

**T.C.**  
**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALAŞIMSIZ ÇELİKLERE ROBOTİK GAZALTI KAYNAĞININ**  
**UYGULANMASI**

**Gültekin KÜPELİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
Prof. Dr. İrfan YÜKLER

**İSTANBUL 2008**

**T.C.**  
**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALAŞIMSIZ ÇELİKLERE ROBOTİK GAZALTI KAYNAĞININ**  
**UYGULANMASI**

**Gültekin KÜPELİ**  
**(141102220040149)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
**Prof. Dr. İrfan YÜKLER**

**İSTANBUL 2008**

**T.C.**  
**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABUL ve ONAY BELGESİ**

Gültekin KÜPELİ'nin "ALAŞIMSIZ ÇELİKLERE ROBOTİK  
GAZALTI KAYNAĞININ UYGULANMASI" başlıklı Lisansüstü tez  
çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20/08/2008 tarih ve  
..... sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Metal Eğitimi Anabilim Dalı  
Metal Eğitimi Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

**Danışman : Prof. Dr. İrfan YÜKLER**

**1. Üye : Prof. Dr. Serdar SALMAN**

**2. Üye : Yrd. Doç. Dr. H. Tahsin KALAYCI**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 21/08/2008**

**ONAY**

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .....tarih ve  
..... sayılı kararı ile Gültekin'nin Metal Eğitimi Anabilim Dalında  
Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

**Enstitüsü Müdürü**  
**Prof. Dr. Sevil ÜNAL**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma ile endüstrinin ihtiyaç duyduğu bazı bilgileri sunmaya gayret gösterdik. Özgünlük değerinin fazla olması nedeni ile oldukça uzun araştırma ve bir o kadar da çalışma süreci geçti. Ancak bu çalışma incelendiğinde emeğimizin boşa gitmediğinin anlaşılabacağı kanısındayım.

Evvela beni bugünlere kadar getiren aileme minnet ve şükranlarımı sunarım.

Böyle bir çalışmanın ortaya çıkmasında söz ve fikir sahibi olan sayın Prof. Dr. İrfan YÜKLER hocama, bana verdiği destek ve bana duyduğu güven nedeni ile teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarında desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. İrfan ÇALIŞ hocama, Arş. Gör. Yahya BOZKURT'a, Arş. Gör. Erhan SANCAK'a, Arş. Gör. Ali BEYİT'e, ileride büyük işler başaracağına inandığım Nazif SAĞLAM'a ve Ramazan SANDIKÇI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın akışını değiştiren yüreği faydalı olmak sevdası ile yanan, her zaman örnek almaya çalışacağım sayın Prof. Dr. Serdar SALMAN hocama her sözümün kifayetsiz kalacağı bilinci ile sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ve son olarak; bu çalışmamı, her türlü desteği veren, güvenimi ve inancımı perçinleyen sonsuz sevgisini hep yanımda hissettiğim eşime ithaf ediyorum.

# İÇİNDEKİLER

|                                                             | <u>SAYFA</u> |
|-------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖNSÖZ.....                                                  | i            |
| İÇİNDEKİLER.....                                            | ii           |
| ÖZET.....                                                   | v            |
| ABSTRACT.....                                               | vi           |
| SEMBOL LİSTESİ.....                                         | vii          |
| KISALTMALAR.....                                            | viii         |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                          | ix           |
| TABLO LİSTESİ.....                                          | xi           |
| BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ.....                                 | 1            |
| I.1 GİRİŞ.....                                              | 1            |
| BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER.....                               | 3            |
| II.1.GAZALTI (KORUYUCU GAZLA) ARK KAYNAĞI.....              | 3            |
| II.1.1.Yöntemin Tanıtımı Ve Tarihçesi.....                  | 3            |
| II.1.2.Yöntemin Üstünlükleri.....                           | 4            |
| II.1.3.Yöntemin Sınırlamaları.....                          | 5            |
| II.1.4.Çalışma Prensibi.....                                | 5            |
| II.1.5.Gazaltı Kaynağı Donanımı.....                        | 6            |
| II.1.5.1.Güç Ünitesi.....                                   | 7            |
| II.1.5.2. Koruyucu Gaz Ünitesi.....                         | 12           |
| II.1.5.3. Elektrod Besleme Ünitesi.....                     | 13           |
| II.1.5.4. Kaynak Torcu.....                                 | 14           |
| II.1.5.5. Kablo Grubu.....                                  | 15           |
| II.1.6. Damla İletim Mekanizmaları.....                     | 15           |
| II.1.6.1. Kısa Damla İletim (Kısa Ark Metal Transferi)..... | 16           |
| II.1.6.2. İri Damla İletimi (Uzun Ark Metal Transferi)..... | 17           |
| II.1.6.3. Sprey Damla İletimi (Sprey Ark).....              | 19           |
| II.1.6.4. Darbeli Akım Transferi.....                       | 21           |
| II.1.7. Kaynak Parametreleri.....                           | 22           |
| II.1.7.1. Kaynak Akımı.....                                 | 23           |
| II.1.7.2. Kutuplama.....                                    | 24           |
| II.1.7.3. Ark Gerilimi (Ark Boyu).....                      | 25           |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.1.7.4. Kaynak Hızı.....                                                      | 27        |
| II.1.7.5. Serbest Elektrod Uzunluğu.....                                        | 28        |
| II.1.7.6. Elektrod Açılırları.....                                              | 29        |
| II.1.7.7. Kaynak Pozisyonları.....                                              | 30        |
| II.1.7.8. Koruyucu Gazlar.....                                                  | 32        |
| II.1.7.9. Elektrod (Tel) Çapı.....                                              | 35        |
| II.1.8. Uygulama Alanları.....                                                  | 35        |
| <b>II.2. KAYNAK ROBOTLARI.....</b>                                              | <b>36</b> |
| II.2.1. Robot Nedir?.....                                                       | 37        |
| II.2.1.1. Robotların En Önemli Üç Yasası.....                                   | 39        |
| II.2.1.2. Temel Olarak Bir Robotta Olması Gereken Özellikler.....               | 39        |
| II.2.3. Robotun Tarihçesi.....                                                  | 40        |
| II.2.4. Robot Geometrisi.....                                                   | 40        |
| II.2.5. Robot Sistemleri.....                                                   | 41        |
| II.2.6. Endüstriyel Robot Kavramı.....                                          | 42        |
| II.2.6.1. Endüstriyel Robotun Çalışma Prensibi.....                             | 43        |
| II.2.6.2. Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması.....                         | 43        |
| II.2.6.3. Mekanik Yapılarına Göre Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması..... | 44        |
| II.2.7. Robot Tahrik Sistemleri.....                                            | 52        |
| II.2.7.1. Pnömatik Tahrik.....                                                  | 52        |
| II.2.7.2. Elektrik Tahrik.....                                                  | 53        |
| II.2.8. Robot Programlama.....                                                  | 53        |
| II.2.8.1. Öğretim Yöntemi.....                                                  | 53        |
| II.2.8.2. Ara Yüz Programı ile Programlama.....                                 | 54        |
| II.2.9. Sensörler.....                                                          | 56        |
| II.2.9.1. Dijital Sensörler.....                                                | 56        |
| II.2.9.2. Analog Sensörler.....                                                 | 56        |
| II.2.9.3. Sensör Birleştirmesi.....                                             | 57        |
| II.2.9.4. Sensör Çeşitleri.....                                                 | 57        |
| II.2.9.5. Sensörlerle Dönüş Belirleme Metodu.....                               | 59        |
| II.2.10. Robotların Uygulama Alanları.....                                      | 60        |
| II.2.11. Kaynak Robotları.....                                                  | 62        |
| II.2.11.1. Robotlar ile Yapılan Kaynak Yöntemleri.....                          | 63        |
| II.2.11.2. Kaynak Robotunun Çalışma Prensibi ve Özellikleri.....                | 65        |
| II.2.12. Kaynak Robotlarının Endüstriyel Önemi.....                             | 71        |

|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| <b>BÖLÜM III. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....</b>                   | <b>73</b>  |
| <b>III.1. Deneyde Kullanılan Sarf Malzemeler.....</b>       | <b>73</b>  |
| III.1.1. St 37 Alaşımsız Çelik Malzeme.....                 | 74         |
| III.1.2. SG-2 Kaynak Elektrodu.....                         | 74         |
| <b>III.2. Kaynaklı Birleştirme İşlemi.....</b>              | <b>75</b>  |
| <b>III.3. Mekanik Deneyler.....</b>                         | <b>76</b>  |
| III.3.1. Çekme Deneyi.....                                  | 76         |
| III.3.2. Eğme Deneyi.....                                   | 77         |
| III.3.3. Vickers Mikrosertlik Deneyleri.....                | 77         |
| III.3.4. Metalografik Deney Numunelerinin Hazırlanması..... | 78         |
| <b>BÖLÜM IV. DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>                     | <b>79</b>  |
| <b>IV.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....</b>                    | <b>79</b>  |
| <b>IV. Eğme Deneyi Sonuçları.....</b>                       | <b>83</b>  |
| <b>IV. Metalografik İncelemeler.....</b>                    | <b>84</b>  |
| IV.3.1. Makroyapı İncelemeleri.....                         | 85         |
| IV.3.2. Mikroyapı İncelemeleri.....                         | 87         |
| IV.3.3. Sertlik Ölçme İncelemesi.....                       | 93         |
| <b>BÖLÜM V. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR.....</b>                | <b>101</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                       | <b>104</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                        | <b>107</b> |

## ÖZET

### ALAŞIMSIZ ÇELİKLERE ROBOTİK GAZALTI KAYNAĞININ UYGULANMASI

Günümüzde hemen her ölçekteki üreticiler daha ekonomik, hatasız ve dayanıklı sistemleri tercih etmektedir. İmalattaki kaynak işlemlerini göz önüne alacak olursak robotik kaynak sistemleri, yukarıda saydığımız özelliklerin yanında el ile yapılan kaynaktan hem daha hızlı hem de daha standart sonuçlar elde edebilmektedir.

Robotik Gazaltı Kaynak yönteminde, istenilen kalitede kaynak elde edebilmek için kaynakçı tarafından kontrol edilen kaynak parametreleri (üfleç hızı, tel besleme hızı, akım, gerilim, tel çapı, vb.) dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Kullanılan ekipmanlara uygun kaynak modeli tasarımı için her parametrenin kaynak üzerindeki etkisi yeterli sayıda deney yapılarak incelenmelidir. Kaynak prosesi, deneysel verilerin kaynak parametreleri ve proses değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak üzere analiz edilmesiyle açıklanabilir.

Endüstride yaygın bir şekilde kullanılan robotların kaynak parametreleri ile ilgili yazılı doküman çok azdır. Bu tezden bu parametrelerin yazılı belge halini alması da amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, alaşimsız çeliklerin robotla gazaltı kaynağında optimum kaynak parametreleri tespit edilmiştir. Alaşimsız çeliklerin robotla kaynak edilmesinden sonra mekanik deneyleri, mikroyapı ve makroyapı analizleri yapılmıştır. Elde edilen en iyi kaynak değerleri için kaynak parametreleri, akım: 250 A; Gerilim: 22 V; Tel besleme hızı: 1 m/dak; İlerleme hızı: 0,4 m/dak. dır.

**Anahtar Kelimeler:** Gazaltı Kaynağı (MIG/MAG), Kaynak Robotu, Optimum Parametre

HAZİRAN 2008

Gültekin KÜPELİ

## **ABSTRACT**

### **APPLICATION OF ROBOTIC GAS METAL ARC WELDING ON MILD STEELS**

Today, most of the manufacturers for all scales choose more economic, precise and durable Welding systems. If we consider welding process we will see that, robotic welding systems, besides having these properties, can produce more standard and faster results than manual arc welding.

In Robotic Gas Metal Arc Welding process, the welding parameters (travel speed of the welding torch, wire feed speed, current, voltage, wire diameter, etc.), controlled by the welder, should be considered to obtain a desired welding quality. To design an appropriate welding model for the equipment used, the effects of each parameter should be studied by conducting adequate number of experiments. The welding process can be described by analyzing the experimental data to define the relationships between the welding parameters and process variables.

Documentation on welding parameters of the robots used in the industry is not widely published. In this thesis, this aspect is aimed to put into writing welding parameters.

In this study, optimum welding parameters for mild steels welded by MIG/MAG robot are determined. After mild steels are welded by robots, mechanical strength is tested and, microstructure and macrostructures are analyzed optimum welding parameters are found to be; current: 250 A; voltage: 22V; wire feeding speed: 1 m/min.; travel speed: m/min.

**Keywords:** MIG/MAG Welding, Welding Robot, Parameter.

**HAZİRAN 2008**

**Gültekin KÜPELİ**

## SEMBOL LİSTESİ

|                       |                                  |
|-----------------------|----------------------------------|
| <b>CO<sub>2</sub></b> | : Karbondioksit                  |
| <b>Ar</b>             | : Argon                          |
| <b>He</b>             | : Helyum                         |
| <b>O<sub>2</sub></b>  | : Oksijen                        |
| <b>H<sub>2</sub></b>  | : Hidrojen                       |
| <b>N<sub>2</sub></b>  | : Azot                           |
| <b>SG<sub>2</sub></b> | : Gazaltı Kaynak Teli            |
| <b>I</b>              | : Amper                          |
| <b>V</b>              | : Volt                           |
| <b>lt / dk</b>        | : Gaz Akış Hızı (litre / dakika) |
| <b>M</b>              | : Molekül                        |
| <b>I</b>              | : İyon                           |
| <b>E</b>              | : Elektron                       |
| <b>C</b>              | : Karbon                         |
| <b>Mn</b>             | : Mangan                         |
| <b>Si</b>             | : Silisyum                       |
| <b>L<sub>A</sub></b>  | : Serbest Tel Uzunluğu           |
| <b>L</b>              | : Nozul'un İş Parçasına Uzaklığı |
| <b>kg / s</b>         | : Ergitme Gücü                   |

## KISALTMALAR

|                            |                                                   |
|----------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>GMAW</b>                | : Gaz Metal Ark Kaynağı                           |
| <b>MIG</b>                 | : Metal Inert (soy) Gaz                           |
| <b>MAG</b>                 | : Metal Aktif Gaz                                 |
| <b>SMAW</b>                | : Elektrod Ark Kaynağı                            |
| <b>SAW</b>                 | : Toz Altı Kaynağı                                |
| <b>DCEN</b>                | : Doğru akım elektrod negatif kutupta             |
| <b>DCEP</b>                | : Doğru akım elektrod pozitif kutupta             |
| <b>V</b>                   | : İlerleme hızı (mm/s)                            |
| <b>W</b>                   | : Dikiş genişliği (mm)                            |
| <b>H</b>                   | : Dikiş yüksekliği (mm)                           |
| <b>D</b>                   | : Nüfuziyet derinliği (mm)                        |
| <b><math>\theta</math></b> | : Temas yüzey açısı ( derece )                    |
| <b>H<sub>A</sub></b>       | : Taşan metal dikiş kesit alanı(mm <sup>2</sup> ) |
| <b>D<sub>A</sub></b>       | : Nüfuz eden dikiş kesit alanı (mm <sup>2</sup> ) |
| <b>E<sub>N</sub></b>       | : Net birim dikiş enerjisi (J/mm)                 |
| <b>I</b>                   | : Akım (amper)                                    |
| <b>U</b>                   | : Gerilim (volt)                                  |
| <b>V</b>                   | : Hız (mm/s)                                      |
| <b>V</b>                   | : İzafî ısı tesir derecesi                        |

## ŞEKİL LİSTESİ

### SAYFA NO

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil II. 1 Gazaltı Kaynağı Çalışma Prensipleri.....                                                                           | 6  |
| Şekil II. 2 Gazaltı Kaynağı Donanım Şeması.....                                                                                | 7  |
| Şekil II. 3 Ark Uzunluğu Ayarı.....                                                                                            | 8  |
| Şekil II. 4 Sabit Gerilimli Güç Ünitelerinde Gerilim-Akım İlişkisi.....                                                        | 9  |
| Şekil II. 5 Güç Ünitesindeki Eğimin Hesaplanması.....                                                                          | 9  |
| Şekil II. 6 Eğimdeki Değişimin Etkisi.....                                                                                     | 10 |
| Şekil II. 7 Kısa Devre İletim Sırasında Oluşan büzme etkisi.....                                                               | 10 |
| Şekil II. 8 Endüktans.....                                                                                                     | 11 |
| Şekil II. 9 Basınç düşürme ventili .....                                                                                       | 13 |
| Şekil II. 11 Elektrod Besleme Ünitesi.....                                                                                     | 14 |
| Şekil II. 10 Dört Makaralı Elektrod Besleme Ünitesi.....                                                                       | 14 |
| Şekil II. 12 Kaynak Torcunun Temel Elemanları.....                                                                             | 15 |
| Şekil II. 13 Kaynak torcu uç kısmı kesiti.....                                                                                 | 15 |
| Şekil II. 14 Kısa Devre Metal İletimi.....                                                                                     | 17 |
| Şekil II. 15 Eksenel Olmayan İri Damla İletimi ( a ve b ).....                                                                 | 18 |
| Şekil II. 16 Damla İletimi Hızının ve Damla Hacminin Kaynak Akımıyla Değişimi.....                                             | 19 |
| Şekil II. 17 Eksenel Sprey İletimi.....                                                                                        | 20 |
| Şekil II. 18 Darbeli Akım Yönteminde Damlaların Oluşumu ve Banyoya Geçiş.....                                                  | 22 |
| Şekil II. 19 Gazaltı Kaynağında Kullanılan Terimlerin Açıklanması.....                                                         | 26 |
| Şekil II. 20 Kaynak Hızının Kaynak Dikişine Etkisi.....                                                                        | 28 |
| Şekil II. 21 Hareket ve Çalışma Düzlemleri ve Elektrod Açıları.....                                                            | 29 |
| Şekil II. 22 Elektrod Açısının ve Kaynak Tekniğinin Etkileri.....                                                              | 30 |
| Şekil II. 23 İş Parçası Eğiminin Kaynak Dikişinin Şekline Etkisi.....                                                          | 31 |
| Şekil II. 24 Çeşitli Koruyucu Gazların Dikişin Şekline ve Nüfuziyete Etkisi.....                                               | 34 |
| Şekil II. 25 Argon+O <sub>2</sub> , Argon+CO <sub>2</sub> veCO <sub>2</sub> Gazlarının Dikiş Şekline ve Nüfuziyete Etkisi..... | 34 |
| Şekil II. 25 Çeşitli Robot Anatomileri İçin Çalışma Hacimleri.....                                                             | 38 |
| Şekil II. 26 6 serbestlik dereceli endüstriyel robot.....                                                                      | 41 |
| Şekil II. 27 İnsan Kolu ile Mafsallı Robotun Çalışma Alanları Arasındaki Benzerlik.....                                        | 43 |
| Şekil II. 28 Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması.....                                             | 45 |
| Şekil II. 29 Gantry Robot.....                                                                                                 | 46 |
| Şekil II. 30 Kartezyen Robot.....                                                                                              | 46 |
| Şekil II. 31 Silindirik koordinat sistemi.....                                                                                 | 47 |
| Şekil II. 32 Silindirik koordinat sistemli robotun çalışma alanı.....                                                          | 48 |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil II. 33</b> Mafsallı Robot.....                                                 | 49 |
| <b>Şekil II. 34</b> Döner koordinat sistemli robot eksenleri ve bir robot.....          | 50 |
| <b>Şekil II. 35</b> Döner koordinat sistemli robotun çalışma alanı.....                 | 50 |
| <b>Şekil II. 36</b> SCARA tipi robota ait şematik çizim.....                            | 51 |
| <b>Şekil II. 37</b> SCARA robotun çalışma alanı.....                                    | 52 |
| <b>Şekil II. 38</b> ABB Robotlarına ait robot kolunun hareketi için kontrol paneli..... | 54 |
| <b>Şekil II. 39</b> Robot Programlama İşlem Basamakları.....                            | 55 |
| <b>Şekil II. 40</b> Kaynak Robotu Hücresi.....                                          | 65 |
| <b>Şekil II. 41</b> Robotun Eksenleri İle Birlikte Bağlantı Kısımları.....              | 67 |
| <b>Şekil II. 42</b> Robotun Programlama Paneli.....                                     | 68 |
| <b>Şekil II. 43</b> Kaynak Robotunun Durum Çubuğu.....                                  | 69 |
| <b>Şekil II. 44</b> Kaynak Robotunun Programlanması.....                                | 70 |
| <b>Şekil II. 45</b> Kaynak Robotu Program Satırları.....                                | 71 |
| <b>Şekil II. 46</b> Kaynak Robotunun Sanayide Kullanımı.....                            | 72 |
| <b>Şekil III. 1</b> Çekme Deney Numunesinin Geometrik Şekli ve Boyutları.....           | 75 |
| <b>Şekil III. 2</b> Eğme Deney Numunesinin Geometrik Şekli ve Boyutları.....            | 76 |
| <b>Şekil III. 3</b> Vickers Sertlik Değerlerinin Alındığı Bölgeler.....                 | 76 |
| <b>Şekil III. 4</b> Optik Mikroskop için Akış Şeması.....                               | 76 |
| <b>Şekil IV. 1</b> Kaynak Yüzeyi ve Kök Kısım Çekme Numuneleri.....                     | 79 |
| <b>Şekil IV. 2</b> Çekme Deneyi Sonrası Görünümler.....                                 | 80 |
| <b>Şekil IV. 3</b> Eğme Numuneleri.....                                                 | 83 |
| <b>Şekil IV. 4</b> Eğme Deneyi Sonrası Numune Görüntüleri.....                          | 83 |
| <b>Şekil IV. 5</b> Makroyapı Görüntüleri.....                                           | 86 |
| <b>Şekil IV. 6</b> Makroyapı Kesit Görüntüleri.....                                     | 87 |
| <b>Şekil IV. 7</b> Ana Metalin Mikroyapı Görüntüsü.....                                 | 88 |
| <b>Şekil IV. 8</b> 1 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri.....               | 89 |
| <b>Şekil IV. 9</b> 2 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri.....               | 90 |
| <b>Şekil IV. 10</b> 4 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri.....              | 91 |
| <b>Şekil IV. 11</b> 8 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri.....              | 92 |
| <b>Şekil IV. 12</b> 9 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri.....              | 93 |
| <b>Şekil IV. 13</b> 1 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri.....                  | 94 |
| <b>Şekil IV. 14</b> 1 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı.....                         | 94 |
| <b>Şekil IV. 15</b> 2 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri.....                  | 95 |
| <b>Şekil IV. 16</b> 2 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı.....                         | 95 |
| <b>Şekil IV. 17</b> 3 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri.....                  | 96 |
| <b>Şekil IV. 18</b> 3 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı.....                         | 96 |
| <b>Şekil IV. 19</b> 4 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri.....                  | 97 |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil IV. 20</b> 4 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı.....        | 97  |
| <b>Şekil IV. 21</b> 5 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri..... | 98  |
| <b>Şekil IV. 22</b> 5 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı.....        | 98  |
| <b>Şekil IV. 23</b> 8 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri..... | 99  |
| <b>Şekil IV. 24</b> 8 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı.....        | 99  |
| <b>Şekil IV. 25</b> 9 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri..... | 100 |
| <b>Şekil IV. 26</b> 9 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı.....        | 100 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                          | <b><u>SAYFA NO</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Tablo II. 1</b> Çeşitli Elektrodlar İçin İri Damladan Spreye Geçiş Akımları.....      | 20                     |
| <b>Tablo II. 2</b> Çeşitli Metaller İçin Ark Gerilimleri (V) * .....                     | 27                     |
| <b>Tablo II. 3</b> Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması..... | 45                     |
| <b>Tablo II. 4</b> Kaynak Robotunun Teknik Özellikleri.....                              | 66                     |
| <b>Tablo III. 1</b> St 37 Çelik Malzemenin Kimyasal Kompozisyonu.....                    | 74                     |
| <b>Tablo III. 2</b> Kaynak Elektrodunun Kimyasal Kompozisyonu.....                       | 74                     |
| <b>Tablo III. 3</b> Kaynak Elektrodunun Seçimi.....                                      | 74                     |
| <b>Tablo III. 4</b> Kaynak Elektrodunun Mekanik Özellikleri.....                         | 75                     |
| <b>Tablo IV.1</b> Çekme Deneyi Sonuçları.....                                            | 81                     |
| <b>Tablo IV.2</b> Eğme Deneyi Sonuçları.....                                             | 84                     |

# BÖLÜM I

## GİRİŞ VE AMAÇ

Robot çeşitli görevlerin gerçekleştirilmesi için, malzeme, parça, takım ya da değişken programlanmış hareketler aracılığıyla, özel parçaları hareket ettirmek amaçlı tasarlanmış, çok fonksiyonlu, yeniden programlanabilir manipulatördür.

Robotlar döküm yolu ile biçimlendirme (özellikle pres dökümde), kaynak (özellikle nokta kaynağı, MIG/ MAG, TIG ve plazma ), sıcak dövme, spreyc boyama, paketlenme, takım tezgahları yüklenmesi ve montaj hatlarında başarı ile kullanılmaktadır [1].

Günümüzde verimliliği arttırmak, üretim masraflarını azaltmak, daha fazla üretim yapmanın yanı sıra kaliteyi yükseltmek ve daha insancıl çalışma koşulları sağlamak üzere birçok endüstri kolunda hızla kullanıma giren robotlar kaynak teknolojisinde de uygulama alanı bulmuştur.

Endüstride robotların ilk yaygın kullanım alanı, nokta kaynağıdır. Otomobil üretiminde binek araba kaynaklarında kullanılır. Nokta direnç kaynağındaki kullanılan robotlar, prosesi geliştirmek için bazı yetenek ve özelliklere sahip olmalıdır.

Robotlar aracılığıyla gerçekleştirilen nokta direnç kaynağı prosesinin otomasyonundan elde edilen faydalar, artırılmış ürün kalitesi, operatör güvenliği ve imalat operasyonuna daha fazla hakim olunmasıdır. Kalitenin artması, kaynak dikişlerinin daha tutarlı olması ve kaynakların konumundaki tekrarlanabilirliğin daha iyi olmasındandır. Göreceli olarak çok iyi bir tekrarlanabilirliğe sahip olmayan robotlar bile insanlara nazaran nokta kaynaklarını daha doğru bir şekilde konumlandırabilirler. Elektriksel şok ve yanık tehlikelerinin bulunduğu çalışma alanından insanın uzak tutulması ile güvenlik artırılmış olur. Nokta direnç kaynağı prosesini optimize etmek için robotların kullanılması, üretim planlama ve proses içi envanter kontrolü gibi alanlarda gelişmelere neden olacaktır. Robotların ve kaynak ekipmanının bakımı, nokta direnç kaynağı hattının otomizasyonunun başarıyla

gerçekleştirilmesi için önemli bir faktördür. Ergitme esaslı kaynak yöntemleri içinde, MIG/MAG ve TIG (Tungsten Inert Gas) yöntemlerinde robotlar çok kullanılmaktadır [2].

Ark kaynağı robotlar tarafından yapılacaksa, genellikle, parçaların tutturulduğu kısıkaçlarla donatılmış bir döner masa gerekir. Operatör, masanın bir tarafında, parçaları kısıkaçlara yerleştirir. Masanın öbür tarafında ise robot, parçalara gereken kaynağı yapar. Masanın iki tarafı bir pano ile ayrılmıştır ve operatör arkadan rahatsız olmaz. Bu düzenleme özellikle bir parça üzerinde birçok kısa kaynak yapılacaksa verimli olmaktadır. İnsanın ancak dakikada 70 cm hızla kaynak yapabildiği parçayı robot hızlı ve düzgün hareket becerisiyle, daha yüksek akım kullanarak, dakikada 270 cm hızla kaynak edebilmektedir. Robotun kaynatılan parçayı düzgün izleyebilmesi için geliştirilen algılayıcılar, doğrusal tarama yapan ince bir kızılötesi ışın ile parçanın profilini algılayabilmektedir. Böylece bir parçanın tam ve düzgün kaynatılması için yalnızca başlangıç ve bitiş noktalarının 15 mm'lik toleransla programlanması yetmektedir. New York'ta Dahlstrom firması bilgisayar şasesi üretmek için gereken 35–70 arası kaynağı, bir Cincinnati Milacron T3 robota yaptırmıştır. Kaynak teli makarası dahil kaynak makinesinin büyük bölümü robot kola monte edilmiştir. Robot bu birimde, el ile 42 dakika süren, her biri 50 mm uzunluktaki 44 kaynağı yalnızca 12 dakikada bitirmektedir [3].

Elle yapılan kaynak, kaynakçı için oldukça yorucu bir iştir, konforsuz çalışma koşullarında çok iyi el ve göz eşgüdümüne ihtiyaç vardır. Kaynakçı kısa sürede yorulmakta ve bu da kaynak kalitesine yansımaktadır; bir robot ise yorulmaz.

Genellikle seri üretim yapan işletmelerde her istasyonda iki kaynakçı birden bulunur. Biri kaynak yaparken diğeri hazır bekler. Robot kullanılması halinde bu çalışanlardan birisine duyulan gereksinim ortadan kalkar.

## **BÖLÜM II**

### **GENEL BİLGİLER**

#### **II.1.GAZALTI (KORUYUCU GAZLA) ARK KAYNAĞI**

Gazaltı kaynağı denince, gaz veya gaz karışımının oluşturduğu koruyucu bir atmosfer altında yapılan ark kaynaklı birleştirme akla gelir. Gazaltı kaynak yöntemi endüstriyel gelişmelere ayak uydurabildiği için yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Günümüzde otomasyon sistemlerde, küçük ve orta ölçekli işletmelerde çok rahatlıkla kullanılmaktadır. Gazaltı kaynağı sağladığı avantajlar nedeni ile günümüzde en yaygın kullanılan ark kaynak yöntemidir [4].

##### **II.1.1.Yöntemin Tanıtımı ve Tarihçesi**

Bütün kaynak yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de bir ısıya ihtiyaç vardır. Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, eriyen elektrodla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektroddan geçen kaynak akımının elektrodta oluşturduğu dirençle elde edilir. Elektrod elektrik ark kaynağında olduğu gibi örtülü değil çıplak bir telden ibarettir. Elektrod besleme ünitesi sayesinde sabit bir hızla iletilir. Kaynak bölgesini, atmosferin olumsuz etkilerine karşı korumak için ayrı bir üniteden kaynak bölgesine bir gaz memesi yardımıyla iletilen uygun gaz veya gaz karışımı kullanılır.

İlk defa 1920’lerde ortaya atılan bu yöntem ancak 1948 yılından sonra gerçek manada kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem ilk önceleri kaynağı oldukça zor olan alüminyum kaynağı esas alınarak geliştirilmiştir. Yöntem soy gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrodlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiştir. Ergiyen metal elektrod ve soy gaz kullanılması nedeni ile yönteme MIG ( Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Daha sonraları yöntemde düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO<sub>2</sub>) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler olmuştur. Aktif koruyucu gazın kullanıldığı bu yönteme de MAG (Metal Active Gas) kaynağı adı verilmiştir. Bu yöntemin adı çeşitli ülkelerde farklılıklar göstermektedir. Amerika’da “GMAW – Gaz Metal Arc Welding (Gaz Metal Ark Kaynağı)” , İngiltere ve Almanya’da ise “MIG/MAG

Kaynağı” diye adlandırılmıştır. Ülkemizde ise “ Ergiyen Elektrodla Gazaltı” veya “ MIG/MAG Kaynağı” diye adlandırılmıştır.

Bu yöntemin getirdiği diğer bir gelişim de elektrodla meydana gelmiştir. Dolu tel yerine içi metal tozu ile doldurulmuş tüp şeklindeki özlü elektrodlar geliştirilmiştir. Böylece örtülü elektrodlardaki örtünün bazı görevlerini özü, çekirdek telinin görevlerini de özü saran çelik tüpün görmesi sağlanmıştır.

Gazaltı kaynak yönteminde ark boyu kaynak makinesi tarafından kontrol edilir. Kaynakçıdan beklenen, gaz memesini kaynak banyosu üzerinde sabit bir yükseklikte tutarak (genellikle 20mm) belirli bir hızda hareket ettirmesidir. Ark boyunun kaynak makinesi tarafından kontrol edilmesi nedeni ile bu yönteme “ Yarı Otomatik Kaynak Yöntemi” adı verilir. Otomatik kaynak yönteminde yukarıda açıklanana ek olarak gaz memesi de iş parçası üzerinde belirli bir hızda otomatik olarak hareket eder. Bu durumda kaynakçının kaynak işlemine fiili bir katkısı yoktur.

Bu yöntemin çok hızlı gelişme göstermesinin temel nedeni, alaşımsız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları gibi endüstride kullanılan tüm metallere, uygun koruyucu gaz, elektrod ve kaynak değişkenleri seçmek sureti ile kaynak edilebilirliğidir [4].

### **II.1.2.Yöntemin Üstünlükleri**

Yöntemin yaygın olarak kullanılma nedeni, diğer kaynak yöntemlerine göre arka sağladığı üstünlüklerden kaynaklanmaktadır.

Bu üstünlükleri şöyle sıralayabiliriz:

- a) Endüstride kullanılan metal ve alaşımlarının hemen hemen tümünün kaynağında kullanılabilen tek eriyen elektrodla kaynak yöntemidir.
- b) Elektrik ark kaynağında karşılaşılan sınırlı uzunlukta elektrod kullanma problemini ortadan kaldırmıştır.
- c) Kaynak her pozisyonda yapılabilirliği ile tozaltı kaynak yöntemine üstünlük sağlar.
- d) Metal yığılma hızı elektrik ark kaynağından çok daha yüksektir.
- e) Kaynak hızları elektrik ark kaynağından daha yüksektir.
- f) Elektrod beslenmesinin sürekliliği nedeni ile hiç durmadan uzun kaynak dikişleri çekilebilir. Sprey metal iletimi kullanıldığında, elektrik ark kaynağına göre daha derin nüfuziyet elde edilir. Böylece iç köşe

kaynaklarında daha küçük kaynak dikişleri ile aynı mukavemeti sağlamak mümkündür.

- g) Cüruf tabakasının çok fazla olmaması nedeniyle temizlik için harcanan zaman daha kısadır.
- h) Yüksek üretim hızları nedeni ile otomasyona uygundur.

### **II.1.3.Yöntemin Sınırlamaları**

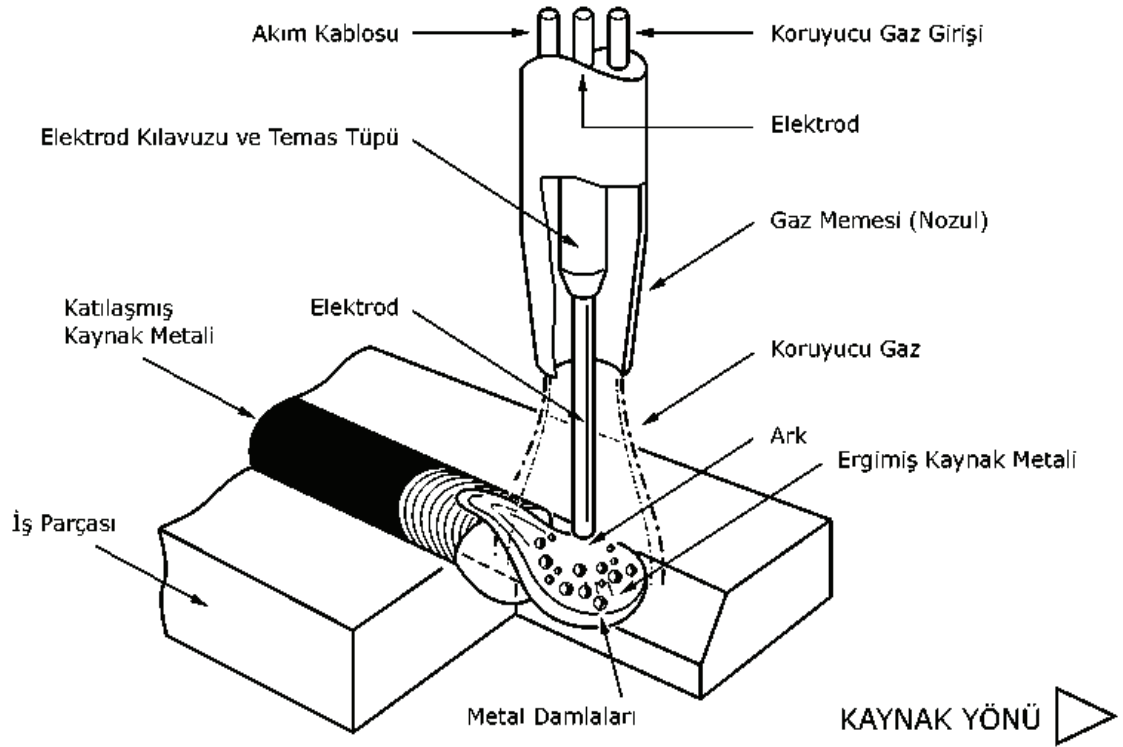
Gazaltı kaynak yönteminde de diğer yöntemlerde olduğu gibi kullanım aşamasında bazı sınırlılıklar vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- a) Kaynak donanımı, elektrik ark kaynağına göre, daha karmaşık, daha pahalı ve sistemin taşınması daha zordur.
- b) Kaynak torcunun yapısından dolayı ulaşımı güç olan yerlerde ve dar alanlarda kullanılması oldukça zordur.
- c) Açık alanlarda hava akımlarından dolayı, etrafı koruma altına alınmadıkça kullanılamaz.

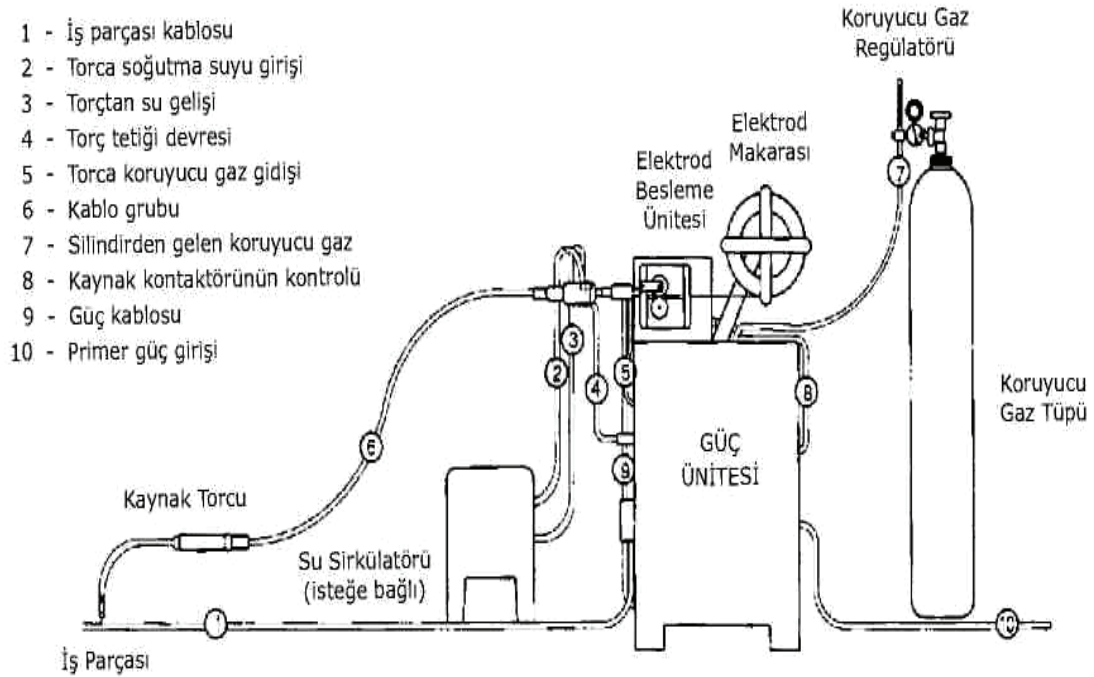
### **II.1.4.Çalışma Prensipleri**

Otomatik bir sistemle sürekli beslenen ve eriyen elektrodla, koruyucu bir gaz atmosferi altında gerçekleştirilen kaynak yöntemidir (Şekil II.1).

