacağı durumlarla sınırlı olduğunu gösterir. Fakat orta kalınlıktaki ve kalın plakalarda (kalınlığın 3 mm ve üstünde olduğu) bu bir sıkıntı oluşturmaz (Pires ve ark. 2006).

Ark yoluyla kaynak ağzı takibi prensibi üzerine yapılan deneyler, kaynak memesi ile iş parçası arasındaki mesafenin yaklaşık olarak  $\pm 0.25$  mm'lik hassasiyetlerle ölçülebileceğini göstermektedir. Bu da metodun 1 mm ve katları şeklindeki oldukça küçük genişliklerin takibinde kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla beraber, hareketin kontrolünün sağlıklı olması da çok önemlidir. Çünkü ancak bu şekilde robot kaynak ağzını kaybetmeden kaynağa devam edebilir. Robot kaynak ağzını kaybettiği



durumda, tekrar bulabilmesinin kesin bir yolu yoktur. Çünkü bu yöntemde kaynak ağzı yalnızca zikzak hareketli gazaltı kaynağı yapılırken bulunabilir ve görüş alanı kaynak torcunun zikzak hareketinin şekline eşittir. Kaynak ağzı bulunamadığı takdirde, kaynak ağzının nasıl bulunacağı ile ilgili bir bilgi mevcut olmayacaktır (Pires ve ark. 2006).

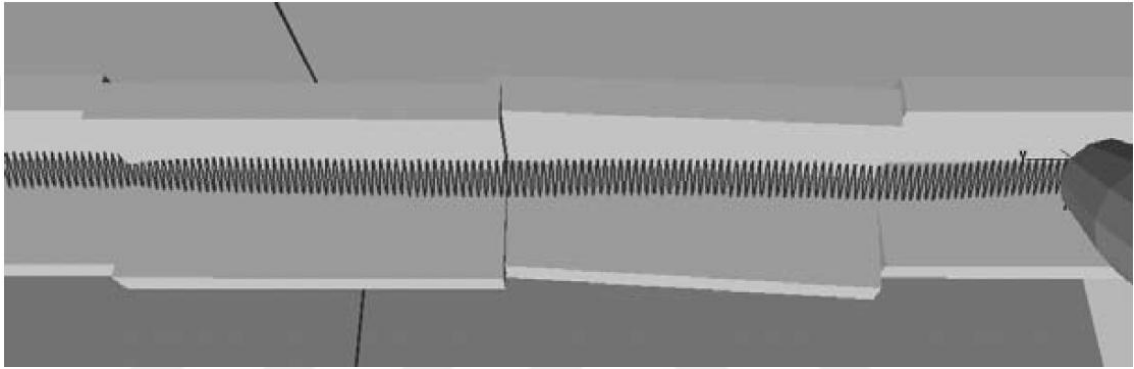
Pratikteki uygulamalarda kaynak ağzı takip fonksiyonu genelde bir başlangıç pozisyonu arama fonksiyonu ile birlikte kullanılır. Bu sayede robot zikzak kaynağına başlar, eğer kaynak ağzı bulunamazsa yavaş yavaş daha önce belirlenmiş nominal kaynak patikasına dik olan bir yönde hareket eder. Başlangıç pozisyonu arama fonksiyonu iki şekilde kullanılabilir:

1. Robot kaynak torcunu plakalara temas edene kadar teker teker hareket ettirir. Plakalara olan temas genellikle kaynak teli ucunun elektrik kontağının ölçülmesi ile algılanır. Temas noktası, kaynağın başlangıç noktası olarak kaydedilir,
2. Kaynak için bir başlangıç pozisyonu ve bir de zikzak hareketi ile kaynak ağzını bulana kadar torcun yavaş yavaş hareket ettirileceği yön belirlenir. Robot kaynak ağzını buluncaya kadar kaynaksız bir zikzak hareketi ile devam edecek, kaynak ağzını bulunca kaynağa başlayacaktır (Pires ve ark. 2006).

Ark yoluyla kaynak ağzı takibinden elde edilen bilgiler temel olarak iki farklı yolla çekilebilir ve kullanılabilir. Birincisi akımın sürekli olarak ölçülmesi, diğeri ise akımın sadece zikzak hareketinin dönüş noktalarında ölçülmesidir. Eğer yükseklik kontrolü de isteniyorsa bir ölçüm de kaynak ağzının tam ortasından alınmalıdır. Yukarıdaki ölçüm prensiplerine bağlı olarak, genelde diferansiyel kontrol ve/veya sinyal şablon örtüşürmesini temel alan farklı kontrol yöntemleri uygulanabilir. Eğer şablon eşleştirme yöntemi akımın sürekli ölçülmesi yöntemi ile birlikte kullanılırsa simetrik olmayan daha zor kaynak ağzı profillerinde de uygulanabilecek daha hassas bir kontrol mümkün olabilir (Fridenfalk ve Bolmsjö 2004).

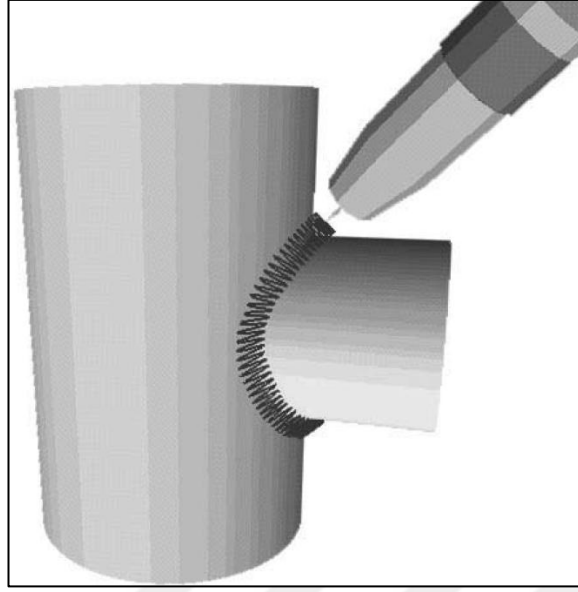
Lazerli kaynak ağzı takip sistemlerinde olduğu gibi, bu yöntemde de nominal kaynak yörüngesi kullanılır. Çok pasolu kaynak gerektiren uygulamalarda robot kontrol ünitesi kök paso yörüngesini kaydeder ve bunu diğer pasoların kaynağında şablon olarak kullanır. Lazerli kaynak ağzı takip sistemlerine benzer şekilde, takip işlemi kaynak

torcunun pozisyonunu değiştirerek kaynak ağzı ile hizalamak için kullanılır. Genellikle, kaynak ağzındaki açısal değişiklikler için bir düzeltme yapılmaz. Bununla birlikte, kaynak yörüngesinin yukarıda tanımlandığı gibi bir polinomsal ve vektörel tanımını oluşturan bir kontrol algoritması oluşturulabilir. Robotu sırası ile kaynak yörüngesinin gerekli hedef noktalarına göndermek için sensör prensibi kullanılabilir. Şekil 3.7’de ark yoluyla kaynak ağzı takibine örnek simülasyon olarak hem yan kesitte hem de yükseklikte farklı kaynak ağzı oluşturacak Şekilde konumlanmış parça parça L-plakaların kaynak ağzı takip prensibi gösterilmiştir (Fridenfalk 2003).



**Şekil 2.7.** L-plakaların ark yoluyla kaynak ağzı takibi rneği (Fridenfalk 2003)

Şekil 2.8’de ise T-boru Şeklindeki bir iş parçası, program oluşturması zor olan kompleks bir kaynak yörüngesi rneği olarak verilmiştir. Bu tip uygulamalarda hem kaynak ağzını takip edecek hem de kaynak yörüngesini oluşturacak yeterlilikteki sensör kullanımı uygun teknik olacaktır (Fridenfalk 2003).



**Şekil 2.8.** T-boru imalatında ark yoluyla kaynak ağzı takibi örneği (Fridenfalk 2003)

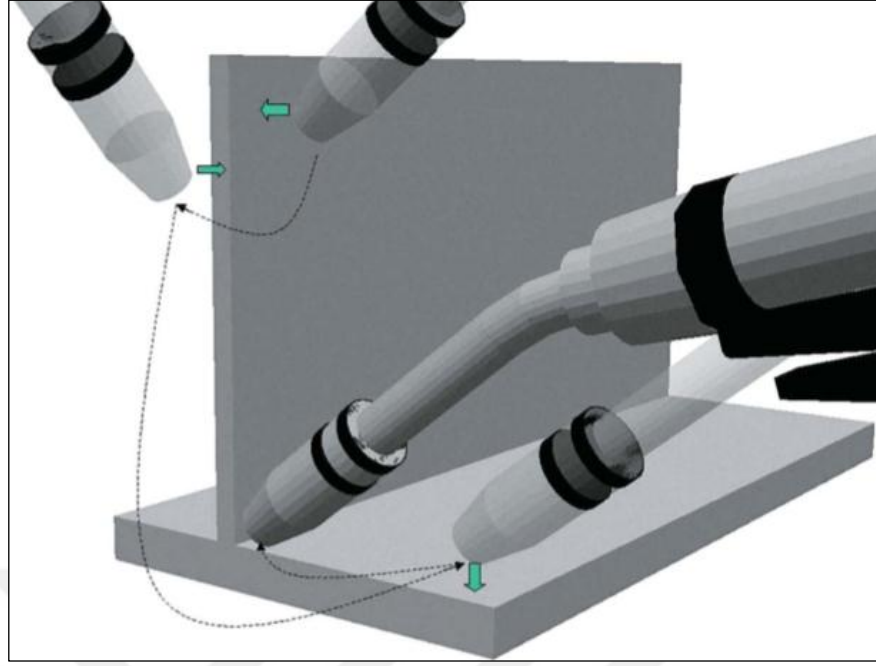
### **2.3. Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma Yöntemi**

Yukarıda bahsedilen iki yöntemde de kaynak ağzının takibi mümkündür. Bu teknolojilerden daha basit ama çok daha ucuz olan bir diğer yöntem olan dokunarak kaynak ağzı bulma yönteminde ise sadece kaynak ağzı bulunabilir, kaynak ağzının takibi mümkün değildir.

Bu yöntemde kaynak ağzını veya iş parçasının yerini bulmak için kaynak teline, nozuluna veya başka bir ölçüm ucuna; sabit bir düşük voltaj verilir. Robot programlanan yönlerde kaynak ağzı duvarları veya iş parçasını düşük hızlarda arar. Robot kaynak ağzı duvarlarına veya iş parçasına dokununca oluşan kısa devre bir sensör gibi kullanılır ve robot dokunur dokunmaz durur. Bu dokunma noktasının pozisyonel değerleri robot tarafından dokunma noktası olarak kaydedilir. Robot orijinal kaynak programını, orijinal dokunma noktası ile son dokunma noktası arasındaki farka göre otomatik olarak ayarlar ve kaynak işleme bu düzeltme sonrası başlar. Dokunarak kaynak ağzı bulma yönteminde arama ve düzeltmeler 1, 2 veya 3 boyutlu yapılabilir (O'Shea 2009).

Bu yöntem basitliği, kullanılşılığı ve düşük maliyeti nedeniyle robotlu kaynak sistemlerinde yaşanan tolerans ve tekrarlanabilirlik problemlerinin çözümlünde uzun zamandır yaygınca kullanılmaktadır. Bu yöntem genelde tüm robotlu kaynak sistemlerinde zaten kullanılan kaynak torcu veya kaynak telini sensör gibi kullandığı için kaynak torcu üzerine ilave, yer kaplayacak başka bir sensör gerektirmektedir. Bu da kaynak noktalarına rahatça erişebilmeyi garanti etmektedir. Donanım açısından tüm başlıca kaynak makinası tedarikçileri bu yöntemin kullanılabilereği robotik kaynak ekipmanlarını bazı küçük değişikliklerle standart olarak sunmaktadır. Yine bir çok robot imalatçısı da gerekli yazılım opsiyonlarını ya standart olarak ya da düşük maliyetlerle sunmaktadır. Bu nedenle dokunarak kaynak ağzı bulma yöntemi şimdiye kadar bahsedilen yöntemlerin en ucuzudur (Anonim, 2001a).

Görsel bir uygulama örneği olarak köprü güvertesine destek olarak kaynatılan I-profilini ele alalım (bkz. şekil 2.9). I-profil imalat toleranslarında olmasına rağmen yükseklik olarak kaynak toleransının üzerine çıkabilmektedir. Öyleyse, Z- düzleminde plakaya yapılacak basit bir dokunma yüksekliği tespit etmemizi sağlayacaktır. X ve Y düzlemlerinde de kaynak ağzını bulmak için yapılacak iki ek dokunma ile robot kontrol ünitesi kaynak ağzı başlangıç köşesini bulabilecektir. Bu tip dokunma aramaları, arama bölgesinin boyutlarına ve yaklaşım hızına bağlı olarak yaklaşık 2 ila 4 saniye arasında sürebilmektedir (Anonim, 2001b).



**Şekil 2.9.** Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma: 3 Boyutlu Arama Örneği (Anonim, 2001b)

Dokunmak için kullanılacak kaynak teli ve nozula uygulanacak gerilim ükkelere bağlı iş güvenliği kurallarına göre değişiklik gösterebilmekle beraber 7 Vdc ile 42 Vdc arasında değişebilmektedir. Genel olarak gerilimin yüksek olması parçalarda oluşan oksitlenme ve korozyon gibi etkenlere karşı sinyalin daha güvenilir olmasına imkan verir. Bu yöntemde 20 mm/sn yaklaşma hızı kullanıldığı takdirde sensör hassasiyeti yaklaşık olarak +/- 0.25 mm'dir ki bu da gaz altı kaynağı için çoğu zaman yeterli ve tolere edilebilir bir hassasiyettir (Anonim, 2001b).

