



Gedik Üniversitesi
İSTANBUL

TÜRKİYE CUMHURİYETİ
GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENDÜSTRİDE KAYNAK ROBOTLARI
(PROSESLERİN İNCELENMESİ ve GELİŞTİRİLMESİ)**

KÜRŞAD SEZAI TÜRKER
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ERTAN ÖCALAN

İSTANBUL 2015

T.C.
GEDİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİDE KAYNAK ROBOTLARI
(PROSESLERİN İNCELENMESİ ve GELİŞTİRİLMESİ)

Kürşad Sezai TÜRKER tarafından hazırlanan tez çalışması ____.____.2015 tarihinde aşağıda imzaları bulunan jüri tarafından Gedik Üniversitesi Fen Bilimleri Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ertan ÖCALAN

Gedik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet Ali Baykal

Gedik Üniversitesi

Doç. Dr. Ertan ÖCALAN

Gedik Üniversitesi

Doç. Dr. H. Özkan Gülsoy

Marmara Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Savaş Dilibal

Gedik Üniversitesi

ÖNSÖZ

“Endüstrileşmek, en büyük millî davalarımız arasında yer almaktadır. Çalışması ve yaşaması için ekonomi elemanları memleketimizde mevcut olan; büyük, küçük her çeşit sanayiye kuracağız ve işleteceğiz.”

Mustafa Kemal ATATÜRK

Sanayi devrimiyle büyük bir değişime giren dünya, ekonomik olarak hızlı bir gelişme süreci yaşamaktadır. Ekonominin ana kollarından birisi olan sanayi ile birlikte, özellikle doğada bulunan hammaddeler değerlenmeye ve şekillenmeye başlamış, sanayi yatırımları ve faaliyetleri artmış, ortaya çıkan gelişmeler beraberinde zamanla mesafe anlayışını ortadan kaldırmış ve küreselleşme kavramı ortaya çıkarmıştır. Buna bağlı olarak dünyada hızla yayılan ve büyüyen bir sanayi hamlesi görülmüştür.

1950 yılında Türkiye’ye yapılan Avrupa Kalkınma Programı kapsamında ABD yardımı olarak verilen (diğer bilinen ismiyle “Marshall Yardımı”) şu gerekçeyle kabul edilmişti; Savaştan yıkılmış çıkan Avrupa’nın gıdaya ve hammaddeye ihtiyacı vardır. Türkiye verilen bu yardımla, ülke tarımını geliştirecek ve Avrupa’nın gıda ve hammadde deposu haline gelecektir. Buna karşılık sanayi mamullerini Avrupa’dan alacaktır. Atatürk döneminde Türkiye’nin sanayi ülkesi olması hedeflenirken, Marshall Yardımı ile değişen bu amaç, Türkiye’nin artık Avrupa’nın tarım ülkesi ve tarım ürünleri sağlayıcısı olmasıdır. Buna örnek olarak 1948 Ekim’inde Atatürk Orman Çiftliğinde kurulan Uçak Motoru Fabrikası’nın, 1954 Temmuz’unda kapatılarak, Türkiye Ziraat İşletmesi altında tarımı desteklemek amacıyla traktör üretmeye başlaması örnek gösterilebilir.

Dünya’da soğuk savaş döneminin sona ermesiyle birlikte gelişmiş ülkeler, dünya genelinde artan refah seviyesiyle birlikte “Sanayi Ülkesi” tanımından “Teknoloji Ülkesi” olma yönünde ilerlemişlerdir. 1984’e kadar Türkiye bir “Tarım Ülkesi” ydi. 1984-1989 döneminde uygulanan V. Beş Yıllık Kalkınma Planı’nda devlet yönetiminin sivilleştiği ve halkın oyu ile iktidara gelen hükümet tarafından kalkınma

konusu üzerinde durulmuş ve hızlı sınai kalkınma hedeflenmiştir. “Teknoloji Ülkesi” olan gelişmiş ülkelerin sanayilerini geliştirmekte olan ülkelere transfer etmesiyle birlikte, Türkiye’de de sanayi hamlesi başlamıştır.

2013 yılına gelindiğinde, Türkiye’de gerçekleştirilen 153 milyar dolarlık ihracatın %95’i sanayi ürünüdür, bu veri ışığında artık Türkiye bir “Sanayi Ülkesi” olarak adlandırılabilir. Yine Türkiye’de üretilen ürünlerin sadece %3’ü yüksek teknoloji* ürünüdür. Ancak Kore menşeli teknoloji firması olan SAMSUNG, 2012 yılında tek başına 213 milyar dolar teknolojik ürün ihracatı gerçekleştirmiştir. Bu sebeple Türkiye’nin, sanayisinde katma değerini ve marka değerlerini arttırması için , otomasyon ve robot gibi verimlilik arttırıcı uygulamalara endüstride daha fazla yer vermesi gereklidir, ancak aynı zamanda karar vericiler yaptıkları seçimlerde akılcı, karlı, esnek ve verimli olmalıdır. Bu tez özellikle Türkiye sanayisinin %60’ında yer bulan kaynaklı birleştirme uygulamalarında görev alan ve bu uygulamalarını otomasyonla birlikte bir adım öteye taşımak isteyen sanayicilere, mühendislere ve yöneticilere yol göstermek amacıyla yazılmıştır.

Tez çalışması boyunca gösterdiğim çabada, sayın hocam Doç. Dr. Ertan Öcalan’ın her aşamada büyük yardımı oldu. Kendisine tezimde ve çalışma hayatımda verdiğim değerli desteklerinden dolayı teşekkür ediyorum. Tez çalışmam sırasında beni yüreklendiren, destekleyen ve zaman sağlayan sevgili eşim Sedef Türker’e, teşekkür ediyorum.

Bu tezi, eğitim hayatım boyunca dualarını ve desteğini esirgemeyen sevgili anneannem Naciye Karagözoğlu’na ithaf ediyorum.

Ocak 2015, Kabataş

Kürşad Sezai TÜRKER

* TÜİK, Yıllık Sanayi Ürün İstatistikleri 2012, Sayı: 18506, 27 Mart 2014

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGE LİSTESİ.....	x
KISALTIMA LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
TABLO LİSTESİ.....	xiv
RESİM LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	4
BÖLÜM 2	5
2. ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR.....	5
2.1 Tarihçe.....	5
2.2 Robotların Sınıflandırılması	10
2.2.1 Sektörel amaca göre endüstriyel robot çeşitleri.....	10
2.2.1.1 Taşıma robotları (istifleme, parça ve hat besleme).....	11
2.2.1.2 Yapıştırma.....	14
2.2.1.3 Kaynak	15
2.2.1.4 Montaj.....	16
2.2.1.5 Boyama	17
2.2.1.6 Nükleer santraller.....	17
2.2.1.7 Tarım ve zirai alanlar	18
2.2.1.8 Su altı	20
2.2.1.9 Askeri ve savunma alanları.....	22
2.2.2 Dünya’da endüstriyel robotların güncel konumu	23
2.2.3 Türkiye’de endüstride robotların güncel konumu	27
BÖLÜM 3	29

3.	KAYNAK	29
3.1	Kaynak Nedir	29
3.2	Kaynak Tipleri	30
3.2.1	Gaz korumalı (gaz altı) ark kaynağı	33
3.2.1.1	Ergiyen elektrot ile yapılan gaz altı kaynak yöntemleri	43
3.2.1.2	Ergiyen elektrot ile soygaz altında gaz altı kaynağı (MIG).....	45
3.2.1.3	Ergimeyen elektrot ile yapılan gaz altı kaynak yöntemleri	50
3.2.1.4	Özlü tel elektrot ile yapılan gaz altı kaynağı	57
3.2.2	Toz korumalı ark kaynağı (toz altı kaynağı)	59
3.2.3	Işın kaynağı.....	64
BÖLÜM 4	70
4.	KAYNAK ROBOTLARI.....	70
4.1	Kaynak Robotu Nedir	71
4.2	Kaynak Robotlarının Endüstriyel Önemi	72
4.3	Kaynak Robotu Yapıtaşları ve Seçim Kriterleri	74
4.3.1	Manipülatör	75
4.3.1.1	Koordinat sistemleri.....	80
4.3.1.2	Robotlarda koordinat çeşitleri.....	83
4.3.2	Kontrol ünitesi.....	85
4.3.2.1	El terminali	86
4.3.2.2	Çoklu ünite desteği	91
4.3.2.3	Harici eksen desteği	92
4.3.3	Kaynak makinası.....	93
4.3.4	Kaynak torcu	101
4.3.4.1	Amper gereksinimi	103
4.3.4.2	Çalışma sıklığı	104
4.3.4.3	Robotun taşıma kapasitesi	104
4.3.4.4	Kaynağın yapıldığı çalışma alanı:.....	104
4.3.4.5	Yatırım miktarı ve maliyet.....	105
4.3.5	Torç temizleme ünitesi.....	105
4.3.6	Tel sürme tertibatı.....	106
4.4	Kaynak Robotları ile Bütünleşen Birimler ve Seçim Kriterleri	107
4.4.1	Pozisyoner	107
4.4.2	Gantry robot sistemi	111
4.4.3	Kaydırıcı (ing: slider).....	114
4.4.4	Kalibrasyon ünitesi	116
4.4.5	Fikstür.....	121
4.4.5.1	Kaynak fikstürü tasarımı ve aşamaları.....	122

4.4.5.2	Tasarım verilerinin temini ve kontrolü	125
4.4.6	Çevre ara birimleri.....	129
4.4.6.1	Parametrik sensörler	129
4.4.6.2	Geometrik sensörler	130
4.4.6.3	Temaslı sensörler	130
4.4.6.4	Lazer sensör	131
4.4.6.5	Ark sensörü	132
4.5	Kaynak Robotları Spesifikasyonları ve Seçim Kriterleri.....	135
4.5.1	Tekrar edilebilirlik	135
4.5.2	Taşıma kapasitesi	136
4.5.3	Açısal hız.....	136
4.5.4	Serbestlik derecesi	138
4.5.4.1	Manipülator kol boyu.....	141
4.5.4.2	Manipülator kol çalışma açısı.....	143
4.5.5	Senkron hareket kontrolü	145
4.5.6	Kablo yerleşimi	146
4.5.6.1	İçten kablolu entegre torç paketi.....	146
4.5.6.2	Dıştan kablolu	148
4.6	Robot Kaynağında Görülen Hatalar	149
4.6.1	Nüfuziyet azlığı	149
4.6.2	Birleştirme azlığı (yetersiz erime).....	150
4.6.3	Yanma olukları ve çentikler	151
4.6.4	Bindirme dikişlerde levha kenarlarının erimesi	151
4.6.5	Kalıntılar	152
4.6.6	Çatlaklar	152
4.6.7	Esas metalde oluşan çatlaklar	154
4.6.8	Kaynak dikişinin taşması	155
4.6.9	Gözenek oluşumu.....	156
4.6.10	Hatalı kaynak şekli ve boyutu.....	156
4.6.11	Sıçramalar.....	157
4.6.12	Dikiş yüzeyinin kötü görünüşü	157
4.6.13	Azot nedeniyle gözenek oluşumu	158
4.7	Kaynak Robotu ile Gerçekleşen Proseslerde İş Güvenliği Gereksinimleri....	158
4.7.1	Ayarlama, çalıştırma veya bakım sırasında alınacak önlemler	160
4.7.2	Robotun güvenli kullanımı	161
4.7.3	Eğitim ve denetim için güvenlik unsurları	163
4.7.4	Deneme sırasında güvenlik	166

4.7.5	Otomatik çalışma için güvenlik	167
4.7.6	Robot ve kontrol ünitesi üzerindeki etiketler ve işaretler	168
4.7.7	Koruyucu gaz sağlama sistemleri, kullanımı ve emniyet kuralları	172
4.7.8	Ark ışınımından korunma	176
4.7.9	Kaynak prosesinde hava kirliliği	178
4.8	Kaynak Robotu Seçiminde Fizibilite ve Ekonomi	178
BÖLÜM 5		181
5.	ROBOTİK KAYNAKTA PROSES GELİŞTİRME VAKA ANALİZİ	181
5.1	LPG Tank İmalatı Kaynak Prosesinin Değerlendirilmesi	181
5.1.1	LPG Tankında Gereken Kaynak Proses Değerlerinin Bulunması	183
5.1.1.1	LPG Tankı kaynak prosesi için uygun telin seçimi	183
5.1.1.2	LPG tankı kaynağı için ön tavlama ihtiyacının değerlendirilmesi	192
5.1.1.3	LPG tankı kaynak prosesi için uygun koruyucu gazın seçimi	194
5.1.1.4	Robotik kaynak prosesinde en iyi parametre seçimi	195
5.1.2	Uygun Otomasyon Sisteminin Geliştirilmesi	198
5.1.2.1	Robot torcunda erişim arttırımı için fikstür tasarımı	200
5.1.3	Parça Hazırlık Prosesinin Robotik Toleransa Uygunluğunun Ölçümü	203
5.1.4	Robotik kaynak prosesinde dikiş konumlandırmanın bulunması	206
5.1.4.1	Filtre seçimi	208
BÖLÜM 6		215
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	215
KAYNAKLAR		221
EK-A		225
Örnek Garanti Sözleşmesi		225
EK-B		229
Kaynak Fikstürlerinde İmalat Öncesi Kontrol Listesi		229
EK-C		235
Kaynak Fikstürlerinde İmalat Sonrası Kontrol Listesi		235
EK-D		255
Kaynak Robotlarında Tork Değerinin Bulunmasında Kullanılan Denklemler		255
BEYAN		6-i
ÖZGEÇMİŞ		6-ii

SİMGE LİSTESİ

I	Akım
α	Alfa
A	Amper
Ar	Argon
€	Avro (Euro) - Avrupa Birliği Resmi Para Birimi
°	Derece
Db	Desibel
U	Gerilim
H	Height (Yükseklik)
He	Helyum
Hz.	Hertz
C	Karbon
Kg	Kilogram
Cr	Krom
L	Length (Uzunluk)
L	Litre
Mn	Mangan
m	Metre
μ	Mikro (10^{-6})
mm	Milimetre
Ni	Nikel
O	Oksijen
rad	Radyan
RH	Relative Humidity (Bağıl Nem)
C	Santigrat
cm	Santimetre
Si	Silisyum
V	Volt
W	Width (En)
g	Yerçekimi İvmesi
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternative Current (Alternatif Akım)
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CCD	Charge Coupled Device (Yüklenme İliştirilimiş Araç)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayımlı Yönetim)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
Doç.	Doçent
DIN	Deutsches Institut für Normung (Alman Standartları Enstitüsü)
Dr.	Doktor
EN	European Norm (Avrupa Standartları)
GM	General Motors
ICC	International Chamber of Commerce (Milletlerarası Ticaret Odası)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Teşkilâtı)
I/O	Input / Output (Giriş ve çıkış)
İng	İngilizce Karşılığı
KOBİ	Küçük ve Orta Büyüklükte İşletme
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı
MAG	Metal Active Gas (Metal Aktif Gaz)
MIG	Metal Inert Gas (Metal Asal Gaz)
MSG	Metal Shielded Gas (Metal Örtülü Gaz)
M.Ö.	Milat'tan Önce
M.S.	Milat'tan Sonra
PG	Panzergewinde, Alman DIN standardı (Kablo Geçmeleri ve Somunları İçin)
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici)
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm (Seçime Uyan Montaj Robot Kolu)
SIGMA	Shielded Inert Gas Metal Arc (Asal Gaz Korumalı Metal Ark)
TCP	Tool Center Point (Uç Sonlandırıcı Merkez Noktası)
TIG	Tungsten Inert Gas (Tungsten Asal Gaz)
TS	Türk Standartları
TÜLOMSAŞ	Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayii A.Ş.
UPS	Uninterruptible Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)
WiTP	Wireless Teach Pendant (Kablosuz El Terminali)
WPS	Welding Procedure Specification (Kaynak Prosedürü)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Altı Eksenli 166 kg. Bir Robota Ait Örnek Erişim Uzayı (mm)	12
Şekil 3. 1 Gaz Korumalı Metal Ark Kaynağı Çalışma Prensibi	44
Şekil 3. 2 MIG Kaynak Yönteminde Ark Bölgesi	45
Şekil 3. 3 MIG / MAG Kaynağı Teçhizat Şeması	46
Şekil 3. 4 Gaz Altı Ark Kaynağı Farklı Metal Geçiş Alanı Gösterimi	48
Şekil 3. 5 Elektrogaz Kaynak Yöntemi Prensip Şeması	50
Şekil 3. 6 TIG Kaynak Çalışma Prensip Şeması.....	52
Şekil 3. 7 TIG Kaynağı Ünitesi ve Kaynak Yöntemi Şematik Gösterim	52
Şekil 3. 8 TIG Kaynak Yöntemi Torç Proses Şeması (AWS, 2007)	53
Şekil 3. 9 1.4301 Malzeme TIG Kaynağı Farklı Koruma Gazı Etkisi.....	54
Şekil 3. 10 TIG Darbeli Ark Kaynağından Başlıca Akım Devresi	56
Şekil 3. 11 Plazma Metal Asal Gaz Kaynağının Çalışma Prensibi.....	57
Şekil 3. 12 Gaz Korumasız ve Korumalı Özlü Tel ile Kaynak Yöntemi	59
Şekil 3. 13 Toz Altı Ark Kaynağı Modeli.....	60
Şekil 3. 14 Toz Altı Ark Kaynağı Sistemi	60
Şekil 4. 1 Altı Eksenli Bir Manipülatöre ait Eksen Şeması	75
Şekil 4. 2 Varsayımsal Bir Robot'a ait Erişim Alanı ve Ölü Bölge.....	77
Şekil 4. 3 Doğrudan veya Kayış ile Tahriklenen Manipülatör Kolu.....	79
Şekil 4. 4 Scara Kaynak Robotu	83
Şekil 4. 5 Joint Jakobyen (Noktadan Noktaya) En Kısa Koordinat Sistemi.....	84
Şekil 4. 6 Lineer İnterpolasyon (Doğrusal) Koordinat Sistemi.....	84
Şekil 4. 7 Sirküler İnterpolasyon (Dairesel) Koordinat Sistemi	85
Şekil 4. 8 Robotlu Ünite Yapı Şeması	91
Şekil 4. 9 Çoklu Ünite Desteğinde Çalışma Şeması	92
Şekil 4. 10 Çoklu Ünite Desteğinde Ana Kontrolcü Program Akış Şeması	92
Şekil 4. 11 Slider ile Ana Kontrol Ünitesi Örnek Bağlantı Şeması	93
Şekil 4. 12 Örnek Bir Inverter Kaynak Makinası Ön Paneli	98
Şekil 4. 13 Pozisyonerin Hareketinden Gelen Titreşim ve Frekans Ölçümü.....	110
Şekil 4. 14 Gantry İki Robotlu Sistem Tasarımı ve Kurulu Hali	112
Şekil 4. 15 Uç Sonuçlandırıcı Torç Koordinat Sistemi.....	117
Şekil 4. 16 Örnek LPG Tankı Üzerinde Kaynak Noktaları ve Ölçü Özellikleri.....	125
Şekil 4. 17 Kaynak Fikstürü Pnömatik Baskı Kuvveti Oluşturulması.....	126
Şekil 4. 18 Kaynak Fikstüründe Aşınmayı Önleyici Malzeme Kullanımı	127
Şekil 4. 19 Ürün Geometrisinin Kaynak Fikstürüne Etkisi	127
Şekil 4. 20 Kaynak Fikstürü Elemanlarını Sabitleme	128
Şekil 4. 21 Hareketli Ekipmanlarda Zorlanmış Aşınma Kuvvet Yönü.....	128
Şekil 4. 22 Temaslı Sensörün Kenar Algılaması.	131
Şekil 4. 23 Lazer Sensörün Çalışma Prensibi	131
Şekil 4. 24 Dikiş Merkezinde Kaçıklığın Ark Sensör ile Düzeltilmesi	133
Şekil 4. 25 Ark Sensöründe Dokuma İşlemi ile Birleşim Noktası Tespiti	133
Şekil 4. 26 Ark Sensörünün Verimli Çalışamayacağı Parça Geometrileri	134
Şekil 4. 27 6 Eksen Robotta Eksen Yerleşimi ve Hareket Yönleri.....	138
Şekil 4. 28 6 Eksen Robotta Eksen Hareket Yönü Gösterimi.....	139
Şekil 4. 29 Ağırlık Merkezini Aşan Kolun Aracı Devirmesi.....	142
Şekil 4. 30 Robot Modeli Bazında Yatay-Dikey Moment ve Kuvvet Dağılımı	142

Şekil 4. 31 Senkron Hareket Kontrollü Ark Kaynağı Sistemi	145
Şekil 4. 32 İki Robotla Senkron Hareketli Ark Kaynağı	146
Şekil 4. 33 Farklı Tipte ve Dilde Yüksek Gerilim İşaretleri	169
Şekil 4. 34 Yüksek Kapasitif Gerilim Tehlike İşareti	170
Şekil 4. 35 Depolanmış Elektrik Enerjisi Uyarısı	170
Şekil 4. 36 Yanan ve Sönmüş Kapasitif Gerilim Gösteren Ünite Lambası	171
Şekil 4. 37 Robotta Olası Sıcak Yüzeyleri Gösterir İşaretçiler.....	171
Şekil 4. 38 El ve Uzuv Sıkışması Uyarıcı İşaretleri.....	172
Şekil 5. 1 Silindir Tank Üzerinde Kesitlerin Gösterilmesi	183
Şekil 5. 2 Tank Cidarı Üzerine Etkiyen Gerilim Kuvvetlerinin Gösterimi.....	184
Şekil 5. 3 Tank Cidarı Boyuna Etkiyen Kuvvete Karşılık Gerilimin Gösterimi	184
Şekil 5. 4 Tank Cidarına Teğetsel Etkiyen Kuvvete Karşılık Teğetsel Gerilim	185
Şekil 5. 5 Tank Cidarına Radyal Etkiyen Kuvvete Karşılık Radyal Gerilim.....	187
Şekil 5. 6 LPG Tankı Açıklık Kesit Notasyonu	188
Şekil 5. 7 LPG Tankı Açıklık Kesit Notasyonu ve Ölçüleri	190
Şekil 5. 8 Çeliklerde Karbon Muhteviyat ile Malzeme Sertliği Arasındaki İlişki ...	192
Şekil 5. 9 Gaz Altı Robotik Ark Kaynağı Kaynak Hızı – Nüfuziyet Derinliği	198
Şekil 5. 10 Silindirik LPG Tankı Robotik Hücre Tasarımı.....	199
Şekil 5. 11 Bağlantı Fikstürü Döküm Tahrik Ekseni Tasarımı.....	199
Şekil 5. 12 LPG Tankı Açıklık Parça Kaynağı Uygulaması	200
Şekil 5. 13 LPG Tankı Tutma Mekanizması Detay Çalışması	202
Şekil 5. 14 Filtre Sonrası Görüntülerde Kaynak Dikiş Yolunun Tayini	214
Şekil Ek-D 1 Tork'un Kuvvet ve Mesafe Bileşenleri Üzerinde Gösterimi	256
Şekil Ek-D 2 Dönen Robot Kol Doğrultusunda Kuvvet Yön Gösterimi.....	256
Şekil Ek-D 3 Aktüatörler ve İş Yapılan Kütleyle Ait Tork Şeması	257
Şekil Ek-D4 Manipülator ve Hümanoid Tork Bileşenlerinin Gösterimi	259

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Robot Yoğunluğuna Göre İlk 10 Ülke.....	3
Tablo 2. 1 Altıncı Eksen Merkez Uzaklığına Göre Taşınabilen Ağırlık Haritası.....	13
Tablo 2. 2 2003-2013 Yılları Arasında Endüstriyel Robot Satışları (.000 adet).....	23
Tablo 2. 3 Üç Kıtada 2009-2013 Yılları Arasında Kurulan Robot Sayısı	24
Tablo 2. 4 Gelişmiş Ülkelere Ait 2009-2013 Yıllık Robot Montaj Adetleri	24
Tablo 2. 5 Gelişen Ülkelere ait 2009-2013 Robot Montaj Adetleri.....	25
Tablo 2. 6 2003-2014 (tahmini) Dünya Geneli Robot Kurulum Adetleri	25
Tablo 3. 1 Döküm, Dövme ve Kaynak İmalatlarının Karşılaştırılması	30
Tablo 3. 2 Kaynak, Lehim, Yapıştırma ve Perçin Proseslerinin Karşılaştırılması	30
Tablo 3. 3 Endüstri’de Kullanılan Ergitme Kaynağı Tipleri.....	31
Tablo 3. 4 Gaz Korumalı Ark Kaynak Yöntemleri (SG).....	34
Tablo 3. 5 “R” Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu.....	39
Tablo 3. 6 “T” Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu	40
Tablo 3. 7 “M” Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu	40
Tablo 3. 8 “C” Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu	41
Tablo 3. 9 “F” Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu	42
Tablo 3. 10 MAG Kaynağı Gaz Parametre Eğrileri.....	43
Tablo 3. 11 Gaz Korumalı Metal Ark Kaynağı Tablosu.....	45
Tablo 3. 12 MIG Kaynağında Kullanılan Asal Gazlar ve Kullanım alanları.....	48
Tablo 3. 13 MAG Kaynağından Kullanılan Koruma Gazları	49
Tablo 3. 14 Ekonomik TIG Kaynağı Yapılabilen Malzeme Kalınlık Aralıkları	54
Tablo 4. 1 2010-2013 Yılları Arasında Sektör Bazında Robot Kurulum Adedi.....	71
Tablo 4. 2 Örnek Kaynak Robotu Kontrolör Özellik Tablosu.....	86
Tablo 4. 3 Sıcak Kalkış (Hot Start) Zaman ve Akım Grafiği	99
Tablo 4. 4 Farklı Taşıma Kapasitesinde Robot Tekrar Edilebilirlik Değerleri.....	136
Tablo 4. 5 Robot Eksen Hızlarını Gösteren Teknik Şartname Formu	137
Tablo 4. 6 Örnek Robot Kol Çalışma Açılımları	143
Tablo 4. 7 Örnek Bir Robota Ait Açısal Hız Değerleri	143
Tablo 4. 8 Robot Çalışma Açılımlarını Gösteren Örnek Teknik Şartname	144
Tablo 5. 1 St-37 Çeliğin Alaşım Elementleri ve İçerik Oranları	193
Tablo 5. 2 Çeliğin Eşdeğer Karbon İhtivasının Ön Tav Sıcaklığı İhtiyacına Etkisi	193
Tablo 5. 3 Helyum – Argon Karışımının Nüfuziyete Etkisi	194
Tablo 5. 4 Eritme Kaynak Yöntemlerinin Güç Yoğunluğu	196
Tablo 5. 5 LPG Tankı Yan Kapama Sacı Baskı Sonrası Sapma Ölçüm Sonuçları .	204
Tablo 5. 6 Kontrol Katsayıları Tablosu (ASTM, 2010).....	205

RESİM LİSTESİ

Resim 1. 1 Delhi'deki Aşoka Demir Sütunu M.Ö. 200	1
Resim 2. 1 Türkiye'de Bir Fabrikada Çalışan Endüstriyel Kaynak Robotları.....	5
Resim 2. 2 1810 Yapımı İlk Robot, Münih, Almanya	6
Resim 2. 3 ABB Flexpicker Sakız Fabrikası Paketleme Uygulaması	8
Resim 2. 4 Dört Eksenli 8 kg. Taşıma Robotu.....	12
Resim 2. 5 FIAT Otomobil Fabrikası İç Conta Uygulama Prosesi	15
Resim 2. 6 Bir Otomobil Fabrikasında Çalışan Montaj Robotları.....	16
Resim 2. 7 Taşıt Kaportasının Boyanmasında Görev Alan Robotlar	17
Resim 2. 8 Japonya Fukushima Nükleer Santralinde Görev Yapan Bir Robot	18
Resim 2. 9 Tarımda Robotik Helikopter ile Tohumlama İşlemi.....	19
Resim 2. 10 ALVIN İsimli Robot Titanic Enkazında.....	21
Resim 2. 11 Boston Dynamics'in Geliştirdiği Askeri Donanım Taşıyan Robot	23
Resim 2. 12 Operatör ve Robot Korumasız Olarak Birlikte Çalışmakta	26
Resim 2. 13 Ark Kaynağında Malzemelerin Şematik Gösterimi.....	31
Resim 3. 1 Robot ile Toz Altı Kaynak Uygulaması	61
Resim 3. 2 Lazer Kaynağı Bileşenleri Gösterimi.....	65
Resim 3. 3 Lazer Kaynağı Gerçekleştiren Lazer Başlığı	67
Resim 3. 4 Lazer Kaynağı ile Dairesel Kaynak Üretimi.....	68
Resim 4. 1 Kaynak Robotu ile Üretilen Otomotiv Yan Sanayi Parçası.....	73
Resim 4. 2 Eksen 1 İtibariyle İçten (Entegre) Kablo Lu Kaynak Hortum Paketi	79
Resim 4. 3 Kartezyen Manipülâtör Örneği ve Eksen Şeması	80
Resim 4. 4 Silindirik Robotla Orbital Boru Kaynağı İşlemi.....	81
Resim 4. 5 Altı Eksenli Küresel Manipülâtör	81
Resim 4. 6 Mafsallı Robot	82
Resim 4. 7 Altı Eksenli Kaynak Manipülâtörü Kontrol Ünitesi	85
Resim 4. 8 El Terminali ile Fikstür Üzerinde Yörünge Yazan Tekniker	87
Resim 4. 9 El Terminalinde Acil Durdurma Butonu	87
Resim 4. 10 El Terminali Ölü Adam Sviçi (Dead Man Switch).....	88
Resim 4. 11 Kaynak Robotu El Terminali Program Ekran Görüntüsü.....	88
Resim 4. 12 Türkçe Bir Robot El Terminali Klavyesi.....	89
Resim 4. 13 El Terminali Arkasında Yedekleme için USB Arayüzü	90
Resim 4. 14 Windows Tabanlı İşletim Sistemine Sahip 5.6 inç El Terminali.....	90
Resim 4. 15 Farklı Markalarda İnverter Kaynak Makinaları.....	95
Resim 4. 16 Konvansiyonel ile İnverter Makina Arasında 2 cm.'de Dikiş Farkı	96
Resim 4. 17 Robotlu Kaynak Prosesinde Çalışan Kaynak Makinaları.....	97
Resim 4. 18 Su Soğutmalı Torç Sistemi	102
Resim 4. 19 Hava Soğutmalı Torç ve Yeni Nesil Enerji Kablosu	103
Resim 4. 20 Kaynak Robotu Parça Geçişinde Torç Temizleme İşlemi	106
Resim 4. 21 Torç Temizlenmeden Önce ve Temizlendikten Sonra Görünüşü.....	106
Resim 4. 22 Kaynak Robotlarında Tel Sürme Tertibatı.....	107
Resim 4. 23 Robotlu Pozisyoner Çeşitleri	108
Resim 4. 24 H Tipi Pozisyoner Kaynak Esnasında Yükleme Boşaltma İşlemi.....	109
Resim 4. 25 Gantry Kaynak Robot Sisteminde Yer Kazancı	112
Resim 4. 26 Lineer Kızak Sonunda Mekanik Durdurucu	113

Resim 4. 27 Slider Sistemli Kaynak Robotları	114
Resim 4. 28 Çukur Kaynağında Erişim Arttırımı için Slider Kullanımı	115
Resim 4. 29 Slider Tablasına Pozisyoner Eklenererek Erişim Arttırımı.....	115
Resim 4. 30 Dokunma Yöntemiyle Üç Boyutta Kaçıklığın Ölçülmesi	118
Resim 4. 31 Lazer Işığı ile Torç Kalibrasyon Kontrolü.....	119
Resim 4. 32 Kalibrasyon Ekipmanının Hücredeki Yerleşimi	120
Resim 4. 33 Otomatik Jig ve Kilitleme Tertibatlı Kaynak Fikstürü	121
Resim 4. 34 3 Boyutlu Kaynak Fikstür Tasarımları	122
Resim 4. 35 Endüstriyel Sensör Örnekleri.....	129
Resim 4. 36 Geometrik Köşe Tayin Sensörü	130
Resim 4. 37 Kaynak Çizgisini Lazer Sensör ile Belirleme.....	132
Resim 4. 38 IGM Firması Tarafından Standart Olarak Satılan 7 Eksenli Robot.....	140
Resim 4. 39 Sekiz Eksenli Taşıma Robotu	141
Resim 4. 40 İçten (Entegre) Kablolü Kaynak Robotu	147
Resim 4. 41 Dıştan Kablolü Kaynak Robotu	148
Resim 4. 42 Örnek Bir Operasyon Kutusu ve Acil Durdurma Butonu.....	163
Resim 4. 43 Kırmızı Cam ile Korunmuş Kaynak İstasyonu.....	177
Resim 5. 1 Robotik Kaynak ile Üretilen Birleştirilmiş LPG Tankı	182
Resim 5. 2 Toz Altı Kaynak ile LPG Tankı Yan Kapama Sac Kaynağı	182
Resim 5. 3 Tank Yan Kapama Kaynağında Yetersiz Ergime ve Nüfuziyet Hatası.	195
Resim 5. 4 Hız Değişimi Sonrası Dikiş Görünümünde ve Kalitesinde İyileşme.....	198
Resim 5. 5 LPG Tankı Üzerinde Torç Kaynak Açısı Kaynaklı İmalat Hataları.....	200
Resim 5. 6 LPG Tankı İmalatı Sac Şekillendirmede Kullanılan Hidrolik Pres	203
Resim 5. 7 LPG Tankı Puntalanmış Yan Kapama Sacı Kaynak Ağzı.....	209
Resim 5. 8 Tank Kaynak Ağzı KYM Renk ve Gri Renk Evrimi.....	209
Resim 5. 9 Farklı Filtrelerde Kaynak Ağzı Birleşim Çizgisi Görünümü.....	211

ÖZET

ENDÜSTRİDE KAYNAK ROBOTLARI (PROSESLERİN İNCELENMESİ ve GELİŞTİRİLMESİ)

Kürşad Sezai TÜRKER

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ertan ÖCALAN

Türkiye’de kaynaklı imalat ilk olarak 1920 yılında Gölcük ve İstinye tersanelerinde gerçekleştirilmiştir. 1934 yılında Eskişehir’de bulunan Eskişehir Cer Atölyesi’nde (şu an ki ismiyle TÜLOMSAŞ) ilk kaynak atölyesi kurulmuş olup, 1937 yılında eğitim vermeye başlamıştır. 1937 yılı itibariyle kaynak sektöründe kullanılan sarf malzemeler ve donanım sürekli gelişmiş, oooooo daha önce yurtdışında üretilen sarf malzeme ve ekipmanlar zamanla Türkiye’de üretilmeye başlamıştır.

Türkiye’de bugün 405 € olan asgari ücret ile on Avrupa ülkesinden (Bulgaristan 159€, Romanya 313€, Letonya 285€, Litvanya 290€, Çek Cumhuriyeti 308€, Estonya 320€, Macaristan 332€, Slovakya 338€, Polonya 369€ ve Hırvatistan 401€) daha fazla işçilik maliyeti ile karşı karşıyadır. Türkiye’de artan işçilik ücretleri, son kullanıcıların artan beklentileri sonucu kaynak kalitesinde beklenen iyileşmeler, bir kaynak ustasının eğitilmesi için gereken zaman, tecrübe ve el becerisi gibi hususlar, yoğun kaynak prosesi ile çalışan firmaları daha kolay, ucuz, kaliteli ve hızlı kaynak yapabilecekleri çözümlere itmiştir. Çözümler sırasıyla kaynak fikstürleri geliştirmek, kaynak makinalarındaki parametre ve ayar gibi konuları kolaylaştırmak ve iyileştirmek, basit torna benzeri makinalarla otomasyonu gerçekleştirmek, özel

kartezyen sistemler kurmak ve son 10 yıldır robotlu kaynak ile kaynaklı birleştirme yapmak olarak sıralanabilir.

Bu tez kapsamında öncelikle endüstriyel robot sistemlerinin tanıtımı, sonrasında kaynak biliminin gerektirdiği ve kaynak süreçleri ile ilgili bilinmesi gereken temel bilgiler ile birleştirme kaynağı yapılan bütün robotlu prosesler incelenecek ve bir işletmenin bütün proseslerinde hangi tür otomasyona yönelmeleri veya yönelmemeleri konusu ile ilgili teknik veriler örnek bir tank kaynağı prosesinin sonuçları ile birlikte ortaya konulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kaynaklı Üretim, Kaynak Otomasyonu, Kaynak Robotu, Ark Kaynağı Otomasyonu, Ark Kaynağı Robotu, Kaynak Prosesi, Kaynak Robotu Prosesi, Kaynak Robotu Seçimi, Robot Seçimi, Robotlu İmalat

ABSTRACT

WELDING ROBOTS AT INDUSTRY (PROCESS INSPECTION and DEVELOPMENT)

Kursad Sezai TURKER

Department of Mechatronics Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assc. Prof. Dr. Ertan ÖCALAN

First welded manufacturing in Turkey were carried out in Gölcük and İstinye shipyards at 1920. In 1934 first welding workshop built in Eskişehir Eskişehir Workshop (the current name of the plant is now TULOMSAS) and start welding technicians and operators trainings at 1937. As of 1937, supplies and equipment used in the welding sector are constantly improved; supplies and equipments previously imported from European Countries, began to be produced in Turkey in time past.

In Turkey today, minimum labor wage is € 405, which is higher than ten European countries (Bulgaria, € 159, Romania € 313, Latvia € 285, Lithuania € 290, Czech Republic 308 €, Estonia € 320, Hungary € 332, Slovakia, € 338, Poland € 369 and Croatia € 401) is facing more labor costs. In Turkey, rising labor costs, end-users growing expectations as a result of welding quality improvement, the training time required for education of welding operators, experience and dexterity issues such as welding quality and acuity; led companies manufacture faster, cheaper welding products with higher quality. So this inclination let manufacturers to desing, use and improve welding fixtures, invest on more developed welding machines and improve

welding machine parameters and settings, improve welding technic with the simple turning machine alike automation systems, invest on cartesian welding systems and for the last 10 years using robotic welding systems.

In this thesis, first chapter will give information about literature about welding and robotics second chapter will define industrial robotics, third chapter will give detailed information about welding processes which is adaptable to robotics, fourth chapter will be the combination of chapter two and three; fifth chapter will explain a LPG tank welding process with robotic welding and last chapter will give a brief description about the choices on a purchasing of a robotic system to a facilitate.

Keywords: Welded Production, Welding Automation, Welding Robots, Arc Welding Automation, Arc Welding Robots, Welding Process, Welding Robots Process, Welding Robot Selection, Robots Selection, Robotic Manufacturing

GEDIK UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Tarihte ilk kaynak uygulamasının, altın-altın kaynağı olarak M.Ö. 4000 yılında Sümerler tarafından yapıldığı düşünülmektedir. Yine M.Ö. 2700 yıllarında Mısırlılar tarafından altın kaplamada, ziynet eşyası imalatında, bakır ana su boru hatlarında ateş kaynağının kullanımına dair ipuçları bulunmuştur. M.Ö. 200 yılında Delhi’de kutup sütunu kaynağı yapılmış dökme demirden oluşan ve iki bin yılı aşkın paslanmadan günümüze gelen obelisk, Resim 1.1’de görülmekte olan Aşoka (ing: Ashoka) sütunu yine kaynak tekniğinin tarihsel gelişimine örnek gösterilmektedir.



Resim 1. 1 Delhi’deki Aşoka Demir Sütunu M.Ö. 200

Aşoka sütununun boyu 23 m., çapı 40 cm. ve ağırlığı 6 tondur. İşlenmiş demir shaft olan sütunun, kaynakla birleştirilmiş disklerden yapıldığı tahmin edilmektedir.

M.Ö. 79 yılında Pompei'deki boru hatlarının ateş kaynağı ve Leonardo da Vinci'nin M.S. 1500'lü yıllarda boru ve çubukların ateş kaynağı, kaynaklı birleştirmenin tarihsel gelişimi içerisinde sayılabilecek olgulardır.

Tez konusu olan robotların tarihi ise henüz yüz yılı bile bulmamıştır. Çek yazar Karel Capek tarafından 1921 yılında sahneye konulan ‘‘Rossum’un Evrensel Robotları’’ oyununda zekâ sahibi milyonlarca mekanik işçi betimlenmiştir. Capek bu işçilere kendi dilinde ‘‘işçi’’ veya ‘‘köle’’ anlamına gelen ‘‘Robota’’ adını vermişti. Günümüzde bütün dünyanın kullandığı robot sözcüğü buradan gelmektedir. ‘‘Robotik’’ terimi ise ilk kez ünlü bilim kurgu yazarı Isaac Asimov’un 1942 yılında yayınlanan ‘‘Runaround’’ adlı kısa öyküsünde geçmektedir. Bu öykü daha sonra Asimov’un ünlü kitabı ‘‘Ben, Robot!’’ içerisinde de yer alacaktır.

İlk endüstriyel robotu, 1954 yılında George Devol ve Joe Engleberger’in sahip olduğu, ABD’li Unimation firması, ‘‘Unimate’’ adı ile üretmiştir. 1960’lı dönemlerde, Cincinnati Milacron, Kawasaki, Comau, GEC, Siemens, ABB, Fanuc ve Olivetti firmaları robot geliştirmede ilk oyuncular olarak göze çarpmaktadır. Endüstriyel robotların sanayide ilk uygulaması, General Motors (GM) tarafından 1961 yılında gerçekleştirilmiştir. GM’in Ternstedt tesisinde kullanılan Unimate robotları, döküm ocaklarından çıkan sıcak ve ağır parçaları alıp paletlere yerleştirmektedir. GM birkaç yıl sonra punta ve boya işlerinde de robot kullanmaya başlamıştır. Araç montaj işlemlerinde ise ‘‘Unimation Puma’’ isimli robot kullanılmıştır. Günümüzde GM fabrikalarında 25.000’den fazla robot görev yapmaktadır. Dünyada şu anda endüstriyel robot üreten onlarca şirket mevcuttur. Türkiye’de ise elliden fazla robot entegrasyon firması bulunmaktadır.

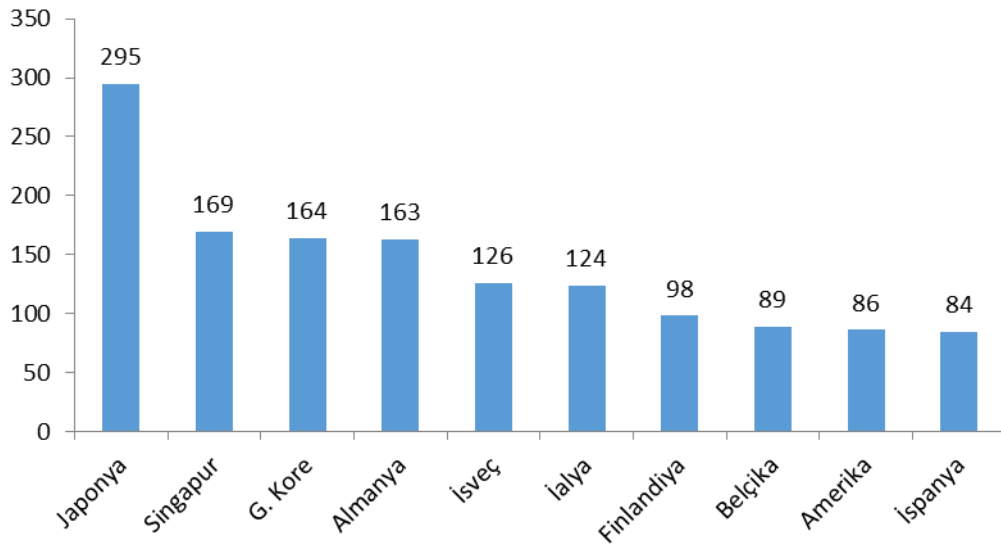
Endüstriyel robotlardan genellikle sabır gerektiren, hassas, insana sıkıntı verecek düzeyde tekrarlı işlerde yararlanılmaktadır. Montaj, boyama, taşıma, elektronik devre dizme, yükleme-boşaltma, paletleme, döküm, sızdırmazlık sağlama, su jeti ile kesme, kaynak yapma, paket ayırma ve sınıflandırma gibi işlemler endüstriyel robotlar tarafından insana göre daha hatasız ve hızlı yapılabilmektedir. Nükleer santraller gibi insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunan alanlarda genellikle robotlar kullanılmaktadır. Durmaksızın ve yorulmaksızın 7 gün 24 saat çalışabilmeleri,

çalıştıkları ortamın aydınlatma veya iklimlendirilmesine gerek duyulmaması da; robotların endüstride tercih edilmelerinin nedenleri arasında sayılabilir.