Bu yöntem ilk ayarlar yapıldıktan sonra kaynakçının müdahalesini minimuma indirir. Kaynak için gerekli ilk ayarlamalar yapıldıktan sonra arkın karakteristiğini makine otomatik olarak ayarlar ve kaynakçının kaynak esnasında elle yapabildiği kontroller; kaynak hızı, kaynak torcunun pozisyonu ve kaynak yönü ile sınırlıdır. Bu nedenle yarı otomatik bir kaynak yöntemidir. Uygun parametreler girildikten sonra ark boyu ve akım şiddeti kaynak makinesi tarafından sabit değerlerde tutulur.



Şekil II.1 Gazaltı Kaynağı Çalışma Prensibi [4].



Şekil II.2 Gazaltı Kaynağı Donanım Şeması [4].

### **II.1.5.Gazaltı Kaynağı Donanımı**

Gazaltı kaynak ünitesi elektrik ark kaynağına göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Birçok parçadan oluştuğu için sistemin taşınması oldukça güçtür.

Gazaltı kaynak donanımı 5 temel gruba ayrılır. Bunlar:

- a) Güç ünitesi
- b) Koruyucu gaz ünitesi
- c) Elektrod besleme ünitesi
- d) Kaynak torcu
- e) Kablo grubu

Gazaltı kaynak donanımı Şekil II.2’de gösterilmiştir.

#### **II.1.5.1.Güç Ünitesi**

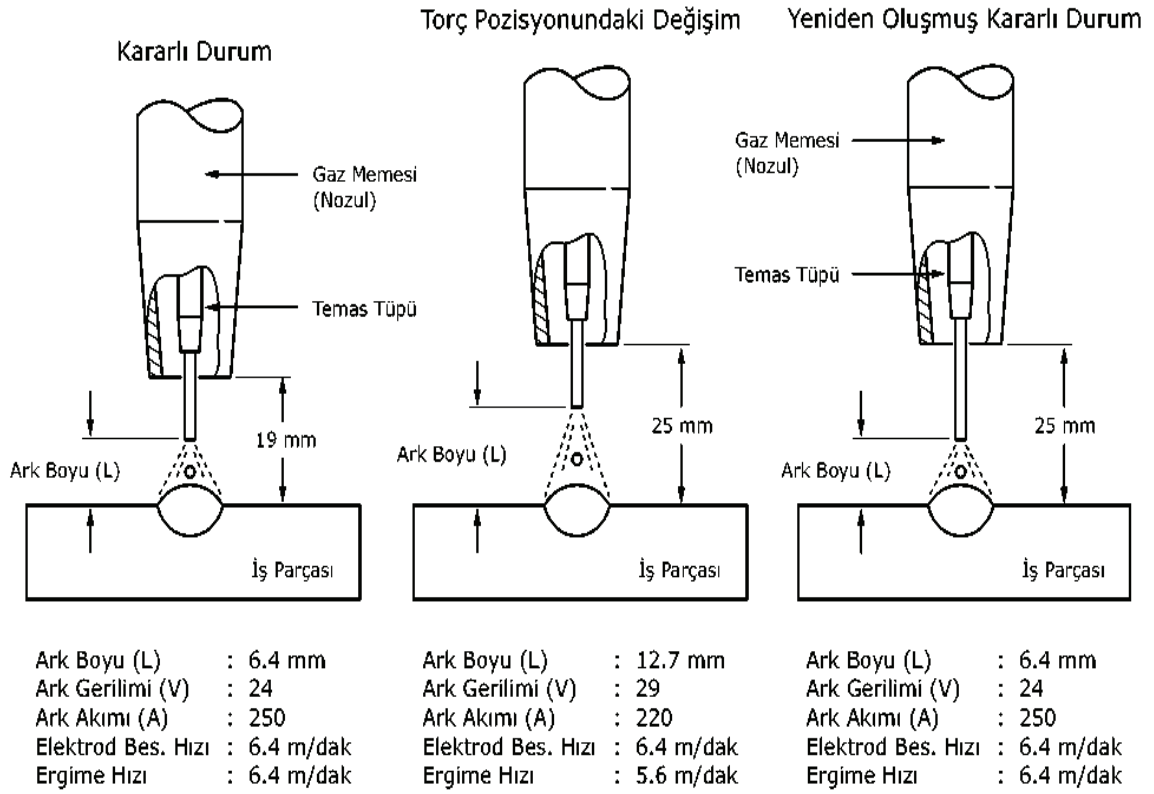
Gazaltı kaynağında güç üniteleri arkın oluşması için gerekli elektrik enerjisini elektrod ile iş parçasına iletme görevini yerine getirir. Gazaltı kaynağında genellikle elektrodun pozitif kutupta olduğu doğru akım kullanılmaktadır. Yani güç ünitesinin pozitif ucu torca, negatif ucu ise iş parçasına bağlanır.

Sabit gerilimli güç üniteleri normal kaynak işlemi sırasında iş parçası ile temas tüpünün ucu arasında oluşan mesafe değişikliklerini, kaynak akımını aniden arttırarak veya azaltarak dengeler.

Ark boyu, güç ünitesinde kaynak gerilimi ayarlanarak tespit edilir. Bu bir kez tespit edildikten sonra kaynak sırasında başka bir değişiklik yapmaya gerek yoktur. Aynı zamanda akım kontrolü olan elektrod besleme hızı kaynakçı tarafından kaynaktan önce ayarlanır. Bu ayar geri yanma veya sönme meydana gelmeden önce geniş bir aralıkta yapılabilir. Sabit gerilimli güç ünitelerinin kendi kendine ayarlama mekanizması Şekil II.3’ de gösterilmiştir.

Temas tüpünün ucuyla iş parçası arasındaki uzaklığın artması ile ark boyu ve ark gerilimi de artar. Ancak ark gerilimindeki bu hafif artma sonucunda ark akımı azalır. Ark akımındaki azalma elektrodun ergime hızını azalttığından, elektrodun ucu iş parçasına doğru ilk ark uzunluğu elde edilinceye kadar yaklaşır. Bu durumda serbest elektrod uzunluğu artar. Tersine uzaklık azaldığında ark geriliminde de azalma olur ve ark akımı artar. Bu ise elektrodun ergime hızını arttırarak ark boyunun ilk değerine yükselmesine neden olur. Sonuçta serbest elektrod uzunluğu azalır.

Sabit gerilimli güç ünitelerinin ark boyunu kendi kendine ayarlama özelliği kararlı kaynak şartlarının elde edilmesinde önemli rol oynar. Özellikle kısa devre iletiminde optimum kaynak performansını etkileyen ilave değişkenler de mevcuttur. Çıkış geriliminin kontrolüne ilave olarak belli ölçüde gerilim-akım eğimi ve endüktans kontrolü arzu edilebilir.



**Şekil II.3** Ark Uzunluğu Ayarı [4].

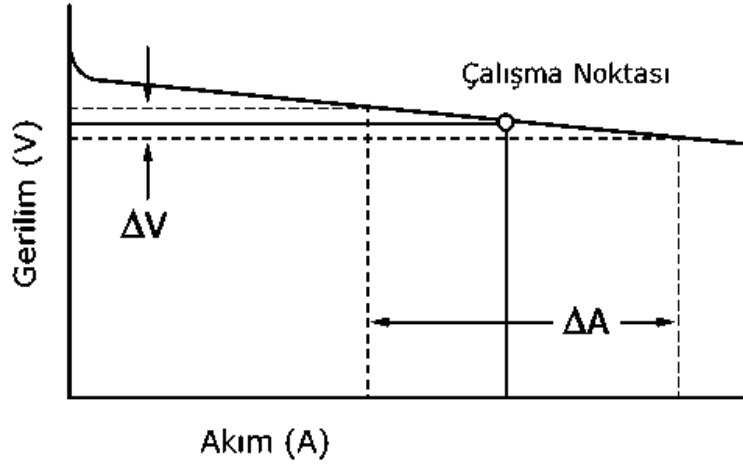
### Gerilim

Elektrod ile iş parçası arasındaki elektriksel güce ark gerilimi denir. Ark gerilimi, güç ünitesinde ark bölgesindeki gerilim değerinden biraz düşüktür. Bunun başlıca nedeni bağlantılarda ve kaynak kablosu boyunca oluşan gerilim düşümüdür. Gerilim ile ark boyu arasında doğrudan ilişki vardır. Bu nedenle güç ünitesinin çıkış gerilimindeki artma veya azalma meydana geldiğinde, ark boyunda da buna paralel bir değişme olacaktır.

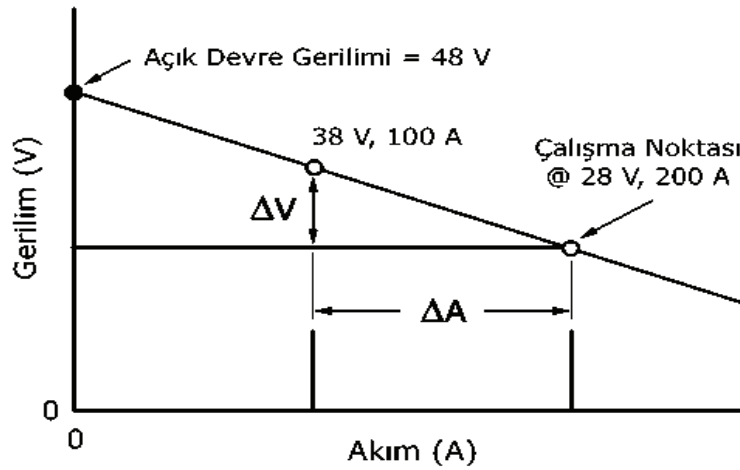
### Gerilim-Akım Eğimi

Statik çıkış olarak ta adlandırılan, sabit gerilimli güç ünitelerinin gerilim-akım karakteristiği Şekil II.4' de gösterilmiştir. Sabit gerilimli güç ünitelerinde statik çıkış

eğimi aynı zamanda gerilim-akım eğrisinin de eğimidir. Gerilim-akım eğimi her 100 amperlik akım artmasına tekabül eden gerilim düşmesi olarak belirtilir (Şekil II.5).



Şekil II.4 Sabit Gerilimli Güç Ünitelerinde Gerilim-Akım İlişkisi [4].

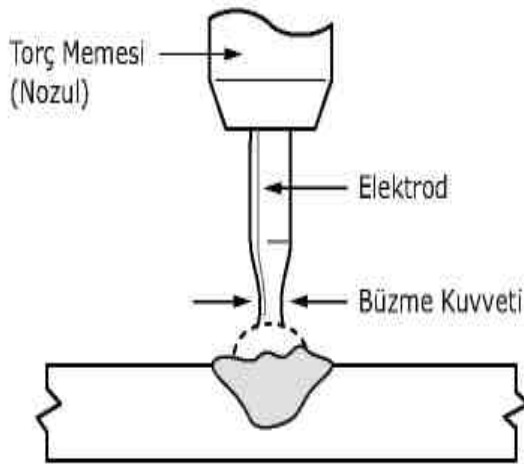


$$\text{Eğim} = \frac{\Delta V}{\Delta A} = \frac{38 \text{ V} - 28 \text{ V}}{200 \text{ A} - 100 \text{ A}} = \frac{10 \text{ V}}{100 \text{ A}}$$

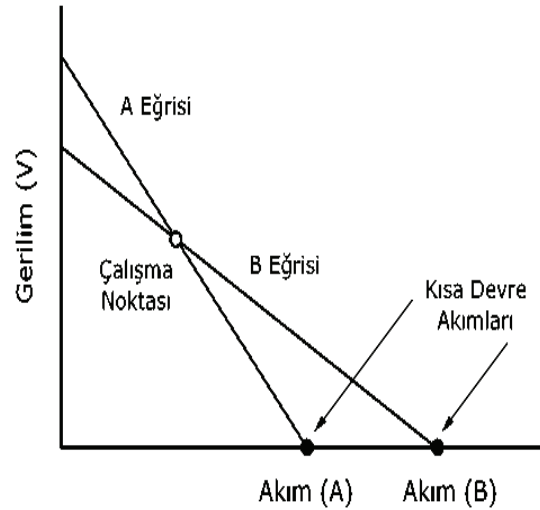
Şekil II.5 Güç Ünitesindeki Eğimin Hesaplanması [4].

Güç ünitelerinin üreticileri tarafından belirtilen gerilim-akım eğimi güç ünitesinin çıkış terminallerinde ölçülen eğimidir. Ancak bu eğim bize ark kaynağı sisteminin toplam eğimini vermez. Kaynak sisteminde direnç oluşturan her şey (örneğin; kablolar, zayıf bağlantılar, gevşek terminaller, kirli kontaklar) gerilim-akım eğimini etkiler. Bu nedenle sistemde gerilim-akım eğimi en iyi ark bölgesinde ölçülebilir.

Kısa devre metal iletiminde, eğimin temel fonksiyonu, elektrodun iş parçası ile kısa devre oluşturması sonucu meydana gelen kısa devre akımının şiddetini kontrol etmektir. Gazaltı kaynağında, ergimiş metal damlalarının elektroddan ayrılması elektriksel bir olay neticesinde olur. Bu olaya “**elektromanyetik büzme etkisi**” veya kısaca “**büzme etkisi**” adı verilir. Büzme etkisi, üzerinden akım geçen bir iletkende akımın iletken üzerinde oluşturduğu manyetik kuvvet nedeniyle oluşur (Şekil II.6). Kısa devre akımı ve bu nedenle de büzme kuvveti, güç ünitesinin gerilim-akım karakteristiği eğiminin bir fonksiyonudur (Şekil II.7). Şekildeki her iki güç ünitesinin de çalışma gerilimi ve akımı aynıdır. Ancak A eğrisinin kısa devre akımı B eğrisininkinden daha düşüktür. A eğrisi B eğrisi ile kıyaslandığında daha dik bir eğime, diğer bir deyişle 100 amper başına daha fazla gerilim düşüşüne sahiptir. Bu durum A eğrisinde daha düşük kısa devre akımına ve dolayısıyla daha az büzme kuvvetine neden olur.



**Şekil II.6** Kısa Devre İletim Sırasında Oluşan Büzme Etkisi [4].



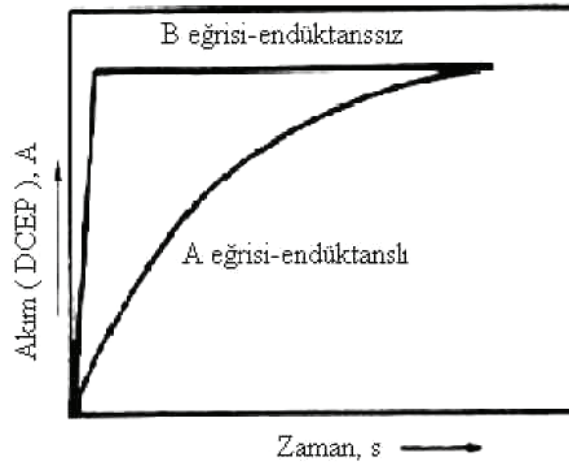
**Şekil II.7** Eğimdeki Değişimin Etkisi [4].

### Endüktans

Güç kaynakları yükleme değişimlerine anında yanıt veremez. Akım yeni seviyesine ulaşmak için kısa zamana sahiptir. Endüktans kısa devrede gecikme süresinden sorumludur. Endüktansın bu etkisi Şekil II.8’de görülen eğim analiziyle açıklanabilir. Eğim akım sıfır noktasından final değere yükselirken mevcut endüktansla tipik akım-zaman eğimini göstermektedir. Kısa devre boyunca ulaşılabilir maksimum akım miktarı güç kaynağının eğimi tarafından

belirlenmektedir. Endüktans kısa devre akımının yükselme oranını kontrol eder. Bu oran kısa devre en az sıçramayla atlatılabilir diye yavaşlatılabilir. Endüktans birde enerjiyi depolar ve bu enerjiyi kısa devre atlatıldıktan sonra uzun ark oluşumu için arka verir [5].

Kısa ark kaynağında endüktanstaki artış arkın süresini arttırır. Bu sırası ile daha akışkan kaynak havuzu, düz ve yassı kaynak dikişi meydana getirir. Endüktans azaldığında bunun tersi doğrudur. Sprey ark kaynağında bir miktar endüktansın güç kaynağına eklenmesi çok iyi ark başlangıcı meydana getirecektir. Çok fazla endüktans düzensiz başlangıca sebep olacaktır. Doğru kısa devre akımı doğru akım oranı şartlarının her ikisinde de artış olduğunda, sıçrama minimumdur. Güç kaynağı çeşitli tipteki elektrod metali ve ölçülerinde minimum sıçranta için istenen şartları sağlar. Genel bir kural olarak kısa devre akım miktarı ve ideal operasyon için ihtiyaç duyulan endüktans miktarının her ikisi birden elektrod çapı arttığında arttırılmalıdır



Şekil II.8 Endüktans [5].

#### II.1.5.2.Koruyucu Gaz Ünitesi

Gazaltı kaynağında koruyucu gaz sistemi, bir gaz besleme kaynağı, bir gaz regülatörü, bir flovmetre, (Akış Ölçer) kontrol valfleri ve kaynak torcuna gazı ileten bir besleme borusundan meydana gelmektedir. Koruyucu gazlar, sıvı olarak depolanan tanklardan buharlaşmayla veya yüksek basınçlı tüplerden gaz formunda sağlanmaktadır. Büyük miktarda aynı tip gazın kullanıldığı çok sayıda kaynak istasyonu varsa çok depolu tank sistemi kullanılmalıdır. Silindirler bazen tek bir manifolda bağlıdır. O zaman istasyonlar tek bir hattan beslenir ve depo kapasitesi

artar. Gaz kullanımı düşük olduğunda, birkaç kaynak istasyonu varsa veya gelen gaz istenen orandaysa tek yüksek basınç silindiri kullanılır [6].

Koruyucu gazı muhafaza eden tüpler, TS11169/ISO4705 Standardına uygun, dikişsiz çelik çekme usulü ile imal edilirler. İçerisine 230 bar'a kadar sıkıştırılmış şekilde gaz ihtiva eder. 2m<sup>3</sup> ile 10m<sup>3</sup> arasında gaz depolanabilmektedir. Ülkemizde genellikle 40 litre hacimli ve 150 Atü' lük tüpler kullanılmaktadır. Ancak 10, 20, 50 litre hacimli ve 200 Atü' lük tüplerde mevcuttur.

### **Gaz Basınç Regülatörü**

Gaz basınç regülatörleri tüpten gelen basıncı iş basıncına azaltmak ve bir sabit çıkış basıncı sağlamak için kullanılır. Ayrıca regülatör operasyon alanı içinde arzulan basınçta gazı sağlamak için ayarlanabilir olmalıdır.

### **Flovmetre**

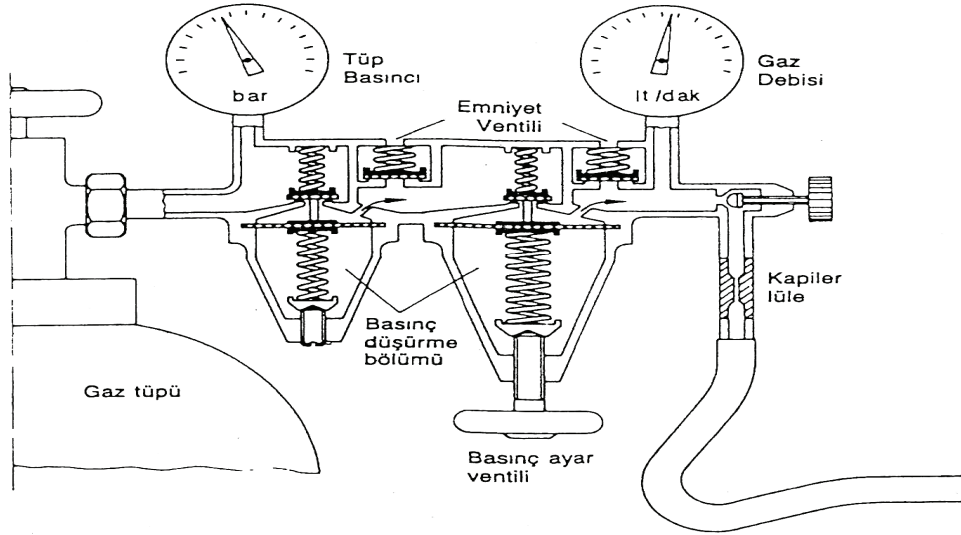
Flovmetreler kaynak bölgesine üflenmiş gaz oranını kontrol etmek için kullanılır. Flovmetreler özel gazlar için tek veya çift akış oranlarına sahip olabilir. Bunlar saniyede litre cinsinden gaz miktarını veya saatte küp cinsinden gaz miktarını gösterecek şekilde kalibre edilmiştir.

Flovmetreye giren gaz basıncı imalatçılar tarafından belirlenmiştir ve basınç regülatörü de buna göre ayarlanmalıdır. Gaz akışı flovmetre çıkışındaki bir valfle ayarlanır.

Bazı gazlar için kombine regülatör basınç sistemleri vardır. Flovmetre besleme basıncı imalatçılar tarafından ayarlanır ve kilitlenir. Besleyici basıncı bakımından sonraki ayarlama haricinde değiştirilmemelidir.

Koruyucu gazlar ya yüksek basınç silindirlerinde gaz formunda veya buharı ile birlikte sıvı formunda tanklara depolanır. Silindirler kaynak istasyonlarında depolama kapasitesini arttırmak için çeşitlendirilebilir. CO<sub>2</sub> ve argon gibi karışım gazlar için oranlayıcılar mevcuttur. Regülatörler ve flovmetreler belirli koruyucu gazlar için tasarlanmaktadır ve sadece tasarlandığı gaz için kullanılmalıdır [5].

Koruyucu gaz üniteleri, koruyucu gaz veya gaz karışımlarını muhafaza eden tüp, gazın kaynak bölgesine aktarılması esnasında basıncını ve tüpün iç basıncını kontrol etmemize yarayan ve aynı zamanda güvenli gaz çıkışı sağlayan basınç saatleri ve basınç düşürme ventili, gazın aktarımında kullanılan hortum bağlantı girişleri gibi parçalardan oluşur (Şekil II.9).

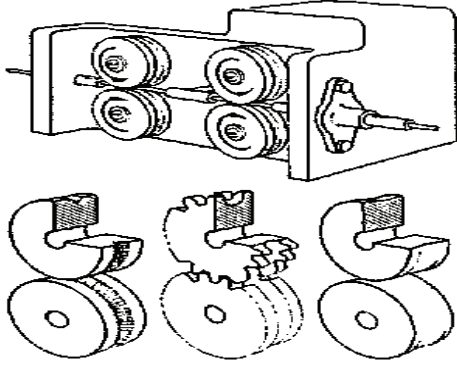


Şekil II.9 Basınç düşürme ventili [7].

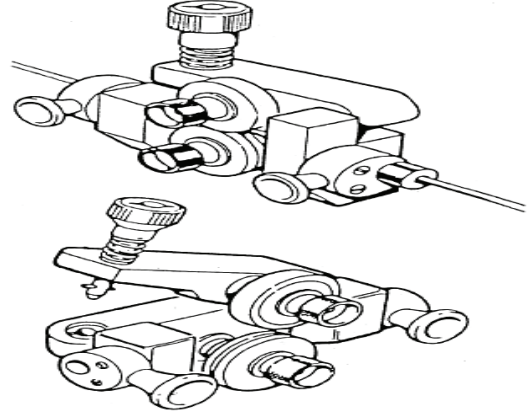
### II.1.5.3. Elektrod Besleme Ünitesi

Elektrod besleme düzeneği diğer bir deyişle tel elektrod sürme düzeneği, elektrodu makaradan alıp, önceden saptanmış bir hızla ark bölgesine gönderen mekanizmadır. Çalışma sistemlerine göre çekme türü düzenekler ve itme türü düzenekler diye iki grupta adlandırılırlar da çalışma prensibi olarak aralarında çok fazla fark bulunmamaktadır. Hız ayarları kademesiz, mekanik bir tertibat veya gerilimi değiştirilmek sureti ile hızı ayarlanabilen bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir. Günümüzde daha çok doğru akım motorları tercih edilir [7]. Gazaltı kaynağında tel besleme hızları 2 m/dak. ile 20 m/dak. arasında değişmektedir [8]. Tel sürme düzenekleri Şekil II.10 ve Şekil II.11’de görülmektedir.

Tel sürme düzenekleri çalışma prensibi bakımından, rulolu ve planet düzenekler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Rulolu tertibatlarda, tel iki veya dört rulo arasından geçirilmektedir; bunlardan alt rulolar istenen tel besleme hızına eşit bir çevresel hızla dönerler ve üzerlerinde tel çapına uygun bir kanal açılmıştır. Üst rulolar ise serbest şekilde döner. Bunlardan bazıları düz şekildedir, bazılarına ise kanal açılmıştır. Ayrıca kullanılan elektrodun sert olması halinde rulolar, teli kaydırmamaları için tırtıllı da olabilmektedir.



Şekil II.10 Elektrod Besleme Ünitesi [8].

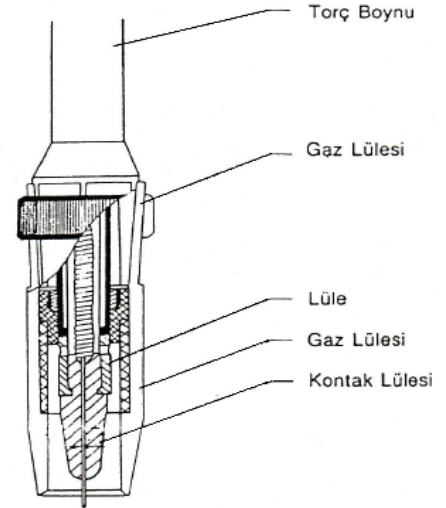
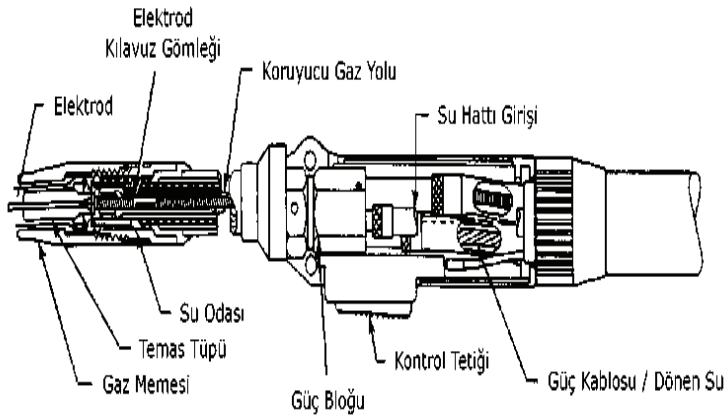


Şekil II.11 Dört Makaralı Elektrod Besleme Ünitesi [8].

#### II.1.5.4.Kaynak Torcu

Gazaltı kaynağında torcun görevi koruyucu gazı kaynak bölgesine taşımak, güç ünitesinden gelen akım kablolarını ve elektrodun temas tüpüne iletilmesi, ark oluşturulabilmesi için gerekli olan torcun tetiklenmesi ile birlikte, koruyucu gaz veya gaz karışımının, gücün ve elektrodun aynı anda kaynak bölgesine ulaşmasının sağlanmasıdır. Arkın çok yakınında bulunması nedeniyle özellikle, yarı otomatik yöntemlerde operatörün sıcaklıktan mümkün olduğu kadar az etkilenmesi için çeşitli biçimlerde kaynak torçları geliştirilmişse de günümüzde en yaygın kullanım alanı bulan tipi, oksijenli asetilen kaynağının üflecini andıran biçimde bükülmüş olanıdır.

Gazaltı kaynak yönteminde tel elektrod sürekli olarak ilerlediği için telin elektrik iletimi bir kayar nokta ile sağlanmaktadır. Tel elektrodun akım kaynağına içinde bulunan bakır esaslı kontak lülesinde verilir. Torcun ağız bölgesinde koruyucu gazın laminar olarak kaynak bölgesine sevk edilmesini sağlayan nozul bulunmaktadır. Şekil II.12’de kaynak torcunun kesiti Şekil II.13’te ise kaynak torcu uç kısmı kesiti gösterilmektedir.



**Şekil II.12** Kaynak Torcunun Temel Elemanları [4]. **Şekil II.13** Kaynak torcu uç kısmı kesiti [7].

#### II.1.5.5.Kablo Grubu

Gazaltı kaynak ünitesinde kablo grubunun görevi, ünitenin elemanları arasında gerekli iletimleri sağlamaktır. Ark bölgesine tel elektrodun iletilmesi, akımın gerçekleşebilmesi için ihtiyaç duyulan enerjinin iletilmesi, koruyucu gaz veya gaz karışımının kaynak bölgesine iletilmesi kablo grubunun ana görevleridir. Bu iletimler sırasında kablo grubunda meydana gelen olumsuzluklar kaynak direncini, direnç-akım eğimini, tel besleme hızını, dolayısı ile kaynak kalitesini etkiler.

#### II.1.6.Damla İletimi Mekanizmaları

Gazaltı kaynağında metal damlalar elektroddan iş parçasına dört temel iletim mekanizmasıyla geçer:

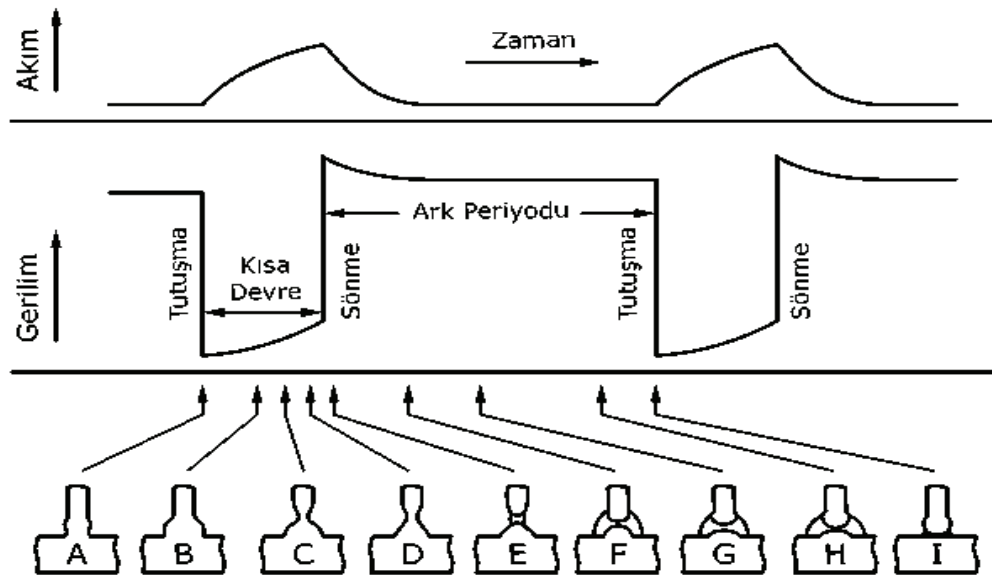
- Kısa Devre İletimi (Kısa Ark Metal Transferi)
- İri Damla İletimi (Uzun Ark Metal Transferi)
- Sprey İletimi (Sprey Ark Metal Transferi)
- Darbeli Damla İletimi (Darbeli Ark Metal Transferi)

Damla iletim tipi çok sayıda faktör tarafından etkilenir. Bunlar içinde en etkili olanlar şunlardır:

- Kaynak akımının tipi ve şiddeti
- Elektrod çapı
- Elektrodun bileşimi
- Serbest elektrod uzunluğu
- Koruyucu gaz [9].

### II.1.6.1.Kısa Damla İletimi (Kısa Ark Metal Transferi)

Kısa ark veya kısa devre iletiminin ortaya çıkması için, gazaltı kaynağında en küçük çaplı kaynak elektrodu ile en düşük kaynak akımı aralığı seçilir. Kısa arkla iletim ince kesitli parçaların kaynakla birleştirilmesi için, büyük kök açıklıklarının birleştirilmesi için gerekli olan küçük ve çok hızlı katılaştan kaynak banyosu oluşturmaya yardımcı olur. Bu tarz bir iletimde, metal iletimi sadece kaynak banyosuna elektrodun teması sırasında, elektroddan iş parçasına olacak şekilde gerçekleşir. Ark aralığı boyunca herhangi bir metal iletimi oluşmaz. Elektrod iş parçasına saniyede 20 ila 200 tane metal damlacığı iletir. Şekil II.14'de metal iletiminin düzeni ve bu sıradaki gerilim ile akım değişimleri irdelenmiştir. Buna göre Elektrod kaynak banyosuna temas edince, kaynak akımı artar (Şekil II.14'deki A, B, C, D). Tel ucundaki ergimiş damla D ve E safhasında görüldüğü gibi daralarak telden iş parçasına doğru geçer ve E ve F'de gösterildiği gibi ark yeniden oluşur. Meydana gelen akımın artma şiddeti elektrodu ısıtmaya ve metal iletimi sağlamaya yetecek kadar yüksek olmalı, ancak metal damlasının şiddetle ayırmasının neden olacağı sıçramayı en az seviyede tutacak kadar düşük olmalıdır. Akımın artma hızı güç ünitesindeki endüktans ayarı ile kontrol edilir. En uygun endüktans ayarı, kaynak devresinin elektrik direnci ile elektrodun ergime sıcaklığına bağlıdır. Ark oluşuktan sonra elektrod yeni bir kısa devre oluşturmak üzere ileri doğru beslenirken elektrodun ucu ergir (Şekil II.14'deki H) [4].

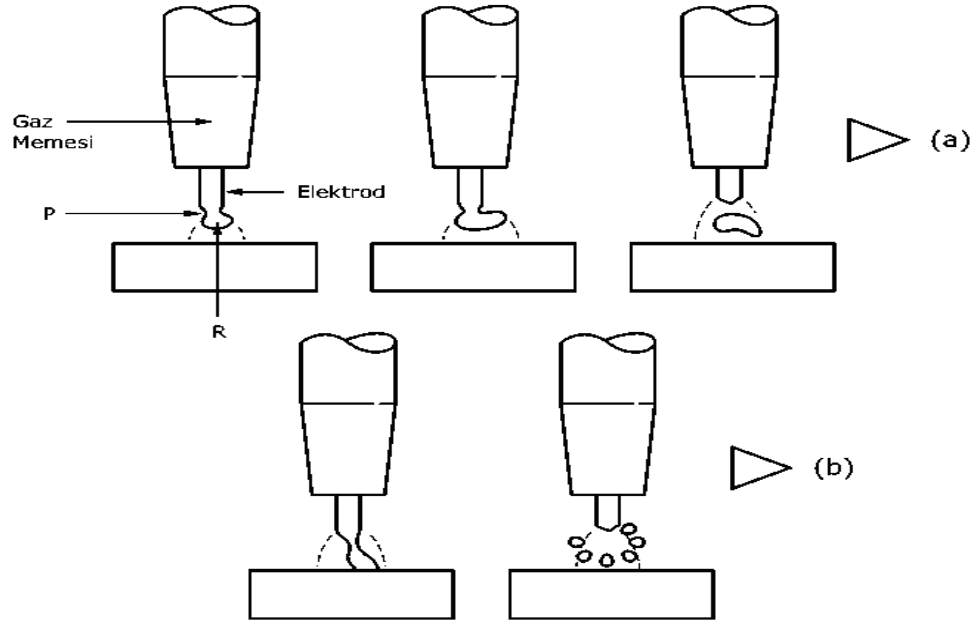


Şekil II.14 Kısa Devre Metal İletimi [4].

Arkı sürdürmek için gerekli enerjinin bir kısmı kısa devre sırasında endüktörden sağlanır. Güç ünitesinin açık devre gerilimi düşük tutularak elektrodun uç kısmında oluşan ergimiş metal damlasının esas metale temas etmesi önlenir. Metal iletiminin kısa devre sırasında oluşmasına rağmen koruyucu gazın cinsinin ergimiş metalin yüzey gerilimi üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Koruyucu gaz bileşimi damla çapı ve kısa devre süresi üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Buna ilave olarak, koruyucu gazın cinsi arkın çalışma karakteristiğini ve kaynağın nüfuziyetini etkiler. CO<sub>2</sub> gazı soy gazlarla kıyaslandığında, genellikle daha fazla sıçrama oluştururken, daha derin nüfuziyet sağlar (alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı için). Nüfuziyetle sıçrama arasında iyi bir denge oluşturmak için genellikle CO<sub>2</sub> ve argon karışımı gaz kullanılır. Argona helyum ilavesi ise demir dışı metallerde nüfuziyeti artırır [10].

#### **II.1.6.2.İri Damla İletimi (Uzun Ark Metal Transferi)**

İri damla iletiminin diğer söylem şekilleri de globür ve uzun ark metal transferidir. Koruyucu gazın cinsi önemli olmaksızın, doğru akımla, elektrod pozitif kutuplamada (DAEP) kaynak akımı düşük olmak şartı ile oluşan metal transferi iri damla iletimi şeklinde oluşur. Bu tip damla iletimi CO<sub>2</sub> ve helyum karışımı koruyucu gazlarla kullanılabilen bütün kaynak akımı değerlerinde gerçekleşir. İri damla iletiminin en önemli özelliği damla çapının elektrod çapından daha büyük oluşudur. Oluşan bu iri damla yerçekimi etkisiyle kolaylıkla hareket eder. Eğer ark boyu çok kısa (düşük gerilim) ise elektrod ucunda büyüyen damla iş parçasına temas edip aşırı ısınarak parçalanır ve aşırı sıçramaya neden olur. Bu nedenle ark, damlanın kaynak banyosuna değmeden önce elektroddan ayrılmasına olanak sağlayacak kadar uzun olmalıdır. Ancak daha yüksek gerilim kullanarak yapılan kaynakların yetersiz ergime, yetersiz nüfuziyet ve aşırı dikiş taşmasına neden olabilir. Bu nedenle iri damla iletiminin kullanımı sınırlıdır. Kaynak akımı kısa devre iletimi için kullanılan akım aralığından oldukça yüksekse, karbondioksitle koruma tesadüfi şekilde yönlenmiş iri damla iletimine neden olur. Eksenel iletim hareketinden sapmaya, kaynak akımının oluşturduğu ve ergimiş elektrod ucuna etki eden elektromanyetik kuvvetler neden olur (Şekil II.15a ve b). Bu kuvvetlerin en önemlileri elektromanyetik büzme kuvveti (P) ile anot reaksiyon kuvvetidir (R).



Şekil II.15a-b. Eksenel Olmayan İri Damla İletimi [4].