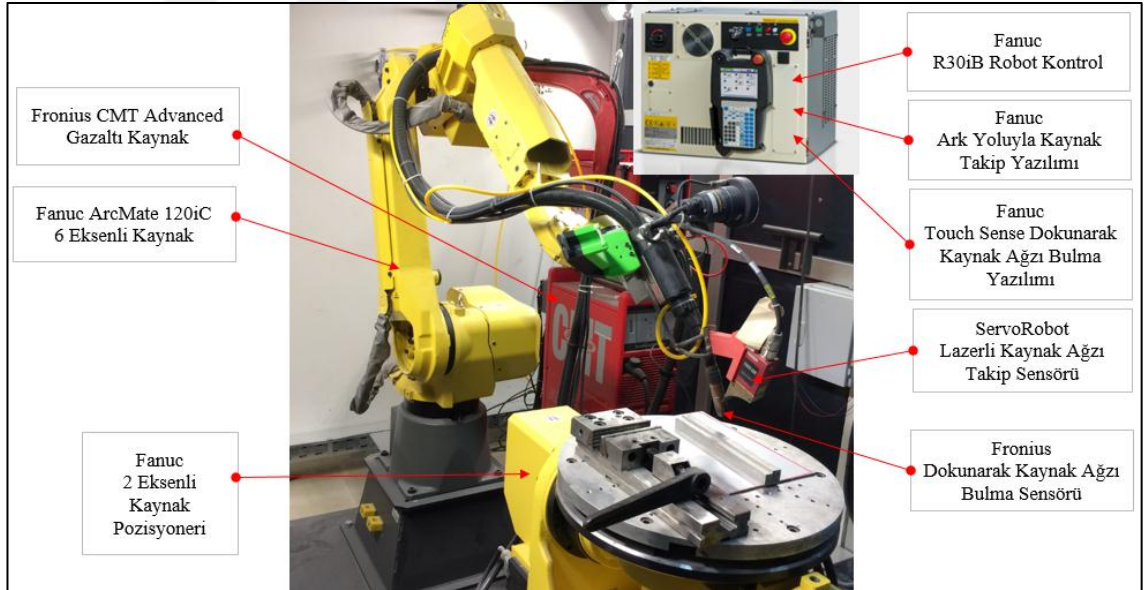
Özellikle kaynak telinin kullanıldığı dokunarak kaynak ağzı bulma yönteminde tel uzunluğunun her zaman aynı olması çok önemlidir. Bunu garantiye almak için hemen hemen tüm kaynak robotu sisteminde kullanılan otomatik tel kesme üniteleri kullanılır. Robot kaynak ağzını aramaya başlamadan önce otomatik tel kesme ünitesine gider, olması gerekenden 10-20 mm kadar uzunlukta tel sürer. Bu uzun telle tel kesme ünitesi makasına yaklaşarak teli gerekli olan sabit uzunlukta keser. Kaynak nozulunun kullanıldığı sistemlerde ise nozula yapışmış olan kaynak çapakları sensör hassasiyetini etkileyebilmektedir. Nozulun temiz kalması için, otomatik kaynak çapağı yapışma önleyici yağlama ünitelerinin kullanımı yaygın çözümdür (Gao ve ark. 2015).

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada gazaltı kaynağında kaynak ağzı bulma ve takip yöntemlerinin başlıcaları olan ve endüstride sıkça kullanılan:

1. Lazer Sensörle Kaynak Ağzı Bulma ve Takip
2. Ark Yoluyla Kaynak Ağzı Bulma ve Takip
3. Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma

yöntemlerinin; 6 Eksenli Fanuc endüstriyel robot ve bu robota entegre Fronius CMT Gaz Altı Kaynak sistemi, ServoRobot PowerTrac Lazer Sensor, Fanuc Touch Sense Kaynak Teli ile kaynak ağzı bulma sistemi ve Fanuc Through Arc Seam Tracking sistemleri ile deneyler yapmak sureti ile karşılaştırmalı değerlendirmeleri yapıldı. Deney düzeneğinin ayrıntılı fotoğrafı şekil 3.1.'de görülebilir.

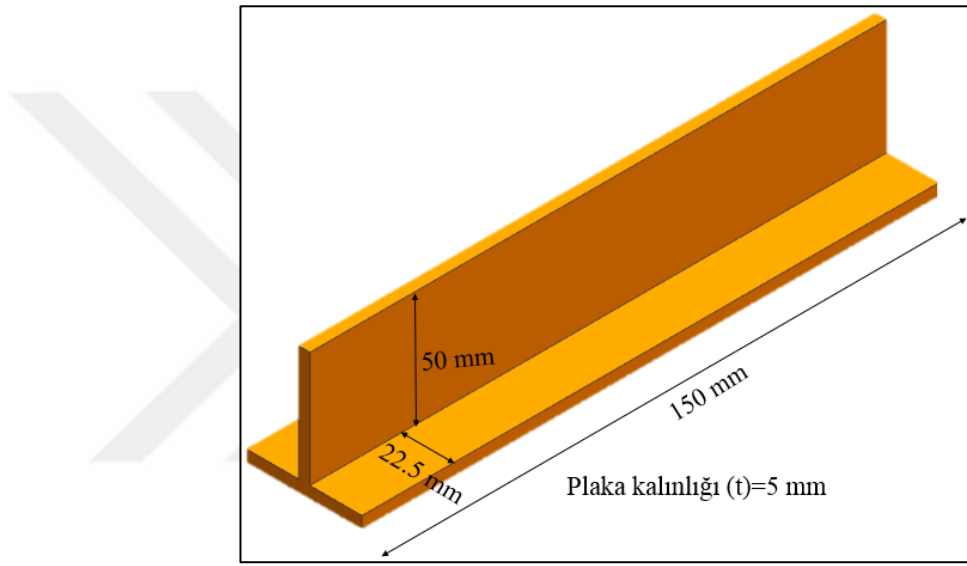


Şekil 3.1. Deney Düzeneği

### 3.1. Materyal

#### 3.1.1. Numune Parça

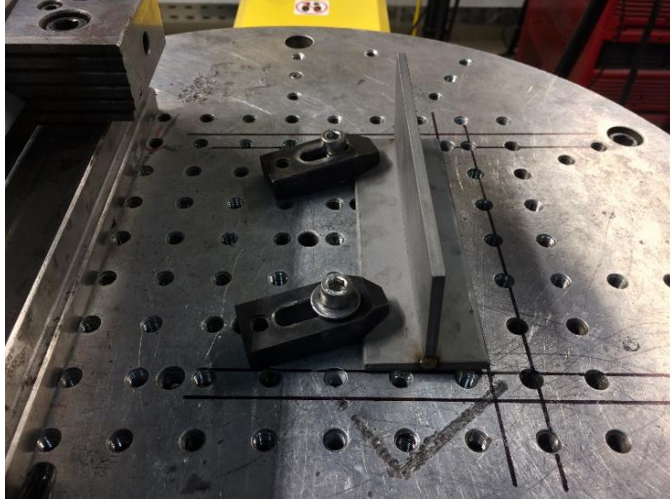
Denemelerde her üç yöntemin de uygulanabileceği standart bir kaynak ağzı geometrisi olan 90°'lik iç köşe kaynağı kullanılmış olup, bunun için 5x50x150 mm boyutlarında, 308L paslanmaz malzeme iki sac plaka T şeklinde puntalanmıştır. Numune parçanın şekil ve boyutları şekil 3.2.'de görülebilir.



Şekil 3.2. Numune Parça

#### 3.1.2. Fikstür Plakası

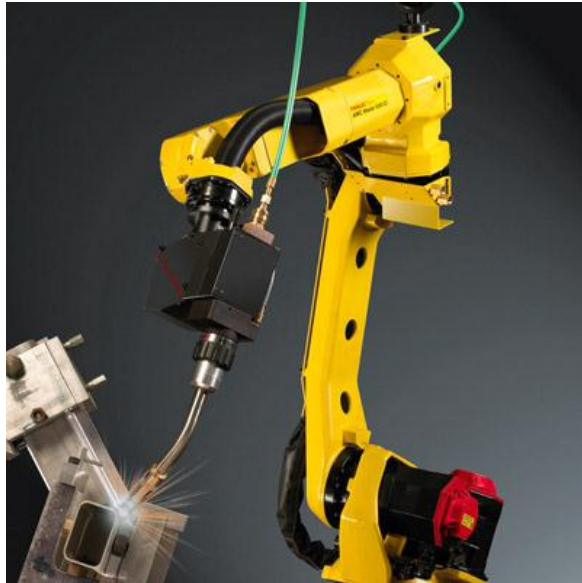
Numune parçanın kaynak deneylerinde kullanılabilmesi için sabitlenmesi gerekir. Bu amaçla üzerinde bir çok M8 diş açılmış olan bir fikstür plakası kullanıldı. Numune parçalar bu plakaya M8 civatalarla bağlanacaktır. Plaka üzerine çizilen referans çizgileri, deneyler sırasında iş parçalarının farklı pozisyonlarda konumlandırıldığının anlaşılabilmesini sağladı. Fikstür plakası ve üzerine bağlı olan numune parça şekil 3.3.'te görülebilir.



**Şekil 3.3.** Fikstür Plakası ve Numune Parça

### **3.1.3. Fanuc ArcMate 120ic 6 Eksenli Kaynak Robotu**

Deney düzeneğinin ana parçası olarak 20 kg azami taşıma kapasitesine, 1811mm erişime ve 0.03 mm tekrar-edebilirliğe sahip, tüm eksenlerinde servo motor kullanılan, 6 eksenli ve 6 serbestlik derecesine sahip, ilave esneklik için bilek içinden kablolanabilir yapıda olan Fanuc ArcMate 120ic kaynak robotu kullanıldı (bknz. şekil 3.4).





**Şekil 3.4.** Fanuc ArcMate 120iC (Anonim, 2007)

Robot, Fanuc firmasının R30iB tipi kontrol ünitesine sahiptir. Kontrol ile ilgili tüm bileşenler az yer kaplayan bu üniteye toplanmıştır. Kısaca belirtmek gerekirse tüm motor sürücüleri, eksen kartları, röleler, kontaktörler, güvenlik devresi, robot bilgisayar kartı, hafıza kartı, haberleşme protokolleri (DeviceNet, Ethernet/IP, I/O, RS232) ve kullanıcı ara yüzü bu ünitenin parçalarıdır (bknz. şekil 3.5).



**Şekil 3.5.** Fanuc R30ib Robot Kontrol Ünitesi (Anonim, 2018a)

Robota ait teknik özellikler çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Fanuc ArcMate 120iC Teknik Özellikler (Anonim, 2007)

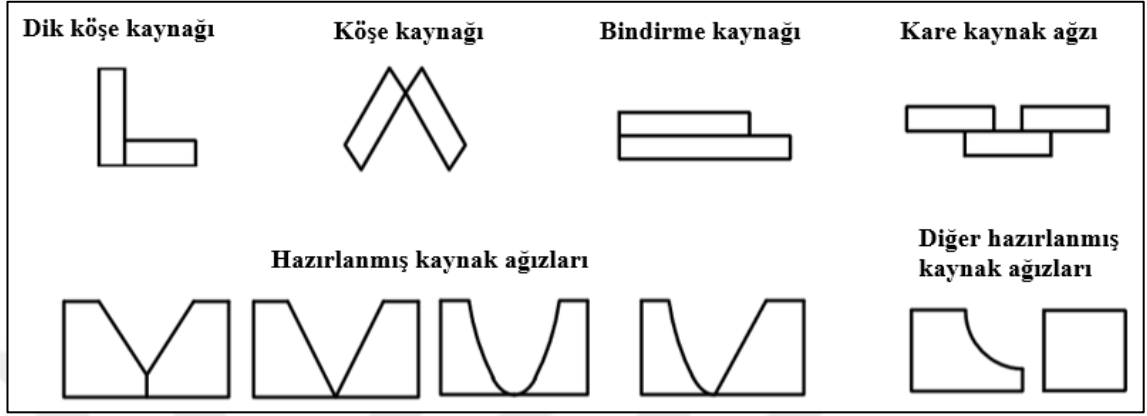
Marka	Fanuc	
Model	Arc Mate 120iC	
Tip	6 Eksen	
Erişim	1811 mm	
Montaj Tipi	Tabana Bağlı, Tavana Bağlı, Açılı Montaj	
Hareket Menzili, Azami Hız	J1 Eksen Dönüşü	340°, 195°/s
	J2 Eksen Dönüşü	260°, 175°/s
	J3 Eksen Dönüşü	458°, 180°/s
	J4 Bilek Eksen Dönüşü	400°, 360°/s
	J5 Bilek Eksen Salınımı	360°, 360°/s
	J6 Bilek Eksen Dönüşü	900°, 550°/s
Bilekteki azami yük kapasitesi	20 kg	
Bilekte izin verilen azami yük momenti	J4 Eksen	44.0 Nm
	J5 Eksen	44.0 Nm
	J6 Eksen	22.0 Nm
Bilekte izin verilen azami yük ataleti	J4 Eksen	1.04 kgm <sup>2</sup>
	J5 Eksen	1.04 kgm <sup>2</sup>
	J6 Eksen	0.28 kgm <sup>2</sup>
Tekraredebilirlik	+/- 0.03 mm	
Kütle	250 kg	
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	0 - 45 C°	
Çalışma Bağlı Nem Aralığı	%0 - %75	
Çalışma Vibrasyon Aralığı	0 - 4.9 m/s <sup>2</sup>	

Söz konusu kaynak robotu ileri sensör teknolojilerini kullanabilmek için çeşitli yazılım opsiyonları ile donatılmıştır. Bu yazılımlardan da kısaca bahsedelim.

#### **3.1.4. Fanuc Ark Yoluyla Kaynak Ağız Takip (AYKT) Yazılımı**

Ark Yoluyla Kaynak Ağız Takip yazılımı opsiyonel bir yazılım olup, ihtiyaç halinde Fanuc robot kontrol ünitesine yüklenmektedir. AYKT sabit gerilimli gaz korumalı metal ark kaynağında kullanılmaktadır. Bu proseslerde akım kaynak memesi ile kaynak havuzu arasındaki mesafenin fonksiyonu olarak değişir. AYKT sinüzoidal zikzak kaynağı ile kullanılırsa dikey ve yatay kaynak ağız takibi yapılabilir. Zikzak kaynağı

kullanılmadığı durumlarda sadece dikey kaynak ağzı takibi yapabilir. AYKT hem doğrusal hem de dairesel hareket tiplerinde kullanılabilir. Şekil 3.6’da AYKT’nin kullanılabileceği kaynak ağzı geometrileri verilmiştir (Anonim, 2013).



Şekil 3.6. AYKT’nin Kullanılabileceği Kaynak Ağzı Geometrileri (Anonim, 2013).