Tahminlere göre, dünyada kullanılmakta olan endüstriyel robotların sayısı bir milyonu geçmiş durumdadır. Tablo 1.1’de görüleceği üzere toplam kurulu robot sayısının dörtte birine yakını Japonya’da, %15 kadarı ise ABD’dedir. Hızla artan mikroşlemci gücü ve gelişen yapay zekâ teknolojisi, robotların uygulama alanlarını da genişletmektedir. Robot teknolojisi; görme, hissetme, ses tanıma ve ileri mekanik teknolojilerden yararlanmaktadır. Bundan 20-25 yıl kadar önce endüstriyel robotların tamamına yakını otomotiv montaj sanayisinde kullanılmakta iken, günümüzde laboratuvarlar, enerji santralleri, hastaneler ve diğer pek çok alanda çalışmaktadırlar. (www.teknorob.com, Erişim Tarihi: 30.03.2015)

Tablo 1.1 Robot Yoğunluğuna Göre İlk 10 Ülke

(10.000 işçiye düşen sanayi robotu sayısı) (IRF, 2014)



1.2 Tezin Amacı

Dünyada ve Türkiye’de artan otomasyon ve robotizasyon projeleri arasında birçok başarılı ve başarısız örnek yer almaktadır. Birçok işletme ve kurumda genel olarak yapılan hatalar; fizibilitesi, risk analizi ve değerlendirmesi doğru yapılmamış, robot ve kaynak ilminin sınırları yeterince araştırılmamış, elde ki bazı sistemlerden feragat etmemek için mevcut zayıf yapı üzerine inşa edilmiş, ihale ve benzeri ortamlarda

maliyet düşürmek adına malzeme ve otomasyonda uygun olmayan ekipman kullanılmış, seri üretim olarak adlandırılmayacak çok esnek ve sipariş bazlı üretim yapan işletmelerde otomasyonun yerleştirilmeye çalışıldığı, uygun olmayan tolerans ve tekrar edilebilirliğe sahip robotların işletmeye alınması, kaynak makinası – robot senkronizasyonun doğru sağlanamaması, robot ve parça senkronizasyonun doğru yapılmaması, doğru kaynak nüfuziyeti ve kaynak açılarının sağlanamaması, sisteme beslenen parçaların ve ürünlerin robotun çalışabileceği toleransları karşılamakta yetersiz kaldığı yerlerde robotlu sistem kurulumu gibi, birçok olumsuz nedene haiz başarısız proje örnek gösterilebilir. Bu tez, faaliyetleri arasında kaynak prosesi ihtiva eden işletmelerde görev alan karar vericilere, mühendis ve teknisyenlere, kaynak işleminin otomasyonu için yol gösterici niteliğe sahip olma amacıyla hazırlanmıştır.

1.3 Hipotez

Türkiye’de artan işçilik maliyetleriyle birlikte, hassas bir kaynak işleme ustasının maliyeti, yeni mezun bir mühendisin maliyetinin üç katına kadar çıkabilmektedir. Yine kaynak işlemi emek yoğun bir işlem olduğundan, çalışma saatlerinin ilerleyen zamanlarında, el ve göz yorgunluğu sebebiyle kalite ve verimin düştüğü gözlenmektedir. Kaynakta yapılan hataların düzeltilmesi ise genelde pahalı ve zaman alan bir işlemdir.

Robotlar, bugün mevcut olan otomasyon sistemlerinden sadece birini oluşturmalarına rağmen, en esnek otomasyon sistemi olma özelliğine sahiptirler. Robotun en önemli iki temel özelliği; değişken olmaları, birçok değişik işi yapabilme ya da aynı işi değişik yollarla yapabilme kabiliyeti ve oto adaptasyon, başka deyişle çevresiyle interaktif ilişkiler kurarak amacını kendi kendine gerçekleştirebilmesidir. Bir operasyon dizisinde işlem sırası değiştirildiği takdirde veya gerçekleştirilenlerden çok farklı yeni operasyonların yerine getirilmesi istendiği zaman, robotlar yapılması gereken değişikliklere kolayca ayak uydurabilirler. Bu sebeple kaynak robotları hatasız ve verimli çalışmakta, doğru iş ve parça için seçtiklerinde; işletme kazancını maksimum şekilde arttırmaktadır.

BÖLÜM 2

ENDÜSTRİYEL ROBOTLAR

Türkiye’de kurulumu gün geçtikçe artan ve Resim 2.1’de görülen ISO 8373 standardına göre belirlenmiş endüstriyel robot tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırılması şu şekilde yapılmaktadır:

"Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, uzayda sabitlenmiş veya hareketli manipulatördür." (ISO, 2012).



Resim 2. 1 Türkiye’de Bir Fabrikada Çalışan Endüstriyel Kaynak Robotları

2.1 Tarihçe

Robotik biliminin babası; Ktesibius'tur. Ktesibius çağını aşan pek çok çalışmalar yapmış, sibernetik* ve robotik biliminin kurucusu olmuştur. Ktesibius'tan sonra

* Sibernetik: Yunanca kybernétes: "dümenci", güdüm bilimi anlamına gelir. Canlı ve cansız tüm karmaşık sistemlerin denetlenmesi ve yönetilmesini inceleyen bilim dalıdır.

bilinen en büyük siberetik uzmanlarından birisi de “El Cezeri” 'dir. Çağının çok ilerisinde robotlar tasarlamış ve imal etmiştir. Eski tarihlerde yaşamış olan meslektaşlarının icatlarını geliştirmiş ve kendisine ait olan birçok çalışma gerçekleştirmiştir. El Cezeri, otomatik makineler tarihinde “çağın doruğuna erişmiş büyük mühendis İbni Razzaz Cesari” adıyla anılır. Yazdığı kitabındaki tüm buluşlar insanımsı, estetik değerlere sahiptir ve hiçbir hayal ürünü değildir. Alman Profesörü Widemann tarafından tekrar üretilip çalıştırılmışlardır. El Cezeri'nin kaleme aldığı orijinal ismi “Kitab-ül Camii Beyn-el ilmi vel-amel En Nafi-i fi Sinaat-il hiyel” kitabı, Kültür Bakanlığı tarafından 1990 yılında “Olağanüstü Mekanik Araçların Bilgisi Hakkında Kitap” ismiyle basmıştır. El-Cezeri'nin mezarı halen Cizre'de Nuh Peygamber Camii'nin avlusunda bulunmaktadır. Avrupalılar tarafından “Al-Jasar” olarak bilinmektedir. İtalya Floransa'da yaşamış rönesansın en büyük ressam ve heykeltıraşlarından kabul edilen Leonardo Da Vinci'ye ait 1495 yılında tasarımı yapıldığı sanılan savaşçı robotta, kayıt altına alınmış bir başka tasarıma örnektir. Bu yüzyıllarda daha çok eğlence amaçlı gerçekleştirilen robot - otomatlar zengin saraylıların gözdesiydi. Resim 2.2'de görülen dünyanın ilk robotu 1810 yılında Dresden, Almanya'da Frederich Kauffman tarafından geliştirilmişti ve trompet çalıyordu.



Resim 2. 2 1810 Yapımı İlk Robot, Münih, Almanya

Hâlen Almanya'nın Münih kentindeki “Deutsches Museum” 'da sergilenmektedir. (<http://www.deutsches-museum.de>, Erişim tarihi: 30.03.2015)

Osmanlı Sarayı için geliştirilen otomatlardan biri de 1769 yılında, Baron Von Kempelen tarafından yapılan satranç oynayan adamdı. Bu otomat Viyana ve

Moskova fuarlarında sergilenmişti. Ancak daha sonraları bu otomatın içinde insan gizlendiği iddia edilmiştir. Bir zemberekten güç alan metal silindir ve üzerindeki kamlar sayesinde olasılıkları hesaplayabilen karmaşık bir mekanizması vardı. O yıllarda Laterna* mekaniğinin benzeri olan bu sistemler, daha sonraları Thomas Alva Edison'a da ilham kaynağı olacak ve Edison üzerinde sabitlenmiş kamları bulunan silindirin yerine üzerine yazılabilir balmumu silindiri koyarak, gramofonu icat edecekti. Bu olay, tarihte icatların gökten düşmediğine, geçmiş tecrübe ve ilimlerin üzerinde düşünmenin önemine ilişkin çarpıcı bir örnek olarak görülebilir.

20. yy. 'da ise kendi kendini kontrol edip ölçebilen programlanabilir makineler icat edilmiştir. 1950'lerde otomasyonun, elektroniğin ve haberleşmenin gelişmesi ile birlikte robot teknolojisinde büyük gelişmeler yaşanmıştır. Bunlardan ilk üretilen robot "Sammie" 'dir. Bu robot, insanın, değişik ortamlara nasıl uyum sağladığını anlayabilmek için tasarlanmıştır.

90'lı yıllara gelindiğinde robotlar artık çok çeşitli alanlarda ve özellikle insanların rahatlıkla yapamayacağı işleri kusursuz yaparak, insanoğlunun yaşam sürecinde yerlerini aldılar. İnsanoğlunun inemediği derin sularda araştırma yapabilen, hiç mola vermeden yıllarca çalışabilen montaj robotları, cerrahların hata yapmasını engelleyen hatta cerrahlık mesleğini ortadan kaldıracak kadar iddialı olan ameliyat robotları, insan kolunun yerine takılabilen yapay robot kolu bu gelişmelere en iyi örneklerdir . (Shimon, 1999)

Bu dönemde Türkiye'de robotların gelişiminin ve toplumun bakışının sosyo-ekonomik açıdan incelemesi ve yaklaşımını öğrenmek için, 1987 yılı Kartal Tibet yapımı, Kemal Sunal ve Fatma Girik'in başrollerini oynadığı "Japon İşi" isimli film, dönemin bakışını en güzel şekilde yansıtmaktadır.

Robotların tarihinde yaşanan kesintili ve ağır ilerleyen gelişim süreci, Resim 2.3'te görülen, 1998 yılında ABB firması, "FlexPicker" isimli dünyanın en hızlı delta taşıma robotunu icat etmesiyle hızlanmıştır. Bu robot dakikada 120 ürün taşıyabiliyor veya görüntü teknolojisi kullanarak saniyede 10 metre taşıma yapabiliyordu.

* Laterna: Eski zamanlarda otomatik olarak seçilen parçaları çalan, programlanmış ezgilerin tekrarlandığı mekanik bir çalgı.



Resim 2. 3 ABB Flexpicker Sakız Fabrikası Paketleme Uygulaması

Almanya menşeli robot firması Reis, robot koluna entegre lazer ışını ile parça konumlandırması yapan modeli “RV6L-CO2” ’yi 1999 yılında piyasaya sürdü. Bu gelişme ile birlikte robotun daha hızlı hareket etmesini ve çarpışma konumlandırma konusunda toleransların geliştirilmesini sağlamıştır. Lazer ışını entegre teknolojiye ait detaylar tezin ilerleyen bölümlerinde daha detaylı olarak denğnilmiş olup, bu teknolojinin artık bütün robotlarda bütünleşik olarak çalışabildiğini ancak halen daha pahalı bir uygulama olduğu bilinmelidir.

2000 yılında Honda firması tarafından “ASIMO” ismi ile tanıtılan insansı robot, robot kavramının ve gerçekliğinin tüm dünyadaki insanlara tanıtılmasında önemli rol

oynamıştır. ASIMO yürür, yere uzanıp kalkar, koşar, merdivenden çıkıp iner, kendisine seslenenlere dönüp konuşur. ASIMA ile aynı dönemde Japonya'nın "Kuka" ve Vietnam'ın "Topia" adlı robotları pinpon oynuyordu.

2004 yılına geldiğimizde Japon menşeli Motoman firması "NX100" isimli robot kontrolcüsünü piyasa çıkardı. Bu kontrolcü sayesinde aynı anda dört robot ve otuz sekiz eksen senkronize olarak çalışabiliyor ve aynı kontrolcüden programlanıp sürülebiliyordu. Yine bir yenilik olarak el terminali (teach pendant) Windows CE işletim sistemiyle ve dokunmatik ekranla kullanıcılara sunuldu.

2006 yılında İtalyan menşeli Comau firması, kablosuz el terminali (Wireless Teach Pendant -WiTP-) 'yi piyasa sundu. Bu özellikle birlikte bütün geleneksel veri iletişimi ve robot programlama aktiviteleri, kontrolcüye bağlı kablodan bağımsız hale geldi ve artan iş güvenliği risklerini oldukça azalttı.

Aynı yıl Alman menşeli KUKA firması, alüminyum gövdeye sahip 7 kg. taşıma kapasitesine sahip hafif bir robot üretti. Yine bütünleşik sensörleri ile birlikte oldukça hassas çalışmaktaydı. Özellikle taşıma ve montaj hatları için oldukça verimli bir robottu. Ağırlığı ise oldukça şaşırtıcıydı; ilk 7 kg. taşıma kapasitesine sahip robot 2 ton ağırlığındayken, yeni robot sadece 16 kg.'dı. Oldukça verimli olan ve enerji tasarrufu sağlamasıyla birlikte birçok esnek iş kolunda ve geniş erişim alanında kullanılabilirdi.

Son olarak 2010 yılında Japon menşeli Fanuc firması, Öğrenen Kontrol Robot'unu (Learning Control Robot) piyasaya sürdü. Bu teknolojiye, robot kendisine ait vibrasyon karakteristiğine bakarak daha yüksek hız ve ivme için geri besleme ve kontrol sağlıyordu. Bu öğrenme süreci sonucunda, robot kolunun gerçekleştirdiği hareketteki titreşimi ortadan kaldırarak, hareket esnasında ki çevrim süresini azaltıyor ve verimliliği arttırıyordu.

Görüldüğü üzere 2000'li yıllara kadar robotlar üzerinde yapılan radikal çerçevedeki değişimleri, 2000 yılından sonra çalışma güven aralığı arttırılmış ve toleransı daha dar çerçevede tutmaya yönelik operasyonel iyileştirmeler takip etmiştir.

2.2 Robotların Sınıflandırılması

Robotların sınıflandırılması için genel endüstride yaygın olan tanımlama yöntemi taşıyabileceği yük (ing:payload) ve eksen sayısı olarak düşünülebilmektedir. Bunun yanında tolerans, tekrar edilebilirlik ve benzeri özellikler endüstriyel robotlar için ayırt edici özelliklerdir. Ancak literatüre daha geniş bakıldığında, sınıflandırma prensipleri bakımından birçok sınıflandırma şekli görülebilir. Robotlar aşağıdaki özelliklerine göre sınıflandırabilir;

- Sektörel amaca göre robot çeşitleri,
- Kontrol yöntemlerine göre robot çeşitleri,
- Güç kaynaklarına göre robot çeşitleri,
- Jenerasyonlarına göre robot çeşitleri,
- Üretildikleri standartlara göre robot çeşitleri.

Günümüzde tıp biliminden uzay araştırmalarına, askeri savunma ve taarruz sistemlerinden, günlük yaşamı kolaylaştırıcı robotlara kadar birçok alanda robotlar yaygın şekilde yer almaktadır. Genel olarak bütün robot sınıflarını incelemek yerine tez çalışmasında sadece sektörel amaca yönelik endüstriyel robot sınıflandırmalarına yer verilmiştir.

2.2.1 Sektörel amaca göre endüstriyel robot çeşitleri

Sektörel amaca göre robot çeşitleri 9 alanda incelenebilir:

- Taşıma
- Yapıştırma
- Kaynak
- Montaj
- Boyama
- Nükleer Santraller
- Tarım ve Zırai Alanlar

- Su Altı
- Askeri Taarruz ve Savunma

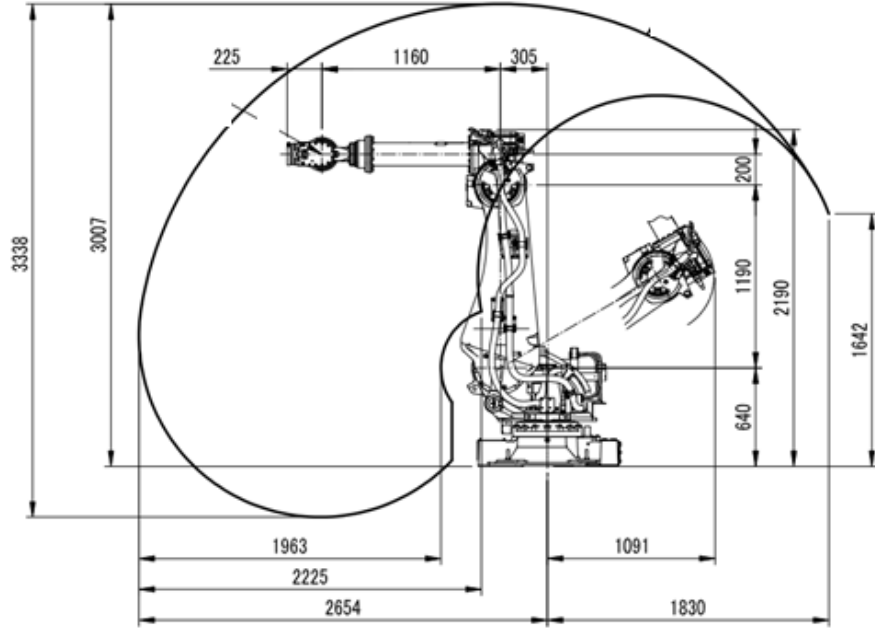
2.2.1.1 Taşıma robotları (istifleme, parça ve hat besleme)

Endüstride bitmiş ürün veya yarı mamullerin preslerden, CNC tezgâhlardan, otomatik montaj ve dolun hatlarından veya benzeri birçok üretim aracından alınması, doğru ve hassas bir şekilde istiflenmesi ve yeni parçanın bir sonraki prosese ait makine –ekipmana beslenmesi amacıyla kullanılan robotlardır.

Bitmiş ürünleri istiflemek için depolara tek tek taşımak yerine, önce bir palet üzerine yerleştirmek, sonra bu paleti taşımak daha uygun olmaktadır. Parçalar robot tarafından palet üzerine belli bir sıraya göre dizilmektedir. Burada önemli olan kısıtlar; besleme hızı, taşıma erişim alanının doğru hesaplanması ve ürün tutucunun (ing: gripper) doğru seçilmesidir.

Sanayide taşıma robotlarıyla ilgili yapılan seçimlerde yapılan hatalar genel olarak, fazla eksenli robot kullanmak, gereğinden daha ağır malzeme taşıyabilecek nitelikte fazla kapasiteli, gereğinden yüksek veya düşük tekrarlanabilirliğe sahip robot seçmek, hatalı çevrim süresi hesaplamak olarak sıralanabilir.

Endüstride çok sık rastlanan çok hassas olmayan işler için fazla sayıda eksen kullanmak, satıcının ve alıcının genel bilgi yoksunluğundan ileri gelmektedir. Robotun her bir eksenini, serbestlik derecesi olarak adlandırılır. Üç boyutlu karmaşık eğrisel dikişlerde uygun elektrot açısını sağlamak için kaynak robotlarında veya nükleer santrallerde veya boruların içerisinde çalışması gereken robotlarda; açının ve konumun hassas olduğu noktalarda serbestlik derecesi, diğer bir deyişle eksen sayısının fazlalığı önemlidir. Taşıma, yükleme, boşaltma gibi basit süreçlerde çoğu zaman üç veya dört eksenli robotlar, doğru yerleşim ve yeterli erişim sağlandığında yeterli gelmektedir. Şekil 2.1’de altı eksenli 166 kg. bir robota ait erişim uzayı örnek olarak verilmektedir.



Şekil 2. 1 Altı Eksenli 166 kg. Bir Robota Ait Örnek Erişim Uzayı (mm)

Endüstride yer alan robotların farklı işlere kolay adapte olabilmesi için genel olarak altı eksenli üretilmekte ve ölçek ekonomisi bakımından çok sayıda üretildiklerinden fiyat, yedek parça temini, esneklik, bulunabilirlik açısından daha çok altı eksen robotlar kullanıcılar arasında tercih edilmektedir. Ancak işletmeler burada seçim yaparken orta ve uzun vadeli planlarını doğru yapmalı ve aslında araştırıldığında daha düşük maliyetli olan ancak ulaşması nispeten daha zor olan, Resim 2.4’de örneği görülebilen “SCARA” tip üç veya dört eksenli robotları da yatırım hesaplarında göz önünde bulundurmalıdırlar.



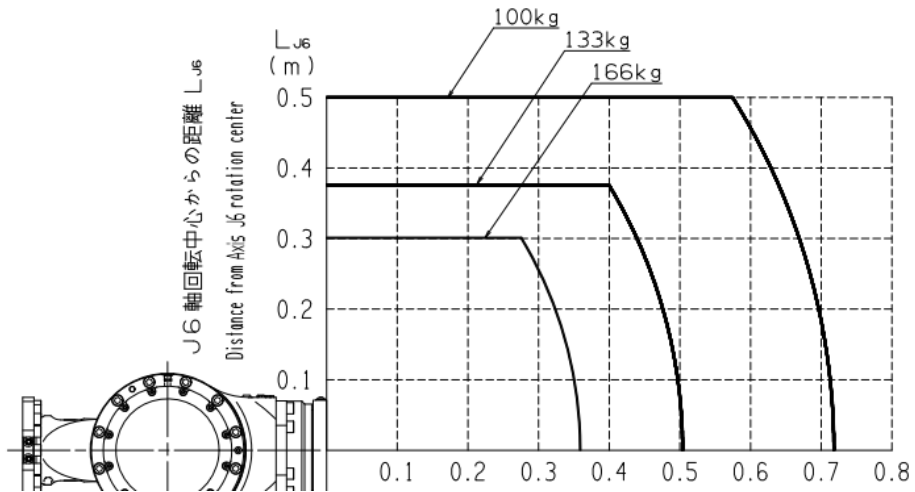
Resim 2. 4 Dört Eksenli 8 kg. Taşıma Robotu

Bir diğer husus ise robotlarda tekrarlanabilirlik özelliğidir. Tekrarlanabilirlik, robotun kol ucu takımını tekrarlı ve tutarlı olarak önceden öğretilen noktaya götürebilme yeteneğini ölçen istatistiksel bir terimdir.

Taşıma, yükleme, boşaltma seviye grubundaki işler için ± 1 mm.'lik tekrarlanabilirlik genellikle yeterli olmaktadır, tekrarlanabilirlik toleransları robotların yapacağı işe göre önem kazanmakta ve ± 1 mm. tekrarlanabilirlik mertebesindeki bir robot ile ± 0.02 mm. mertebesindeki bir robot, yatırım ve bakım maliyeti anlamında ciddi farklılık göstermektedir.

Yük taşıma kapasitesi de, taşıma robotlarında çok önemli bir husustur. Robotun özellikleri dikkate alındığında, maksimum yükün, maksimum veya minimum kol uzamasında belirtildiğine dikkat edilmelidir. Maksimum yük taşıma kapasitesi, robotun minimum hızında tekrarlanabilirlik değerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük değeridir. Manivela etkisine (kaldıraç gücü) bağlı olarak yük, manipülör gövdesine daha yakın olduğunda, daha ağır yüklerin kaldırılacağı açıktır. Bu yüzden robota ait spesifikasyon belgesinde belirtilen maksimum yük, kol uzamalarında istenen yükün manipülasyonuna izin verecek şekilde olmalıdır. Aşırı yüklemenin meydana gelmesi ve maksimum yük ile birlikte, tutucu veya bilekte, takımla çalışırken kesinliği sağlayabilmek için doğru güce sahip robot alınması önerilmektedir. Aksi takdirde geri dönüşü mümkün olmayan donanım hasarı, yüksek hızla hareket eden ürünün iş güvenliği yaratacak şekilde savrulması, robotun devrilmesi gibi sonuçlara sebep olunabilir. Tablo 2.1'de piyasada 166 kg. olarak satılan Japon menşeli bir robota ait taşınabilen ağırlık ve robota ait 6. eksen merkezine olan uzaklık ile yükleme arasındaki ilişkiyi gösteren grafik görülmektedir.

Tablo 2. 1 Altıncı Eksen Merkez Uzaklığına Göre Taşınabilen Ağırlık Haritası



Üreticinin robotla birlikte verdiği flanş yüzüne uzaklık ve altıncı eksen merkezine olan uzaklığına göre kolun taşıyabileceği Tablo 2.1’de verilen maksimum yük grafiğinde görüldüğü gibi taşıma gücü 166 kg. olan bir robot, anma yükünü sadece 300 mm. mesafeye kadar taşıyabilmekte ve mesafe 500 mm.’ye çıktığında ise sadece 100 kg. taşıyabilmektedir.

Doğru iş analizi ve ürün çalışması ile tamamlanması gerekli olan çeşitli operasyonlardaki döngü sürelerinin belirlenmesi gerekir. Çeşitli robotların hız performanslarıyla ilgili dikkatli bir çalışma gerçekleştirilmelidir. Çalışma alanının ölçekli çizimleri ve robot çalışma alanının şablonları, robotun istenen noktalara ulaşabilmesini ve çarpışma noktalarının tanımlanmasını sağlamak için gerekli olacaktır. Alternatif olarak bilgisayar simülasyonu kullanılabilir. Bu sebeple ürün geometrisi, yerleşim ve uzaklık projelendirme safhasında net olarak ortaya konulmalı ve Tablo 2.1 örneğinde olduğu üzere alınan robota ait harita incelenmeden robot seçimi yapılmamalıdır.

2.2.1.2 Yapıştırma

Montaj sanayinde contalama, silikon ve mastikleme benzeri çeşitli yapıştırma işlemlerinin tamamı artık robotlarla yapılmaktadır.

Resim 2. 5’te görülebileceği üzere FIAT otomobil fabrikasında üretilen araca ait arka trim yapıştırıcı iç conta uygulama prosesi görülmektedir. Otomotiv sektöründe bu işlemi robota yaptırmaktaki amaç, işlemin kalitesini ve hızını en yüksek seviyede gerçekleştirmektir. Burada robot için en kritik nokta, sürülen kimyasal malzemede istenilen şeklin ve dolgunluğun alınabilmesidir. Örneğin silindirik şekilde sürülen bir malzemede dönüş esnasında şekil ve nüfuziyette herhangi bir kayıp olmayacak ve süreç daha kolay işlenecektir. Ancak özellikle Japon otomobil üreticilerinin tercih ettiği kurtağzı şeklindeki kimyasal sürülmesi işlemi esnasında, kenar köşe dönüşlerinde malzemenin doğru akması için ekstra çaba sarf etmek ve hesaplamaların daha doğru olmasına özen göstermek gerekmektedir.



Resim 2. 5 FIAT Otomobil Fabrikası İç Conta Uygulama Prosesi

Özellikle ön cam ve arka bagaj gibi parçaların montajında conta miktarı, kalınlığı ve uygulanan kimyasalın nüfuziyeti, güvenlik açısından önem kazanmaktadır.

2.2.1.3 Kaynak

Bu tezin konusu olan kaynak robotlarının, Dünya’da ve Türkiye’de bütün robot uygulamalarının %25’ini oluşturduğu düşünülmektedir. Tez çalışmasının başlangıcında belirtildiği üzere, artan işçilik ve eğitim maliyetleri, kalifiye eleman sıkıntısı ve kaynak işleminin yapan kişide yarattığı olumsuz fiziksel etkilerden ötürü gerçekleşen; kısa vadede verimsizlik ve kalite kaybı ve uzun vadede mesleki hastalıklar, üreticileri kaynak prosesinde robota yönlendirmişlerdir.

Özellikle seri üretimde kaynak robotu, kalite, verimlilik ve maliyet açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak sanılanın aksine, robotlu kaynak ile gerçekleştirilen prosesler, elle veya farklı mekanik sistemlerle gerçekleştirilen kaynaktan çoğu zaman daha hızlı olmamaktadır. Kaynak ilminin getirdiği nüfuziyet, ısı yayılımı, eğilme – çarpılma gibi fiziksel etmenlerden dolayı robotlu kaynak hızı, farklı yöntemlerle yapılan kaynak prosesiyle benzer hızlardadır. Robotla hız artışı doğal olarak bu ilmin verdiği çerçeve ile sınırlandırılmıştır.

Ancak robotlu kaynak üretiminde, kalifiye kaynak ustası yerine sadece malzeme yükleme ve boşaltma yapabilecek bir ara eleman ihtiyacı vardır. Çoğu endüstride bu yükleme boşaltma işlemi de, taşıma robotları ile gerçekleştirilmektedir. Yine robotlu imalatta kaynak teli, torç ve diğer sarf malzemeler daha uzun ömürlü ve tasarruflu olmaktadır.

2.2.1.4 Montaj

Robot kullanımının dünyada en yaygın olduğu alan; seri imalat montaj işlemleridir. Montaj, önceden imal edilmiş, hazırlanmış parçaların farklı yöntemlerle birleştirilmesi işlemidir. Bu işlem genellikle sabit istasyonlarda yapılmaktadır. Gerekli parçalar belli yerlerden, belli bir sıraya göre alınıp birleştirilmektedir. Endüstriyel montaj robotları, montaj hatlarında kullanılarak üretim hızı ve tutarlılığını artırır. Resim 2. 6'da görülen montaj robotları, çalışanları monoton montaj hattı işlerinden kurtarıırken, üretim hızını ve kazancını artırıp, iş güvenliğinden doğacak sorunları ortadan kaldırır. Montaj robotları tekrarlanan hareketlerden dolayı, işçilerde oluşabilecek meslek hastalıklarının ve kalıcı hasarların önüne geçer.



Resim 2. 6 Bir Otomobil Fabrikasında Çalışan Montaj Robotları

Robotlar, üretim safhalarında yer alan hammaddeleri israf etmeyen ve mola vermeden çalışan, yüksek eğitim ve niteliklilik gereksinimi ortadan kaldıran, çalışma güven aralığı yüksek, güvenilir, hızlı bir üretim gücü sağlayarak işletmeye zaman ve maliyet avantajı sağlamaktadır.

2.2.1.5 Boyama

Boyama, bugün robotların yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biridir. Özellikle, otomotiv endüstrisinde ve hassas sonuç istenen birçok alanda boyama işlemi robotlar tarafından yapılmaktadır. Resim 2.7’de Porsche marka araçların kaporta boyamasında kullanılan boyama robotları görülmektedir.



Resim 2. 7 Taşıt Kaportasının Boyanmasında Görev Alan Robotlar

Robotların bu alanda kullanılmasının diğer bir nedeni de boyahanelerde çalışma şartlarının ağır ve çalışma ortamı atmosferinin kirli olmasıdır. Boyama işleminde, takip edilecek yol, başlangıç ve bitiş noktalarından çok daha önemli olduğundan sürekli yol denetimi uygulanmaktadır. Robota takip edeceği yol tecrübeli bir boyacı tarafından öğretildikten sonra, boyama işlemi birçok defa hassas olarak tekrarlanabilmektedir. Boyama işleminde robot kullanılmasıyla birlikte, boyahanelerdeki temiz hava ve enerji ihtiyacı azalmakta, temiz, kaliteli bir boya elde edilmekte; böylece malzeme ve işçilik maliyetleri düşmektedir.

2.2.1.6 Nükleer santraller

Nükleer endüstride robotlar, test, kontrol ve besleme amacıyla günümüzde yaygın olarak insanların yerini almaya başlamıştır. Özellikle nükleer mühendislik firmaları özel olarak bu tip robotları geliştirmek üzerine araştırmalarını sürdürmektedirler. Robotla yapılan test ve gözetim teknikleri genellikle görsel kontrol, ultrasonik kontrol, radyasyon seviyesinin ölçülmesi olarak sıralanabilir. Buradaki amaç nükleer enerji sektöründe çalışan kişilerin radyasyon maruziyeti ve buhar türbünü, basınç hatları gibi tehlikeli ekipmanlarda ki risklerini elimine etmektedir. Resim

2.8’de Japonya Fukushima Nükleer Santrali’nde gerçekleşen kaza sonrası inceleme yapmak amacıyla kullanılan robot görülmektedir.



Resim 2. 8 Japonya Fukushima Nükleer Santralinde Görev Yapan Bir Robot

Bir diğer önemli alan ise radyasyonlu malzemelerin taşınması, boyutlarının küçültülmesi, kesilmesi ve yok edilmesinde robotların görev almasıdır. (Bogue, 2011)

2.2.1.7 Tarım ve zirai alanlar

Ülkemizde tarım sektörü ağırlıklı olarak emek yoğun bir sektördür. Ancak tarım işçisinin az, insan emeğinin pahalı ve tarımsal ürün kapasitesinin yüksek olduğu (Avustralya, Japonya, ABD, İsveç gibi) ülkelerde tarım işletmelerinin ve kullanılan tarım makinalarının otomasyonuna ve giderek daha yoğun robot teknolojisi kullanımına doğru kuvvetli bir eğilim bulunmaktadır. Otomasyon ve robot teknolojisi, üretken ve ekonomik tarım işletmeleri için gerekli olduğu kadar, sağlıklı ürün elde edilmesinde ve elde edilen ürünün sağlıklı koşullarda korunması ve taşınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Tarım endüstrisinde de potansiyel olarak robotların kullanım alanları çok fazladır. Robot teknolojisinin, tarım endüstrisi ile kesişimi çok çeşitli ve değişik alanlarda olabilmektedir.

Bu kapsamda robot görme sistemli traktörler, dönemsel ürün sınıflandırma sistemleri, fide ve tohum ekim robotları, ürün hasat robotları, gübreleme, ilaçlama,

yabancı otlar ve zararlılarla savaş için kullanılan robotlar sayılabilir. Bitkileri parçalarına ayırma veya kabuklarını soyma (konserve gibi) işleri için de robot manipülatörler kullanılmaktadır.

Tarım sektöründe mekatronik teknolojisinin öne çıkan kullanım alanları şunlardır:

- Tohumlama, gübreleme ve ilaçlama (zararlılarla mücadele) amaçlı otonom veya uzaktan kumandalı gezer robotlar,
- Ürün hasat robotları,
- Besleme ve sulama sistemleri,
- Süt sağma makinaları ve robotları,
- Ürün sınıflandırma ve işleme robotları,

Bu amaçla kullanılan Resim 2.9'da görülen insansız uçan helikopterler en ilginç robot uygulamalarından birisi olma özelliği taşımaktadır.



Resim 2. 9 Tarımda Robotik Helikopter ile Tohumlama İşlemi

Helikopter depolama sistemi, gübrelemede sıvı ve taneli gübrelemeye imkân verecek şekildedir. Bölgesel kullanımında pirinç tarlalarının tohumlanmasında 5 - 7,5 dönüm/saat tohumlama hızı elde edilmiştir. Tohumlama ekim alanında insanlı yöntemlere göre daha homojen olarak uygulanabilir. Helikopterin uçuşu alçak uçuş

(3 - 4 m.) olup uzaktan kumandalı kendinden yönetimli (ing:teleoperated) bir robottur. Kısmi hareket otonomisi vardır. Meyve toplayıcı robotlar üzerindeki araştırmalar özellikle insan işgücünün az olduğu Avustralya ve ABD gibi ülkelerde sürdürölmektedir. Toplanacak meyve özellikleri (olgunluk düzeyi) toplama için bir ölçüt olarak verilmektedir. Bu robotlar otonom olarak arazide dolaşabilmekte ve ağaçlara yaklaşarak, ağaç üzerinde olgunlaşmış meyveyi algılayarak toplayabilmektedir. Bu tür robotların Türkiye gibi işgücü sorunu olmayan ülkelerde, özel uygulamalar dışında, yakın zamanda uygulama bulması beklenmemektedir.

Fide dikim robotları, yarı otomatik veya tam otomatik olabilmektedir. Tipik olarak bir sırada dakikada 60 fide dikim hızı elde edilmektedir. Fide aralıkları ve dikme derinliği insana göre çok daha iyidir. Fide dikimi için sürekliliği olan sistemler kullanılabilirdiği gibi, robot manipölatörler de kullanılmaktadır.

Bahçe tarımında benzer şekilde lahanaya hasat robotu, (bir saatte üç dekar lahanayı toplayıp temizleyebilir), yumru hasatı, bitki artıklarını toplama makinaları, çilek toplama için yardımcı araç vb. birçok uygulamada robot teknolojisi kullanılmıştır.

Meyve bahçelerinin ilaçlanması insan sağlığı için her zaman riskli olmuştur. İlaçlama işlerinde insan kullanımını ortadan kaldıran insansız ilaçlama robotları kullanılmaktadır. Bu kapsamda toprak altına gizlenen elektrik tellerini izlemekte ve tüm meyve bahçesini insan hızından daha yüksek hızlarda ilaçlayabilmektedir. Sıra başlarından dönüş tamamen otomatiktir. İnsanın ilaç ile etkisini tamamen önlemek için, ilk işleme başlama komutu da uzaktan kontrol ile verilmektedir. (<http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/robotik/>, Erişim tarihi: 31.03.2015)

2.2.1.8 Su altı

Bugün insanoğlu, büyük bölümünü kendisi için riskli veya erişimi olanaksız olarak kabul ettiği su altı ortamında değişik konular üzerine araştırma yapmak, faaliyet göstermek zorundadır. Su altı araştırmalarında, insan faktörü daima "çalışılacak derinlik" ve "çalışma süresi" üzerinde belirleyici olmuştur. Yüksek basınç, düşük sıcaklık, suyun kimyasal yapısı yada su altı canlılarından gelebilecek tehlikeler yüzünden pek çok su altı çalışması insan gücü kullanımına izin vermez. Bu nedenle

su altı robotları yavaş ama sürekli olarak kaydedilen ilerlemelerle su altında insanın yerini almaktadır.

Günümüzde su altı robotlarının başlıca kullanım alanları; okyanus tabanı araştırmaları, su altı jeolojisi, su altı madenciliği, su altı arkeolojisi, su altı biyoteknolojisi, balıkçılık, su tarımı ve askeri amaçlı çalışmalardır.

Su altı robotlarının tasarım problemi daha önce kara robotlarında karşılaşılmayan pek çok sorunu da beraberinde getirmiştir. Resim 2.10'da görülen Alvin isimli robotun, 3.600 metreye batan Titanik gemisine yaptığı keşif dalışında yaşadığı sorunlardan en önemlisi su altındaki yüksek basınç ortamıdır. Kapalı bir kap içerisindeki suyun içindeki bir nesneye uyguladığı basınç, suyun yoğunluğu, nesnenin derinliği ve yer çekimi ivmesinin çarpımı ile bulunur. Şüphesiz su altı robotlarının tasarımda karşılaşılan tek sorun yüksek basınç değildir. Nem, deniz suyunun kimyasal yapısından kaynaklanan korozyon etkisi, hareketli parçalar arasında yağlama problemi gibi pek çok konunun tasarım sırasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Fakat bu tür robotların tasarımında karşılaşılan en büyük sorunlar; gezinim sisteminin tasarlanması, aracın denetimi ve yörünge planlaması gibi konularda yaşanmaktadır.



Resim 2. 10 ALVIN İsimli Robot Titanic Enkazında

Ayrıca, Titanik enkazının incelenmesi örneğinde olduğu gibi pek çok su altı araştırmalarında ve faaliyetlerinde su altı robotları numune toplamak, onarım veya yapılandırma (inşa) gibi alanlarda kullanılmak üzere mekanik kollara ihtiyaç duyarlar.

Bu mekanik kolların kontrolü sırasında, kara robotlarında karşılaşılmayan yeni sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunların dışında, engelden sakınma ve yörünge planlaması gibi problemler aynen kara robotlarında olduğu gibi su altı robotları içinde çözülmesi gereken sorunlar listesinde yer alırlar.

Bütün bu sorunlar karşısında tasarımcılar çoğu zaman doğadaki çözümleri örnek almışlar ve su altı canlılarının algılama tekniklerini, davranışlarını yada hareketlerini taklit ederek bu sorunlara çözüm aramışlardır. (http://www.bostondynamics.com/robot_ls3.html, Erişim tarihi: 31.03.2015)

2.2.1.9 Askeri ve savunma alanları

Gelecekte askeri robotlar ve silahları konu alan P.W. Singer, savaşlarda kullanılan robotların, savaşın gerçeklerini nasıl etkilediğine değinir. Robotların hem iyi hem de kötü anlamda kullanılabileceğini şu şekilde anlatır:

”Robotların duygusuzluğu, robotlar duygusuzdur. Arkadaşlarına bir şey olsa üzülmezler. Öç alma ya da öfke duygularıyla öldürmezler. Ancak 80 yaşındaki bir nineyi herhangi bir tehdit olarak algırlar ve öldürürler.” (Singer ve Friedman, 2014)

Hayatın her alanında yerini alan ve büyük bir hızla büyüyen robotik, şüphesiz ki savaş alanında da kendisini göstermektedir. Özellikle on yıl öncesine kadar insansız savaş uçaklarının sadece gözlem yaptığı ancak bugün insansız hava uçakları ile bombalama ve hedef vurma gibi kritik olayların gerçekleştiği göz önüne alınırsa, mekanikleşmenin, robotizasyon ve otomatik kontrolün, savaş ve savunma sanayiindeki artan yeri daha net anlaşılacaktır. Savaş konusunda halen daha robotlar konusunda yaşanan gelişmeler henüz gün yüzüne çıkmasada, Resim 2. 11’de görülen askeri donanım taşıyan robot Google tarafından satın alınan Boston Dynamics firması gibi, bu alanda yatırım yapan firma ve devletlerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Savaş ve savunma sanayii, robot imalatı ve projesi yapan firmaların çalıştıkları en kazançlı alanlardır. Örneğin, normal bir sivil taşıt için gerekli olan A robotuna yapılacak yatırım için gereken bedel için X TL maliyeti, askeri araç üretecek aynı A robotuna yapılacak yatırım için ödenecek bedeli 3X maliyeti olarak değerlendirilebilir.



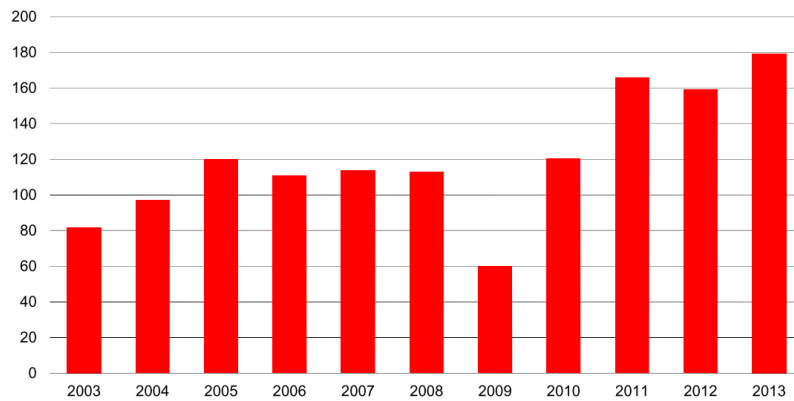
Resim 2. 11 Boston Dynamics'in Geliştirdiği Askeri Donanım Taşıyan Robot

Yine silah, savaş ve savunma sanayisine, robot ve benzeri çok gelişmiş üretim araçlarının satılması dünyada yasaktır. Bu yasak, yabancı üreticilerin Türkiye'ye sattığı ürünler içinde geçerlidir. Ancak yine Türkiye'ye özgü bir çözüm olarak yurtdışından getirilen robotlar savaş ve savunma sanayiine, yerli distribütörler üzerinden satılmaktadır. Ulusal çıkarlar gereği bu konuda daha fazla bilgi okuyuculara verilmemektedir.

2.2.2 Dünya'da endüstriyel robotların güncel konumu

Aşağıda Tablo 2.2'de 2003-2013 yılları arasındaki dünya genelindeki robot satış adetleri görülmektedir.