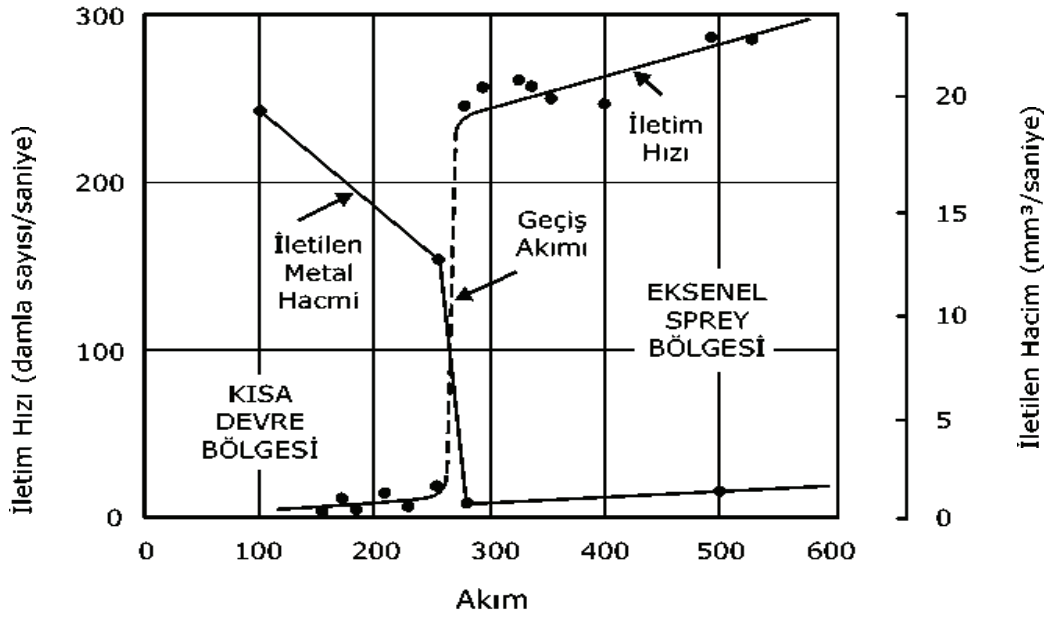
Büzme kuvvetinin şiddeti kaynak akımına ve elektrod çapına bağlı olup bu kuvvet elektrod ucundaki ergimiş damlanın elektroddan ayrılmasından sorumludur.  $\text{CO}_2$  gazı ile koruma yapıldığında kaynak akımı ergimiş damla vasıtasıyla iletilir ve bu nedenle elektrodun ucu ark plazması tarafından sarılmaz. Yüksek hızlı fotoğraf tekniği ile alınan görüntüler, arkın ergimiş damla yüzeyinden iş parçasına doğru hareket ettiğini göstermektedir. Bunun nedeni (R) kuvvetinin damlayı destekleme, yani damlanın elektroddan ayrılmasını önleme eğilimidir.

Ergimiş damlanın elektroddan ayrılması bu nedenle ya iş parçasına temas edip kısa devre yapıncaya kadar büyümesi sonucu (Şekil II.15 b) veya yerçekimi kuvvetlerinin etkisi nedeniyle ayrılacak kadar büyümesi sonucu (Şekil II.15 a) oluşur. Bunun nedeni (P)'nin hiç bir zaman yalnız başına (R)'den daha etkin hale gelmemesidir. Şekil II.15a' da gösterildiği gibi damlanın parçalanma olmaksızın elektroddan ayrılıp kaynak banyosuna iletilmesi mümkündür. Ancak oluşma olasılığı çok daha yüksek olan iletim Şekli II.15 b'de gösterilmiştir. Burada damla kısa devre yapmakta ve parçalanmaktadır. Bu nedenle sıçrama çok şiddetlidir. Bu olay  $\text{CO}_2$  gazının kullanımını sınırlar. Ancak her şeye rağmen  $\text{CO}_2$  gazı yumuşak çeliklerin kaynağında en çok kullanılan koruyucu gazdır. Bunun nedeni arkı gömerek sıçrama probleminin önemli ölçüde azaltılmasıdır. Bu şekilde ark atmosferi gaz ve demir buharının karışımından meydana gelir ve hemen hemen sprej tipi bir iletim oluşur. Ark kuvvetleri sıçramanın çoğunu içinde tutan çökmüş bir boşluk yaratmaya

yeterlidir. Bu teknik daha yüksek akımlar gerektirir ve bu nedenle derin bir nüfuziyet oluşur. Ancak kaynak hızı dikkatle kontrol edilmezse, zayıf ıslatma etkisi aşırı kaynak dikişi taşmasına neden olur.

### II.1.6.3.Sprey Damla İletimi (Sprey Ark)

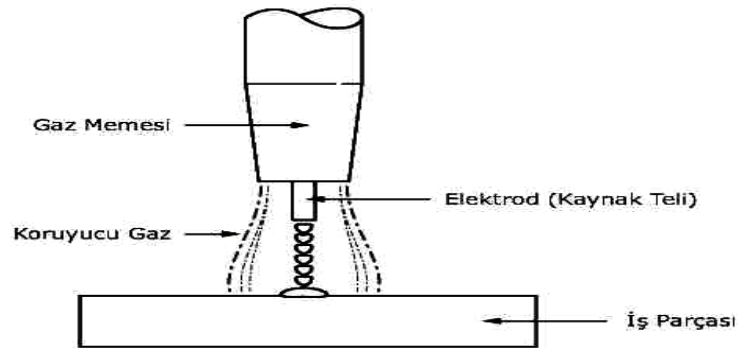
Gazaltı kaynağında spreya damla iletimi için doğru akım elektrod pozitif (DAEP) kutupta kullanılması ve akım şiddetinin geçiş akımı adı verilen kritik bir değerin üzerinde olması gerekir (Şekil II.16).



Şekil II.16 Damla İletimi Hızının ve Damla Hacminin Kaynak Akımıyla Değişimi [4].

Bu akımın altında iletim daha önce açıklanan iri damla iletimi yoluyla olur ve damla iletiminin hızı saniyede birkaç damladır. Geçiş akımının üzerindeki değerlerde ise iletim, küçük çaplı (elektrod çapından daha küçük çapa sahip) damlaların oluşumu ve bunların saniyede yüzlerce damla iletim hızında ayrılmasıyla oluşur. Bunlar ark aralığı boyunca eksenel olarak hızlanırlar. Damla iletim hızı ile akım arasındaki ilişki Şekil II.16'da verilen grafikte gösterilmiştir [11].

Sprey damla iletimi için argonca zengin gaz koruması kullanılması, kararlı, sıçramasız eksenel spreya tipi bir iletim elde etmemize yardımcı olur (Şekil II.17).



Şekil II.17 Eksenel Sprey İletimi [4].

Sıvı metalin yüzey gerilimine bağlı olan metal geçiş akımı elektrod çapıyla ve bir dereceye kadar da serbest elektrod uzunluğu ile ters orantılı olarak değişir. Elektrodun ergime sıcaklığı ve koruyucu gazın bileşimi de geçiş akımını etkiler.

Tablo II.1 Çeşitli Elektrodlar İçin İri Damladan Spreye Geçiş Akımları [4].

| Elektrod Tipi   | Elektrod Çapı (mm) | Koruyucu Gaz              | Min. Sprey Ark Geçiş Akımı (A) |
|-----------------|--------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Yumuşak Çelik   | 0.8                | %98Ar + %2 O <sub>2</sub> | 150                            |
| Yumuşak Çelik   | 0.9                | %98Ar + %2 O <sub>2</sub> | 165                            |
| Yumuşak Çelik   | 1.1                | %98Ar + %2 O <sub>2</sub> | 220                            |
| Yumuşak Çelik   | 1.6                | %98Ar + %2 O <sub>2</sub> | 275                            |
| Paslanmaz Çelik | 0.9                | %98Ar + %2 O <sub>2</sub> | 170                            |
| Paslanmaz Çelik | 1.1                | %98Ar + %2 O <sub>2</sub> | 225                            |
| Paslanmaz Çelik | 1.6                | %98Ar + %2 O <sub>2</sub> | 285                            |
| Alüminyum       | 0.8                | Argon                     | 95                             |
| Alüminyum       | 1.1                | Argon                     | 135                            |
| Alüminyum       | 1.6                | Argon                     | 180                            |
| Deokside Bakır  | 0.9                | Argon                     | 180                            |
| Deokside Bakır  | 1.1                | Argon                     | 210                            |
| Deokside Bakır  | 1.6                | Argon                     | 310                            |
| Silisyum Bronzu | 0.9                | Argon                     | 165                            |
| Silisyum Bronzu | 1.1                | Argon                     | 205                            |
| Silisyum Bronzu | 1.6                | Argon                     | 270                            |

Sprey damla iletimi kuvvetle yönlenmiş damlalar dizisinden ibaret olup damlalar ark kuvvetlerinin etkisi ile yerçekimi etkisini yenen hızlara ulaşırlar. Bu nedenle belirli şartlar altında yöntem her pozisyonda kullanılabilir. Damlaların çapı ark boyundan daha küçük olduğu için kısa devre meydana gelmez ve bu nedenle de sıçrama, oldukça düşük seviyelere gelir.

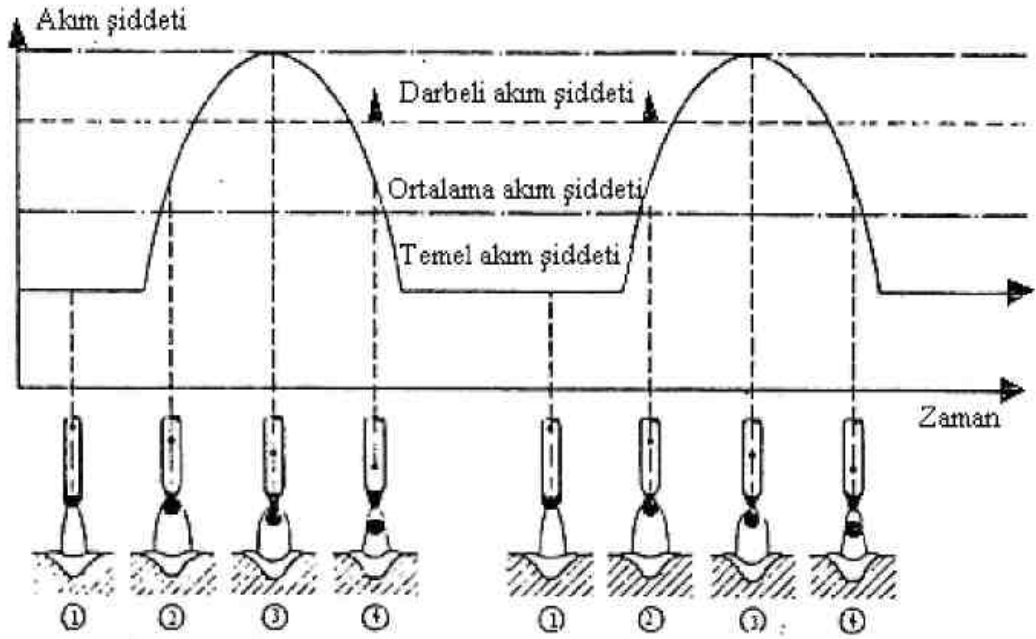
Sprey damla iletimi "**parmak**" şeklinde bir nüfuziyet sağlar. Parmak şeklinde nüfuziyet derin olabilmekle beraber, manyetik alanlardan etkilenir. Argon korumasının asal karakteri nedeniyle sprej damla iletimi hemen hemen tüm alaşımlarda kullanılabilir. Ancak sprej ark oluşturmak için gerekli akım değerleri yüksek olduğundan bu yöntemin ince saclara uygulanması oldukça zor olabilir. Ortaya çıkan ark kuvvetleri ince saclarda hasara neden olabilirler. Aynı zamanda bu yöntemde özgü olan yüksek yığma hızları düşey ve tavan pozisyonlarında yüzey gerilimi ile taşınamayacak büyüklükte kaynak banyosu oluşturur.

#### **II.1.6.4. Darbeli Akım Transferi**

Darbeli akım transferi rasgele aralıklardan çok düzenli aralıklarla darbenin meydana geldiği bir sprej tip transferdir. Darbeler arasındaki zamanda kaynak akımı azalmakta ve metal transferi olmamaktadır. Darbe hareketi iki akım seviyesinde çalışan iki güç kaynağı çıkışının birleşimiyle elde edilmektedir. Temel akım olan birinci akım sürekli olarak ilerleyen besleme elektrotuna ön ısıtmayı ve ön şartları sağlamaktadır [5].

Diğer güç kaynağı, damlanın elektrottan kaynakla birleştirilecek bölgeye püskürtülmesi için tepe akımını sağlamaktadır. Tepe akımı bir yarım dalgadır çünkü tepe akımı sıklıkla damlaların saniyede 60–120 kez elektrottan dikişe geçmesi ile çizgi haline dönüşecektir ( Şekil II.18) [8].

Genellikle 1,2–1,6 mm çaplı elektrod teli kullanılmaktadır. Darbeli ark şekli ince parçaların kaynağı için geleneksel sprej ark transferinden daha uygundur. Çünkü sıcaklık girdisi daha düşüktür. Birde düşük ısı girdisinden dolayı distorsiyon daha azdır. Darbeli ark transfer şekli tüm kaynak pozisyonları için uygundur [8].



Şekil II.18 Darbeli Akım Yönteminde Damlaların Oluşumu ve Banyoya Geçişi [12].

### II.1.7.Kaynak Parametreleri

Kaynak nüfuziyetini, dikiş geometrisini ve genel kaynak kalitesini etkileyen kaynak değişkenleri aşağıda verilmiştir:

- Kaynak akımı (elektrod besleme hızı)
- Kutuplama
- Ark gerilimi (ark boyu)
- Kaynak hızı
- Serbest elektrod uzunluğu
- Elektrod açıları
- Kaynak pozisyonları
- Koruyucu gazlar
- Elektrod (tel) çapı

Yeterli kaliteye sahip kaynak dikişleri elde edebilmek için bu değişkenlerin etkilerini iyi bir şekilde anlamak ve bunları kontrol etmek gerekir. Bu değişkenler birbirinden bağımsız değildir. Birinin değiştirilmesi, arzu edilen sonucu elde edebilmek için diğerlerinin veya birkaçının değiştirilmesini gerektirir. Her bir uygulamada en uygun ayarları seçmek için önemli ölçüde yetenek ve tecrübe gerekir. Kaynak değişkenlerinin en uygun değerleri aşağıdaki faktörler göz önüne alınarak seçilir.

- a) Esas metalin tipi
- b) Elektrod bileşimi
- c) Kaynak pozisyonu
- d) Kaynak bağlantısının kalitesi ile ilgili istekler

Buna göre her uygulama için en uygun sonuçları veren tek bir değişken topluluğu yoktur.

#### **II.1.7.1.Kaynak Akımı**

Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda kaynak akımının şiddeti elektrod besleme hızı veya ergime hızı ile doğrusal olmayan bir şekilde değişir. Elektrod besleme hızı değiştirildiğinde sabit gerilimli güç ünitesi kullanılıyorsa kaynak akımı da benzer şekilde değişir.

Düşük akım değerlerinde, her bir elektrod çapı için eğriler yaklaşık olarak doğrusaldır. Ancak daha yüksek akım değerleri üzerinde özellikle küçük elektrod çaplarında eğriler doğrusallıktan sapar ve kaynak akımı arttıkça bu sapma daha da artar. Bu değişim serbest elektrod uzunluğunda oluşan direnç ısıtmasına bağlanmaktadır. Elektrod besleme hızı ile kaynak akımı arasındaki bu ilişki elektrodun kimyasal bileşiminden de etkilenir. Eğrilerin farkı konumlarda ve eğimlerde olmasının nedeni metallerin ergime sıcaklıklarının ve elektrik dirençlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Serbest elektrod uzunluğu da bu ilişkiyi etkiler. Diğer tüm değişkenler sabitken kaynak akımındaki (elektrod besleme hızında) artış aşağıdaki sonuçları doğurur:

- a) Kaynak nüfuziyet derinliğinde ve genişliğinde artma
- b) Yığma hızında artma
- c) Kaynak dikişinin boyutlarında artma

Darbeli sprej kaynağında, sprej tipi metal iletimini sağlamak için ortalama şiddeti geçiş akımından daha düşük değerlerde kaynak akımına neden olan akım darbeleri kullanılır.

Ark kuvveti ve yığma hızı akıma kuvvetli olarak bağlıdır. Düşey ve tavan pozisyonlarında, geçiş akımının üzerindeki akım değerleriyle çalışılması durumunda, ark kuvvetleri kontrol edilemez hale gelir. Darbe akımı ile ortalama akım düşürülerek hem ark kuvvetleri ve hem de yığma hızı azaltılır ve böylece kaynağın tüm pozisyonlarda ve ince saclarda yapılması mümkün olur. Dolu elektrodalarda darbeli akım kullanmanın diğer bir avantajı daha büyük çaplı elektrodların (1.6 mm)

kullanılabilmesidir. Bu durumda yığma hızları ince elektrodlardakinden pek farklı olmamakla birlikte, yığılan birim metal başına maliyetin daha düşük olması bir kazanç sağlar. Azalan sıçrama kayıpları nedeniyle yığma veriminde de bir artış oluşur. Özlü elektrodlarda darbeli akım, dolu elektrodla kıyasla, serbest elektrod uzunluğu ve gerilimdeki değişimlerden daha az etkilenen bir ark oluşturur. Bu nedenle işlem kaynakçının kaynak sırasında oluşturduğu değişimlere karşı daha toleranslıdır. Darbeli akım, sıçramanın zaten düşük olduğu bir operasyonda sıçramayı daha da düşük bir düzeye indirir.

### II.1.7.2.Kutuplama

Kutuplama terimi kaynak torcunun bir doğru akım ünitesinin kutuplarına elektriksel olarak bağlanmasını tanımlamak için kullanılır. Torcun güç kablosu, kaynak ünitesinin pozitif kutubuna bağlanacak olursa, bu kutuplamaya doğru akım elektrod pozitif kutuplama (**DAEP**) veya "**ters kutuplama**" adı verilir. Torç negatif kutuba bağlanacak olursa bu kutuplamaya doğru akım elektrod negatif kutuplama (**DAEN**) veya "**düz kutuplama**" adı verilir. Ergiyen elektrodla gazaltı kaynağı uygulamalarının büyük bir çoğunluğunda doğru akım elektrod pozitif kutuplama kullanılır. Bunun nedeni bu kutuplamanın geniş bir kaynak akım aralığında kararlı bir ark, yumuşak bir metal iletimi, göreceli olarak daha az sıçrama, iyi bir kaynak dikişi özelliği ve daha fazla nüfuziyet oluşturmasıdır.

Doğru akım elektrod negatif kutuplama ise nadiren kullanılır. Bunun nedeni aksenel spreylere iletimin ticari olarak pek kabul görmemiş bazı değişiklikler yapılmadan gerçekleşmemesidir. Doğru akım elektrod negatif kutuplamanın yüksek ergime hızları oluşturmak gibi olumlu bir yanı olmakla birlikte damla iletimi tipi iri damlalı iletim olduğundan bu olumlu tarafından yararlanmak mümkün değildir. Çeliklerde, iletimi argona % 5 oranında O<sub>2</sub> katarak (oksidasyon kayıplarını telafi etmek için elektroda özel alaşımlar katmak gerekir) veya elektrodu termo-iyonik yaparak (elektrodun maliyetini arttırır) iyileştirme sağlanabilir. Her iki halde de yığma hızları azalır ve kutup değiştirmenin sağladığı üstünlük ortadan kalkmış olur. Bununla birlikte, doğru akım elektrod negatif kutuplama, yüksek yığma hızına ve daha düşük nüfuziyete sahip olması nedeniyle, yüzey doldurma işlemlerinde uygulama alanı bulmuştur.

Gazaltı kaynağında alternatif akım kullanılması genellikle başarısız sonuçlar vermiştir. Alternatif akımda akım sıfırdan geçerken arkın sönme eğilimi göstermesi

ark kararsızlığına neden olmaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek için elektrod yüzeylerine uygulanan özel işlemler geliştirilmiş olmakla birlikte bunların uygulanma maliyetleri elektrodları pahalı hale getirmektedir.

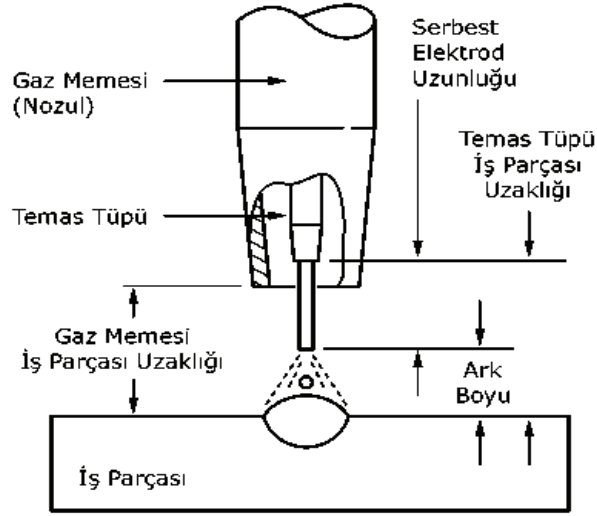
### **II.1.7.3.Ark Gerilimi (Ark Boyu)**

Ark gerilimi ve ark boyu genellikle birbirlerinin yerine kullanılan terimlerdir. Ancak bunların aralarında bir ilişki olmakla birlikte farklı şeyler olduklarını belirtmekte yarar vardır. Gazaltı kaynağında ark boyu dikkatle kontrol edilmesi gereken kritik bir değişkendir. Örneğin, argon koruması altındaki spreyci ark tipinde arkın çok kısa olması, zaman zaman kısa devreye maruz kalmasına neden olur. Bu kısa devreler ise basınç değişimleri oluşturarak ark sütununun içine hava pompalanmasına neden olur. Bu olay havadan absorbe edilen oksijen ve azot nedeniyle gevrekliğe ve gözenekliliğe neden olur. Eğer ark çok uzun ise gezinme eğilimi gösterir ve hem nüfuziyeti hem de dikiş profilini etkiler. Uzun bir ark aynı zamanda gaz korumasını da bozar. Karbondioksit koruması altındaki gömülü ark tipinde ise, arkın uzun olması hem gözenekliliğe hem de aşırı sıçramaya neden olur. Ark çok kısa ise, elektrodun ucu kaynak banyosuyla kısa devre yaparak kararsızlığa yol açar.

Ark boyu bağımsız bir değişkendir. Ancak ark gerilimi hem diğer birçok değişkene hem de ark boyuna bağlı olarak değişir. Ark geriliminin ark boyu dışında bağlı olduğu diğer değişkenler ise şunlardır:

- a) Elektrodun bileşimi ve çapı
- b) Koruyucu gazın cinsi
- c) Kaynak tekniği
- d) Kaynak kablosunun uzunluğu

Ark gerilimi, serbest elektrod uzunluğu boyunca gerilim düşümünü de içermekle birlikte elektriksel bir terimle fiziksel ark boyunun yaklaşık olarak belirtilmesi ve ayarlanmasında da kullanılan bir terimdir (Şekil II.18) [7].



**Şekil II.19** Gazaltı Kaynağında Kullanılan Terimlerin Açıklanması [7].

Diğer bütün değişkenler sabit tutulduğunda, ark gerilimi doğrudan ark boyuna bağlıdır. Üzerinde durulan ve kontrol edilmesi gereken değişken ark boyu olmakla birlikte, ark geriliminin kontrol edilmesi çok daha kolaydır. Bu nedenle ve kaynak işlemlerinde ark geriliminin belirtilmesi doğal bir gereklilik olduğundan ark uzunluğunun ayarı, ark geriliminin kontrol edilmesiyle yapılır. Ark gerilimi ayarları malzemeye, koruyucu gaza ve damla iletim tipine bağlı olarak değişir.

Tipik ark gerilimi değerleri Tablo II.2' de verilmiştir. En uygun ark karakteristiği ve en iyi dikiş görüntüsü oluşturan bir ark gerilimi ayarı için deneme pasolarının çekilmesi gereklidir. En uygun ark gerilimi metal kalınlığı, bağlantı tipi, kaynak pozisyonu, elektrod çapı, koruyucu gazın bileşimi ve kaynağın tipi gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğundan, bu tür denemelerin yapılması gereklidir. Ark geriliminin bu en uygun değerden daha yüksek olması, kaynak dikişinin düzleşmesine ve ergime bölgesi genişliğinin artmasına neden olur. Aşırı yükseklikteki ark gerilimleri ise, gözenekliliğe, sıçramaya ve yanma oluşuna neden olur. Gerilimin azalması ise daha dar ve daha yüksek kaynak dikişine ve daha derin nüfuziyete neden olur. Aşırı derecede düşük gerilim ise, elektrodun iş parçasına yapışmasına neden olur.

**Tablo II.2** Çeşitli Metaller İçin Ark Gerilimleri (V) \* [7].

| Metal                | Sprey** ve İri Damla İletimi<br>(0.8 mm çapında elektrod) |        |                    |                                                |                 | Kısa Devre İletimi<br>(0.8 mm çapında elektrod) |                                 |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|--------|--------------------|------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|
|                      | Argon                                                     | Helyum | % 25 Ar<br>% 75 He | Ar+O <sub>2</sub><br>(% 1-1.5 O <sub>2</sub> ) | CO <sub>2</sub> | Ar+O <sub>2</sub><br>(% 1-1.5 O <sub>2</sub> )  | % 75 Ar<br>% 25 CO <sub>2</sub> |
| Alüminyum            | 25                                                        | 30     | 29                 | -                                              | -               | -                                               | -                               |
| Magnezyum            | 26                                                        | -      | 28                 | -                                              | -               | -                                               | -                               |
| Alaşsız Çelik        | -                                                         | -      | -                  | 28                                             | 30              | 18                                              | 19                              |
| Düşük Alaşımlı Çelik | -                                                         | -      | -                  | 28                                             | 30              | 18                                              | 19                              |
| Paslanmaz Çelik      | 24                                                        | -      | -                  | 26                                             | -               | 19                                              | 21                              |
| Nikel                | 26                                                        | 30     | 28                 | -                                              | -               | -                                               | -                               |
| Nikel-Bakır Alaşımı  | 26                                                        | 30     | 28                 | -                                              | -               | -                                               | -                               |
| Nikel-Krom-Demir     | 26                                                        | 30     | 28                 | -                                              | -               | -                                               | -                               |
| Bakır                | 30                                                        | 36     | 33                 | -                                              | -               | 22                                              | -                               |
| Bakır-Nikel Alaşımı  | 28                                                        | 32     | 30                 | -                                              | -               | -                                               | -                               |
| Silisyum Bronzu      | 28                                                        | 32     | 30                 | 28                                             | -               | -                                               | -                               |
| Alüminyum Bronzu     | 28                                                        | 32     | 30                 | -                                              | -               | -                                               | -                               |
| Fosfor Bronzu        | 28                                                        | 32     | 30                 | 23                                             | -               | -                                               | -                               |

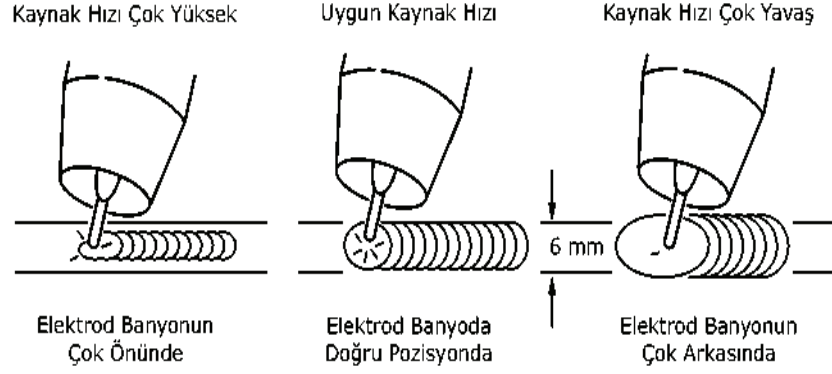
(\* ) +/- % 10 sınırlar içindedir. Düşük gerilimler, düşük akımlarla birlikte ince malzemelerde, yüksek gerilimler yüksek akımlarla birlikte kalın malzemelerde kullanılır. \*\* ) Darbeli sprej iletiminde ark gerilimi kullanılan akım aralığına bağlı olarak, 18-28 V arasındadır.

#### II.1.7.4.Kaynak Hızı

Kaynak hızı, arkın kaynak birleştirmesi boyunca ilerleme hızıdır. Diğer bütün şartlar sabit tutulduğunda, orta değerdeki kaynak hızlarında kaynak nüfuziyeti en fazladır (Şekil II.20). Kaynak hızı azaldığında, birim kaynak uzunluğunda yığılan kaynak metali miktarı artar. Bu ilişki aşağıdaki eşitlikle verilebilir:

$$G_{(kg/m)} = 7.8 \cdot 10^{-4} \cdot h \cdot g \cdot d^2 \cdot (V_e / V_k)$$

Burada "G" (kg) bir metre kaynak dikişi başına yığılan kaynak metali, "h" sıçrama kayıplarını göz önüne alan yığma verimi, "g" (gr/cm<sup>3</sup>) elektrod malzemesinin yoğunluğu, "d" (mm) elektrod çapı, "Ve" (m/dak) elektrod besleme hızı, "Vk" (m/dak) kaynak hızıdır. Çok düşük kaynak hızlarında, kaynak arkı esas metal yerine ergimiş kaynak banyosu üzerinde yanar ve bu nedenle nüfuziyet azalır. Bu sırada geniş bir kaynak dikişi de oluşur.



Şekil II.20 Kaynak Hızının Kaynak Dikişine Etkisi [7].

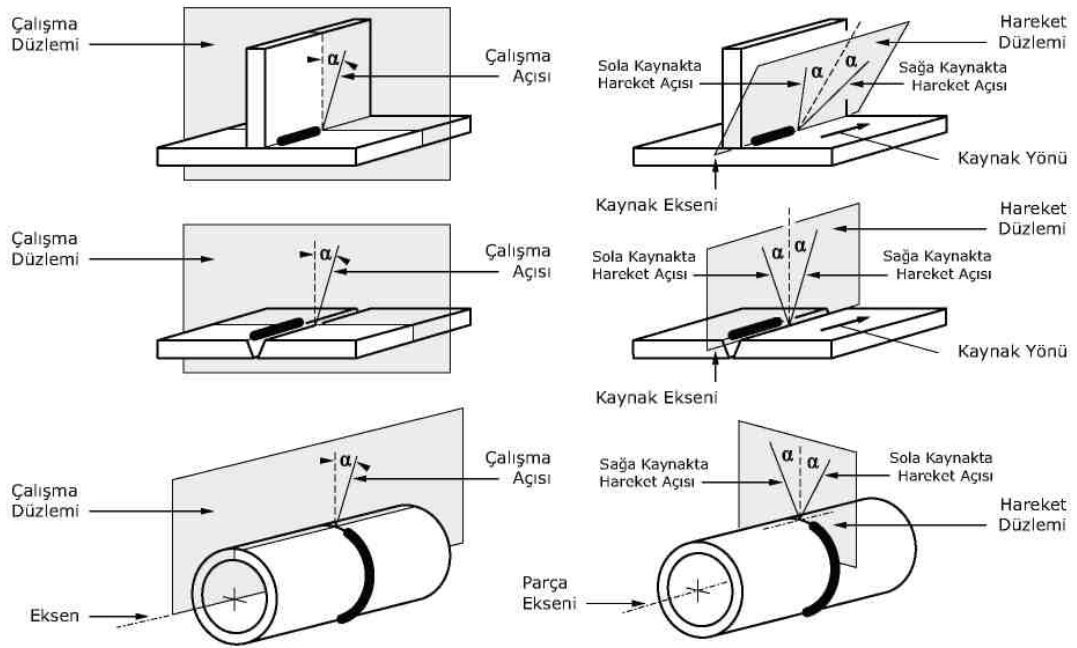
Kaynak hızı arttırılırsa ark esas metale daha doğrudan etki ettiğinden, birim kaynak dikişi uzunluğu başına arkta esas metale iletilen ısı enerjisi önce artar. Kaynak hızının daha da arttırılması, birim kaynak dikişi uzunluğu başına, esas metale daha az ısı enerjisi verilmesi sonucunu doğurur. Bu nedenle, artan kaynak hızıyla esas metalin ergimesi önce artar ve daha sonra azalır. Kaynak hızı daha da arttırılacak olursa, ark tarafından ergitilen yolu doldurmaya yetecek miktarda dolgu metali yığılamayacağından kaynak dikişinin kenarlarında yanma olukları meydana gelir.

#### II.1.7.5.Serbest Elektrod Uzunluğu

Serbest elektrod uzunluğu Şekil II.19'da gösterildiği gibi, elektrod ucu ile temas tüpü ucu arasındaki mesafedir. Serbest elektrod uzunluğunun artması elektrik direncinde artmaya neden olur. Direncin artması direnç ısıtmasının artmasına, bu da elektrod sıcaklığının yükselmesine neden olur. Elektrod sıcaklığının yükselmesi ise ergime hızında küçük bir artışa neden olur. Bundan daha önemlisi, artmış elektrik direnci temas tüpü ile iş parçası arasında daha büyük gerilim düşüşüne neden olur. Bu durum güç ünitesi tarafından algılanıp akımın azaltılması yoluyla dengelenir. Bunun sonucunda ise elektrod ergime hızı derhal azaltılarak elektrodun fiziksel ark boyunun kısılması sağlanır. Böylece, kaynak makinesinde gerilim arttırılmadıkça, dolgu metali dar ve yüksek bir kaynak dikişi yığar. Arzu edilen serbest elektrod uzunluğu genellikle kısa devre metal iletimi için 6–13 mm, diğer tip metal iletimleri için 13–25 mm arasındadır [13].

### II.1.7.6.Elektrod Açıları

Diğer tüm ark kaynağı yöntemlerinde olduğu gibi, kaynak elektrodunun kaynak bağlantısına göre açıları kaynak dikişi şeklini ve nüfuziyetini etkiler. Elektrod açıları dikiş şekli ve nüfuziyetini, ark gerilimi ve kaynak hızının etkisinden daha büyük ölçüde etkiler. Elektrod açılarını tanımlayabilmek için iki düzlemin tanımını yapmak gerekir. Bunlar, çalışma düzlemi ve hareket düzlemidir (Şekil II.21a).

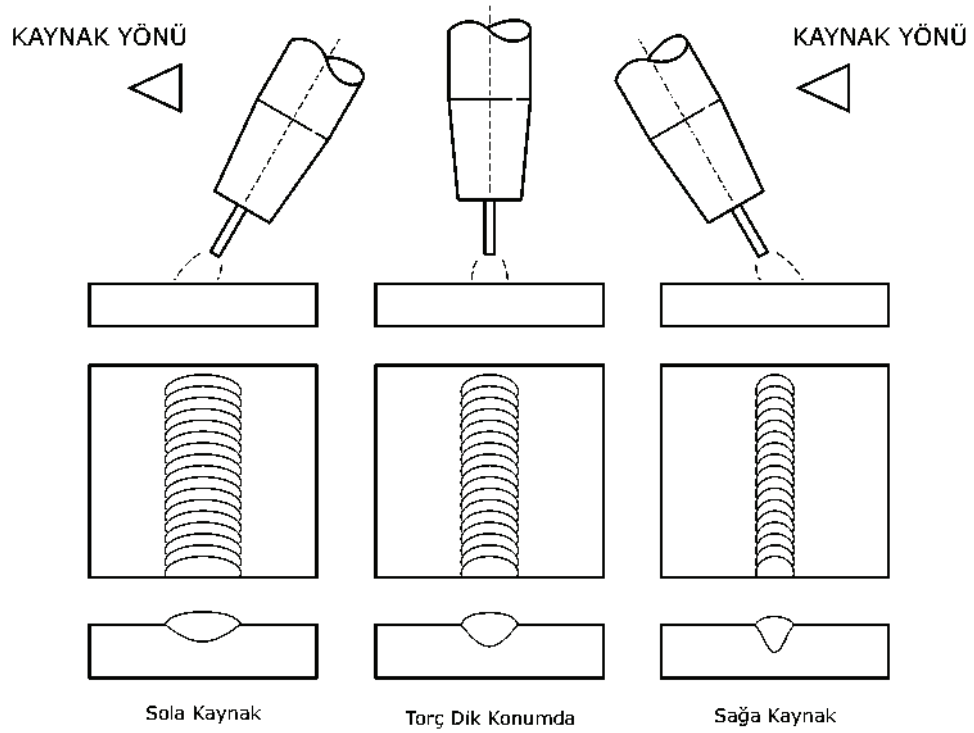


Şekil II.21a Hareket ve Çalışma Düzlemleri ve Elektrod Açıları [4].

Kaynak (hareket) doğrultusuna dik olan düzleme "**çalışma düzlemi**", kaynak doğrultusu ile elektroddan geçen düzleme de "**hareket düzlemi**" adı verilir. Bu düzlemler göz önüne alınarak elektrod açıları şu şekilde tanımlanır:

- Hareket düzlemi içinde elektrod eksenine hareket (kaynak) doğrultusuna dik olan doğrultu arasındaki açı, "**hareket açısı**"dır.
- Çalışma düzlemi içinde elektrod eksenine en yakın iş parçası yüzeyi arasındaki açı "**çalışma açısı**"dır.

Elektrodun ucu kaynak yönünün aksi yönüne doğru yönelmişse, bu teknik "**sağa kaynak**", kaynak doğrultusuna doğru yönelmişse "**sola kaynak**" olarak adlandırılır. Elektrod açıları ve bunların dikiş şekline ve nüfuziyete etkileri Şekil II.21b' de gösterilmiştir.



**Şekil II.21b** Elektrod Açısının ve Kaynak Tekniğinin Etkileri [4].

Bütün diğer şartlar değiştirilmeden, hareket açısı sıfırdan itibaren sola kaynak tekniğine doğru arttırılacak olursa, nüfuziyet artar ve kaynak dikişi geniş ve düz hale dönüşür. En yüksek nüfuziyet sağa kaynak tekniği ile hareket açısı  $25^\circ$  iken meydana gelir. Sağa kaynak tekniği, aynı zamanda daha dışbükey ve daha dar bir dikiş, daha kararlı bir ark ve iş parçası üzerinde daha az sıçrama meydana getirir.

Tüm pozisyonlarda, ergimiş kaynak banyosunun daha iyi kontrol edilmesi ve korunması için normal olarak kullanılan elektrod açısı 5 ila 15 derece arasında değişen hareket açısıdır.

Alüminyum gibi bazı metallerde sola kaynak tekniği tercih edilmektedir. Bu teknik ergimiş kaynak metali önünde "**temizlik etkisi**" oluşturur. Bu ise ıslatmayı iyileştirir ve esas metalin oksidasyonunu azaltır.

#### II.1.7.7.Kaynak Pozisyonları

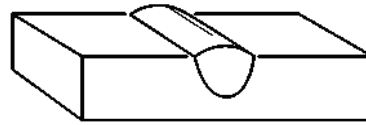
Sprey iletimli kaynakların çoğu oluk ve yatay pozisyonlarda gerçekleştirilir. Buna karşılık, düşük enerji seviyelerindeki darbeli ve kısa devre iletimli kaynaklar tüm pozisyonlarda kullanılabilir. Oluk pozisyonunda sprej metal iletimi ile gerçekleştirilen iç köşe kaynakları, yatay pozisyonda gerçekleştirilen benzer birleştirmelere nazaran daha üniform olup, farklı ayak uzunluklarına ve içbükey dikiş

profiline sahip olma ihtimalleri ve yanma oluğu oluşumuna eğilimleri daha azdır. Düşey ve tavan pozisyonlarında yerçekiminin kaynak metali üzerindeki çekme etkisini yenebilmek için küçük çaplı elektrodlarla ya kısa devre metal iletimli veya darbeli spreylere iletimli kaynak yapmak gerekir. 1.1 mm ve daha küçük çaplı elektrodlar zor pozisyonların kaynağı için tercih edilir. Düşük ısı girdisinin kullanılması zor pozisyonların kaynağı için çok uygundur. Bu şekilde ergimiş banyonun hızla katılaşması sağlanır. Düşey pozisyonundaki ince saçların kaynağında genellikle yukarıdan aşağıya kaynak tercih edilmelidir.