### 3.1.5. Fanuc Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma Sensör Yazılımı

Fanuc dokunarak kaynak ağzı bulma sensör yazılımı da opsiyonel bir yazılım olup, ihtiyaç durumunda Fanuc kontrol ünitesine yüklenebilmektedir. Bu yazılım robotun kaynak parçasındaki veya kaynak ağzındaki yer değişikliklerini tespit edip, otomatik olarak yörüngesini düzeltmesini sağlar. Dokunarak kaynak ağzı bulma prosesi şu adımlardan oluşur:

- Robot takım merkez noktasını (TMN); iş parçasına doğru önceden tanımlanmış robot hareketi, hızı ve yönünde hareket ettirme,
- Robotun iş parçasına dokunduğunu bir giriş sinyali kullanarak tespit etme,
- İş parçasının bulunduğu yeri veya pozisyon kaçıklığını bir pozisyon datasına kaydetme,
- Kaydedilen pozisyon bilgisini kullanarak robotu o noktaya hareket ettirme veya kaydedilen kaçıklık bilgisini kullanarak bir veya birden fazla önceden tanımlanmış kaynak noktasını öteleme (Anonim, 2013).

### **3.1.6. Fanuc ServoRobot Kaynak Ağız Takip Sensörü Yazılımı**

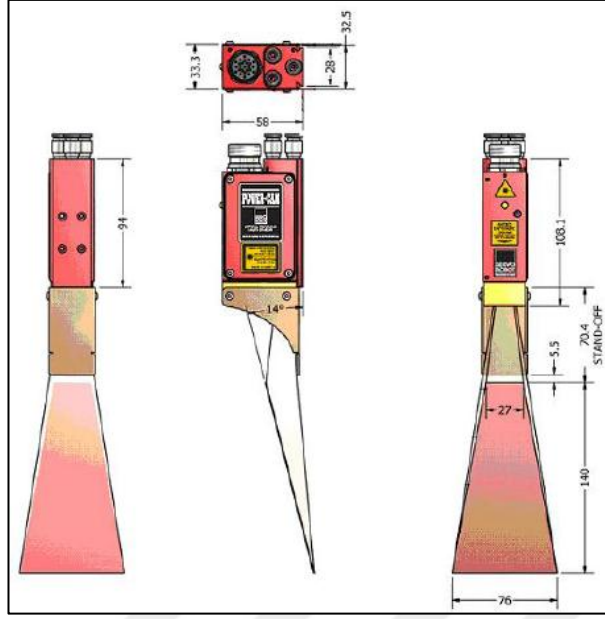
ServoRobot firmasının farklı kaynak ağız takip sensörlerini Fanuc robotlarda kullanabilmek ve böylelikle robotlara ileri teknoloji adaptif / akıllı kaynak kapasitesi kazandırabilmek için Fanuc firmasının geliştirdiği bir yazılımdır.

Adaptif kaynak sistemi, kaynak parametrelerini ayarlayarak kaynak ağız geometrisinde oluşabilecek değişkenlikleri telafi etmek amacıyla kullanılır. Adaptif kaynak özelliği, takım merkez noktası (TMN) yörüngesini ayarlayarak kaynak ağız pozisyonundaki değişkenlikleri telafi etmeye yarayan kaynak ağız takip sistemi ile birlikte çalışır. Adaptif kaynak sistemi, kaynak sırasında kaynak ağız geometrisini taramak için ServoRobot firmasının görüntü sensörünü kullanır. ServoRobot sensörü tarafından sağlanan veriler, adaptif kaynak özelliği sayesinde kaynak ve zikzak parametrelerini otomatik olarak ayarlayarak kaynak kalitesinin optimize edilmesinde de kullanılabilir (Anonim, 2013).

### **3.1.7. ServoRobot PowerCam 3-Boyutlu Lazer Kaynak Ağız Takip Sensörü**

Deney düzeneğinde kullanılan bir diğer materyal de ServoRobot firmasının PowerCam modeli, 3-Boyutlu lazer kaynak ağız takip sensörüdür.

Şekil 3.7’de gösterilen lazer kamera kafası, ServoRobot 3-boyutlu lazer kaynak ağız takip sisteminin en önemli parçalarından birisidir. Şekil 3.7’de görüleceği üzere PowerCam kamera aktif hale getirildiğinde dikey eksenle 14°’lik açı yapan bir lazer şeridi oluşturur. 3-Boyutlu görüntü lensleri sayesinde, kamera içinde yer alan bir dijital görüntü alıcı; lazer şeridi tarafından yüzeye yayılan enerji desenlerini toplar. Sensör ile yüzey arasındaki mesafe lazer üçgenleştirme yöntemi kullanılarak tespit edilir. Üçgenleştirme yörüngesinin engellenmemesi gerekir, yoksa dönen sinyal bozulacak ve bu da ölçüm hassasiyetinin düşmesine neden olacaktır (Anonim, 2014).



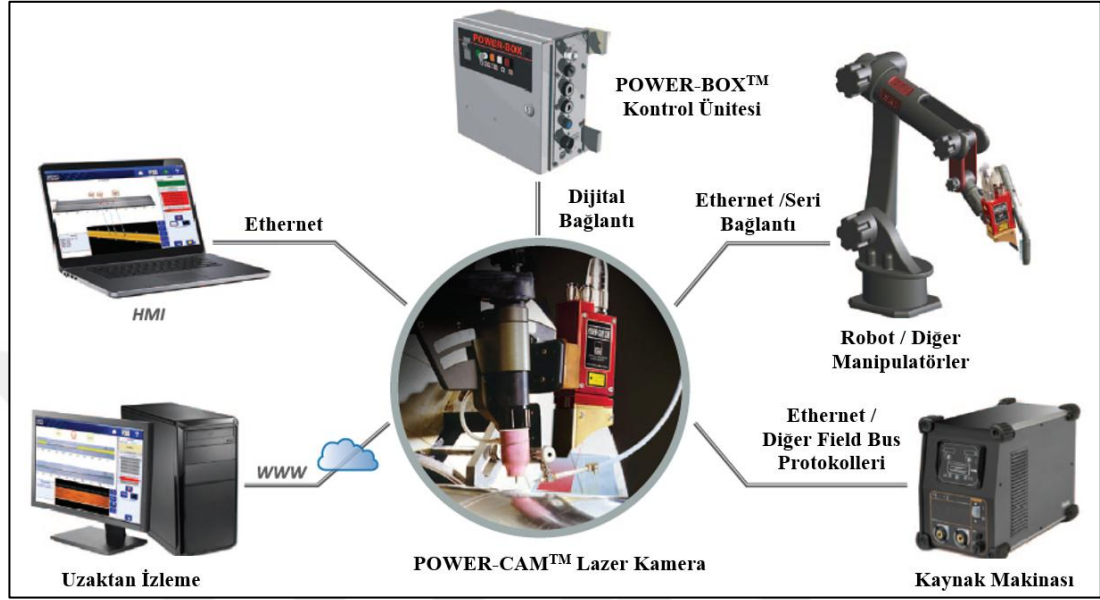
**Şekil 3.7.** Servorobot Power-Cam Lazer Kamera (Anonim, 2014)

Lazer sensöre ait teknik bilgiler çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Servorobot Power-Cam 3D Laser Vision Camera Teknik Özellikler (Anonim, 2014)

Parametre		Tanım	
Yöntem		Yapılandırılmış lazer ışını ışıklandırması kullanan aktif optik üçgenleme	
Algılayıcı		CMOS Sayısal Görüntüleyici	
Işık kaynağı		3b sınıfı, görünür 130mW lazer diyod	
Uzaklık (mm)		5.5	
Alan Derinliği (mm)		140	
Görüş Açısı	- Yakın düzlem (mm)	27	
	- Uzak düzlem (mm)	76	
Ortalama derinlik çözünürlüğü (mm)		0.09	
Ortalama yanal çözünürlük (mm)		0.05	
Örnekleme Oranı		Azami resim karesi hızı:	1000Hz
		Azami İşlem Hızı:	30Hz
Boyutlar (mm)		108.1 x 58 x 33.3 (Yükseklik x En X Derinlik)	
Kütle (g)		475	
Çevre Koruma Sınıfı		NEMA3, IP64	
Çalışma sıcaklığı		5° - 40°C	

Servorobot Power-Cam sensör sisteminin bir kaynak robotu ile entegre olabilmesi için; bir enerji kaynağı ve kontrol kutusu, bir lazer kamera, sensör yazılımının çalıştığı bir bilgisayar ve bir kaynak makinası gerekmektedir (bknz şekil 3.8) (Anonim, 2017b).



Şekil 3.8. Robotic Servorobot Lazer Sensör Sistem Bileşenleri (Anonim, 2017b)

### 3.1.8. Fronius CMT 4000 Advanced Kaynak Makinası

Deney düzeneğinde kullanılan bir diğer materyal de Fronius firmasının CMT 4000 Advanced modeli kaynak makinasıdır (bknz şekil 3.9).



**Şekil 3.9.** Fronius CMT 4000 Advanced Kaynak Makinası Bileşenleri (Evans, 2014)

CMT 4000 Advanced modeli kaynak makinası, geleneksel ark kaynağı yöntemleri, örtülü elektrot kaynağı, CMT (“Cold Metal Transfer”- Soğuk Metal Transferi) prosesi yanında, geliştirilmiş CMT proseslerini de yapabilen bir kaynak makinasıdır. CMT prosesi özel bir MIG (Soygaz Korunmalı Metal Ark Kaynağı) kısa ark yöntemidir. Düşük ısı girdisi ve kontrolü, düşük güçte metal transferi önemli özellikleridir. Kaynak sırasında çapaksız veya çok az çapak çıkararak çalışması, çok ince sacların bile kaynatılabilmesine olanak tanınması, farklı tür malzemelerin birbirine kaynatılabilmesine olanak sağlaması, yüksek boşluk doldurma kapasitesi, düşük ısı girdisi nedeniyle kaynağı zor olan sert çeliklerin kaynatılabilmesini sağlaması diğer önemli avantajlarından (Anonim, 2018b).

Deneyleerde kullanılan Fronius CMT 4000 Advanced Kaynak Makinasının teknik özellikleri çizelge 3.3’te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Fronius CMT 4000 Advanced Kaynak Makinası Teknik Özellikleri  
(Evans, 2014)

Giriş Gerilimi	3 Faz, 400 V +/- %15
Giriş Frekansı	50/60 Hz
Giriş Akım Koruma Sigortası	34 A
Verimlilik Derecesi	88%
Kaynak Akım Aralığı	3-400 A
Görev çevrimi (40°C'de 10 dakika)	400A'de %40
	320A'de %100
Açık devre gerilimi	70 V
Çalışma gerilimi	14.2-34 V
Çevresel Koruma Sınıfı	IP23
Boyutlar (mm)	625 x 290 x 475
Kütle (kg)	35.2

Fronius CMT 4000 Advanced kaynak makinası, robot kontrol ünitesine DeviceNet protokolü üzerinden bağlıdır. Dokunarak kaynak ağzı bulma sensörünün donanım kısmı bu makine üzerindedir. Robot kaynak ağzı arayacağı zaman kaynak makinasına bir çıkış sinyali gönderir, kaynak makinası bu sinyali aldığı zaman kaynak teline düşük bir gerilim verir. Kaynak telinin metal parçalara değmesi durumunda bu düşük gerilimde bir azalma olur, kaynak makinası bu durumda robata bir çıkış sinyali göndererek parçaya dokunulduğu bilgisini verir. Robot üzerinde bulunan dokunarak kaynak ağzı bulma yazılımı kaynak makinası ile koordineli bir şekilde çalışarak bir dokunma sensörü gibi çalışır.

### 3.2. Yöntem

Adaptif (akıllı) kaynak teknolojilerin karşılaştırmalarını sağlamak için yapılan deneyler ve deney sonuçlarının kıyaslanması açıklanacaktır.

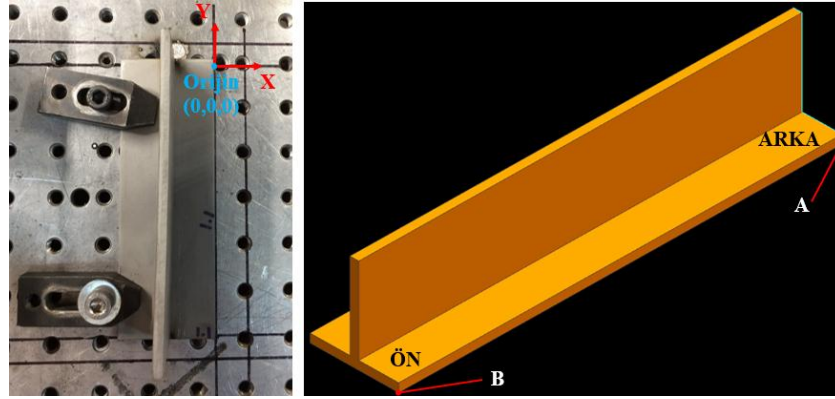


### 3.2.1. Lazer Sensörle Kaynak Ağzı Bulma ve Takip Deneyleri

Materyal bölümünde de bahsedildiği gibi denemelerde Fanuc robota monte edilmiş, Servorobot firmasının Power-Cam modeli lazer sensör sistemi kullanılmıştır.

#### Deney Adımları:

1. Numune parçalar robot hücreindeki fikstür plakası üzerine, M8 civata ve hızlı bağlantı elemanları kullanılarak, fikstür üzerine kalemle çizilmiş bir referans markalamasının içine bağlanır. Adaptif kaynak denemeleri yapılacağı için fikstürleme çok basit şekilde yapılmıştır.
2. Numune parça üzerine deneme numarası yazılır. Değişik açılardan fotoğrafları çekilerek ne şekilde konumlandığı belgelenir.
3. Numune parçaların herbirinin farklı konumlarda pozisyonlandığından emin olmak için, şekil 3.10'daki A ve B noktalarının X, Y, Z konumları orijin noktasına (0,0,0) göre ölçülerek kaydedilir.