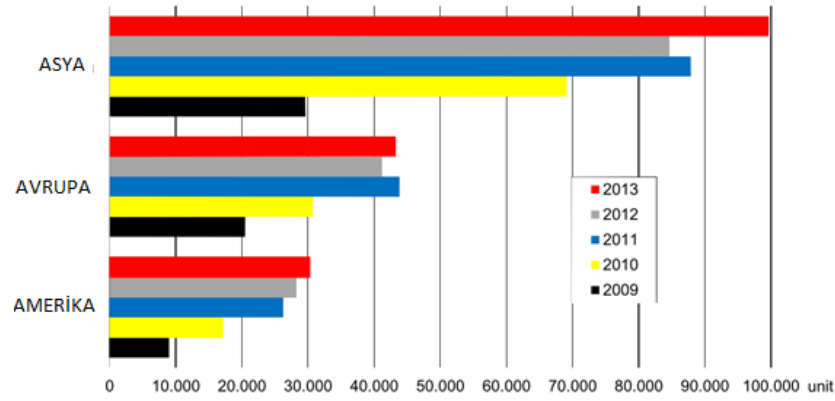
Tablo 2. 2 2003-2013 Yılları Arasında Endüstriyel Robot Satışları (.000 adet)



Grafikte görüldüğü üzere 2009 yılı dünya genelindeki ekonomik küçülme haricinde her yıl satılan robot sayısı %10 ila %40 arasında artış göstermiştir. (IRF, 2014)

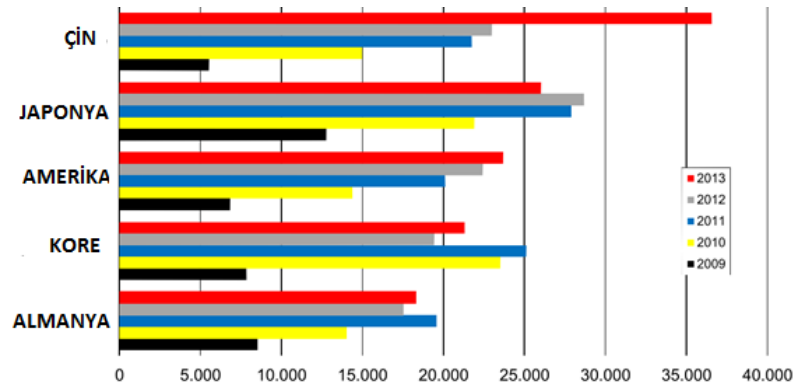
2013 yılında tüm zamanların en çok endüstriyel robotu 179.000 adet satış ile kayıt altına alınmıştır. Asıl robotlu üretimin ve gelişmenin, işçilik maliyetlerinin yüksek olduğu Amerika ve Avrupa kıtasındaki gelişmiş ülkelerde beklenmesi gerekirken, işçilik maliyetlerinin düşük olduğu Asya ülkelerinde robotlu üretim ve gelişimin Amerika ve Avrupa'ya nazaran daha fazla olduğu Tablo 2.3'den görülmektedir. (IRF, 2014)

Tablo 2. 3 Üç Kıtada 2009-2013 Yılları Arasında Kurulan Robot Sayısı



Bunun nedeni tekrarlanabilen işlerde robot maliyetinin, işçilik maliyetinin çok ucuz olduğu yerlerde dahi, yatırım yapılabilir olarak hesaplanmasında büyük pay vardır. Tablo 2.4'de görüldüğü üzere, Çin; sanayide gelişmiş diğer dört ülke olan Japonya, Amerika, Güney Kore ve Almanya'ya nazaran 2013 yılında sanayi atılımı gerçekleştirmiş ve robot kurulumunda önceki senelere göre %50'den fazla yatırım yapmıştır. (IRF, 2014)

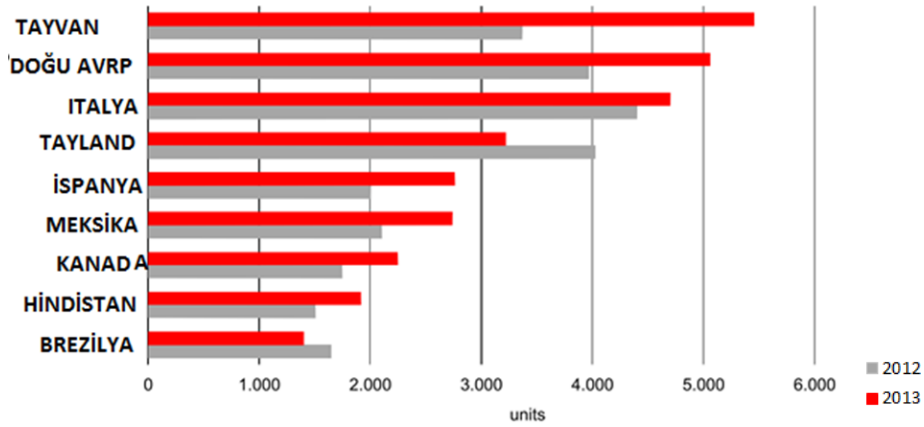
Tablo 2. 4 Gelişmiş Ünelere Ait 2009-2013 Yıllık Robot Montaj Adetleri



Doğal olarak Çin'de de artmaya başlayan işçilik maliyeti ve seri üretimin gücü bu konuda ivme kazandırmıştır. Diğer sanayisi gelişmeye çalışan ülkelere bakıldığında

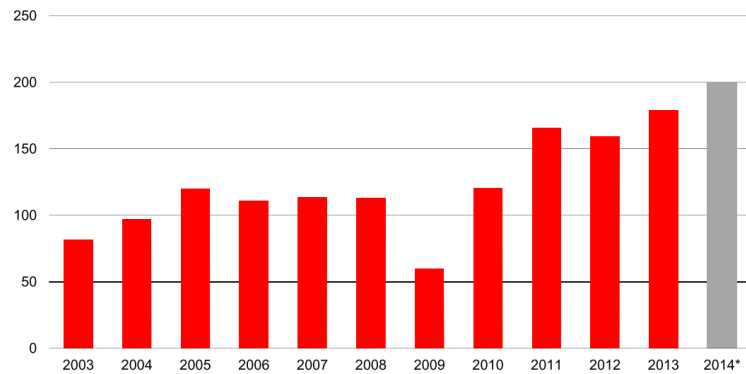
ise benzer bir ivme görülmektedir. Yine de bölge bazında bakıldığında göze çarpmayan, ancak dünyada gelişmiş ve gelişmekte olan büyük ekonomiler incelendiğinde, hızlı bir otomasyon ivmesi göze çarpmaktadır. Tablo 2.5'te görüldüğü üzere, Tayvan ve Orta ve Doğu Avrupa'da bir önceki sene dikkate alındığında %20 - %45 oranında artış görülmekte, ancak İtalya ve Brezilya gibi ülkelerde gerileme izlenmektedir.

Tablo 2. 5 Gelişen Ülkelere ait 2009-2013 Robot Montaj Adetleri



Buradan şu sonuç görülmektedir; ülkenin ekonomik göstergelerine göre, yatırımcılar; ya mevcut emek gücü ile çalışmaya devam ediyorlar yada ekonomik göstergeler iyi geldiğinde yatırıma yönelip özellikle sanayide robot ve otomasyon konusunda kendilerini güçlendirmektedirler. Tablo 2.6'dan görülebileceği üzere sanayide otomatikleşme (robot ve otomasyon) trendi yıl bazında ivmelenmektedir. (IRF, 2014)

Tablo 2. 6 2003-2014 (tahmini) Dünya Geneli Robot Kurulum Adetleri



Bunun başlıca sebepleri; yeni robotların daha az enerji harcaması ve daha hafif metallerden imal edilmesi (örn: alüminyum); insanların çalışırken ihtiyaç duyacakları

iklimlendirme, aydınlatma, havalandırma gibi ihtiyaçları olmaması; global rekabetin endüstri üzerinde baskıladığı verimli ve kaliteli üretim, gelişen tüketici marketinin daha geniş ve hacimli ürün tedarikine ihtiyaç duyması, ürünlerin yaşam döngüsünün kısılması ve ürün tedarikinde çeşit ve esnekliğin artması ve en önemlisi insanlarla yapmanın verimli olmadığı tehlikeli, kirli ve sağlığa zararlı işlerin kalitesinin, robotlarla üretim yapılmasıyla birlikte artmasıdır.

Robot sayısının artmasıyla birlikte Resim 2. 12’de görüleceği üzere insan – makine etkileşimi ve iş güvenliği önem kazanmaktadır. Daha öncesinde robot programlaması hakkında bilgisi olmayan insanlar, gelişmiş yeni nesil robotlarla birlikte basitleşen, insancıl komutları anlayabilen ve kolaylıkla uygulayabilen ve tak-çalıştır mantığında üretilen bileşenlerle birlikte robotlarla daha kolay iletişime geçebildiler. Bugün Türkiye’de, makine konusunda ortalama deneyimi olan bir kişiye, üç gün içerisinde temel robot programlama ve kullanma eğitimi verilmektedir.



Resim 2. 12 Operatör ve Robot Korumasız Olarak Birlikte Çalışmakta

Ancak robotlarla çalışırken asıl zorlayıcı kısım iş güvenliğidir. Halen daha Türkiye’de birçok robot, herhangi bir koruyucu aksam olmadan insanlarla bir arada tehlikeli şekilde çalışmaktadırlar.

2.2.3 Türkiye’de endüstride robotların güncel konumu

Türkiye’de halen endüstride robotlu imalat ve otomasyon ile ilgili güncel ve gerçeği yansıtan sağlıklı bir veri ve araştırma bulunmamakla birlikte 2012 yılında toplam 1000’e yakın robot kurulduğu tahmin edilmektedir. Bunun altında yatan temel sorun ise, Türkiye’nin halen daha katma değeri yüksek olan teknoloji alanında yatırım yapma ve destekleme politikası yerine, nispeten katma değeri düşük ağır sanayi ve yan sanayi üretimine yatırım yapmaya teşvik edilmesidir. Kurulan teknoparklar teknoloji üretmek yerine dışarıda bulunan teknolojiyi Türkiye’ye getirme ve adapte etme seviyesinde kalmaktadır.

2003 yılında Türkiye’de bomba imha robotu ve benzeri savunma robotları imal eden yerli teşebbüs bir firma maalesef kamunun yabancı imalatçı ısrarı sonucunda 200 adet robot imal ettikten sonra kapanmıştır. Bu ve benzeri politikalar sonucunda, Türkiye’de robot üretmeyi düşünen yatırımcılar vazgeçmiştir. Bugün Türkiye’de yerli robot üretilmemektedir.

Türkiye’de işçilik maliyetlerinin, sanayileşmiş ve gelişmiş ülkelere nispeten düşük olmasına rağmen büyük sanayi kuruluşlarının yoğun olarak, orta ölçekli olanların ise daha az yoğunlukta robot kullanmaya başladığı gözlenmektedir ancak sanayileşmiş ülkelerle karşılaştığında, Türkiye’de endüstride kullanılan robot sayısı sembolik denilebilecek kadar azdır. Türkiye’de bir otomobil üretim fabrikalarında 200-250 adet robot kullanırken, sanayileşmiş ülkelerde otomotiv üretim fabrikalarında 1.500-2.500 adet robotun kullanıldığı görülmektedir. Nüfus ve milli gelir olarak dünyanın %1’i kadar olan Türkiye, robot nüfusu olarak dünya robot nüfusunun binde biri mertebesindedir.

Dünya robot nüfusunda 2013 yılı sonu itibariyle Japonya, en fazla robota sahip olan ülke olarak görülmektedir. Japonya’yı, ABD ve Almanya izlemektedir. Türkiye ise Slovenya, Slovakya ve Macaristan’ı geride bırakmış durumdadır. Ancak, Slovenya ve Slovakya’da robot yatırımı artan bir eğilim göstermektedir. Bununla birlikte özellikle Türk otomotiv sektörü ve yan sanayinin gelişmekte olmasının, robot yatırımlarında artış için bir ışık olacağı söylenebilir.

Türkiye’de ki robotların kullanım alanlarına bakıldığında, daha çok hassasiyetin ve kalitenin önem taşıdığı ve robotun hızlı olmasından dolayı üretkenliğin arttığı işlerde

tercih edildiği görülmektedir. Kısaca insanın başarması güç olan işlerde robot kullanılmakta ve tercih edilmektedir. Dolayısıyla robotun tercih edilmesi durumunda fayda sağlayacak birçok işte, insan gücü alternatifi seçilerek robot kullanılmamaktadır.

Kaynak robotu konusunda Türkiye’de 50’ye yakın firmanın genel uygulamalarının yanında, özellikle kaynak robotu konusuna öncesinde kaynak teli ve kaynak makinaları sektöründe faaliyet gösteren firmalar yoğun ilgi göstermiştir. Türkiye’nin başlıca üç kaynak teli üreticisi olan Gedik Kaynak firması, AS Kaynak firması ve Oerlikon firması; yurtdışı robot firmalarının bayiliğini ve entegratrlğn almıştır. Gedik Kaynak firması; OTC markası ile, AS Kaynak firması Fanuc markası ile ve Oerlikon firması Panasonic markası ile piyasada kaynak robotu projelendirmesi, satışı ve kurulumu gerçekteştirmektedir. OTC ve Panasonic marka robotların satışında Gedik Kaynak ve Oerlikon firması Türkiye’de tek yetkili distribütör konumundadır. Yine kaynak sarf malzeme ve makine tedarikçisi olmayıp, kaynaklı imalat çözümü sunan birçok robot firması bulunmaktadır.

BÖLÜM 3

KAYNAK

3.1 Kaynak Nedir

Kaynak, bir malzeme birleştirme yöntemidir ve uygulanacağı malzemelerin cinsine göre metalik malzeme kaynağı ve plastik malzeme kaynağı olarak iki bölümde incelenir.

Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisi birlikte kullanarak ve aynı özelliklere sahip ve ergime aralığı aynı veya benzeşen bir malzeme katılarak veya herhangi bir malzeme katmadan birleştirmeye “metalik malzeme kaynağı” denir. İki parçayı birleştirirken kullanılan diğer malzemelere ise “ilave metal” denir.

Aynı veya farklı türlerdeki termoplastik (sertleşmeyen plastik) malzemeyi, ısı ve basınç kullanarak ve aynı cins bir plastik ilave ederek veya etmeyerek gerçekleştirilen birleştirmeye “plastik malzeme kaynağı” denir. Kaynak birçok yönden benzer olan perçin ve döküme göre üstün özelliklere sahiptir. Örneğin, dökümdeki gibi model gerekmez, cidar kalınlığı 6 mm.’den kalın parçaların imalatı dökümde zor iken, kaynakla kolayca gerçekleştirilebilir. Döküme göre %30 daha hafiftir. Döküm ancak çok sayıda imalatta, belirli limitler içerisinde kaynaktan üstündür.

Perçin ile kaynak prosesleri karşılaştırıldığında, kaynağın perçine göre daha yüksek sızdırmazlık sağlaması, ağırlıkça %10 ila %30 arasında daha hafif olması, işçilik anlamında %25 daha ucuz olması, kaynağı üstün kılar. Parçaların kaynakla birleştirilmesinin önemini kavrayabilmek için, diğer imalat yöntemleriyle karşılaştırmak gerekmektedir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de döküm, dövme ve kaynak proseslerinin özellikler bakımından karşılaştırılması ile ilgili tablo görülmektedir.

Tablo 3. 1 Döküm, Dövme ve Kaynak İmalatlarının Karşılaştırılması

<i>Özellikler</i>	<i>Kaynak</i>	<i>Döküm</i>	<i>Dövme</i>
<i>Dayanım</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>İyi</i>
<i>Darbeli Zorlanma</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>İyi</i>
<i>Şekillendirilebilme</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>
<i>Az Parça Adedi</i>	<i>İyi</i>	<i>Kötü</i>	<i>Orta</i>
<i>Çok Parça Adedi</i>	<i>Kötü</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>

Tablo 3.2’de kaynak, lehimleme, yapıştırma ve perçinleme prosesleri ile özelliklerinin karşılaştırması gösterilmektedir.

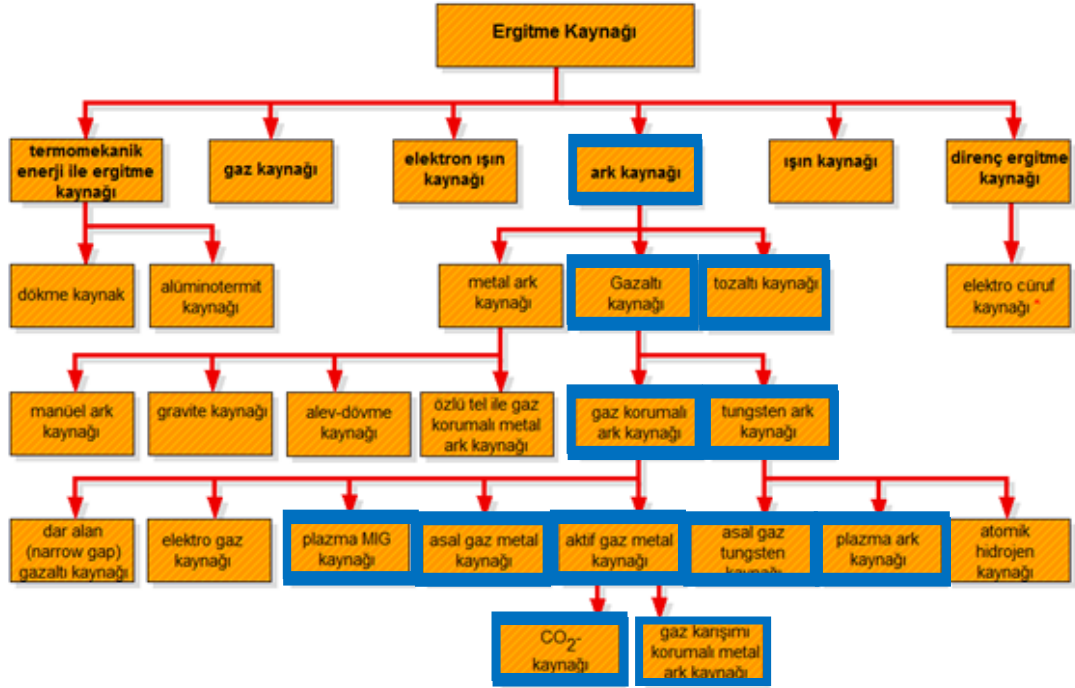
Tablo 3. 2 Kaynak, Lehim, Yapıştırma ve Perçin Proseslerinin Karşılaştırılması

<i>Özellikler</i>	<i>Kaynak</i>	<i>Lehimleme</i>	<i>Yapıştırma</i>	<i>Perçinleme</i>
<i>Dayanım</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>
<i>Isı Dayanımı</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>İyi</i>
<i>Sızdırmazlık</i>	<i>İyi</i>	<i>İyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Kötü</i>
<i>Tolerans</i>	<i>Kötü</i>	<i>Orta</i>	<i>İyi</i>	<i>İyi</i>
<i>Kontrol</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>	<i>Kötü</i>	<i>İyi</i>
<i>Çevrim Süresi</i>	<i>İyi</i>	<i>İyi</i>	<i>Orta</i>	<i>Orta</i>

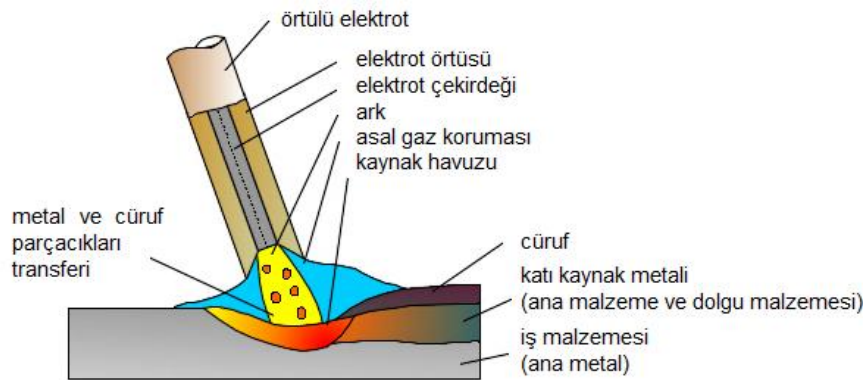
3.2 Kaynak Tipleri

Kaynak tipleri ve çeşitleri, teknolojinin ve malzeme biliminin gelişmesiyle birlikte gelişmiş ve teknolojik uygulamalarda yerini almıştır. Tablo 3.3’de ergitme kaynağı çeşitleri görülmektedir. Bu çalışmada sadece robot ve otomasyon uygulamalarında kullanılan ergitme kaynağı başlığı altındaki ark kaynağı ve ışın kaynağı tipleri incelenmektedir. İncelenecek olan kaynak tipleri, mavi çerçeve ile belirtilmiştir.

Tablo 3. 3 Endüstri’de Kullanılan Ergitme Kaynağı Tipleri



Birçok önemli birleştirme işlemi, araç ve enerji sağlayıcısı olarak arkı kullanır. Ark, kaynak dolgu malzemesini eritir ve nüfuziyet sağlar. Ayrıca fiziksel ve metalürjik işlemler için gereken enerjiyi sağlar. Elektrotlar; hem ark oluşturma, hem de dolgu metali olma işlevi görmektedirler. Resim 2.13’de görüldüğü üzere elektrot, metal bir çekirdek (tel) ve bunun etrafındaki bir kaplamadan ibarettir. Kaplama içerisinde birtakım sarf malzemesi ile alaşım elementleri bulunmaktadır.



Resim 2. 13 Ark Kaynağında Malzemelerin Şematik Gösterimi

Doğru akım kaynağında yapılan kaynaktan kasıt, kutuplamanın elektrota bağlanan kutbudur. Akım, elektrot ile iş parçası arasındaki ark üzerinden iletilmektedir. Arkın

yüksek ısı ile ana malzeme ve dolgu malzemesi eritilir. Koruma gazı (yönteme bağlı olarak, elektrot örtüsünden elde edilebilir veya haricen verilebilmektedir) sayesinde ark ve eriyik haldeki metal, atmosferin bozucu etkilerinden korunur.

Kaynak işlemi esnasında oluşan direnç ısı, dolgu malzeme transferinde ve ana metali eritme işleminde önemli rol oynar. Gaz koruması, arkı ve eriyiği atmosferin ve çevrenin olumsuz etkilerinden korur. Arkın korunmasındaki amaç, kaynak çevresinde bulunan havanın birleştirme alanında oksitleme yapılmasını önlemek veya benzeri kimyasal olaylardan korumaktır. Arkın korunması birkaç farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Elektrot üzerinde bulunan örtünün ark sırasında yanması ile oluşan kesif dumanın korunması, toz ile örtülmesi veya gaz ile yapılan korumalar en çok uygulananlardır. Ark kaynakları yarı otomatik, otomatik veya el ile manuel kumandalı olarak yapılmaktadır. Otomatik olarak yapılan kaynaklarda tel veya elektrot kaynak alanına herhangi bir el yardımı olmaksızın, robot üzerindeki programlar kanalı ile mekaniksel olarak gönderilmektedir. Yarı otomatik kaynaklarda, elektrot veya kaynak teli otomatik olarak hareket ettiği halde, kaynak pensi elle ilerletilir ve yönetilir.

Elektrotla iş parçası arasında bir akım oluşturabilmesi için, ikisi arasındaki havanın elektriksel yönden iletken hale getirilmesi gerekir. Ark, her ikisinin birbirine kısa süreyle dokunması sonucu başlar. Bu dokunma sırasında kısa devre oluşarak elektrotun ucu iyice ısınır ve elektron emisyonu mümkün hale gelir. İş parçası ve elektrot arasındaki voltaj nedeniyle elektrottan iş parçasına giden elektronlar hız kazanır. Bu elektronlar ark bölgesinde nötr atomlara çarptığında daha fazla elektron serbest kalır. Bu olaya "çarpma iyonizasyonu" adı verilir. Bu çarpışma sonucu elektron kaybederek artı yüklü iyonlara dönüşen gaz atomları, eksi yüklü elektrota doğru hareket ederler.

Arktaki sıcaklıklar, elle ark kaynağında 4.000°C , MIG/MAG kaynağında ise 10.000°C civarındadır. Ark yanarken, artı kutupdaki (anottaki) sıcaklık, eksi kutupdaki (katottaki) sıcaklıktan 200°C ila 500°C daha fazladır. Bunun sebebi eksi kutuptan çıkan elektronlar malzemeyi terk ederken enerjiyi yutarlar, büyük bir hızla artı kutba çarpan elektronlar çarpma sırasında enerjilerini verirler.

Ark kaynağının özelliklerini aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Tutuşturulması gerekir,
- Manyetik bir alan tarafından çevrilidir,
- Manyetik olarak etkilenebilir,
- Kimyasal yönden etkilenebilir,
- Oldukça yüksek ancak değişken bir direnci vardır,
- İyi bir ısıl etkinliğe sahiptir,
- Kıvılcık ötesi, görünür ve morötesi ışınlar yayar,
- Manyetik alanın tek taraflı olarak etkilenmesi halinde ark üfleme yapar,
- Kaynak banyosuna bir basınç uygular.

3.2.1 Gaz korumalı (gaz altı) ark kaynağı

Gaz altı ark kaynağı genel olarak bir makaradan ya da fiçiden gelen belli çaptaki ya da ölçüdeki ilave elektrot telinin bir redresör devresi* ile kaynak bölgesinde sürekli olarak ergitilmesi esnasında bir gaz nozulundan gelen koruyucu gaz ile eriyik metalin atmosferin istenmeyen etkilerinden korunarak istenen kaynak dikişinin elde edilmesi olayıdır.

Gaz korumalı ark kaynak yöntemleri enerji kaynaklarına göre sınıflandırılmaktadır. Kullanılan elektrot çeşitlerine teli çeşitlerine göre gaz korumalı ark kaynaklarını aşağıda gösterilen Tablo 3. 4'e göre sınıflandırılabilir.

* Doğrultucu veya redresör, bir ya da daha fazla yarı iletken elemandan (örneğin diyot) oluşan alternatif akımı doğru akıma çevirmek için kullanılan elektriksel bir devredir.

Tablo 3. 4 Gaz Korumalı Ark Kaynak Yöntemleri (SG)



TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yönteminde, erimeyen bir tungsten elektrot vasıtası ile oluşturulan ark sayesinde, robot harici yapılarda gerektiğinde elle veya otomatik olarak beslenen ilave telin yardımıyla kaynak banyosu oluşturulur. Gaz korumalı ark yöntemlerinden bir diğeri olan MSG (Metal Shielded Gas) kaynağında ise, ark oluşumunu sağlayan tel elektrot aynı zamanda dolgu metalidir. Kaynak banyosunun atmosferik ve çevre etkilerinden korunması koruma gazı ile sağlanmaktadır.

Avrupa’da hava ayırım metodu ile imal edilen ve asal gaz olan argon, tüm kaynak ve kesme işlemlerinin temel gazı olarak kullanılmaktadır. DIN EN 439 standardına göre II sınıfı olarak gösterilen saf argon gazı, kaynak ve kesme amaçlı MIG, TIG, plazma ve lazer kaynağından kullanılmaktadır. Uygulamaya bağlı olarak (aynı zamanda malzeme çeşidine de bağlı olarak) başka gazlarla da (CO₂, O₂, He, H₂ ve N₂) karıştırılır. Argon ile beraber altı temel gaz karışımı elde edilir. Uygulamanın ihtiyacına göre bu karışımların yüzde oranları belirlenmektedir.

Türkiye’de birçok endüstride kaynak işleminde seçilen ve kullanılan koruyucu gazların kulaktan dolma ve bilgisizce seçildiği, bunun sonucunda da proseste birçok problemin kalıcı olarak düzeltilemediği gözlemlenmektedir. Okuyucuların bu konuda faydalanmaları için gazların yapısı hakkında genel bilgi ve DIN EN 439’a göre beş grup gaz için kullanım alanları belirtilmiştir.

Soygazlar, dış yörüngelerindeki tüm yerlerin elektronlar ile dolu olması, diğeri bir deyimle dış kabuğunun kapalı olması dolayısı ile diğeri elementlerin atomları ile elektron alışverişinde bulunmazlar; yani herhangi bir koşulda kimyasal bir

reaksiyona girmezler. Bu bakımdan gaz altı kaynak yönteminin ilk gelişme yıllarında koruyucu gaz olarak yalnız helyum veya argon gibi soygazlardan yararlanılmıştır.

Argon

Argon tamamen soy mono atomik bir gazdır, sıvı metaller içinde çözülmez ve yoğunluğunun havadan daha yüksek olması nedeni ile özellikle yatay kaynak pozisyonlarında, kaynak sırasında çok etkin bir örtü oluşturarak kaynak banyosunu çok iyi bir biçimde atmosfer etkisinden korur. Günümüzde argon genellikle havanın sıvılaştırılarak oksijen ve azotun ayrıştırıldığı tesislerde yan ürün olarak elde edilmektedir. Argon gazı içinde oluşan arkın gerilim düşümü, diğer koruyucu gazlara örneğin, helyuma nazaran daha azdır, ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin de zayıf olması nedeni ile ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı da özellikle dış kısımlarda düşüktür. Sütunun merkezinde gerek metal buharları ve gerekse damla geçişi dolayısı ile sıcaklık daha yüksektir. Bu bakımdan argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nüfuziyet, dikişin merkezinde derin, kenarlarında ise daha azdır. İyonizasyon potansiyelinin helyuma nazaran düşük olması, çalışma akımında ark geriliminin daha düşük olmasını sağladığından özellikle ince parçaların kaynağında helyuma tercih edilir.

Helyum

En hafif mono atomik gazlardan birisi olan Helyum, Argona göre 10 kat daha hafiftir ve bu özeliği ile kaynak sırasında etkin bir korumanın gerçekleştirilebilmesi için gerekli gaz sarfiyatını arttırmaktadır; örneğin yatay pozisyonlarda aynı koşullarda Argon'un yaptığı korumayı sağlamak için 3 kat Helyum'a gerek vardır. Helyum atmosferi ısıyı iyi iletmediğinden, bu gazın koruyucu gaz olarak kullanılması halinde derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. Helyum'un iyonizasyon potansiyeli Argon'a nazaran daha yüksek olduğundan, Helyum atmosferinde oluşan kaynak arki daha yüksek enerjilidir. Bu bakımdan ısıyı iyi iletken bakır, alüminyum ve magnezyum gibi metallerin kalın kesitlerinin kaynağında genellikle ön tav işlemini ortadan kaldırır.

Helyum'un koruyucu gaz olarak kullanıldığı TIG veya MIG/MAG kaynağı uygulamalarında daha geniş ve Argon'a nazaran da daha derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir; bu özellik, yüksek hızda çalışan mekanize kaynak uygulamalarında önemli bir üstünlük olarak karşımıza çıkar.

Karbondioksit (CO₂)

Genel olarak kaynak uygulamalarında CO₂ basınçlı tüplerden çekilerek kullanılır; karbondioksit tüpleri 15 C° 'de yaklaşık 65 atmosferde doldurulur, bu koşullarda tüpün içindeki gaz, sıvı haldedir. Karbondioksit, kaynak işletmelerine genellikle tüp içinde getirilir; tüp içindeki karbondioksitin büyük bir bölümü sıvı halindedir ve sıvının üst kısmında (tüpün 1/3'ü kadar) buharlaşmış karbondioksit, gaz fazında bulunur. Kaynak sırasında tüketime bağlı olarak tüpten gaz çekildikçe, gaz fazın basıncı düşer ve gazın basıncı düştükçe de sıvı buharlaşarak basıncı dengeler.

Sıvı haldeki karbondioksit, buharlaşma esnasında, buharlaşma ısısına gerek duyar, bu enerji tüp tarafından atmosferden çekilerek sağlanır; bu bakımdan standart bir CO₂ tüpünden bir anda çok fazla miktarda gaz çekme olanağı yoktur; zira buharlaşma ısısının çekilmesi sonucu sıcaklık düşer ve sıvı karbondioksit zerrecikleri karbondioksit karına dönüşür, çıkış borusunu ve basınç düşürme tertibatını tıkar; bu bakımdan bir tüpten sürekli olarak 12 lt./dk.'dan daha büyük debilerde gaz çekilmemesi gereklidir, sürekli olmamak koşulu ile bu değer 17 lt./dk.'ya kadar, süre limitli olmak kaydıyla, çıkabilir. Bu debiden daha fazla gazın gerekli olduğu durumlarda, birden fazla tüpün bir manifold ile bağlanarak kullanılması gereklidir. Soğuk ortamlarda yapılan çalışmalarda ise karbondioksit karı zerreciklerin çıkış ağzını tıkamaması için, buraya standart elektrikli bir ısıtıcı takılması önerilmektedir.

Karışım gazlar

Koruyucu gazın seçiminde, kaynak ile birleştirilecek metalin özelliklerinin yanı sıra, koruyucu gazın ekonomikliği ve kaynak sırasındaki özellikleri de göz önüne alınmaktadır. Gazların ayrışma enerjileri, iyonizasyon potansiyelleri, yoğunlukları, ısı ve elektrik iletim özellikleri, büyük farklılıklar göstermekte ve bunun sonucu olarakta arkın oluşumu ve kaynak sırasındaki davranışı, ark içinde malzemenin taşınımı ve elde edilen kaynak bağlantısının profili farklılıklar göstermektedir. Sadece tek bir tür gazın kullanımında gazların her biri bir takım üstünlükler ve sınırlamalar gösterdiklerinden, günümüzde gazların iyi özelliklerini optimize edebilmek, sınırlamalarını en aza indirebilmek için MIG/MAG kaynak yönteminde çeşitli karışım gazlar kullanılır. Ark atmosferinin karakteri, çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağlı olarak değişir.

Argon - Helyum karışımları

Argon ve Helyum karışımları, hem Argon'un hem de Helyum'un en üstün özelliklerini bir arada elde edebilmek amacı ile geliştirilmiş ve bu sayede nüfuziyet ve ark kararlılığı optimize edilebilmiştir; Helyum'a %25 Argon eklenmesi ile saf Argon haline göre daha derin nüfuziyet ve saf argon halinden daha üstün ark kararlılığı bir arada elde edilebilmektedir.

Uygulamada, bu iki gazın %80 He ve %20 Ar'dan, % 75 Ar ve % 25 He'a kadar çok değişik oranlarda karışımları ile karşılaşılmaktadır.

Argon - Karbondioksit karışımları

Yalın karbonlu çeliklerin CO₂ gazı altında kaynağı, ekonomik açıdan çok uygun olmasına karşın, düzgün olmayan kaynak dikiş yüzeyleri, bazı durumlarda olumsuz etki yaratan derin nüfuziyet ve arkta metal taşınımının etkisi ile ortaya çıkan aşırı sıçrantı gibi olumsuzluklar zaman zaman kendini bu tür gazlar altında yapılan kaynakta etkin bir biçimde hissettirmektedir. Yüksek miktarda sıçrantının, kaynak kalitesini düşürmenin yanı sıra, kaynak metali verimi ve sıçrantıların temizlenmesi işlemi nedeni ile de maliyeti etkileyen bir faktör olarak değerlendirmelidir.

Karbondioksit gazına %30'u aşan oranda argon katılması, sıçrantı kaybını azaltmaktadır. Argona %20'yi aşan miktarda karbondioksit katılması ise, arkta metal taşınımının kısa devreli veya iri damlalı olarak gerçekleşmesine neden olur. Karbondioksit miktarı %20'nin altına inmeye başlayınca, belirli bir akım şiddeti ve ark gerilimi aralığında spreysel metal taşınımı gerçekleşir.

Oksijenin oksitleyici etkisi, oksijene karşı büyük bir ilgisi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum ve zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir.

Argon gazına az miktarda oksijen eklenmesi (%1 ila %5) arkın kararlılığının iyileştirilmesi, sıçrantıyı en aza indirmesi ve buna karşın spreysel metal taşınım karakteristiğinin korunması, argon kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Koruyucu gaza oksijen katılması, karbondioksitten daha şiddetli olarak kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, eriyen elektrot telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatarak, ince damlalı bir metal taşınımı sağlamak ve kısa devresiz damla taşınımının (spreysel ark) oluşmasına yardımcı olmaktadır. Argona %1 - %2

oranında oksijen katılması, paslanmaz çeliklerin kaynağında çok başarılı sonuç verir, sakin ve sıçrantısız bir ark ile kaynak olanağı sağlar; %5 civarında oksijen içeren gazlar ise az alaşımlı çeliklerin ve dioksit edilmiş bakırın kaynağında iyi sonuçlar verir.

He - Ar - CO₂ ve O₂ karışımı

Helyum, argon, karbondioksit karışımı gazlar kısa ark boyu ile kaynakta, kaynak banyosunun ıslatma özelliğini geliştirmek için kullanılmaktadır. %90 He, % 7,5 Ar ve %2,5 CO₂ karışımı koruyucu gaz, paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa ark boyu ve daha az aktif bir atmosfer oluşturarak paslanmazlık özelliğini korumak için kullanılmaktadır, bu karışım az alaşımlı çeliklerin kaynağında da kaynak metalinin tokluğunu geliştirmek için uygun sonuçlar vermektedir.

%69 Ar, %30 He ve %1 O₂'den oluşan yeni bir koruyucu gaz, paslanmaz çeliklerin kaynağında özellikle kaynak banyosunun viskozitesi, esas metali ıslatma özeliği, arkın kararlılığı ve sıçrantının azalması bakımından çok uygun sonuçlar vermektedir. Ayrıca, bu gaz ile çalışmada kaynak metalinde karbon kapma tehlikesi ve hidrojen gevrekliği sorunu da ortadan kalkmaktadır. Bu gazın bir diğer önemli bir özeliği de, kısa ark, spray ark ve darbeli arkta verimli bir şekilde kullanılabilmesidir.

Günümüz endüstrisinde standart karışım gazlar ve gaz üreten kuruluşların geliştirip piyasaya sürdükleri özel karışım gazlar, kolaylıkla tüpler içerisinde temin edilebilmektedir. Karışım gazlarda, tüpün içinde farklı yoğunlukta ve bazı durumlarda bir bileşenin, sıvı diğer bileşenin gaz fazı halde bulunması bir takım sorunlar yaratmaktadır. Karışım gaz tüpleri uzun süre kullanılmadıkları durumlarda kullanıma başlamadan önce tüp yuvarlanarak çalkalanmalı ve gaz karışımı homojen hale getirilmelidir. CO₂ içeren karışımlarda tüplerin iç kısmında tüp vanasına bağlı sifonlar vardır; dolayısı ile bu tüpler sadece o tür karışım gazlar ile doldurulmalıdır. Çeşitli bileşimde karışım gazların kullanıldığı veya tek tür karışım gaz tüketiminin çok fazla olduğu işyerlerinde tüp içinde hazır karışım gaz yerine, gaz mikserleri kullanarak karışım gazın istenen bileşimde kaynaktan önce hazırlanması çok daha ekonomik ve etkin sonuçlar vermektedir.

Gaz mikserleri, özel debimetreler ile donatılmış 2 veya 3 girişi ve bir çıkış musluğu olan cihazlardır, bunlar ile çeşitli koruyucu gazlar istenen miktarda istenen miktarda

hassas bir biçimde karıştırılabildiği gibi, istenen anda da gaz bileşimini değiştirmek olasıdır.

Azot

Atmosferin %78'ini oluşturan azot, iki temel özelliğiyle, birçok endüstride yoğun olarak kullanılan bir gazdır. Azot birçok malzemeye karşı soy olup, sıvı halde oldukça soğuktur. Bu özellikler azotu vazgeçilmez ve emniyetli bir dondurucu ve soğutucu yapar. Normal koşullar altında, kimyasal olarak reaksiyona girmez. Azot atmosferi altında yanma reaksiyonlarının yanı sıra birçok kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi engellenebilir. 1960'lı yıllara kadar önemi anlaşılamayan azot, günümüzde teknolojik gelişmelerin paralelinde kullanımı en hızlı artan, her geçen gün yeni kullanım alanları bulan değerli bir endüstriyel gazdır. Tek başına çok nadir kullanılır, ostenitik krom- nikel paslanmaz çeliklerin kaynağında kök koruma gazı olarak kullanılmasının yanı sıra Ar, He, CO₂ karışım gazları içinde az miktarda katılarak kullanılabilir.

Kaynak esnasından kullanılan koruyucu gazlar DIN EN 439'a göre beş grupta incelenir. "R" grubu koruyucu gaz özellikleri Tablo 3.5'te, "I" grubu koruyucu gaz özellikleri Tablo 3.6'da, "M" grubu koruyucu gaz özellikleri Tablo 3.7'de, "C" grubu koruyucu gaz özellikleri Tablo 3.8'de ve "F" grubu koruyucu gaz özellikleri Tablo 3.9'da gösterilmektedir.

Tablo 3.5 "R" Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu

		Hacim Alanına Göre Kompozisyon						Uygulama	Yorumlar
		Oksitleme		Asal		İndirgeme	Düşük Aktivite		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1			KALANI		>0 - 15		Tig plazma kaynağı, plazma kesim, kök koruma	İndirgeme
	2					>15 - 35			

R grubundaki koruyucu gazlar (R1 ve R2) genellikle yüksek alaşımlı krom-nikel çeliklerinin TIG kaynağında kullanılır. Bu karışımlar aynı zamanda TIG kaynağı ile yapılan ve kök koruma gereken durumlarda, kaynak dikişinin oksitlenmesini engellemek amaçlı kullanılır.

Hidrojen miktarı plakanın kalınlığına, kaynak pozisyonuna ve mekanizasyon derecesine bağlı olarak değişir. Mekanizasyon derecesinin hidrojen miktarı ile orantısı vardır, örneğin %5'ten fazla hidrojen içeren karışımlarda manuel kaynak torç uygulamalarında muhtemelen zorluk yaşanabilmektedir. Argon gazı yerine %95 helyum gazı kullanılabilir.

Tablo 3. 6 “I” Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu

		Hacim Alanına Göre Kompozisyon						Uygulama	Yorumlar
Grup	Tanımlama Numarası	Oksitleme		Asal		İndirgeme	Düşük Aktivite		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
I	1			100%	0%			MIG, TIG, Plazma Kesim, Kök Koruma	Asal
	2			0%	100%				
	3			KALANI	>0-90				

I grubundaki I1'den I3'e kadar koruma gazları metal asal gaz kaynağı TIG kaynaklarında alüminyum gibi metal dışı malzemelerin kaynağında kullanılır. Bu gazlar kök koruma ve plazma kaynağı gibi uygulamalarda sıklıkla kullanılır. 4.6 kalite argon gazı (saflık = %99,996 argon) TIG, MIG, plazma ve lazer kaynak yöntemlerinin farklı birçok malzemedeki uygulamalarında koruma gazı olarak kullanılmaktadır. Saf helyum (I2) TIG negatif kutuplama ile alüminyum kaynağının mekanize uygulamalarında kullanılmaktadır. 3. grup olan I3 (% 25 -70 arasında helyum içerir) genelde TIG alternatif akımla yapılan, konstrüktif amaçlı kalın alüminyum malzeme kaynaklarında kullanılır.

Tablo 3. 7 “M” Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu

		Hacim Alanına Göre Kompozisyon						Uygulama	Yorumlar		
Grup	Tanımlama Numarası	Oksitleme		Asal		İndirgeme	Düşük Aktivite				
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂				
M1	1	>%0 -%5		KALANI		>%0 - % 5		MAG M	Zayıf Oksitleyici		
	2	>%0 -%5									
	3		>%0 -%3								
	4	>%0 -%5	>%0 -%3								
M2	1	>%5 -%25		KALANI					MAG M	Zayıf Oksitleyici	
	2		>%3 -%10								
	3	>%0 -%5	>%3 -%10								
	4	>%5 -%25	>%3 -%8								
M3	1	>%25 -%50		KALANI						MAG M	Kuvvetli Oksitleyici
	2		>%10 -%15								
	3	>%5 -%50	>%8 -%15								

M grubunda isimlendirme grup ismi “MX” olarak ve yanına tanımlama numarası getirilerek yapılmaktadır. Örneğin M2 grubuna ait 4. tanımlama numarası grubundaki bir karışım “M24 koruyucu gazı” olarak ifade edilir.

M grubu gazlar, koruyucu gaz olarak, argona ilave edilen O₂ ve/veya CO₂ ve H₂ karışımından meydana gelmektedir. MAG kaynağında sıklıkla kullanılan gaz çeşidi M21 grubu gazlardır. Standart gereği olarak bu karışım gazları %5 ile %25 arası CO₂ ve argon karışımından oluşmaktadır.

Karışım gazlarındaki en büyük tanımlama kodu M33 olarak belirlenmiştir. Bu gaz karışımı, tüm karışımların içinde en yüksek oranda aktif gaz içeriği (M33 gazı maksimum %50 CO₂, %15 O₂ ile kalanı argon olarak sınırlandırılmıştır) ile en kuvvetli oksitleyici özelliği ve alaşım elementlerinin yanması dolayısıyla mekanizasyon derecesinin düşmesine neden olan bir karışıma sahiptir.

Tablo 3. 8 “C” Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu

		Hacim Alanına Göre Kompozisyon						Uygulama	Yorumlar
Grup	Tanımlama Numarası	Oksitleme		Asal		İndirgeme	Düşük Aktivite		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
C	1	100%						MAG C	Kuvvetli Oksitleyici
	2	KALANI	>%0 - %30						

C grubu koruma gazı olan saf CO₂ koruma gazı (özellikle MAG kaynağında) yıllar geçtikçe önemini kaybetmiştir. Sanayide kullanılan CO₂'nin karışımda bulunma oranı %10'un üstüne çıkmamalıdır. Bunun nedenleri;

- Sıçrantının artması,
- Kaynak dikişinde yarattığı kuvvetli oksitleyici özellik,
- Kaynak yüzeyinde cüruf bırakma,
- Sprey arkın bu karışımla yakalanmasının zorluğu,
- Darbeli kaynak için uygun olmaması,

olarak sıralanabilir. Avantajları ise;

- Kuvvetli temizleme etkisi,

- Gelişmiş koruma gazı perdelemesi,
- Düşük fiyat,

olarak sıralanabilir. Bu nedenler ışığında CO₂ (C1) sadece MAG-C kaynak yönteminde kısa ark ile yapılan saha uygulamalarında kullanılmalıdır. C2 grubu koruma gazı Türkiye’de halen kullanılsa dahi, Almanya gibi gelişmiş sanayilerde artık kullanılmamaktadır.

Tablo 3. 9 “F” Grubu Koruyucu Gaz Özellik Tablosu

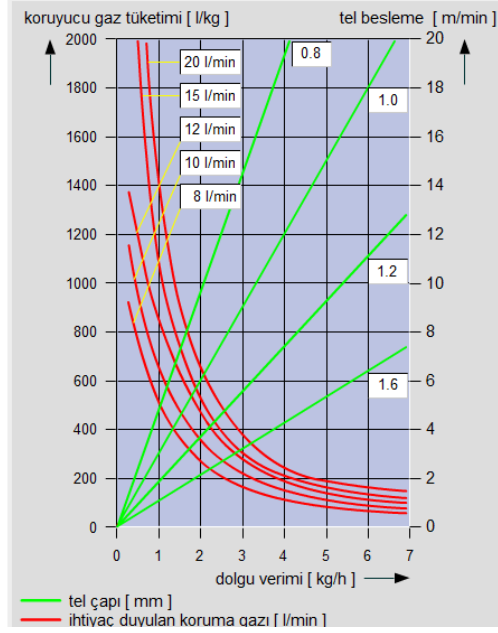
		Hacim Alanına Göre Kompozisyon						Uygulama	Yorumlar
Grup	Tanımlama Numarası	Oksitleme		Asal		İndirgeme	Düşük Aktivite		
		CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
F	1						100%	Plazma Kesim, Kök Koruma	Düşük Aktivite
	2					> %0 - %50	KALANI		İndirgeme

F grup gazları (F1-F2) kök koruma amaçlı kullanılan ve aynı zamanda formasyon gazı olarakta isimlendirilen gazlardır. Bu gazlar, kök pasolarının atmosferik oksitleyici koşullardan korunması için kullanılmaktadır. En bilinen formasyon gazı %90 N₂ ve %10 H₂’den oluşmaktadır.

Aynı şekilde doğru debi ve hacimde gazın kaynak prosesinde ayarlanması prosesin kalitesi ve verimliliği için önem kazanmaktadır. İlerleyen bölümlerde çıkan problemlerin nedenleri arasında gazın seçimi ve parametrelerinin önemi daha detaylı olarak anlatılmıştır.