Kaynak oluk pozisyonunda yapılırken, kaynak ekseninin yatay düzleme göre eğimli hale getirilmesi dikiş şeklini, nüfuziyeti ve kaynak hızını etkiler. Oluk pozisyonundaki çevresel kaynaklarda iş parçası kaynak torcunun altında döner ve bu eğim kaynak torcunun tepe ölü merkezden itibaren iki taraftan birine doğru hareket ettirilmesi suretiyle elde edilir. Doğrusal bağlantılarda, parça oluk pozisyonunda iken, aşırı dikiş taşması oluşturabilecek kaynak şartlarında, kaynak eksenini yatayla  $15^\circ$  açı yapacak şekilde yerleştirilerek ve aşağı doğru kaynak yaparak dikiş taşması azaltılabilir. Aynı zamanda, aşağı doğru kaynak yaparken kaynak hızı da artırılabilir. Bu şartlarda nüfuziyet daha azdır ve bu durum metal saçların kaynağında yararlı bir husustur.



(a) Aşağı Doğru Kaynak



(b) Yukarı Doğru Kaynak

**Şekil II.22** İş Parçası Eğiminin Kaynak Dikişinin Şekline Etkisi [4].

Aşağı doğru kaynak Şekil II.22a' da görüldüğü gibi, dikiş profilini ve nüfuziyeti etkiler. Bu pozisyonda kaynak banyosu elektroda doğru akma eğilimi gösterir ve özellikle yüzeyde esas metalin ön tavlama hızına neden olur. Bu ise düzensiz bir ergime bölgesi oluşturur. Eğim açısı arttıkça kaynak dikişinin orta

yüzeyi çöker, nüfuziyet azalır ve dikiş genişliği artar. Aşağı doğru kaynak tekniği, temizleme etkisinin kaybolması ve yetersiz gaz koruması nedeniyle alüminyumun kaynağı için tavsiye edilmez.

Yukarı doğru kaynak tekniği ise Şekil II.22b' de görüldüğü gibi, dikiş profilini ve dikiş yüzeyini etkiler. Yerçekimi kuvveti kaynak banyosunun geriye doğru akmasına ve elektrodun arkasında kalmasına neden olur. Kaynağın kenarları merkeze doğru akan metal kaybına maruz kalır. Eğim açısı artarsa dikiş taşması ve nüfuziyet artar, dikiş genişliği azalır. Etkiler aşağı doğru kaynakta rastlananların tamamen tersidir. Daha yüksek kaynak akımları kullanıldığında, uygulanabilecek en büyük eğim açısının değeri de azalır.

#### **II.1.7.8.Koruyucu Gazlar**

Metallerin çoğu oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim ve metal nitritleri oluşturmak üzere de azotla birleşmeye daha düşük ölçüde bir eğilim gösterirler. Oksijen ergimiş çelikteki karbonla, karbonmonoksit gazı oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu reaksiyonların ürünleri aşağıdaki kaynak hatalarının oluşumuna neden olur:

- a) Oksitler nedeniyle ergime hataları
- b) Gözenek, oksit ve nitritler nedeniyle oluşan mukavemet kayıpları
- c) Oksitler ve nitritler nedeniyle kaynak metalinin gevrekleşmesi

Atmosfer yaklaşık % 80 azot, % 20 oksijenden meydana geldiği için kaynak sırasında bu reaksiyonların ürünleri kolaylıkla oluşur. Koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin ergimiş kaynak banyosuyla temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrodlardaki örtünün görevini görür. Esas görevi dışında koruyucu gazın kaynak işlemine ve sonuçta elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen hususlar yoluyla önemli etkileri vardır:

- a) Arkın karakteristiği
- b) Metal transferinin şekli
- c) Nüfuziyet ve kaynak dikişinin profili
- d) Kaynak hızı
- e) Yanma oluğu oluşma eğilimi
- f) Temizleme etkisi
- g) Kaynak metalinin mekanik özellikleri

### **Koruyucu Soy Gazlar**

Argon ve helyum soy gazlardır. Bu gazlar ve bunların karışımı demir dışı metallerin kaynağında mutlak bir şekilde kullanılırlar. Bu gazlar paslanmaz çeliklerin ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında da kullanılmaktadır. Argon ve helyum gazları aşağıda belirtilen hususlarda önemli farklılıklar gösterir.

- a) Yoğunluk
- b) Isıl iletkenlik
- c) Ark karakteristiği

Argonun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 1.4 katı iken (yani daha ağır) helyumun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 0.14'ü kadardır (yani daha hafif). Koruyucu gaz ne kadar ağır ise o gaz verilen bir debide arkı koruma ve kaynak alanını örtme konusunda o kadar etkindir. Bu nedenle helyumla koruma yapıldığında aynı etkili korumayı sağlamak için argonla korumada kullanılan debinin iki veya üç katı yüksekliğinde debi kullanılması gerekir.

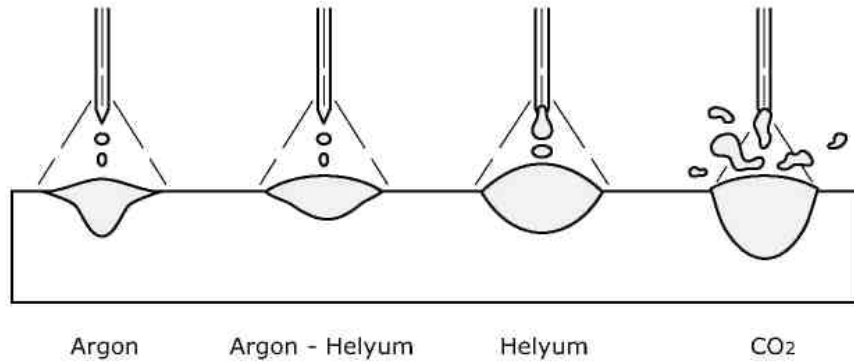
Helyum argondan daha yüksek ısı iletkenliğine sahiptir ve aynı zamanda içinde ark enerjisinin daha üniform şekilde dağıldığı bir ark plazması oluşturur. Argonun oluşturduğu ark plazmasında iç bölgede çok yüksek bir enerji mevcuttur ve bu bölge daha az ısı enerjisi içeren bir mantoyla sarılıdır. Bu fark kaynak dikiş profilini önemli ölçüde etkiler. Helyum arkı derin, geniş parabolik kaynak kesiti oluşturur. Argon arkı ise şişe emziğine benzer bir nüfuziyet oluşturur.

Verilen bir elektrod besleme hızında argon arkının gerilimi helyum arkının geriliminden önemli ölçüde düşüktür. Bunun sonucunda argon arkında ark boyundaki değişmeye bağlı olarak gerilimde daha az bir değişme meydana gelecektir ve ark helyum arkına nazaran daha kararlı olacaktır. Argon arkı (% 80 argon gazı karışımına kadar da dahil olmak üzere) geçiş akımı üzerindeki akım değerlerinde aksel spreng ark iletimi oluşturur. Helyum arkı normal çalışma bölgesinde iri damla metal iletimi oluşturur. Bu nedenle helyum arkı argon arkına nazaran daha fazla sıçramaya ve daha kötü kaynak dikiş görünüşüne neden olur. Çok kolay iyonize olan argon gazı bu nedenle arkın tutuşmasını kolaylaştırır ters kutuplamayla birlikte kullanıldığında mükemmel yüzey temizleme etkisi sağlar.

### **Argon ve Helyum Karışımı**

Saf argonla koruma demir dışı metallerin birçok uygulamasında kullanılır. Saf helyum kullanımı sınırlı bir ark kararlılığı sağlaması nedeniyle çok özel alanlarda sınırlanmıştır. Ancak helyum arkıyla derin, geniş ve parabolik kaynak profili

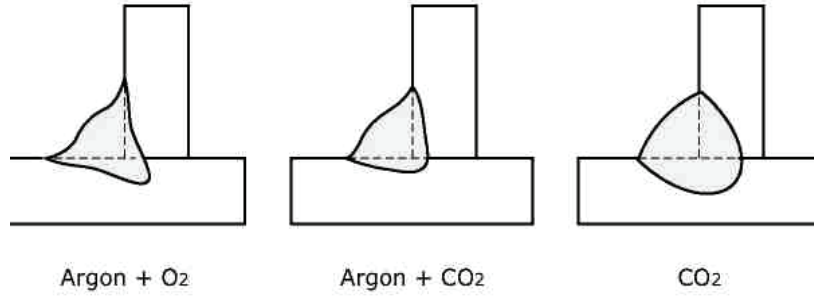
özellikleri elde edilmesi nedeniyle, Argon-Helyum gaz karışımı koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Sonuçta kaynak dikişi profilinde iyileşme sağlandığı gibi, argonun akselal spreyl metal iletimi oluşturma özelliğinden de yararlanılır (Şekil II.23). Kısa devre iletimde, daha iyi ergime sağlamak amacıyla helyum içeren Argon-Helyum karışımı koruyucu gazlar kullanılır (% 60'dan % 90'a kadar). Paslanmaz çelik, düşük alaşımlı çelikler gibi bazı metaller için daha yüksek ısı girdisi elde etmek amacıyla CO<sub>2</sub> ilavesi yerine helyum ilavesi yapılır. Bunun nedeni helyumun, dikişin mekanik özelliklerini ters yönde etkileyen kaynak metali reaksiyonları oluşturmamasıdır [4].



Şekil II.23 Çeşitli Koruyucu Gazların Dikişin Şekline ve Nüfuziyete Etkisi [4].

### Argon ve Helyuma Oksijen ve Karbondioksit İlavesi

Saf argon ve belli bir dereceye kadar helyum demir dışı malzemelerin kaynağında çok mükemmel sonuçlar sağlar. Ancak, bu koruyucu gazlar saf halde demir esaslı malzemelerin kaynağında başarılı çalışma özellikleri sağlamaz. Ark kararsız olma eğilimi gösterir. Helyumla korumada buna ilave olarak sıçrama meydana gelir. Saf argonla korumada "**yanma oluğu**" oluşma olasılığı büyük ölçüde artar. Argona % 1-5 O<sub>2</sub> veya % 3-10 CO<sub>2</sub> (ve % 25'e kadar CO<sub>2</sub>) ilavesi önemli ölçüde iyileşme sağlar. Saf gaza katılacak en uygun O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> miktarı kaynak edilecek parçanın yüzey durumu (hadde tufalı), bağlantı geometrisi, kaynak pozisyonu ve esas metalin bileşimine bağlıdır. Genellikle % 3 O<sub>2</sub> veya % 9 CO<sub>2</sub> bu değişkenlerin büyük bir aralıkta etkilerini göz önünde bulunduran oranlardır. Argona CO<sub>2</sub> ilavesi aynı zamanda dikiş profilinin şeklini de iyileştirir (Şekil II.24) [4].



**Şekil II.24** Argon+O<sub>2</sub>, Argon+CO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> Gazlarının Dikiş Şekline ve Nüfuziyete Etkisi[4].

### **Karbondioksit**

Saf karbondioksit alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında geniş ölçüde kullanılan bir aktif gazdır. Bu gazın yoğun olarak kullanılma nedeni :

- a) Daha yüksek kaynak hızı
- b) Daha fazla bağlantı nüfuziyeti
- c) Daha düşük maliyet sağlamasıdır.

CO<sub>2</sub> ile korumada metal iletimi ya kısa devre ya da iri damla tipidir. Eksenel spreylere iletimi argonla korumaya özgü bir özelliktir ve bunu CO<sub>2</sub> ile elde etmek mümkün değildir. İri damla iletimi ile elde edilen ark oldukça kararsızdır ve önemli miktarda sıçramaya neden olur. Sıçramayı en az düzeye indirmek için kaynak şartlarının çok kısa "gömülü ark" (elektrodun ucu gerçekte iş parçası yüzey seviyesinin altındadır) sağlayan düşük gerilim değerine ayarlanması gerekir.

Argonca zengin koruyucu gazla genel olarak kıyaslandığında CO<sub>2</sub> korumalı ark daha kaba bir yüzey profiliyle birlikte mükemmel nüfuziyete sahip bir kaynak dikişi oluşturur. Gömülü ark nedeniyle kaynak dikişinin kenarlarında çok daha az "yıkama" etkisi oluşur. Çok güvenilir kaynak dikişleri elde edilmekle birlikte, arkın oksitleyici karakteri nedeniyle dikişin mekanik özellikleri kötü yönde etkilenebilir.

#### **II.1.7.9. Elektrod (Tel) Çapı**

Elektrod çapı kaynak dikişinin şekil ve boyutlarını etkiler. Büyük çaplı elektrodlar aynı metal iletim tipi için ince elektrodla nazaran daha yüksek değerlerde minimum akım gerektirir. Daha yüksek akımlar ise, ilave elektrod ergimesi ve daha büyük ve akışkan kaynak banyoları oluşturur. Yüksek akımlar aynı zamanda daha yüksek yağma hızına ve daha fazla nüfuziyete neden olur. Ancak düşey ve tavan pozisyonundaki kaynaklar küçük çaplı elektrodlarla daha düşük akımlar kullanılarak gerçekleştirilir.

### **II.1.8. Uygulama Alanları**

Gazaltı kaynak yöntemi ilk olarak magnezyum, alüminyum alaşımları ve paslanmaz çeliklere uygulanmıştır. Bunun başlıca nedeni gazaltı kaynağının bu tür kaynaklarda diğer kaynak yöntemlerine göre daha ekonomik olmasıdır. Ayrıca gazaltı kaynağının yapısı diğer metal ve alaşımlarının kaynağında kullanımına çok iyi uyum sağlar. Özellikle alaşımsız çelikler, karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, ısıya dayanıklı çelikler, alüminyum ve alüminyum alaşımları, bakır ve bakır alaşımlarının çoğu ve yüksek çinkolu alaşımlar gazaltı kaynak yöntemi ile kolaylıkla kaynak edilebilir.

Gazaltı kaynağında yüksek dayanımlı çelikler, 2000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımları, yüksek çinko oranları içeren bakır alaşımları (magnezyum bronz gibi), döküm çelikler, östenitik manganezli çelikler, titanyum ve titanyum alaşımları ve refrakter metaller için ana metale ön ısıtma veya son ısıtma uygulanması, özel dolgu metali kullanılması, daha yakın gaz koruması ve destek gazın kullanımı gibi özel kaynak prosedürü uygulamak gerekebilir.

Düşük ergime sıcaklığına veya yüksek ergime sıcaklığına sahip metaller (Örneğin; Kurşun, Kalay ve Çinko) gazaltı kaynağı ile veya diğer ark kaynağı yöntemleri ile kaynak edilemez [5].

## II.2.KAYNAK ROBOTLARI

### II.2.1. Robot Nedir

Robotların şimdiye kadar birçok farklı tanımı yapılmıştır. Webster sözlüğünde robot, "genellikle insanların gerçekleştirdikleri işlevleri yerine getiren otomatik araçlar" olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu tanıma göre mesela bir çamaşır makinesi de robot sayılabilmektedir.

Amerikan Robot Enstitüsü, robot kavramını şu şekilde ifade etmektedir: "Robot, çeşitli görevlerin gerçekleştirilmesi için, malzeme, parça, takım ya da değişken programlanmış hareketler aracılığıyla, özel parçaları hareket ettirmek amaçlı tasarlanmış, çok fonksiyonlu, yeniden programlanabilir manipulatördür."

Sanayi robotunun en kapsamlı tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırması ISO 8373 standardında belirlenmiştir. Bu standarda göre bir robot şöyle tanımlanır: "Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, sabit veya hareketli olabilen, üç veya daha fazla programlanabilir eksene sahip, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipulatördür" [12].

Tanımdaki terimlerin detaylı olarak açıklamaları aşağıdaki gibidir:

**Yeniden programlanabilir:** Fiziksel değişiklikler olmadan programlanmış hareketleri veya yardımcı fonksiyonları değiştirilebilen.

**Çok amaçlı:** Fiziksel değişikliklerle farklı bir uygulamaya adapte edilebilme yeteneği.

**Fiziksel değişiklikler:** Bilgisayarlarda ve diğer elektronik cihazlarda kullanılan depolama birimlerine ROM adı verilir. Programlama kasetleri, ROM' lar vb. gibi değişiklikler hariç mekanik yapının veya kontrol sisteminin değiştirilmesidir.

**Eksen:** Lineer veya dönel (rotasyonel) modda robot hareketini belirtmek için kullanılan yön

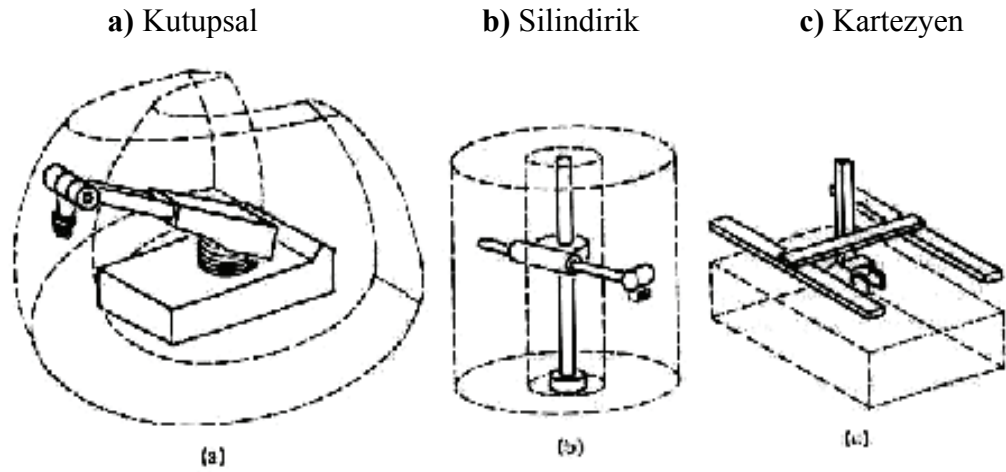
Şekil II.25' de fiziksel konfigürasyonun, çalışma hacminin şekli üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Kutupsal koordinat robotunun çalışma hacmi kısmen küreseldir; silindirik koordinat robotunun silindirik, kartezyen koordinat robotunun çalışma hacmi dikdörtgen prizma ve eklemli-kol robotunun çalışma hacmi ise yaklaşık küreseldir. Her çalışma hacmi şeklinin büyüklüğü, kol komponentleri (bileşenleri) ve eklem hareketlerinin sınırları tarafından etkilenir. Robot seçimi, optimal çalışma hacmi için yapılmalıdır. Çünkü robot çalışma hacminin büyümesi, robot uzuv

boyutlarının artması dolayısıyla ataleti, gerekli motor gücü, enerji tüketim miktarı ve robot fiyatının artmasıyla sonuçlanır.

**a) Tamlık:** Tamlık, çalışma hacmi içinde istenen bir noktaya, robotun bilek sonunu götürebilme yeteneğidir. Uzaysal çözülüm, robotun çalışma hacmini bölebileceği en küçük hareket artışıdır. Robotun tamlığı uzaysal çözülüm cinsinden ifade edilebilir çünkü hedef bir noktaya ulaşabilme yeteneği her eklem hareketi için robotun kontrol artımlarını ne derece tanımlayabildiğine bağlıdır. Tamlık, verilen bir hedef noktaya erişebilmek için robotun programlanabilme kapasitesiyle ilişkilidir.

**b) Tekrarlanabilirlik:** Tekrarlanabilirlik, uzayda robota önceden öğretilen bir noktaya, robotun, bileğini veya bileğine eklenen end efektörünü götürebilme yeteneğidir. Robotun öğretilen bir noktaya göre tekrarlanan hareketlerinin sonucunda, robot uç noktası ile öğretilen nokta arasında oluşabilecek maksimum hata miktarıdır. Genel amaçlı robotlarda tekrarlanabilirlik değerinin 0,1 mm ila 0,2 mm olması yeterli olabilmektedir. Özel olarak ark kaynağı uygulaması düşünülürse tekrarlanabilirlik değerini kaynakta kullanılacak tel çapının yarısından küçük olması istenir.

**c) Yük taşıma kabiliyeti ve hız:** Maksimum yük taşıma kapasitesi, robotun minimum hızında tekrarlanabilirlik değerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük değeridir. Nominal yük taşıma kapasitesi de robotun maksimum hızda tekrarlanabilirlik değerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük miktarıdır. Bu yük taşıma kapasitesi değerleri taşınan malzemenin boyut ve şekline bağlıdır. Robotlar, çeşitli ölçütlere (eksen sayıları, kontrol tipleri ve mekanik yapılarına) göre sınıflandırılabilir. Şekil II.25'de, mekanik yapılarına göre yapılan bir sınıflandırma görülmektedir.



**Şekil II.25** Çeşitli Robot Anatomileri İçin Çalışma Hacimleri [12].

Bir başka tanımda ise robot, bir kaide üzerinde en az bir kol, tutma organları(genellikle pensler, vantuzlar veya elektromıknatıslar), pnömatrik, hidrolik veya elektriksel sensörler ile konumu ve basınç algılayıcıları ile, bilgi işlem organlarıyla donatılmış kontrollü mekanik manipülatörlerdir [12].

Bu konuda çalışmalarıyla tanınan Maja Mataric'in yaptığı tanıma göre bir robot, ortamdan topladığı verileri dünyası hakkında sahip olduğu bilgiyle sentezleyerek, anlamlı ve amaçlarına yönelik bir şekilde hareket edebilen ve bunu güvenli bir biçimde yapabilen bir makinedir. Bu tanıma girebilmesi için öncelikle robot diye adlandırdığımız makinenin fiziksel bir varlığının olması gerekiyor.

Bu nedenle bir robot tasarlamak ve yaratmak çok boyutlu, zor bir kontrol problemidir. Robotu oluşturan dört ana sistemi birbirine uygun bir biçimde seçmek ve hepsini birlikte geliştirmek durumundayız. Bu dört sistem şunlardır:

1. Robotun ortam hakkında gerçek zamanlı bilgi edinmesi için kullanacak alıcılar,
2. Robota amacına yönelik fonksiyonları gerçekleştirmesi için yerleştirilen efektörler,
3. Robotun hareket sistemi
4. Kontrolü sağlayan elektronik beyin.

Ancak bu dört sistemi birleştirdiğinizde ortaya kendi başına hareket eden, bilgi toplayan, yapacağı işin niteliklerine göre donanmış bir robot çıkabilir.

### **II.2.1.1.Robotların En Önemli Üç Yasası**

1. Bir robot bir insana zarar veremez veya kayıtsız kalarak bir insanın zarar görmesine neden olamaz.
2. Birinci yasa ile çatışmamak şartı ile bir robot insanlar tarafından verilen emirlere uymak zorundadır.
3. Birinci ve İkinci yasa ile çatışmamak şartı ile bir robot kendi varlığını korumalıdır.

### **II.2.1.2.Temel Olarak Bir Robotta Olması Gereken Özellikler**

1. İşlem Yapma Yetisi
2. İşlemin Sonucunu Belirleme Yetisi
3. Karar Verme Yetisi

Şimdi bunları kısaca açıklayalım.

**İşlem Yapma Yetisi:** Bir işlemi fiziksel yada farazi olarak yerine getirebilmelidir, yoksa robot olmaz sadece bir madde olur.

**İşlemin Sonucunu Belirleme Yetisi:** İşlemi yaptıktan sonra mutlak olarak işlemin sonucunu belirlemelidir ki işlem tam olarak yapılmış olsun.

**Karar Verme Yetisi:** İşlem sonucuna göre yada dış etmenlere göre mutlaka bir yargı kurabilmelidir.

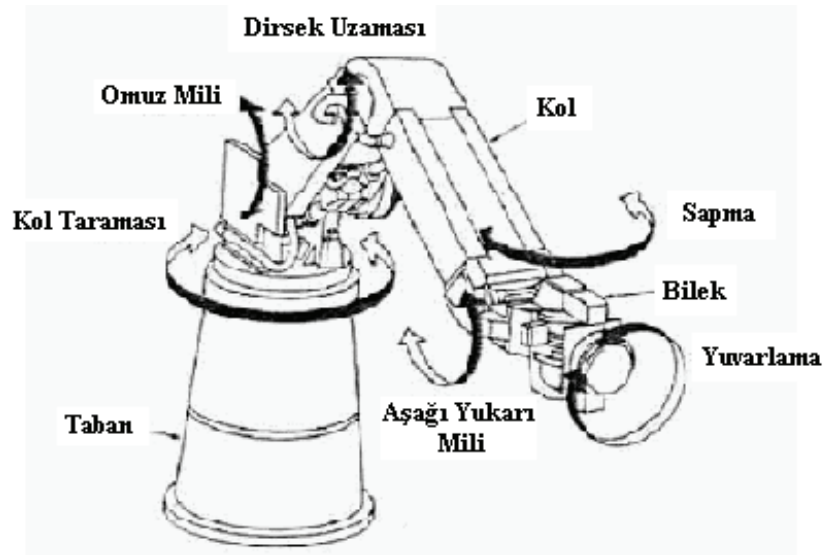
### **II.2.2. Robotun Tarihçesi**

"Robot" sözcüğünü ilk olarak Karel Capek adlı Çekoslovak bir yazar 1921'de yazdığı RUR (Rossum's Universal Robots) adlı tiyatro oyununda kullanmıştır. Çekoslovakça'da "robota" sözcüğü "zorla çalıştırılan işçi" demektir. Fakat robot fikri 3000 sene öncesine kadar uzanır. Homeros İlyada adlı eserinde hareketli uçayaklılardan bahsetmektedir. Jason ve Argonotlar adlı Eski Yunan efsanesinde de Talos adlı dev bronz nöbetçi karşımıza çıkar. Bu dev, tanrılar tarafından Girit adasını yabancılarından korumak üzere "programlanmıştır." Bir Hint efsanesinde de hareket eden mekanik fillerden bahsedilmektedir. Eski Mısırlılar yaptıkları tanrı heykellerine mekanik kollar eklemişlerdir. Bu heykeller, tanrılardan ilham aldıklarına inanılan rahipler tarafından hareket ettirilirdi.

### II.2.3.Robot Geometrisi

Tutucu veya takım hariç, robot parçasındaki hareketi sağlayan tahrik formunun bulunduğu her mekanik noktaya serbestlik derecesi denmektedir. Tipik bir endüstriyel robotta 4 ila 6 serbestlik derecesi bulunmaktadır [13].

1. Temel dönme hareketi
2. Omuz bükülmesi
3. Dirsek Bükülmesi
4. Bileğin yukarı aşağı hareketi
5. Bileğin sağa sola hareketi
6. Bileğin dönme hareketi



Şekil II.26 6 serbestlik dereceli endüstriyel robot [14].

İstisnalar dışında çoğu robotta serbestlik derecesi seri şeklindedir. Bundan dolayı Şekil II.26'daki robotunu ilk serbestlik derecesi olan temel dönme hareketi, robotun diğer serbestlik derecelerinden etkilenen robotun diğer parçalarına hareketi iletmektedir. Buna zıt olarak örneğin üçüncü serbestlik derecesinin (dirsek bükülmesi hareketi) temel dönme hareketi üzerinde hiçbir etkisi bulunmamaktadır. Tüm robottaki en karışık hareket en yüksek serbestlik dereceli kısımda olmalıdır. Genel olarak, en çok serbestlik derecesi dahilindeki hareketin kalitesi ve menzili gibi diğer önemli faktörler de düşünülmektedir[14].

#### II.2.4.Robot Sistemleri

Endüstriyel uygulamalarda robotlar, her zaman daha büyük bir sistemin parçası olmak durumundadırlar. Böyle bir sistemde robotun yanında düşünülmesi gereken diğer parametreler, tanımlanması gereken hedefler, sistemin sağlaması gereken şartlar ve gerekli bileşenler belirlenmelidir. Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'nün (IEEE)' nin tanımına göre sistem, "Birbiriyle etkileşim içinde bulunan farklı yapılardan veya alt bileşenlerden meydana gelen ve bir bütünlük oluşturan tümleşik yapıdır". Diğer bir görüş açısına göre ise sistem belli bir amaca hizmet eden, yapısı ve sınırları tanımlanmış bir varlıktır. Birlikte çalışan alt sistemlerin veya parçaların toplamı sistem olarak tanımlanabilir. Sistemler, bazı özel fonksiyonları gerçeklemek için alt sistemlerden oluşabilirler. Robotlu sistemler için bunlar denetim, görüntü algılama, konveyör, vs. gibi alt sistemler olabilir. Alt sistemler, kendi içlerinde bir bütün olmakla birlikte daha büyük bir sistemin parçasıdırlar. Alt sistemler, sistem hiyerarşisi içinde birden fazla sistemin parçası olabilirler [15].

Robotlu bir sistem planlanırken, birinci adım daima sistemin sağlaması gereken amaçların belirlenmesidir. Sonraki adım, amaçların analizi sonucunda, sistemin istenen hedeflere ulaşması için sağlaması gerekli olan şartların tanımlanmasıdır. Sistem gerekliliklerinin belirlenmesi için incelenmesi gerekli olan konuları ana başlıklar halinde şöyle sıralayabiliriz:

**Sistemin Kurulacağı Çevre Şartları:** Robotun hangi şartlardaki bir ortamda çalışacağı incelenmelidir. Ortamın sıcak, nemli veya tozlu olup olmadığı, robot kollarının serbest olarak hareket imkânına sahip olup olmadığı, diğer ekipmanlar ve araçlar tarafından sınırlanıp sınırlanmadığı belirlenmelidir.

**Hareket Alanı:** Kol hareketiyle ilgili aralıklar genelde şu şekilde belirlenir, 300 mm' den küçük; 300–1000 mm. arası, 1000–3000 mm. arası ve 3000 mm' den büyük. Bütün robotun hareketli (mobil) olmasının gerekli olup olmadığı, sadece kol hareketinin yeterli olup olamayacağı incelenmelidir.

**Çalışma Hızı:** Kol, bilek, gripper ya da robotun diğer parçaları ne kadar hızlı olmalıdır, mm/s cinsinden lineer hareketler ve derece/s cinsinden dönel hareketler dikkate alınmalıdır. Burada hız aralıkları şu şekilde düşünülebilir:

Düşük Hız: 300 mm/s'den veya 60 derece/s'den daha küçük.

Orta Hız: 300–1500 mm/s veya 60–180 derece/s

Yüksek Hız: 1500 mm/s'den veya 360 derece/s'den daha büyük

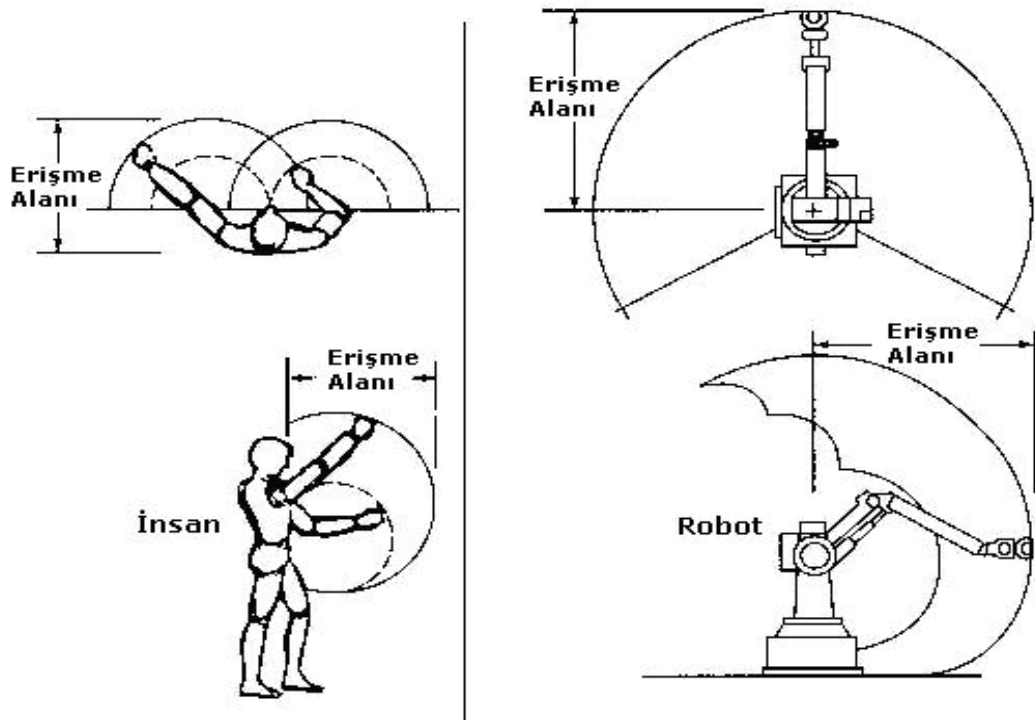
### II.2.5.Endüstriyel Robot Kavramı

Endüstriyel robot, genel amaçlı, insana benzer özelliklere sahip programlanabilir bir makinedir. Bir robotun insana benzeyen en önemli özelliği onun koludur. Tutma ve yerleştirme işlemlerinde robot kolu kullanılır. Robot kolu, başka bir makineyle birleştirilerek, malzemenin yüklenmesi ve takım değiştirme işlemini yapmaktadır. Kesme, şekil verme, yüzey kaplama, silindirik ve düzlem yüzey taşlama gibi imalat işlemlerinin yanı sıra kaynaklı birleştirmede gerçekleştirir. Montaj ve kontrol uygulamalarında da kullanılmaktadır.

#### II.2.5.1.Endüstriyel Robotun Çalışma Prensibi

Robot denildiği zaman aklımıza ilk etapta, insan gibi yürüyen, insan davranışları sergileyen, daha da önemlisi insan gibi düşünen ve karar verebilen makineler geliyor. Bu da demek oluyor ki robotların tasarlanması ve geliştirilmesinde canlıların yaşama uyum sağlamak amacıyla geliştirdikleri karakteristiklerden ilham alınmaktadır.

Robot kolunun yetișebileceđi toplam alana, **çalışma alanı** denir. Şekil II.27’de mafsallı bir robotun çalışma alanı ile bir insan kolunun çalışma alanı arasındaki benzerlik görölmektedir.



Şekil II.27 İnsan Kolu ile Mafsallı Robotun Çalışma Alanları Arasındaki Benzerlik [16].

### **II.2.5.2 Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması**

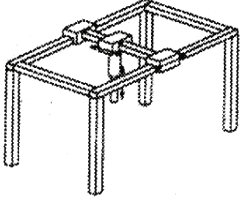
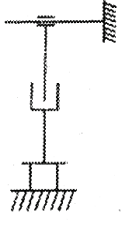
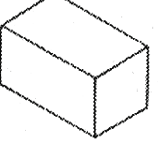
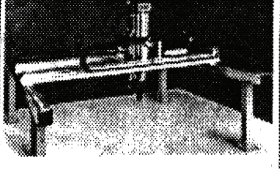
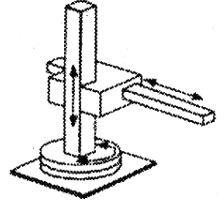
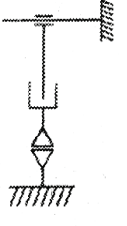
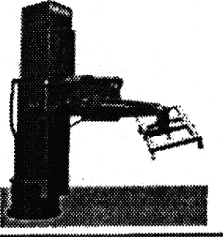
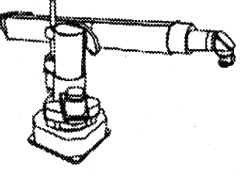
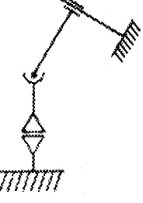
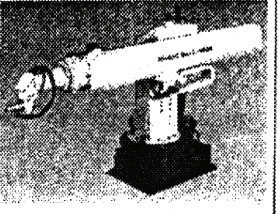
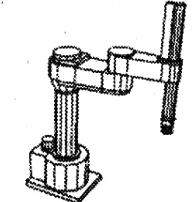
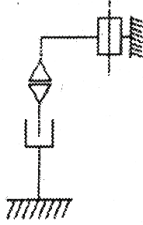
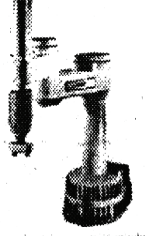
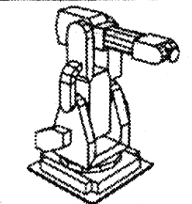
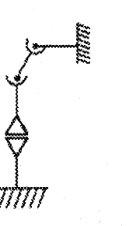
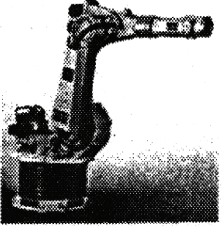
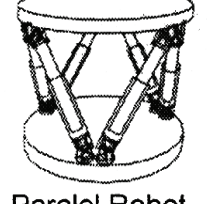
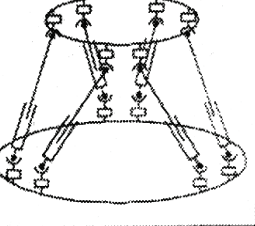
Günümüzde kullanılan robotların çok çeşitli sınıflandırma şekilleri yapılmaktadır (Tablo II.3). Bunlardan bazıları şöyledir:

- Mekanik Yapılarına göre Robotlar (Kartezyen Robotlar, Silindirik Robotlar
- Güç kaynağının yapısına göre (Pnömatik, Hidrolik, Elektriksel vb.)  
Hareketli ve Sabit robotlar.
- Yeteneklerine göre (Ardışık kontrollü robotlar, adaptif, zeki, tekrarlayan vb.)
- Kontrol Yöntemlerine göre (Noktadan noktaya, Sürekli yörüngeli, Kontrollü yörünge izleyen vb.) [16].

### **II.2.5.3. Mekanik Yapılarına Göre Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması**

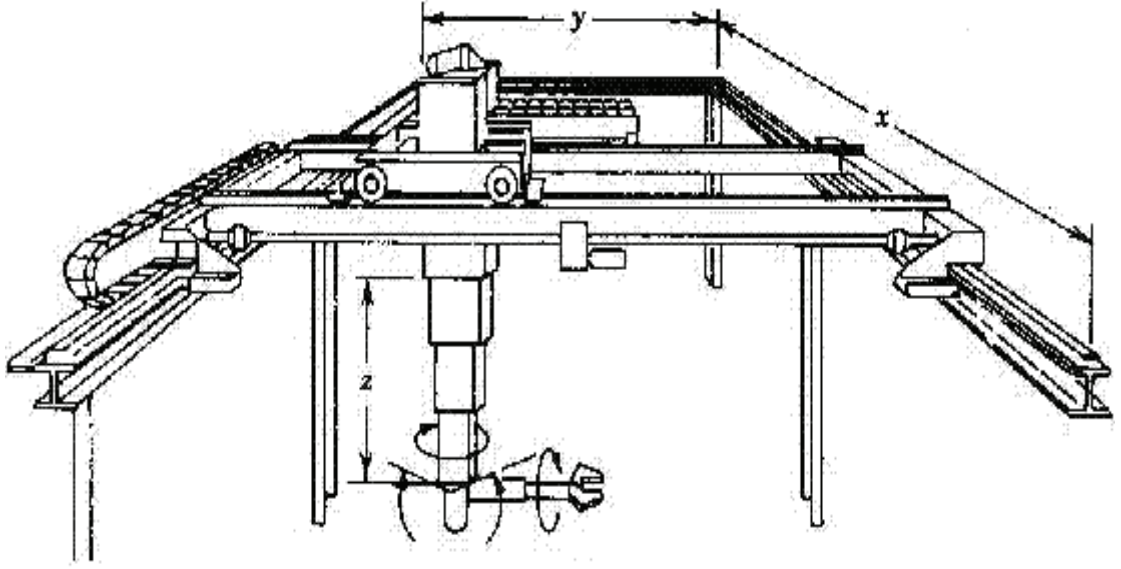
1. Kartezyen Robotlar
2. Silindirik Robotlar
3. Mafsallı Robotlar
4. SCARA Robotlar
5. Küresel Robotlar
6. Paralel Robotlar

**Tablo II.3** Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması [17].

| Robot                                                                                                 | Eksenler                                                                            |                                                                                      | Örnekler                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                       | Prensip                                                                             | Kinematik Yapı                                                                       | Resim                                                                                 |
| <br>Kartezyen Robot  |    |    |    |
| <br>Silindirik Robot |    |    |    |
| <br>Küresel Robot   |   |   |   |
| <br>SCARA Robot    |  |  |  |
| <br>Mafsallı Robot |  |  |  |
| <br>Paralel Robot  |  |  |  |

## Kartezyen Robotlar

Kartezyen koordinat sisteminde bütün robot hareketleri birbirine 90°'lik açıyla hareket eder. Bu nedenle kartezyen robotlar dikdörtgenimsi bir biçimdedir. Günlük hayatımızda sağa sola, aşağı yukarı vb. hareketlerimiz, kartezyen koordinat hareketleridir.