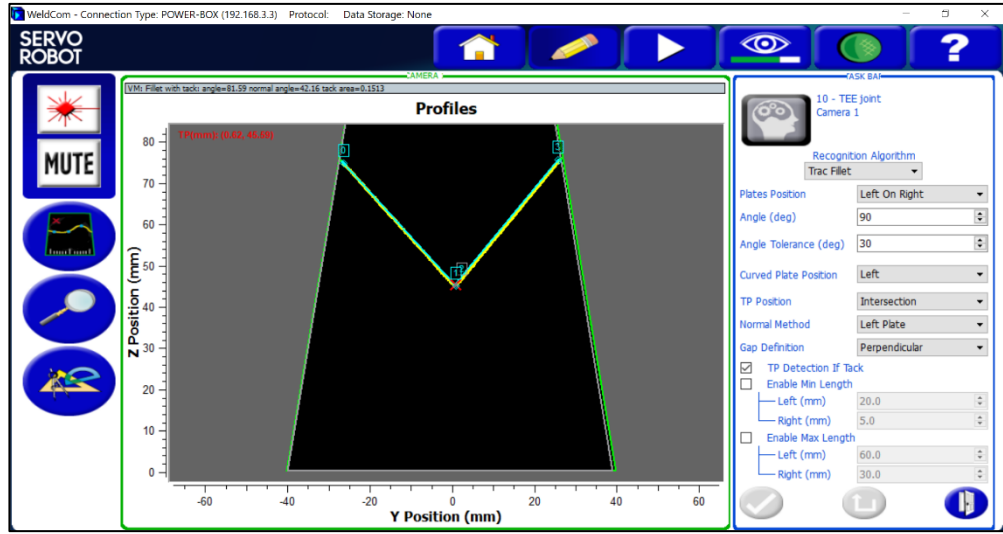
Şekil 3.10. Fikstür Orijini ve Numune Parça Ölçüm Noktaları

4. Robot üzerinde daha önceden tanımlaması ve kalibrasyonu yapılmış olan kaynak telinin kaynak torcundan 14 mm çıkmış şekildeki ucu aktif takım merkezi olarak seçilir.
5. Robot numune parçanın kaynak başlangıç yerine el kontrol ünitesi kullanılarak yaklaştırılır. Robot programı yazılır (bkz. şekil 3.11).

```
1: UTOOL_NUM=4 ;
2: UFRAME_NUM=0 ;
3:L P[2] 200mm/sec CNT100 ;
4: L P[3] 200mm/sec FINE ;
5: SENSOR ON[1] ;
6: WAIT .50(sec) ;
7: SENSOR SEARCH START PR[3:sr tee test1 ] ;
8: SENSOR SEARCH POINT[10] LBL[1] ;
9: L P[5] 5mm/sec FINE ;
10: SENSOR SEARCH END ;
11: UTOOL_NUM=4 ;
12: L PR[3:sr tee test1 ] 50mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[4:sr tee offset] ;
13:L P[6] 100mm/sec FINE ;
14: Track SENSOR[10] ;
15:L P[7] 6mm/sec FINE ;
16:L P[8] 6mm/sec FINE ;
17: Weld Start[1,3] ;
18:L P[4] 6mm/sec FINE ;
19: Weld End[1,3,WID:0] ;
20: Track End ;
21: WAIT 2.00(sec) ;
22:L P[1] 100mm/sec FINE ;
23: ;
24:L P[2] 100mm/sec CNT100 ;
```

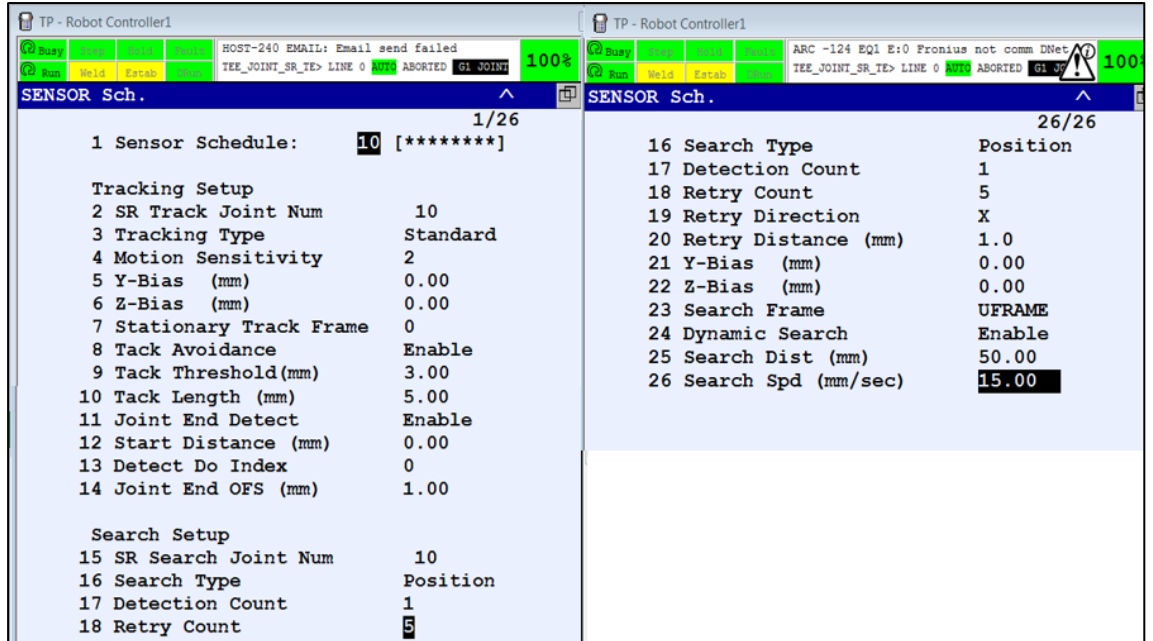
**Şekil 3.11.** Lazer Sensörle Kaynak Ağzı Bulma Fanuc Robot Programı

6. Servorobot firmasının Weldcom yazılımı kullanılarak kaynak ağzı geometrisine uygun, hazır görüntü işleme programı seçilir. Bilgisayarla sensöre bağlanmak suretiyle lazerin düştüğü profil kontrol edilerek görüntü işleminin sorunsuz yapılabilmesi için gerekli parametre ayarları yapılır (bknz şekil 3.12).



Şekil 3.12. Lazer Sensör Görüntü Algılama Parametre Ayarları

7. Robot programında gerekebilecek yaklaşım noktası, tarama başlangıç noktası, tarama bitiş noktası ve lazer açısı ile ilgili pozisyon ayarları tamamlanır.
8. Fanuc robot kumanda paneli üzerinden lazer sensör arayüzü için kaynak ağzı bulma ve takip parametreleri girilir (bknz şekil 3.13).



Şekil 3.13. Fanuc Robot Lazer Sensör Parametre Ayarları

9. Robot programı kaynak kapalı modda çalıştırılarak test edilir. Çıkan hatalara göre gerekli görüntü işleme ayarları Weldcom yazılımı üzerinden, gerekli pozisyon ve açı değişiklikleri de robot programı üzerinden yapılarak optimizasyon gerçekleştirilir. Test işlemleri kaynaksız modda kaynak ağzı düzgün takip edilene kadar sürdürülür.
10. Gerekli kaynak dikişi geometrisini ve nüfuziyeti sağlayacak kaynak parametreleri belirlenip robot programına girilir.
11. Robot, kaynak açık moda alınıp program çalıştırılır. Kaynak ağzını takibi kaynak maskesi ile izlenir.
12. Birinci numune parça tamamlandıktan sonra, fikstürden sökülmeden önce değişik açılardan fotoğrafları çekilir. Kaynak sonrası parça konumunun değişikliğini anlamak için Şekil 3.10'da gösterilen A ve B noktalarının, orijine olan mesafeleri çelik cetvelle ölçülerek kaydedilir. Hem kaynağın görsel durumu hem de parça pozisyonundaki olası oynamalar belgelenir.
13. Denemeler en az üç numune üzerinde ve bu numunelerin farklı pozisyonlarda konumlandığı durumlar için, robot ve lazer sensör programlarında hiçbir değişiklik yapmadan gerçekleştirilir.
14. Her denemeye ait kaynak öncesi ve kaynak sonrası fotoğraflar ve parça pozisyon değişiklikleri tablollaştırılarak, kaynak ağzı takibinin başarısı yorumlanır.

### **3.2.2. Dokunarak Kaynak Ağzı Bulma Deneyleri**

Materyal bölümünde de belirtildiği gibi denemelerde Fanuc robota entegre edilmiş, Fronius firmasının CMT 4000 Advanced kaynak makinasının dokunarak kaynak ağzı bulma sensörü kullanılmıştır.

#### **Deney Adımları:**

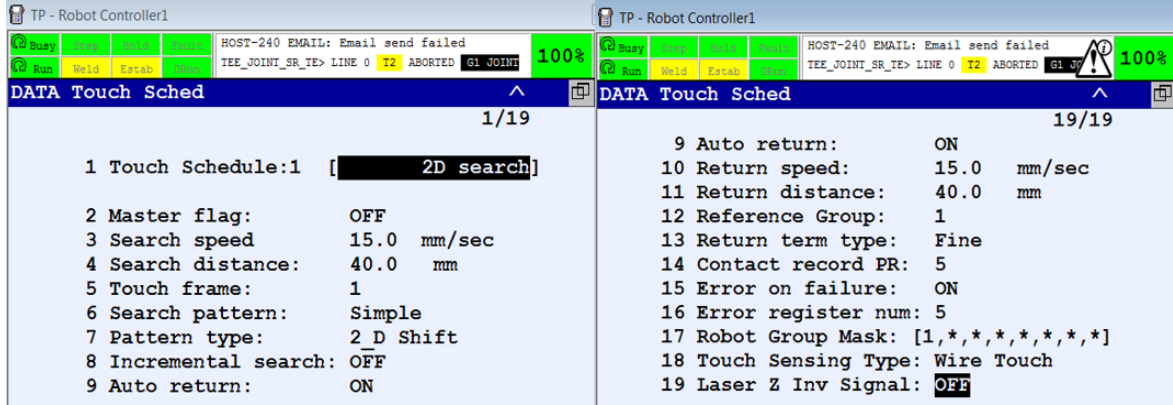
1. Numune parçalar robot hücresindeki fikstür plakası üzerine, M8 civata ve hızlı bağlantı elemanları kullanılarak, fikstür üzerine kalemle çizilmiş bir referans markalamanın içine bağlanır. Adaptif kaynak denemeleri yapılacağı için fikstürleme çok basit şekilde yapılmıştır.

2. Numune parça üzerine deneme numarası yazılır. Değişik açılardan fotoğrafları çekilerek ne şekilde konumlandığı belgelenir.
3. Numune parçaların herbirinin farklı konumlarda pozisyonlandığından emin olmak için, şekil 3.10'daki A ve B noktalarının X, Y, Z konumları orijin noktasına (0,0,0) göre ölçülerek kaydedilir.
4. Robot üzerinde daha önceden tanımlaması ve kalibrasyonu yapılmış olan kaynak telinin kaynak torcundan 14 mm çıkmış şekildeki ucu aktif takım merkezi olarak seçilir.
5. Robot numune parçanın kaynak başlangıç yerine el kontrol ünitesi kullanılarak yaklaştırılır. Robot programı yazılır (bknz. şekil 3.14).

```
1: UTOOL_NUM=1 ;
2: UFRAME_NUM=0 ;
3:L P[2] 200mm/sec CNT100 ;
4:L P[3] 200mm/sec FINE ;
5: Search Start [1] PR[6] ;
6:L P[3] 100mm/sec FINE Search[-Y] ;
7:L P[3] 5mm/sec FINE ;
8:L P[4] 100mm/sec FINE Search[-Z] ;
9:L P[4] 5mm/sec FINE ;
10: Search End ;
11:L P[5] 200mm/sec FINE ;
12: Search Start [1] PR[7] ;
13:L P[5] 100mm/sec FINE Search[-Y] ;
14:L P[5] 5mm/sec FINE ;
15:L P[6] 100mm/sec FINE Search[-Z] ;
16:L P[6] 5mm/sec FINE ;
17: Search End ;
18:L P[3] 100mm/sec FINE ;
19:L PR[6:touch sch 1 trgt] 10mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[4:sr tee offset] ;
20:L PR[7:sr tast trgt1] 10mm/sec CNT100 Tool_Offset,PR[4:sr tee offset] ;
21: WAIT 2.00(sec) ;
22:L P[2] 100mm/sec CNT100 ;
```

**Şekil 3.14.** Dokunarak Kaynak Ağızı Bulma Fanuc Robot Programı

6. Fanuc robot kumanda paneli üzerinden dokunarak kaynak ağız bulma parametreleri girilir (bkz. şekil 3.15).



Şekil 3.15. Fanuc Robot Dokunma Sensörü Parametre Ayarları

7. Robot programında hem kaynak başlangıç noktası hem de kaynak bitiş noktasını bulacak şekilde 2 boyutlu dokunarak arama işlemini gerçekleştirecek tüm pozisyon ve parametre ayarları yapılır.
8. Robot programı kaynak kapalı modda çalıştırılarak test edilir. Çıkan hatalara göre gerekli dokunarak kaynak ağız bulma parametre değişiklikleri veya robot pozisyon değişiklikleri yapılarak program optimize edilir. Test işlemleri kaynaksız modda kaynak ağız düzgün bir şekilde bulunana kadar sürdürülür.
9. Gerekli kaynak dikişi geometrisini ve nüfuziyeti sağlayacak kaynak parametreleri belirlenip robot programına girilir.
10. Robot kaynak açık moda alınıp program çalıştırılır. Kaynak ağızını bulup, kaynağı yapması kaynak maskesi ile izlenir.
11. Birinci numune parça tamamlandıktan sonra, fikstürden sökülmeden önce değişik açılardan fotoğrafları çekilir. Kaynak sonrası parça konumunun değişikliğini anlamak için Şekil 3.10'da gösterilen A ve B noktalarının, orijine olan mesafeleri çelik cetvelle ölçülerek kaydedilir. Hem kaynağın görsel durumu hem de parça pozisyonundaki olası oynamalar belgelenir.

12. Denemeler en az üç numune üzerinde ve bu numunelerin farklı pozisyonlarda konumlandığı durumlar için, robot programında hiçbir değişiklik yapmadan gerçekleştirilir.
13. Her denemeye ait kaynak öncesi ve kaynak sonrası fotoğraflar ve parça pozisyon değişiklikleri tablolaştırılarak, kaynak ağzı takibinin başarısı yorumlanır.

### **3.2.3. Ark Yoluyla Kaynak Ağzı Takip Deneyleri**

Yukarıda da belirtildiği gibi denemelerde Fanuc firmasını Arc Yoluyla Kaynak Ağzı Takip yazılımı, Fronius firmasının CMT 4000 Advanced kaynak makinası ile birlikte kullanılacaktır.