Tablo 3.10’da görülen MAG kaynağı gaz parametre eğrileri tablosunda MAG kaynağında, tel çapının, tel besleme hızına, koruyucu gaz miktarına, depolama verimine ve koruyucu gaz tüketimine ait değişik parametrelerdeki sonuç verileri görülebilir.

Tablo 3. 10 MAG Kaynağı Gaz Parametre Eğrileri



MAG kaynağı prosesinde, ihtiyaç duyulan parametre ve değerler yukarıdaki grafiklerden bakılarak ayarlanmalı ve tecrübe sonucu en kararlı parametreler seçilmeli ve proses standartı olarak kaydedilmelidir.

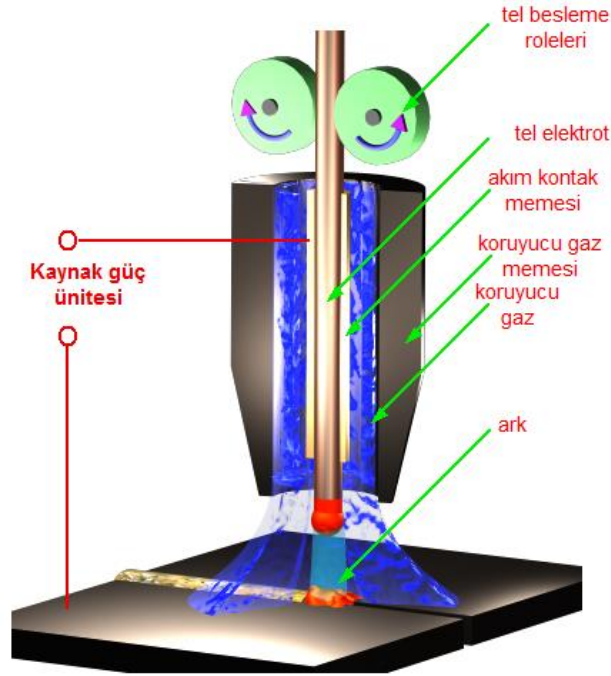
3.2.1.1 Ergiyen elektrot ile yapılan gaz altı kaynak yöntemleri

MIG kaynağının esas gelişimi, 1947 yılında ABD'de ilk satın alınabilir kaynak makinalarının üretilmesiyle başlamıştır. O tarihte yöntem S.I.G.M.A (Shielded Inert Gas Metal Arc) olarak adlandırılmakta ve bugünkü MIG kaynağı ile aynı anlamda kullanılmaktaydı. Karbondioksit koruyucu gaz olarak ilk defa Rusya'da 1952 yılında denenmiş ve bugünkü MAG kaynağı başlamıştır. Argon o yıllarda çok maliyetli olduğundan, MAG yöntemi ilk olarak alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı için kullanılmıştır. CO₂ altında kaynakta sıçrama oluşumu, kısa arkla kaynak olarak bilinen tekniğin gelişmesine yol açmıştır. Gaz altı metal ark kaynağının sonradan gelişen değişik uygulaması, karbondioksit altında da hemen hemen sıçramasız kaynak yapılmasını sağlamış ve özellikle ince sacların birleştirilmesi, kök pasolarının kaynağı ve zor pozisyonlardaki kaynaklar için uygun olmuştur. Argon fiyatlarının 60'lardan itibaren düşmesiyle karışım gazlar (ilk olarak da argon ile karbondioksit karışımı) kullanılmaya başlanmıştır. Saf karbondioksite kıyasla daha pahalı olmasına

rağmen karışım gazlar çok gelişmiştir ve günümüzde MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazların hemen hemen %80'i karışım gazdır. (AWS, 2009)

Bilinen tüm eritme kaynak yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş dikişler arasında, gaz altı metal ark (MIG/MAG) kaynağı, % 70'lik bir bölümünü oluşturmaktadır ve gelişimini sürdürmektedir. (Biren ve Guzman, 2004)

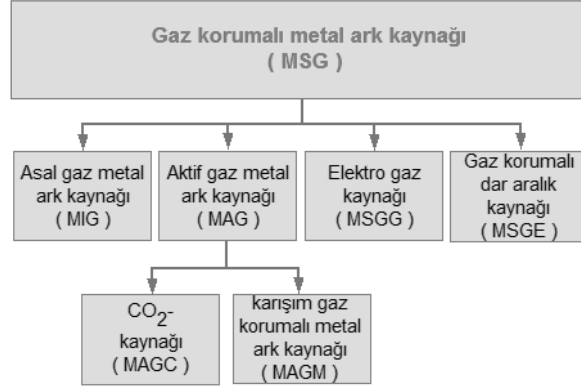
Ergiyen elektrot ile yapılan gaz altı kaynak yönteminde, mekanik olarak ilerleyen ve eriyen bir elektrot (elektrot aynı zamanda dolgu malzemesidir) iş parçasında yanar. Koruyucu nitelikteki gaz, asal veya karışım gazı olabilir. Şekil 3.1'de gaz korumalı metal ark kaynağı çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3. 1 Gaz Korumalı Metal Ark Kaynağı Çalışma Prensibi

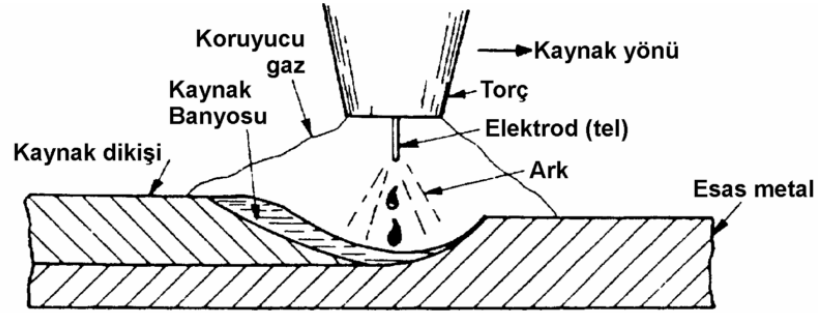
Gaz korumalı metal ark kaynağında, tüketilen tel elektrotu ile kaynak veya tüketilmeyen tel ile kaynak en yaygın kullanılan kaynak yöntemidir. Bu iki farklı yöntem, asal gaz metal ark kaynağı ve aktif gaz metal ark kaynağı olarak Tablo 3. 11'de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir. (Mishra ve Ma, 2005)

Tablo 3. 11 Gaz Korumalı Metal Ark Kaynağı Tablosu



3.2.1.2 Ergiyen elektrot ile soygaz altında gaz altı kaynağı (MIG)

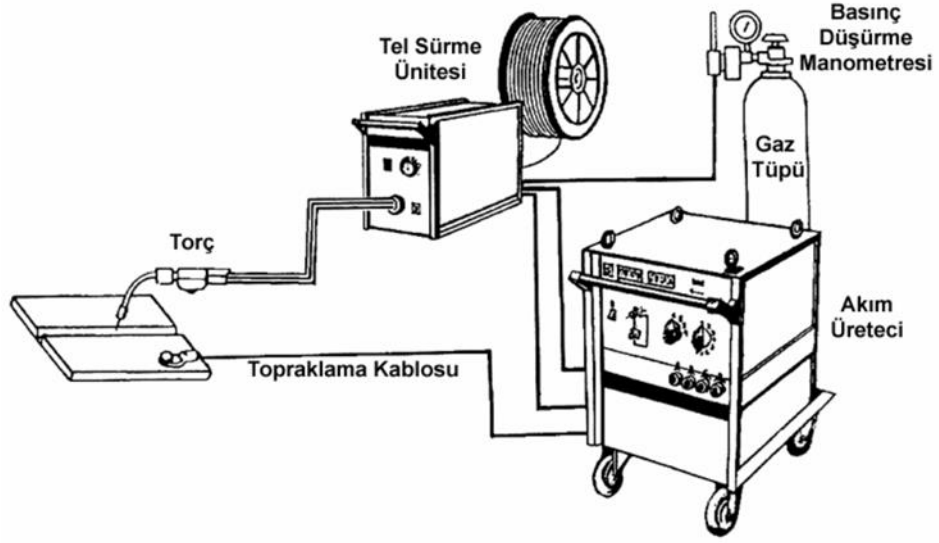
MIG kaynağı yapılan araştırmalar sonucu geliştirilmiş ve ilk kez 1948 yılında ABD’de alüminyum ve alüminyum alaşımlarının, sonra da sırası ile yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının, karbonlu çeliklerin kaynağında uygulanmış olan MIG (Metal Inert Gas) kaynak yönteminde de ark; Helyum veya Argon gibi soy bir gazın koruması altında yanar; bu yöntemin TIG yönteminden farkı, arkın Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, iş parçası ile kaynak metali gereksinimini karşılayan sürekli beslenen ergiyen bir elektrot arasında oluşturulmasıdır.



Şekil 3. 2 MIG Kaynak Yönteminde Ark Bölgesi

Ergiyen elektrot ile gaz altı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, çok ince levhalar hariç, her kalınlıktaki demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımların kaynağında uygulanabilmektedir. Yatay karakteristikli, diğer bir deyim ile sabit gerilimli kaynak makinalarının geliştirilmesi sonucu ince çaplı kaynak teli ile yüksek akım şiddeti uygulama olanağı, ısıdan etkilenen bölgesi daha dar ve daha derin nüfuziyetli kaynak bağlantılarının eldesine olanak sağlamıştır.

Bu yöntemin uygulanması çok basittir, operatör veya robot hiçbir zorlukla karşılaşmaz; toprak kablosunu iş parçası ile temas halinde olduğunda, torcun ucundaki tel elektrotu kaynak ağzına değdirmek yeterli gelmektedir, torç önceden belirlenmiş bir debide koruyucu gazı ve ergiyen elektrot miktarını karşılamak üzere sabit hızda beslenen tel elektrotu bölgeye göndermekte, sistem uygun ark boyunu kendisi otomatik olarak ayarlamakta ve sabit tutmaktadır. Şekil 3.3'te MIG ve MAG kaynağında kullanılan ekipmanların şeması gösterilmektedir.



Şekil 3. 3 MIG / MAG Kaynağı Teçhizat Şeması

Uygulama kolaylığı nedeni ile tüm demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında çok popüler ve aranan bir yöntem haline gelen MIG yönteminin başlangıçta yalnız Karbon'lu ve az alaşımlı çeliklerde uygulama alanı bulamamasının nedeni soygazın pahalılığı olmuştur. Bilindiği üzere, yalnız Karbon'lu ve az alaşımlı çeliklerin örtülü elektrot ile kaynağında ark bölgesi, örtünün yanması veya ayrışması sonucu ortaya çıkan CO₂ tarafından havanın olumsuz etkilerinden korunmaktadır; bu olaydan hareket edilerek CO₂'in koruyucu gaz olarak kullanıldığı ilk denemeler iyi sonuç vermemiş, çok fazla sıçrıntı ve dikişte aşırı gözeneklilik ile karşılaşmıştır. Araştırmalar bunun nedeninin CO₂'nin safiyetsizliği ve içerdiği rutubet olduğunu ortaya koymuştur.

1950'li yılların sonlarına doğru özellikle otomobil endüstrisinde, tam otomatik olarak çalışan, yüksek ergime gücüne sahip, çok hızlı ve sadece yatay pozisyonda

çalışabilen, CO₂ koruyucu gazlı kaynak makinaları kullanılmaya başlanmıştır. Böylece bu konuda geliştirilen teknolojiler ile yöntem yaygın hale gelmiştir.

MIG kaynağında kullanılması tavsiye edilen gazlar I1, I2 ve I3'tür. Standart olarak kullanılan gaz argondur. Farklı uygulamalarda sıklıkla argon – helyum gazı karışımları avantaj sağlar.

Alüminyumun argonla kaynağında stabil bir metal akışı vardır. Buna karşın hidrojen kaynaklanan poroziteye karşı korunma ve nüfuz etme yoğunluğunun yüksekliğine argon-helyum karışımının etkisi fazladır.

Helyum gazı (I2), kaba ve düzgün olmayan damlacık geçişi ve metal transferinin sıklıkla ark alan akım ile sağlanması nedeniyle prosese uygun bir gaz değildir. Denenmiş helyum + argon gazı karışımlarda He miktarları %30 ve %70 arasındadır. Endüstride yaygın olarak %50 Argon + %50 Helyum (I3) karışımı kullanılmaktadır. Bu sayede ön tavlama harcamaları, Helyum içeren karışimli gaz kullanıldığında ya indirgenmiş ya da tamamen ortadan kalkmıştır. (Biren ve Guzman, 2004)

Bakır ve bakır muhteva eden malzemeler, yüksek ısı iletimine sahip alüminyuma karşı olarak, 5 mm. kalınlığa kadar plakalara ısıl işlem gerektirmeyen %70 helyum içeren bileşimler için çok elverişlidir.

Nikel ve nikel esaslı malzemelerde, düzgün ve az sıçrıntılı metal akışı elde etmek için MIG darbeli akım tekniği uygulanmalıdır. Bu teknik, alüminyum kaynağında olduğu gibi birçok avantaja sahiptir.

Daha iyi sonuçlar için argon ve H₂ (R1) karışımı veya %30 (I3) He karışımı kullanılabilir. Pratikte helyum karışım gazı, hidrojen karışım gazından daha iyi sonuçlar verir. Eriyen elektrotla kaynak yapılırken CO₂'nin karışımları olan (Ar-He-CO₂ veya Ar-H₂-CO₂) kullanılabilir. Fakat %2 CO₂ oranı aşılmamalıdır. Tablo 3.12'de genel görünüm hakkında bilgi verilmiştir.

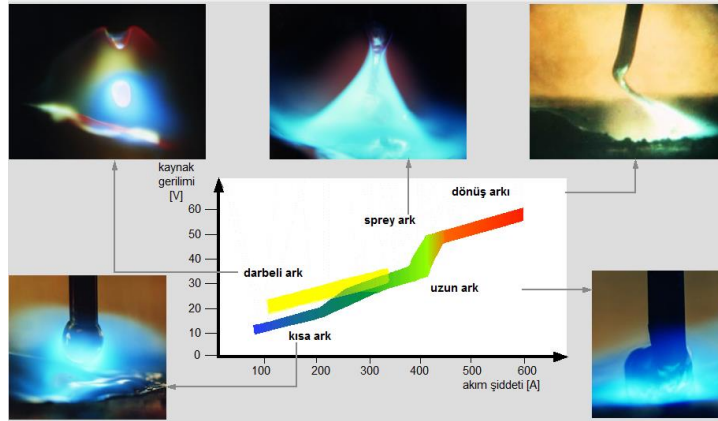
Tablo 3. 12 MIG Kaynağında Kullanılan Asal Gazlar ve Kullanım alanları

DIN EN 439'a göre Kısaltılmış Gösterimler	Ana Malzemeler	ürün	karışımın bileşenleri	kullanım alanı
		kaynak argonu	100% argon	alüminyum, demir dışı malzemeler
		helyum	100% helyum	ön ısıtma yapılmamış bakır
11, 12	Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlar, Magnezyum, Titanyum	argon-helyum karışımları	70% argon, 30% helyum 50% argon, 50% helyum 30% argon, 70% helyum	alüminyum, bakır, nikel ve CuNiFe malzemeler
		argon-nitrojen karışımları	0.015% N ₂ , kalan argon	alüminyum malzemeler,
13	Bakır ve Bakır Alaşımları	argon-helyum-nitrojen karışımları	15% He, 0.015% N ₂ , kalan argon 50% He, 0.015% N ₂ , kalan argon	alüminyum malzemeler,

3.2.1.2.1.1 Ergiyen elektrot ile aktif gaz altında yapılan gaz altı kaynağı (mag)

CO₂ gibi aktif bir koruyucu gaz altında yapılan bu kaynak yöntemine de “Metal Active Gas” kelimelerinin baş harflerinden yararlanılarak MAG yöntemi adı verilmiştir.

MAG kaynağında ark gücü, komplike alanlarda ark kaynağının çok çeşitli alanlarda kullanılmasına olanak sağlamıştır. Şekil 3.4’te değişik metal geçişlerinin alanları gösterilmektedir.



Şekil 3. 4 Gaz Altı Ark Kaynağı Farklı Metal Geçiş Alanı Gösterimi

MAG yönteminin, MIG yönteminden tek farkı, kullanılan gazların asal değil aktif gaz olmasıdır. Yöntem bakımından MIG ve MAG arasında gaz haricinde belirgin bir farklılık yoktur. MIG – MAG ayırımında önemli olan gaz çeşidinin seçilmesidir.

MAG kaynağı denilince ilk akla gelen koruyucu gaz, uzun yıllardır CO₂ olarak bilinmekteydi. Ancak günümüzde CO₂'ten daha verimli bir karışım olan iyi ayarlanmış argon tabanlı gaz karışımları kullanılmaktadır. Bu sayede CO₂ gazına oranla az sıçrıntı ve yüksek yığıma oranı elde edilmektedir. Bu otomasyon ve robotlaşmada da ikincil ek işlemleri önlemiş ve kaynak verimini arttırmıştır.

Çoğunlukla M2 kategorisindeki gaz karışımları ve daha önce tavsiye edilen %18 CO₂ veya %8 O₂ kullanılır. Sıvı argon kaynaklı gaz karışımlarının değiştirilebilmesi çok kolaydır çünkü bu gazlar sıvı halde önceden karıştırılmış bir biçimde tek bir tank içerisinde depolanabilirler. Bu sayede ilave tank ve karıştırma ekipmanı gereksinimi ortadan kalkacaktır. Tablo 3.13’de MAG kaynağında kullanılan koruma gazlarına, alaşımsız ve alaşımlı çeliklerin masif ve dolgu telleri için genel bir bakış verilmektedir.

Tablo 3. 13 MAG Kaynağından Kullanılan Koruma Gazları

DIN EN 439'a göre Kısaltılmış Gösterimler	Ana Malzemeler
M1	Yüksek alaşımlı çelikler, alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler
M2, M3	Düşük ve alaşımsız çelikler İnce taneli yapı çelikleri Isı dayançlı çelikler Düşük sıcaklıklarda kullanılan çelikler
C1	Alaşımsız veya düşük alaşımlı çelikler

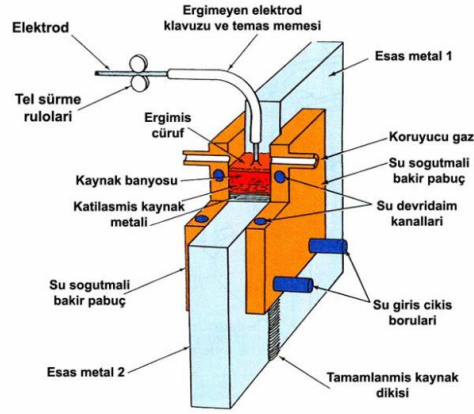
ürün	DIN EN 439 'a göre gruplar ¹⁾	kullanım alanı
%92 argon, %8 CO ₂	M 21	düşük alaşımlı çelikler **
%82 argon, %18 CO ₂	M 21	düşük alaşımlı çelikler *
%96 argon, %4 O ₂	M 22	düşük alaşımlı çelikler **
%92 argon, %8 O ₂	M 22	düşük/yüksek alaşımlı çelikler **
%88 argon, %12 O ₂	M 32	düşük alaşımlı çelikler *
%90 argon, %5 CO ₂ , %5 O ₂	M 23	düşük-/koşullu yüksek alaşımlı çelikler **
%80 argon, %15 CO ₂ , %5 O ₂	M 24	düşük-/koşullu yüksek alaşımlı çelikler **
%100 CO ₂	C 1	düşük alaşımlı çelikler

1) DIN EN 439, grafik 2'ye göre gruplar
** özellikle darbeli akım için uygun
* darbeli akım için uygun

MAG kaynağının uygulama alanlarının gün geçtikçe artması ile daha geniş kapsamlı gaz karışımlarına gereksinim duyulmaya başlanmıştır. Bunun bir örneği kalın ve orta kalınlıkta özel işler için kullanılan M21 (Ar + CO₂ + O₂) karışım gazıdır.

3.2.1.2.2 Elektrogaz kaynak yöntemi (EGW)

Elektrogaz kaynağı, eriyen elektrot ile gaz altı kaynak yönteminden türetilen ve günümüzde kalın kesitli levhaların dik pozisyonda birleştirilmesi amacı ile geliştirilmiş bir kaynak yöntemidir. Şekil 3.5'te elektrogaz kaynak yöntemine ait kesit görüntüsünde çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 3. 5 Elektrogaz Kaynak Yöntemi Prensip Şeması

Yöntemde birleştirilecek olan kalın levhalar, küt alın kaynak ağızı biçiminde, ağız aralığı 25 - 30 mm. olacak şekilde, dik olarak yerleştirilirler. Levhaların altına bakır altlık konur ve ağızın her iki tarafı su soğutmalı bakır kayar bloklar (pabuçlar) ile kapatılır. Tel biçimindeki elektrot bir kangal veya bidondan sağılarak ve kaynak akımı ile yüklenerek, yukarıdan aşağıya doğru belirli bir hızda tel sürme ruloları tarafından sürekli olarak beslenir. Yöntemde, dolu tel elektrotlar kullanılmasının yanı sıra, özlü tel elektrotlarda kullanılmaktadır. Koruyucu gaz olarak argon içeren karışım gazlar (örneğin: %82 Ar + %18 CO₂) veya sadece CO₂ kullanılmaktadır.

Bu yöntemle, büyük boyutlu depolama tanklarının ve gemilerin dik panellerinin dik pozisyonda uzun kaynak dikişleri, çok hızlı ve güvenilir biçimde kaynak edilebilmektedir.

3.2.1.3 Ergimeyen elektrot ile yapılan gaz altı kaynak yöntemleri

Ergimeyen elektrot ile yapılan gaz altı kaynak yöntemi, erimeyen bir elektrot ile asal bir koruyucu gaz örtüsü altına yapılan bir ark kaynağı yöntemidir. Dolgu malzemesi, çubuk veya tel olarak sisteme ilave edilebilir.

Ergimeyen elektrot ile yapılan gaz altı kaynağı, elle (bir elde torç, diğer elde dolgu malzemesi) veya robot / mekanize bir sistemle hareket ettirilen torç ve mekanik olarak sürülen tel ile sağlanabilmektedir. Bu yöntem ile yapılan gaz altı kaynağı ile kaynağa uygun olan malzemelerin tamamına yakını birleştirilebilir. Yüzeyinde, yüksek sıcaklıkta eriyen bir oksit tabakası bulunan malzemelerin (örneğin alüminyum alaşımları, magnezyum, magnezyum alaşımları vs.) kaynağında, özel önlemler gereklidir.

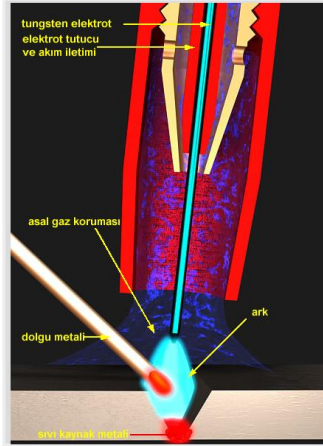
Isı kaynağı (ark) ve dolgu malzemesinin birbirinden ayrı olması nedeniyle, başlangıç hataları önlenmektedir. Bu sayede, dikiş kalitesi son derece düzgündür. Ergimeyen elektrot ile yapılan gaz altı kaynağı bütün pozisyonlarda uygulanabilir, kök dikişlerinin ve ince levhaların kaynağı mümkündür.

3.2.1.3.1 TIG Kaynağı

“Tungsten Inert Gas” kelimelerinin baş harflerinden oluşmuş TIG kelimesi ile anılan yöntem, ilk olarak 1930'lu yılların ortalarında denenmiş ve ABD'de II. Dünya Savaşı sırasında özellikle alüminyum alaşımlarının ve paslanmaz çeliklerin kaynağında yaygın bir biçimde uygulanmıştır. Bu yöntemde, kaynak için gerekli olan ısı enerjisi bir tungsten elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi havanın olumsuz etkilerinden elektrot ile merkezlenmiş konumda bulunan bir lüleden (nozül) gönderilen bir koruyucu gaz (helyum, argon veya bunların karışımı) ile korunmaktadır. ABD'de doğal kuyulardan bol miktarda helyum elde edilebildiğinden, koruyucu gaz olarak helyum kullanılmış ve bu nedenle yöntem “Heliark” adı ile anılmıştır. Avrupa'da helyumun bulunmayışı, yöntemin havadan ayrıştırılan argon ile uygulanmasına neden olmuş ve bu bakımdan da yöntem “Argonark” adı ile tanınmıştır.

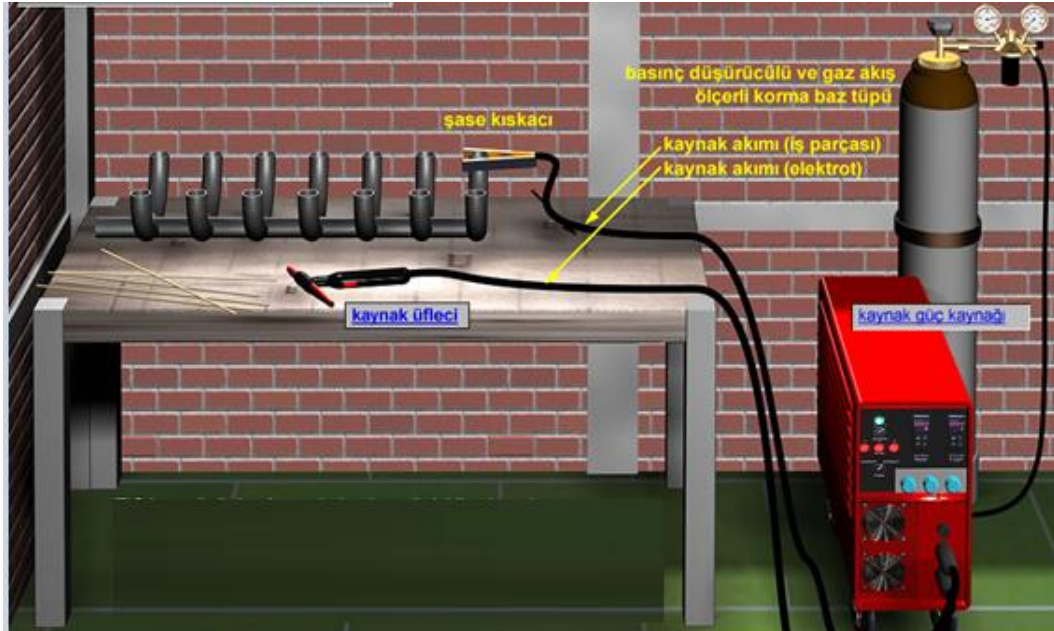
Günümüzde TIG kaynak yöntemi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, prensip olarak gaz ergitme kaynağını andırmakta, yanıcı ve yakıcı gaz yoktur, ısı enerjisi elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır. Şekil 3.6'da TIG kaynak yöntemine ait kesit görüntüsünde çalışma prensibi gösterilmiştir. TIG kaynak yönteminin diğer bilinen ve endüstride yaygın uygulanan ergitme kaynağı yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü, ısı girdisinin ve ergiyen ek kaynak metali miktarının birbirlerinden bağımsız oluşudur. Bu önemli özellik, yöntemin çok ince parçalara

uygulanabilmesine olanak sağlamakta, kök pasoların çekilmesinde, pozisyon kaynaklarında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. (AWS, 2011)



Şekil 3. 6 TIG Kaynak Çalışma Prensi Şeması

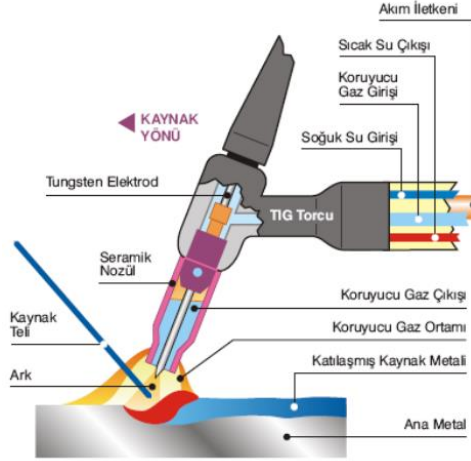
TIG kaynak donanımı, Şekil 3. 7’de görüleceği üzere uygun bir akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç ve debi ayar tertibatı, tungsten elektrotu taşıyan torç, akım kabloları ve gaz hortumu ile genelde akım üretici üzerine monte edilmiş bir kontrol panelinden oluşmaktadır. (AWS, 2007)



Şekil 3. 7 TIG Kaynağı Ünitesi ve Kaynak Yöntemi Şematik Gösterim

Ayrıca yüksek akım şiddeti ile çalışma durumunda torcun soğutulması amacıyla görev yapan soğutma suyu devresi bulunmaktadır. El kaynağında ise, torcun hareketi ve kaynak metali beslemesi kaynakçı tarafından yapılır; yarı otomatik yöntemde torç

kaynakçı tarafından hareket ettirilir, burada tek fark kaynak ek metalini sağlayan telin ark bölgesine otomatik olarak bir tertibat tarafından sokulması ve sürekli olarak sabit bir hızla beslenmesidir. Şekil 3.8’de TIG kaynak yöntemine ait torç kesit görüntüsünde çalışma prensip şeması gösterilmiştir.



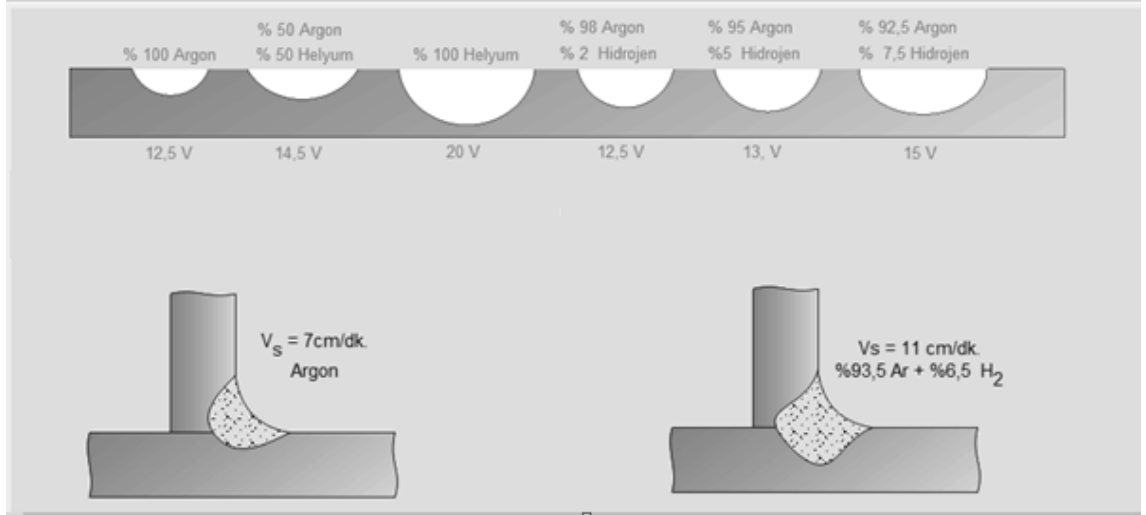
Şekil 3. 8 TIG Kaynak Yöntemi Torç Proses Şeması (AWS, 2007)

TIG kaynağında prensip, kaynak torçu içerisine sıkıştırılmış halde bulunan tungsten elektrotunun içerisinden kaynak akımı geçirilmesidir. Tungsten elektrot ve iş parçası arasında bir ark oluşur. Ana malzeme ve dolgu malzemesi bu ark ile eritilir. Asal koruma gazı, kaynak torçundan dışarı akar ve akkor halindeki tungsten elektrotu ve kaynak havuzunu örterek, ortamdaki havanın olumsuz etkilerinden korur.

Tungsten asal gaz kaynağında (TIG) yalnızca asal koruma gazları kullanılır çünkü akkor haldeki tungsten elektrot hiçbir şekilde tepkimeye girmemelidir. Bu sebeple kullanılan gazlar;

- Argon (Ar)
- Helyum (He)
- Argon ve Helyum karışımları
- Argon ve Hidrojen karışımları

olarak sıralanabilir. Arkın biçimi de asal gazın türünden etkilenmektedir. Gazların farklı ısı iletkenlikleri ve aktif gazlarda aynı zamanda ayrışmanın bir etkisinde söz konusudur. Şekil 3.9’da koruma gazları altındaki, TIG kaynaklı X5 CrNi 1810 ana malzemesindeki kaynakların nüfuziyet profilleri görülmektedir. (AWS, 2008)



Şekil 3. 9 1.4301 Malzeme TIG Kaynağı Farklı Koruma Gazı Etkisi*

Tungsten asal gaz kaynak yöntemi ile çelik ve demir dışı metaller her pozisyonda kaynatılabilir. Ekonomik kullanım alanı 0.5 mm. ile 5 mm. malzeme kalınlığı arasında değişmekte olup, kalın parçalarda bu yöntem ile yalnızca kök pasoları yapılabilir.

TIG kaynağının önemli kullanım alanları arasında havacılık ve uzay teknolojisi uygulamaları, hassas işler, kimyasal kap ve kazan imalatı benzeri endüstrilerde bulunmaktadır. TIG kaynağı, elle, kısmi, mekanize, otomasyon ve özellikle robotik olarak endüstride kullanım alanı bulmuştur. Tablo 3.14'te, bazı ana malzemeler ve ekonomik olarak TIG yöntemiyle kaynatılabilen plaka kalınlık aralıkları bulunmaktadır. (AWS, 2001)

Tablo 3. 14 Ekonomik TIG Kaynağı Yapılabilen Malzeme Kalınlık Aralıkları

Malzeme Çeşidi	Ekonomik Kaynak Kalınlık Aralığı
Alüminyum	0,6 - 4 mm
Bakır	0,5 - 2 mm
Pirinç	0,8 - 3 mm
Alaşım-sız Çelik	0,4 - 3 mm
Alaşımlı Çelik	0,4 - 5 mm

* 5mm kalınlıkta plaka, 150 A, 4mm ark uzunluğu, 15cm/dk kaynak hızında elde edilmiş verilerdir.

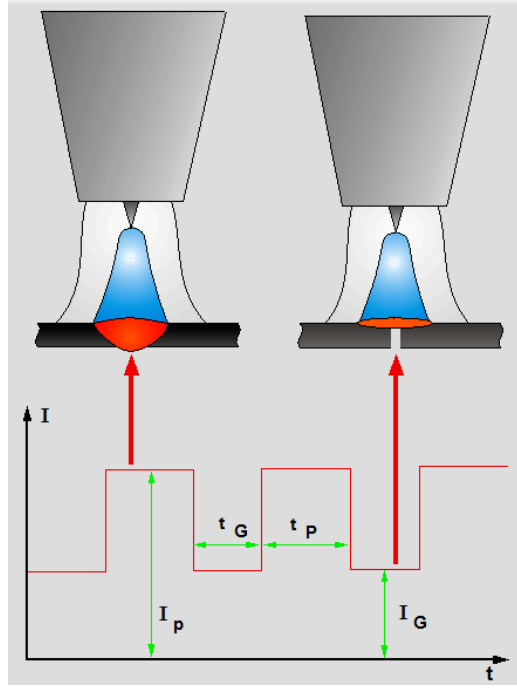
TIG kaynağının spesifik olarak avantajlarını aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Düşük ısı girdisi,
- Kararlı kaynaklama işlemi (kararlı ark deşarjı),
- Isı girdisi ve yığılma veriminin ayrı olarak düzenlenmesi,
- Dolgu malzemesi olmadan kaynaklama imkanı,
- Düzgün dikiş yüzeyi ve minimum sıçrıntı,
- İyi boşluk köprüleme kabiliyeti.

TIG darbeleri ark kaynağı yöntemi endüstride yeni bir teknolojidir. Teknolojideki yenilik doğrusal akım yerine darbeleri akım kullanılmasıdır. Özel bir akım üretici ile doğru akım kare şekilli darbeleri üretecek şekilde ayarlanır. Darbeleri ark işlemlerinden, yüksek akımlı darbeleri ile kaynak bölgesine yüksek ısı verilir. Bu şekilde ısı parçası erir.

Darbe olmayan durumlarda düşük akım şiddeti vardır, dolayısıyla iş parçasına çok düşük ısı girişi olur. Bu nedenle kaynak banyosu soğuk kalır. Düşük akım şiddeti yalnızca arkın yanık kalması için kullanılır ve bu şekilde kesintilerden ve yeniden tutuşturma zorluklarından kaçınılır. Kaynak işleminde dolgu malzemesi kullanıldığından, bu da iş parçası gibi darbe akımı zamanında erir. Darbe frekansı genellikle 0.5 Hz ile 10 Hz arasındadır.

Kaynak işlemi sırasında ısı girdisi, süreler ve akım değerlerinin seçimiyle önemli ölçüde değiştirilebilir. Bazı durumlarda kaynak dikişi, yan yana duran ve örtüşen ergimiş kaynak noktalarından oluşabilir. Darbeleri ark kaynağı sayesinde, TIG işlemi uygulama alanı, düşük güç değerlerine ve düşük malzeme kalınlıklarına kadar genişletilebilmektedir ayrıca kaynak dikişi görünümü iyileştirilebilmektedir. Şekil 3.10'da TIG darbeleri ark kaynağından başlıca akım devresi verilmiştir. En önemli parametreleri; darbe akımı I_p , baz akım I_G , darbe akım süresi t_p , baz akım süresi t_G , darbe frekansı $f_p = 1 / t_c$ olarak gösterilmektedir. T_c , periyodun süresini temsil etmektedir.



Şekil 3. 10 TIG Darbeli Ark Kaynağından Başlıca Akım Devresi

Darbeli TIG kaynağının avantajları:

- Daha az enerji girdisi,
- Yüksek kalınlıkta, daha iyi derinlik-genişlik oranı,
- Daha kararlı ark,
- Düzgün kök oluşumu,
- Daha iyi pozisyon dışı kaynaklama,
- Daha az iş parçası çarpılması,
- Kaynak havuzunun daha iyi kontrolü,
- Daha iyi boşluk köprüleme,

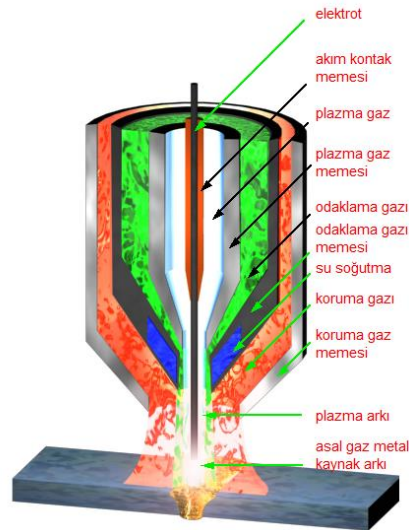
olarak sıralanabilir. Bu sistemin en büyük dezavantajı, yapısının çok daha karışık olması ve darbeli akım özelliğine sahip kaynak makinasının oldukça pahalı olmasıdır.

3.2.1.3.2 Plazma metal koruyucu gaz kaynağı

Plazma metal asal gaz kaynağı, plazma ve asal gaz metal kaynağının karışımından geliştirilmiştir. Plazmanın, asal gaz kaynağına göre teknolojik avantajı; yüksek yığılma kapasitesi ve derin ergitme özelliğidir. Plazma arkı, yüzük şekilli bakır elektrot ile iş parçası arasında ateşlenir ve burada ilave bakır kontak tip ile odaklanma gazı sayesinde daraltılır. Kendi güç kaynağına bağlı olan MIG elektrotu pozitif kutuplanmış bakır nipel gibi hareket eder.

Bunun yanında koruyucu gazı kaynak bölgesine püskürten nipel, kaynak banyosunun oksitlenmesini engeller. Bu nipel prensipte iki farklı gaz veya gaz karışımına ihtiyaç duyar. Argon gazı, diğer gazların avantajları anlaşılana kadar uzun süre endüstride kullanılmıştır. Ancak son zamanlarda argon-helyum karışımı daha etkili olduğundan yaygınlık kazanmıştır.(Biren ve Guzman, 2004)

Birbirinden bağımsız bu iki ünite, güç ünitesi vazifesi görür ve plazma güç kaynağı düşey karakteristikli bir çalışma sisteminin oluşumunu sağlar, metal asal gaz güç kaynağı ise düşey ya da yatay karakteristikli çalışma sisteminin oluşmasını sağlar. Şekil 3.11’de plazma metal asal gaz kaynağının çalışma prensibi anlatılmıştır.



Şekil 3. 11 Plazma Metal Asal Gaz Kaynağının Çalışma Prensibi

3.2.1.4 Özlü tel elektrot ile yapılan gaz altı kaynağı

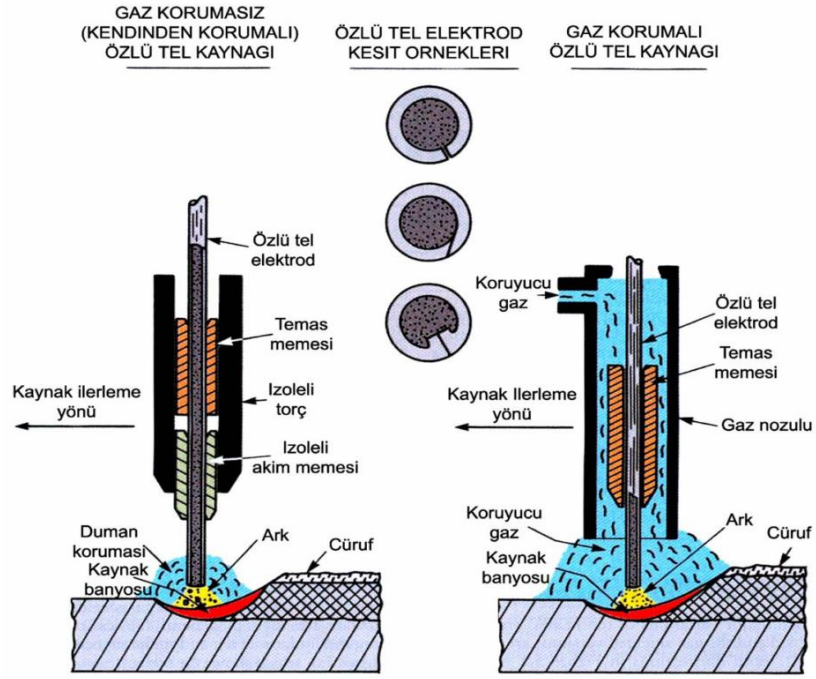
MIG/MAG kaynağında kaynak teli bileşimi esas metalin bileşimine uygun bir kaynak metali verecek biçimde ayarlanmıştır. Kaynak teli bileşiminde koruyucu gaz

olarak karışım gaz veya karbondioksit kullanılması durumunda, ark bölgesinde CO₂'in ayrışması sonucu ortaya çıkan oksijenin etkisini ortadan kaldırmak, kaynak banyosunu deokside etmek ve kaynak banyosundaki oksitlerin karbon tarafından redüklenmesini* önlemek, esas metalden gelen kükürt ve fosforun olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için bir takım alaşım elementleri içermek zorundadır. Bu nedenlerden ötürü, bazı metal ve alaşımların kaynağı için talep azlığı, bu tellerin üretimini ekonomik kılmamaktadır. Bazı metal ve alaşımların ise sertlik ve gevreklikleri nedeni ile tel haline getirilmelerinin teknolojik olarak olanağı yoktur.

Örtülü elektrot ve MIG/MAG kaynak yöntemlerinin en üstün özelliklerini bünyesinde toplayan bir yöntem arayışı sonucu, 1950'li yılların ortalarına doğru ilk tel şeklinde özlü elektrot ile kaynak gerçekleştirilmiş ve 1960'lı yıllarda bu yöntem önce ABD'de sonra Avrupa'da uygulanır duruma gelmiştir. Özlü elektrot ile kaynak çok geniş bir uygulama alanı bulmuş ve sahip olduğu üstünlükler nedeni ile de birçok alanda dolu tel kullanarak uygulanan MIG/MAG yöntemi ile rekabete girmiştir. (AWS, 2010)

Özlü tel elektrot ile kaynak yöntemi esas olarak MIG/MAG kaynağında olduğu gibi dolu tel yerine içi öz olarak adlandırılan ve örtülü elektrotun örtü görevini üstlenen bir madde ile doldurulmuş boru şeklinde elektrot kullanılan bir kaynak yöntemidir. Yöntem günümüzde gaz korumasız olarak (kendinden korumalı) ya da gaz korumalı olarak uygulamadaki beklentiye göre ve kaynak edilecek malzemelere göre uygulanmaktadır. Gaz korumasının problem yarattığı açık hava uygulamalarında (örneğin tersanelerde) gaz koruması gerektirmeyecek biçimde geliştirilmiş ve üretilmiş özlü tel elektrotlar kullanılır. Şekil 3. 12'de gaz korumasız ve korumalı özlü tel ile kaynak yöntemi ile gerçekleştirilen ark kaynağında yöntem prensibinin şeması gösterilmiştir.