Şekil II.28 Gantry Robot [16].

Bu tür robotları genellikle özel tatbiklerle sınırlandırılır. Devamlı bir yol alanında, robot, bir köprü ve bir ray sistemi aracılığıyla daha çok işlevlik kazanabilir. Tavana monte edilerek, birkaç fonksiyonla birçok istasyona hizmet verilebilir. Robotun tavana asılı olmasıyla, zeminde daha fazla boş saha kazanılmış olur.

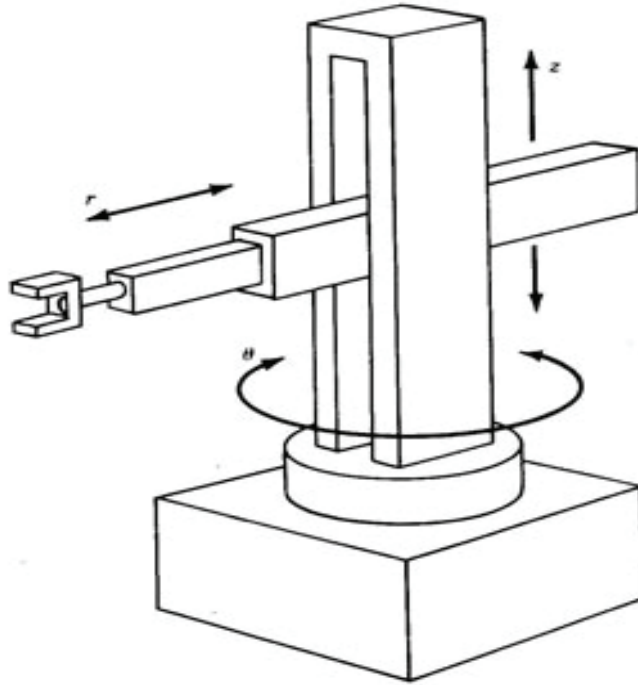


Şekil II.29 Kartezyen Robot [16].

Kartezyen robotlar, basitlikleri ve konstrüksiyonları sayesinde rijitliği yüksek ve hızlı bir yapıya sahiptir. Örnek olarak otomatik sac kesim makineleri olan punch presleri verebiliriz [16].

### Silindirik Robotlar

Bu tip robotlar temel bir yatak etrafında dönebilir ve diğer uzuvları taşıyan ana gövdeye sahip özelliktedir.(Şekil II.30) Hareket düşeyde ve ana gövde eksen kabul edildiğinde radyal olarak sağlanır. Dolayısıyla çalışma hacmi içerisinde robotun erişemeyeceği, ana gövdenin hacmi kadar bir bölge oluşur. Ayrıca genellikle, mekanik özelliklerden dolayı gövde tam olarak  $360^\circ$  dönemez.

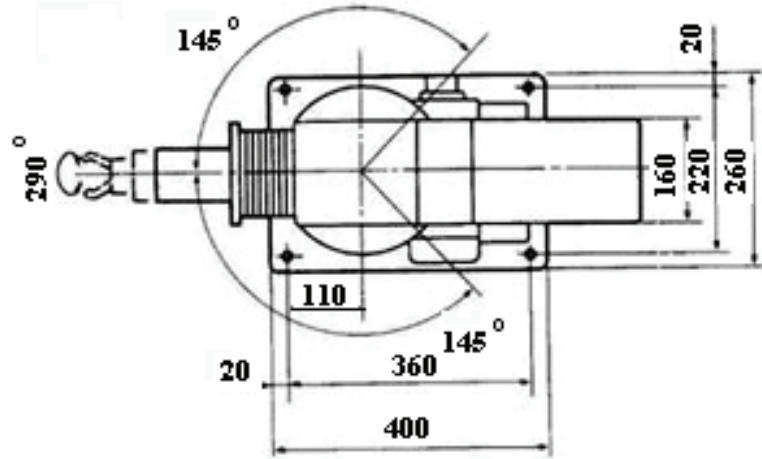


Şekil II.30 Silindirik koordinat sistemi [12].

Silindirik koordinatlarda tabana dik eksen etrafında dönme ve bu eksen üzerinde ötelenme yapılırken bu eksene dik bir eksende de başka bir öteleme hareketi yapılır. Dönme serbestliğindeki mekanik engellerden dolayı teorik olarak silindirik bir çalışma alanı oluşması beklenirken bazı bölgelerde silindir yapısı tamamlanamaz. Zemine ulaşabilmenin arzu edildiği durumlarda robot kolu zemine açılan bir yuvaya yerleştirilir. Ancak bu durumda da ulaşılacak maksimum yükseklik azalır. Radyal hareketten dolayı, silindirik koordinatlı robotlar montaj, kalıpcılık gibi alanlarda kullanılabilir.

Bu tip robotlarda programlama açısından fazla karmaşık değildir. Ancak kartezyen koordinatlı robotlarda olduğu gibi kayar elemanların korozyon ve tozlanmadan korunması gerekir.

Silindirik robotlar genellikle, kendi ekseninde  $300^\circ$  dönmektedir. Geri kalan  $60^\circ$  ise robotun etrafında güvenli bir alan oluşturmak için kullanılır. Bu güvenlik alanına ölü bölge ismi verilmiştir(Şekil II.31) [12].



Şekil II.31 Silindirik koordinat sistemli robotun çalışma alanı [12].

### Mafsallı Robotlar

Mafsallı robotların dizaynı insan kolundan esinlenerek yapılmıştır. Kol eklemleri robotlar yeteneklerine göre, insan kolunun yerine getirebileceği görevleri üstlenmek amacıyla ile yapılmışlardır. Kol eklemleri robotlar insan kollarında olan tüm esnekliğe ve hassasiyete tam olarak sahiptir ve değişik görevlerde insan kolunu taklit eder.

Kol eklemleri robotlar altı eksen de rahatça hareket ederler. Bu altı eksen üç tanesi kol hareketi için, diğer üç tanesi ise bilek hareketi içindir (Şekil II.32).



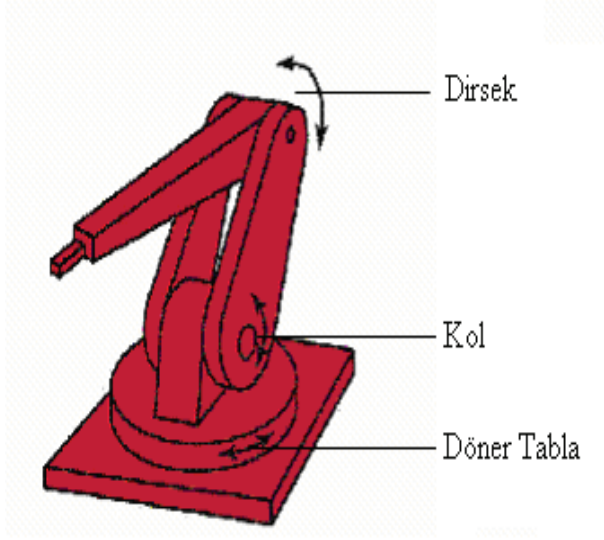
Şekil II.32 Mafsallı Robot [12].

### **Mafsallı Robotların Özellikleri**

İnsan kolunun yapabileceği çok sayıda hareketi yapabilmektedirler. Bu özellikleri kullandıkları koordinat sisteminden (Döner koordinat sisteminden) almaktadırlar. Bu koordinat sisteminin gereği olarak omuz, dirsek ve bilek bağlantıları vardır. Bu bağlantı şeklinin robota kazandırdığı en büyük avantaj, çalışma alanındaki her noktaya rahatça ulaşabilmesidir. Çalışma alanı ise; robot kolunun yatayda dik olarak durması sonucu elde edilir.

### **Döner Koordinat Sistemi**

Eğer bir robot herhangi bir iş yaparken kolu dairesel hareketli bağlamlarla oluşturuyorsa, bu tip robotlara **döner koordinat sistemli robotlar** denir. Robot kolunun bağlantıları gövde üzerine, etrafında dönecek şekilde monte edilmiştir ve dayanak noktaları birbirine benzeyen iki ayrı bölümü taşır. Dönen parçalar yatay ve dikey monte edilebilir

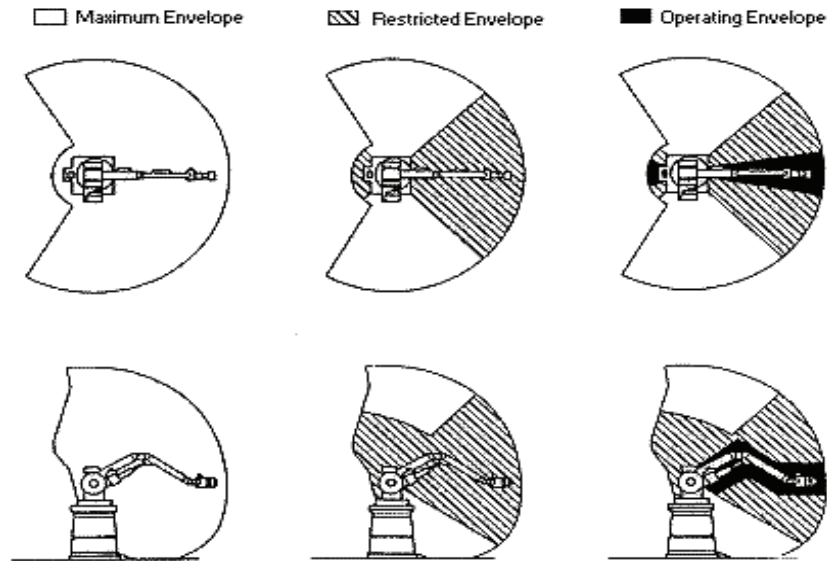


Şekil II.33 Döner koordinat sistemli robot eksenleri [12].



Şekil II.34 Döner koordinat sistemli bir robot [12].

Döner koordinatlı robotlarda kontrol işlemi karmaşıktır, dolayısıyla kontrol donanımının da bu karmaşıklığı karşılayabilecek kapasitede olması gerekir. Ayrıca bu tip robotlarda mafsallarda sızdırmazlığı kolayca sağlanabilmektedir (Şekil II.35). 360° dönme sağlanamaz ancak bu kayıplar minimuma indirilebilir. Şekil II.35’de döner koordinatlı robotun çalışma hacmi görülmektedir. Bu tip robotlarda robot kolun çalışması zor gözlenir. Çalışma hacmindeki noktalara farklı yörüngelerle ulaşılabilir. Buna göre sistem parametrelerinin en uygun olduğu yol seçilmelidir.



Şekil II.35 Döner koordinat sistemli robotun çalışma alanı [12].

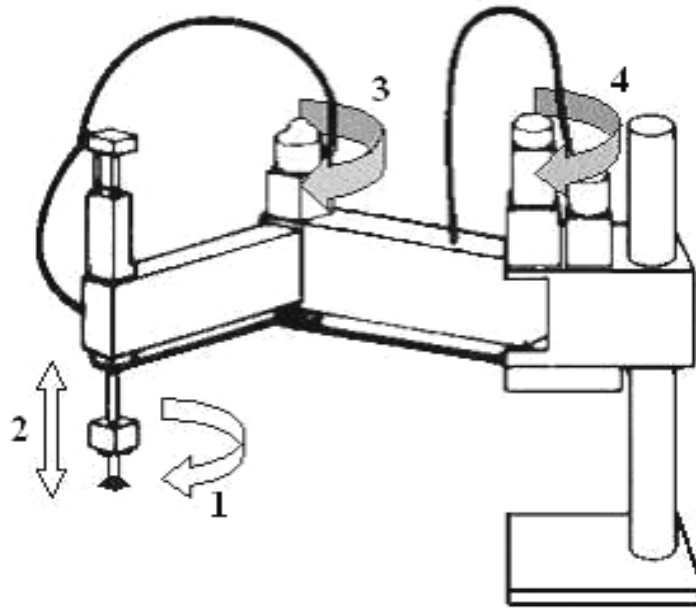
## SCARA Robotlar

Scara, Selective Compliance Assembly Robotic Arm (Seçici Serbest Esnemeli Robot Kolu) kelimelerinin baş harflerinden oluşmuştur. Yani seçilenlere uyan montaj robotu koludur. Bu robot 1970’den sonra Japon Endüstriyel Konsorsiyumu ve bir grup araştırmacı tarafından Japonya’ da Yamanashi Üniversitesi’nde geliştirilmiştir. Scara tipi robot, çok yüksek hıza ve en iyi tekraralama kabiliyetine sahip olan bir robot çeşididir.

### SCARA Tipi Robotun zellikleri

şekil II.37’de SCARA tipi bir robota ait şematik çizim verilmiştir. Bu robotta  genel özellik bulunmaktadır:

- Doğruluk
- Yüksek hız
- Kolay montaj

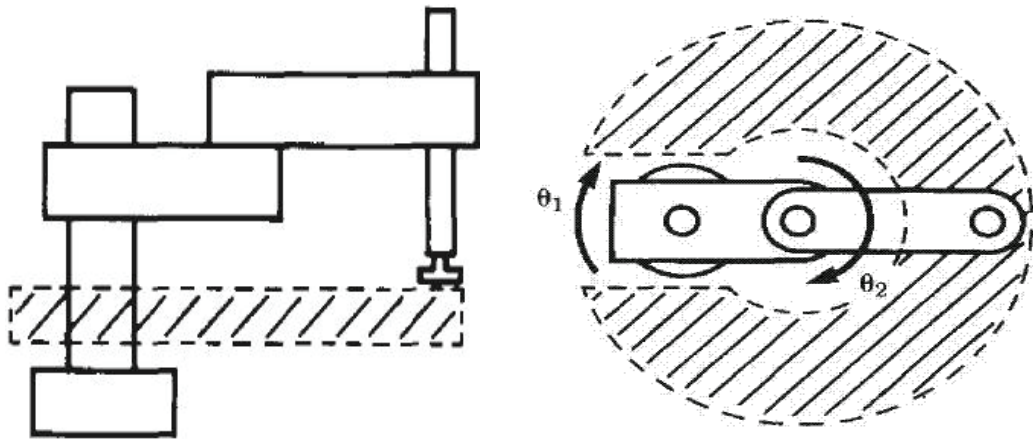


şekil II.36 SCARA Tipi Robota Ait şematik izim [12].

### SCARA Tipi Robotun Yapısı

Bu robot genellikle dikey eksen çevresinde dönen 2 veya 3 kol bölümünden meydana gelmiştir. Şekil 36'da görülen 1 numaralı eksen robota ana dönmeyi veren eksenidir. Bu eksen en çok montaj robotlarında kullanılmaktadır. 2 numaralı eksen doğrusal dikey eksenidir. Bu ekseninde sadece dikey hareket yapılabilmektedir. Bu özellik montaj robotlarında istenildiğinden dolayı, montaj robotlarının büyük bir kısmı aşağıya doğru dikey hareket yapar. Dikey eksen hareketleri koordinat hareket eksenleri içinde aşağıya doğru yapılan en çabuk ve düzgün hareketlerdir. 3 numaralı ekseninde robot kolunun erişebileceği uzaklık değiştirilebilir. 4 numaralı ekseninde ise dönen kol bileği hareket eder. Şekil II.37' de robotun çalışma alanına ait çizdiği hacim verilmiştir [15].

İki eklem yerinde elektrik motoru ve aşağı yukarı hareket edebilen pnömatik koldan oluşmuştur. Eklemlerdeki elektrik motorları eksenlerin kendi etrafında dönmesini sağlamaktadır. Tutucu ağzın bulunduğu kol pnömatik tahrikli olup Z ekseninde hareket etme kabiliyetine sahiptir. Buda robot kolay esnek hareket imkânı sağlamaktadır. Hız ve konum performansı çok iyi olduğundan dolayı bu robot kol en çok elektronik sanayinde, elektronik kartlara malzemelerin montajını gerçekleştirmek için kullanılmaktadır. Tutma ve taşıma işlerinde maliyetinin ucuz olmasından ve programlanmasının kolay olmasından dolayı şu anda sanayide en çok kullanılan robot olmuştur. Bu robot kol Şekil II.37' de çalışma alanı görüldüğü gibi, kolun altında bulunan parçaların taşınmasında kullanılır [12].



Şekil II.37 SCARA Robotun Çalışma Alanı [12].

### **II.2.6.Robot Tahrik Sistemleri**

Günümüzdeki modern yapıya ulaşmış robotlarda tahrik sistemi olarak genellikle AC servo motorlar kullanılırken, sanayide kullanılan birçok robot kolda, farklı tahrik sistemleri kullanılmaktadır. Aşağıda pnömatik, hidrolik ve elektrik tahrikten bahsedilecektir.

#### **II.2.6.1. Pnömatik Tahrik**

Birçok endüstriyel robotta tahrik sistemi olarak kullanılmakta olup, maliyetleri oldukça düşüktür. Ancak kontrolleri oldukça karmaşıktır. Basit yapılı robotlarda eksen hareketlerinin tahrikinde kullanılırken, gelişmiş robotların tutucu kısımlarının tahrik edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hemen hemen bütün fabrikalarda basınçlı havanın bulunması kullanımını yaygınlaştırmaktadır.

İlk zamanlarda çok kullanılan bir tahrik sistemi olmasına rağmen bazı vazgeçilemeyen alanlar dışında yerini diğer tahrik yöntemlerine bırakmaktadır. Büyük güçlü robotlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü hidrolik olarak elde edilen tahrik gücünü diğerlerinde elde etmemiz mümkün değildir. Dezavantajları yavaş çalışmaları ve bulundukları ortamı yağ sızdırmalarından dolayı kirletmeleridir.

#### **II.2.6.2. Elektrik Tahrik**

**DC Servo Motorlar:** Pozisyon ve hız kontrolünün geniş ölçülerde ve kolay yapılabilirdiği motorlar olduğu için kullanılmaktadırlar. Bakım masrafları ve kurulum masrafı diğerlerine göre çok daha fazladır. Bu sakıncalardan dolayı yerini giderek diğer elektrik motorlarına bırakmaktadır.

**AC Servo Motor:** Elektronik kontrolün gelişmesi ile birlikte bu motorlarda hız ve konum kontrolünde büyük ilerlemeler kaydedilmesi sonucu DC servo motorların yerini almaktadırlar. DC Servo motorlara göre daha ucuzdurlar, bakıma az ihtiyaç duyarlar ve sessiz çalışma özellikleri vardır.

**Step Motor:** Diğer motorlara göre sürücü ünitelerinin ucuz olmasından dolayı tercih edilirler. Diğer motorlara göre konum kontrolünde daha hassas kontrol sağlama olanağı vardır. Daha çok robot tutucularında kullanımı yaygındır.

## II.2.7.Robot Programlama

Robotların programlanmasında iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar öğretim yöntemi ve bir ara yüz programı ile programlamaktır. Basit yapıli robotların programlanması ara yüz programı ile yapılırken gelişmiş robotlar da uygulanabilen öğretim yöntemi programcıya büyük kolaylık sağlamaktadır.

### II.2.7.1.Öğretim Yöntemi

Robot sisteme ait her bir mafsalın ne zaman ve ne kadar hareket edeceği program İçerisinde belirtilir. Çok amaçlı robotlarda, genel sistem kontrol elemanı bilgisayardır. Bilgisayar kullanıcı tarafından girilen dijital bilgileri merkezi işlem biriminde (CPU) saklar.

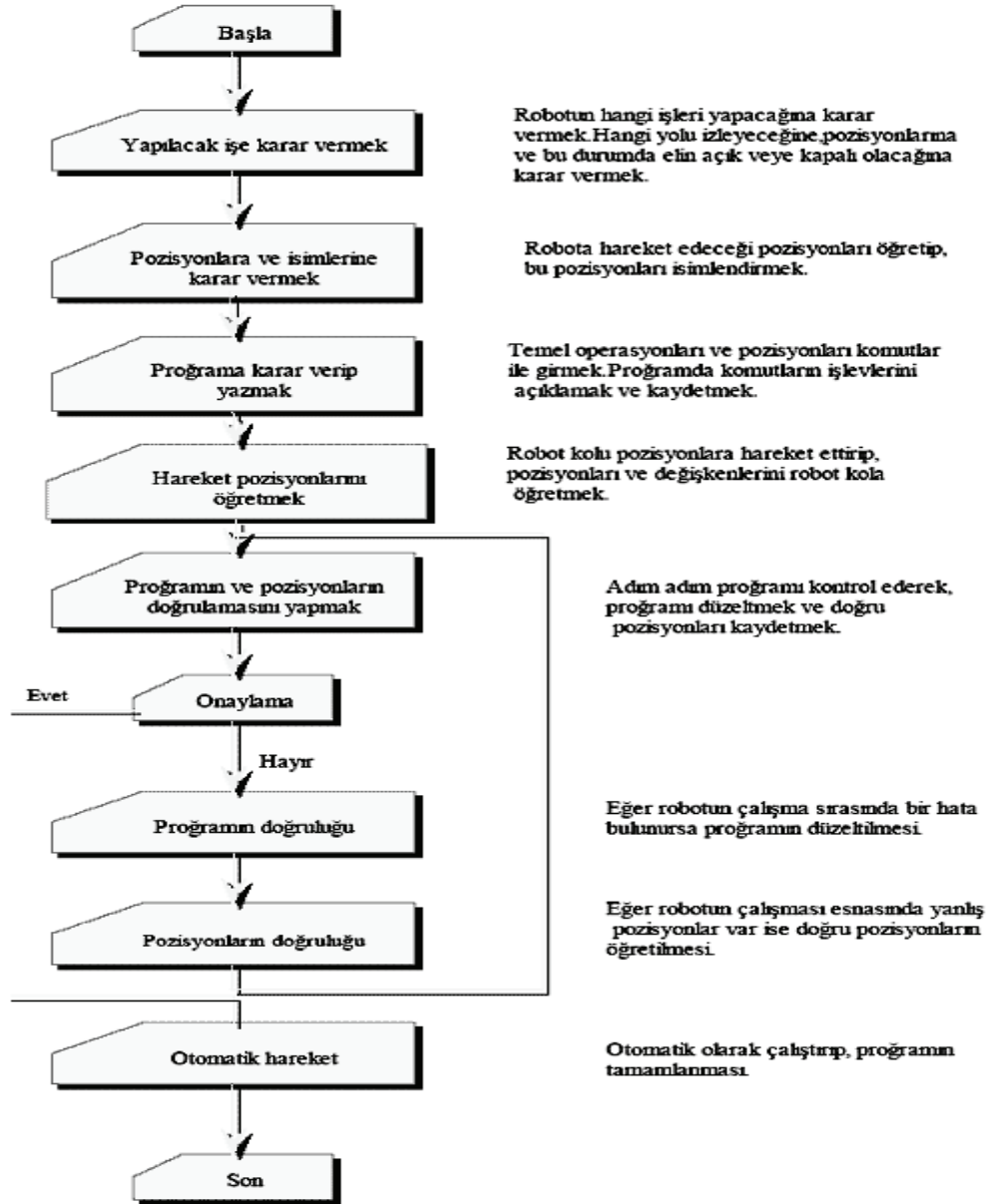
Bilgisayarın yanında bir öğretim panelinin de bulunduğu sistemlerde robot kolunun bazı işlevlerini yerine getirmek için mevcuttur. Robotun kolunu hareket ettirebilecek bir öğretim kutusu sayesinde robot istenilen noktaya hareket ettirilip bu pozisyonlar hafızaya alınabilir. Ayrıca öğretim kutusu üzerindeki menüler kullanılarak robot programlanabilir bilgisayarın bulunmadığı yerlerde robotun programlanması ve bütün işlevleri öğretim kutusu kontrolü ile sağlanır. Özellikle pozisyonların belirlenmesi işleminde büyük kolaylık sağlamaktadır. Parça hangi pozisyonlardan alınacak veya bırakılacak ise bu pozisyonlara gelip pozisyonun koordinatları direk olarak hafızaya alınır ve program içersinde kullanılabilir. Ayrıca robot kola ait bütün set değeri öğretim kutusu üzerinden yapılmaktadır. Robot ile kullanıcı arasındaki iletişimi sağlayarak kontrolü kolaylaştırmaktadır (Şekil II.38).



Şekil II.38 ABB Robotlarına Ait Robot Kolunun Hareketi İçin Kontrol Paneli [12].

### II.2.7.2.Ara Yüz Programı İle Programlama

Robotun kendine ait olan bir ara yüz programı ile robotun gerçekleştireceği işlem bilgisayar vasıtası ile programlanır ve robota yüklenir. Her firmanın geliştirmiş olduğu bir ara yüz programı bulunmaktadır. Bu programlarda kullanılan komutlar her marka robot için farklı olmaktadır. Robotun çalışma alanı içindeki hareket şekli, hızı, pozisyon belirleme işlemleri ara yüz programından gerçekleştirilebilir. Genel olarak bir robotun programlanması için izlenecek akış diyagramı aşağıda verilmiştir (Şekil II.39)[12].



Şekil II.39 Robot Programlama İşlem Basamakları [16].

### **II.2.8.Sensörler**

Sensörler çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptirler. Sensörlerin kısaca birkaç kullanım alanına bakacak olursak gelişen teknolojilerde ve dolayısıyla da robot teknolojisinde ne denli öneme sahip oldukları anlaşılabilecektir. Kullanıcıyla iletişim için bump, switchler sensörleri, mesafe ölçümleri için ultrasound sensörler, radarlar, ışık seviyesi algılama için fotoseller ve kameralar, ses algılaması için mikrofonlar, ısı algılaması için termal ve kızıl ötesi ışınları kullanan sensörler, devir sayımı için encoderler (kodlayıcılar), manyetizma ölçümleri için dijital pusula gibi. Aynı yada benzer özellikler birden fazla sensör tarafından ölçülebilir. Bu nedenle sensör kullanımında mümkün olan her alternatif incelenmelidir. Sensörler sisteme ham bilgi sağlarlar. Durum yâda sembol algılamazlar, sadece sinyal algılarlar. Bu sinyalin sistem için kullanışlı bir hale, yorumlanabilecek bir duruma çevrilmesi gerekir. Bu işler elektroniğin ve yazılımın konularıdır. Örneğin bir anahtarın açık yada kapalı olduğunu anlamak için devredeki gerilimin ölçülmesi gereklidir. Eğer bir sesin tanınması gerekiyorsa bir sinyal işleme yazılımının çalışması gereklidir. Eğer bir kameradan alınan resimdeki nesne tanınacaksa bir görüntü işleme yazılımının çalışması gereklidir. İşte bu tip programların çalışabilmesi içinde sistemin bir hafızaya sabit diske vs. sahip olması gerekmektedir. Bu yüzden sistemin kullanım amacına göre gereksinimler iyi bilinmelidir.

Fiziksel dünyanın mikroişlemcilerin (microcontroller) dünyasına çevrimi mikroişlemcilerin kullanacağı çıkış dizileri şeklinde yapılır. Yani sensör algılar mikroişlemcilere iletir. İşte mikroişlemcilerin işleyeceği bu işaretler iki ana gruba ayrılır. Bunlar dijital ve analog işaretlerdir. Çalıştıkları sinyallere göre doğal olarak sensörlerde iki çeşittir.

#### **II.2.8.1.Dijital Sensörler**

Dijital sensörler diskrit sinyaller üretirler. Bu değerlerin sınırlı sayıda olması anlamındadır. Değerler kesiklidir. Örneğin bir anahtar dijital sensördür ve iki değer üretir: açık yada kapalı. Tüm dijital sensörler sadece iki değer üretmezler. Mesela dijital pusulalar 360 farklı değer üretirler.

#### **II.2.8.2.Analog Sensörler**

Analog sensörler sürekli sinyal üretirler yani sinyaller arası aralık yoktur. İşaret fonksiyonunun grafiği süreklilik gösterir. Çevirmeli radyolarımızda kullandığımız

radio kanalının ayarlama düğmesi analog sensörlere örnektir. Bu analog sinyaller eğer mikroişlemciler tarafından işlenecekse mikroişlemcilerin doğası gereği dijital sinyallere çevrilerek kullanılırlar. Bu yüzden analogdan dijitale çeviren çeviricilere ihtiyaç vardır. Bu çevirme işlemi genelde bölümlleme (scaling) şeklinde yapılır.

### **II.2.8.3.Sensör Birleştirmesi**

Eğer gereken işlem için bir sensör çeşidi yoksa ya da erişilemiyorsa o zaman eldeki farklı tip sensörler bir biçimde birleştirilir. Sensörlerin farklı çıkışlar üretmeleri ve aralarındaki iletişimin sağlanması gibi zorluklardan ötürü ustalık isteyen bir iştir. Bu duruma en iyi örnek insan beyni olarak verilebilir. Beyine birçok sensörden (göz, kulak, burun, dil, deri) bilgi gelmekte; hepsi birbirinden ayrı yerlerde işlenerek karar verme mekanizmasına kaynak olarak sunulmaktadır.

### **II.2.8.4.Sensör Çeşitleri**

Sensörleri iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar pasif, sadece çevresinden gelen fiziksel özellikleri ölçen sensörler ve aktif, kendi üzerinde ölçüm yapan sensörlerdir.

#### **Pasif Sensörler**

**Switch Sensörleri:** Anahtarlar en basit sensörlerdir. Herhangi bir işlem olmadan elektronik bir devrenin üzerinde çalışırlar. Eğer anahtar açıksa devreden akım geçmez, tersinde geçer. Anahtar sensörlerin çeşitleri ve farklı kullanım alanları vardır.

**Kontak sensörleri:** Sensörün başka bir nesneye değip değmediğini algılar. Örneğin bir robotun duvara çarptığını anlamasında kullanılırlar. Bu sayede robot geri dönüp yoluna devam eder.

**Limit sensörleri:** Bir mekanizmanın maksimum yada minimum değere ulaştığını algılar. Robot kollarda bir nesneyi gerekenden fazla yada az sıkılamayı sağlayan sensörlerdir. Yaylı bir tuş dibe değdiğinde devre tamamlanır.

Anahtar sensörlere günlük hayattan örnekler vermek gerekirse fare ve klavye tuşları, telefon tuşları sayılabilir. Anahtar sensörler gayet basit yapılarına karşın oldukça etkili ve kullanışlı aygıtlardır.

**Işık sensörleri (fotocell):** Direnç mantığıyla çalışan sensörlerdir. Işığın değişimi sensörün direncini değiştirir ve bu değişiklik mikroişlemcilerle değişik bir

sinyal olarak yansır. Fotoselin direnci parlak ışıktaki düşük, karanlıkta yüksektir. Fotoseller ışık yoğunluğunun değişimiyle ölçüm yaparlar.

**Direnç sensörleri:** Işık sensörleri gibi direnç özellikleriyle algırlar. Bükülmeyi algılayan sensörler bu gruba girer. Genelde video oyunları için üretilen parçalarda kullanılırlar. Nintendo'nun powerglove'su buna örnek gösterilebilir.

**Potansiyometreler:** Bu aygıtlar genelde sesin ve tonun elle ayarlandığı durumlarda kullanılırlar. Potansiyometrenin bağlı bulunduğu düğmenin çevrilmesiyle direnç değişir. Ayarlı lambalar, radyo düğmeleri, müzik setlerindeki ses düğmeleri potansiyometrelere örnektir. Genelde robot sistemlerinin kontrol mekanizmasında, dönüş miktarının iletiminde kullanılırlar.

**Piezoelektrik Film Sensörleri:** Piezoelektrik film çok kullanışlı ve ucuz bir sensör materyalidir. Bu tip sensörler titreşim, uygulanan güç, sıcaklık, radyasyon değişimlerini algılamada kullanılırlar. Bu sensörler algılamaları istenilen değişkenin durumuna göre bir voltaj üretirler ve kontrol mekanizmasına bilgi sağlarlar.

### **Aktif Sensörler**

Bu tip sensörler bir emitter (yollayıcı) ve bir dedektör (alıcı)'den oluşurlar. Bu iki elemanın birbiriyle ilişkisine bağlı olarak iki farklı türü vardır:

**Reflektans sensörleri:** Emitter ve dedektör birbirlerinden bir bariyer ile ayrılmıştır. Objeler emitterden çıkan ışığı dedektöre yansıtınca algılanırlar. Break-Beam Sensörleri: Emitter ve dedektör birbirlerine yüzyüze bulunurlar. Objeler emitterden dedektöre yollanan ışığı kestiklerinde algılanırlar. Filmlerde elmasları korumak için kullanılan sensörler bunlara örnektir.

**Opto sensörler:** Emitör genelde bir light-emitting diyottur (LED). Dedektör ise fotodiyot yada fototransistördür. Fototransistörler fotoresistörlerden daha fazla duyarlılık sağlarlar. Fotodiyotlar oldukça geniş bir ışık yelpazesi için lineer sinyaller üretirler ve en ufak bir değişimi bile anında iletirler.

Optosensörler, resistif fotosellerle aynı teknolojiyi kullanmazlar. Resistif fotoseller basittir fakat yavaşlardır. Fotodiyotlar ve fototransistörler çok daha hızlıdır. Fototransistörlerin ve fotodiyotların kullanım yerlerine örnek olarak nesne varlığı algılama, nesne uzaklığı algılama, yüzey tipi algılama, sınır izleme, dönüş sayısı belirleme ve barkod teknolojileri sayılabilir.

Işık yansımaları renge bağlıdır. Parlak bir yüzey ışığı karanlık bir yüzeyden daha iyi yansıtır. Siyah bir yüzey üzerine gelen bir ışığı çok az yansıtır. Bu yüzden

karanlık bir objeyi belirlemek parlak bir objeyi belirlemekten çok daha zordur. Objelerin mesafelerini ölçmede bu özellikten dolayı parlak objeler daha uzakta olsalar bile karanlık objelerden daha yakında algılanacaklardır. Bu olay bize uygun araçlar kullanıldığında bile fiziksel dünyanın sadece bir parçasının algılanabileceğini göstermektedir.

Algılamadaki bir başka problem kaynağı da çevredeki ışıktır. Yani algılanmak istenen nesne hariç çevresinden yansıyan ışıktır. Bu problemi çözmenin en iyi yolu sensörün okuduğu değerden çevreden gelen ışığı çıkarmaktır. Bu emitör açıkken ve kapalı iken iki farklı okuma yapıp birbirinden çıkartılarak yapılır. Emitör kapalı iken yapılan okuma çevreden gelen ışığı ölçecektir. Bu işleme sensör kalibrasyonu denmektedir. Çevredeki ışık miktarı sürekli değişebileceğinden bu kalibrasyon işlemi de sürekli tekrarlanmalıdır.

#### **II.2.8.5.Sensörlerle Dönüş Belirleme Metodu**

Dönüş belirleyen sensörlerden olan speedometer bir aracın tekerleklerinin ne kadar hızlı olduğunu ölçer. Odometer ise tekerleklerin kaç kez döndüğünü ölçer.

Dönüşü belirleyebilmek için bir dönebilen parça monte edilir. Bir mil üzerine bir disk monte edilir ve diskin dış kenarlarına küçük çentikler atılır. Bir emitör ve dedektör diskin farklı taraflarına konur. Emitörden ışık sürekli olarak gönderilir. Emitörden çıkan ışık diskin sadece çentikli bölgesinden geçip dedektör tarafından okunur. Okuma sayıları tutularak hız ve çevrim ölçümleri yapılır.

Dönüş belirlemede bir başka yöntem de diski bir siyah, bir parlak boyamaktır. Karanlık bölgeler ışığı yansıtmayacak, parlak olanlar ise yansıtacaktır. Bu yöntemde emitör ve dedektör diskin aynı tarafında yer almaktadırlar.

Dönüş ölçen sensörlerde dedektörün ürettiği şey ışın miktarına bağlı olarak değişen bir dalga fonksiyonudur. Dalgaların tepe sayıları sayılarak kaç dönüş yapıldığı ve hız belirlenir.

**Hareket Yönü Belirleme Metodu:** Sadece hareketin hızının ölçümünün yeterli olmadığı durumlarda vardır (ör: bilgisayar fareleri). Yönü belirlemek içinse birbirine 90 derecelik pozisyonda bulunan iki sensör kullanılır. Yönü belirlemede bu iki sensörün detektöründen gelen bilgiler karşılaştırmalı olarak kullanılır. Sadece birinde değişim olmuşsa o yöne gidildiğine karar verilir. İki dedektörde de değişim varsa ikisinin arasında bir yöne dönüş sayısı fazla olana yakın bir yöne gidildiği

anlaşılır. Bilgisayar fareleri de bu metotla veri toplamaktadırlar. Bu metot yönün önemli olduğu tüm mekanizmalarda kullanılmaktadır.

**Infra Red (IR) Sensörler:** Frekans spektrumunun kızıl tarafında işlem gören bir tür ışık sensörlerdir. Aktif sensörlerdir. Emitörleri ve dedektörleri vardır. Dedektörleri görünmez bölgedeki 880 nanometre dalgaboyu civarındaki ışıklara duyarlıdır. Diğer ışık sensörleri gibi break beams veya reflektans prensibine göre çalışırlar. İnfrared sensörler çevresel ışıktan diğer ışıklara göre çok daha az etkilendiğinden kalibrasyonları çok daha başarılı ve güvenilirdir. Ayrıca IR iletişimi de yapılmaktadır. Module edilmiş infrared bilgileri seri bir hat üzerindeymişçesine haberleşme için kullanılmaktadır.

**Yakınlık Ölçen Sensörler:** Adından da anlaşılacağı gibi yakında bulunan nesnelerin algılanmasında kullanılırlar. Yakınlık sensörlerinin kullanılabilmesi için aşağıdaki özelliklerden birinin sağlanması gerekmektedir.

- Nesnenin doğası gereği sinyal göndermesi ( Ör: radyoaktif maddeler )
- Nesneye bir verici yerleştirilmesi
- Nesneye bir sinyalin gönderilip nesneden yansıyan sinyalin alınması

### **II.2.9. Robotların Uygulama Alanları**

Günümüz çalışma şartları ve rekabet ortamında, yapılan işin mükemmelliği ve kalitesi büyük önem kazanmış durumdadır. İşte bu şartlar altında robot kullanımıyla, kalite arttırılmakta, standart üretim sağlanmakta, işçilik ve malzeme giderleri azaltılmaktadır. Böylece robot sistemine sahip şirketlerin rakipleriyle arasındaki rekabet güçleri artmaktadır. Bunların yanında, robotlar insanları monoton ve ağır hacimli işlerden, kaynakhane ve boyahanenin zehirleyici etkili ortamlarından kurtarırlar. Dar alanlarda birçok işlemin yapılması imkânını tanırlar. Pek çok alanda üretime katkıları yadsınamayan robotlar, gelişimleri boyunca hep memnunlukla karşılanmamışlar, zaman zaman toplumsal çalkantılara da yol açmışlardır. Buna örnek olarak, otomatik dokuma tezgahlarının son yüzyılda neden olduğu işsizlik gösterilebilir. Ancak, her seferinde teknolojik gelişmenin hemen ardından gelen nesil daha iyi koşullarda çalışmış ve çalışma zamanını kısaltmak suretiyle, daha çok serbest zaman elde etmiştir. Son zamanlarda yapılan ve gelişmiş ülkeleri kapsayan bir araştırmaya göre son 130 yılda kişi başına üretkenlik yaklaşık 25 kat artmıştır. Bu üretkenlik artışının yarısı yani 13 kat kadarı fiziki ürün artışı, diğer yarısı da insanların çalışma sürelerinin yaklaşık yarı yarıya düşmesi şeklinde görülmüştür.