Ark Yoluyla Kaynak ağzı takibi daha önce de belirtildiği gibi teknolojisi nedeniyle kaynak ağzının ilk başlangıcını bulmakta veya kaynak ağzını kaynak öncesinde bulmakta kullanılamamaktadır. Bu amaçla kaynak ağzının başlangıcını bulabilmek için, öncelikle dokunarak kaynak ağzı bulma yöntemi kullanılacak ve iş parçasının konumu kaynak öncesinde tespit edilecektir. Kaynak başlangıcından sonraki kaynak takip işlemi ise ark yoluyla yapılacaktır.

#### **Deney Adımları:**

1. Numune parçalar robot hücrendeki fikstür plakası üzerine, M8 civata ve hızlı bağlantı elemanları kullanılarak, fikstür üzerine kalemle çizilmiş bir referans markalamanın içine bağlanır. Adaptif kaynak denemeleri yapılacağı için fikstürleme çok basit şekilde yapılmıştır.
2. Numune parça üzerine deneme numarası yazılır. Değişik açılardan fotoğrafları çekilerek ne şekilde konumlandığı belgelenir.
3. Numune parçaların herbirinin farklı konumlarda pozisyonlandığından emin olmak için, şekil 3.10'daki A ve B noktalarının X, Y, Z konumları orijin noktasına (0,0,0) göre ölçülerek kaydedilir.

4. Robot üzerinde daha önceden tanımlaması ve kalibrasyonu yapılmış olan kaynak telinin kaynak torcundan 14 mm çıkmış şekildeki ucu aktif takım merkezi olarak seçilir.
5. Robot numune parçanın kaynak başlangıç yerine el kontrol ünitesi kullanılarak yaklaştırılır. Kaynak ağız bulma robot programı yazılır (bkz şekil 3.16).

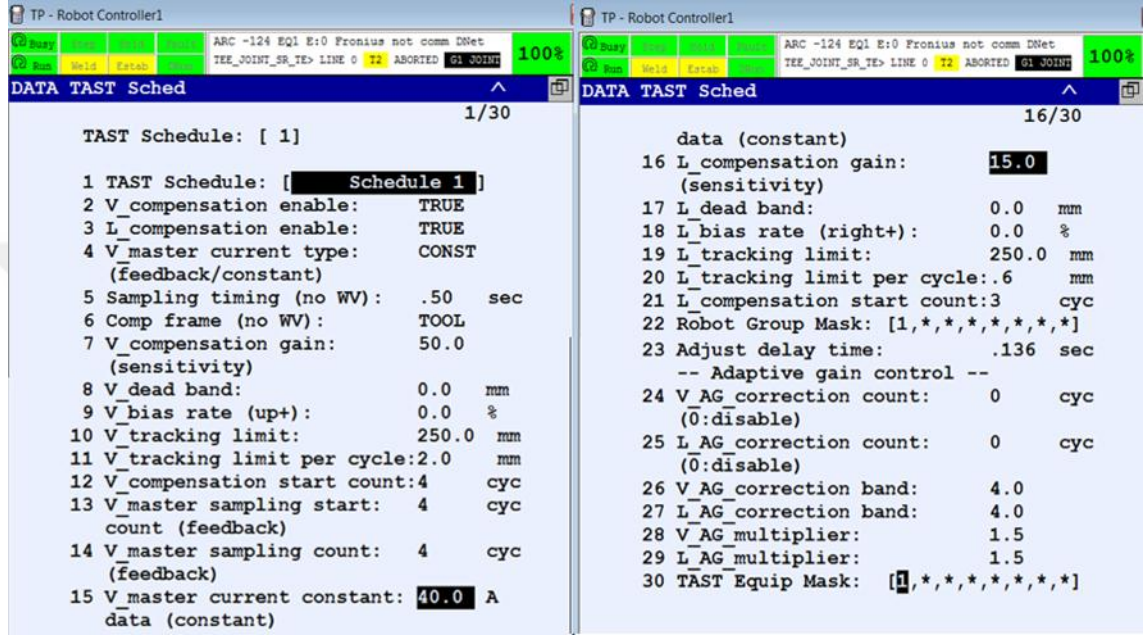
```
1: UTOOL_NUM=1 ;
2: UFRAME_NUM=0 ;
3:L P[2] 200mm/sec CNT100 ;
4:L P[3] 200mm/sec FINE ;
5: SENSOR ON[1] ;
6: WAIT .50(sec) ;
7: SENSOR SEARCH START PR[7:sr tast trgt1] ;
8: SENSOR SEARCH POINT[9] LBL[1] ;
9: SENSOR SEARCH END ;
10:L P[4] 200mm/sec FINE ;
11: SENSOR ON[1] ;
12: WAIT .50(sec) ;
13: SENSOR SEARCH START PR[8:sr tast trgt2] ;
14: SENSOR SEARCH POINT[9] LBL[1] ;
15: SENSOR SEARCH END ;
16: SENSOR OFF ;
17:L PR[7:sr tast trgt1] 100mm/sec FINE Tool_Offset,PR[9:Z offset 20mm] ;
18:L PR[7:sr tast trgt1] 50mm/sec FINE Tool_Offset,PR[10:Rail SR Offset] ;
19: Weld Start[1,1] ;
20: Weave Sine[1] ;
21: Track TAST[1] ;
22:L PR[8:sr tast trgt2] 15mm/sec FINE Tool_Offset,PR[10:Rail SR Offset]
Offset,PR[19:tast test offs] ;
23: Track End ;
24: Weave End ;
25: Weld End[1,1,WID:0] ;
26: WAIT 2.00(sec) ;
27:L PR[8:sr tast trgt2] 15mm/sec FINE Tool_Offset,PR[9:Z offset 20mm] ;
28:L P[2] 100mm/sec CNT100 ;
```

**Şekil 3.14.** Ark Yoluyla Kaynak Ağız Takip Fanuc Robot Programı

6. Fanuc robot kumanda paneli üzerinden, Deney-2'deki dokunarak kaynak ağız bulma parametreleri girilir (bkz şekil 3.15).
7. Robot programında hem kaynak başlangıç noktası hem de kaynak bitiş noktasını bulacak şekilde 2 boyutlu dokunarak arama işlemini gerçekleştirecek tüm pozisyon ve parametre ayarları yapılır.

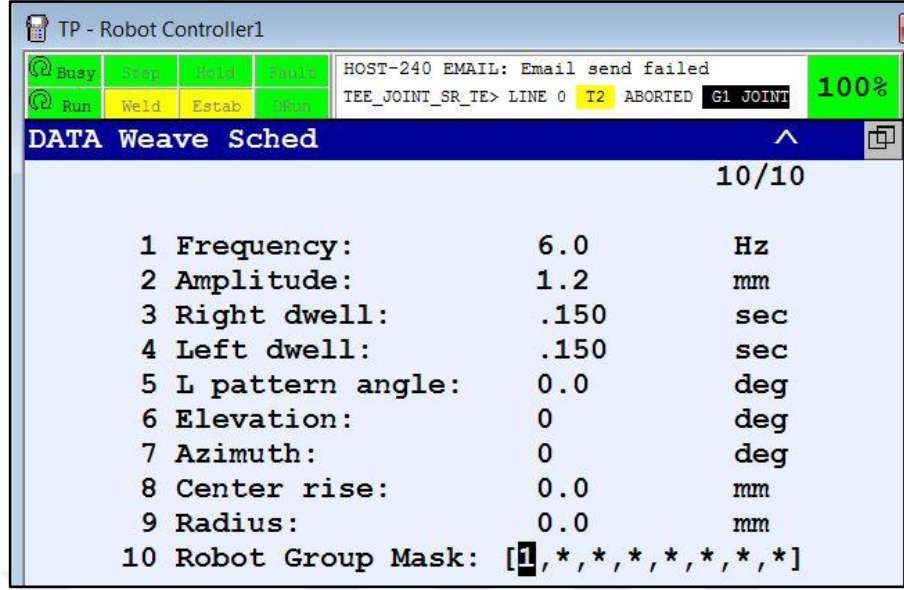


8. Robot programı çalıştırılarak test edilir. Çıkan hatalara göre gerekli dokunarak kaynak ağzı bulma parametre değişiklikleri veya robot pozisyon değişiklikleri yapılarak program optimize edilir. Test işlemleri kaynak ağzı düzgün bir şekilde bulunana kadar sürdürülür.
9. Kaynak ağzı dokunarak bulunduktan sonra, ark yoluyla kaynak ağzı takip parametreleri numune parça özellikleri gözetilerek girilir (bknz şekil 3.17).



**Şekil 3.15.** Fanuc Robot Ark Yoluyla Kaynak Ağzı Takibi Parametre Ayarları

10. Kaynağın başlangıç ve bitiş noktalarının dokunarak kaynak ağzı bulma programında kaydedilen pozisyon verileri olduğundan emin olunur. Kaynak ağzı takibinin en iyi şekilde yapılabilmesi için kaynak torcunun 45° açıda olduğundan ve tel ucunun iki sacın kesiştiği köşenin tam üstüne geldiğinden emin olunmalıdır.
11. Ark yoluyla kaynak ağzı takibi zikzak kaynağı gerektirdiği için yine numune parça geometrisine uygun zikzak parametreleri girilir (bknz. şekil 3.18).



**Şekil 3.16.** Fanuc Robot Zikzak Kaynak Parametre Ayarları

12. Kaynak programı ark yoluyla kaynak takibi komutlarını da içerecek şekilde son haline getirilir (bkz şekil 3.16).
13. Robot programı kaynak kapalı modda çalıştırılarak test edilir. Çıkan hatalara göre gerekli dokunarak kaynak ağzı bulma parametre değişiklikleri veya robot pozisyon değişiklikleri yapılarak program optimize edilir. Test işlemleri kaynaksız modda kaynak ağzı düzgün bir şekilde bulunana kadar sürdürülür.
14. Robot kaynak açık moda alınıp program çalıştırılır. Kaynak ağzını bulup, kaynağı yapması kaynak maskesi ile izlenir. Eğer kaynak ağzını düzgün takip etmiyor veya bir takım kararsız hareketler yapıyorsa kaynak durdurularak parametre optimizasyonu yapılır. Kaynak düzgün ve kararlı bir şekilde takip edilene kadar parametre optimizasyonları sürdürülür.
15. Birinci numune parça tamamlandıktan sonra, fikstürden sökülmeden önce değişik açılardan fotoğrafları çekilir. Kaynak sonrası parça konumunun değişikliğini anlamak için Şekil 3.10'da gösterilen A ve B noktalarının, orijine olan mesafeleri çelik cetvelle ölçülerek kaydedilir. Hem kaynağın görsel durumu hem de parça pozisyonundaki olası oynamalar belgelenir.

16. Denemeler en az üç numune üzerinde ve bu numunelerin farklı pozisyonlarda konumlandığı durumlar için, robot programında hiçbir değişiklik yapmadan gerçekleştirilir.
17. Her denemeye ait kaynak öncesi ve kaynak sonrası fotoğraflar ve parça pozisyon değişiklikleri tablolaştırılarak, kaynak ağız takibinin başarısı yorumlanır.



#### 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada modern imalat sanayiinde kullanımı oldukça yaygınlaşan akıllı kaynak sistemlerinden en çok kullanılan üç tanesi uygulamalı deneylerle test edilmiştir. Materyal ve yöntem kısmında açıklanan deney yöntemleri ile elde edilen bulgulara bu bölümde yer verilecektir.

##### 4.1. Lazer Sensörle Kaynak Ağzı Bulma ve Takip Deneyi Bulguları

Bölüm 3.2.1’de belirtilen yöntemle üç adet numune parça art arda kaynatıldı. Numune parçaların herbirinin kaynak öncesi ve kaynak sonrası konumları, şekil 3.10’daki A ve B referans noktalarının orijine uzaklığı ölçülerek tablolandırıldı (bknz. çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1.** Deney-1 Numune Parça Konum Çizelgesi

Deney No	Nokta- A						Nokta-B					
	Kaynak Öncesi Pozisyon			Kaynak Sonrası Pozisyon			Kaynak Öncesi Pozisyon			Kaynak Sonrası Pozisyon		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1.1	0	2	1	0	2	3	0	-148	1	0	-148	3
1.2	3	1.5	4	3	1.5	6	18	-148	4	18	-148	6
1.3	5	-0.5	1	5	-0.5	3	-8	-149	3	-8	-149	3

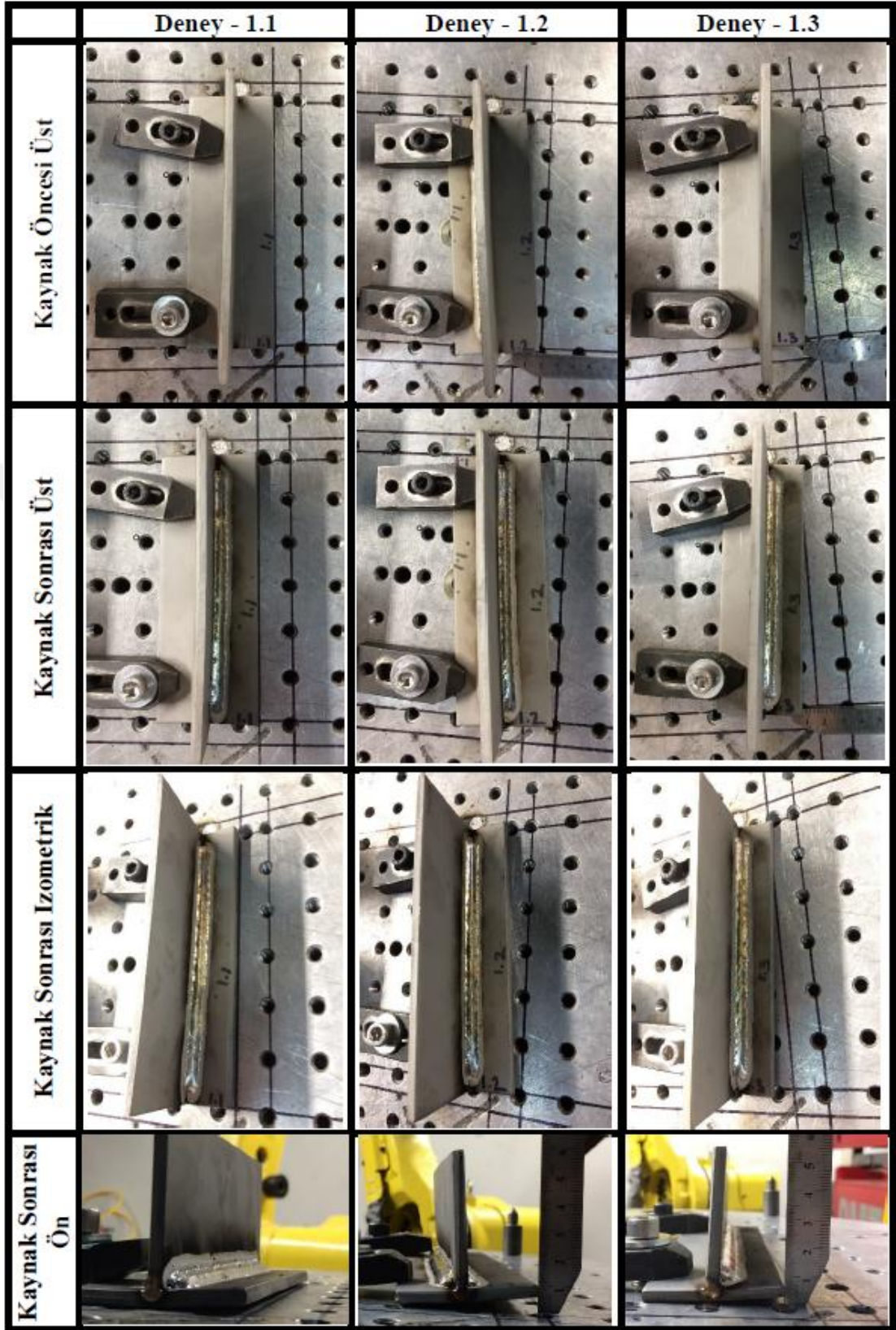
Kaynak öncesi ve sonrası karşılaştırmalı fotoğraflar ise şekil 4.1.’de verilmiştir. Şeklin birinci satırındaki kaynak öncesi üst görünüş fotoğraflarında numune parçaların her deney için birbirlerinden farklı pozisyonlarda sabitlenmiş olduğu görülebilmektedir. Konum farklılıklarının sayısal değerleri ise çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Her parçanın birbirinden 15-20 mm gibi farklarla fikstürlenmesine rağmen, hep aynı robot programı; lazer sensör kullanıldığı için hiç bir ek programlamaya gerek kalmadan kaynak ağzını bulabilmiş ve kaynak sırasında da kaynak ağzı takibini sürdürebilmiştir.