* Karbon redüklenmesi: içeriğinde karbon ve oksijen bulunan glikoz gibi maddeleri parçalayarak CO₂ açığa çıkarmak ve enerji üretmek

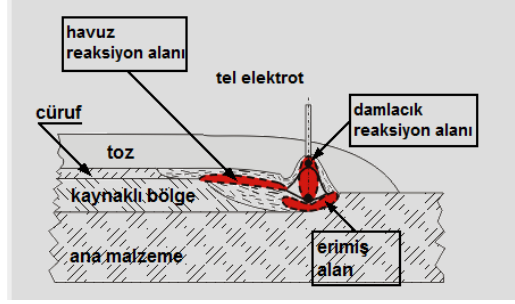


Şekil 3. 12 Gaz Korumasız ve Korumalı Özül Tel ile Kaynak Yöntemi

Özül elektrot ile kaynak uygulamalarında, boru biçiminde eriyen elektrot ile iş parçası arasında oluşturulan ark, kaynak için gerekli ısıyı sağlar, iyonize olmuş gaz ortamını kateden elektrik akımı, ark oluşturur; gerilim altında gaz molekülleri ayrışır ve atomlar elektron kaybederek iyonlaşır. Bu şekilde pozitif gaz iyonları, pozitif kutuptan negatif kutba, elektronlar da, negatif kutuptan pozitif kutba doğru hızla hareket eder. Ark ısısının % 95'i elektronlar, % 5'i iyonlar tarafından taşınır ve arkın sıcaklığı elektrotun ve gerekse iş parçasının ergimesini sağlar.

3.2.2 Toz korumalı ark kaynağı (toz altı kaynağı)

Toz altı kaynağının karakteristik özellikleri, kaynak süreci boyunca arkın örtülü bir ortam içinde oluşumu, işlemin sürekliliği, yüksek ergime verimi, kaynak dikiş kalitesinin göreceli yüksekliliği ve uygulamalarda işlem parametreleri yönünden oldukça geniş bir çalışma serbestliğine sahip olunması şeklinde sıralanabilir. Şekil 3.13'te toz altı ark kaynağı çalışma modeline ait şema gösterilmektedir.

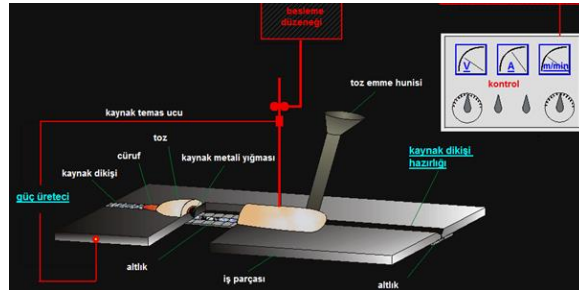


Şekil 3. 13 Toz Altı Ark Kaynağı Modeli

İşlemede, ergiyen çıplak bir elektrot, tozla örtülü bir ortamda ana parça ile ark oluşturarak yanmaktadır. Toz altı kaynağında uygulanabilinen işlem değerlerinin sınırları, genel bir bakış açısı vermesi amacı ile aşağıda belirtilmektedir.

- Kaynak akım şiddeti (I) 100–2000 A (1.1)
- Kaynak ark gerilimi (U) 20–70 V (1.2)
- Kaynak hızı (v) 10–300 m/saat (1.3)
- Akım yoğunluğu (i) 20–200 A/mm² (1.4)

Toz altı kaynak sistem ve donatımı, güç kaynağı, tel ve toz besleme, toz emme, kaynak hız ve yörüngesini belirleyen hareketli bir araba ve işlevleri yerine getiren ve kontrol eden kumanda düzeneğinden oluşmaktadır. Dönel dikişler ve profil biçimlerin kaynağında ise, sabit kaynak sistemi, hareketli parça düzenlemesine geçilmektedir. Bu yöntemde kaynak ağızlı veya kaynak ağızsız birleştirmeler yapılabilmekte, ancak yöntemin özelliklerinin dikişe yansımaları açısından, uygulamaların oluk pozisyonunda yapılması gerekli görülmektedir. Şekil 3. 14’de toz altı ark kaynağı sistemine ait bileşenler grafik üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3. 14 Toz Altı Ark Kaynağı Sistemi

Yöntem, diğer ark esaslı uygulamalarla kıyaslandığında, özellikle verim açısından, belirgin olarak öne çıkmaktadır. Yöntemde elektrottan malzeme göçümü, damla

geçiş şeklinde gerçekleşmektedir. Damla hacmi ve damla frekansı, uygulanan kaynak parametreleri ve kullanılan toza bağlı olarak ortaya çıkmakta ve kontrol altında tutulmaktadır. Arkin oluştuğu kaverna* hacmi ve cürufun oluşum eğiliminde bu parametrelerin etkisi altında bulunmaktadır.

Toz altı kaynağı otomatik olarak gerçekleştirilebilen bir işlem olmasına karşılık, iç ve dış dikiş biçim oranları sınırları içinde kalmak koşulu ile değiştirilebilen işlem parametreleri, dikiş biçimi oluşumunu büyük oranda etkilemektedir. Resim 3. 1'de robotik toz altı kaynak uygulamasına ait bir görüntü verilmiştir.



Resim 3. 1 Robot ile Toz Altı Kaynak Uygulaması

Toz altı kaynak yöntemi, ark esaslı uygulamalar içinde, nüfuziyet derinlikleri ve nüfuziyet kesitlerinin büyütülmesinde en fazla serbestliğe sahip uygulama olarak tanınmaktadır. Bu özellik, birim dikiş enerjisinde artımlar sağlanarak ortaya çıkarılmaktadır. Birim dikiş enerjisinin en önemli değişkeni kaynak akım şiddetidir. Ancak kaynak edilecek biçimlere bağlı olarak, birim dikiş enerjisinin kalınlık eşdeğeri ve ön tavlama sıcaklığı ile bir arada ele alınması gerekli görülmektedir. Uygulanan kaynak hızlarının artması neticesinde, nüfuziyet derinliklerinde çok büyük değişiklikler olmamasına karşılık, nüfuziyet kesitlerinde oldukça büyük küçülmeler meydana gelmektedir. Bu görünüm, kaynak nüfuziyet derinliği için en önemli işlem parametresinin akım şiddeti olduğunun kanıtı olarak kabul edilmektedir.

* Kaverna :Toplam basıncın azalması sonucunda sıvıda yerel çukurların oluşması ve bu çukurların çökmesi sonucu oluşan itici basınçla komşu katı yüzeylerinde gözlenen mekanik hasar.

Sıvı fazdaki metelsel kaynak banyosu, katı fazdaki ana malzemenin ısınması ve ergimesi için ihmal edilebilir bir ısı kaynağı olarak kabul edilmektedir. Bu durum, bilhassa uygun seçilememiş kaynak şartlarında, metal erginti banyosu önden giderek, katı ana malzemeyi elektrik arkına karşı kapattığı veya ark aralığının ani olarak büyümesi nedeniyle, nüfuziyet derinliğinin oldukça önemli derecede azalması şeklinde açıklanmaktadır.

Bu yöntemle gerçekleştirilmesi ön görülen birleştirmelerde, işlem öncesi kaynak değerlerinin seçiminde, göz önünde tutulması gereken etkenler, malzeme türü ve kimyasal bileşimi, kaynak edilen sac veya parça kalınlığı, kaynak çeşidi ve pozisyonu, ilave malzeme çapı ve kesiti, paso sayısı, kaynak dikiş çeşidi, kaynak tozu tane büyüklüğü ve diğer özellikler olarak sayılabilir.

Toz altı kaynağı, değişik konstrüksiyon biçim ve et kalınlıklarına göre düzenlenen, farklı kaynak ağzı biçimleri ile alın kaynağı, iç ve dış köşe kaynağı, bindirme kaynağı ve özel açılmış delikli bindirme kaynağı şekillerinden yararlanılarak;

- Basınçlı kaplar ve tüp yapımı,
- Kazanlar,
- Yakıt tankları,
- Gemi inşa sanayi,
- Çelik yapı köprü tabyaları,
- Spiral ve aksenele dikişli boru imali,
- Platina sacdan kaynak dikişli çeşitli profiller imali,
- Her türlü çelik konstrüksiyon,
- Ağır taşıtların imali ve benzerleri alanlarda,

yaygın olarak uygulanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında, yüksek ergime verimi ve yüksek nüfuziyet derinlikleri nedenleri ile 4 mm.'lik kalınlıklarda güçlükler ortaya çıkabilmektedir. Bu kalınlıklarda bakır altlık veya kaynak tozlarından oluşturulmuş yastık kullanılması veya özel dikiş biçimlerinden yararlanılması, akım şiddeti ve ark geriliminin düşük tutulması, yüksek kaynak hızları ile çalışılması, kaynak tellerinin

küçük çapta seçilmesi (≈ 2 mm.), pozitif kutuplamanın uygulanması ve iri taneli kaynak tozlarının seçilmesi gerekli görülmektedir. Kalın malzemelerin birleştirilmesinde, malzeme bileşiminde homojenik olmama durumlarında, laminasyon kusurlarında*, özellikle sakınleştirilmemiş çeliklerde sıcak çatlama tehlikesi bulunmaktadır. Kök pasolarda, metalsel banyo büyüklüğünün de etkisi ile ana parçadan ergime payının büyümesi sonucu, çatlama oluşumu ortaya çıkma eğilimi artmaktadır. Bu durumlarda, özellikle kök pasolarda kaynak gerilimlerinin göreceli olarak yüksek, akım şiddetlerinin düşük seçilmesi gerekmektedir. Uygulamalarda, elektrot çaplarına göre verilen akım yoğunluklarının alt sınırlarına uyan akım şiddetlerinden ölçek değerler olarak yararlanılabılır.

Yüksek dayanımlı kaynak dikişlerinin eldesinde, bilhassa malzeme alaşım elemanı oranlarının yüksek olması durumlarında, sıcak çatlama karşı yeterli güven sağlanması için, kaynak tozu-kaynak teli kombinasyonunun uygun seçilmesi ve ısı etkisi altında kalan bölgelerin, olabildiğince kaynak öncesi ve kaynak sonrası tavlama işlemine tabi tutulması ön şart olarak gerekmektedir.

Kaynak birleştirmelerden genel olarak yüksek mekanik dayanımlar, çatlama ve gözenek oluşmaması gibi özelliklere sahip olmasının beklenmesi doğaldır. Alaşım ve yüksek alaşım çeliklerde bu özelliklere ilave olarak, korozyon ve taneler arası korozyona karşı dayanım aranmaktadır. Bu özelliklerin de sağlanabilmesi için Nb- ve Ti- malzemelere bir denge (stabilizatör) elemanı olarak ilave edilebilmekte ve bileşimdeki C'nun belirli bir sınırdaki tutulması gerekmektedir. Ayrıca kullanılan kaynak tozundaki SiO_2 ve MnO oranlarının da düşük tutulması, aranan özelliklerin ortaya çıkarılmasına yardımcı olmaktadır. Bu şekilde kaynak bağlantı bölgesinin taneler arası korozyon riski azaltılmakta, Si- ve Mn-‘dan gelen Cr- oksidasyonu ile kaynak dikişlerinin istenmeyen eleman ve bileşimleri içermesi olasılığı düşük oranlarda tutulmuş olmaktadır.

Alaşım ve yüksek alaşım çeliklerin ısı iletim kabiliyetleri düşük olduğundan, daha düşük kaynak akım şiddetleri ile çalışılması (yaklaşık olarak alaşımsız çelikler için uygulananın %80'i seviyelerinde) veya kaynak akım şiddetinin daha kısa süre

* Laminasyon kusurları: Genellikle ana metalin çalışma yüzeyine paralel olarak meydana gelen, zayıf katman ya da ayırık katman oluşturan süreksizliktir.

etkilemesi amacıyla kaynak hızlarının artırılması da sorunun çözümüne yardım etmektedir. Toz altı kaynak yönteminin yatkın olduğu bir başka uygulama alanı da dolgu ve kaplama/zırhlama amaçlı kaynak işlemleridir. Bu amaçlı uygulamalara örnek olarak aşınan millerin ve makine parçalarının dolgu işlemleri, yumuşak çelik ve malzemelerin üzerlerine aşınmaya, darbeye veya korozyon ve oksidasyona dayanımlı yüzeyler oluşturulması gösterilebilir.

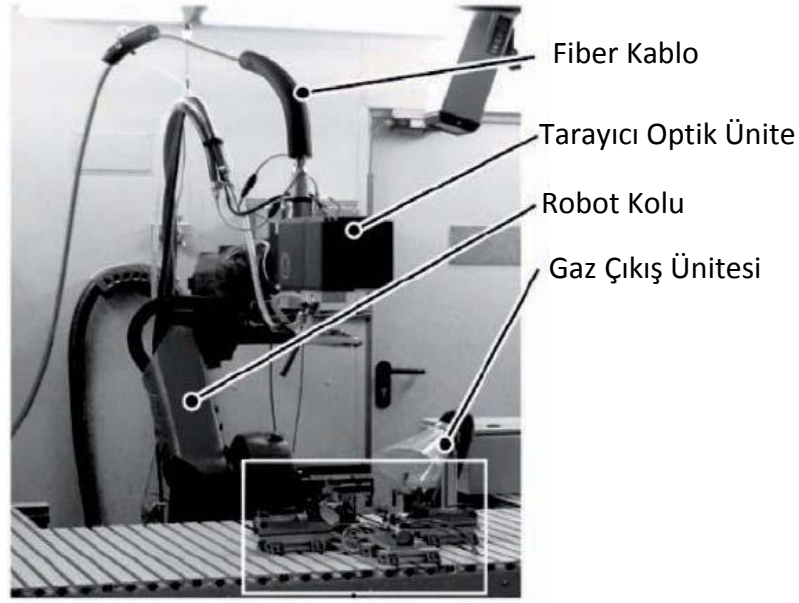
Bu tür uygulamalar için toz altı kaynak yönteminin üstünlüğü, devreye çift elektrot, tandem-band elektrot gibi türev yöntemlerde sokularak işlemin 40 kg/saat'e kadar varan yüksek ergime verimi, elde edilen kaplamanın kalitesi, yüzeyinin düzgünlüğü ile boyut korunum üstünlükleri ve bu uygulamanın sürekli yapılabilmesi özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Temel prensip olarak kaplama amaçlı toz altı kaynak uygulamalarında, ana malzemedeki ergime payının düşük oluşturulmasına dönük kaynak parametreleri ile çalışılması gerekmektedir. Bu nedenle işlemlerde düşük kaynak akım şiddeti, yüksek ark gerilimi, daha büyük kesitli ilave malzeme ile buna bağlı olmak koşuluyla daha düşük kaynak hızları ile çalışılmaktadır. Bu uygulamalarda genellikle nötr ve bazik karakterli tozların kullanılması önerilmektedir.

3.2.3 Işın kaynağı

Geleneksel kaynak yöntemlerine göre hız ve kalite anlamında önemli avantajlar sunan lazer kaynağı, gün geçtikçe endüstride daha çok kullanım alanı bulmakta, bu kullanım alanları bağlamında medikal, elektronik, kuyumculuk, kalıpcılık ve özellikle de otomotiv ve havacılık sektörleri öne çıkmaktadır.

Lazer kaynağı da gelişen teknoloji ile birlikte değişime uğramış ve bu konuda da önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu gelişmeler genel olarak lazer ışını üreticinde ve güç çıkışında yaşanmış, bunun yanında optik sistemlerdeki iyileştirmeler ve kalite artışı da lazer kaynak prosesinin daha da etkin şekilde günümüze ulaşmasına yardımcı olmuştur. Bu çalışmada, son yıllarda geliştirilmiş olan lazer kaynağı tanıtılmaktadır. Resim 3. 2'de lazer kaynağı bileşenleri resim üzerinde gösterilmiştir.



Resim 3. 2 Lazer Kaynağı Bileşenleri Gösterimi

Lazer ışını ile kaynak yöntemi, ergitme esaslı kaynak yöntemlerinden birisi olarak literatürde sınıflandırılmaktadır. Geleneksel ergitme esaslı kaynaklı birleşim yöntemleriyle karşılaştırıldığında, sahip olduğu özellikler dolayısı ile birçok endüstriyel uygulamada lazer kaynak yöntemi tercih edilmektedir. Kaynak konstrüksiyonunda daha fazla serbestlik sağlaması, düşük ısı girdisi, dar bir ITAB* oluşumu ve ITAB'da oluşabilen farklı dokuların azalması, lazer kaynağını diğer yöntemlerden ayıran özelliklerin başında gelmektedir.

İmalat teknolojilerinde, geliştirilen yeni malzemeleri kaynak edebilmek bununla birlikte maliyetleri azaltmak ve verimliliği artırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda lazer ışını ile gerçekleştirilen kaynak uygulamaları geliştirilmiştir. Düşük maliyet ve yüksek verim elde etmek amacıyla geliştirilen uzaktan lazer kaynak yöntemi, endüstrinin ihtiyaç duyduğu gereksinimleri karşılamakta ve imalat teknolojisine yeni bir boyut kazandırmaktadır.

Lazer kaynağı, büyük bir enerji yoğunluğuna sahip lazer ışınının yüksek hız ve hassasiyetle belirli bir mesafeden iş parçasına odaklanması ve iş parçalarını

* ITAB: Kaynak yapılan malzemenin, kaynak dolgu malzemesi içinde olmayan kaynak yapılan ana malzeme içinde kalan, ancak oda sıcaklığında kararlı olan fazın farklı fazlara dönüştüğü sıcaklıklara ulaşan bölgesidir.

birleştirmesi prensibine dayanmaktadır. Lazer kaynak sisteminde, lazer ışını optik aygıtlar yardımı ile yönlendirilmekte ve iş parçasına odaklanmaktadır. Optik sistem aygıtlarının kullanılması, kaynak işleminde ışının odak noktasının değişmesine olanak sağlar. Özellikle farklı kalınlıklara sahip parçaların birleşme bölgeleri için gerekli olan bu özellik yardımı ile imalatta karşılaşılan zaman kayıpları ortadan kaldırılmakta ve verim maksimize edilmektedir.

Lazer kaynağı sisteminde incelenmesi gereken üç ana konu bulunmaktadır. Bunlar, lazer ışın türü, lazer ışınını yönlendirmek ve odaklama amacı ile kullanılan optik sistem aygıtları ve optik sistem ile robot hareketleri arasındaki senkronizasyon olarak özetlenebilir. (Shinozaki, 2009)

Lazer kaynağında, ilk olarak ihtiyaç duyulan ekipman lazer ışın üreticidir. Endüstriyel uygulamalarda, lazerlerde gerçekleştirilen gelişmelere paralel olarak farklı birçok lazer türü kullanılmıştır. Sistemin çalışması için yüksek enerji yoğunluğuna sahip lazer ışınının uzun odak mesafesi boyunca odaklanabilmesi gerekmektedir. Bu sebeple lazer ışın üretici kilowatt mertebesinde bir ışın çıkış gücüne sahip olmalıdır. Bir diğer önemli kriter ise, lazer ışın kalitesidir. Lazer gücü arttıkça, lazer ışınını uzun mesafelere odaklamak daha zordur bu sebeple lazer ışını ile kaynak yönteminde, ışın kalitesi büyük bir önem arz etmektedir. (Karaaslan, 2009)

Lazer kaynağının ilk uygulamalarında CO₂ lazerleri kullanılmıştır. Mevcut durumdaki lazer sistemlerine göre daha düşük ışın kalitesine sahip olmalarından ötürü, endüstriyel uygulamalarda kullanımı sınırlı kalmıştır.

Katı hal lazerlerinde karşılaşılan önemli sorun ise, yüksek lazer güçlerine çıkıldıkça, ışın kalitesinde azalma görülmesidir ve bu sorun kullanımı sınırlandırmaktadır. Işının yüksek güçlerde kullanımını artırma amacı ile disk ve fiber lazer olarak adlandırılan katı hal lazerleri geliştirilmiştir. Bu lazerlerin ışın kaliteleri oldukça yüksektir bu sebeple yüksek güçlerde kullanıma imkan sağlamakta ve işlem verimini artırmaktadır.

Uzaktan lazer kaynağında optik sistem aygıtları, lazer üreticiden gelen lazer ışınının iş parçasına gönderilmesinde kullanılır.

Işını yönlendirmek ve odaklamak amacıyla kullanılan optik aygıtlar,

- Kolimatör mercek,
- Lazer ışın genişleticisi,
- Yansıtıcı aynalar olarak özetlenebilir.

Hareket eden bir optik sistem, kolimatör merceklerle ihtiyaç duymaktadır. Lazer ışını ile optik sistemler arasındaki mesafe sürekli olarak değiştiğinden, ışın çapının istenilen değerlerde tutulması gerekmektedir. Kolimatör mercek kullanılmadığı takdirde, görüntü düzlemindeki ışın çapı farklılık gösterir. Bunun sonucu olarak tutarsız bir kaynak işlemi meydana gelir. Kolimatör mercekler, tutarlı bir ışın çapının elde edilmesini ve bunun sonucu olarak istenilen odak çapının görüntü düzleminde oluşmasını sağlamaktadır. Resim 3. 3’de lazer kaynağı gerçekleştiren lazer kafasına ait bir fotoğraf verilmiştir.



Resim 3. 3 Lazer Kaynağı Gerçekleştiren Lazer Başlığı

Diğer bir optik sistem aygıtı olan lazer ışın genişleticisi ise, lazer ışın çapının genişletilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Genel olarak iki adet mercekten meydana gelen sistem, ışın çapını artırarak görüntü düzleminde oluşan odak çapının ayarlanmasında kullanılır.

Lazer kaynak sistemlerinde iki farklı tür optik sistem kullanılmaktadır ve mercek öncesi ve sonrası sistemler olarak adlandırılmaktadır. Bu iki sistem arasındaki fark, lazer ışınının yönlendirilmesi ve odaklanma sırasından meydana gelmektedir.

Mercek öncesi sistemde, uzaktan lazer kafasına gelen lazer ışını ilk olarak optik sistemlerden geçirilir ve sonrasında görüntü düzlemine odaklanır. Bu işlem, F-Theta merceği olarak adlandırılan özel bir mercek sistemi ile gerçekleştirilir. Işının F-Theta merceğindeki yayılımına bağlı olarak, F-Theta merceğinde ışın kırılır ve görüntü düzleminde istenilen odak çapı elde edilir. Bunun aksine, mercek sonrası sistemlerde, ilk olarak lazer ışını odaklanır sonrasında ise aynalar yardımı ile görüntü düzlemine geniş açısı ve pozisyonlaması gerçekleştirilir. Merceğin odaklanması için lineer hareket edebilen odaklama merceğinden yararlanır. Resim 3. 4'te bu mercek yardımıyla lazer kaynağı ile dairesel kaynak üretimine ait bir fotoğraf verilmektedir. (http://specialoptics.com/pdf/wp_scanning_lens_theory.pdf, Erişim Tarihi: 31.03.2015).



Resim 3. 4 Lazer Kaynağı ile Dairesel Kaynak Üretimi

Lazer başlığının hareketi ile robot hareketleri arasındaki senkronizasyon da oldukça önemlidir. Lazer başlığı ve robot kolunun birbirlerine göre olan bağlı hareketlerinin

hesaplanması gerekmektedir. Kaynak işlemi öncesinde, robotun izleyeceği yol hesaplanmalıdır. Robot kolu ve lazer başlığı arasındaki senkronizasyon, kaynak dikiş konumlarının ve formlarının programlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Son dönemlerde robot hareketlerini kontrol etmek ve işlem öncesinde programlama yapmak amacı ile çeşitli CAD programları geliştirilmiştir. Kullanılan CAD programları, sistemin simüle edilebilmesine imkan tanır. Bu programlar sayesinde, lazer ışın hareketleri hesaplanabilmekte ve fikstürlerin lazer kafaları ile çarpışma riskleri öngörülebilmektedir.

Uzaktan lazer kaynağının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Lazer ışınını uzun mesafede odaklayabilmekte ve daha geniş bir alanda çalışma imkanı sağlamaktadır.
- Programlanabilir kaynak dikiş şekillerine imkan sağlamaktadır.
- Farklı kalınlıklara sahip iş parçalarının birleştirilebilmesini sağlar.
- Geleneksel yöntemlere göre çok daha hızlıdır. Nokta direnç kaynağı ile yapılan birleştirme işlemleri, uzaktan lazer kaynağı ile beş kat daha hızlı gerçekleştirilebilmektedir.
- Tek bir istasyonda birden çok işlemin yapılmasına olanak sağlar; böylece imalat alanında daha fazla kullanım alanı kazanılır.
- Uzaktan lazer kaynağı iş parçasına tek bir yönde uygulanabilir; bu sebeple tasarımda serbestlik sağlar ve ağırlık azaltma çalışmalarına yardımcı olur.

Uzaktan lazer kaynak yönteminin, sahip olduğu üstünlükler nedeniyle, özellikle otomotiv endüstrisinde nokta direnç kaynağına alternatif olarak kullanımını gün geçtikçe artırmaktadır. İşlem verimini artırmaya yönelik yapılan geliştirme çalışmaları neticesinde, uzaktan lazer kaynağının endüstrideki kullanımının daha da artması beklenmektedir. (Shinozaki, 2009)

BÖLÜM 4

KAYNAK ROBOTLARI

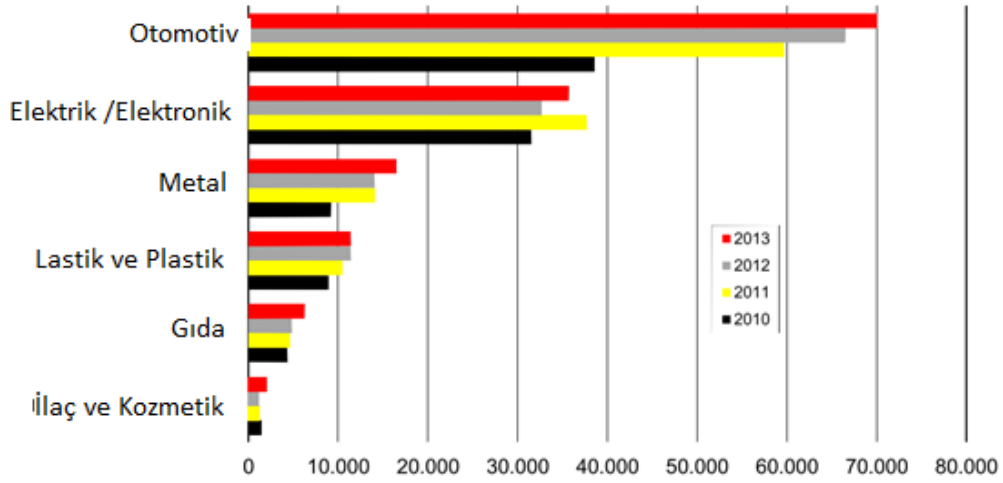
Günümüzde verimliliği arttırmak, üretim masraflarını azaltmak, daha fazla üretim yapmanın yanı sıra kaliteyi yükseltmek ve daha insancıl çalışma koşullarını sağlamak üzere birçok endüstri kolunda hızla kullanıma giren robotlar, kaynak teknolojisinde de uygulama alanı bulmuşlardır.

İlk defa 1970 yılında elektrik direnç nokta kaynağı için robotların kullanımından sonra ilk gaz altı kaynak robotlarının kullanımına kadar yaklaşık 10 yıl beklemek gerekmiştir. Bunun nedeni kaynak prosesinde, robotlardan beklenen yüksek hassasiyete, daha önceden kullanılan hidrolik tahrik ile ulaşılamamış olmasıdır. Araştırmacıların tamamen elektrik tahrikli robotları geliştirmeleri üzerine, ark kaynak yöntemlerinde robotlar tarafından yapılabilir hale gelmiştir. (http://www.robotics.utexas.edu/rrg/learn_more/history, Erişim tarihi: 31.01.2015)

Ark kaynak yöntemleri içinde, kaynak işleminin sürekli olarak gerçekleştirildiği MIG-MAG ve TIG gazaltı kaynak yöntemleri, endüstriyel robotlar tarafından çok iyi uygulanabilmektedir. Bu kaynak yöntemleri günümüzde kaynakçılar tarafından yarı otomatik olarak rahatlıkla yapılan yöntemlerdir ancak kaynakçılar çoğu kez sıcak, konforsuz ve bazen de oldukça tehlikeli çalışma koşullarında işlemleri gerçekleştirmek zorunda kalırlar. Bu kötü koşullar robotların ön plana çıkmasına ve artan oranda kullanıma girmesinde etkili faktörlerden biridir.

Dünya’da 2010-2013 yılları arasında kurulum yapılan robotların yer aldığı sektörler Tablo 4.1’de verilmiştir. (IRF, 2014)

Tablo 4. 1 2010-2013 Yılları Arasında Sektör Bazında Robot Kurulum Adedi



2013 yılında kurulumu yapılan robotların %50'sinin otomotiv sektöründe olduğu görülmektedir. Türkiye'de ise kurulu robotların güncel durumu göz önüne alındığında, kaynak uygulamalarının özellikle imalat sektörü için önemi birinci bölümde incelenmişti. Buradan hareketle kaynak robotlarının Türkiye sanayisinde ileriki yıllarda daha yoğun yer alması beklenmektedir.

4.1 Kaynak Robotu Nedir

Kaynak işlemini gerçekleştirebilen robotlara, kaynak robotu denir. Ancak burada "gerçekleştirebilme" olayı robotun gerçekleştireceği kaynak uygulamasının gereksinim duyduğu hız, tekrarlanabilirlik, gerekli olan torç donanımını taşıyabilme özelliği, kaynak makinası ile sağlıklı haberleşme, ihtiyaç duyulan çalışma alanına göre içten veya dıştan kablolu olması ve diğer gereksinim duyulan çevre birimleri ile haberleşebilme yeteneği ile doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle, örneğin $\pm 0,5$ mm. tekrarlanabilirlik özelliğine göre imal edilmiş bir robot ile $\pm 0,4$ mm. hassasiyetinde bir kaynağın yapılması durumunda, ortaya ciddi kalite ve hurda maliyeti çıkması beklenir. Bahsi geçen robot, $\pm 0,4$ mm. kaynak için uygun olmazken aynı robotu ± 1 mm. hassasiyetinde kalın bir kaynak prosesinde kullanmak uygun olup; bu robotu ± 1 mm. hassasiyetinde kalın bir kaynak prosesi için, kaynak robotu olarak değerlendirebilmeyi sağlamaktadır.

Yine Türkiye'de robot seçerken üzerinde hata yapılan farklı bir konuda, ucuz maliyeti nedeniyle seçilen düşük taşıma kapasitesine sahip robotlar ile kaynak

yapılmaya çalışılmasıdır. Günümüzde artan malzeme fiyatları ve enerji maliyetleri neticesinde ürün başına fiyat / maliyet düşürme amaçlı olarak robotların gövdesinde alüminyum ve benzeri hafif kompozit metaller kullanılmaktadır. Ancak bu metaller uzun süreli ısı maruziyetine ve kaynak çapağına dayanamayarak kısa sürede arızaya neden olmaktadır. Yine redüktörlerde fiyat düşürme amaçlı olarak yapılan malzeme değişiklikleri, uzun vadede robot spesifikasyonunda belirtilen tekrarlanabilirlik seviyesinden zamanla uzaklaşmakta ve tolerans tutturmakta sorun yaşatmaktadır. Bir paketleme sisteminde 1 mm. eksenden kaçıklık çok kolay tolare edilebilecekken, aynı 1 mm. kaçıklık kaynak prosesinin yapılamamasına neden olup, devam eden bölümlerde açıklanacağı üzere kaynak robotlarıyla ilintili hususların, robotlu bir sistem kuracak, kullanacak veya kullanmakta olan kişiler tarafından sağlıklı bir şekilde bilinmesi ve değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

4.2 Kaynak Robotlarının Endüstriyel Önemi

Kaynak robotları esneklikleri sayesinde, üretiminde kaynak uygulaması bulunan ve üretim miktarı belli bir sayının üstünde olan her çeşit ürün için kullanılabilir. Örneğin; aynı robot, bir otomobil fabrikasında: karoseri yapımında veya ev aletleri fabrikasında: buzdolabı ve çamaşır makinesi üretiminde kullanılabilir. Robot kullanımı ile işin kalitesi geliştirilebildiği gibi üretim hızıda büyük çapta artmaktadır. İşçi ücretlerinin yüksek olduğu Avrupa, ABD ve Japonya'da robot uygulaması ile aynı iş, 1/3 ila 1/4 oranında daha ucuza maledilebilir.

Bir insan kaynakçı, çalışması esnasında zamanının % 20 ila %30'u arasında kaynak yapabilir; bir kaynak robotu ise çalışma zamanının %60 ila %70'i seviyesinde verimli kaynak yapabilir. Bu zaman hesabına göre, bir kaynak robotunda üç kaynakçının yaptığı iş aynı anda yapılabilir; ayrıca kaynak pozisyonlarının kullanılması ile yükleme, boşaltma ve pozisyonlama süreleri kısaltılarak zamandan önemli ölçüde tasarruf sağlanabilir.

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

Çalışmanın başlangıcında belirtildiği üzere, kaynak hızı robotla yapılsa dahi kaynak ilminin gerektirdiği ısı yayılımı, çarpılma, kaynak nüfuziyeti gibi değişkenlerden ötürü el ile gerçekleştirilen kaynak hızından çok farklılık gösterememektedir. Ürün çevrim zamanının çok önemli olduğu ana sanayide kaynak hızlarının arttırılamaması ise, çevrim zamanının düşürülememesine sebep olmaktadır. Bu sebeple ana sanayiler mümkün olduğunca kaynak işlemlerini; yan sanayilerinden tamamlanmış almakta veya proses el verdiğince punta ile gerçekleştirmeye çalışmaktadırlar. Resim 4. 1’de Renault marka araçlara parça üreten bir firmada kaynak robotu ile üretilen otomotiv yan sanayi parçasına ait görüntü verilmiştir.



Resim 4. 1 Kaynak Robotu ile Üretilen Otomotiv Yan Sanayi Parçası

Özellikle Türkiye gibi yan sanayilerin büyük çoğunluğu oluşturduğu endüstrilerde, kaynak uygulamaları ön plandadır. Bu bağlamda yan sanayilerde gerçekleşen kaynak işleminin kalitesi ve verimliliği, ana sanayi için çok büyük önem kazanmaktadır. Türkiye’de ana sanayilerin tamamı yan sanayilerinden otomasyon ve robotik sistemler beklemekte ve yarı mamullerini robotik sistemlere sahip firmalara emanet etmek istemektedir. Bugün Rolls Royce, Ferrari, Mercedes, BMW ve Porsche gibi markalar parça tedarikini, robotlu imalat yapan Türk yan sanayi firmalarından sağlamaktadırlar.

4.3 Kaynak Robotu Yapıtaşları ve Seçim Kriterleri

Ark kaynak yöntemlerinin uygulanmasındaki bazı problemler, kaynak robotlarının yaygın kullanımına mani olmuştur. Bu problemlerin birincisi, ark kaynağı bir fabrikasyon yöntemidir* ve sık sık küçük hacimli işlerde kullanılır, dolayısı ile ekonomik gereksinimler otomasyon zorluğunu ortaya çıkarır. İkincil olarak ark kaynağı yapılarak birleştirilecek parçaların boyut ve tolerans değişimleri, insan tarafından yapılan el kaynağı tarafından rahatlıkla telafi edilebilir; robotlar ise bu konuda yetiştirilemezler. Üçüncüsü ise, insan kaynaklıların girişi zor yerlerde (kazan, tank ve gemi gövdelerinin içinde) çalışması istenir. Dördüncü ve sonuncusu, ark kaynağı yönteminin değişkenlerinin tam zamanlı olarak izlenebilmesi için sezici teknoloji henüz yeterli ölçüde tam olarak geliştirilememiştir.

Bu problemlerin sonucunda, robotların ark kaynağı uygulamaları yüksek ve orta hacimli üretimler için sınırlandırılmıştır. Ayrıca birleştirilecek parçalar belirli ölçülerde alınabilir ve boyutsal değişimlere toleranslar çerçevesinde izin verilebilir.

Yarı-otomatik yöntemler uygulanarak yapılan kaynaklar ile karşılaştırıldığında kaynak robotlarının üstünlüklerini:

- Yüksek verimlilik,
- Arttırılmış iş güvenliği,
- Kaliteli ve daha mukavemetli kaynak dikişlerinin elde edilmesi,

olarak sıralanabilir.

Robotlar tarafından gerçekleştirilen MIG-MAG ve TIG gaz altı kaynak yöntemlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için bir kaynak robotu donanımının elemanlarını tek tek incelemekte fayda vardır. Bu elemanlardaki gelişmeler, robotların ark kaynağı uygulamalarının endüstriye yaygınlaşması sonucu devam etmektedir.

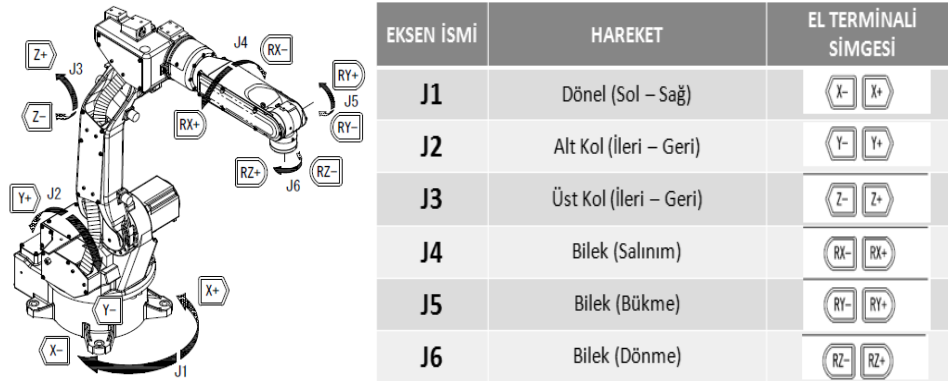
* Fabrikasyon Yöntem: Hammaddelere şekil verme yolu ile yeni mamuller edilmesidir. Döküm , tormalama, pres kesme vb. yöntemlerle şekil vererek mal üreten sistemler bu gruba girerler.

4.3.1 Manipülator

Genel kullanımın aksine “robot” terimi sistemin tamamına verilen isimdir, robot olarak bahsedilen 3’ten fazla eksenli motor-redüktörlü yapının ismi “manipülator” ‘dür.

Manipülator, eklemleri ve hareket için robotun çalışmasına izin veren parçalardan oluşur. Manipülator kolu yararlı bir iş sağlamak için çeşitli hareketler ile malzemeleri, parça, alet veya özel aygıtlara iş yaptırmada görev alır.

Manipülator, kasları ve eklemleri insan kolunda bulunanlara benzeyen bir diziden oluşur. Eklemler, robotun iki farklı kısmını birbirine bağlar ve bunların birbirlerine göre hareket etmesine izin verir. Eklem doğrusal (düz çizgi) veya döner (daireysel) hareket sağlayabilir. İnsan vücudunun kasları da benzer olarak çeşitli eklemlere hareket, itici güç kaynağıdır. Şekil 4.1’de 6 eksenli bir robot üzerindeki hareket yön ve simgeleri verilmiştir.



Şekil 4. 1 Altı Eksenli Bir Manipülatorün Eksen Şeması

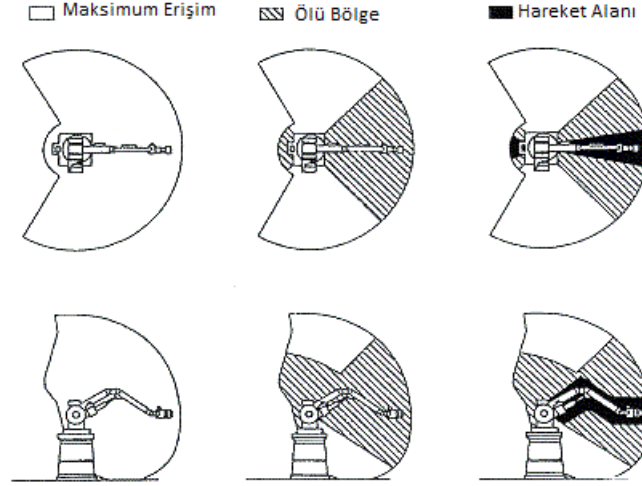
Benzer şekilde programlanmış bir robot, yörüngesi boyunca kolunu hareket ettirmek ve sonra doğru pozisyona ulaştığında eklemleri sert tutmak için aktüatörler kullanır. Aktüatörler tarafından sağlanan hareketin doğrusal ve rotatif olmak üzere iki temel tipi vardır. Doğrusal (lineer) aktüatörler düz bir hat boyunca hareket sağlamaktadır; bağlı yükleri uzatmak veya geri çekmek gibi. Dairesel (rotary) aktüatörler bir yay veya daire içinde kendi yüklerinde hareketli rotasyonunu sağlar. Dairesel hareket, bir kurşun vida ya da diğer dönüşümleri mekanik araçlar kullanılarak doğrusal harekete dönüştürülebilir. Bu tür aktüatörler aynı zamanda iş parçalarını taşımak ve çalışma zarfı içinde başka türlü hareket sağlamak için robot dışında da kullanılmaktadır.

Takometre, bir nesnenin hızını ölçmek için kullanılan cihazdır. Robot sistemlerinde, takometre manipülatör hareketlerinin hızlanma ve yavaşlamalarını izlemek için kullanılır.

Uç sonuçlandırıcı (ing: end effector), bir robot sisteminin en önemli bileşenlerinden biridir. Robotun performansı uç sonlandırıcının görev gereksinimlerini ne kadar iyi karşıladığıyla doğrudan ilintilidir. Robotun uç sonuçlandırıcısının ulaşabileceği alanlara yörünge, çalışma zarfı veya erişim uzayı adı verilir.

Erişim uzayı özellikle kaynak robotları için çok önemli bir konudur. Bir çeşit uç sonlandırıcısı olarak nitelendirebileceğimiz torç ekipmanının sadece belirtilen yere erişimi yetmez, bunun yanında doğru açıda, doğru konumda parçaya işlem yapabilmesi gerekir. Bu sebeple kaynak fikstürü tasarımında daha detayına inilecek olan ancak mutlaka üzerinde durulması gerekli konu, kaynak çalışması ve erişimler çıkartılmadan robot kol uzunluğu kararının yatırımcı tarafından verilmemesidir. Erişimin yetersiz kaldığı alanlarda pozisyoner ve kaynak fikstüründe yapılan değişiklik, verim ve maliyet kaybına neden olacaktır.

Yine manipülatör seçiminde dikkat edilmesi gereken bir başka hususta ölü alan (dead zone) olarak tabir edilen, J4 – J5 – J6 kollarının lineer olarak aynı düzlemde birbirlerine 180° açiya yakın buldukları erişim uzayında, robotun hızının çok yavaş olmasıdır. Bu ölü alanlar robotlara ait erişim uzayı grafiğinde görülebilirler. Bu erişim uzayında yaşanan hız kaybından ötürü, bu alan içerisinde kaynak yörünge çalışması yapılması durumunda ciddi problemlerle karşılaşılabilir. Robot seçiminde ölü alanların iyi etüt edilmesi ve çalışma yörüngesi dışında tutulması tavsiye edilir. Şekil 4.2’de varsayımsal olarak robotlarda ölü bölge tasvir edilmiş olup herhangi bir robot markasına ait şematik özellikle verilmemiştir.



Şekil 4. 2 Varsayımsal Bir Robot'a ait Erişim Alanı ve Ölü Bölge

Robot, bir konuma yönlendirildiğinde kendi interpolasyonunu* kendisi hesaplayarak hangi eksen, ne kadar, hangi açıda hareket ettireceğini hesaplar ve hareketi gerçekleştirir. Robot kolları eklem ve hareketleri arasındaki ilişki, kinematik ile ifade edilir. Kinematik ileri ve ters yönlü olmak üzere iki çeşittir. Robotun ileri yön kinematiği (ing: forward kinematics); robot bağlarının konumları, hızları ve ivmeleri arasındaki ilişkiyle ilgilenir. Bir robot, ana çerçevesinden, araç çerçevesine doğru birbirine prizmatik veya dönel eklemlerle tutturulmuş bağlardan oluşur. Her bir ekleme koordinat sistemi yerleştirilerek komşu eklemler arasındaki ilişkiyi veren dönüşüm matrisleri bulunur. Ters kinematik (ing:reverse kinematics), uç işlevcisinin verilen konum ve yönelim verilerine göre eklem değişkenlerinin değerlerinin bulunması işlemidir. Yani robot uç işlevcisinin istenilen konuma gitmesi için eklemlerin dönme, kayma miktarları gibi değerlerini belirlemek için ters kinematik sonuçlarının bulunması gerekir. İleri kinematik işlemlerinde her zaman çözüm bulunabilirken, ters kinematik için her zaman çözüm bulunmayabilir. Ters kinematik çözümü aktüatörlerin eklem toraklarının hesaplanması, gerçek zamanlı kontrol ve yörünge planlaması gibi işlemlerde ön plana çıkmaktadır. İlerleyen konularda ve Ek_D bölümünde tork gücü hesaplaması ile ilgili detaylı bilgi verilmiştir. (Asada ve Slotine, 1986)

* İnterpolasyon: Toplanan verilerin bir fonksiyon eğrisine uydurulması amacıyla kullanılmaktadır. Elde toplanan verinin dağınık ve özellikle aşırı heterojen olduğu durumlarda interpolasyon ile boş alanlardaki değerlerin bulunması önem kazanmaktadır.

Kaynak robotlarında, manipulatörlerin taşıma kapasitesi, açısal hızı ve momenti etkileyen konulardan birisidir. Kaynak robotunun taşıma kapasitesini belirleyici olan taşıyacağı torç pakedinin ağırlığıdır. Uzun vadede farklı kaynak torç ve paketleri seçilecekse, bunlarda hesaba katılarak uygun değerli taşıma kapasiteli robota karar vermek gereklidir. Bir robot ne kadar fazla taşıma kapasitesine sahipse o derecede yavaş çalışır, enerji tüketir, yatırım ve bakım maliyeti artar. Sınırlı taşıma kapasitesine sahip bir robotta ise, uç erişim noktalarında taşıma ve tekrarlanabilirlik problemleriyle birlikte redüktör zorlanması gibi semptomlar görülebilmektedir. Bu sebeple kaynak robotları endüstride farklı ihtiyaçları yönetmeye yönelik olarak 3kg, 4 kg., 5 kg., 6 kg. ve 10 kg. olarak satılmaktadır. Optimum olarak genel proses tecrübesine göre kaynak işlemi için 4 kg. ve 6 kg. arasındaki bir robotu seçmek yeterli olmaktadır.