Fiziki ürün artışı ancak, otomasyon, anında üretim (just-in-time) ve esnek (flexible) üretim ile gerçekleştirilmektedir. Bugün yarı yarıya çalışıp 13 kat daha yüksek bir refah seviyesinde yaşamak da sadece sanayi devriminin getirdiği makineleşme, otomasyon ve günden güne artan robot kullanımı sayesinde gerçekleşmiştir.

Herhangi bir alanda robot kullanımının düşünülmesi aşağıdaki temel faktörlere bağlıdır [18];

1. Üretimde esneklik ve prodüktivitenin yükseltilmesi,
2. İnsan sağlığını tehdit eden bir tehlikenin bulunması,
3. İş gücünün zor bulunması ve pahalı olması; ayrıca insanların bu işleri yapmak istememesi,
4. Üretimde bozuk parça sayısının azaltılması ve malzeme tasarrufu,
5. Eğitim, hizmet, sağlık, güvenlik alanlarında çeşitli kolaylıkların sağlanması.

Esasında, insanoğlunun yaşamı boyunca yapması gereken her ayrı iş için ayrı bir robot tasarlamak mümkündür. Ancak tasarım ve imalinin son derece pahalı ve zahmetli oluşu bunun gerçekleşmesini mümkün kılmamaktadır. Bununla beraber bugün bazı alanlarda robot kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Robotların kullanıldığı alanların biz sadece mekanik üretimde kullanımına göre sınıflandıracakız. Daha farklı robot türleri de mevcuttur. Bu tür robotlar evlerde, eğitim, sağlıkta kısacası diğer hizmet uygulamalarının çoğunda yer bulmaktadır.

Robotlar döküm yolu ile biçimlendirme (özellikle pres dökümde), kaynak (özellikle nokta kaynağı, MIG/MAG, TIG ve plazma), sıcak dövme, spreyl boyama, paletleme, takım tezgahları yüklenmesi ve montaj hatlarında başarı ile kullanılmaktadırlar [18].

### **II.2.10.Kaynak Robotları**

Tüm ölçekteki üretici kuruluşlar bugünün uluslararası pazarında rekabet edebilir bir çizgi yakalamak için robota dayalı kaynak sistemlerini tercih etmektedirler. Bu tercihte olan üreticiler kaynak kalitesini, verimliliğini ve esnekliğini arttırmak ve müşterilerinin dinamik ihtiyaçlarını karşılamak gerektiğini fark etmektedirler [19].

Robot kullanılarak yapılan kaynak göz önüne alınırsa, bu sistem, kullanılan kaynak telinin 1.5 katı kadar tekrarlanabilir hassasiyette kaynak kalitesinde parçalar içerir. Parçalar bu aralıkta tekrarlanabilir değil ise dokunma sensörü (Touch Sensor) veya herhangi bir dikiş izleme sistemi (Seam Tracker) veya ark sensörü (Arc Sensor) gerekecektir. Ark sensörü yardımı ile sürekli kaynak çizgisini takip ederken çalışılan parçanın üretiminde meydana gelen hata, ısıl gerilme vs. bağlı olarak meydana gelebilecek sapmaları düzeltmek mümkün olur. Dokunma sensörü yardımı ile kaynak başlama noktası en iyi şekilde bulunabilir [20].

Robot sistemi seçiminde diğer bir önemli ön adım da doğru kaynak prosesini ve uygulama ekipmanını seçmektir. Kaynak prosesinin seçimi kaynak görünümünü, kaynak genişliğini, ilerleme hızını, üretim kapasitesini ve parça kalitesini etkileyecektir. Elle kaynak yapılan benzer prosesler bazen robot sistemi tarafından yapılamayabilir. Bir robot parçalar arasında ayarlama yapamazken kaynakçı yapabilir. Ve yine bir robot genellikle bir kaynakçıdan iki hatta dört kat hızlı şekilde kaynak yapabilecek ve sabit sonuçlar elde ederek çalışacaktır.

Sonuçta hangi tip parçaların robotlu kaynak sistemiyle kaynak edilmesi gerektiğine karar vermek gerekir. Eğer parça listeniz çok geniş olursa bu sizi çok yüksek maliyetli bir robotlu kaynak sistemine götürür. Bunun için verilen parça ailesi içinden anahtar parçalar üzerinde odaklanmaya çalışılmalıdır. Bu, üreticiyi, robot sisteminin alınmasındaki finansal ayarlama da rahatlatacaktır.

Sistemin baştan oluşturulan maliyeti ve sonradan basit sisteme eklenecek parçalarla oluşacak maliyeti arasında, finansal ömrü göz önünde bulundurularak bir optimum seçim yapmak gerekmektedir. Robot sistemi almaya karar vermek birçok faktöre bağlı olacaktır. Bunlar;

- a. Robot tecrübesi
- b. Eldeki insan gücü
- c. Eldeki bütçe
- d. Gerekli sistem performans seviyesi şeklindedir [21].

### **II.2.10.1.Robotlar ile Yapılan Kaynak Yöntemleri**

Başta nokta direnç kaynağı (punta kaynağı) olmak üzere, MIG/MAG, TIG ve plazma kaynak yöntemlerinde robotlar başarı ile kullanılmaktadırlar.

#### **Nokta Direnç Kaynağı**

Endüstride robotların ilk yaygın kullanım alanı, nokta kaynağıdır. Otomobil üretiminde bir binek arabaların yapımı için yaklaşık 700 adet preslenmiş ve kesilmiş parça ile 400 adet talaş kaldırılarak işlenmiş parça kullanılır. Bu parçalar civata, perçin, kıvrırma, lehimleme, yapıştırma ile birleştirilmelerinin yanı sıra daha çok kaynak yolu ile birbirlerine bağlanmaktadır. Toplam kaynaklar; yaklaşık olarak 5000 nokta kaynağından, 30 metre kadar ark kaynağından, 1 metre elektron ışın kaynağından ve 15 adet de sürtünme kaynağından oluşmaktadır.

Nokta direnç kaynağında kullanılan robotlar, prosesi gerçekleştirmek için bazı yetenek ve özelliklere sahip olmalıdır. Çalışma hacmi, parçanın boyutuna uygun olmalıdır. Robot, parça üzerinde ulaşılması güç olan yerlerde kaynak tabancasını konumlayabilmeli ve oryante edebilmelidir. Bu ise serbestlik derecesinin sayısının artması ihtiyacını doğurur. Kontrolör hafızası, nokta direnç kaynak döngüsü için gerekli birçok konumlama adımlarını gerçekleştirebilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Bazı uygulamalarda, kaynak hattı, birçok farklı model ürünün üretimi için tasarlanabilir. Böylece, modeller değiştiğinde, robotlar bir programdan diğerine geçebilmelidir. Çok yönlü robotların bulunduğu kaynak hatları için, çeşitli kaynak istasyonlarında değişik modellerin izlenebilmesi ve iş istasyonlarındaki robotlara programların yüklenebilmesi için programlanabilir kontrolör kullanılır.

Robotlar aracılığıyla gerçekleştirilen nokta direnç kaynağı prosesinin otomasyonundan elde edilen faydalar, artırılmış ürün kalitesi, operatör güvenliği ve imalat operasyonuna daha fazla hakim olunmasıdır. Kalitenin artması, kaynak dikişlerinin daha tutarlı olması ve kaynakların konumundaki tekrarlanabilirliğin daha iyi olmasındandır. Göreceli olarak çok iyi bir tekrarlanabilirliğe sahip olmayan robotlar bile insanlara nazaran nokta kaynaklarını daha doğru bir şekilde konumlandırabilirler. Elektriksel şok ve yanık tehlikelerinin bulunduğu çalışma alanından insanın uzak tutulması ile güvenlik artırılmış olur. Nokta direnç kaynağı prosesini otomize etmek için robotların kullanılması, üretim planlama ve proses içi envanter kontrolü gibi alanlarda gelişmelere neden olacaktır. Robotların ve kaynak

sisteminin bakımı, nokta direnç kaynağı hattının otomizasyonunun başarıyla gerçekleştirilmesi için önemli bir faktördür [22].

### **Ark Kaynağı**

Ergitme esaslı kaynak yöntemleri içinde, MIG/MAG ve TIG (Tungsten Inert Gas) yöntemlerinde robotlar çok kullanılmaktadırlar. Ancak ark kaynak yöntemlerinin uygulanmasında önemli teknik ve ekonomik problemlerle karşılaşmaktadır. Sürekli ark kaynağındaki tehlikeler yüzünden, proseste endüstriyel robotların kullanımı mantıklıdır. Bununla birlikte, robotların ark kaynağı için uygulanmasında karşılaşılan önemli teknik ve ekonomik problemler vardır. Sürekli ark kaynağı, düşük sayıda üretilen ve birçok komponentten oluşan ürünlerin imalatında sıklıkla kullanılır. Bu şartlar altında herhangi bir otomasyon şeklinin uygulanması zordur. Ark kaynağı, depoların içi, basınçlı kaplar ve gemi gövdeleri gibi ulaşmanın güç olduğu sıkışık alanlarda gerçekleştirildiği için bir problem teşkil eder. Bu tip alanlarda insanlar daha rahat çalışabilirler [20].

Endüstride kullanılan bir robotik ark kaynağı donanımı aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır.

1. Manipülatör (Robot kolu)
2. Kaynak torku
3. Güç ünitesi
4. Kontrol ünitesi
5. Tel sürme ünitesi
6. Tel kontrol ünitesi
7. Koruyucu gaz ünitesi
8. Öğretme (teaching) kutusu
9. Kaynak sinyal ünitesi
10. Manometre
11. Robot kontrol ünitesi
12. Kablo ve hortumlar
13. Pozisyoner

Robotlarda ağırlıklı olarak CO<sub>2</sub>, MIG, MAG ve TIG ark kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır. Bunların içinde de en çok uygulama alanı bulan yöntem MAG kaynağıdır. CO<sub>2</sub>, MIG ve MAG ark kaynağı yöntemleri eriyen elektrodla kaynak, TIG kaynağı ise erimeyen elektrodla koruyucu gaz altında ark kaynağı metodudur

[24]. Koruyucu gaz, CO<sub>2</sub> ark kaynağında karbondioksit, MIG kaynağında saf Argon, MAG kaynağında Argon-CO<sub>2</sub> karışımı, TIG kaynağında saf Argon gazıdır [25].

#### **II.2.10.2.Kaynak Robotunun Çalışma Prensibi ve Özellikleri**

Kaynak robotu genel amaçlı olarak üretilmiş 6 eklemlili bir robottur. Robotun 6 tane eksenli bulunmaktadır. Bu eksenlerden 1.2.3. eksenler temel eksenlerdir. 4.5.6. eksenler ise kol eksenlerdir. Kaynak robotu kaynak tüpü, kaynağı yapan kısım, kumanda paneli, güç kaynağı, ana kontrol birimi, sıfırlamaların yapıldığı panel kısımlarından meydana gelmektedir. Burada inceleyeceğimiz robot kaynak yapmak amaçlı kullanılan KRC1 modelidir. Bu robot M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Mekatronik Eğitimi Bölümü'nde eğitim amaçlı olarak kullanılmaktadır. (Şekil II.40)

**Şekil II.40** Kaynak Robotu Hücresi [21].

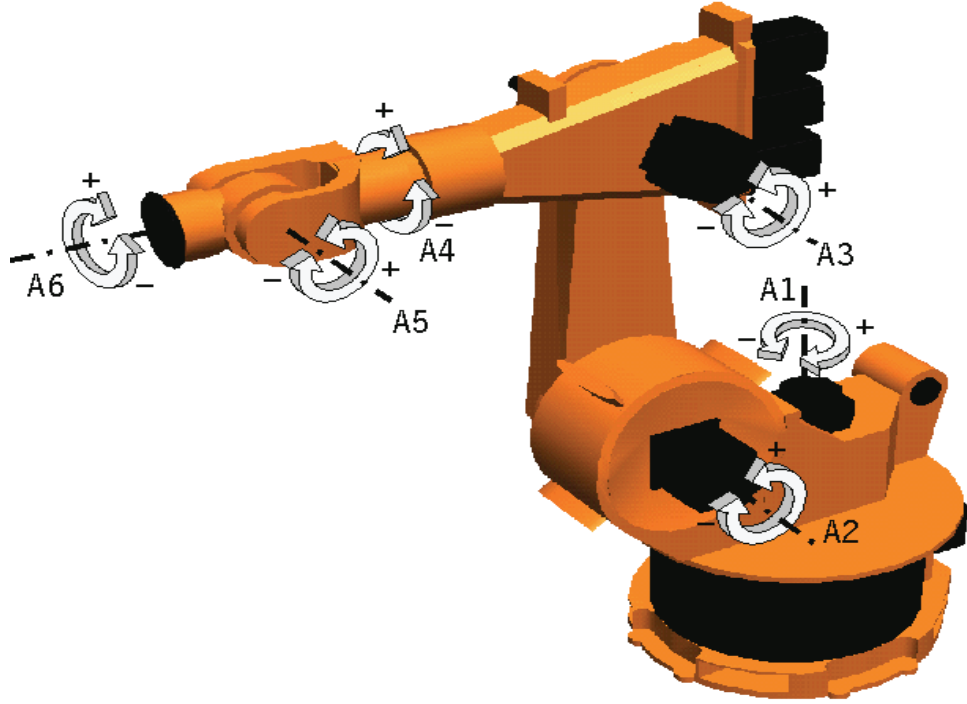


Bu bölümdeki robotun kendisi sanayi tip, ancak çevre birimleri eğitim amaçlı olarak düzenlenmiş birimlerdir. Robot, elektrik ark kaynağı ve gaz altı kaynak yapabilmektedir. Robotun teknik özellikleri Tablo II.4'te verilmiştir.

**Tablo II.4** Kaynak Robotunun Teknik Özellikleri [21]

|                          |                          |                 |
|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| Toplam Taşıma Kapasitesi |                          | 30 kg           |
| Hassasiyeti              |                          | $\pm 0,1$ mm    |
| Robotun Toplam Ağırlığı  |                          | 270 kg          |
| Eklem Sayısı             |                          | 6               |
| Eklem 1 (Dönme Hareketi) | Hareket Edebilme Açısı   | $\pm 155^\circ$ |
|                          | Maksimum Hareket Hızı    | 151°/s          |
| Eklem 2 (Dönme Hareketi) | Hareket Edebilme Açısı   | +100° / -55°    |
|                          | Maksimum Hareket Hızı    | 151°/s          |
| Eklem 3 (Dönme Hareketi) | Hareket Edebilme Açısı   | +70° / -220°    |
|                          | Maksimum Hareket Hızı    | 151°/s          |
| Eklem 4 (Dönme Hareketi) | Hareket Edebilme Açısı   | $\pm 350^\circ$ |
|                          | Maksimum Hareket Hızı    | 300°/s          |
| Eklem 5 (Dönme Hareketi) | Hareket Edebilme Açısına | $\pm 135^\circ$ |
|                          | Maksimum Hareket Hızı    | 200°/s          |
| Eklem 6 (Dönme Hareketi) | Hareket Edebilme Açısı   | $\pm 350^\circ$ |
|                          | Maksimum Hareket Hızı    | 300°/s          |

Robotun profilden görünüşü, eklemlerin yerleri ve hareket yönleri Şekil II.41’de gösterilmiştir. Bu kontrol panelinde bulunan butonların açıklamaları aşağıda verilmiştir.



Şekil II.41 Robotun Eksenleri İle Birlikte Bağlantı Kısımları [21].

Robotun kontrolü için Şekil II.42’ de gösterilen kontrol paneli kullanılmaktadır.

- **6 Eksenli Elle Kontrol:** Bu kısmı elimizle ne tarafa hareket ettirsek kaynak robotu da o tarafa doğru hareket etmektedir.
- **Acil Stop:** Kaynak Robotunda acil bir durum olduğunda bu basılmaktadır.
- **Açma:** Kaynak Robotunun açılması için kullanılır.
- **Kapama:** Kaynak Robotunun kapatılması için kullanılır.
- **Operasyon Modu:** Kaynak Robotu ile çalışılırken elle ve otomatik olarak çalışmayı ve elle çalışmada çalışma hızı ayarlanmaktadır.
- **Programdan Çıkış:** Kaynak Robotunda bir parçaya kaynak yapılması için bir program yazılması gerekir. Bu programdan Esc tuşuyla çıkılır.
- **Pencere Değiştirme:** Çalışılmakta olan pencerenin değiştirilmesi için kullanılır.
- **Program Sonlandırma:** Geliştirilmiş olan programda çalışılırken hangi satırda olunursa olsun programın sona erdirilmesi için kullanılır.
- **Programı Baştan Çalıştırma:** Geliştirilmiş olan programı baştaki satırdan başlayarak sona doğru işlemleri yapması sağlanmaktadır.

- **Programı Sondan Başlatma:** Geliştirilmiş olan sonundaki satırdan başlayarak programın geriye doğru çalışmasıdır.

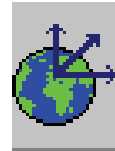


Şekil II.42 Robotun Programlama Paneli [21].

Kaynak robotunun koordinat sistemleri aşağıda gösterilmektedir.



Robotun kendi eksenleri doğrultusunda hareket etmesi



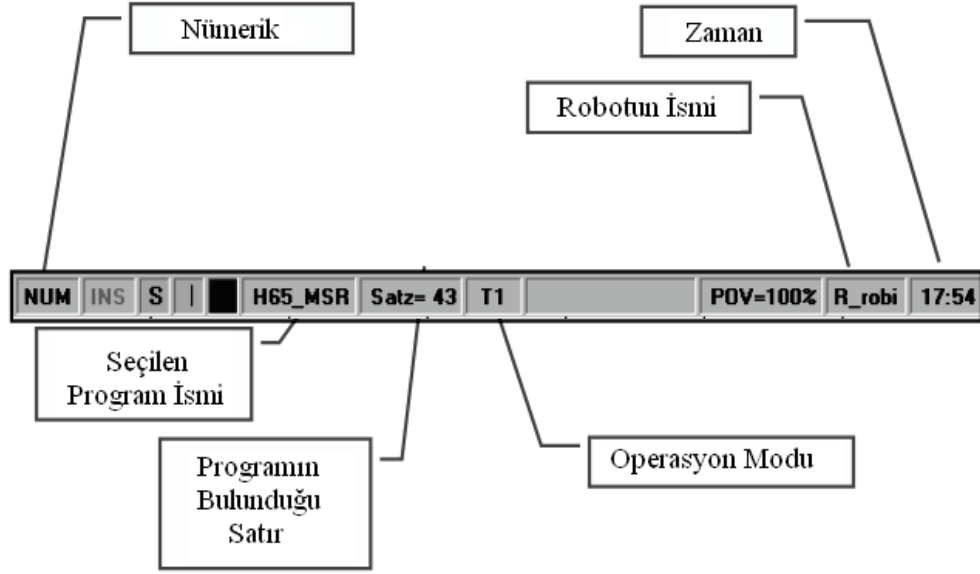
Robotun sıfırlanmış noktasına göre hareket etmesi



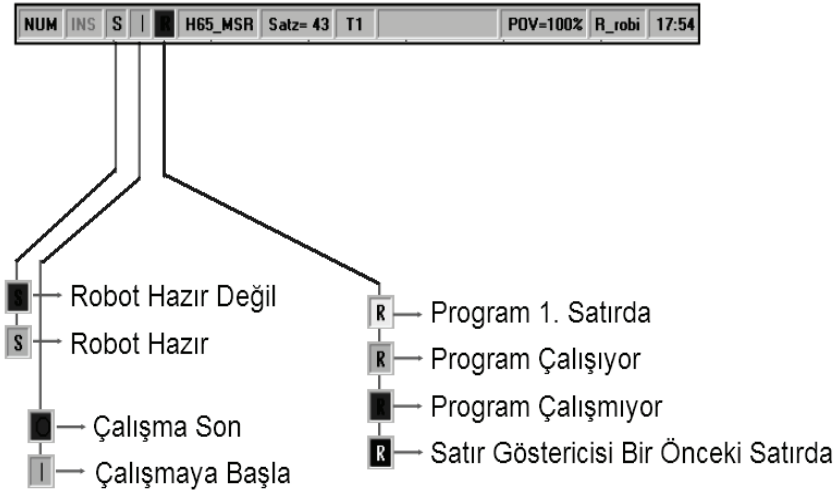
İş parçasını referans alarak robotun hareket etmesi



Robotun ucundaki kaynak yapan kısmını referans alarak hareket etmesi



(a)



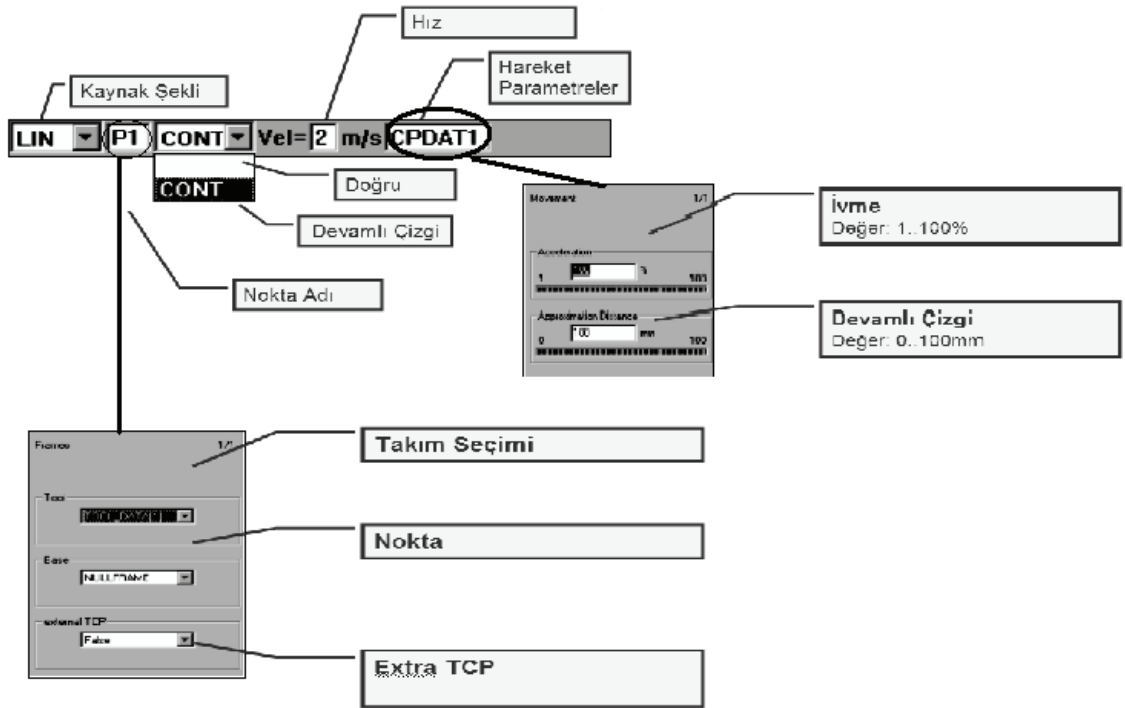
(b)

Şekil II.43 Kaynak Robotunun Durum Çubuğu [21].

Şekil II.43a’da kaynak robotunun kontrolünde kullanılan kullanıcı ara yüzünün alt kısmında bulunan kaynak robotunu durum çubuğu gösterilmektedir. Operasyon modu olarak belirtilen kaynak robotunun elle ya da otomatik kontrol edildiği gösterilmektedir. Programın bulunduğu satır ise seçili olan programda hangi satırda olduğu gösterilmektedir. Durum çubuğunun Şekil II.43b’de 'S' ile gösterilen sembolü kaynak robotunun kaynak yapmaya hazır olup olmadığını göstermektedir. Eğer rengi kırmızı ise kaynak robotunun giriş kapısı kapalı, kaynak robotu teli bitmiş olabilir, acil stop butonu basılı olabilir. Yeşil yanıyorsa kaynak yapmaya hazırdır.

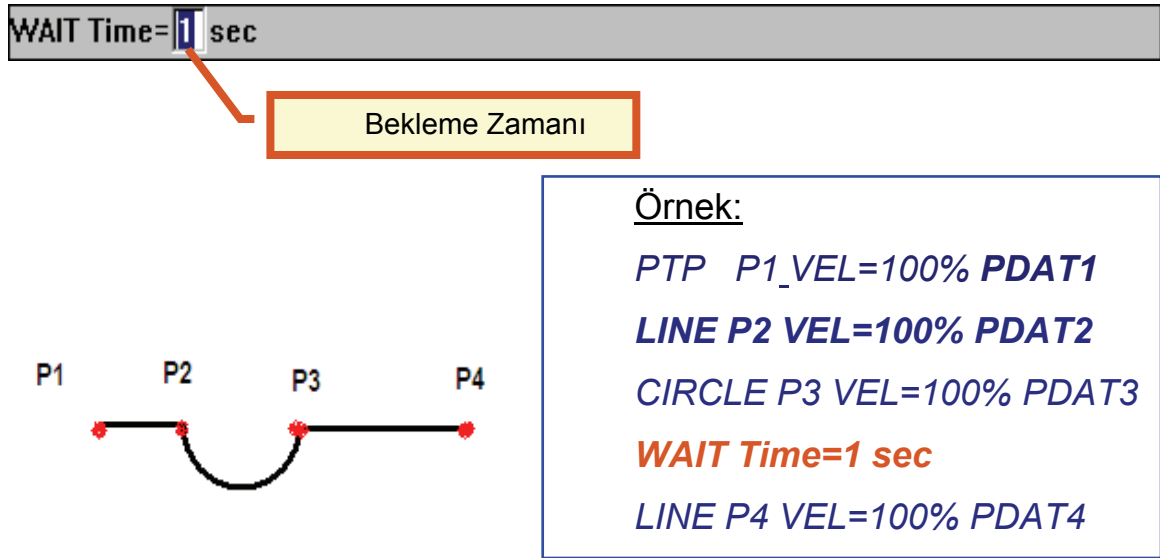
Kırmızı 'O' varsa hazırlanan programın sonlandırılması sağlanır. Yeşil 'I' varsa kaynak robotu kaynak yapmaya başlıyordur. 'R' sarı gösteriyorsa geliştirilen programın birinci satırında olduğunu gösterir. Yeşil yanıyorsa programın çalışmaya hazır olduğunu göstermektedir. Eğer kırmızı yanıyorsa programın yazılımında bir problem olduğunu göstermektedir.

Kaynak robotunda programlama yapılırken Şekil II.44'te kullanıcı ara yüzü kullanılır. Kaynak Şekil II.43'de kaynak ucunun düz, dairesel ya da sıfırlama noktasından belirtilen başka bir noktaya hareketinin nasıl olacağı seçilmektedir. Nokta adı Şekil II.44'te gösterildiği gibi kaynağın başlayacağı noktayı göstermektedir. Aynı şekilde diğer noktalarda seçilmektedir. Buna tıklandığında aşağı kısımda kullanıcı ara yüzü de çıkmaktadır. Buradan takım seçimi, noktada ise kaynak robotunu elle kontrol ederek kaynak ucunun geçeceği noktalar tanıtılır. Başka bir referans noktası seçilmek istenirse Ekstra TCP den seçilir [24].



Şekil II.44 Kaynak Robotunun Programlanması [21].

Hız bölümünde kaynak ucunun kaynak yaparken hangi hızda hareket edeceği seçilir. Hareket parametrelerine tıklandığında aşağı kısımda gösterilen kullanıcı ara yüzü açılır buradan gerekli değişiklikler yapılır.



Şekil II.45 Kaynak Robotu Program Satırları [21].

Şekil II.45'in birinci satırda gösterildiği gibi kaynak robotu ucu sıfırlama noktasından kaynak yapılacak kısma hareket etmektedir. İkinci satırda kaynağın P1 noktasından başlayarak P2 noktasına kadar yapılacağı gösterilmektedir. Robotun ucunun LINE komutu ile doğrusal düz çizgi şeklinde hareket etmesi sağlanmaktadır. 3. satırda robotun P2 den P3 noktasına CIRCLE komutu ile dairesel olarak gittiği gösterilmektedir. P3 noktasında 1 sn beklenmektedir. P3 noktasından P4 noktasına doğrusal hareket yapılmaktadır. Kaynak edilen kaynak yeri Şekil II.44'deki gibidir.

### II.2.11.Kaynak Robotlarının Endüstriyel Önemi

Kaynak robotları esneklikleri sayesinde üretiminde kaynak uygulanan ve üretim miktarı belli bir sayının üstünde olan her çeşit ürün için kullanılabilir. Örneğin; aynı robot bir otomobil fabrikasında karoseri yapımında, ev aletleri fabrikasında ise buzdolabı ve çamaşır makinesi üretiminde kullanılabilir. Robot kullanımı ile işin kalitesi geliştirilebildiği gibi üretim hızı da büyük çapta artmaktadır. Şekil II.46'de kaynak robotlarının sanayide kullanımı ile ilgili bir örnek gösterilmektedir.



**Şekil II.46** Kaynak Robotunun Sanayide Kullanımı [21].

Elle yapılan kaynak, kaynakçı için oldukça yorucu bir iştir, konforsuz çalışma koşullarında çok iyi el ve göz eşgüdümüne ihtiyaç vardır. Kaynakçı kısa sürede yorulmakta ve bu da kaynak kalitesine yansımaktadır; bir robot ise yorulmaz. Genellikle seri üretim yapan işletmelerde her istasyonda iki kaynakçı birden bulunur. Biri kaynak yaparken diğeri hazır bekler. Robot kullanılması halinde bu çalışanlardan birisine duyulan gereksinim ortadan kalkar [21].

## BÖLÜM III

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Kaynaklı birleştirmelerde klasik yöntemlerde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi, kaynak parametrelerinin kaynak işlemi süresince aynı değerleri koruyamaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde robotların kaynak işlerinde kullanılması ile bu sorun büyük ölçüde aşılmıştır. Kaynak robotları, bir kaynaklı birleştirmenin başından sonuna kadar aynı parametrelerle kaynak işlemini gerçekleştirdiği için otomasyon işlemlerinde klasik yöntemlere göre daha verimlidir.

Kaynağın kalitesi (hatasız oluşu) düzgün kaynak parametrelerinin uygulanmasına bağlıdır. Klasik kaynak yöntemlerinde, kaynak parametreleri (akım, gerilim, hız, salınım gibi) istek dışı olarak değişim gösterir ve buda kaynak hatalarını beraberinde getirir. Bu çalışmayla robotların düzgün ve sabit parametreleri uygulama yönleri ile değişik kaynak parametreleri kullanılarak, kaynak robotlarında optimum gazaltı kaynak parametreleri araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar endüstriye çok önemli katkı sağlayacaktır. Çünkü bu uygulamalar zaten endüstride kullanılmaktadır. Ancak bu parametreler her endüstri kuruluşunda deneme yanılma yoluyla tespit edilmeye çalışılmakta ve yazılı hiçbir kaynakta yer almamaktadır. Ayrıca bu çalışmada endüstride en çok kullanılan alaşımsız ve az alaşımlı çelik malzeme seçilmiştir. Endüstriye bu açıdan da en fazla verimin sunulması hedeflenmektedir.

Bu çalışmanın sonuçları Türk endüstrisine, yazılı kaynak olarak sunulacaktır. Özellikle bu yönü ile endüstriye büyük katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

### III.1. Deneyde Kullanılan Sarf Malzemeler

Çalışmamızda kullanılan malzemeler DIN normuna göre seçilmiştir. Çelik malzeme olarak; St 37 alaşımsız çelik malzeme, ilave metal olarak SG 2 tipi kaynak elektrodu, koruyucu gaz olarak % 95 Argon ve % 5 O<sub>2</sub> karışımı gazlar kullanarak birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

#### III.1.1. St 37 Alaşımsız Çelik Malzeme

St 37 çelik malzeme, endüstrinin hemen her kolunda kullanılabilen yüksek mukavemetli ve düşük alaşımlı bir yapıya sahiptir. Kolay işlenebilme, düşük maliyet ve kaynaklı birleştirmeye son derece elverişli bir malzemedir. Bu malzemeye ait kimyasal kompozisyon Tablo III.1’ de gösterilmiştir [8].

**Tablo III.1** St 37 Çelik Malzemenin Kimyasal Kompozisyonu [8].

| Malzeme | Kimyasal Bileşim (%) |      |      |       |      |
|---------|----------------------|------|------|-------|------|
|         | C                    | P    | S    | N     | Fe   |
| St 37   | 0,20                 | 0,05 | 0,05 | 0,007 | 99,7 |

#### III.1.2.SG–2 Kaynak Elektrodu

Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelik malzemelerin kaynaklı birleştirme işlemlerinde DIN 8559 normuna göre SG-2 kaynak elektrodları kullanılır. SG-2 kaynak elektrodunun kimyasal bileşimi Tablo III.2’ de gösterilmiştir.

SG 2, depolama tankı, otomobil ve kamyon karoserisi, tarım ekipmanları, yapı çelikleri ve karbonlu çeliklerden yapılacak konstrüksiyonlar gibi universal uygulamalara uygun, üzeri bakır kaplı yumuşak çelik tel elektrodur. Sıçramasız metal geçişi ve güçlü dezoksidasyon elementlerinin içeriği ile Argonca zengin karışım gazlar veya sadece CO<sub>2</sub> gazı ile mükemmel kaynak edilebilirlik sağlar [26].

**Tablo III.2** Kaynak Elektrodunun Kimyasal Kompozisyonu [26].

| Elektrod | Kimyasal Bileşim (%) |         |         |        |        |       |
|----------|----------------------|---------|---------|--------|--------|-------|
|          | C                    | Mn      | Si      | P      | S      | Cu    |
| SG-2     | 0.07-0.10            | 1.4-1.6 | 0.7-1.0 | <0.025 | <0.025 | <0.30 |

**Tablo III.3** Kaynak Elektrodunun Seçimi [27].

| Elektrod | Elektrod Çapı (mm) | Akım Şiddeti (A) | Gerilim (V) |
|----------|--------------------|------------------|-------------|
| SG-2     | 0.80               | 60-180           | 18-24       |
|          | 1.00               | 80-290           | 18-30       |
|          | 1.20               | 120-380          | 18-35       |
|          | 1.60               | 220-480          | 28-40       |
|          | DC (+)             |                  |             |

**Tablo III.4** Kaynak Elektrodunun Mekanik Özellikleri [27].

| Elektrod | Mekanik Özellikleri                  |                                       |                          |         |
|----------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------|
| SG-2     | Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> ) | Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> ) | Darbe Enerjisi ISO-V (J) | % Uzama |
|          | 450                                  | 550                                   | 80(-20C)                 | 28      |

### III.2. Kaynaklı Birleştirme İşlemi

Kaynaklı birleştirme işleminde, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesinde bulunan KUKA marka KRC-1 model 6 eksenli kaynak robotu kullanılarak küt alın formunda her bir kaynak parametresinden en az 3 adet numune kaynak edilmiş ve optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir. Belirlenmeye çalışılan parametreler; gerilim, akım şiddeti, ilerleme hızı ve tel besleme hızıdır. Bunun için yaklaşık 60 uygulama yapılmıştır. Kaynak uygulanmış 19 adet numunenin mekanik deneyleri, mikrosertlik dağılımı ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerden optimum parametreler belirlenmiştir.

### III.3. Mekanik Deneyler

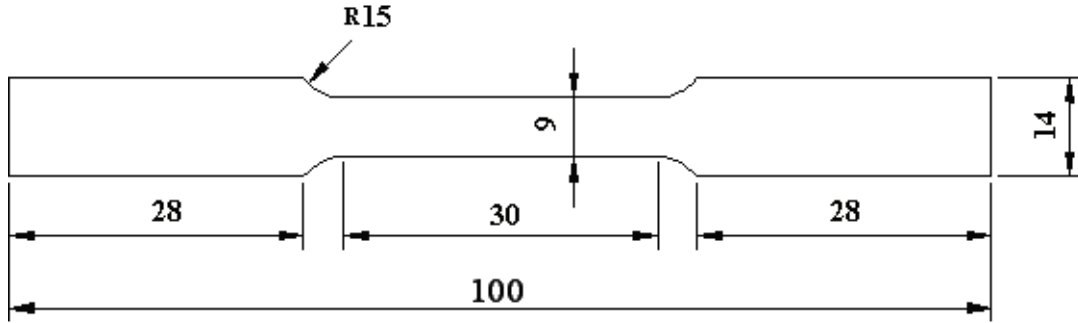
Gazaltı ark kaynağı ile birleştirilen St 37 çelik levhaların birleştirme mukavemeti ile ilgili bilgi edinebilmek amacıyla çekme ve eğme testleri uygulanmıştır. Şekil III.1’de çekme ve eğme deneyi yapılan ALŞA marka universal tip çekme deney cihazı gösterilmiştir.



Şekil III.1 ALŞA Marka Üniversal Tip Çekme ve Eğme Cihazı

### III.3.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi için ALŞA marka üniversal tip çekme deney cihazı kullanılmış olup, çekme hızı olarak  $0,2 \text{ mms}^{-1}$  seçilmiştir. Çekme deneyi Şekil III.2’ de gösterildiği ölçülerde ASTM E8 standardına göre yapılmıştır.

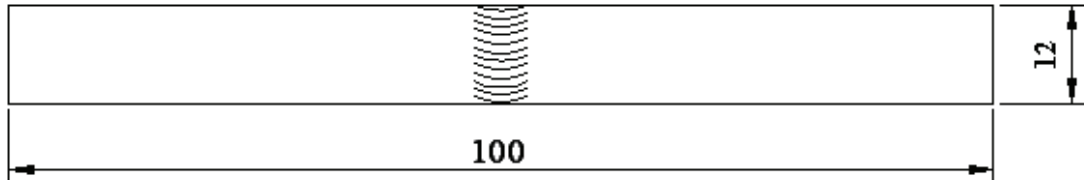


Şekil III.2 Çekme Deney Numunesinin Geometrik Şekli ve Boyutları

### III.3.2. Eğme Deneyi

St 37 çelik levhaların eğme deney numuneleri TS 282 EN 910 standardında belirtilen ölçülerde hazırlanmıştır. Şekil III.3’ de eğme deney numunesinin geometrik şekli ve ebatları gösterilmektedir. Eğme deneyleri Şekil III.2’de gösterilen ALŞA marka üniversal tip cihazda yapılmıştır.

Şekil III.3 Eğme Deney Numunesinin Geometrik Şekli ve Boyutları



### III.3.4. Vickers Mikrosertlik Deneyleri

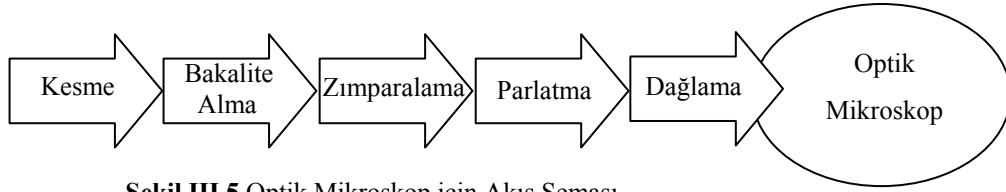
Sertlik ölçümleri, Vickers sertlik ölçüm test metodu kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler 1’er mm aralıklarla 30 sn’ lik bir süre ve 200 gr yük kullanılarak M tipi Schimadzu marka mikro sertlik cihazında elmas piramit uç kullanılarak mikrosertlik değerleri tespit edilmiştir. Sertlik alınan bölgeler, Şekil III.4’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil III.4. Vickers Sertlik Değerlerinin Alındığı Bölgeler

### III.3.5. Metalografik Deney Numunelerinin Hazırlanması

Mikro yapı incelemeleri için, kaynak kesitinden kesilen numuneler soğuk kalıplama (bakalite alma) sonrası 180–1200 ve 2500 numaralı zımparalar kullanılmıştır. Zımparalanan yüzeyler özel çuhalarda elmas pasta ile parlatıldıktan sonra % 5 Nital dağlama reaktifi ile dağlandıktan sonra optik mikroskop altında farklı büyütmelerde incelenen numunelerin mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir. Aşağıdaki Şekil III.5’te optik mikro yapı için akış şeması gösterilmiştir.