Şekil 4.2’nin ikinci satırındaki karşılaştırmalı fotoğraflarda; parça yerinin kaba ve tek taraftan fikstürlemeye rağmen kaynak sonrası XY düzlemindeki yer değişikliğinin yok denilecek kadar az olduğu görülmektedir. Zaten çizelge 4.1’de de çelik cetvel ile yapılan ölçümlerde referans noktaların X-Y değerlerinde bir değişiklik

görülmemektedir. Fakat dördüncü satırdaki karşılaştırmalı fotoğraflardan da anlaşılabilir gibi, numune parça sağ taraftan fikstür plakasına sabitlenmediği için kaynak işlemi sırasında ısı etkisi ile atıklık (distorsiyon) meydana gelmektedir ve özellikle sağ kenarının Z ekseninde yukarı doğru kalktığı görülmektedir (bkz. şekil 4.1).







Şekil 4.1. Deney-1 Kaynak Öncesi ve Sonrası Karşılaştırmalı Fotoğraflar

Lazer sensör kaynak işlemi esnasında eş zamanlı kaynak ağız takibi de yaptığı için sadece parça pozisyonlarının deneyler arasındaki X-Y-Z konumları değil aynı zamanda kaynak atıklıklarından kaynaklanan kaynak ağız pozisyon değişiklikleri de başarılı bir şekilde hesaplanabilmekte ve kaynak işlemi sırasında robot kaynak telini daima köşe birleşmeyi hedef alacak şekilde pozisyonlayabilmektedir. Şekil 4.1'in üçüncü satırında her deney için karşılaştırmalı kaynak sonuçlarının fotoğrafları gösterilmiştir. Bu fotoğraflardan da anlaşılacağı gibi sensör sistemi ile yapılan kaynaklar birbirlerini yaklaşık %90-%95 oranında tekrarlayabilmekte ve bu nedenle kaynakların görsel kalite muayene sonuçları arasında hemen hemen hiç bir fark görülmemektedir. Lazer sensör hem kaynak ağız bulma işlemi hem de kaynak esnasında kaynak ağız takip işlemi çok hassas, başarılı ve tekrar edebilir bir şekilde yerine getirebilmektedir.

#### 4.2. Dokunarak Kaynak Ağız Bulma Deneyleri

Bölüm 3.2.2'de belirtilen yöntemle üç adet numune parça art arda kaynatıldı. Numune parçaların herbirinin kaynak öncesi ve kaynak sonrası konumları, şekil 3.10'daki A ve B referans noktalarının orijine uzaklığı ölçülerek tablolandırıldı (bknz. çizelge 4.2).

**Çizelge 4.2.** Deney-2 Numune Parça Konum Çizelgesi

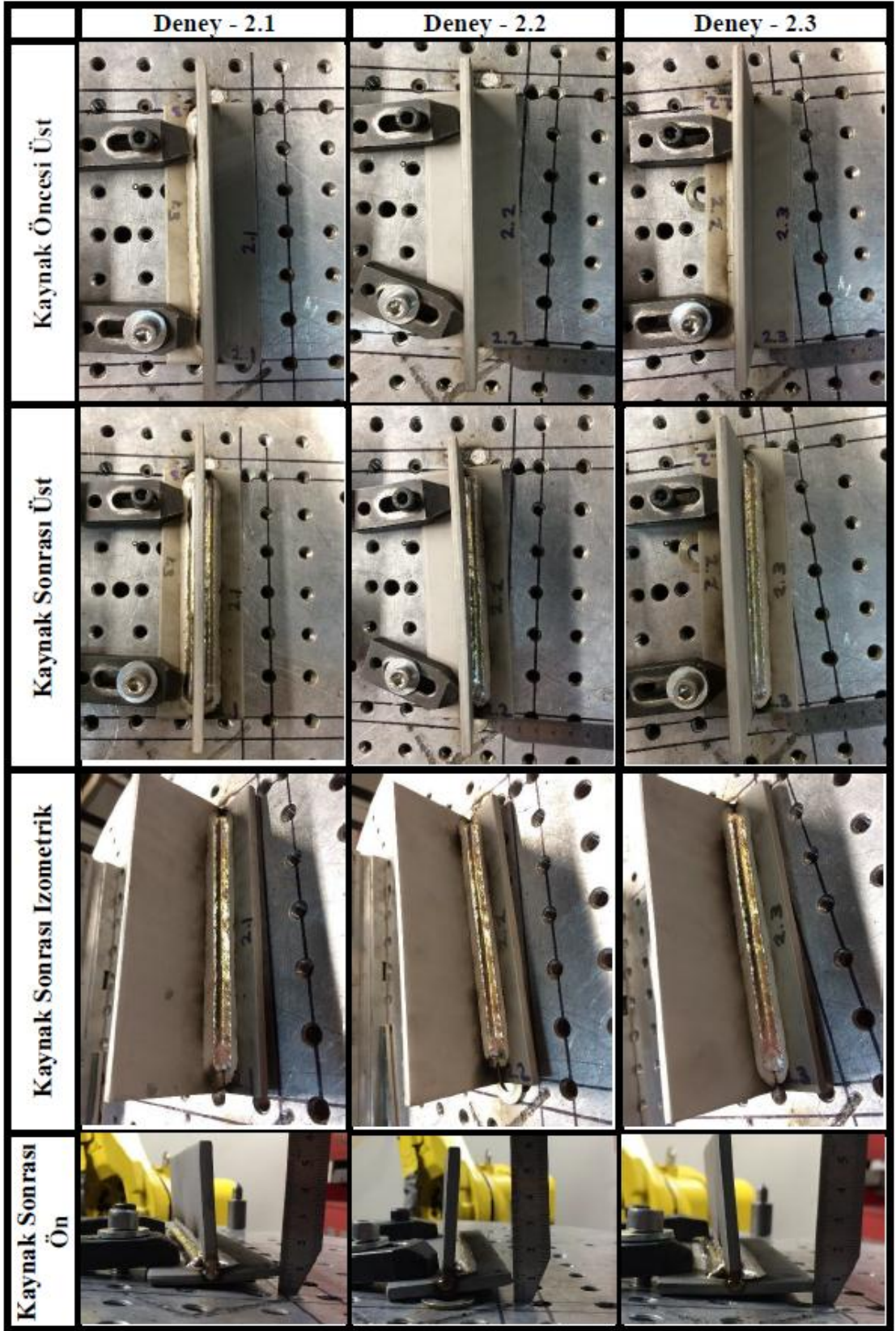
Deney No	Nokta- A						Nokta-B					
	Kaynak Öncesi Pozisyon			Kaynak Sonrası Pozisyon			Kaynak Öncesi Pozisyon			Kaynak Sonrası Pozisyon		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2.1	0	2	4	0	2	6	1	-148	4	1	-148	6
2.2	-3	2	0.5	-3	2	2.5	6	-147.5	5	6	-147.5	7
2.3	9	1	4	9	1	4.5	-5	-148.5	4	-5	-148.5	4.5

Kaynak öncesi ve sonrası karşılaştırmalı fotoğraflar ise şekil 4.2'de verilmiştir. Şeklin birinci satırındaki kaynak öncesi üst görünüş fotoğraflarında numune parçaların her deney için birbirlerinden farklı pozisyonlarda sabitlenmiş olduğu görülebilmektedir. Konum farklılıklarının sayısal değerleri ise çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Her parçanın birbirinden 15-20 mm gibi farklarla fikstürlenmesine rağmen, hep aynı robot programı; dokunarak kaynak ağız bulma sensörü kullanıldığı için hiç bir ek programlamaya gerek

kalmadan kaynak ağızını bulabilmiştir. Fakat bu yöntem daha önce de belirtildiği gibi kaynak işlemi esnasında eş zamanlı kaynak ağızı takibi yapmaya izin vermemektedir.

Şekil 4.2'nin ikinci satırındaki karşılaştırmalı fotoğraflarda; parça yerinin kaba ve tek taraftan fikstürlemeye rağmen kaynak sonrası XY düzlemindeki yer değişikliğinin yok denilecek kadar az olduğu görülmektedir. Zaten çizelge 4.2'de de çelik cetvel ile yapılan ölçümlerde referans noktaların X-Y değerlerinde bir değişiklik görülmemektedir. Fakat dördüncü satırdaki karşılaştırmalı fotoğraflardan da anlaşılacağı gibi, numune parça sağ taraftan fikstür plakasına sabitlenmediği için kaynak işlemi sırasında ısı etkisi ile atıklık (distorsiyon) meydana gelmektedir ve özellikle sağ kenarının Z ekseninde yukarı doğru kalktığı görülmektedir (bknz. şekil 4.2).





Şekil 4.2. Deney-2 Kaynak Öncesi ve Sonrası Karşılaştırmalı Fotoğraflar

Dokunarak kaynak ağız bulma sensörü kaynak işlemi esnasında eş zamanlı kaynak ağız takibi yapamadığı için sadece parça pozisyonlarının deneyler arasındaki X-Y-Z konumlarını başarılı bir şekilde bulabilmesine rağmen, kaynak atıklıklarından kaynaklanan kaynak ağız pozisyon değişikliklerini hesaba katamamaktadır. Şekil 4.2'nin üçüncü satırında her deney için karşılaştırmalı kaynak sonuçlarının fotoğrafları gösterilmiştir. Bu fotoğraflardan da anlaşılacağı gibi sensör sistemi ile yapılan kaynaklar birbirlerini yaklaşık %75-%85 oranında tekrarlayabilmekte ve kaynakların görsel kalite muayene sonuçları oldukça yakın görünmektedir. Dokunarak kaynak ağız bulma sistemi kaynak ağız bulma işlemi oldukça hassas, başarılı ve tekrar edebilir bir şekilde yerine getirebilirken, kaynak atıklıklarından kaynaklanan pozisyon değişikliklerine tepki verememektedir. Bu sistemin daha başarılı olabilmesi için fikstürlemenin iyileştirilerek, kaynak atıklıklarının minimize edilmesi gerekmektedir.

### 4.3. Ark Yoluyla Kaynak Ağız Takip Deneyleri

Bölüm 3.2.3'de belirtilen yöntemle üç adet numune parça art arda kaynatıldı. Numune parçaların herbirinin kaynak öncesi ve kaynak sonrası konumları, şekil 3.10'daki A ve B referans noktalarının orijine uzaklığı ölçülerek tablolaştırıldı (bkz. çizelge 4.3).