Bununla birlikte motor sürme esnasında, motor-redüktör bağlantısı önem kazanmaktadır. Piyasada satılan robotların manipulatörlerindeki motorlar üç türlü sürülmektedir: doğrudan, şaft ile tahrik aktarılan ve zamanlama kayışı ile sürülen motorlar.

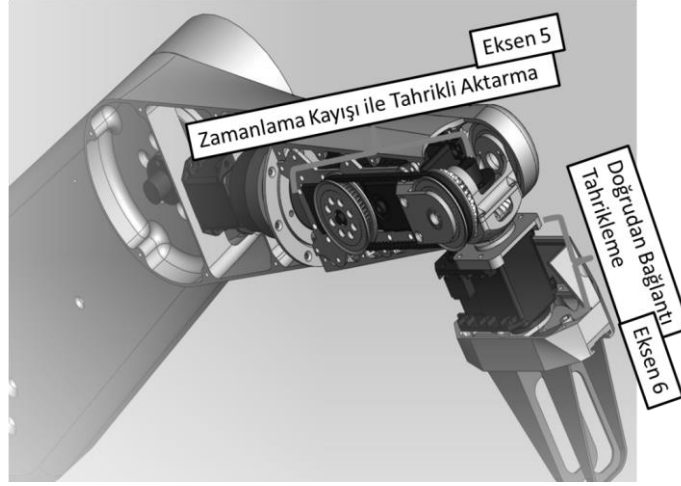
Doğrudan sürülen (ing: direct drive) motorlar, redüktör ve motorun akuple bağlanmasından meydana gelir ve daha iyi tolerans aralığı ve daha iyi tekrarlanabilirlik değerleri ile robot çok daha keskin operasyon özelliğine sahip olmaktadır. Ancak doğrudan sürülen motorların dezavantajı; fiyatının yüksek olması, robot kolunun çarpılması veya vurulması durumunda redüktörün ve dişlilerin kolay arıza yapması ve bakımının maliyetli ve zaman alıcı olmasıdır.

Şaft ile tahrik aktarılan sistemler artık piyasadan kaldırılmaktadır. Bu tip aktarma elemanına sahip robotların alınması tavsiye edilmemektedir.

Zamanlama kayışı (ing: timing belt) ile sürülen motorlar, doğrudan sürülen motorlara göre daha kötü tolerans aralığı ve daha kötü tekrarlanabilirlik gösterirler. Ancak fiyatları daha makul olup, çarpma ve vurma durumlarına daha dayanıklı ve kolayca kayışı değişebilen bir yapıya sahiptir.

Şekil 4.3'de görüleceği üzere 5. eksen zamanlama kayışı ile tahriklenen ve 6. eksen doğrudan tahriklenen, yani manipulatör kol ve eksenlerinin yapısına göre zamanlama kayışı veya doğrudan sürülen şekilde, ihtiyaç duyulan hibrit manipulatörlerin

alınması tavsiye edilmektedir. Burada robotun eksenleri ve tahrikleme yapısı, robotun üretici firması tarafından tasarladığı yapıya göre değişiklik gösterebilmektedir ancak yukarıda izah edilen hibrit bir yapı, güncel olarak en verim alınan sistemdir.



Şekil 4. 3 Doğrudan veya Kayış ile Tahriklenen Manipülâtör Kolu

Bazı üreticiler (örn: Motoman Yaskawa) bütün kaynak pakedini resim 4.2’te görüldüğü gibi robotun 1. ekseninden itibaren entegre etmektedir.



Resim 4. 2 Eksen 1 İtibariyle İçten (Entegre) Kablolu Kaynak Hortum Paketi

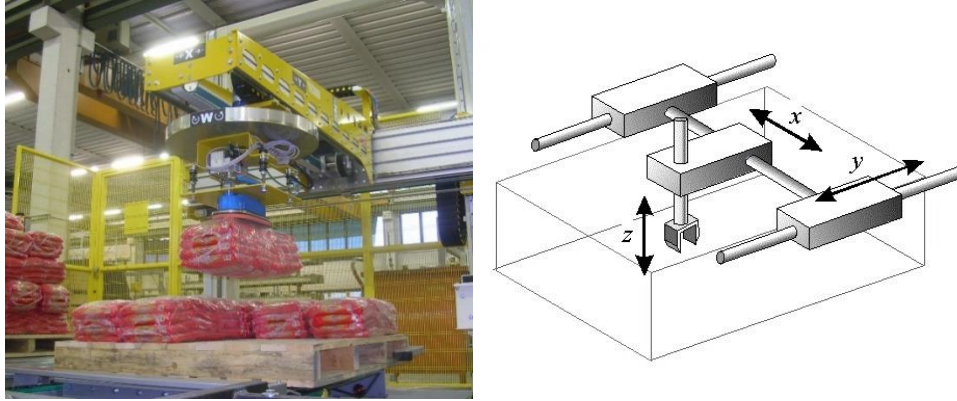
Çoğu üretici sadece hareketin çok olduğu 3. ekseninden itibaren entegre hortum pakedini sunmaktadır.

4.3.1.1 Koordinat sistemleri

Robot seçiminde küresel manipülatör olarak bilinen sistemler haricinde farklı koordinat ve eksen sisteminde üretilen manipülatörlerde mevcuttur. Çalıştığı koordinat sistemlerine göre robotlar aşağıda sıralanmıştır.

4.3.1.1.1 Kartezyen manipülatör

Bu tip çalışmada, robotun birbirine dik olarak kayan eklemleri mevcuttur. Yani x,y,z koordinatlarında birbirine dik hareketler gerçekleştirilir. Mekanik yönden çok sağlam olmasına rağmen çalışma alanındaki hareket yeteneği bakımından zayıf olması bir dezavantajdır. Resim 4. 3'te kartezyen manipülatör örneği ve eksen şemasına ait resim ve grafik görüntüsüne yer verilmiştir.



Resim 4. 3 Kartezyen Manipülatör Örneği ve Eksen Şeması

Basit yapı tasarımından dolayı kolların hareketi kolaydır. Bir yere ulaşması için hesaplanacak yol çok basit olarak bulunabilir. Bu robot tipi çok büyük boyutlarda ve ağırlıklarda nesnelere hareket ettirmek, taşımak için optimum seçimdir. Kaynaklı imalat için ancak çok geniş ve kalitesiz toleranslar için tercih edilebilirler.

4.3.1.1.2 Silindirik manipülatör

Adından da anlaşılacağı üzere silindirik koordinatlarda hareket eden manipülatör çeşididir. Kollarından biri düşeyde, diğeri radyal doğrultuda hareket ederek işlemleri gerçekleştirir. Bir temel yatağı etrafında dönebilen ve diğeri iki uzvu taşıyan ana bir desteğe sahiptir. Bu tip manipülatörler de mekanik yönden sağlamdır fakat bilek konum doğruluğu yatay harekete bağlı olarak azalır. Kartezyen manipülatörde olduğu gibi büyük boyutlu nesnelere taşınması ve kaynağında kullanılırlar. Bu tip

manipülatorlerde, hidrolik motorlar tercih edilir. Resim 4. 4'te silindirik robotla orbital boru kaynağı işlemine ait işlemin görüntüsüne yer verilmektedir.



Resim 4. 4 Silindirik Robotla Orbital Boru Kaynağı İşlemi

Yapılması gereken iş ve hedefin aynı doğrultuda olmadığı montaj ve kaynak işlerinde çoğunlukla silindirik manipülatorler kullanılır. Robotun dönüş kabiliyeti çok yüksek olduğundan belirli bir doğrultuda olmayan işlerde kartezyen koordinatlı robotlara göre çok hızlıdır.

4.3.1.1.3 Küresel manipülator

Küresel manipülator iki adet döner ve bir adet kayar tip eklemden meydana gelmektedir. Bu tip manipülatorler mekanik açıdan silindirik ve kartezyen manipülatorlere göre daha zayıf, mekanik yapı yönünden diğerlerinden daha karmaşıktır. Elektrik motorlarının tercih edildiği bu robot tipi çoğunlukla bütün sanayide kullanılabilir. Resim 4. 5'te altı eksenli küresel manipülatorlere örnek olarak KUKA marka bir yüzey işlem robotu örnek olarak gösterilmektedir.



Resim 4. 5 Altı Eksenli Küresel Manipülator

Kola ait uzuvlardan biri doğrusal hareket yapabilecek, bunu destekleyen diğer uzuvlardan biri temele dik olan eksen etrafında, diğeri de bu eksene dik ve temele

paralel bir eksen etrafında dönmektedir. Dikey hareket, kolun açısal hareketiyle tutucunun aşağı ve yukarıya çıkabileceği kadardır. Endüstri’de 6 eksenli olarak görülen robotlar teknik olarak “küresel manipülatör” ’dür.

4.3.1.1.4 Mafsallı manipülatör

İnsan kol yapısı kıstas alınan bu tip manipülatörler tüm eklemleri döner olduğundan en yetenekli robotlardır. Boyama, kaynak yapma, montaj, yüzey temizleme vb. gibi endüstriyel uygulamalarda geniş kullanım alanına sahiptirler. Resim 4. 6’da örnek bir mafsallı robot türüne ait resim görülmektedir.



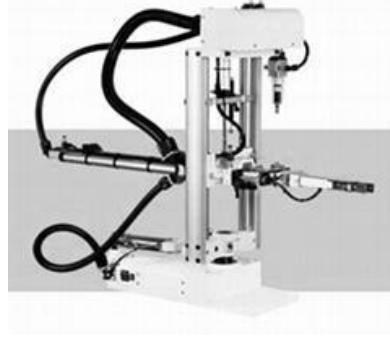
Resim 4. 6 Mafsallı Robot

Elektrik motorlarının tercih edildiği bu manipülatörler de, kontrol işlemindeki zorluklar nedeniyle bu koordinat ve mafsals sistemi robot tekniğinde geç uygulama alanı bulabilmiştir.

4.3.1.1.5 Scara manipülatör

Silindirik koordinatlı robotların özel bir tipi olarak kabul edilen bu manipülatörler bileği konumlandırmak için iki kıvrılabilir (revolute) ekleme sahiptir. İlk kıvrılabilir ekleme, düşey omuz eksenini olarak da düşünülebilecek temel eksen etrafında kolu ileri-geri döndürür. İkinci kıvrılabilir ekleme, ön kolun düşey dirsek eksenini etrafında ileri ve geri dönmesini sağlar. Böylelikle iki kıvrılabilir ekleme, yatay düzlemdeki hareketi kontrol eder. Hareketin düşey bileşeni bileği yukarı ve aşağı hareket ettiren üçüncü ekleme tarafından sağlanır. SCARA robotlar, genelde hafif ve orta elektronik mekanik montajında, parça test etmekte, malzeme taşımada, makine yüklenmesi ve

boşaltılmasında kullanılmaktadır. Resim 4. 7’de örnek bir mafsallı robot türüne ait resim görülmektedir.



Şekil 4. 4 Scara Kaynak Robotu

Maksimum 20 kg. taşıma kapasitesine sahip olmasına karşın dikey çok hızlı hareketi, çalışma hacmi içerisinde istenen yere çok çabuk ulaşılabilmesini sağladığından özellikle montaj işlerinde en çok tercih edilen robot tipidir.

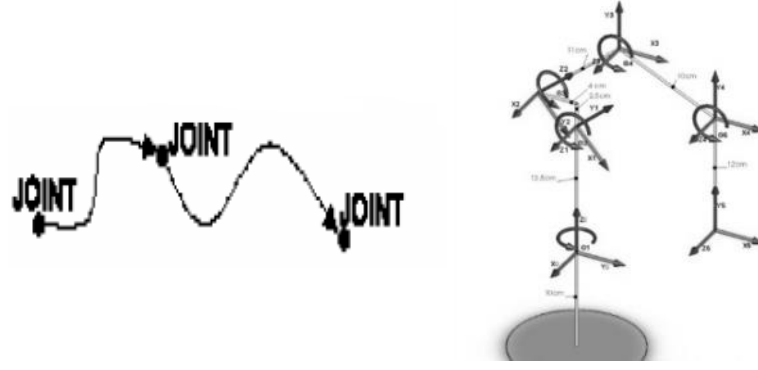
4.3.1.2 Robotlarda koordinat çeşitleri

Robotlarda koordinat çeşidi, hız, keskinlik vb. konuların sağlıklı bir şekilde işlemesi için çok önemlidir. Seçilen robotun mutlaka aşağıdaki interpolasyon (hareket yörünge) sistemlerine sahip olduğundan emin olunmalıdır.

Joint hareket (noktadan noktaya enterpolasyon)

Robotun bulunduğu noktadan bir sonraki noktaya, en kısa yolu izleyerek düzensiz bir yörüngede hedef noktaya vardığı harekettir. Joint hareket; noktadan noktaya (point to point) boşta hareket olarak adlandırılabilir. Parçaya hassas yaklaşma ya da kaynak sırasında bu hareket tipi kullanılmaz. Şekil 4. 5’te joint jakobyen (noktadan noktaya) en kısa koordinat sistemine ait şema verilmektedir.

Kartezyen koordinatlarda hareket, kinematik denklemler kullanılarak mevcut konumu sağlayacak mafsall koordinatlarının elde edilmesi ile sağlanır.

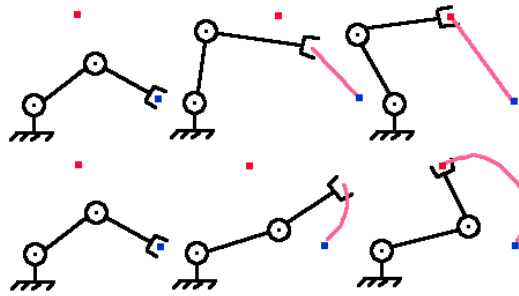


Şekil 4. 5 Joint Jakobyen (Noktadan Noktaya) En Kısa Koordinat Sistemi

Kinematik denklemlerin çözümü sonucunda iki değere ulaşılabilir veya tanımsız durumlar meydana gelebilir. Robot bu durumda hareketsiz kalarak alarm durumuna geçer. Bu durumda ya noktalar değiştirilmeli yada hareket stratejisi değiştirilmelidir. Teknoloji ve işlemci gücünün günümüzde gelişmesiyle bu tür çözümsüz hareket koordinatlarını oldukça azalmıştır.

Lineer hareket (doğrusal enterpolasyon)

Robotun bulunduğu noktadan bir sonraki noktaya, doğrusal bir yörünge izleyerek vardığı hareket şeklidir. Şekil 4.6'da lineer enterpolasyon (doğrusal) koordinat sistemine ait şema verilmektedir.



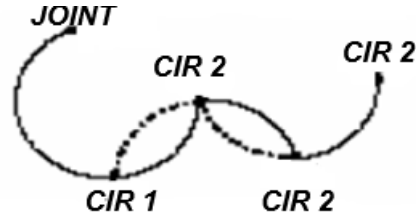
Şekil 4. 6 Lineer İnterpolasyon (Doğrusal) Koordinat Sistemi

Parçaya hassas yaklaşma ya da kaynak sırasında bu hareket tipi kullanılır.

Sirküler hareket (dairesel enterpolasyon)

Robotun bulunduğu noktadan bir sonraki noktaya, dairesel bir yörünge izleyerek hedef noktaya vardığı hareket şeklidir. Şekil 4.7'de dairesel bir yörünge izleyerek

hedef noktaya sirküler interpolasyon (daireesel) koordinat sistemi üzerinden nasıl gidildiğini gösteren anlatım görülmektedir.



Şekil 4. 7 Sirküler İnterpolasyon (Dairesel) Koordinat Sistemi

4.3.2 Kontrol ünitesi

Robot kaynak torcunun kaynak prosesi sırasında izlemesi gereken yörünge, öğretme (teaching) programı ile belirlenir. Kullanıcı, robotun izlemesi gereken yörünge üzerinde referans noktalarını ve bu noktalardaki kaynak parametrelerini robotun kendi programındaki komutlarla belirler. Kontrol ünitesi bu değerlere göre robotun izlemesi gereken yörüngeyi ve yapılacak kaynak işlemini öğrenmiş olur. Elde edilen bu verilere ve pozisyon algılayıcılardan gelen geri besleme sinyallerine göre, robot mafsal motorlarına uygulanması gereken dönme miktarı, hız ve moment değerleri robot kontrol ünitesi tarafından belirlenir ve iletilir. Kontrol ünitesinin, robotun 6 eksenini kontrol edebilmesi yeterli görünmektedir. Resim 4. 7’de altı eksenli kaynak manipülatorü kontrol ünitesine ait resim görülmektedir.



Resim 4. 7Altı Eksenli Kaynak Manipülatorü Kontrol Ünitesi

Bununla beraber eğer sisteme yardımcı donanım (pozisyoner, slider, ikinci bir robot) eklenirse kontrol ünitesi ek bir eksen kartıyla bu isteğe karşılık verebilecek yapıda olmalıdır. 15 eksene kadar çıkarılabilen eksen kontrolü sağlayarak bu isteği

karşılayabilecek kontrol sistemleri vardır. Robotun kontrol sistemi, birçok yardımcı sistemden bilgi alabilecek kapasitede olmalıdır.

Örneğin; kontrol ünitesi, bir kaynak jiginden gelen giriş bilgisini alabilecek ve güvenlik kapılarını kapatabilecek yetenekte olmalıdır. Ayrıca, iş parçası tutucularına hareket verebilmek için gerekli çıkış sinyalini de gönderebilmelidir. Birçok robot kontrolörü programlanabilir giriş/çıkış sinyal alışverişi yapabilecek özellikte üretilmekte ve birkaç farklı seviyede operatör ara yüzüne sahip olmaktadır. Bunlardan en basiti öğretim / programlama ara yüzü ve ürün / operatör ara yüzüdür, diğer ismiyle el terminalidir. Tablo 4. 2’de verilen örnek tablo üzerinde görüleceği üzere, kaynak robotu kontrolör özellikleri tablosu satın alınmadan önce kontrol edilmelidir.

Tablo 4. 2 Örnek Kaynak Robotu Kontrolör Özellik Tablosu

Madde		Özellik
Kontrol Sistemi	Öğretim Sistemi	Playback Öğretim Sistemi
	Sürtücü Sistem	AC Servo Motor
	Denetlenen Eksen Sayısı	6 Eksen
		Seçenek: 3 Harici Eksen
Hafıza	Koordinatlar	Mafsalh, kartezyen
	Hafıza	IC hafıza
	Komut Sayısı	8000 komut
	Program Sayısı	998 program
Dosya İşlemi	Kopyalama Fonksiyonu	Mevcut
	Program Kaydırma Fn.	Paralel Kaydırma ve Silindirik Kaydırma Seçenek: 3 Boyutlu Kaydırma, Yansıma, Büyütme, Küçültme, Simetrik Kaydırma
Koruma Fonksiyonu		Şok Sensörlü Sıcaklık Kontrolü, Otomatik Kilitleme, Gerilim Kontrolü, Öğretim Modu Kilitleme, Kontrol Ünitesinde Arıza, Kaynak Ünitesinde Arıza, Servoda Arıza, Hatalı İşlem, Acil Durdurma,
Çalışma Sıcaklığı, Nem		0-45°, 20-80% RH
Giriş Gücü		3 faz AC 200V (+10%,-15%), 50/60 Hz
Dış Boyutlar		358(W) x 515(D) x 748(H) mm
Yaklaşık Ağırlık		45 kg

Kontrol ünitesi içerisindeki havalandırmanın sağlıklı yapılması gerekmektedir. Özellikle ısınan kartların ve işlemcinin sağlıklı bir proses için soğutulması önemlidir. Bütünleşik PLC ve soft PLC desteği, kontrol ünitesinin farklı birimlerle haberleşmesini sağlamaktadır.

4.3.2.1 El terminali

Robot el terminali (ing: teach pendant) bir manipülatörü uzaktan kontrol etmeye yarayan ekipmandır. Herhangi bir sabit noktaya bağlı kalmadan robotun hareketlerini

daha kolay bir şekilde görmeye ve yönetmeye yarar. Resim 4. 8’de el terminali ile fikstür üzerinde yörünge yazan bir programcının görüntüsü verilmiştir.



Resim 4. 8 El Terminali ile Fikstür Üzerinde Yörünge Yazan Tekniker

Robotla ilgili yörünge ayarları, el terminali üzerinden yönetilir. Tipik bir el terminalinde, Resim 4. 9’da görüleceği üzere acil durdurma butonu bulunur. Bu düğmeye, robotta veya çevresel ortamda oluşabilecek problemlerin zararlı sonuçlarını engellemek için robot sisteminin acil durdurulması gerektiğinde basılabilir.



Resim 4. 9 El Terminalinde Acil Durdurma Butonu

Yine el terminalinde, robota manuel olarak hareket ettirmek amacıyla sadece hafifçe bastırıldığında robotun hareketine izin veren, Resim 4.10’da görülen “ölü adam sviçi” (ing:dead man switch) bulunur. Bu sviçe basılmadığında veya çok sıkı basıldığında robot duruyorsa çalışmaz, manuel olarak çalışıyorsa durur.



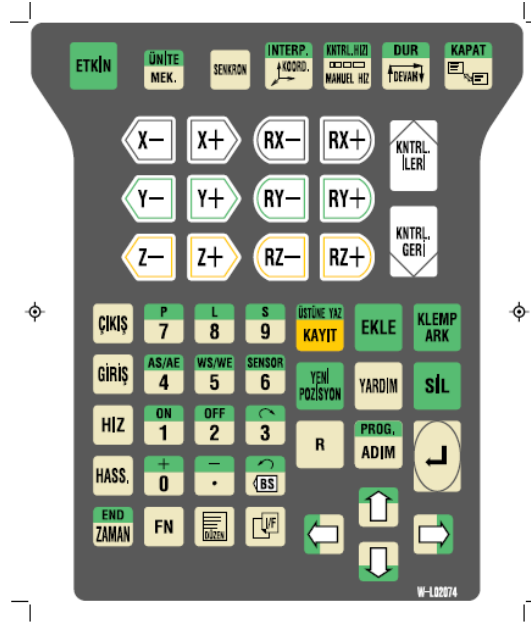
Resim 4. 10 El Terminali Ölü Adam Sviçi (Dead Man Switch)

El terminali ekranında, program adımları görülebilir, bunlar üzerinde değişiklik yapılabilir ve verilen komutlar keyboard yardımıyla incelenebilir. Programlama ve kaynak esnasında tüm kaynak parametreleri kumanda panelinden örnek verilen Resim 4.11’de görüldüğü gibi izlenmeli ve hata durumunda el terminalindeki LCD ekran paneli üzerinden hata kodu bildirimini özelliği olmalıdır.

Teach	Program	Step	5/2/2012 10:40
	???	14	
	[EX]		
Dead Zone	Robot Program		UNIT 1
5.0 %	JOINT A1 T1		
0 [START]			
1 0.10 sec	JOINT A3 T1		
2 OUT[DB81,255]		FN44:Binary output sig	
3 0.10 sec	JOINT A3 T1		
4 OUT[DB81,255]		FN44:Binary output sig	
5 0.10 sec	JOINT A3 T1		
6 OUT[DB81,255]		FN44:Binary output sig	
7 0.10 sec	JOINT A3 T1		
8 OUT[DB81,255]		FN44:Binary output sig	
9 0.10 sec	JOINT A3 T1		
10 OUT[DB81,255]		FN44:Binary output sig	
11 0.10 sec	JOINT A3 T1		
12 OUT[DB81,255]		FN44:Binary output sig	
14 WAIT[10]		FN525:Wait Inout cond	
15 0.10 sec	JOINT A3 T1		

Resim 4. 11 Kaynak Robotu El Terminali Program Ekran Görüntüsü

Keyboard tuşları uzun süre kullanıma dayanıklı olmalı ve operatörün rahatça kullanımı için tuşlar Türkçe açıklamalı olmalıdır. Marka ve model olarak bu özellikler değişiklik gösterebilir. Resim 4. 12’de Türkçe robot el terminali klavyesi örnek olarak verilmiştir.



Resim 4. 12 Türkçe Bir Robot El Terminali Klavyesi

Bir el terminalinden beklenti, hafif olması ve el yormamasıdır. Yine gelişen teknoloji ile dokunmatik LCD ekranlarla ayarlamalar daha kolay olmaktadır.

El terminallerine dokunmatik ekranlarla birlikte kablosuz özelliği de eklenmiştir. Ancak bu özellik kaynak robotları için genellikle problem yaşatabilmektedir. Bunun sebebi, özellikle ark kaynağında ortaya çıkan manyetik alanın kablosuz haberleşmeyi aksatmasıdır. Yine acil durumlarda kablosuz haberleşmede oluşabilecek bir aksamada iş güvenliği zafiyeti oluşabilmektedir.

El terminali kablo uzunluğuna, operatörün yörünge yazarken, kaynak noktasını kolaylıkla görebileceği şekilde karar vermek gereklidir. Standart uzunluklar 8 metre ile 12 metre arasında değişmekte olup ancak kablo uzunluğu mutlaka projenin en uzak kaynak noktasına erişebilecek uzunlukta seçilmesi gerekmektedir. Hassas ayarlamalar esnasında yörünge yazan operatörün, kaynak noktasını mutlaka yakından incelemesi gereklidir.

Yine el terminalinden programların yedekleri alınabilmektedir. Son sistem el terminallerinde Resim 4.13'te görüleceği üzere USB arayüzden belleğe program yedekleri alınabilmektedir.



Resim 4. 13 El Terminali Arkasında Yedekleme için USB Arayüzü

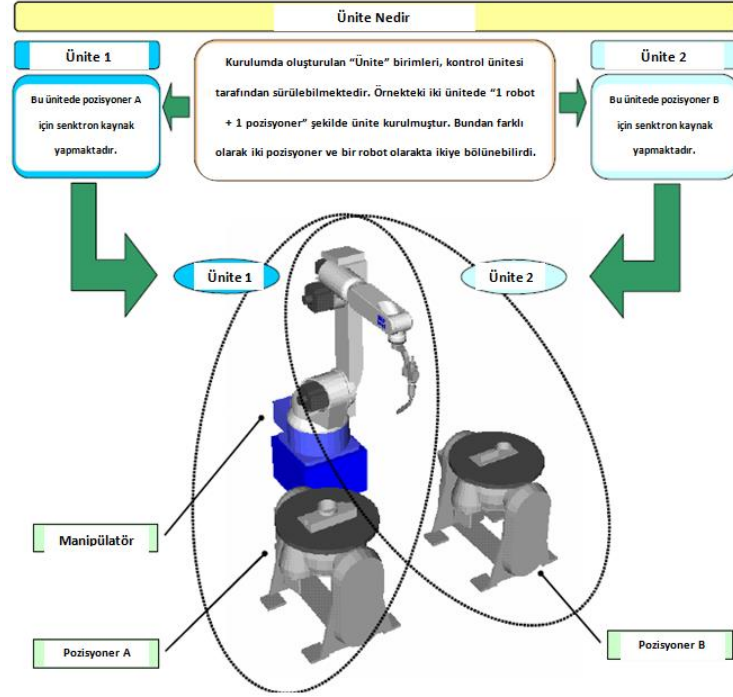
El terminali eğer yeni nesil ise 15 saniye ile 60 saniye arasında açılması ve aktif hale gelmesi gerekmektedir. Robot firmaları el terminalinde çalışan işletim sistemini kendi ihtiyaçları doğrultusunda seçebilirler. Burada Linux taban üzerine geliştirilmiş işletim sistemleri olabileceği gibi, Windows tabanlı işletim sistemleride kullanılabilir. Yine ekran boyutunun kolay erişim ve elle tutulabilir boyutlarda olması için 5 inç ila 7 inç arasında olması tercih edilmektedir. Resim 4. 14'te Windows tabanlı işletim sistemine sahip 5.6 inç el terminali örnek olarak verilmiştir.



Resim 4. 14 Windows Tabanlı İşletim Sistemine Sahip 5.6 inç El Terminali

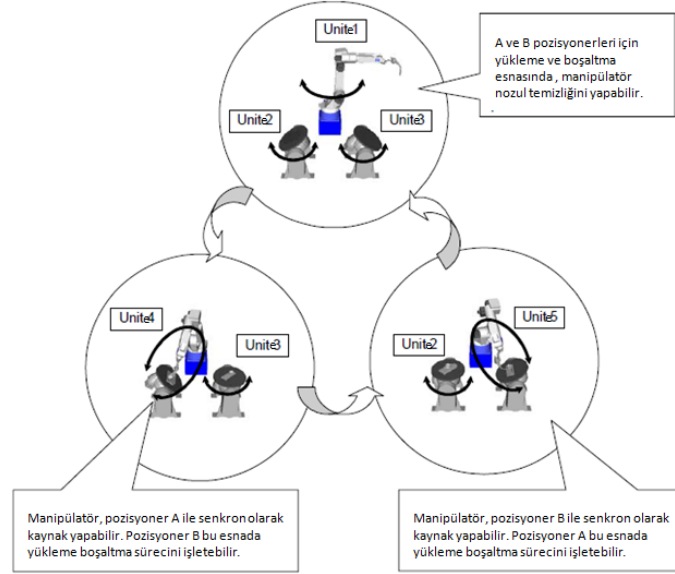
4.3.2.2 Çoklu ünite desteği

Çoklu ünite desteği, Şekil 4.8’de görüldüğü üzere aynı kontrol ünitesine bağlı bütün mekanizmaları ve üniteleri, robotlarla birlikte ünite bazında yönetme kabiliyetidir.



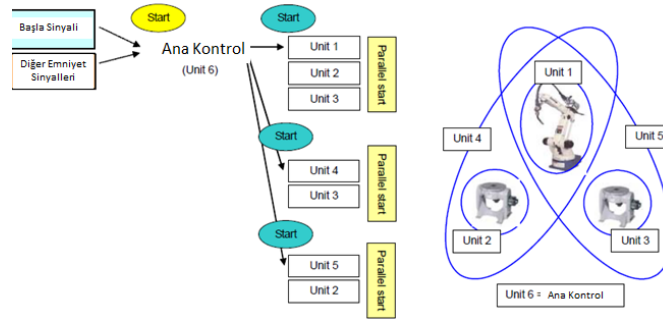
Şekil 4. 8 Robotlu Ünite Yapı Şeması

Özel olarak kurulmuş bir kontrol ünitesi tarafından aynı anda paralel olarak üniteler çalıştırılabilir. Bu “özel kontrol ünitesi” doğrudan belirlenmiş bir üniteye veya robot bağlı olmadan çalışmakta ve görevleri; bağlı olan bütün üniteleri çalıştırıp durdurmak, ilgili kaynak programlarını ilgili ünitelere göndermek ve ünite PLClerinden gelen I/O sinyallerini işlemek ve gerektiğinde cevap vermektir. Çoklu ünite desteğine sahip robotlarla, dinamik olarak paralel veya tek başına görevler Şekil 4.9’daki gibi gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4. 9 Çoklu Ünite Desteğinde Çalışma Şeması

Bu çalışma prensibi için şema çizmek istenirse Şekil 4.10'da ki gibi bir çalışma prensibi oluşturabilir.



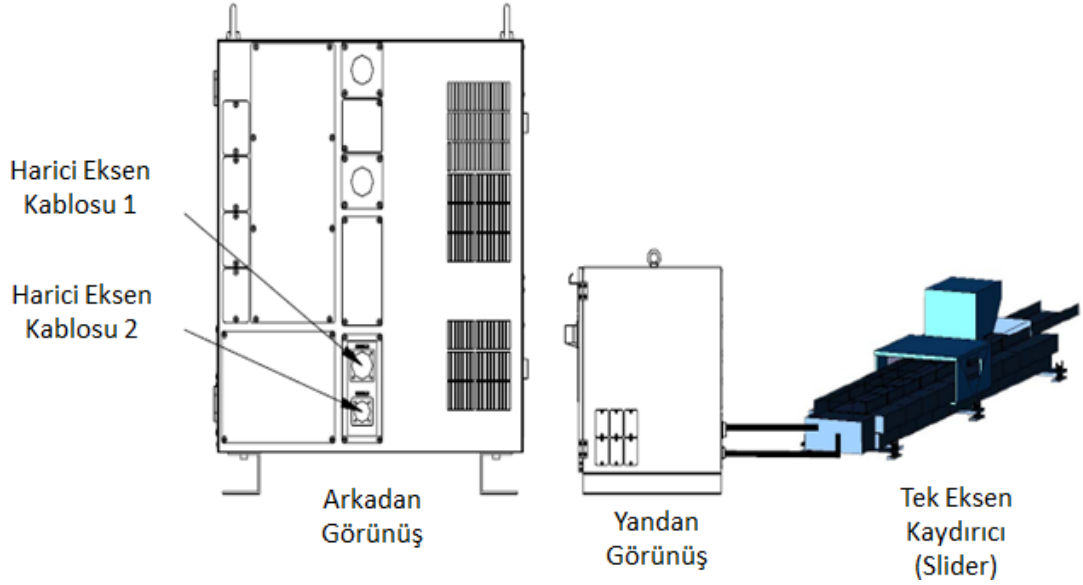
Şekil 4. 10 Çoklu Ünite Desteğinde Ana Kontrolcü Program Akış Şeması

4.3.2.3 Harici eksen desteği

Eğer sadece manipülatör alınıyorsa ve uzun vadede manipülatör ile birlikte çalışması planlanan pozisyoner, kaydırıcı (slider) ve gantry gibi harici elemanlar varsa mutlaka karar almadan önce alınacak manipülatöre ait kontrol ünitesinde harici eksen kontrol desteğinin olup olmadığı ve maliyeti kontrol edilmelidir.

Robotla birlikte çalışacak az sayıda (2 eksenli bir pozisyoner veya tek eksenli pozisyoner gibi) eksen için alınacak robotun üreticisine mutlaka harici eksen kitini destekleyip desteklemediğini ve seçilecek farklı türde pozisyoner ve slider için bütün olası harici eksen kitlerinin maliyeti sorulup, karşılaştırma yapılmalıdır.

Şekil 4.11’de slider ile ana kontrol ünitesi örnek bağlantı şeması üzerinden harici eksen desteğine ait sistematik verilmiştir.



Şekil 4. 11 Slider ile Ana Kontrol Ünitesi Örnek Bağlantı Şeması

Özellikle harici eksen 2 kablosunun (genellikle enkoder bilgileri bu hat üzerinden gönderilir) mutlaka ana enerji besleme kablosundan uzakta olmalıdır. Aksi takdirde oluşabilecek manyetik frekans buradaki sinyal iletiminde aksaklığa neden olabilir ve sonradan teşhisi imkânsız hale gelebilmektedir. Yine mümkün olduğunda eksen kabloları 1 ve 2'yi hareketsiz ve korunaklı bir muhafaza içerisine yerleştirmelidir. Hareketli kablo koruyucular içerisinde bulunan kablolar müstakil hareket etmemelidirler.

Bu kablolar ile bağlanan pozisyoner ve benzeri ekipmanlar 6 eksenli bir robotun, sırasıyla 7. ve 8. eksenini hareket edecek ve programlamada bu şekilde ele alınacaktır. Yeni nesil robot kontrolcülerinde en az ekstra 2 eksen daha takılabilecek şekilde tasarlandığından ileri dönemdeki yatırımları da planlanarak ele alınmalıdır. Hâlihazırda operasyonda olan manipülâtör; yanında pozisyoner veya benzeri yapılarla geliyorsa, harici eksen desteği standart olarak gelmektedir.

4.3.3 Kaynak makinası

Kaynak makinelerinin veya akım üreteçlerinin amacı kaynak arkını sürekli oluşturacak gerilim ve şiddette kaynak akımını sağlamaktır. Şebeke gerilimi olan 220

V veya 380 V kaynak için çok yüksek bir gerilimdir. Bu gerilimdeki alternatif akımda ölüm tehlikesi vardır.

Elektrotun tutuşturulması ve metal damlalarının elektrottan kaynak banyosuna geçişi esnasında akım şiddeti çok yükselir ve metal damlalar patlayarak tehlikeli bir biçimde çevreye sıçrar. Elektrik ark kaynağında kullanılan akım üreteçlerinin işlevleri, kaynak arki için gerekli elektrik enerjisini sağlamanın yanı sıra, her akım üreticinin uygulanan kaynak yöntemine göre:

- Şebeke gerilimini sınırlandırılmış boşta çalışma gerilimine çevirmek,
- Kaynak akım şiddeti ayar donanımına sahip olmak ve çalışma anında ayarlanmış kaynak akım şiddetini sabit tutmak,
- Boşta çalışma gerilimi ayarına sahip olmak,
- Çalışma anında kararlı bir ark oluşunca boşta çalışma gerilimini olabildiğince kısa bir zaman biriminde ark gerilimine düşürmek,

gibi önemli koşulları da yerine getirmesi beklenir.

Bir kaynak makinesinin statik ve dinamik karakteristikleri tamamen elektriksel karakteristiklerdir ve makinenin seçilmiş bir kaynak yöntemi için uygun olup olmadığını belirtirler. Statik karakteristik, makinenin akım şiddeti ile gerilimi arasındaki bağlantıyı gösterir.

Dinamik karakteristik çalışma esnasında ani yük değişmelerine karşı makinenin davranışını belirtir. İyi bir makine, ani yük değişmelerine çok kısa bir sürede (saniyenin yüzde bir kaçı kadar bir zamanda) uyum sağlayabilmektedir.

Elektrik ark kaynağı makineleri genel olarak yüksek gerilim ve düşük akım şiddetinde bulunan şebeke akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetindeki kaynak akımına çeviren cihazlardır. Her iki akım türünün de kendine has bir takım avantajları vardır. Bununla beraber genelde akım türü seçimini elde var olan kaynak donanımı ile kullanılan elektrotun türü belirler.

Bir robot sistemine karar verilirken seçiminde dikkatli olunması gereken en önemli konuların başında robotla birlikte çalışacak kaynak makinesinin seçilmesi gelmektedir. Yine uygulamalardaki hatalara bakıldığında, birçok hatanın kaynak

makinasının donanımından veya parametrelerinden kaynaklandığını görülmektedir. Özellikle fiyat farklarının ve pazardaki mevcut makinaların çeşitliliğinden dolayı en çok hata bu noktada yapılmaktadır. Yatırımcı, kaynak makinası seçerken mutlaka maliyetten önce doğru kaynak makinasının seçilmesi noktasında araştırma yapmalıdır.

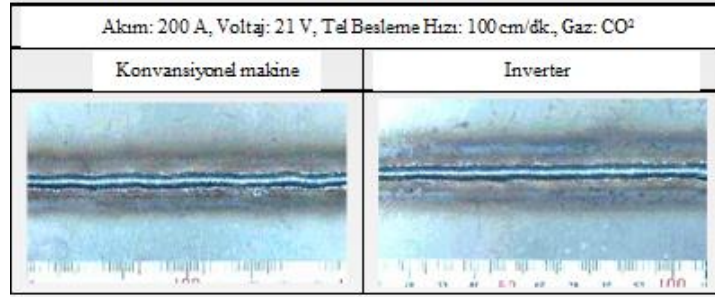
Örneğin konvansiyel tip makina olarak adlandırılan, verdiği elektrik akımı, süre, büyüklük, zaman ve benzeri şekilde ayarlanamayan; sadece ayarlanan sabit ölçüde kaynak prosesini başlayıp ve bitiren kaynak makinaları, asla robotlu üretim için uygun değildir. Ancak ucuz olması sebebiyle robotlu sistemlerde zaman zaman yer aldığı, üretim sahalarında gözlenmektedir. Eğer ürettiğiniz ürünün kalitesi ve kaynak teli harcamanız önemli değilse, üretilen parçanın geometrisi sadece düz bir satıhta ilerliyorsa konvansiyel makina seçilebilir ancak yine birçok parametreden incelendiğinde bu prensipte çalışan makinaların her açıdan uygun seçim olamayacağı aşikardır. Resim 4. 15’te farklı markalarda inverter kaynak makinaları gösterilmiştir.



Resim 4. 15 Farklı Markalarda İnverter Kaynak Makinaları

Gelişen teknoloji ile birlikte inverter makinalarda zamanla gelişmiş ve çeşitlenmiştir. İnverter makinalarda, şebekeden çekilen alternatif akım önce bir doğrultma köprüsüne girer ve doğru akım haline dönüştürülür. Bu akım “Chooper” adı verilen özel bir cihazda alternatif akıma dönüştürülür. Bu akımın frekansı, kaynakta kullanılan inverterlerde genelde 20.000 Hz değerindedir. Bu yüksek frekanslı alternatif akım, bir trafoya verilerek akım ve gerilimi kaynak işlemine uygun hale getirerek bir doğrultucu köprüde doğrultup, filtreden geçirerek darbeleri doğru akım elde edilir. Bu makinelerin verdiği akımın saniyedeki darbe adedi, darbe yüksekliği, şekli ve süresi makine üzerinden ayarlanabilmektedir. Bu sayede her darbeye bir damla oluşturulduğu gibi, damlanın büyüklüğüne de etki edilebilmektedir.

Genelde kullanılan kaynak makineleri ile bazik ve özellikle selülozik elektrotlarla kaynakta ark stabilitesi, arkta elektrotun oluşturduğu uzun süreli kısa devreden dolayı istenilen kaliteye erişemez. İnverterlerde ise kısa devre sırasında dinamik olarak akım yükseltilerek malzeme geçişi hızlandırılarak, çapak oluşmadan kısa devre süresi kısaltılır. Böylece ark stabil kalır, bu özelliğe dinamik ark kumandası (ing: arc forcing) denir. Bu kumanda ile arkın ateşlemesi iyileşir, cüruf kalıntısı azalır ve kök pasosu kontrolü iyileşir. Bunun yanında bazen sıçrantı artışı ve ince saç kaynağında delinme meydana gelebilir. Resim 4. 16'da konvansiyonel ve inverter makina arasında 2 cm.'de dikiş kalitesi farkı örnek olarak verilmiştir.



Resim 4. 16 Konvansiyonel ile İnverter Makina Arasında 2 cm.'de Dikiş Farkı

Kaynak sırasında kullanım hatası nedeni ile elektrot ile iş parçası arasında yapışma meydana gelebilir. Bu durumda elektrot ısınarak kor haline geçip, kullanılmaz hale gelir ve makine gereksiz olarak ısınıp kazaya neden olabilir. Böyle bir durumda inverterlerde akımı 5A gibi çok küçük bir değere düşürülüp, elektrot ile makine korunmaktadır. Buna yapışmama özelliği (antistick) adı verilir. İnverterlerde yapılan kaynakta; kaynak arkı kararlılığı, performansı ve kabiliyeti yüksektir. Kontrol ve kumanda devresi inverterlerin çıkışını saniyede 20.000 kez değiştirebilmekte ve ark kontrolünün çok hassas bir biçimde gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır. İnverterlerin bu değişimlere cevap vermesi 2 milisaniye mertebesinde, yani ataleti çok düşüktür. Buda:

- Sıçrantının azalmasını,
- Ark başlamasının kolaylaşmasını,
- Damlacık büyüklüğü farklarının azalmasını,
- Ark ucunda daha şiddetli katot etkisi ve daha düzgün dikişi sağlar.

Ayrıca inverterlerde kullanılan küçük transformatörler, büyük trafolarla göre değişimlere daha az direnç gösterip, daha hızlı uyum sağlayabilmektedirler. İnverterler, kaynak devresi indüktansı* (ki bu kaynakta akımın inme ve çıkma hızını etkiler), üzerinde daha etkin bir kontrol sağlar. Bu sayede kaynak robotuna, kaynak arkını çok yumuşak bir ark halinden, daha delici ve derin nüfuziyet sağlayan bir ark boyu ile çalışmada yanma oluşunu ve yanık bölgeleri önler. Resim 4. 17’de robotlu kaynak prosesinde çalışan inverter kaynak makinaları gösterilmektedir.