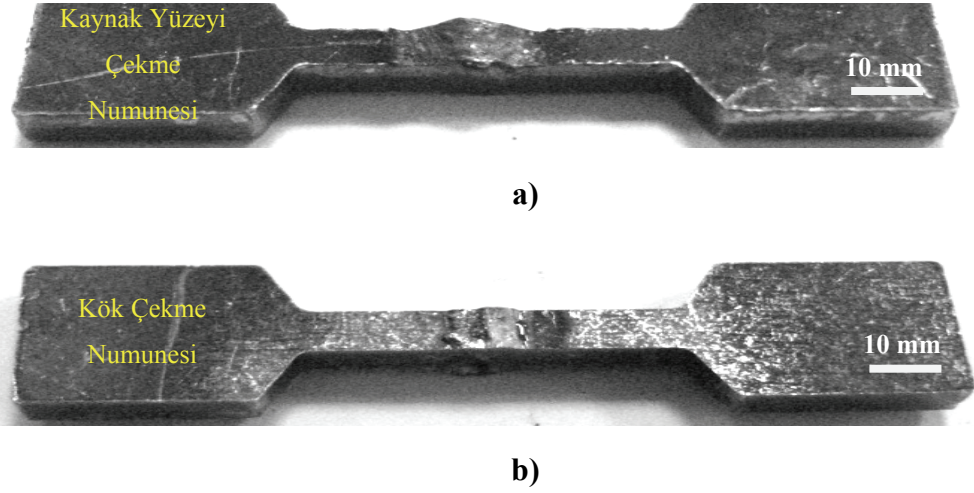
Şekil III.5 Optik Mikroskop için Akış Şeması

# BÖLÜM IV

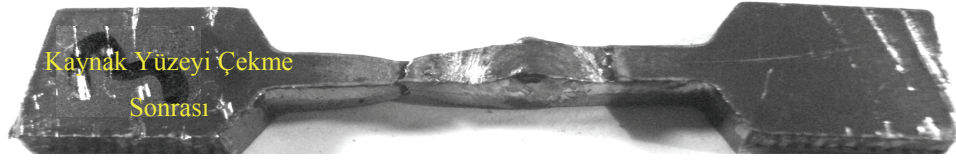
## DENEYSEL SONUÇLAR

### IV.1.Çekme Deneyi Sonuçları

Ana metalin çekme deneyi sonucunda çekme mukavemeti  $38,8 \text{ kg/mm}^2$  olarak saptanmıştır. Aşağıdaki şekillerde olduğu gibi ASTM E8 standardına uygun olarak çekme deney numuneleri hazırlanmış (Şekil IV.1a-b) ve çekme sonrası kaynak yüzeyi ile kök kısmının görüntüsü Şekil IV.2’de gösterilmiştir.



Şekil IV.1 Kaynak Yüzeyi ve Kök Kısmı Çekme Numuneleri



a)



b)

**Şekil IV.2** Çekme Deneyi Sonrası Görünümler

St 37 çeliğinin robotik gazaltı kaynağı sonrası yapılan çekme deneylerinde en iyi mukavemet değeri olarak, %107 lik kaynak performansı ve 41,6 kg/mm<sup>2</sup> çekme mukavemet değeri elde edilmiştir. Farklı kaynak parametreleri kullanılarak yapılan kaynaklı birleştirmelerden elde edilen sonuçlar Tablo IV.1' de gösterilmiştir.

Kaynak performansı, kaynaklı bölgeden alınan çekme mukavemeti değerinin, ana metalden alınan çekme mukavemeti değerine oranıdır.

**Tablo IV.1** Çekme Deneyi Sonuçları

| <b>Kaynak Parametreleri</b>                                                               | <b>Çekme Mukavemeti (kg/mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Kaynak Performansı (%)</b> | <b>Kopma Bölgesi</b>                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|
| Ana Metal                                                                                 | 38,8                                        | 100                           | -                                       |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak.   | 41,6                                        | 107                           | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.    |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak.   | 38,8                                        | 100                           | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.    |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,8 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 36,02                                       | 92,8                          | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.    |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,8 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 33,54                                       | 86,44                         | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.    |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,6 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 34,72                                       | 89,48                         | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.    |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,6 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 30,19                                       | 77,8                          | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.    |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,5 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 31,94                                       | 82,3                          | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.    |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,5 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 29,21                                       | 75,28                         | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.    |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,4 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 21,2                                        | 54,5                          | Kopma, kaynak metalden gerçekleşmiştir. |

**Tablo IV.1** Çekme Deneyi Sonuçları

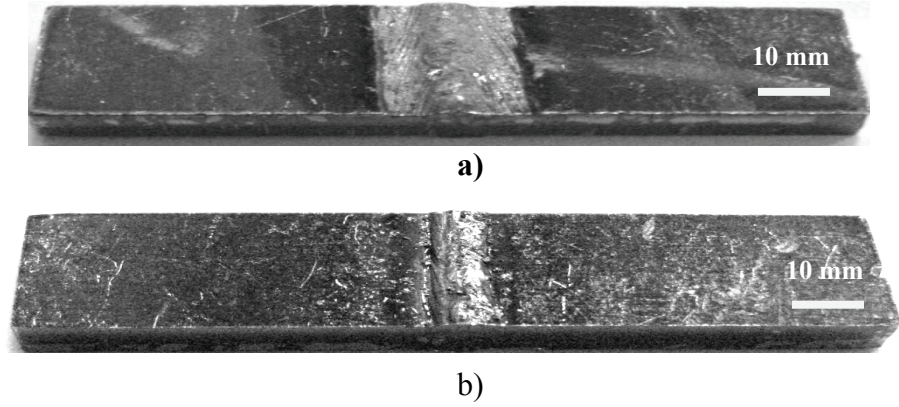
| <b>Kaynak Parametreleri</b>                                                               | <b>Çekme Mukavemeti (kg/mm<sup>2</sup>)</b> | <b>Kaynak Performansı (%)</b> | <b>Kopma Bölgesi</b>                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
| Ana Metal                                                                                 | 38,8                                        | 100                           | -                                         |
| Akım: 250 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,4 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 16,46                                       | 42,42                         | Kopma, kaynak metalinden gerçekleşmiştir. |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,5 m/dak.   | 36,88                                       | 95,05                         | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.      |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,5 m/dak.   | 33,38                                       | 86                            | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.      |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak.   | 37,16                                       | 95,77                         | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.      |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak.   | 35,3                                        | 90,98                         | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.      |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,8 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 36,02                                       | 93,48                         | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.      |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,8 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 36,27                                       | 93,48                         | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.      |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,6 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 34,72                                       | 89,5                          | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.      |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,6 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 28,13                                       | 72,5                          | Kopma, ana metalden gerçekleşmiştir.      |

**Tablo IV.1** Çekme Deneyi Sonuçları

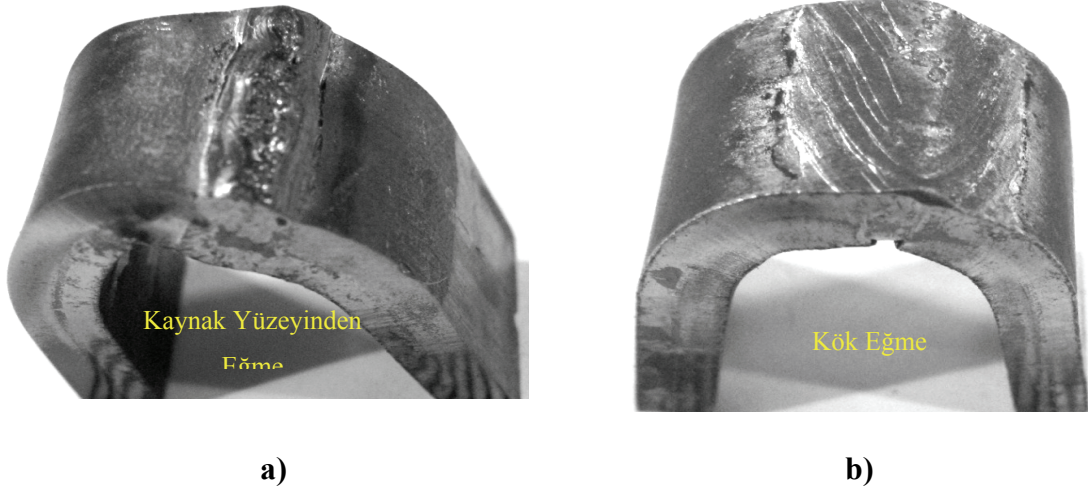
| Kaynak Parametreleri                                                                      | Çekme Mukavemeti (kg/mm <sup>2</sup> ) | Kaynak Performansı (%) | Kopma Bölgesi                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------|
| Ana Metal                                                                                 | 38,8                                   | 100                    | -                                         |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 22 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,4 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 12,6                                   | 32,74                  | Kopma, kaynak metalinden gerçekleşmiştir. |
| Akım: 260 A<br>Gerilim: 20 V<br>Tel Besleme Hızı: 0,4 m/dak.<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | 10,86                                  | 27,9                   | Kopma, kaynak metalinden gerçekleşmiştir. |

#### IV.2.Eğme Deneyi Sonuçları

TS 282 EN 910 standardına göre hazırlanan eğme numuneleri Şekil IV.3'te gösterilmiştir. Şekil IV.4'te ise eğme sonrası oluşan şekil değişimi gösterilmiştir.



**Şekil IV.3** Eğme Numuneleri



**Şekil IV.4** Eğme Deneyi Sonrası Numune Görüntüleri

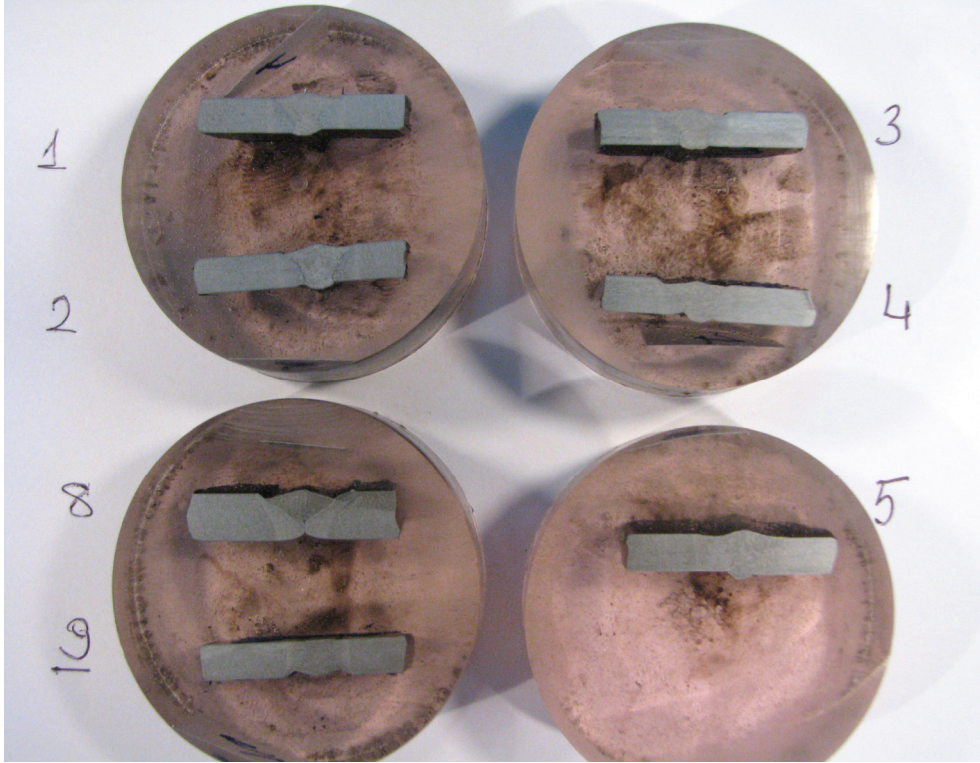
**Tablo IV.2** Eğme Deneyi Sonuçları

| <b>Kaynak Parametreleri</b>                 |                                            | <b>Değerlendirme</b>                                    |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.   | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.   | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,8 m/dak. | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,8 m/dak. | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak bölgesinde kırılma Meydana<br>Gelmiştir          |
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,6 m/dak. | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,6 m/dak. | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,5 m/dak. | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,5 m/dak. | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,4 m/dak. | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak bölgesinde kırılma Meydana<br>Gelmiştir          |
| Akım: 250 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,4 m/dak. | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesinde Hasar Meydana<br>Gelmiştir            |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.   | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,5 m/dak. | Kaynak Bölgesinde Hasar Meydana<br>Gelmiştir            |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.   | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,5 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.   | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 1 m/dak.   | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,8 m/dak. | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesi ve ITAB' ta Hasar<br>Meydana Gelmemiştir |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,8 m/dak. | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesinde Hasar Meydana<br>Gelmiştir            |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,6 m/dak. | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesinde Hasar Meydana<br>Gelmiştir            |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,6 m/dak. | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesinde Hasar Meydana<br>Gelmiştir            |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,4 m/dak. | Gerilim: 22 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesinde Hasar Meydana<br>Gelmiştir            |
| Akım: 260 A<br>Tel Besleme Hızı: 0,4 m/dak. | Gerilim: 20 V<br>İlerleme Hızı: 0,4 m/dak. | Kaynak Bölgesinde Hasar Meydana<br>Gelmiştir.           |

### IV.3. Metalografik İncelemeler

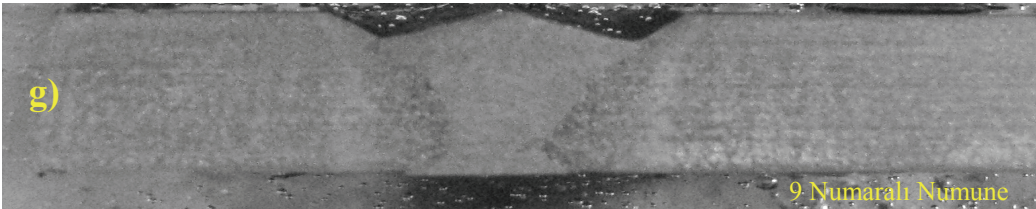
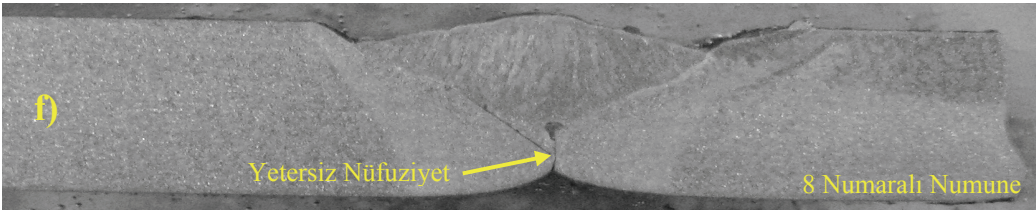
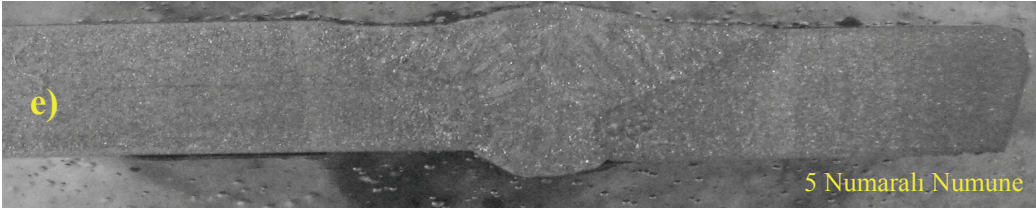
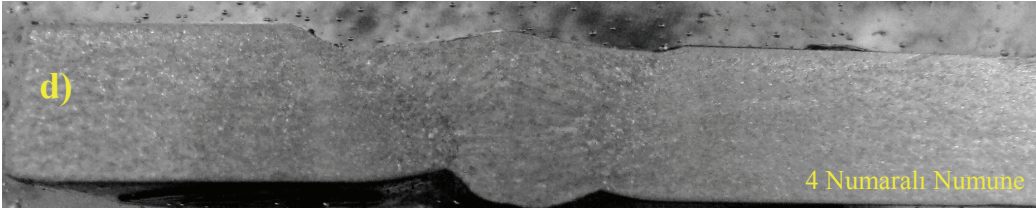
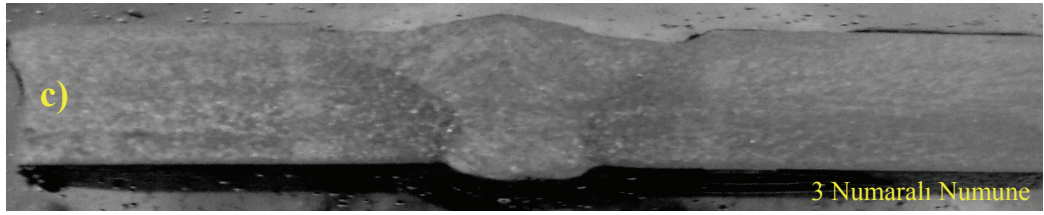
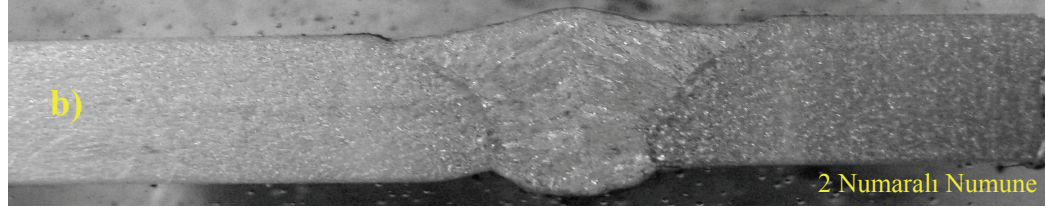
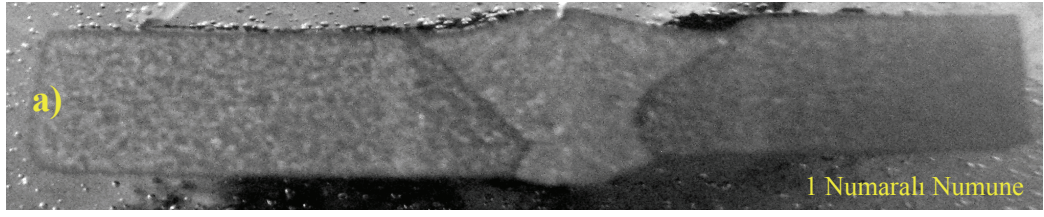
#### IV.3.1. Makroyapı

Değişik kaynak parametrelerinden alınan 7 adet numune kesitinin makroyapı incelemesi % 5 Nital dağlama reaktifi kullanılarak yapılmıştır (Şekil IV.5).



Şekil IV.5 Makroyapı Görüntüleri.

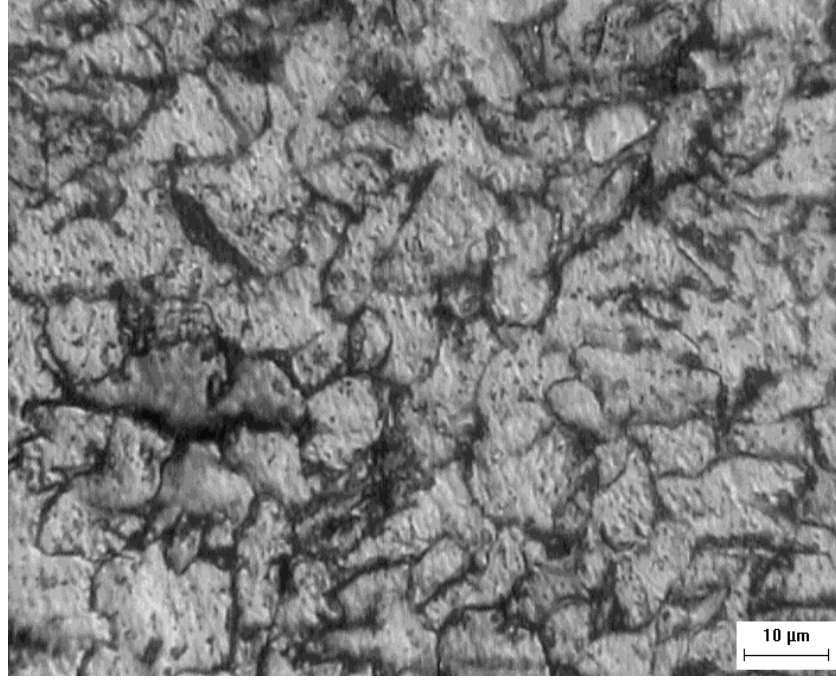
Şekil IV.6’ da makroyapı incelemeleri yapılan numunelere ait kesit görüntüleri gösterilmiştir. Şekil IV.6f’ de parametrelerin uygun olmamasından dolayı yetersiz nüfuziyet oluşmuştur.



Şekil IV.6 Makroyapı Kesit Görüntüleri

#### IV.3.2. Mikroyapı İncelemeleri

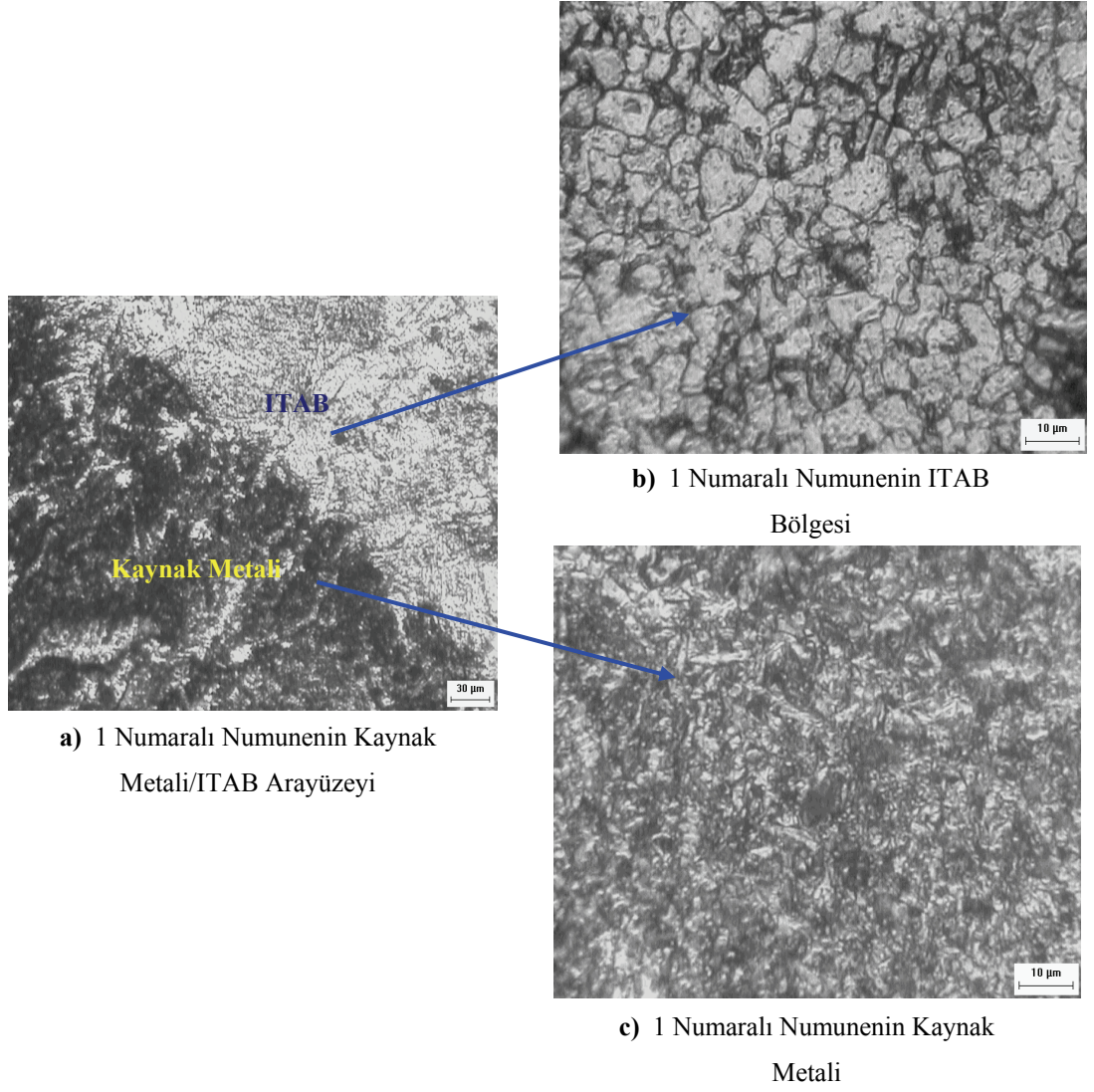
Mikroyapı incelemeleri yapılan numunelerin literatüre uygun olarak üç farklı bölge tespit edilmiştir. Bu bölgeler; Kaynak metali, ITAB ve ana metaldir [31]. Bu üç bölgeden alınan optik mikroskop görüntüleri numune sırasına göre gösterilmiştir.



Şekil IV.7 Ana Metalin Mikroyapı Görüntüsü

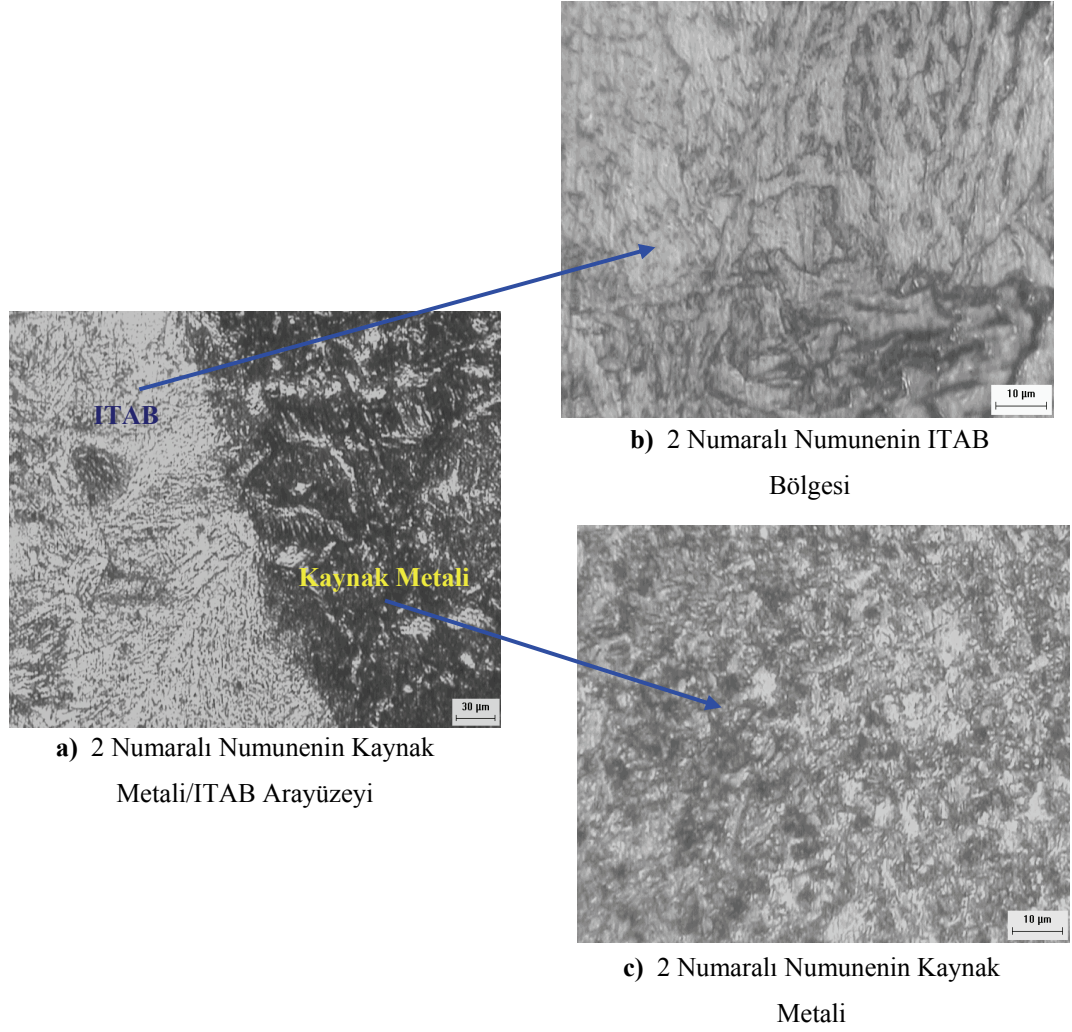
Ana metalin tane boyutunda homojen bir dağılım söz konusudur. Şekil IV.7’de ortalama tane boyutunun 10 mikron civarında olduğu görülmektedir.

Şekil IV.8' de 1 numaralı numuneden alınan mikroyapı görüntüleri verilmektedir.



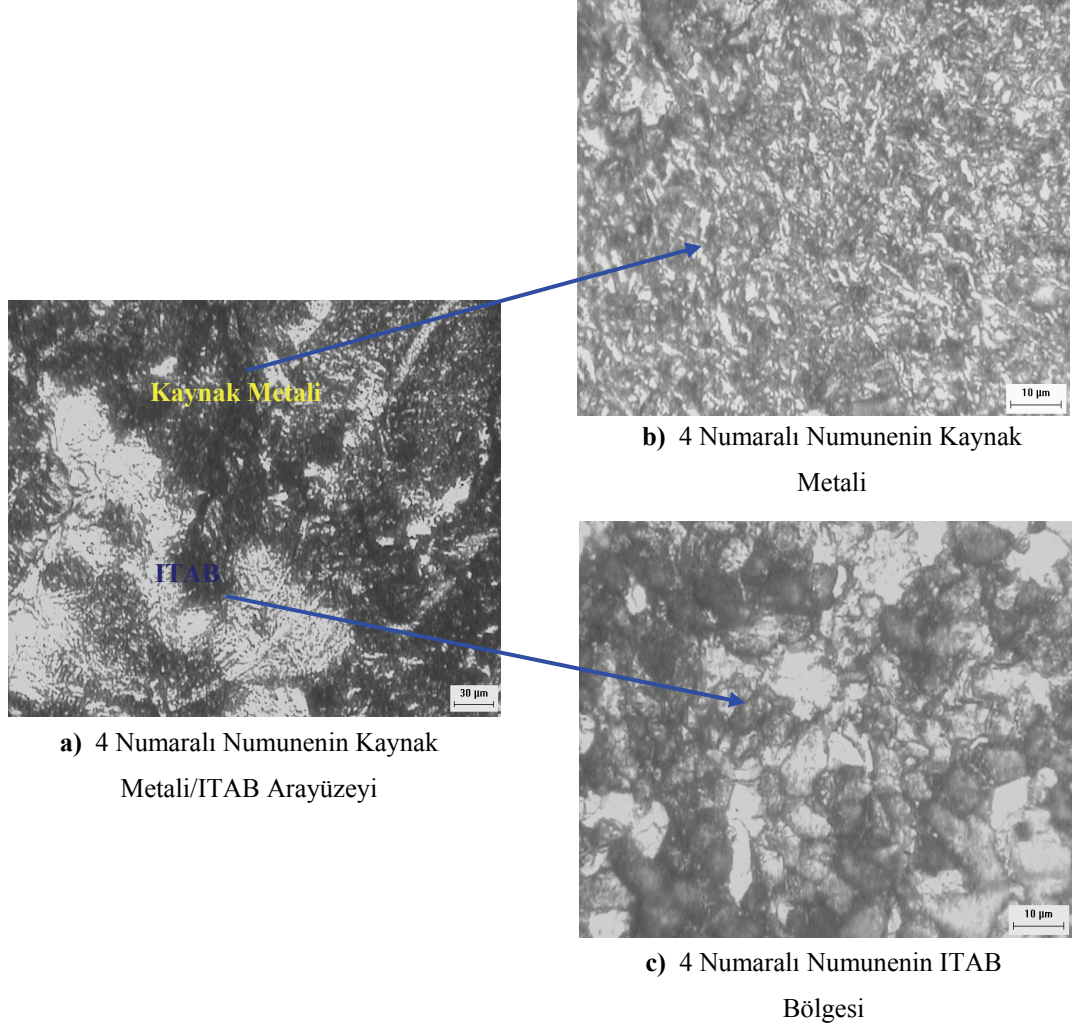
Şekil IV.8 1 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri

Şekil IV.9' de 2 numaralı numuneden alınan mikroyapı görüntüleri verilmektedir.



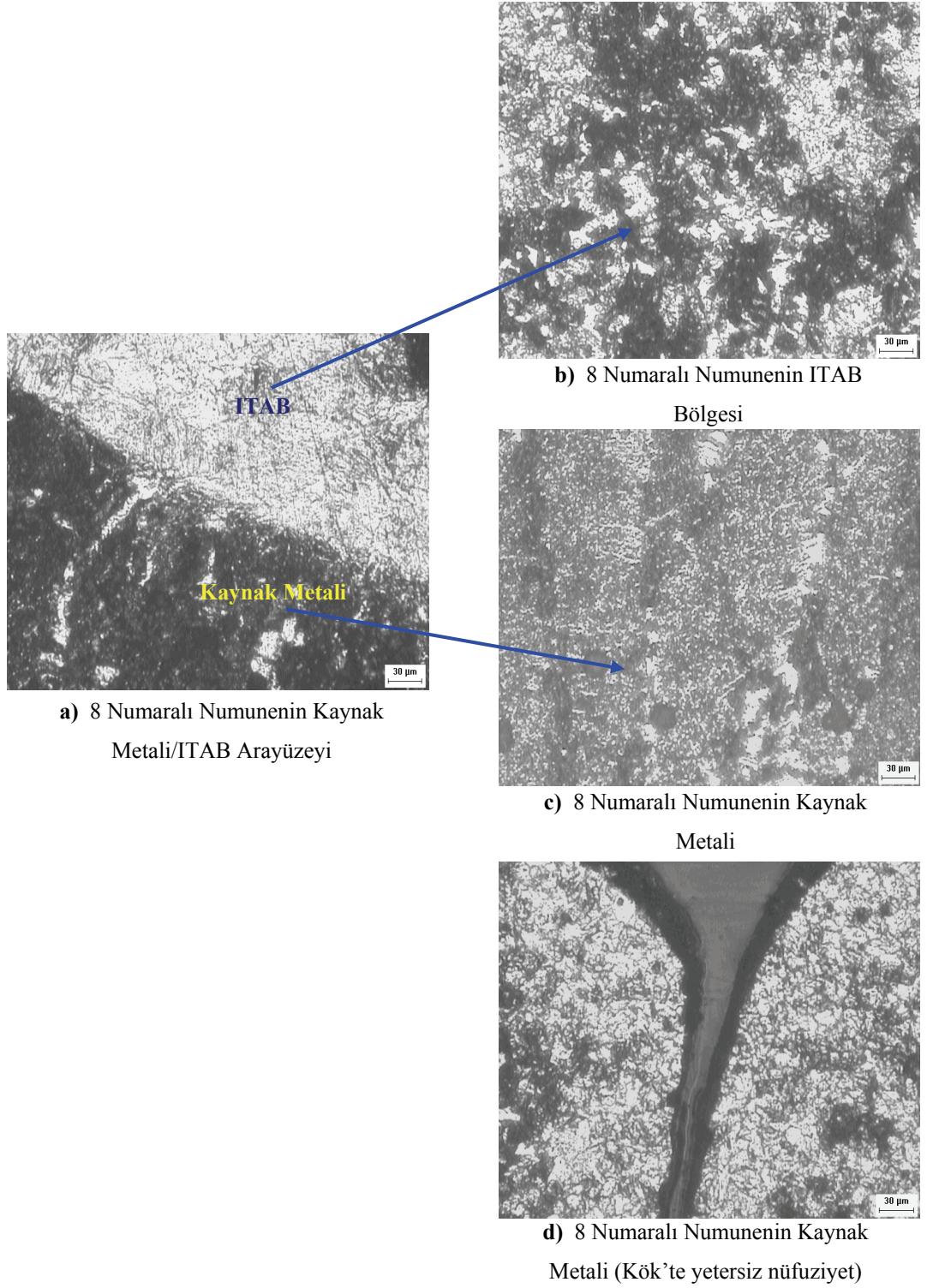
**Şekil IV.9** 2 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri

Şekil IV.10'de 4 numaralı numuneden alınan mikroyapı görüntüleri verilmektedir.



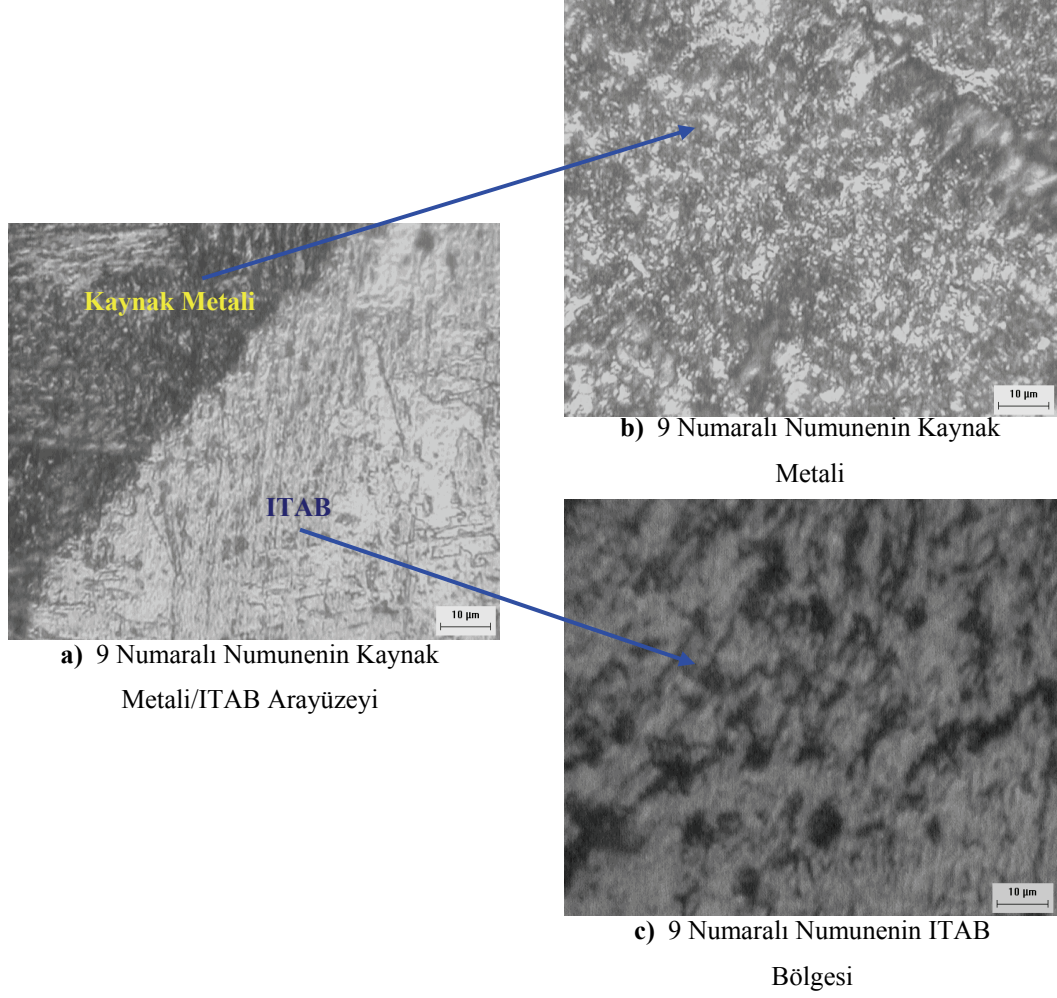
**Şekil IV.10** 4 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri

Şekil IV.11’de 8 numaralı numuneden alınan mikroyapı görüntüleri verilmektedir.