**Çizelge 4.3.** Deney-3 Numune Parça Konum Çizelgesi

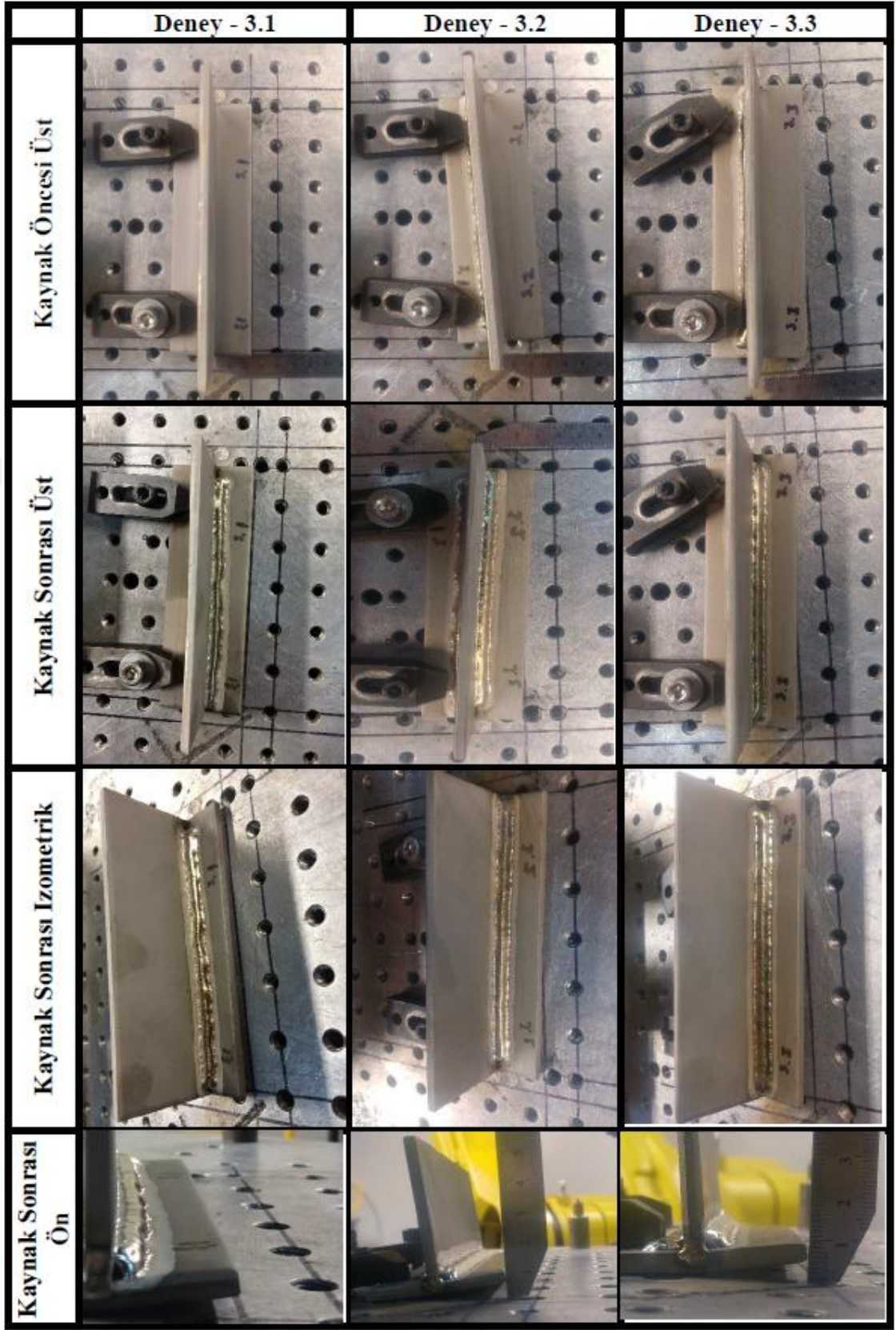
Deney No	Nokta- A						Nokta-B					
	Kaynak Öncesi Pozisyon			Kaynak Sonrası Pozisyon			Kaynak Öncesi Pozisyon			Kaynak Sonrası Pozisyon		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
3.1	-0.5	1.5	1	-0.5	1.5	3	-0.5	-148.5	1	-0.5	-148.5	3
3.2	-1	2	4	-1	2	6	8	-147.7	4	8	-147.7	6
3.3	6	0	3	6	0	5	-1.5	-149.7	3	-2	-149.7	5

Kaynak öncesi ve sonrası karşılaştırmalı fotoğraflar ise şekil 4.3'de verilmiştir. Şeklin birinci satırındaki kaynak öncesi üst görünüş fotoğraflarında numune parçaların her deney için birbirlerinden farklı pozisyonlarda sabitlenmiş olduğu görülebilmektedir. Konum farklılıklarının sayısal değerleri ise çizelge 4.3'de gösterilmiştir. Her parçanın birbirinden 15-20 mm gibi farklarla fikstürlenmesine rağmen, hep aynı robot programı; dokunarak kaynak ağız bulma yöntemini kaynak ağzının ilk konumunu bulmak için, ark

yoluyla kaynak takibi yöntemini de kaynak ağzını kaynak esnasında eş zamanlı olarak takip etmek için kullanıldığından bir ek programlamaya gerek kalmadan hem kaynak ağzını bulmuş hem de takip edebilmiştir.

Şekil 4.3'ün ikinci satırındaki karşılaştırmalı fotoğraflarda; parça yerinin kaba ve tek taraftan fikstürlemeye rağmen kaynak sonrası XY düzlemindeki yer değişikliğinin yok denilecek kadar az olduğu görülmektedir. Zaten çizelge 4.3'te de çelik cetvel ile yapılan ölçümlerde referans noktaların X-Y değerlerinde bir değişiklik görülmemektedir. Fakat dördüncü satırdaki karşılaştırmalı fotoğraflardan da anlaşılacağı gibi, numune parça sağ taraftan fikstür plakasına sabitlenmediği için kaynak işlemi sırasında ısı etkisi ile atıklık (distorsiyon) meydana gelmektedir ve özellikle sağ kenarının Z ekseninde yukarı doğru kalktığı görülmektedir (bkz. şekil 4.3).





Şekil 4.3. Deney-3 Kaynak Öncesi ve Sonrası Karşılaştırmalı Fotoğraflar

Dokunarak kaynak ağız bulma yöntemi ile ark yoluyla kaynak ağız takip yönteminin kombine bir şekilde kullanıldığı bu deneylerde; hem parça pozisyonlarının tüm deneylerdeki X-Y-Z konumları başarılı bir şekilde bulunabilmekte hem de kaynak atıklıklarından kaynaklanan kaynak ağız pozisyon değişiklikleri hesaplanıp kompanse edilebilmektedir. Şekil 4.3'ün üçüncü satırında her deney için karşılaştırmalı kaynak sonuçlarının fotoğrafları gösterilmiştir. Bu fotoğraflardan da anlaşılacağı gibi sensör sistemi ile yapılan kaynaklar birbirlerini yaklaşık %85-%90 oranında tekrarlayabilmekte ve kaynakların görsel kalite muayene sonuçları arasında önemli farklar görülmemektedir. Dokunarak kaynak ağız bulma sistemi ile ark yoluyla kaynak ağız takip yöntemlerinin kombinasyonu olan bu yöntem; hem kaynak ağız bulma işlemini hem de kaynak ağzının eş zamanlı takibi işlemini yeterince hassas, başarılı ve tekrar-edebilir bir şekilde yerine getirebildiği söylenebilir.

#### **4.4. Yöntemlerin Karşılaştırması**

Bu bölümde yukarıda bulguları verilen deneylerde kullanılan yöntemlerin ayrıntılı kıyaslaması yapılacaktır. Kıyaslama kriteri olarak endüstride en sık irdelenen ekipman yatırım maliyeti, çevrim süresi, programlama kolaylığı, kullanım ve bakım kolaylığı, proses tekrar edebilirliği, proses güvenilirliği ve proses esnekliği ele alınacaktır.

##### **4.4.1. Yatırım maliyeti**

Her ne kadar mühendislikte kendi başına yeterli bir karar alma kriteri olmasa da şirketlerin yatırım bütçeleri sınırlı olduğu için, ekipman yatırım maliyetleri işletmelerdeki en önemli karar alma kriterlerinden biridir.

Çalışmada kullanılan sensör sistemlerinin işletmelerdeki standart kaynak robot sistemlerine getirdiği ortalama ek yatırım maliyetleri çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Sensör sistemlerinin yatırım maliyetleri

Lazer Sensör	Dokunma Sensörü	Dokunma Sensörü + Ark Yolu Yöntemi
50000 USD	540 USD	2900 USD

Çizelgeden de görülebileceği gibi lazer sensör sistemlerinin yatırım maliyetleri diğer yöntemlerle karşılaştırılamayacak derecede yüksektir. Özellikle ülkemizdeki otomotiv yan sanayii gibi rekabetin fazla olduğu sektörlerde bu tip sistemlere yatırım yapabilmek firmaları zorlamaktadır. Yatırım maliyetinin yüksek olması nedeniyle yedek parça ve onarım maliyetleri de yüksektir. Dokunma sensörü sistemleri maliyet avantajı nedeniyle endüstride en çok kullanılan adaptif kaynak yöntemidir. Yaygınlık açısından ikinci sırada ise dokunma sensörü ve ark yoluyla kaynak yönteminin kombine kullanıldığı sistemler gelmektedir

#### **4.4.2. Çevrim Süresi**

Çevrim süresi de hem parça imalat maliyetlerine etkisi hem de kapasite kullanımını doğrudan etkilemesi açısından işletmeler açısından yine önemli bir seçim kriteridir.

Lazer sensör sistemleri temazsız olarak optik yöntemlerle kaynak ağzını bulup takip edebildikleri için çevrim süresi açısından en kısa yani en verimli olan yöntemdir. Dokunma sensörü ile kaynak ağzının bulunması yöntemi değişik düzlemlerden parçaya dokunmayı gerektirir. Proses hassasiyeti için arama hızları düşük tutulur, bu da çevrim süresinin lazer sensöre göre çok daha uzun olmasına neden olur. Dokunma sensörü ve ark yoluyla kaynak ağzı takip sistemlerinin kombinasyonu şeklinde çalışan sistemlerde ise, kaynak prosesi zikzak kaynağı olmak zorunda olduğu için kullanılan ilerleme hızları düz kaynağa göre genel olarak daha düşük olacağından; çevrim süreleri hem lazer sensörlü sistemlerden, hem de sadece dokunma sensörünün kullanıldığı sistemlerden daha uzun olacaktır.

Deneyleler sırasındaki çevrim süresi analiz değerleri çizelge 4.5'te verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus deneylelerde kullanılan numune parça geometresinin

görece kolay bir geometri olmasıdır. Daha kompleks parçalarda özellikle dokunma sensörünün dokunma sayılarının artması gerekebilir ve toplam çevrim süreleri lazer sensörlü sistemlere göre çok daha uzayabilir. Ark yolu yönteminde ise yukarıda da belirtildiği gibi zikzak kaynakta 8 mm/s yerine 5 mm/s ilerleme hızı kullanıldığı için 150 mm'lik kaynak boyunca 12s'lik bir ilave çevrim süresi eklendiği görülmektedir.

**Çizelge 4.5.** Sensör sistemlerinin deneylerdeki çevrim süreleri

	Lazer Sensör	Dokunma Sensörü	Dokunma Sensörü + Ark Yolu Yöntemi
Kaynak Ağızı Bulma Süresi	3s	20s	32s

#### 4.4.3. Programlama Kolaylığı

Deneyler esnasında görüldüğü kadarı ile programlamanın en kolay olduğu yöntemin dokunma sensörü sistemi olduğu rahatça söylenebilir. Fanuc firmasının kullanıcı klavuzları takip edilerek gerekli kaynak ağızı bulma programları hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

Ark yoluyla kaynak takip yöntemi de robot üzerindeki opsiyonel bir yazılım olduğu için Fanuc firmasının kullanıcı klavuzları takip edilerek yapılabilmektedir. Fakat burada önemli olan unsur, yapılan programın kaynak yapmadan denenmesinin mümkün olmamasıdır. Bunun nedeni kaynak taraması kısmında da bahsedildiği gib söz konusu teknoloji, kaynak telinin zikzak kaynağı sırasında iş parçası duvarlarına temas ettiği anlardaki akım değişikliklerini tesbit ederek robotun kaynak telini kaynak ağızı merkezini takip edecek şekilde pozisyonlayabilmesi prensibine dayandığından; optimizasyonu çok fazla numune parça kullanılmasını gerektirmektedir. Programlaması kolay olsa da, bu optimizasyon işlemleri çok uzun sürebilmektedir. Kararlı ve optimum parametrelerin bulunabilmesi için toplam 6 adet iş parçasının kaynatılması gerekmiştir. Deney sonuçları hala biraz daha optimizasyon yapılabileceğini gösterse de hem deney düzeneğinin işletmedeki yoğunluğu hem de numune parça maliyetleri nedeniyle optimizasyonlar belirli bir seviyeye ulaştıktan sonra durdurulmuştur.

Lazer Sensörün kullanımı için ayrıntılı programlama ve kullanıcı eğitimi ServoRobot firmasının Kanada'daki tesislerinde, 2 günlük bir program şeklinde alınmaktadır. İlave software ve hardware kullanımı gerektirdiği için programlaması bu eğitimden sonra yapılabilmektedir. Yeterli eğitime sahip mühendisler; program ve parametre optimizasyonlarını kaynak yapılmasına gerek duyulmadığı için, ark yolu yöntemine göre çok daha kısa sürelerde tamamlayabilirler.

#### **4.4.4. Kullanım ve Bakım Kolaylığı**

Programlama ve parametre optimizasyonları tamamlandıktan sonra her üç yöntemin de standart üretim esnasındaki kullanımları arasında kayda değer farklar yoktur.

Dokunma sensörü ve ark yolu yöntemleri temelde kaynak makinasından alınan geri beslemelerin kullanıldığı yazılım ağırlıklı teknolojiler olduğu için hemen hemen hiç bir ilave bakım gerektirmemektedir. Lazer sensör ise kaynak ortamındaki çapak, duman, ısı gibi çevresel etkilerden etkilenebilmektedir. Hava soğutması ve hava jeti ile lens koruması opsiyonları, sensörün seri üretimde daha sıkıntısız kullanılabilmesi için önemlidir. Lazer sensörü donanım olarak pahalı bir ekipman olduğu için gerek programlama yaparken gerekse kullanım esnasında iş parçasına veya fikstüre çarpma riskleri taşımakta olup, hasar görmesi halinde onarımı veya yenilenmesi çok pahalı olabilmektedir.

#### **4.4.5. Hassasiyet ve Tekrar Edebilirlik**

Materyal kısmındaki çizelge-3.1'de de belirtildiği gibi Servorobot lazer sensörün ortalama derinlik çözünürlüğü 0.09 mm, ortalama yanal çözünürlüğü ise 0.05 mm'dir. Kaynak taraması bölümünde değinildiği gibi dokunma sensörü ve ark yoluyla kaynak ağızı takip sistemlerinin hassasiyeti ise +/-0.25 mm civarındadır. Fakat burada dikkat edilmesi gereken unsur bu hassasiyet değerleri ölçüm sistemlerine ait hassasiyetlerdir. Robotun takım merkez noktasını bu yöntemler kullanırken ne kadar hassas pozisyonlayabileceği; robotun kendi hassasiyeti, bu sensörlerin konumlandığı takım merkez noktasının robottaki kalibrasyonu ve bu noktanın mekanik olarak esnemeleri



gibi faktörler de devreye girince biraz daha düşmektedir, fakat elimizde deney düzeneğinin gerçek hassasiyet değerleri ile ilgili ölçülmüş bir veri yoktur.

Robotik sistemlerde tekrar edebilirlik de ölçmesi ve değerlendirmesi çok kolay olmayan ve bir çok parametreye bağlı olan bir değerdir. Hassasiyet önemli bir etken olsa da tek başına tekrar edebilirliği belirleyemez. Bu nedenle deneylerde tekrar edebilirlik genel anlamda kaynakların her yöntemde farklı parçaların kaynaklarının hem konum olarak hem de görsel kalite olarak birbirini ne kadar tekrar edebildiği şeklinde yüzdelik skor olarak verilmiştir. 4.1, 4.2 ve 4.3'üncü maddelerde de belirtildiği gibi deneylerdeki yaklaşık tekrar edebilirlik oranları çizelge 4.6'da görülebilir.