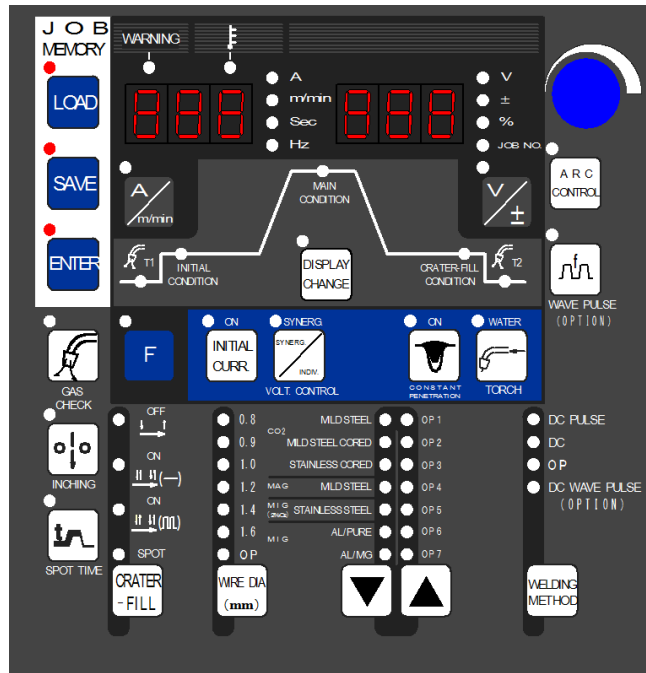
Resim 4. 17 Robotlu Kaynak Prosesinde Çalışan Kaynak Makinaları

İnverterlerde, çeşitli durumlarda darbe şekilleri ayarlanıp avantaj sağlanmaktadır. Örnek olarak dikdörtgen darbenin maksimum değeri yüksektir. Damlayı elektrottan koparan etkenlerden en önemlisi de darbe akımının karesi ile doğru orantılı olan sıkıştırma (pinch) kuvvetidir. Bu yüzden inverterdeki darbe akımının yüksekliği, sıkıştırma kuvvetini arttırdığından, kısa ark boylarında bile spreynin oluşmasını önleyerek, dikiş kalitesini arttırabilir. Transformatörlerde çekirdek kesiti frekans arttırılınca azalır. İnverterlerde frekans yüksek olduğundan, bunlarda kullanılan trafoların çekirdek kesiti ve ebatları küçüktür. Hatta inverterlerde “ferit” çekirdek kullanılarak ebatlar daha da küçülmektedir. Çekirdek kesitinin küçük oluşu, kayıpların az oluşu

*İndüktans: İndüktörün manyetik alan içerisinde enerji depolama kapasitesidir. İndüktörler, bir devrede akımın değişimiyle orantılı olarak karşı voltaj üretirler.

(histerezis ve girdap akımı kaybı), soğutma sisteminin küçük olması ve fiyatının düşük olması ve veriminin yüksek olması demektir.

Çekirdek kesiti küçük ise trafonun indüktivitesi küçülür. Bu da güç faktörünü büyütür, sonuçta verim artar. İnverterler şebeke tarafındaki yüzde ona kadar olan gerilim oynamalarını tolare eder ve kaynak tarafına etkiyi iletmez, dolayısıyla kaynak dikişinin kalitesini artırır. İnverterler herhangi bir kaza durumunda yaklaşık bir saniye süre içinde makineyi şebekeden ayırıp, kazayı önleyebilir. Bir kaynak akım üreticinin kapasitesini, en çok sağlayacağı akım şiddeti ve verimli olarak devrede kalma süresi belirler. Kaynak akım şiddeti, devrede kalma süresi ve ark gerilimi, kaynak bağlantısının biçimi, büyüklüğü ve kaynak pozisyonu yardımı ile saptanır; doğal olarak işyeri şebekesinin gücü de bunu sınırlayan önemli bir etmendir. Genel tavsiye şebeke geriliminin 380 V AC, 3 faz, 50 Hz. değerlerinde olmasıdır. Şekil 4. 12’de örnek bir inverter kaynak makinası ön panelinde ayarlanabilen parametreler gösterilmektedir.



Şekil 4. 12 Örnek Bir İnverter Kaynak Makinası Ön Paneli

Bir kaynak akım üreticinin seçiminde:

- Tasarlanan kaynak işlemleri için kullanılacak elektrotların türü,
- Tasarlanan kaynak işlemi için gerekli maksimum akım şiddeti,

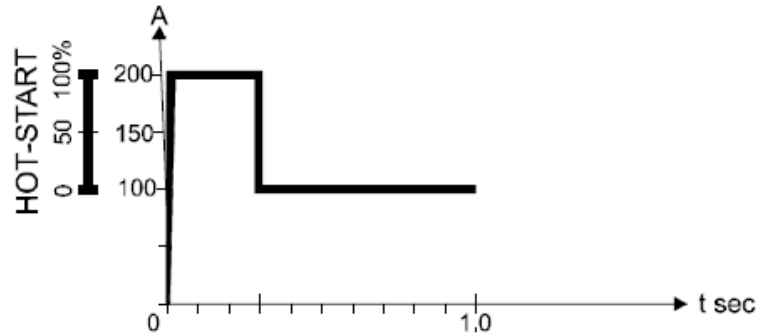
- İşyerinde şebekeden çekilebilecek maksimum güç,
- İşyeri şebekesinin faz sayısı ve gerilimi,
- Ön görülen devrede kalma oranı,

konuları göz önünde bulundurulmalıdır.

Alışlagelmiş darbeli makinelerde herhangi bir kaynak işlemi için darbe frekansını robot programcısı kendisi seçmek zorundadır. İnverterler herhangi bir kaynak işlemi için uygun darbe frekansı verecek şekilde programlanmıştır. Burada robot programlamasında, programcının sadece uygun parametre veya iş programı (job) seçmesi yeterlidir.

Arkın ilk ateşlemesi sırasında oluşabilecek hataları önlemek için, Tablo 4. 3'te görülen sıcak kalkış (hot start) zaman ve akım grafiğinde görülen ark başlangıç akımının belli bir süre için, belli bir miktar yükseltilmesine sıcak kalkış (hot start) denir. Sıcak kalkış kumandası sadece elektrotun ateşlemesi sırasında etkilidir. Ark ateşlemesi fazında ana metalin daha iyi erimesini sağlayarak kaynamamış bölge kalmasını önler. Ark ateşlemesi sırasındaki akımı, kaynak akımının yüzdesi olarak ayarlar ve ark ateşlemesi sırasında oluşacak büyük ve dinamik kısa devre akımını önler.

Tablo 4. 3 Sıcak Kalkış (Hot Start) Zaman ve Akım Grafiği



Inverter makina alınırken mutlaka % değerinde verilen “kararlı çıkış akımı” ‘na yani makina çalışma verimine bakılmalıdır. Bu değer, 10 dakikalık bir çevrim süresinde, makinanın gönderilen akım değerini istenilen sabit değerde tutabilme oranı olarak verilmektedir. Örneğin, 300A kapasiteli bir makina, 250A kaynak yaparken 10 dakika boyunca kaç dakikada tam olarak 250A’da kaldığının cevabı, makinanın

verimi olarak adlandırılır. Bu yüzde değer kaynak makinası seçiminde büyük rol oynamaktadır. Yine inverter seçiminde hem AC hem de DC çalışan makinalar, üretimde esneklik bekleniyorsa tercih edilmelidir. Çoğu kaynak uygulaması için DC kaynağın AC'ye göre avantajları vardır. Bunlar, daha kolay ark başlatma, daha az ark kesilme ve yapışma sorunları, daha az etrafa sıçrama ve daha iyi görünen kaynaklar olarak sıralanabilir. Bunun dışında, dik ve baş üstü pozisyonda kaynak yapmak, DC kaynak makinaları ile daha kolaydır. Ayrıca DC ile kaynak yapmayı öğrenmek daha kolaydır ve ark daha düzgündür. Ayarlanan belli bir akım değerinde, DC+ polaritede %10 daha fazla nüfuz elde edilir, DC- ise ince metalleri daha iyi kaynak yapar. Ancak sürtünme sonucunda mıknatıslanmış bir malzeme kaynak yapılacaksa, AC ark kaynağı kullanılması gerekir. DC ark kaynağı bu durumda iş görmez, çünkü mevcut manyetik alan, kaynak banyosundaki ergimiş dolgu metalini dışarı püskürtür. AC akım devamlı polarite değiştirdiğinden, mıknatıslanmış parçaların kaynağına izin verir. Yine alüminyum kaynağında AC gerilim kullanmak gereklidir. Kaynak makinesi alüminyum kaynağında da çift pulse (pulse on pulse) özelliği varsa kullanılmalıdır.

Robot alırken seçtiğimiz marka kadar, kaynak makinası markası ve robotla uyumu önemlidir. Bu uyumsuzluktan ötürü çözümü zor hatta imkânsız problemler yaşatabilir. Türkiye’de kendi kaynak makinası ile aynı markaya ait iki adet robot bulunmaktadır; Gedik Kaynak firmasının ithalatını yaptığı OTC marka robot ve kaynak makinası ile, Oerlikon firmasının ithal ettiği Panasonic marka robot ve kaynak makinası bulunmaktadır. Diğer farklı marka robot ve kaynak makinaları arasında haberleşme çeşitli araçlarla gerçekleştirilmektedir. Örneğin Fanuc robot ile Lincoln marka kaynak makinası, kaynak robot sistemlerinde birlikte çalışmaktadırlar. Burada en önemli nokta, artık endüstride “job” oluşturma mantığı olarak bilinen ve kaynak makinasında “Job X” adı altında farklı kaynak parametrelerinin kaydedildiği ve robota yörünge yazılırken bu jobların çağrıldığı teknolojinin eskimiş olması ve makinalara dışarıdan kolayca müdahale edilebilmesi ve erişim zorluğu nedeniyle güvenilirliği ve rantabilitesinin düşük olmasıdır. Bu sebeple yeni robot yatırımlarında, kaynak makinasının el terminalinden programlanabilmesi seçeneği mutlaka kontrol edilmeli, eski job mantığı ile çalışan robot sistemleri artık tercih edilmemelidir. Önceleri aynı marka robot ve kaynak

makinaları avantajlıyken (örneğin: OTC, Oerlikon) artık gelişen entegrasyon sistemleriyle farklı markada robot ve kaynak makinaları entegrasyonu verimli olarak sağlanmıştır. Ancak bu entegrasyonun sağlıklı haberleştiği, ark ve benzeri sensörlerden gelen verilere kaynak makinasının doğru tepkiler verdiğinden emin olunmalı ve mutlaka referans sorgulanmalıdır. Yine daha önce robota uygun alınmış olan kaynak makinaları ileriye dönük olarak, robot yatırımı esnasında farklı robotlarla kullanılabilir. Teorik olarak bütün robotlarla bütün kaynak makinaları uygun haberleşme protokolü ve donanım ile haberleşebilmektedirler. Burada can alıcı nokta, haberleşmenin sağlıklı bir şekilde oluşturulmasının gerekliliğidir. Kaynak makinesi bilgisayar ile haberleştirilebilmeli ve gerçekleşen kaynak parametrelerini, kullanılan tel ve akım değerlerini bilgisayar yazılımı ile raporlayabilecek opsiyona da sahip olmalıdır. En sağlıklı haberleşmenin sırasıyla, aynı marka robot ve kaynak makinasının kullanıldığı sistemler, sonrasında farklı marka robot ve kaynak makinası olmakla birlikte stratejik ortak olarak birlikte sistem geliştiren firmalar (FANUC → Lincoln Electric, Motoman & ABB → Fronius) tercih edilmelidir. Son seçenek olarak farklı marka robot ve kaynak makinası kullanımı durumunda mutlaka referans firma sorulmalı ve yerinde detaylı inceleme yapılmadan karar verilmemelidir.

4.3.4 Kaynak torcu

Kaynak torcu ile ilgili detaylar, 3. bölümdeki “kaynak” konusu altında incelenmişti. Özellikle MIG-MAG kaynağı yapan robot, el ile yapılan kaynaktan daha yüksek hızda çalışmaya dayanabilen kaynak torcuna gereksinim duyar. Hava soğutmalı torçlar, düşük akım şiddetleriyle yeterli olabilirlerse de, yüksek hızda çalışma ve yüksek akım şiddetleri için gaz dağıtıcı ve nozul (kontakt borusu) su ile soğutulması, sıçramaları azaltır ve torcun ömrünü arttırır.

Bakır ve bakır alaşımlarından yapılmış kontak borularının (nozül) yerine geliştirilen kompozit malzemelerden yapılanların kullanılması sonucu nozul ömrü dört kat arttırılmıştır. Yaylı bağlantılar kullanılarak torç ile iş parçası yüzeyi arasında olabilecek çarpışmaların hasarı minimuma indirildiği gibi, böyle bir kaza sonucu torcun konum değiştirmesi de önlenmiştir. Torcun kolay sökülüp takılabilmesi ve uygun konumda yerleştirilmesi çok önemli bir konudur; robot üzerine yerleştirilen

bir değiştirme aparatı ile bu işlem oldukça kolaylaştırılabilir. Yine her torç kalibrasyonu için satın alınan robotun yanında verilen aparatın mutlaka saklanması ve her torç değişiminden sonra kalibrasyon amacıyla kullanılmalıdır.

Torç arızalarının çoğunun klemp, fikstür veya ürün gibi etkenlerle çarpışmadan kaynaklandığı görölmüştür. Bu çarpışmaların tamamından kaçınmak mümkün olmamakla birlikte, doğru seçilmiş ve robot üreticisinin tavsiye ettiği torç paketini kullanmak bu tür öngörölmeyen çarpışmalar sonucunda torun ciddi hasar almasını engelleyebilir. Genellikle uç ve yan bölgeden hasar alan torç, yeterince sağlamlaştırılmış ise merkez nokta olan TCP'nin (tool center point-uç sonlandırıcı merkez noktası) referans noktasından kaçmamasını sağlar. Yine esnek ve doğru geometrili bir torç seçilirse, kaynak birleşim noktalarına daha sağlıklı bir erişim sağlanabilmektedir.

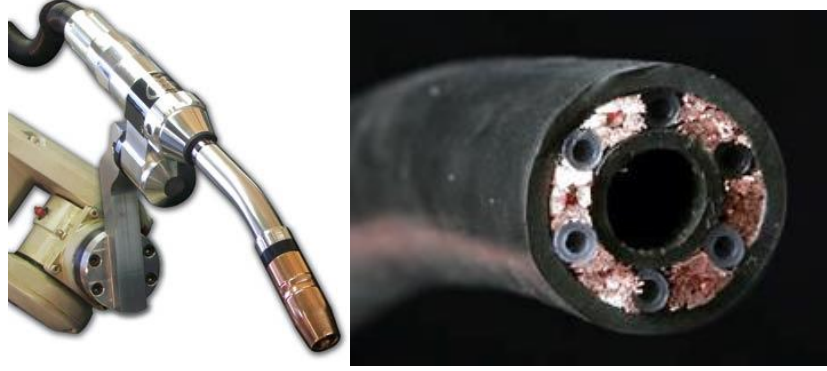
Yine robotlu sistem maliyetlendirme bölümünde en çok gözardı edilen gri alan torcun su soğutmalı veya hava soğutmalı olarak seçilmesi hususudur. Kaynak ekipmanında çalışan güç kablosunun, torcun ve diğer sarf malzemelerinin, ark kaynağında ve elektronik komponentlerde oluşan ısıdan etkilenmemesi için soğuk tutulması gerekir. Resim 4. 18'te görölen su soğutmalı torç sisteminde torç sisteminde entegre olarak soğutucu sıvı pompalanır. Bu soğutucu sıvı, borularla örtülü güç kablosunu, torcu ve diğer malzemeden ışıyı üzerine alarak sistemden uzaklaştırır. Geri dönen sıcak soğutma sıvısındaki ısı dışarıya atılarak tekrar soğuk bir şekilde sisteme geri gönderilir.



Resim 4. 18 Su Soğutmalı Torç Sistemi

Hava soğutmalı torç sisteminde, kaynak devresi boyunca ışıyı alan hava ve kaynak gazı bulunur. Burada özel bir havalandırma sistemi yoktur. Hava soğutmalı torların bakır kabloları elektrik direncinden fazla etkilenmemek amacıyla daha ince imal

edilirler. Resim 4.19’da hava soğutmalı sistemler, dirençten kaynaklanan ısıyı atmak için güç kablolarında çok az bakır kullanırlar ve hava bu ısıyı çevresine zarar vermeden uzaklaştırır.



Resim 4. 19 Hava Soğutmalı Torç ve Yeni Nesil Enerji Kablosu

Örneğin, aynı saat içerisinde sadece birkaç dakika kaynak işlemi yapan bir robotta su soğutmanın efektif olarak faydası görülmez. Veya 800 A devamlı kaynak yapan bir robotta açığa çıkan ısıyı uzaklaştırabilecek bir hava soğutmalı torç henüz üretilmemiştir. Bu sebeple her iki yönteminde kendisine özel avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. İhtiyaca yönelik doğru çözüm olacak sisteme karar vermek için aşağıdaki hususların iyi analiz edilmesi gerekmektedir:

- Amper gereksinimi,
- Çalışma sıklığı,
- Robotun taşıma kapasitesi,
- Kaynağın yapıldığı çalışma alanı,
- Yatırım miktarı ve maliyet,

4.3.4.1 Amper gereksinimi

Amper gereksinimi, torcun su veya hava ile soğutulması ile ilgili olarak en önemli parametredir. Genel olarak hava soğutmalı torçlar düşük amperler için, su soğutmalı torçlar yüksek amperler için uygundur. Uzun süreli, yüksek amperajlı kaynak hücrelerinde mutlaka su soğutmalı sistemler tercih edilmelidir.

Hava soğutmalı torçlar 150 A ila 400 A arasında çalışan sistemler için uygundur. Su soğutmalı torçlar ise 300 A ile 600 A arasında faaliyet gösterirler. Torçlar genellikle limitleri altında çalışmalıdırlar, bu sebeple hedef kaynak amperinin üzerinde değere sahip bir torç pakedi almak işletme açısından daha avantajlıdır

4.3.4.2 Çalışma sıklığı

Torca ait amper kapasitesini etkileyen diğer bir etken ise çalışma sıklığıdır. Genel olarak çalışma sıklığını, daha önce anlatılan yükte çalışma verimi belirler. Kısaca belirtilirse, 10 dakikalık bir çalışmada aşırı ısınma olmadan belirlenen amperajı verebilme verimine, yükte çalışma verimi denir. Aşırı ısınan bir torç robot koluna zarar verebilir, kaynak kalitesinin düşürür ve sarf malzeme ve diğer mekanizmanın ömrünü kısaltır. Bu konuda herhangi bir endüstri standardı olmadığı için, 400 A'de çalışan her iki torç aynı verime sahip olmayabilir. Bu sebeple torç soğutma tipine karar verirken mutlaka bu hususların kontrol edilmesi gereklidir.

4.3.4.3 Robotun taşıma kapasitesi

Su, havadan çok daha iyi bir iletkenidir; böylece ark kaynağından ve dirençten çıkan ısıyı çok daha hızlı ve verimli olarak uzaklaştırır. Sonuç olarak su soğutmalı torçlar daha az kablo ve daha küçük iç komponentlere sahip olduğundan daha hafiftir. Bu sebeple taşıma kapasitesi seçilirken su soğutmalı torç seçildiğinde daha hafif taşıma kapasitesine sahip robot seçilebilir.

4.3.4.4 Kaynağın yapıldığı çalışma alanı:

Su soğutmalı sistemlerde, suyun devir daimi için bir hazne ve pompa bulunmaktadır. Bu ekstra ekipman için yerleşim planında yer ayrılmalıdır.

Hava soğutmalı kaynak robotu sistemlerinde, çalışma atmosferinin havalandırması çok önemlidir. Hava değişiminin az ve yetersiz olduğu alanlarda, hava soğutmalı torç hatalı bir seçim olabilir ve soğutmada yetersizlik baş gösterebilir.

4.3.4.5 Yatırım miktarı ve maliyet

Satın alma kararından önce her iki sisteminde maliyetinin çalışılması gerekmektedir. Ancak bu karara asla maliyet penceresinden bakılmamalı, yukarıda bahsedilen konular mutlaka birinci sırada olmalıdırlar. Sisteme ait etiket fiyatının üzerine, bakım maliyetleri, üretim ve duruş maliyetleri de uzun vadede eklenmelidir.

Su soğutmalı torç paketi ile hava soğutmalı torç paketi arasında 10 kata varan maliyet farkı bulunmaktadır. Su soğutmalı sistemde, soğutucu akışkanın sistemde dolaşması için ekipmanlar (radyatör, pompa, hortumlar vb.) gereklidir. Bu kalemler maliyeti arttırır. Yine eklenen sıvının, alg ve minerallerden arındırılmış olması gereklidir, bu da bakım maliyetlerinin hava soğutmalı sistemin önüne daha geçirir.

Düşük amperler için hava soğutmalı torç sistemi daha avantajlı olmakla birlikte, örneğin, 150A ve 300 A iki uygulama varsa doğru bir analizle maliyeti daha düşük olan hava soğutmalı bir torç kullanılabilir.

Su soğutmalı bir torç ise sarf malzemelerin ve torcun ömrünü uzatır. Ömrün uzaması sonucu daha az duruş, bakım zamanı ve kaynak maliyeti kazancına yansımaktadır..

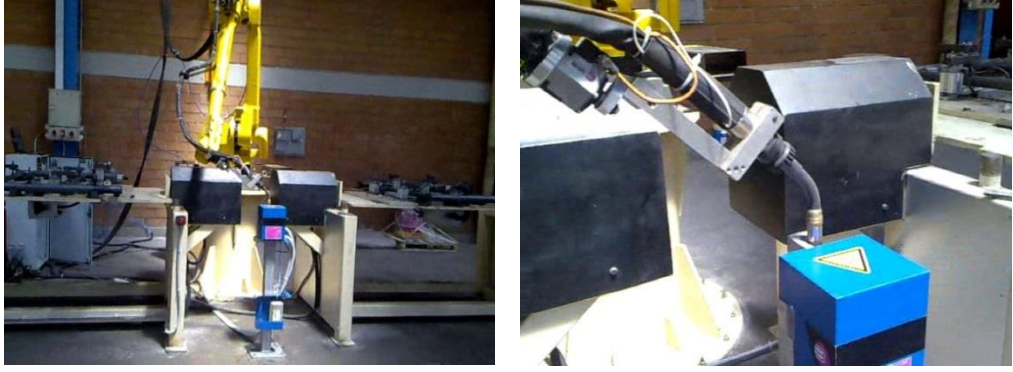
Sonuç olarak karar verebilmek için net bir denklem, parametre ve ölçüt bulunmamaktadır. Her işletme kendi kaynak operasyonlarını incelemeli ve hangi sistemin uzun vadede kazandıracağını yukarıdaki etkenler ışığında bulmalıdır. Yukarıda belirtilen faktörlerden, amper gereksinimi, çalışma sıklığı, robotun taşıma kapasitesi, kaynağın yapıldığı çalışma alanı ve yatırım miktarı ve maliyet doğru şekilde araştırılmalıdır.

4.3.5 Torç temizleme ünitesi

Kaynak robotlarında yer alan torçların belli aralıklarla temizlenmesi ve yağlanması için torç temizleme ünitesi kullanılır. Torç temizleme ünitesi üç alt birimden oluşur:

- Tel kesme,
- Nozul raybalama,
- Kaynak spreyi püskürtme.

Torç temizleme ünitesinde çapak yapışmasını en aza indirmek için (ing: anti spatter) sıvı püskürtme özelliği olmalıdır. Tel kesme ünitesi sistem üzerinde entegre bulunmalıdır. Torç temizleme işlemi sonrası robot kaynağa kaldığı yerden devam edebilmelidir. Resim 4.20’de görülen torç temizleme ünitesi, aynı pozisyonda sıkıştırma, temizleme ve yağlama yapabilmektedir.



Resim 4. 20 Kaynak Robotu Parça Geçişinde Torç Temizleme İşlemi

Torç temizleme ünitesi halen daha sayılı firmalar tarafından üretilmektedir. Bunları Tregaskis, Tillman, Binzel, Fronius, OTC vb. olarak sıralanabilir. Yine özel sipariş olarak üreten az sayıda firma da mevcuttur. Resim 4. 21’de torç temizleme ünitesi sonrasında torç temizlenmeden önce ve temizlendikten sonra görünüşü verilmektedir.



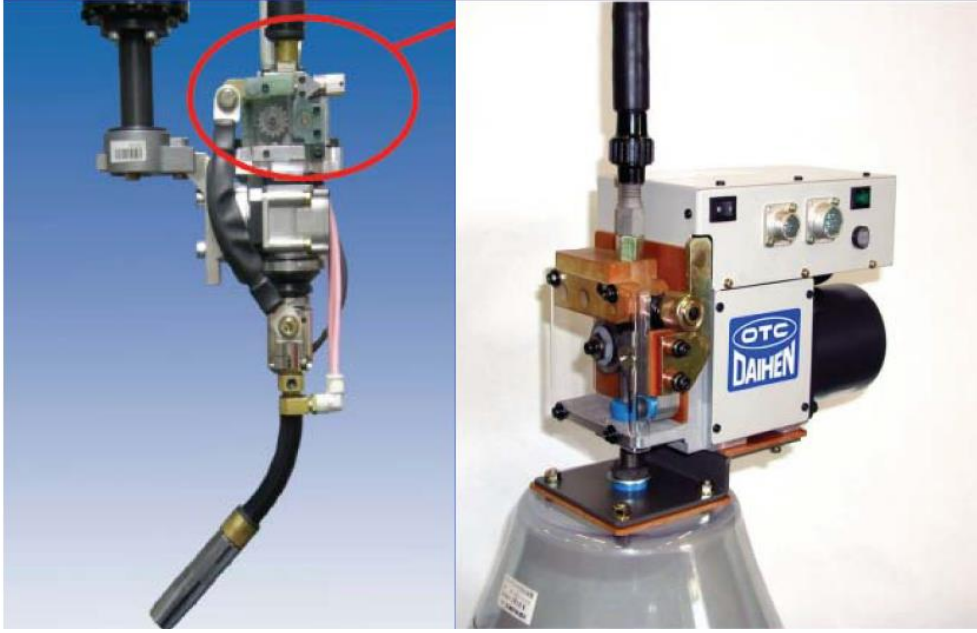
Resim 4. 21 Torç Temizlenmeden Önce ve Temizlendikten Sonra Görünüşü

4.3.6 Tel sürme tertibatı

Robot tarafından otomatik olarak gerçekleştirilen kaynak esnasında, telin birçok kez durması ve yeniden ilerlemesi gibi durumlarla karşılaşıldığından telin bükülmesi ve tel ilerleme hızının değişmesi sonucunda telin bir yere takılması istenmez, bu da,

büyük momentli sürme motorlarının ve büyük çaplı tel sürme rulolarının kullanılmasıyla önlenebilir.

Resim 4.22’de büyük çaplı rulolar kaynak teli ile daha büyük temas yüzeyine sahip olduklarından, küçük çaplı kaynak tellerine göre daha fazla itme gücü sağlamaktadırlar.



Resim 4. 22 Kaynak Robotlarında Tel Sürme Tertibatı

4.4 Kaynak Robotları ile Bütünleşen Birimler ve Seçim Kriterleri

Kaynak prosesi için manipülatör seçiminden sonra, manipülatörle birlikte eğer proste gerekiyorsa, değerlendirme sonrası karar verilmesi gereken diğer birim veya birimlerin yapısının seçilmesi ve nihai kararın verilmesi önemlidir. Burada manipülatör markasını seçtikten sonra çoğu robot firması, bu marka ile uyumlu çalışan kısıtlı opsiyonlar sunulmaktadır. Burada yönlendirmenin entegratör firma tarafından yapılması, ancak kullanılan ekipmanın şartları (maliyet, taşıma kapasitesi, kapladığı alan, çalışma alanı, iş güvenliği ekipmanları, çalışma yapısı, ergonomi vb.) iyi etüt edilmesi gereklidir.

4.4.1 Pozisyoner

Robot kaynak istasyonunun önemli kalemlerinden birisi olan pozisyonerin iki fonksiyonu yerine getirmesi beklenir;

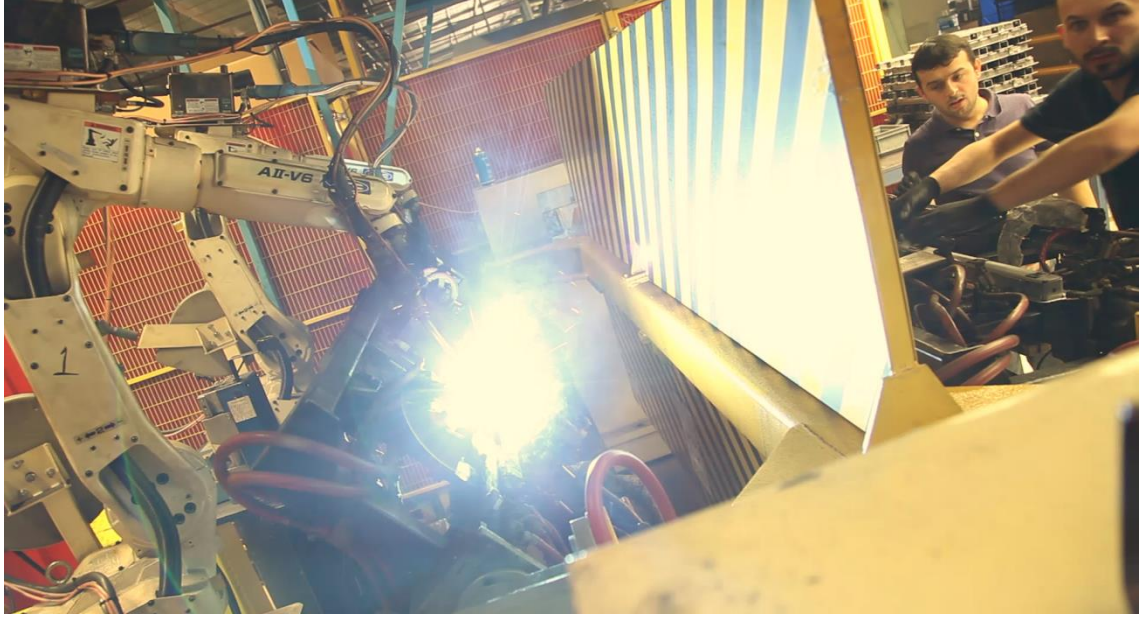
- İş parçasının bir veya daha fazla eksenle dönmesinin sağlanması ile manipülör pozisyoner kombinasyonunda ilave serbestlik derecelerinin sağlanması ve kaynak prosesinin geliştirilmesi,
- Robot ve operatör arasındaki koordinasyonun daha rahat gerçekleştirilebilmesi.

Resim 4.23'te görülen iki eksenli (tilting) pozisyoner, altı serbestlik derecesine sahip bir manipülör sistemi ile beraber kullanıldığında iki ilave serbestlik derecesi sağlar. Pozisyonerler, robot kontrolcüsü tarafından kontrol edilirler ve kaynak esnasında hareket edebilirler ve her kaynak dikişi için ayrı bir pozisyonu almaları tercih edilir, böylece; dikdörtgen bir kutunun dibindeki iç kaynakları rahatlıkla gerçekleştirebilirler. Bu, altı serbestlik dereceli bir robot manipülörü tarafından tek pozisyonda gerçekleştirilmesi mümkün olmayacak bir tekniktir.



Resim 4. 23 Robotlu Pozisyoner Çeşitleri

Yine Resim 4.24'te görülen H tipi pozisyoner kullanılarak, operatör tarafından robotla koordineli bir yükleme ve boşaltma rahatlıkla yapılabilir. Operatör kendi tarafında bulunan pozisyoner tablasını yüklerken, robot kendi tarafındaki tabla üzerindeki parçanın kaynak işlemlerini gerçekleştirir. Kaynak tamamlandığında robot kontrolcüsü, operatör tarafından bir ayak pedalı veya bir düğmeye basılarak gelecek sinyali bekler.



Resim 4. 24 H Tipi Pozisyoner Kaynak Esnasında Yükleme Boşaltma İşlemi

Pozisyonerlerin kullanım amacı; iş parçasını doğru kaynak pozisyonuna getirmek için parçayı çevirmektir. Ayrıca pozisyonerler iş parçasını tutmak ve sıkıştırmak gibi amaçlarla kullanılan fikstür ve ekipmanları taşırlar.

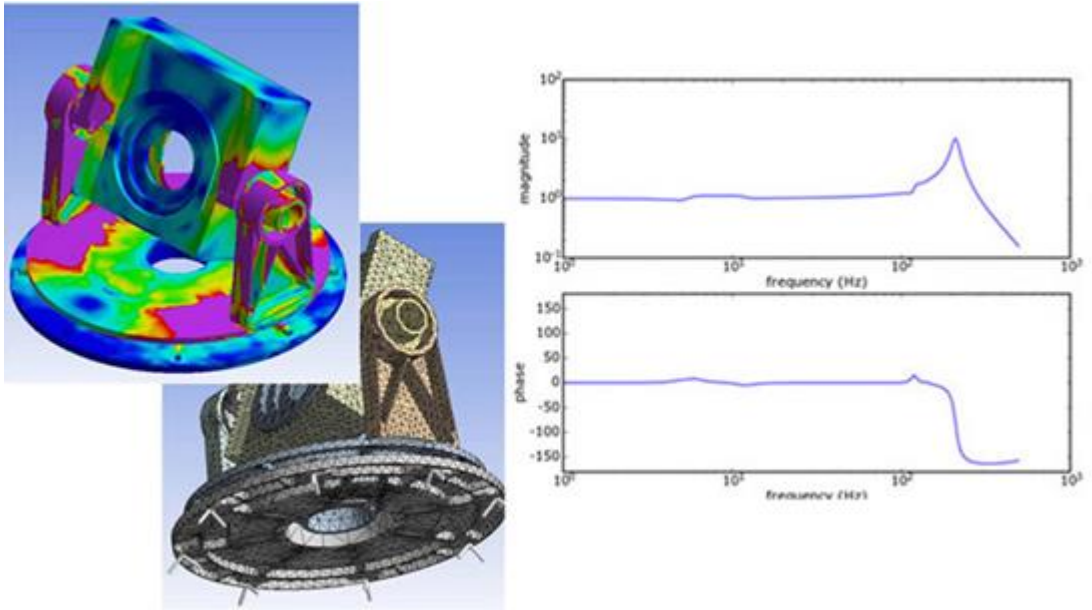
Pozisyoner seçilirken mutlaka servo motorlu, robot kontrolcüsü ile doğrudan haberleşebilen ve imkan varsa robotla aynı/uyumlu marka redüktör ve motor ile kurulumu yapılmış ve robota harici eksen sayısı olarak eklenebilen yapıda olması tavsiye edilmektedir. Burada maliyet düşürme amaçlı olarak, pozisyonerde kullanılacak motor – redüktör sistemi PLC vasıtasıyla da sürülebilmekte ancak senkron kaynak* için PLC ile pozisyoner sürülmesi zahmetli ve verimsiz olmaktadır. İleride daha detaylı incelenecek senkron kaynak için mutlaka manipülatöre harici eksen olarak eklenebilen ve kontrolcü tarafından sürülen motor-redüktörlü pozisyoner kullanmak gereklidir.

Pozisyoner seçimi için öncelikle fikstürün özelliklerinin belirlenmiş olması gereklidir. Üründeki kaynak birleşim noktalarının açısı ve erişimleri, ürünün ağırlığı; pozisyonerin büyüklüğünü, taşıma kapasitesini, hareket hızını, pozisyon tekrarlanabilirliğini ve eksen sayılarını belirleyici etken kriterlerdir.

* Senkron kaynak ile ilgili detaylı açıklama bölüm 4.4.5'te bulunabilir.

Pozisyoner ve diğer hareketli çevre birimlerinin en önemli kontrol noktalarından birisi, pozisyoner hareketini tamamladıktan sonra kesinlikle salınım, titreşim, rezonans ve benzeri istenmeyen hareketler etkisinde kalmamalıdır. Aksi takdirde hareket eden bir ürün üzerinde kaynak yapmak imkansızdır. Yine operatör tarafından; arka tarafta, yükleme boşaltma, sabitleme gibi işlemler esnasında kesinlikle robot tarafındaki fikstüre hareket veya moment iletimi olmaması lazımdır. Bu moment iletimi; doğru kilitlemiş, birbirleri arasında boşluk olmayan dişliler vasıtasıyla engellenir ve sönümlenir. Eğer kullanılan redüktör ve dişliler kalitesiz seçilirse, zamanla aşınma dolayısıyla boşluk oluşur; buda sabit durması gereken yapıların zamansız olarak hareket etmesine ve pozisyonerin pozisyon tekrar edilebilirliğinin yükselmesine sebep olur.

Tasarım aşamasında, salınımin kontrolü için farklı programlar mevcuttur. En çok kullanılan ise Solidworks programına ait Solidworks Simulation (versiyon 2014) programıdır. Bu program yardımıyla gerçekleştirilen malzeme titreşim ve frekans ölçümüne ait çıktılar Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4. 13 Pozisyonerin Hareketinden Gelen Titreşim ve Frekans Ölçümü

Modellenen pozisyoner ve fikstüre, belli noktalardan kuvvet verilerek titreşim oluşumu ve titreşimlerin gereken yerlerde sönümlenip sönümlenmediğini gösteren simülasyonlar yapılarak, imalat sonrası oluşabilecek kritik ve potansiyel hatalar, tasarım aşamasında kolaylıkla önlenir. Şekil 4.13'te görülebilen, pozisyonerin

kendi hareketinden kaynaklanan titreşim, kırmızı renkte en fazla, mavi renkte en az frekansta titreşimi gösterecek şekilde Solidworks Simulation programı tarafından verilen çıktıdır. Bu örneğe bakıldığında, pozisyonere bağlanacak olan fikstür veya ürünün oturduğu yüzeyin mavi olduğunu ve bu hareketten ötürü ürüne aktarılabilecek herhangi bir titreşim iletimi olmayacağını simülasyondan görebiliriz.

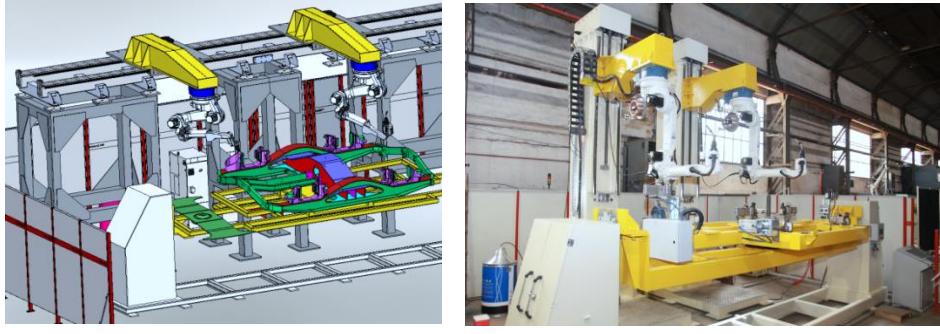
Herhangi bir kaynaklı robot sisteminde seçilecek olan mekanik ve elektronik aksamın mutlaka kaliteli olmasına özen gösterilmelidir, önceki bölümlerde değinildiği üzere $\pm 0,5$ mm. bir boşluktan oluşabilecek titreşim, kaynakta ciddi problemler yaratabilir. Pnömatik sistemlerde Festo, SMC gibi markalar; redüktör – dişli sistemlerde SEW Eurodrive, Bonfiglioli ve elektromekanik diğer mekanik ve şaft malzemelerinde benzeri Avrupa, Amerika ve Japon menşeli malzemeler kullanılması, özellikle kaynak gibi en dar toleransta çalışan süreçler için, uzun vadede problem yaşamamak adına tavsiye edilmektedir.

4.4.2 Gantry robot sistemi

Kartezyen robot sistem, SCARA robot ve gantry robot sistemleri endüstride genel olarak birbirinin yerine kullanılmaktadır. Ancak detayda farklılıkları bulunmaktadır.

Kartezyen robot sistemleri, işi gerçekleştirmek için motorlar ve doğrusal aktüatörler kullanırlar. Bu hareketi X, Y ve Z eksenlerinde gerçekleştirir. Eğer tolerans dar ve hassasiyet önemli ise, baz eksen olan X'inde hareketinin hassas olması gereklidir. SCARA robotlar ise, kartezyen robotlarda olduğu üzere sadece X,Y ve Z ekseninde hareket edebilirler ancak iş yapan Z eksenine bağlı ekipmanı teta açısı ile döndürebilme özelliğine sahiptir. Bu özellik SCARA'yı, kartezyen robot sistemlerinden ayırır.

Robot sistemlerinin isimlendirilmesinde uluslararası bir tanımlama olmadığı için, gantry robot sistemlerinden genel olarak kastedilen; kartezyen harekete sahip bir eksen sisteminin sonuna 6 eksenli bir manipülatörün bağlanmasıyla elde edilen sistemlerdir. Şekil 4. 14'te gantry yapıdaki iki robotlu sistemin tasarım çıktısı ve kurulu hali verilmektedir.



Şekil 4. 14 Gantry İki Robotlu Sistem Tasarımı ve Kurulu Hali

Gantry robot sistemleri daha geniş çalışma alanı ve çok iyi pozisyonlama kabiliyetine sahiptirler. Gantry robot sistemlerinin çalışma alanı kübiktir ve bu kübik alanı %96 oranında kullanabilirler. Pozisyon keskinliği, 6. eksene bağlı uç sonlandırıcının doğru konumlanmasına yardımcı olur. Gantry robotları pozisyonlamak sadece X,Y,Z eksenleri üzerinde çoğu hareketi gerçekleştirebileceği için nispeten daha kolaydır ve istenilen boyutta kolaylıkla imal edilebilirler. Yine yüksek mekanik rijitliğe, doğruluğa ve tekrarlanabilirliğe sahiptirler. Taşıma kapasiteleri çalışma yörüngesinde fazla fark göstermez. Başka bir özelliği de Resim 4.25'te görülebileceği üzere çalışma sahasında yer açısından avantaj sağlamasıdır.



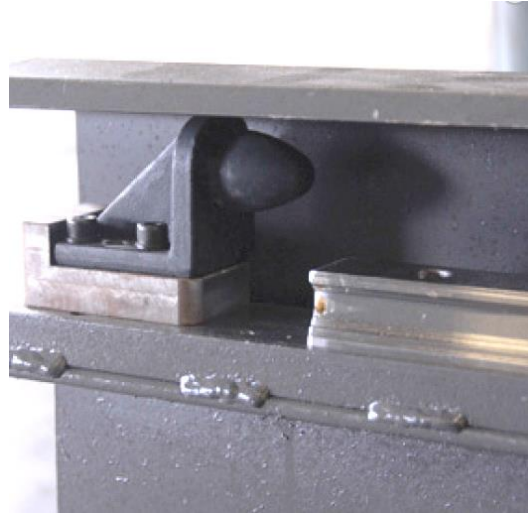
Resim 4. 25 Gantry Kaynak Robot Sisteminde Yer Kazancı

Dezavantajları ise bu sistemlerde manipülötör engelleri aşamaz ve oyukların içine erişemezler. Bazı kızaklar yapı itibariyle dış ortam atmosferine açıktır ve zamanla özellik kaybı gösterebilirler. Kaide ayaklarının mutlaka zeminde sağlam bir betona güçlü bir şekilde bağlanmaları gerekir.

Gantry sistemler görece kolay dizayn edilirler ve uzun vadede esneklik gösterdikleri için endüstride oldukça rağbet görürler. X – Y – Z eksenleri kolaylıkla değiştirilebilirler, bakımı kolaydır ve zaman almaz. Kompleks yapılara göre fiyatları nispeten ucuzdur.

Gantry robot sistemleri seçerken dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibidir:

- Bütün mekanik yapı paslanmaz çelikten olmalıdır.
- X – Y – Z eksenlerinin hareketi erişime yeterli olmalıdır.
- Hareket hızı yeterli olmalıdır, kaynak hızına yetişecek hızda olmalıdır.
- Pozisyon tekrar edilebilirliği kritiktir, kaynağın sahip olduğu tolerans aralığını geçmemelidir.
- Bütün lineer rulman ve kızaklar koruma kapakları ile çevreden olabildiğince korunmalıdır.
- Kablolar taşıyıcı içerisinde gitmelidir.
- Sistemde elektromekanik sviçler ile birlikte Resim 4.26'da örnek olarak görüldüğü üzere sviç sonrasında mekanik durdurucu olmalıdır.



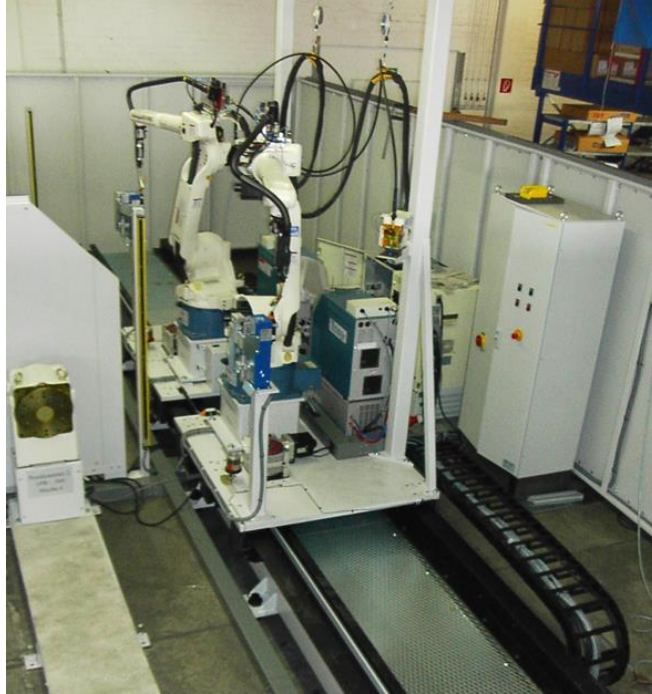
Resim 4. 26 Lineer Kızak Sonunda Mekanik Durdurucu

- Bütün sürücülerin servo motorlu olması tercih edilir.
- PLC veya robot kontrolcüsü tarafından sürülebilmesi gereklidir.
- HMI veya benzeri ara yüzle kontrol edilebilmesi gerekir.
- Çevrimdışı programlanabilmesi kolaylık sağlar.

- Bütün iş güvenliği gereksinimlerini karşılamalıdır.
- Elektrik kesintisinde konumunu korumalı ve sonrasında işe devam edebilmelidir.

4.4.3 Kaydırıcı (ing: slider)

Slider kelimesi İngilizce’de kaydırıcı – yürütücü kelimesinin karşılığıdır. Slider, manipülatörleri farklı taşıma kapasitesi ve modüler yapısal unsurları ile tek eksende hareketini sağlamak için tasarlanmış, yüksek hassasiyette konumlama özelliğine sahip robota ait çalışma uzayını genişleten yürütücü ve öteleyici hareket yapılarıdır. Resim 4. 27’de slider sistemli çift kaynak robotuna örnek gösterimi verilmektedir.