Şekil IV.11 8 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri

Şekil IV.12' de 9 numaralı numuneden alınan mikroyapı görüntüleri verilmektedir.

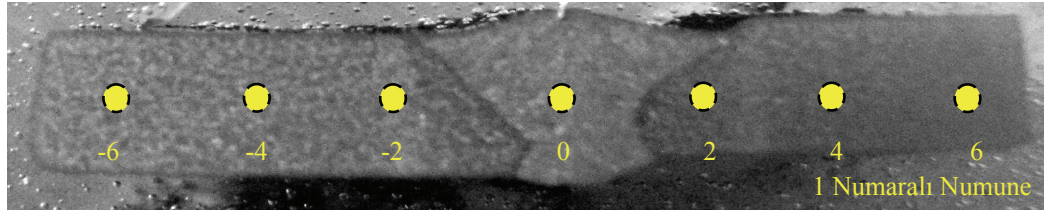


**Şekil IV.12** 9 Numaralı Numuneden Alınan Mikroyapı Görüntüleri

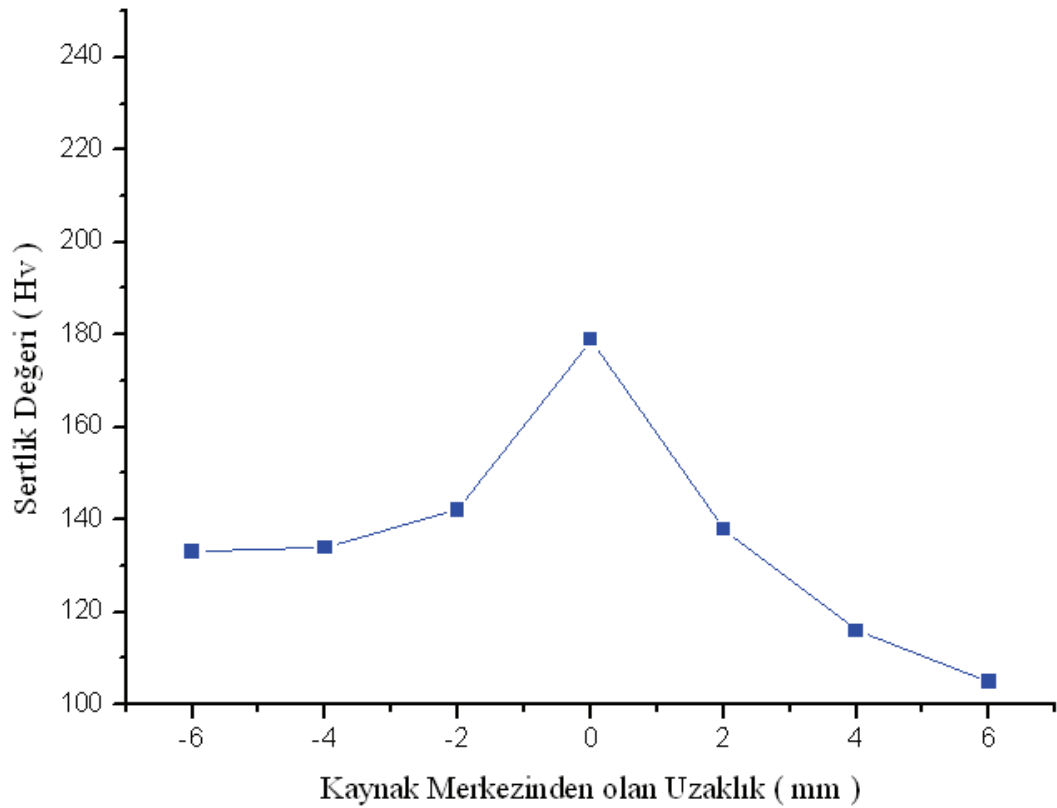
### IV.3.3. Sertlik Ölçme İncelemesi

Aşağıda ki şekillerde bazı numunelerin sertlik diyagramları gösterilmiştir. Bu diyagramlardan da anlaşılacağı gibi kaynak metalinden ana malzemeye doğru gidildikçe sertlik değerlerinde bir düşüş söz konusudur. Buda bize kaynak metalinin ana metale oranla daha sert bir yapıya sahip olduğunu gösteriyor. Genellikle ITAB bölgesinde tespit edilen sertlik değerleri ana metalin sertlik değerlerine yakındır. Bu kaynak esnasında oluşan ısı girdisinin istenilen seviyelerde olduğunu gösterir.

Şekil IV.13' te 1 numaralı numunenin sertlik alınan bölgeleri ve Şekil IV.14'te de bu bölgelere ait sertlik diyagramı gösterilmiştir.

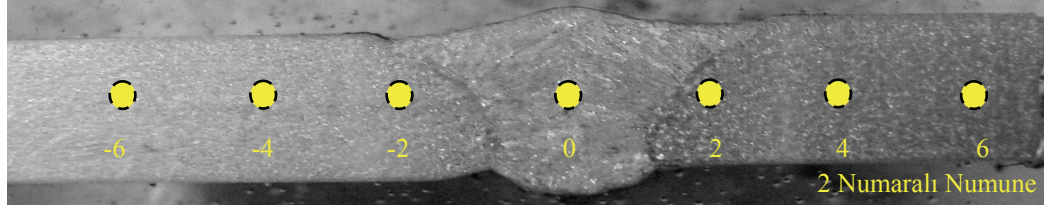


Şekil IV.13 1 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri

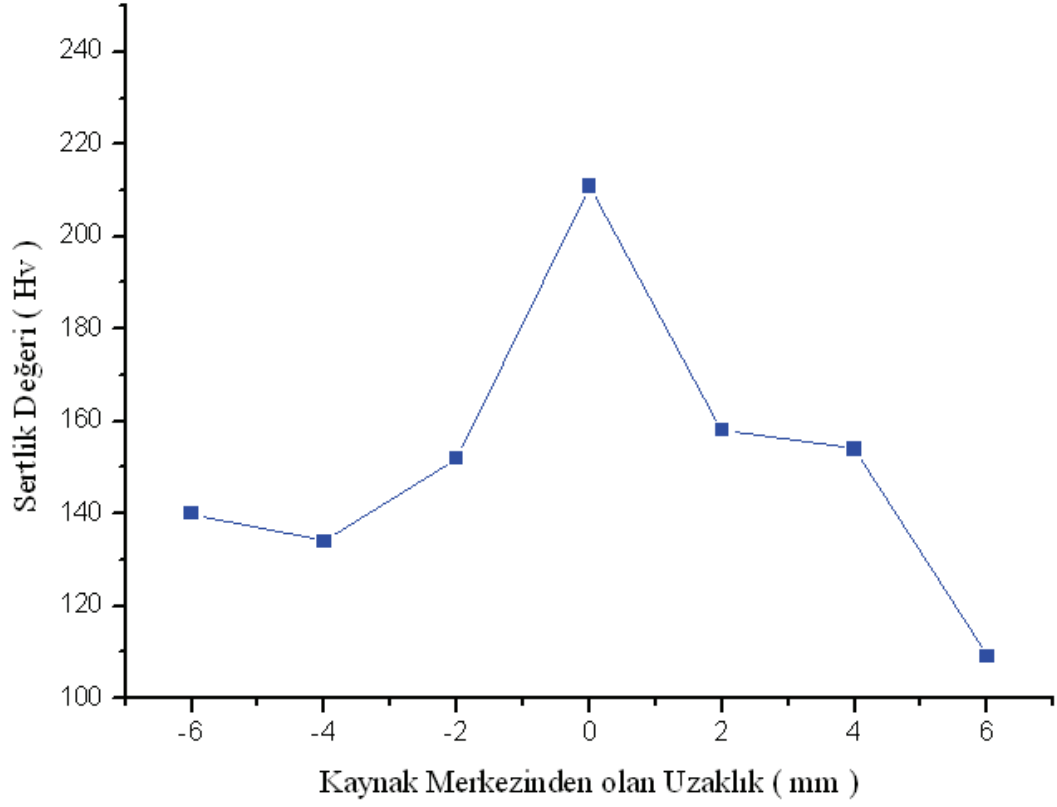


Şekil IV.14 1 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı

Şekil IV.15’ te 2 numaralı numunenin sertlik alınan bölgeleri ve Şekil IV.16’da da bu bölgelere ait sertlik diyagramı gösterilmiştir.

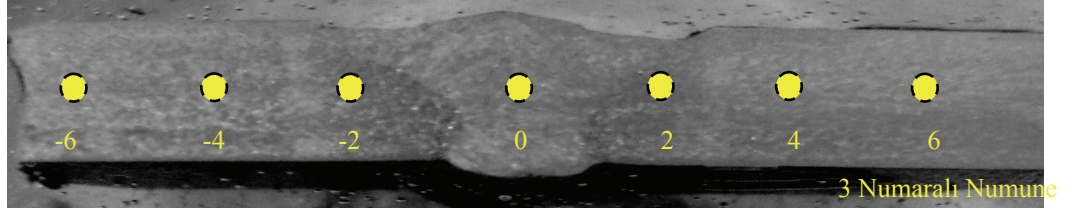


Şekil IV.15 2 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri

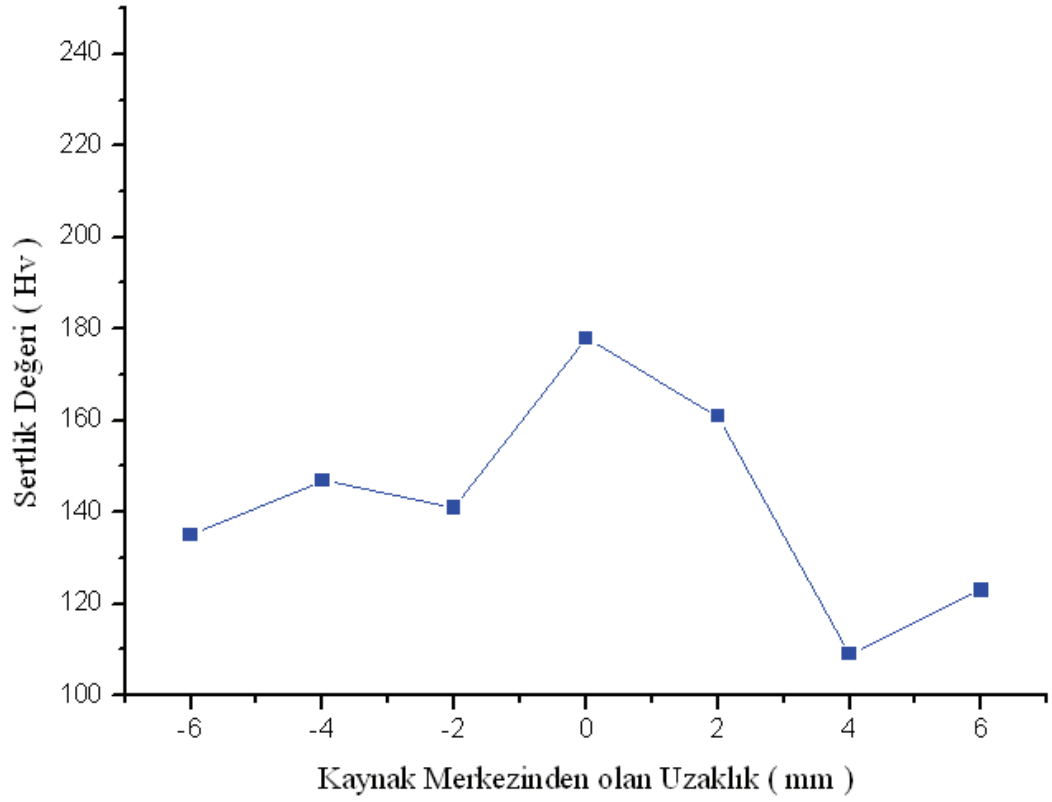


Şekil IV.16 2 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı

Şekil IV.17' te 3 numaralı numunenin sertlik alınan bölgeleri ve Şekil IV.18'de de bu bölgelere ait sertlik diyagramı gösterilmiştir.

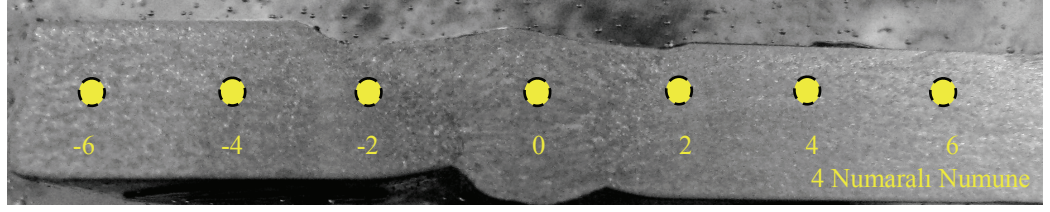


Şekil IV.17 3 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri

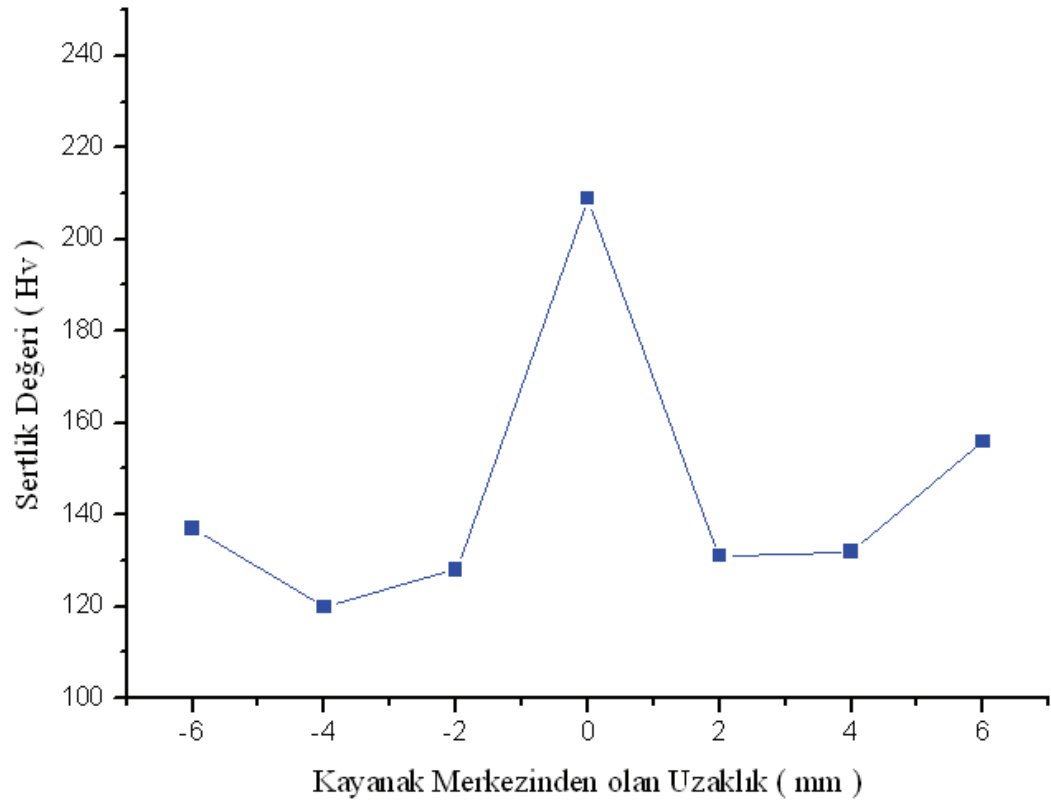


Şekil IV.18 3 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı

Şekil IV.19’ da 4 numaralı numunenin sertlik alınan bölgeleri ve Şekil IV.20’de de bu bölgelere ait sertlik diyagramı gösterilmiştir.

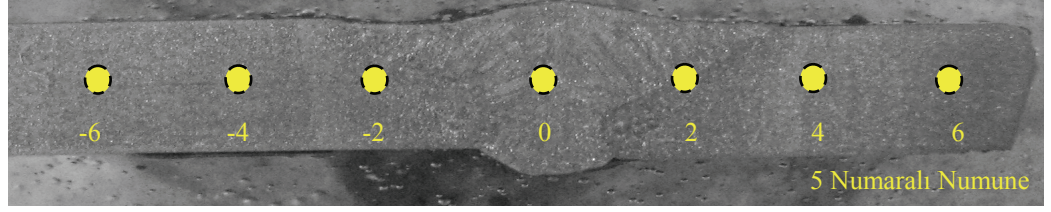


Şekil IV.19 4 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri

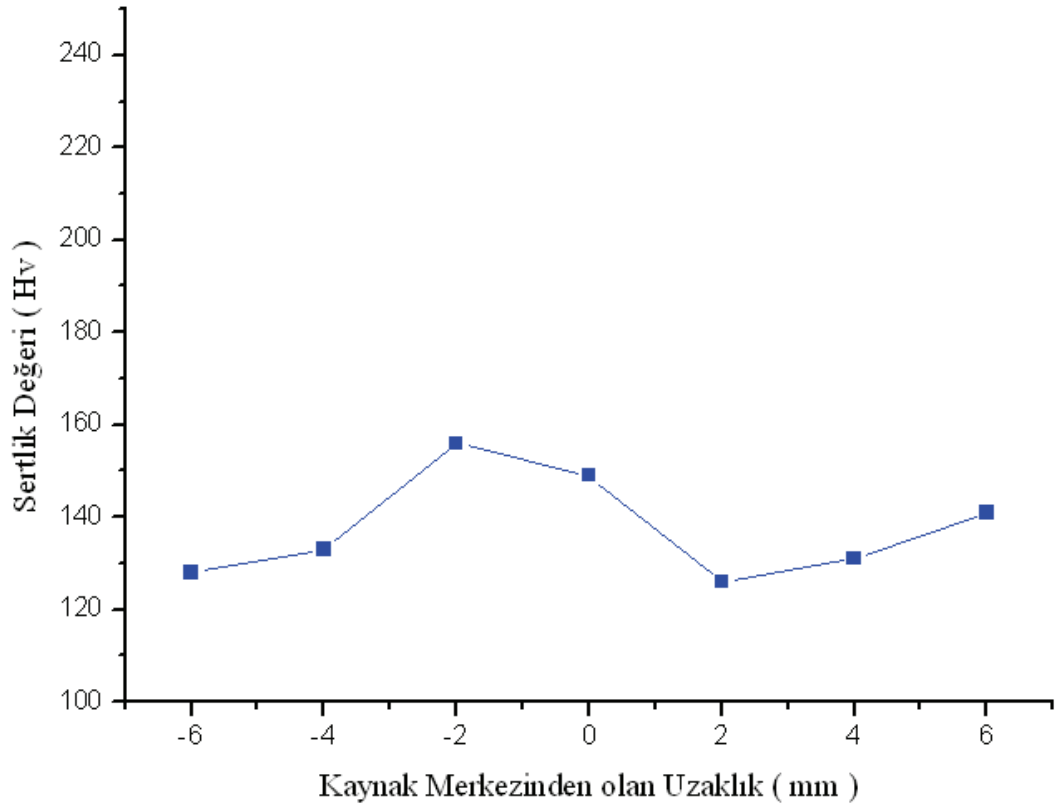


Şekil IV.20 4 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı

Şekil IV.21’ de 5 numaralı numunenin sertlik alınan bölgeleri ve Şekil IV.22’de de bu bölgelere ait sertlik diyagramı gösterilmiştir.

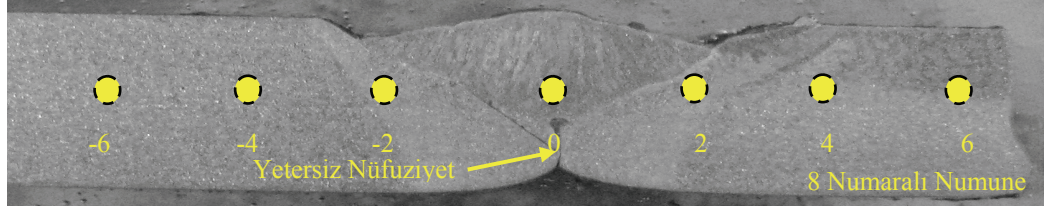


Şekil IV.21 5 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri

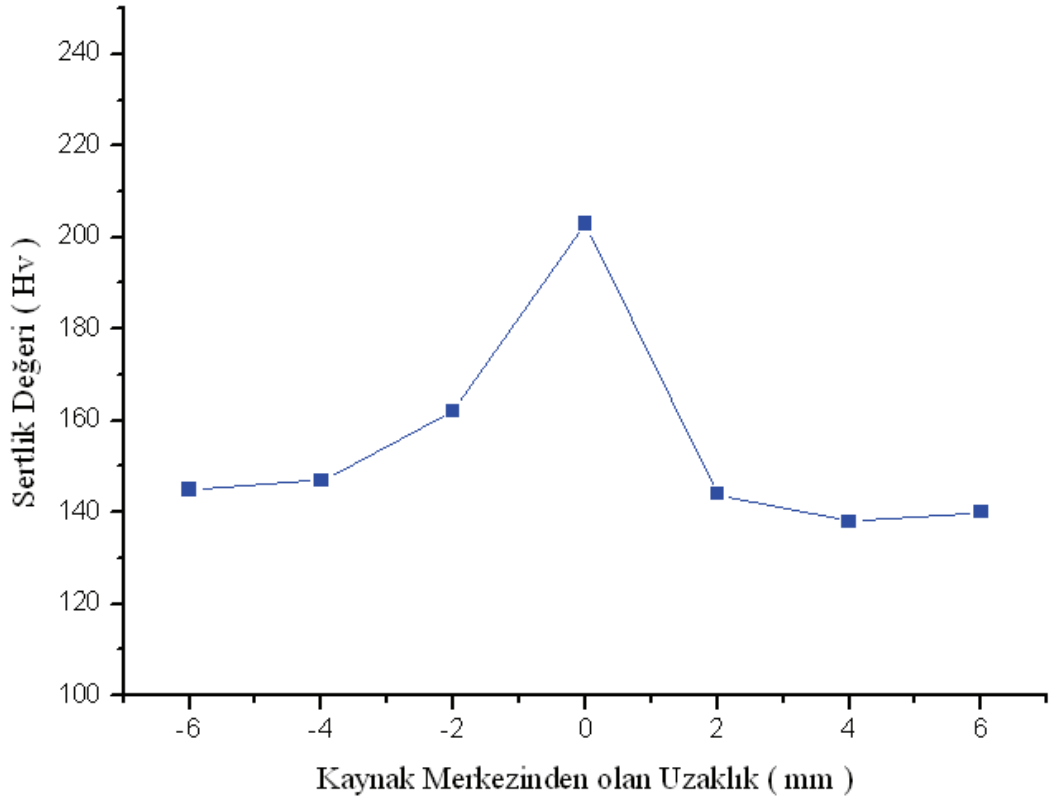


Şekil IV.22 5 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı

Şekil IV.23' te 8 numaralı numunenin sertlik alınan bölgeleri ve Şekil IV.24'de de bu bölgelere ait sertlik diyagramı gösterilmiştir.

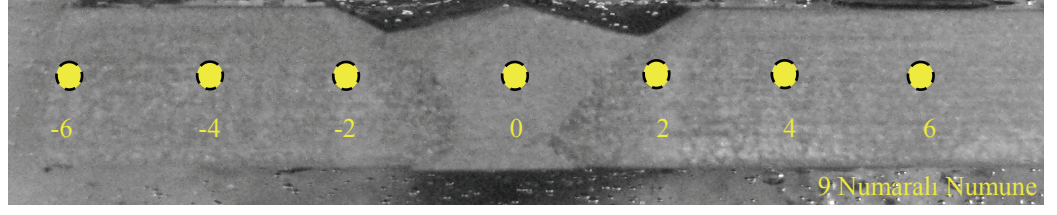


Şekil IV.23 8 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri

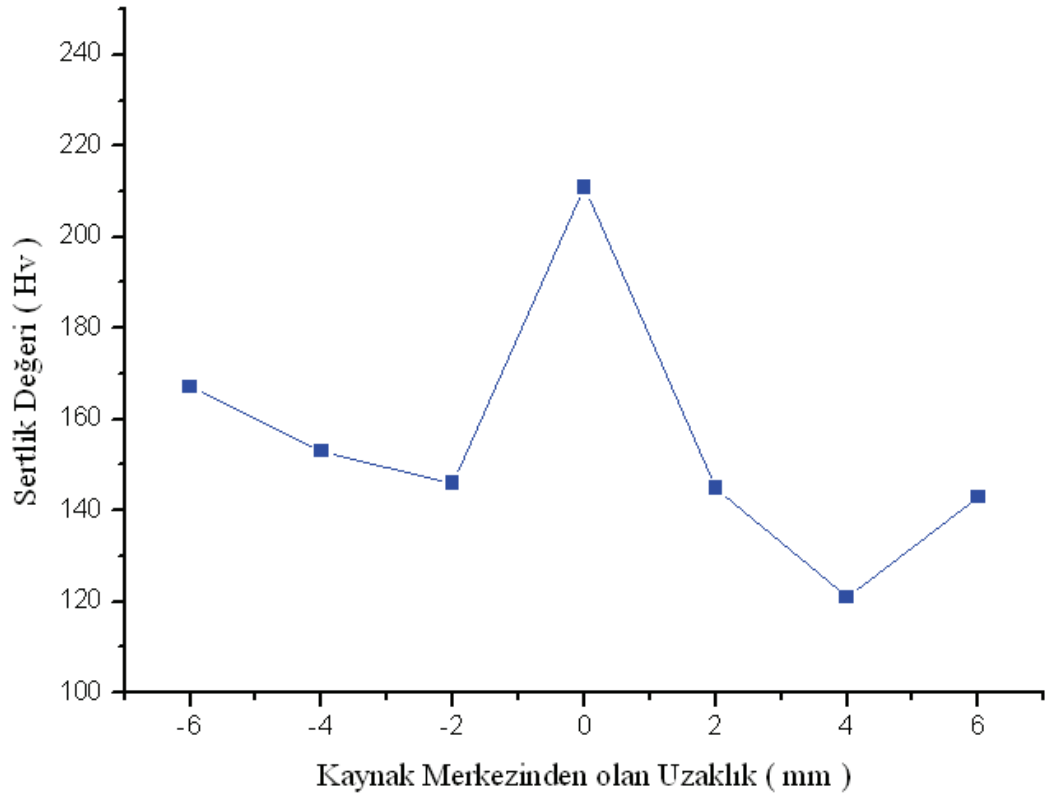


Şekil IV.24 8 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı

Şekil IV.23' te 9 numaralı numunenin sertlik alınan bölgeleri ve Şekil IV.24'de de bu bölgelere ait sertlik diyagramı gösterilmiştir.



Şekil IV.25 9 Numaralı Numunenin Sertlik Alınan Bölgeleri



Şekil IV.26 9 Numaralı Numunenin Sertlik Diyagramı

Grafiklerde bulunan sertlik değerleri aynı bölgeden 5 adet sertlik değerinin ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Çekme grafiklerinden de anlaşılacağı gibi numunenin sertlik değerlerinde her iki yön arasında farklılıklar vardır. Bunun nedeni numunelerin kaynak esnasında tek taraftan sabitlenebilmesidir. Böylelikle soğuma bir tarafta diğer yönden biraz daha hızlı olmuştur.

1 Numaralı numunenin kaynak metalindeki sertlik 180 HV<sub>1</sub> iken, ITAB' ta 135 HV<sub>1</sub>'dir. 2 Numaralı numunenin de kaynak metalindeki sertlik 210 HV<sub>1</sub> iken, ITAB' ta 160 HV<sub>1</sub>'ye düşmüştür. 8 Numaralı numunede ise kaynak metalindeki sertlik 200 HV<sub>1</sub> iken, ITAB' ta 150 HV<sub>1</sub>' ye ve 9 Numaralı numunede kaynak metalindeki sertlik 215 HV<sub>1</sub> iken, ITAB' ta 145 HV<sub>1</sub>' ye düşmüştür. 3 Numaralı numunenin kaynak metalindeki sertlik 180 HV<sub>1</sub> iken, ITAB' ta 150 HV<sub>1</sub>' ye, 4 Numaralı numunenin ise kaynak metalindeki sertlik 210 HV<sub>1</sub> iken, ITAB' ta 130 HV<sub>1</sub>' ye, düşmüştür. 5 Numaralı numunede ise kaynak metali ile ITAB' ın sertlikleri arasında çok büyük farklılıklar görülmemiştir.

Sertlik dağılımlarının geneline bakıldığında; ana metalden kaynak metaline doğru gidildikçe sertliğin arttığı görülmüştür. Ancak ITAB bölgesinin sertlik değerleri kaynak metalinin sertlik değerlerinden daha düşük, ana metalin sertlik değerlerinden daha yüksektir.

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; endüstride, özellikle otomotiv sanayinde en çok tercih edilen 2mm ve 4mm kalınlıklarında St 37 çelik levhalar kaynak robotu ünitesinde gazaltı kaynak metodu kullanılarak küt alın formunda birleştirilmiştir. Bu amaçla; kaynak Akımı, kaynak gerilimi, Kaynak ilerleme hızı, tel besleme hızı, malzeme kalınlığı değiştirilmiş ve kaynak bağlantılarının mekanik özellikleri ve kaynak mikroyapısındaki değişimler incelenmiştir.

Kaynak bağlantılarının mekanik özellikleri, çekme deneyi, eğme deneyi, metalografik inceleme ve Vickers sertlik taraması, yapılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

Kaynaklı bağlantının mukavemeti hakkında bilgi edinmek ve şekillendirilebilirliğinin kontrolü çekme deneyi ile belirlenmiştir. Test parçalarından dikdörtgen kesitli ASTM E8 standardına uygun olacak şekilde her kaynak parametresi için 3 adet olmak üzere çekme ve eğme numuneleri hazırlanarak incelenmiştir.

Çalışma kapsamında farklı kaynak parametreleri ile kaynak edilmiş numunelerin kaynak bölgesinden sertlik taraması amacı ile mekanik kesim yöntemleri kullanılarak çıkarılmış ve taşlama tezgâhında taşlandıktan sonra metalografik çalışma için numunelerin hazırlaması aşamasına geçilmiştir. Makroyapı incelemesi için %5 Nital dağlama reaktifi kullanılmıştır.

Çekme deney sonuçlarından elde edilen verilere göre uygun standartlarla karşılaştırılmış, sonuçlar ana malzemenin göstermesi gereken değerlere yakın olduğu ve kaynak performansının % 28–107 aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Çekme deneyinde, deney parçalarının bir tanesi haricinde kopma ana malzeme üzerinde oluşmuştur. Kopmanın kaynak metalinden gerçekleştiği 8 numaralı numunede kaynak metalinden kopmasının nedeni kaynak parametrelerinin uygun olmamasından dolayı gerçekleşen yetersiz nüfuziyettir. Kopmaların hepsi sünek kopma olarak gerçekleşmiştir. Bu da malzemenin şekillendirilebilme kabiliyetinin iyi olduğunu göstermektedir. Buradan da hem ITAB' ın hem de kaynak metalinin mukavemetinin ana malzemedan daha yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

St 37 çeliği, uygun kaynak parametrelerinin kullanılmasıyla, ısıtılma işlemi gerek duyulmaksızın oldukça iyi şekilde kaynaklanabilmektedir. Bununla birlikte, kaynaklama metodları; ITAB' ın kırılma direnci ve sertlik değeri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Kaynaklı numuneler üzerinde yapılan tüm testlerde, kopmalar ana metal üzerinde oluşmuştur. Bu kritik sonuçlar; ana metalden daha yüksek mekanik değerlere sahip kaynak metali kullanılmasını gerektiren geleneksel kaynak tasarım çalışmaları için büyük önem taşımaktadır.

Kaynak parametrelerinin ITAB' ın sertlik değerleri üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Farklı parametreler kullanılarak kaynak edilmiş olan numunelerin sertlik değerleri, referans numuneye göre daha düşük ölçülmüştür. Ana malzeme sertliğinden yüksek olarak elde edilen sertlik değerleri ITAB üzerinde oluşmaktadır. Bu kısım, malzemenin kalitesi için de bir geçiş bölgesi teşkil eder ve kılcal çatlamların meydana gelebilmesi için en kritik bölgedir. Deney parçalarının ITAB'da elde edilen sertlik değerleri ana metal sertlik değerine yakın bir değerdedir.

St 37 çeliklerinin kolay işlenebilirliği, ekonomik oluşu, kolaylıkla temin edilebilir olması, kaynaklı birleştirmelerde uygun yapılar elde edilmesi endüstri için vazgeçilmez bir malzeme özelliğini korumaktadır. Bu çalışmayla elde edilen sonuçlar St 37 çeliklerinin Robotla yapılan gazaltı kaynaklarında uygun parametreler kullanılmak sureti ile istenilen kaynaklı birleştirmeler elde edilebileceğini göstermiştir. Klasik yöntemlerle yapılan gazaltı ark kaynağında, kaynak işlemi sırasında kaynak parametreleri değişkenlik gösterirler. Bu da kaynak boyunca içyapı bozuklukları ve düşük nüfuziyet gibi kaynak hatalarını beraberinde getirir. Ancak robotlarla yapılan gazaltı ark kaynağında, kaynak parametrelerinin kaynak işlemi sırasında sürekli sabit kalması bu hataları en az seviyelere indirmektedir. Bu özelliğinin yanında hızı ve iş gücüne getirdiği kolaylıkları da göz önüne alacak olursak, ilk kurulum maliyeti yüksek olmasına karşın, getirdiği kalite nedeni ve imalat hızı nedeni ile bu maliyetin göz ardı edilmesine neden olur.

Bir ülkenin gelişmiş toplumlar seviyesine gelebilmesi için endüstrisini dünya standartlarına çıkarması gereklidir. Buda teknolojiyi ne kadar yakından takip ettiği ile doğrudan ilişkilidir. Kaynaklı birleştirmelerinde endüstrinin vazgeçemeyeceği kadar önemli yeri olduğunu göz önüne alacak olursak, kaynaklı birleştirme noktasında da teknolojiye ayak uydurmak, yani robot teknolojisi gibi gelişmeleri endüstrimizin hizmetine sunmak zorundayız. İşte bu çalışma ile hedeflenen asıl amaç, endüstride en yaygın kullanıma sahip St 37 çelikleri ile yine en çok kullanılan kaynaklı birleştirme

yöntemi, gazaltı ark kaynağı yönteminin robotlarla uygulanması için uygun parametrelerin belirlenmesi ve literatüre geçmesinin sağlanması olmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] [http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/history/1\\_Giri\\_c\\_s.html](http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/history/1_Giri_c_s.html) Erişim Tarihi:  
( Mayıs 2007)
- [2] [http://www.cemtas.com.tr/yeni/celik\\_hakkinda.htm](http://www.cemtas.com.tr/yeni/celik_hakkinda.htm) Erişim Tarihi:  
(Mayıs 2007)
- [3] [http://www.makinateknik.org/robotik/robot\\_sinif2.php](http://www.makinateknik.org/robotik/robot_sinif2.php) Erişim Tarihi:  
(Nisan 2007)
- [4] İ. Barlas ERYÜREK “Kaynak Teknolojisi” Askaynak, 2. Baskı, 2007.
- [5] Metals Handbook Ninth Edition Volume 6 Welding, Brazing, and Soldering, 1983.
- [6] TÜLBENTÇİ.K.“MIG-MAG Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı” İstanbul, 1990.
- [7] GÜLTEKİN, N., “Kaynak Tekniği”, YTÜ Yayını, Sayı: 184, İstanbul, 1983.
- [8] ANIK, S., VURAL, M., , Gazaltı Kaynağı (TIG-MIG-MAG), Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim,Araştırma ve Muayene Enstitüsü,İstanbul, (1998)
- [9] Cary, H. B., Modern Welding Technology, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1989.
- [10] Metals Handbook, Volume 6, Welding, Brazing and Soldering, First Printing, 1993, American Society of Metals, Metals Park, Ohio
- [11] Heald, P.R., et al, Mapping the Droplet Transfer Modes for an ERIDOS-1 GMAW Electrode, Welding Journal, 1994, 73, 38s-44s

- [12] ÇENGELCİ, Bekir; ÇİMEN, Hasan, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi 2005 (2) 69-78 Teknolojik Araştırmalar (Teknik Not: Endüstriyel Robotlar)
- [13] Kim, Y. S., Eagar, T. W., Metal Transfer in Pulsed Current Gas Metal Arc Welding, Welding Jurnal, 1993, 72, 279s, 387s.
- [14] YUMURTACI, S. ,MERT.,T Yüksek Lisans Tezi,Kaynaklı Yapımlarda Robotik Uygulamalar ve Türkiye’deki Durumu,İstanbul, (2004)
- [15] Craig,J., Introduction to Robotics, Machanics and Control, Addison Wesley, 1989.
- [16] ANIK,S.,ANIK,E.S. ve VURAL M., 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, İstanbul, (Basım Tarihi:2000)
- [17] Groover, M., Indutrial Robotics, McGraw-Hill Company International Editions, Singapore, 1986.
- [18] Asai, K., Takashima, S., Manufacturing, Automation Systems and CIM Factories, Chapman & Hall, 1994.
- [19] ESKİYAZICI, Hakan, Robotlu Kaynak Otomasyonu, AB Rotech , Bursa, (Ocak 2007)
- [20] KUKA KRC1 Robot Kaynağı Kataloğu, 2004.
- [21] Kuka Training Notice, Germany, 2004
- [22] Yücel, İ., “Sanayide Robot Teknolojisi-Uygulaması ve Önemi”, DPT Sosyal Planlama Genel Müdürlüğü Planlama Dairesi, Ankara, 1991.
- [23] Tülbentçi, K., MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Rem Matbacılık, İstanbul, 1998.

- [24] [www.kuka.com](http://www.kuka.com), *Erişim Tarihi: (Nisan 2008)*
- [25] YUMURTACI, S. ,MERT.,T, Robotik Kaynak Sistemleri ve Geliştirme İstikametleri, Mühendis ve Makine Dergisi, Kasım 2003 - Sayı 526
- [26] [www.arctech.com.tr/sg2.htm](http://www.arctech.com.tr/sg2.htm), *Erişim Tarihi: (Haziran 2008)*
- [27] [www.askaynak.com.tr](http://www.askaynak.com.tr), *Erişim Tarihi: (Haziran 2008)*
- [28] ASTM E8 Standardı
- [29] TS 282 EN 210, *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 2004.
- [30] YAYLA, P., KALUÇ, E., and URAL, K., "Effects of Welding Processes on the Mechanical Properties of HY 80 Steel Weldments" ***Materials and Design***,2007
- [31] BALASUBRAMANIAN V., RAVISANKAR V., MADHUSUDHAN G., “Effect of pulsed current and post weld aging treatment on tensile properties of argon arc welded high strength aluminium alloy” ***Science and Engineering***, 2007

## ÖZGEÇMİŞ

19 Mayıs 1977 tarihinde Mersin’de doğdum. İlk ve Orta Öğrenimimi Mersin’de tamamladım. Marmara Üniversitesi Metal Eğitimi bölümünü 2004 yılında bitirdikten sonra, aynı yıl Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Eğitimime başladım. 2006 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladım ve halen aynı görevi icra etmekteyim. 2006 yılında evlilik hayatına adım attım ve mutlu bir evliliğe sahibim.