**Çizelge 4.6.** Sensör sistemlerinin tekrar edebilirlik yüzdeleri

	Lazer Sensör	Dokunma Sensörü	Dokunma Sensörü + Ark Yolu Yöntemi
~Tekrar Edebilirlik	%90-95	%75-80	%85-90

#### **4.4.6. Proses Güvenirliliği (Reliability)**

Deneyler sırasında yöntemlerin bazılarının diğerlerine göre daha kararlı olduğu ve bu nedenle seri imalatta daha az problem çıkaracak yani daha güvenilir olduğu görülmüştür. Yine sayısallaştırması epeyce zor olan bu değerlendirme kriterinin en büyük avantaj olduğu yöntem dokunarak kaynak ağzı bulma yöntemidir. İkinci sırada ise lazerli kaynak ağzı bulma ve takip yöntemi gelmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi hem parametre optimizasyonun zor olması, hem de zikzak kaynağı gibi genel olarak düz kaynağa göre zaten daha zor bir kaynak türünün kullanılması nedeniyle ark yoluyla kaynak ağzı takip sistemi proses güvenirliliği açısından en son sırada yer almaktadır.

#### **4.4.7. Proses Esnekliği**

Proses esnekliğinden kastedilen; yöntemlerin farklı tür, geometri ve kalınlıktaki parçalarda, basit veya hassas fikstürleme gereksinimleri altında kullanılabilme

durumudur. Hem yöntemlerin deneylerdeki performansı hem de kaynak taramasında görüldüğü üzere esneklik anlamında yöntemlerin birbirine göre çok büyük avantajları bulunmamakla birlikte genel bir değerlendime yapabiliriz. Lazer sensör kaynak torcunun ön tarafına monte edildiği ve çok da kompakt bir donanım olmadığı için bazı parçaların kaynağında erişim problemleri yaşanmasına neden olabilir. Yatırım yapmadan önce simülasyon veya hızlı prototipleme yöntemi ile deneyerek erişimlerin kontrol edilmesi önemlidir. Ayrıca, lazer sensörün bazı çok parlak metallerin kaynağında kullanılması da zor olabilmektedir. Dokunarak kaynak ağzı bulma yöntemi bazı ince sacların alın kaynağında kullanılamaz. Ayrıca dokunma sensörü kaynak ağzı takibine de izin vermediği için; atıklığın fazla olduğu ya da fikstürlemenin basit olmasının tercih edildiği durumlarda tek başına kullanılamaz. Bu tip durumlarda mutlaka ark yoluyla kaynak ağzı yöntemi ile kombine kullanılması gerekir. Ark yoluyla kaynak ağzı takip sistemi ise mutlak suretle zikzak kaynağı gerektirdiği için yine bazı ince sacların kaynağında kullanılamamaktadır. Düz kaynak atılması gereken ince kök geometrisi isteyen uygulamalarda da ark yoluyla kaynak ağzı bulma yöntemi kullanılamaz.

## 5. SONUÇ

Her ne kadar bir önceki bölümde madde madde değerlendirme kriterlerine göre tüm yöntemlerin kıyaslaması yapılmış olsa da bunları bir değerlendirme matrisiyle özetlemek çalışmanın sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesini sağlayacaktır. Çizelge 5.1’de görülen değerlendirme bu amaçla hazırlanmıştır.

Değerlendirme matrisi hazırlanırken tüm puanlamalar ve önem çarpanları materyal kısmında detayları verilen numune parçanın, düşük adetli seri üretiminin adaptif kaynağı düşünülerek yapılmıştır. Değerlendirme matrisinde tüm yöntemler, kriterlerdeki avantaj durumlarına göre 1 ile 10 arasında puanlanmıştır (1 en dezavantajlı durum, 10 en avantajlı durum olmak üzere). Kriterlerin hepsinin önemi aynı olmadığı için puanlama sonrasında bir de önem çarpanları ile çarpılarak tablo sonuçlarının daha doğru yorumlanabilmesi amaçlanmıştır. Önem çarpanı olarak bazı işletmelerde sıkça kullanılan 3-6-9 rakamları (3: az önemli, 6: orta önemli, 9: çok önemli) kriterlere göre değerlendirilerek belirlenmiştir.

**Çizelge 5.1.** Yöntemlerin değerlendirme matrisi

	Genel Puanlama			Önem Çarpanı	Önem Çarpanı Dahil Puanlama		
	Lazer Sensör	Dokunma Sensörü	Dokunma Sensörü + Ark Yolu Yöntemi		Lazer Sensör	Dokunma Sensörü	Dokunma Sensörü + Ark Yolu Yöntemi
Yatırım Maliyeti	1	10	9	9	9	90	81
Çevrim Süresi	8	5	4	9	72	45	36
Programlama Kolaylığı	5	7	4	6	30	42	24
Kullanım Kolaylığı	7	8	7	6	42	48	42
Bakım Kolaylığı	3	10	8	6	18	60	48
Hassasiyet ve tekrar edebilirlik	10	7	9	6	60	42	54
Güvenilirlik	9	9	7	9	81	81	63
Proses Esnekliği	9	9	7	6	54	54	42
				<b>Ortalama</b>	<b>46</b>	<b>58</b>	<b>49</b>

Çizelgeden de anlaşılacağı gibi deneylerde kullanılan malzemenin düşük adetli seri imalatı planlandığında sadece dokunma sensörü yatırımı bile yeterli olmaktadır. Bu durumda tekrar edebilirliği artırmak için deneylerdeki sadece sol taraftan fikstürleme yerine; parçaları hem sağ hem de soldan dengeli bir şekilde bağlamak suretiyle, ucuz

ama hassas ve tekrar edebilir bir kalitede, üretim aksaklıkları yaşamadan seri şekilde üretebilmek mümkün olur.

Varsayımlar üretim adetlerinin çok yüksek olması, kaynak ağızı geometrisinin zorlukları, düzgün fikstürlemenin önünde engeller olması gibi durumlar ile değiştirilebilir. Bu durumda değerlendirme matrisi, lazer sensör veya ark yoluyla kombine dokunma sensörü seçeneklerine de yönlendirebilir.

Özetle gazaltı kaynağında yaygın olarak kullanılan üç kaynak ağızı bulma ve takip yönteminin her biri ayrı teknolojiler kullanmaktadır. Hepsinin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Bazı durumlarda her üç yöntem de birbirinin yerine kullanılabilirdiği gibi, bazı durumlarda içlerinden ikisi birbirinin yerine kullanılabilir, bazı durumlarda da sadece bir yöntem bizim sorunumuzun çözümü olabilir. Tüm bu durumlar parçaların imalat adetleri, parçaların ve kaynak ağızının geometrisi, fikstürleme ihtiyacı veya yapılabilirliği, kalite gereksinimleri, müşteri beklentileri, yatırım bütçesi, hedef çevrim süresi ve makina verimliliği, parça imalatı maliyet hedefi gibi bir çok parametreye bağlıdır. Mühendislik ekipleri bu parametreleri ayrıntılı şekilde inceleyerek, gerektiğinde bu çalışmada kullanılan değerlendirme matrislerinin de yardımıyla kendi durumları ve ihtiyaçları için optimum adaptif kaynak yönteminin kullanılmasına karar verebilirler.

## KAYNAKLAR

- Ågren, B. 1995.** Sensor Integration for Robotic Arc Welding. *Doktora Tezi*. Lund University. Dept. of Mechanical Engineering, Lund
- Anonim, 2001a.** SmartAc Welding Equipment Manual. ABB Welding Systems AB. <https://library.e.abb.com/public/8b41fed7c83d3466c125766d003a0d0a/503497-502.pdf> - (Erişim tarihi 05.07.2017)
- Anonim, 2001b.** Sensor Based Adaptive Arc Welding. ABB Welding Systems AB. <https://library.e.abb.com/public/8ca2d32ae35d123cc125799f00592be4/Sensor%20Base%20Adaptive%20Arc%20Welding%20White%20Paper.pdf> - (Erişim tarihi 05.07.2017)
- Anonim, 2007.** Fanuc ArcMate 120iC Product Catalog. Fanuc Corporation. [https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/ARCMateiC\(E\)-06.pdf](https://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/robot/ARCMateiC(E)-06.pdf) - (Erişim tarihi 12.04.2018)
- Anonim, 2012a.** ISO 8373:2012. ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en> - (Erişim tarihi 12.04.2017).
- Anonim, 2012b.** History of Industrial Robots: From the first installation until today. International Federation of Robotics [http://www.ifr.org/uploads/media/History\\_of\\_Industrial\\_Robots\\_online\\_brochure\\_by\\_IFR\\_2012.pdf](http://www.ifr.org/uploads/media/History_of_Industrial_Robots_online_brochure_by_IFR_2012.pdf) – (Erişim tarihi 13.04.2017).
- Anonim, 2013.** Fanuc R30ib Arc Tool Operator Manual v8.20. FANUC America Corporation, Michigan, ABD, pp. 2679
- Anonim, 2014.** Servorobot Power-Cam 3D Laser Vision Camera Installation and Operation Manual. Servo-Robot Inc, Montreal, Kanada, pp.25
- Anonim, 2016.** LRB iiwa. Kuka Robotics. [http://www.kuka-robotics.com/turkey/tr/products/industrial\\_robots/sensitiv/lbr\\_iiwa\\_14\\_r820/start.htm](http://www.kuka-robotics.com/turkey/tr/products/industrial_robots/sensitiv/lbr_iiwa_14_r820/start.htm) - (Erişim tarihi 16.04.2017)
- Anonim, 2017a.** Executive Summary World Robotics 2017 Industrial Robots. International Federation of Robotics. [https://ifr.org/downloads/press/Executive\\_Summary\\_WR\\_2017\\_Industrial\\_Robots.pdf](https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_2017_Industrial_Robots.pdf) - (Erişim tarihi 02.03.2018).

- Anonim, 2017b.** Power-Track. Servo-Robot Inc. <https://servo-robot.com/arc-seam-tracking> - (Erişim tarihi 03.04.2018)
- Anonim, 2018a.** Fanuc R30ib Controllers. Fanuc Corporation. <https://www.fanuc.eu/uk/en/robots/accessories/robot-controller-and-connectivity%20> - (Erişim tarihi 23.04.2018)
- Anonim, 2018b.** Fronius CMT 4000 Advanced MIG/MAG Power Source Operating Instructions. Fronius International GMBH, Wels, Avusturya, pp. 212
- Bloss, R., 2013.** Innovations like two arms, cheaper prices, easier programming, autonomous and collaborative operation are driving automation deployment in manufacturing and elsewhere. *Assembly Automation*. 33(4): 312-316.
- Cederberg, P., Olsson, M., Bolmsjö, G. 2002.** Virtual triangulation sensor development, behavior simulation and CAR integration applied to robotic arc-welding. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 35: 365-379.
- Cook, G.E. 1983.** Robotic Arc Welding: Research in Sensory Feedback Control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 30(3): 252-268
- Evans, J. 2014.** Cold Metal Transfer – Robotics. Fronius UK Ltd. [http://www3.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-BBF1EF32-82E0BBF5/fronius\\_uk/CMTRobotics\\_pres\\_openhouse\\_538967\\_snapshot.pdf](http://www3.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-BBF1EF32-82E0BBF5/fronius_uk/CMTRobotics_pres_openhouse_538967_snapshot.pdf) - (Erişim tarihi 08.04.2018)
- Fridenfalk, M., Bolmsjö, G. 2004.** Design and validation of a universal 6D seam tracking system in robotic welding using arc sensing. *Advanced Robotics*. 18(1): 1-21
- Fridenfalk, M. 2003.** Development of Intelligent Robot System Based on Sensor Control. *Doktora Tezi*. Lund University. Dept. of Mechanical Engineering. Lund
- Gao, F., Chen, Q., Guo, L. 2015.** Study on Arc Welding Robot Weld Seam Touch Sensing Location Method for Structural Parts of Hull. ICCAIS, 29-31 Ekim 2015, Changshu, China
- Groover, M.P. 2010.** Fundamentals of Modern Manufacturing. John Wiley & Sons, Inc.. ABD, 1014 s.
- Haddadin, S., Parusel, S., Belder, R., Albu-Schaeffer, A. 2013.** It is (almost) all about human safety: A novel paradigm for robot design control and planning. *Lecture Notes in Computer Science*. 8153: 202–215.

- Kock, S., Vitor, T., Björn, M., Jerregard, H., Källmann, M., Lundberg, I. 2011.** Robot concept for scalable, flexible assembly automation: A technology study on a harmless dual-armed robot. IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing, 5/25/2011, Tampere, Finlandiya
- O'Shea, E. 2009.** Comparing intelligent robotic arc-sensing technologies. *Penton's welding magazine*. 82(6): 14-17
- Pires, N.J., Loureiro, A., Bölmsjö, G. 2006.** Welding Robots. Springer-Verlag London Limited. Germany, 180 s.
- Scheinman, V.D., 1969.** Design of a Computer Controlled Manipulator. *Doktora Tezi* Stanford University, Stanford.
- Siciliano, B., Khatib, O. 2016.** Handbooks of Robotics. Springer-Verlag GmbH, Berlin, 2227 s.
- Westerlund, L. 2000.** The Extended Arm of Man: A History of the Industrial Robot. Informationsförlaget, Stockholm, 170 s.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Yuvalaklıoğlu  
Doğum Yeri ve Tarihi : Elmalı/ANTALYA, 1978  
Yabancı Dili : İngilizce, Japonca

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yılı)

Lise : Aksu Anadolu Öğretmen Lisesi, 1995  
Lisans : ODTÜ - Makina Müh., 2000  
Yüksek Lisans : Vrije Universiteit Brussel – Master of Management, 2012  
: Uludağ Üniversitesi - Makina Müh., 2018

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Coşkunöz A.Ş, 2000-2001  
: AB Rotech, 2002-2005  
: Toyota Motor Europe, 2005-2012  
: General Electric, 2012-

İletişim (e-posta) : yuvalaklioglu@gmail.com

Yayınları : **Yuvalaklioglu, M. 2011.** Green Competitive Advantage in European Automotive Industry, *Master Thesis*, VUB, Faculty of Economic and Social Sciences, Brüksel, Belçika