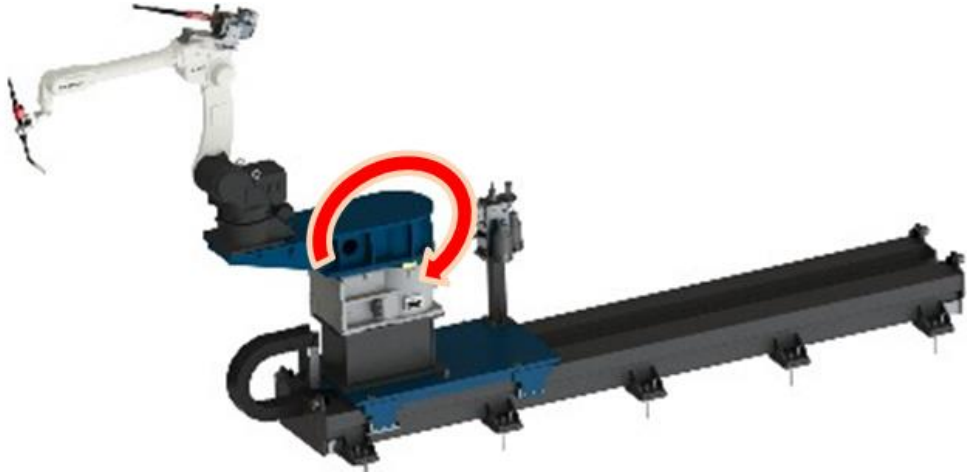
Resim 4. 27 Slider Sistemli Kaynak Robotları

Pozisyon tekrarlanabilirliği 0,05 - 0.1 mm. olan sliderların robotları taşıyabildikleri gibi, pozisyoner gibi farklı geometrilerdeki sistemlerinde yer değiştirmesi için kullanılır. Örneğin Resim 4.28’de görüleceği üzere slider sistemli kaynak robotlarında çukur kaynağında erişim arttırımı için örnek slider kullanımına ait görüntü verilmektedir..



Resim 4. 28 Çukur Kaynağında Erişim Arttırımı için Slider Kullanımı

Gerektiğinde robot, bir mafsal ile slider üzerindeki bir pozisyonere bağlıdır. Mafsal yardımı ile Resim 4.29’da görülen grafik örneğinde görüldüğü gibi robotun yataydaki mevcut uzama mesafesi belli mertebelerde daha da uzatılabilir.



Resim 4. 29 Slider Tablasına Pozisyonler Eklenererek Erişim Arttırımı

Slider kurulumunda dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibidir:

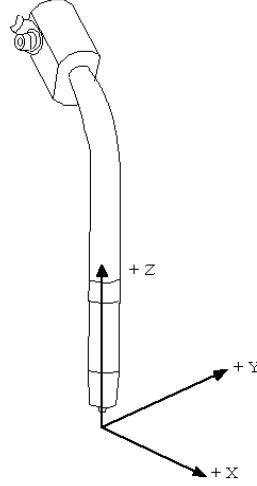
- Slider hızının yeterli olduğundan ve çevrim süresi içerisinde yeterli hareket hızına sahip olduğundan emin olunmalıdır.
- Slider ivmesi sonucunda hareketin durması ile eylemsizlik kaynaklı herhangi bir titreşim veya istenmeyen hareket (savrulma, sallanma, çarpma) olmamalıdır.

- Slider'ın hareketi esnasında vuruntulu çalışma, zorlanma ve takılma olmamalıdır.
- Slider'ın gezici yüzeyinde boşluk olmamalı ve en az iki noktadan kızaklar üzerinden yataklanmalıdır
- Dişli, kızaklar, kramayer dişliler ve vidalı miller mutlaka kaliteli aşınmaz paslanmaz çelikten imal edilmelidir. Aşınan mekanik bileşenler tekrarlanabilirlik ve konumlandırma üzerinde olumsuz etkiye sahiptirler.
- Slider yağlama noktaları, yağ tipi, yağlama sıklığı ve yağ kontrol noktaları mutlaka belirlenmeli ve ilgili eğitimler verilmelidir.

4.4.4 Kalibrasyon ünitesi

Daha önceki bölümlerde TCP'nin (Tool Center Point), uç sonlandırıcı merkezleme noktası olduğuna değinilmişti. TCP: robotun erişim uzayında belirlenen matematiksel bir noktaya karşılık gelir. El terminali ile bir noktayı hafızaya aldığı anda, aslında bu noktanın matematiksel koordinattaki yerini sistemde belirtmiş ve kaydetmiş olur.

Bir robot, imal edilip fabrikadan sevk edildiğinde; kendi programında ölçülerini ve erişim uzayını bilmesi gerekir. Ve burada X-Y-Z koordinatına bir başlangıç noktasının (0,0,0) tanımlanması gereklidir. Bu nokta, robota fabrikada öğretilir ancak bu koordinat sadece son eksenin flanş noktasına göre verilmektedir, işletmede kullanılacak uç sonlandırıcı kaynak torcunun çeşidini ve boyutlarını dolayısıyla bilemeyecektir. Her torç, kaynak yapacağı ürüne, soğutma cinsine ve açısına göre şekil değiştirebilmektedir. Şekil 4. 15'te uç sonlandırıcı olarak görev yapan torcun, koordinat sistemi üzerindeki konumlandırılması verilmektedir.



Şekil 4. 15 Uç Sonuçlandırıcı Torç Koordinat Sistemi

Taşıma robotlarında TCP herhangi bir nokta olarak seçilebilir ancak kaynak robotlarında bu noktanın mutlaka kaynak telinin bitiş noktası referans olacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Bu nokta seçilirken ideal olarak kaynak telinin en uç noktasının, telin torç dışındaki uzaklığı kaynak yapılırken yapışma (stickout) olmayacak mesafede seçilmesi önemlidir.

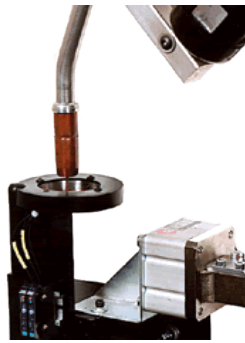
Yeni ve hiç kullanılmamış bir torç robota takılırken, belirlenen TCP noktası, orjinal TCP noktası olarak belirlenir. TCP noktası genellikle robot kolunun (0,0,0) koordinat noktasından X,Y,Z uzaklığı olarak belirtilir. Böylece robot torcu, önceden bildiği 0,0,0 noktasına gider ve verilen X,Y,Z uzaklıklarını ofset olarak istenilen yeni TCP noktasına ulaşır ve robot artık bu noktayı referans almaktadır. Bu veri kaydedilir ve torç doğru şekilde hizalanmış ve doğru montajı sağlanmışsa, kullanıcı artık el terminali ile verdiği komutun torçta nasıl etki edeceğini net olarak öngörebilir.

Kalibrasyon bölümü yukarıdaki proses oluşturulduktan sonra başlar, eğer çalışma veya kalibrasyon esnasında kaynak torcu çarpar veya vurulursa; torç yamulabilir veya ekseninden kaçabilir. Eğer torç eğilirse, robot programında belirtilen TCP noktası ile kaynak telinin durduğu nokta artık aynı değildir. Bu da torcun doğru pozisyonu alamamasına ve kaynak kalitesinin düşmesine neden olur. Torcun belirlenmiş TCP ile aynı noktada olması (sanal ve gerçek yörüngenin örtüşmesi) kaliteli kaynak ve robot güvenilirliği için gereklidir. Bu eksenden kaçıklık birçok noktada işletmelere maliyet, zaman ve kalite kaybına yol açacaktır.

Kaynak robotu kurarken mutlaka TCP ile torcun her zaman aynı noktada örtüşmesini temin edecek bir sistemin olması gereklidir. Bazı sistemler tamam otomatize olmakla birlikte, bazıları ise manuel insan gücü ile sağlanabilmektedir. TCP ve torcun ilerleyen aşamalarda kontrolü için, ilk kurulum aşamasında robotun çalışma alanında gidip dokunacağı bir kalibrasyon noktası tesbit edilir, işaretlenir ve bu noktaya gidecek bir kalibrasyon programı yazılır. Bu manuel bir işlemdir ancak torç kalibrasyonunun doğru olup olmadığını insan gözüyle kontrol edilmesini sağlar. Her torç ve torç ekipmanı değişiminden sonra TCP kalibrasyon programının yenilenmesi gerekir. Kaynak telininin fazla olan bölümü kesilir ve kontak tip, her kalibrasyonda değiştirilerek daha doğru değerler alınması sağlanır.

Robot noktaya geldiğinde göz ile hizadan kaçıklığı görerek, el ile düzeltme imkanı bulunmaktadır. Çoğu üretici, kaynak torcunu kalibre etmek için bir kalibrasyon parçasını torç paketi ile birlikte sağlamaktadır, bu kalibrasyon için en iyi ve kolay yöntemdir.

Operatör üretime başlamadan önce her vardiya, kalibrasyon programını çalıştırarak torcun doğru noktaya erişip erişmediğini kontrol etmelidir. Herhangi bir kaçıklık varsa torç düzeltilmeli ve yeniden kontrol edilmelidir. Resim 4. 30'da dokunma yöntemiyle üç boyutta kaçıklığın ölçülmesi için kullanılan kalibrasyon sistemi görülmektedir.

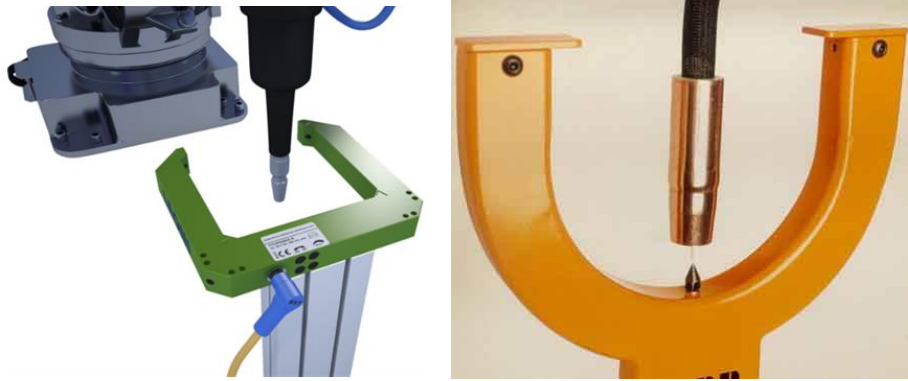


Resim 4. 30 Dokunma Yöntemiyle Üç Boyutta Kaçıklığın Ölçülmesi

Daha gelişmiş bir yöntem ise; sabit bir bloğa dokunarak torcun kalibre edilmesidir. Bu blok, robot hücrelerinde sabit bir noktada durur ve asla hareket ettirilebilir bir yüzeye bağlanmaz. Robot, kaynak teli ile bloğa üç noktadan yaklaşır, dokunur ve kaydeder. Kaydedilen veriler, ilk referans noktası ile karşılaştırılır ve kaçıklık varsa

operatöre kaçıklık miktarı bildirilir. Operatör bu kaçıklığı düzeltir ve kalibrasyon testi tekrar yapılır. Eğer bloktan herhangi bir kaçıklık (ofset) yoksa üretime tekrar başlanır. Bu kalibrasyon isteği, otomatize edilerek; her sayılı kaynak döngüsünden sonra, vardiya bazında veya gün bazında robot programına eklenerek kalibrasyon robota kontrol ettirilebilir.

Günümüzde satılan TCP kalibrasyon sistemleri içerisinde en gelişmiş yöntem hassas tolerans aralığında çalışan, Resim 4.31’de görülebilen ışık hüzmeli kalibrasyon sensörleridir. Robot, otomatik olarak torcu sensörün önüne getirir ve sensördeki ışık hüzmelerinin ne zaman torç tarafından kesildiğine bakar. Bu torcun ve kaynak telinin tam olarak nerede olduğunun koordinatını verir. Verilen koordinat ile ilk gün kaydedilen referans noktası karşılaştırılır. Bu kontrol işlemi, istenilen sıklıkta programlanarak, robot tarafından otomatik olarak kontrol edilebilir.



Resim 4. 31 Lazer IşığI ile Torç Kalibrasyon Kontrolü

Yapılan kontroller esnasında eğer referans TCP noktası ile sensör ışığının kırıldığı nokta birbiri ile örtüşmezse torçta eksenden kaçıklık olduğunu sistem hesaplar. Bu durumda sistem operatöre iki seçenek sunar, ya torcun el ile düzeltip tekrar kontrol edilmesini sağlar veya eksenden kaçıklığı ilk gün alınan referans TCP noktasının koordinatının üzerine ekler ve bu kaydedilen noktayı artık referans TCP noktası olarak kabul eder.

Örneğin, operatör parça değişimi esnasında bir klempe açık unuttu ve kaynak esnasında torç, bu açık klempe çarparak 5 mm. eğildi. Kalibrasyon programı çalıştığında, eksenden 5 mm. kaçıklık olduğunu gördü ve operatörü uyardı. Operatör dilerse eliyle torçu 5 mm. geri bükerek eğikliği gidermeye çalışabilir yada sistem otomatik olarak hafızasında duran referans TCP noktasını 5 mm. eğiklik

doğrultusunda ötelere ve yeni referans TCP noktasını, bu 5 mm. ötelenmiş referans noktası olarak yeniden ayarlar ve kaydeder.

Robotun TCP'yi kaçıklık boyunca ofsetlemesi en kolay ve en iyi çözüm olarak görülmüşse, operatörün üretimin uygun bir anında eğikliği gidermesi ve referans noktasını eski haline getirmesi tavsiye edilir. Aksi takdirde yapılan bütün yeni kaynak yörüngeleri eksenden kaçık bir torç ile yapılacak ve torç değiştikten sonra yeni doğru torç ile eksenden kaçıklık düzeltilse bile açı ile ilgili sorunlar yaşanabilecektir. Resim 4. 32'de kalibrasyon ekipmanının hücredeki yerleşimi görülmektedir.



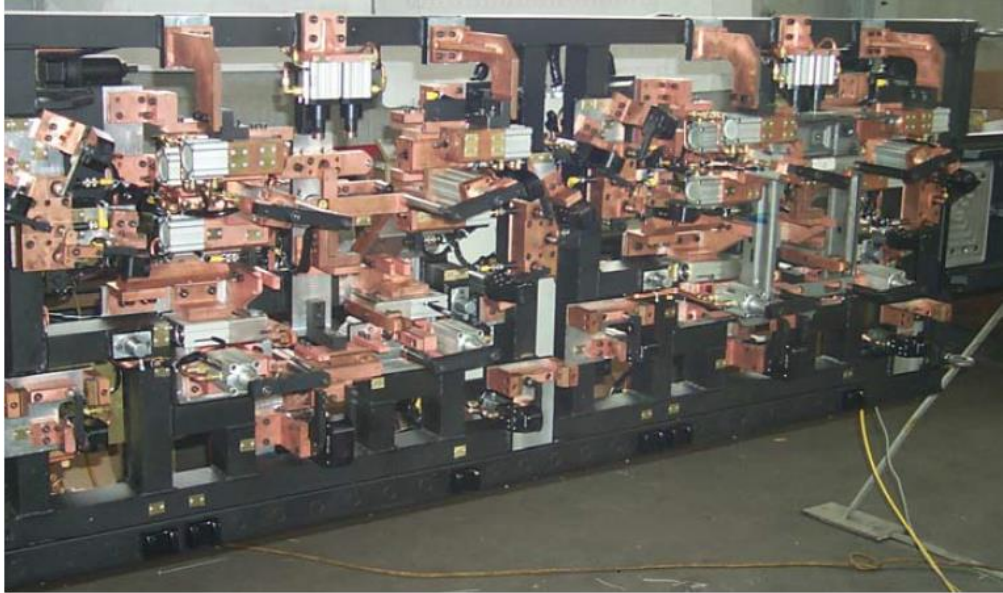
Resim 4. 32 Kalibrasyon Ekipmanının Hücredeki Yerleşimi

En sağlıklı yol kaçıklığın lazer sensör ile görülmesi ve torç eğer eğildiyse hemen eski pozisyonuna müdahale ile getirilmesi ve ilk günkü referans TCP noktasının (0,0,0)'a getirilmesidir. TCP problemleri çözümü kolay ancak çözülmediği takdirde ciddi başka problemleri doğurabilecek niteliktedirler. Bu konuda yapılması gereken zaman ayırmak ve doğru pozisyona robotu geri getirmektir.

4.4.5 Fikstür

Seri üretim proseslerinde tekrarlanabilirlik, boyut amacıyla ve konum toleranslarının istenilen değer aralığı içerisinde işleme tabi tutulabilmesi için, her ürün için özel tasarlanıp üretilen sabitleme sistemlerine fikstür denir.

Robotik kaynak sistemlerinde, kaynak esnasında meydana gelen gerilmeler sonucunda kaynak konstrüksiyonunda bazı çarpılmalar oluşur, bu çarpılmaları önlemek ve parçanın her bağlandığında robot yörüngesinde kalabilmesi için parçaya özel kaynak fikstürleri tasarlanır. Resim 4. 33'te otomatik jig ve kilitleme tertibatlı kaynak fikstürü görülmektedir.



Resim 4. 33 Otomatik Jig ve Kilitleme Tertibatlı Kaynak Fikstürü

Fikstür tasarımı: hem ürünü ve prosesi iyi tanımayı, hem kaynak bilimine ait girdi ve çıktıları doğru değerlendirebilecek bilgi birikimini, hem de robotla ilgili teknik bilgiyi gerektiren çok yönlü bir tasarımdır. Bu sebeple sadece bu işte uzmanlaşmış kişilerin fikstürü tasarlaması gerekmektedir. Fikstür büyük olasılıkla ilk montajının ardından problem çıkartabilir; tasarımcının uzmanlığı ve tecrübesi burada yapılması gereken revizyonların azlığı ile orantılıdır. Burada yine en önemli noktalar; torç ergonomisinin kontrolü, erişim kontrolü, torç açısı, kaynak açısı, parçanın ısı girdisinden dolayı genleşmesi, burulması, eğilmesi, baskı nokta ve kuvvetlerinin iyi belirlenmesi ve doğru çözümün sunulmasıdır. Örneğin parçada fazla ısı girdisi durumunda çarpılmasını önlemek için fikstürün su soğutmalı yapılması; yine

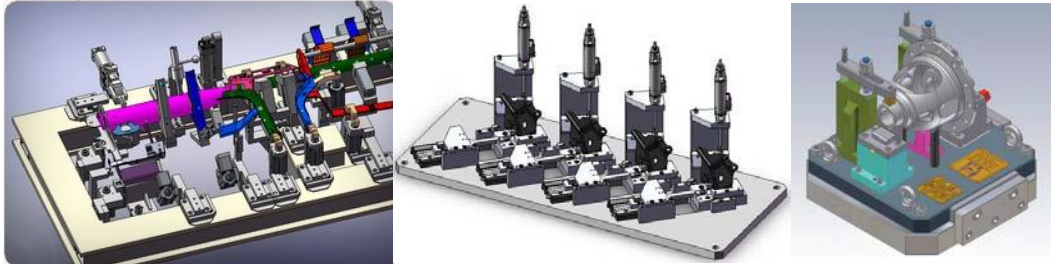
parçanın kaynaktan dolayı çekmesini önlemek amacıyla sabitleyici klempler eklemek gibi tedbirler bu noktada alınmalıdır.

4.4.5.1 Kaynak fikstürü tasarımı ve aşamaları

Fikstür tasarımı için önce, teknik bilgi paketini (tasarım girdilerini) incelemek, daha sonrada aşağıda belirtilen tasarım fazlarını sırası ile uygulamak gerekir. Her fazdan sonra mutlaka gözden geçirmeli ve proje ve imalatın birbirini karşıladığını doğrulamak gereklidir.

- Ön tasarım,
- Geometrik analiz,
- Mukavemet Analiz,
- Projelendirme.

Yukarıdaki aşamaların her birinin çok iyi değerlendirilmesi ve mutlaka imalata başlamadan önce doğrulanması gerekir. Resim 4. 34'te çeşitli tür ve boyutta örnek 3 boyutlu kaynak fikstür tasarımları verilmektedir.



Resim 4. 34 3 Boyutlu Kaynak Fikstür Tasarımları

Kaynak esnasında ısı girdisinin fazla olmasından dolayı gerilmeler meydana gelir, bu gerilmelerin kalıcı ölçü bozukluklarına yol açmaması için kaynak fikstürlerinde, şim plakaları revizyonları kolaylaştırmak için kullanılır. Kaynak fikstürlerinde çalışan klempler ve jiglerin standartları aşağıdaki hususları kapsamalıdır:

- Pnömatik ve klempler ekipmanlarında kullanılan tüm malzemeler kaynak ortamında oluşan çapak ve ısıya karşı dayanıklı ve donanımlı malzemelerden seçilmiş olmalı,

- Acil durumda hava vanası operatörün çalışırken kolay erişebileceği fikstürün ön kısmında ve fikstüre monte edilmiş durumda olmalı,
- Limit sviçler kolay ulaşılabilir ve çarpmalara maruz kalmayacak alanlarda olmalı ve aynı grupta birlikte kapanan silindirlere en son kapanıp açılana (stroğu uzun olana) takılmalı,
- Limit sviçler ayarları kolay yapılabilir pozisyonda bağlı olmalı,
- Limit sviçler çarpmalara maruz kalıyorsa koruması olmalı,
- Fikstürün, pnömatik güç devresi hortumları, minimum 10 mm. çapında olmalı,
- Fikstürün, pnömatik kumanda devresi hortumları minimum 6 mm. çapında olmalı,
- Tüm hortumların rakor ile birleştiği noktalarda koruma elemanı olmalı,
- Hortum tesisatı fikstür üzerine takılmaya maruz kalmayacak şekilde kroşe ve klips ile sabitlenerek döşenmiş olmalı,
- Tüm güç ve kumanda hortum tesisatı fikstür devresinde verilen numaralara göre makaron ile etiketlenmiş olmalı,
- Tüm sviç, valf ve butonlar fikstür devresinde verilen isimlere göre plaka ile etiketlenmiş olmalı,
- Fikstür hava giriş ünitesinde dışarıya hava çıkışı alabilmek için çabuk bağlantı elemanı olmalı,
- Fikstür, klemp ve jigleri ile hava açma - kapama vanası kırmızı renkte olmalı,
- Valf vanası fikstürün arka kısmında veya yanında müdahalesi kolay bir bölgede, fikstüre bağlı durumda olmalı,
- Master ve röle valfler; valf plakası üzerine ayrı ayrı monte edilmiş olmalı,
- Jig operasyon kutusu mandal kilitli ve menteşeli olmalı,

- Fikstür operasyon kutusu kumanda hortumları giriş çıkış yeri standart PG* tipli uygun rakorlu olmalı,
- Fikstür operasyon kutusu üstünde acil durdurma butonu olmalı ve buton bas - kilitle tip seçilmeli,
- Fikstür ve operasyon kutusu arası hortumları kaynak çapağına karşı korumaya alınmış olmalı,
- Fikstür çalışma sisteminde acil stop devresi ayrıca çekilmiş olmalı,
- Fikstür çalışma sisteminde “master on” devresi olmalı,
- Acil stop butonuna basıldığında valf enerjileri kesilmeli, acil stop butonu çözüldüğünde valflere “master on” butonuna basılmadan hava gelmemeli,
- Fikstür klemp kilitleme işlemi çift el kumanda ile yapılmalı,
- Fikstür deklemp devresi tek buton ile tasarlanmalı,
- Pnömatik devre resmi operasyon kutusunun içinde olmalı,
- Fikstürde kullanılan tüm elemanların kodlarını belirten parça listesi operasyon kutusunun içinde olmalı,
- Limit sviçler silindirin ileri ve geri son noktalarından sinyal alacak şekilde monte edilmeli,
- Silindirlerde hız ayarlaması gerektiği yerlerde hız ayar valfi kullanılmalı,
- Tüm valf ve limit sviçlerde susturucu olmalı ve kullanılacak susturucular kaynak ortamına uygun olmalı,
- Silindir üzerindeki rakorlar silindirin kolay sökülebilecek noktasında olmalı,
- Fikstür uygun basınçta hava hattına bağlanmalı,
- Hortum tesisatında kırılmalar olmamalı ve gerekli noktalarda dirsek rakorla dönüş yapılmalıdır.

* Panzergewinde, Alman DIN standardında kablo geçmeleri ve somunlar için milimetre haricinde dış standarttır.

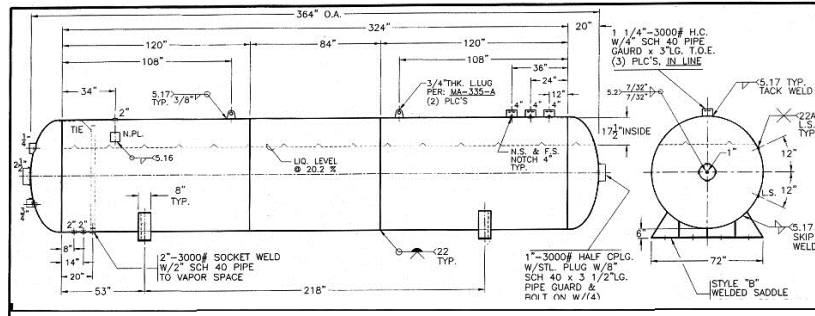
Tasarımı gerçekleştirilecek bir fikstürün göz önünde bulundurulması gereken tasarım kriterleri aşağıdaki gibi olmalıdır;

- Fonksiyona uygunluk
- Standart ve normlara uygunluk
- Malzemeye göre uygun malzeme
- İmalat kurallarına uygun tasarım
- Korozyona karşı uygun tasarım
- Montaja uygun tasarım
- Taşıma ve nakliyata uygun tasarım
- Emniyete uygun tasarım
- Estetik bir tasarım
- Çevreye uygun bir tasarım

Çalışmanın sonunda bulunan Ek-B'de fikstüre ait örnek bir tasarım kontrol tablosu sunulmuştur. Ürüne ait fikstür tasarımı gözden geçirilirken mutlaka benzer bir tablo ile alınacak fikstüre uygun konular kontrol edilmelidir.

4.4.5.2 Tasarım verilerinin temini ve kontrolü

Fikstürde geçecek toplam üretim zamanı kaynak edilecek parçaların kaynaklı montaj resimleri ve bu resimler üzerinde Şekil 4.16'da gösterildiği üzere kaynak noktaları, kaynak tipleri, sac kalınlığı ve sac malzemesi belirtilmiş olmalıdır.



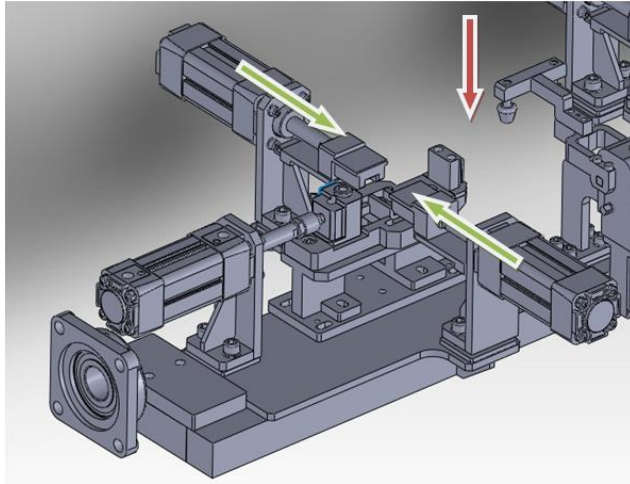
Şekil 4. 16 Örnek LPG Tankı Üzerinde Kaynak Noktaları ve Ölçü Özellikleri

Tasarım verilerinin iyi değerlendirilmesi ve aşağıda sıralanan hususların sağlanması gereklidir;

- Torç kaynak yapılacak bölgeye kolay girmelidir.
- Bağlantı ayakları, montaj parçasından daha sert malzemeden imal edilmelidir.
- Fikstür, kaynak esnasında çapaklardan korunmalıdır. Ancak kaplamasında mutlaka elektrik iletkenliği ölçülmelidir. (Krom kaplama, elektro galvaniz kaplama veya kaynak kabiliyeti zayıf olan metaller için)
- Kaynak sonucu parça boyutları istenilen tolerans değer aralığında olmalıdır.
- Kaynatılan parça fikstürden kolayca çıkmalıdır.

Aşağıda fikstür tasarımında göz önünde bulundurulması gereken hususları açıklayan örnek bir çalışma sunulmuştur:

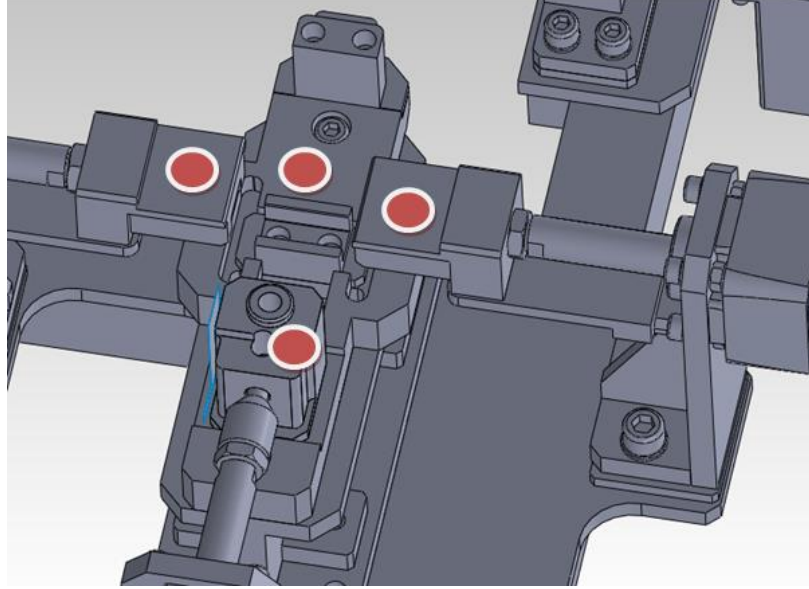
Şekil 4.17’de tasarlanan fikstürde olduğu üzere parçaya etki eden baskı kuvvetlerinin karşılığının olması gereklidir. Sac parçalar ince cidarlı olduklarından baskı kuvvetlerinin etkisiyle ölçülerde sapmalar meydana gelebilir. Kaynak çekmelerinden dolayı bu sapmalar kalıcı ölçü bozukluklarına yol açabilmektedir.



Şekil 4. 17 Kaynak Fikstürü Pnömatik Baskı Kuvveti Oluşturulması

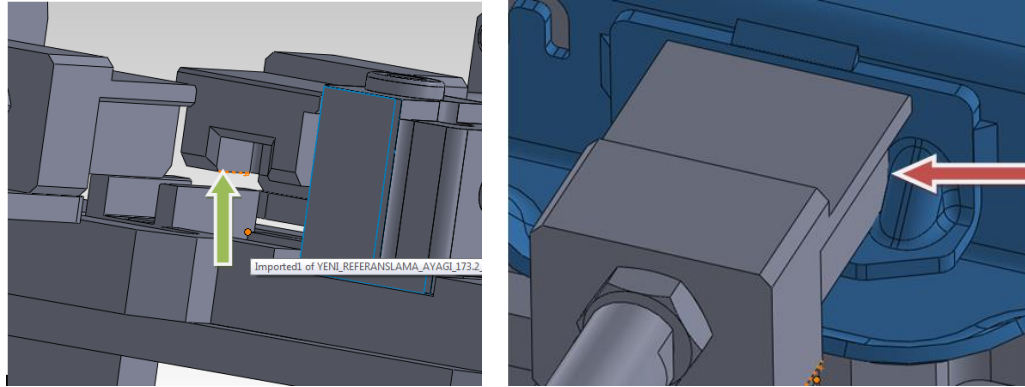
Ürün parçasına baskı uygulayacak olan sabitleme aparatı, referans oluşturacak fikstür bileşenlerinin aşınmadan doğabilecek tekrarlanabilirlik sorunlarına yol açmaması

için Şekil 4.18’de gösterildiği üzere, sabitleme aparatı üründen daha sert olmalıdır. Aksi halde baskılar neticesinde meydana gelen aşınmalar, konum ve boyut toleransları açısından risk arz eder.



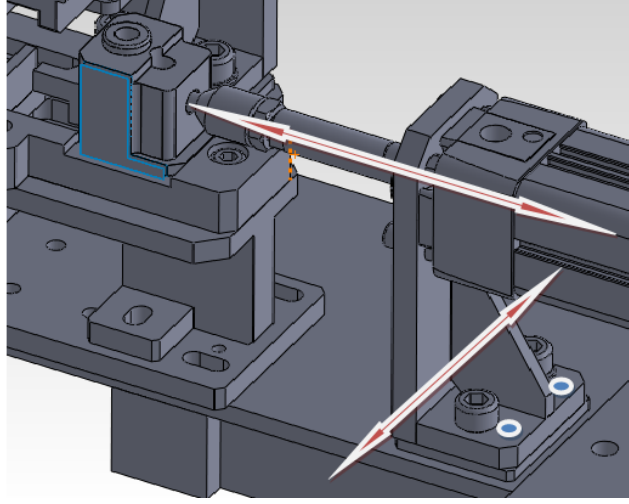
Şekil 4. 18 Kaynak Fikstüründe Aşınmayı Önleyici Malzeme Kullanımı

Çok özel durumlar dışında ve mecbur kalınmadıkça Şekil 4.19’da görüleceği üzere büküm, sıvama, ve kalıp izlerinin olduğu bölgelerden referans alınmaz, ürün sabitlenmez veya baskı yapılmaz. Bu bölgede eksenden kayma, tam oturmama ve gezme gibi problemler ortaya çıkabilmektedir.



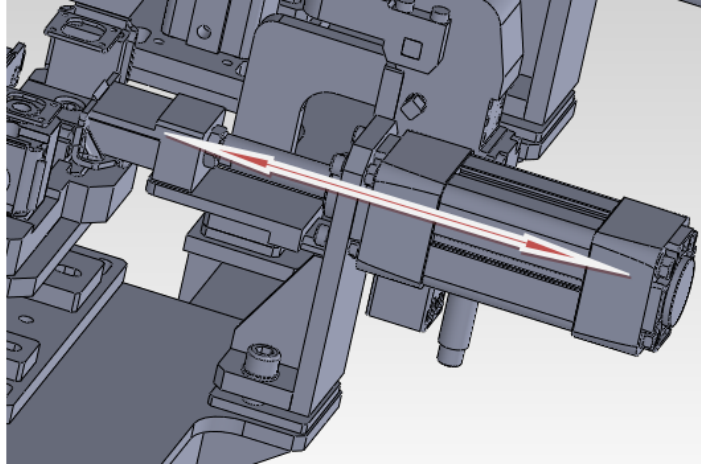
Şekil 4. 19 Ürün Geometrisinin Kaynak Fikstürüne Etkisi

Doğrusallığın süreç içerisinde çalışmaya bağlı olarak değişmemesi için, Şekil 4. 20’de gösterildiği üzere her parçada minimum 2 adet pim veya farklı doğrusal sabitleme yöntemi kullanılmalıdır.



Şekil 4. 20 Kaynak Fikstürü Elemanlarını Sabitleme

Doğrusallığın süreç içerisinde çalışmaya bağlı olarak değişmemesi için, her parçada minimum 2 adet pim veya farklı doğrusal sabitleme yöntemi kullanılmalıdır. Yine bu tür yataklamalarda zorlanmış aşınma kuvvet yönü Şekil 4.21’de görüleceği üzere doğru hesaplanmalıdır.



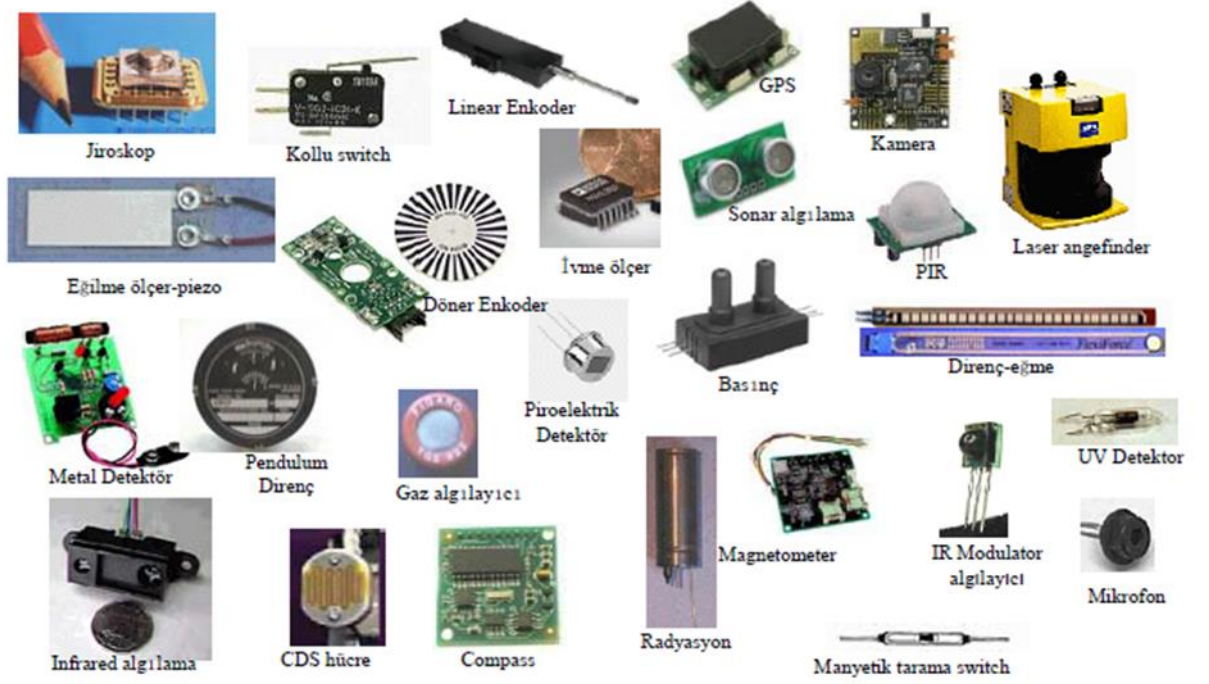
Şekil 4. 21 Hareketli Ekipmanlarda Zorlanmış Aşınma Kuvvet Yönü

Fikstür üzerinde yer alan ekipmanlarda lineer hareketin zamanla değişkenlik göstermesine neden olan pirinç malzemeler yerine doğrusal yataklar kullanılmalıdır.

Örnek olması açısından hidrolik, pnömatik, yağlama, mekanik tasarım ve montaj için kaynak fikstürlerinde imalat sonrası kontrol listeleri, çalışmanın sonunda verilen EK-C bölümünde daha detaylı olarak verilmiştir.

4.4.6 Çevre ara birimleri

Kaynak işlemlerinde yüksek kontrol ve algılamaya olan istek; otomasyon ve yeni geliştirilen malzemelerin kullanıldığı kaynak yöntemleri ile artmıştır. İstenilen kaynağın kaliteli ve en yüksek verimle elde edebilmesi için, kaynak prosesi üzerinde kesin bir kontrol gerekir. Resim 4. 35’te farklı tip ve çeşitte kullanım alanlarında yer alan endüstriyel sensör örnekleri görülmektedir.



Resim 4. 35 Endüstriyel Sensör Örnekleri

“Sensör” ve “transdüzer” kelimeleri ölçüm sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Sensör kelimesi İngilizce “to perceive: algılama, farkına varma, idrak etme” kelimesinin anlamlarına eşdeğer olarak, “transdüzer” kelimesi ise dönüştürücü, çevirici anlamındadır. Sensörün sözlük anlamı ise fiziksel değişimleri algılayan ve onları ölçülebilen veya kayıt edilen sinyallere çevirebilen araçlara denir. Transdüzer ise bir gücü diğer bir sisteme aynı şekilde veya farklı şekilde değiştiren araçlara denir.

4.4.6.1 Parametrik sensörler

Parametrik sensörler, kaynak işleminin teknik parametrelerini ölçer, kaynak işleminin kararlılığı ve dengesini kontrol altında tutarlar. Ark voltajı, kaynak akımı,

hall etkisi*, tel besleme hızı gibi kaynak parametrelerini kontrol etmek için kullanılırlar. Ağırlıklı olarak kaynak parametrelerinin daha uygun kaynak yapılması için diğer sensörler yardımıyla optimize edilebilirler.

4.4.6.2 Geometrik sensörler

Geometrik parametreler için sensörler, kaynak noktasının geometrisi ile ilgili verileri elde etmek üzere kullanılan sensörlerdir. Bu veriler, dikiş takibi ve kaynağın kalite kontrolü için büyük önem taşır. Çeşitli yollarla yapılabilir ama çoğu örnekte, bir dikiş izleyicisi (ing: seam tracker), kaynak sırasındaki kaynak pozisyonunun bilgisini alır. Bu tarz bilgiler; yazılı yörüngeden sapmalar, donanım değişiklikleri ve kaynak boşluğunun büyüklüğü gibi bilgiler içermelidir. (Asada ve Slotine, 1986)

Resim 4. 36'da geometrik köşe tayin sensörünün çalışma ve yer tayinin esnasında çekilen fotoğrafları görebilirsiniz.

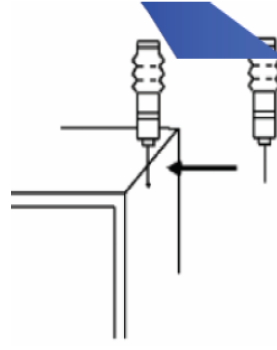


Resim 4. 36 Geometrik Köşe Tayin Sensörü

4.4.6.3 Temaslı sensörler

Herhangi bir cisim ile temas halinde algılama işlemi yapabilen sensörlerdir. Şekil 4.22'de dokunmatik sensörün çalışma prensibini gösterilmektedir. Temaslı sensörler kaynak öncesi yörünge belirlemede verimle kullanılabilirler. Genel olarak torç ucuna ilave edilerek kullanılırlar. Fiyat olarak diğer sensörler ile kıyaslandığında son derece uygundur.

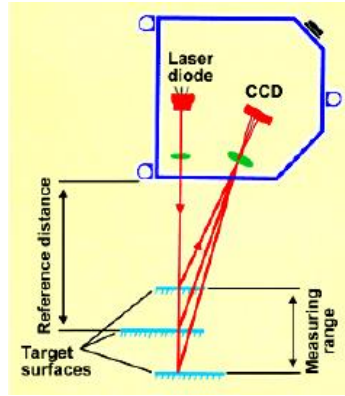
* Hall Etkisi: Manyetik alan içerisinde bulunan ve üzerinden akım geçen bir iletken boyunca gerilim (Hall gerilimi) oluşması olayına Hall etkisi denilmektedir.



Şekil 4. 22 Temaslı Sensörün Kenar Algılaması.

4.4.6.4 Lazer sensör

Bir lazer ışın demeti yardımıyla mesafe algılama esasına göre çalışan sensörlerdir. Örnek bir lazer sensörünün çalışması Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

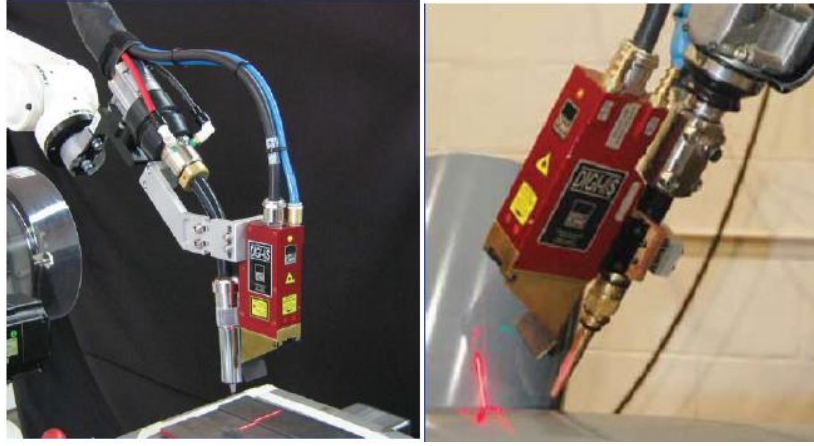


Şekil 4. 23 Lazer Sensörün Çalışma Prensibi

Yüksek hassasiyete sahip lazer sensörlerinin çalışma prensibi şu şekilde özetlenebilir; lazer ışını bir nesneye odaklanır ve nesnenin lazer sensör tarafından görülen yansıması sayesinde, sensör ile nesne arasındaki uzaklık belirlenir. Eğer nesne sensöre çok yakınsa, çıkan ışınla detektörün odaklanmış lensinden geçen yansıması arasındaki açı geniş, nesne uzakta ise açı dardır. Nesne ile sensör arasındaki uzaklığın tespiti, detektöre doğru gelen ışının odaklanması ile yapılır ve çoğu zaman odak Resim 4.37'de görülebilecek olan CCD* dizisi önündedir. Dizinin

* CCD: Bir tabakanın üstüne dizilmiş ışığa duyarlı foto diyotlardan oluşur. Bu diyotlar, düşen ışığı elektrik gerilimine çevirir. Ne kadar aydınlık olursa ışık hücresinde (fotosel) biriken gerilim de o kadar yüksek olur.

hangi pikselinin aydınlatılmış olduğuna göre, objenin uzaklığını hesaplamak mümkündür. (Kim ve ark., 1999)

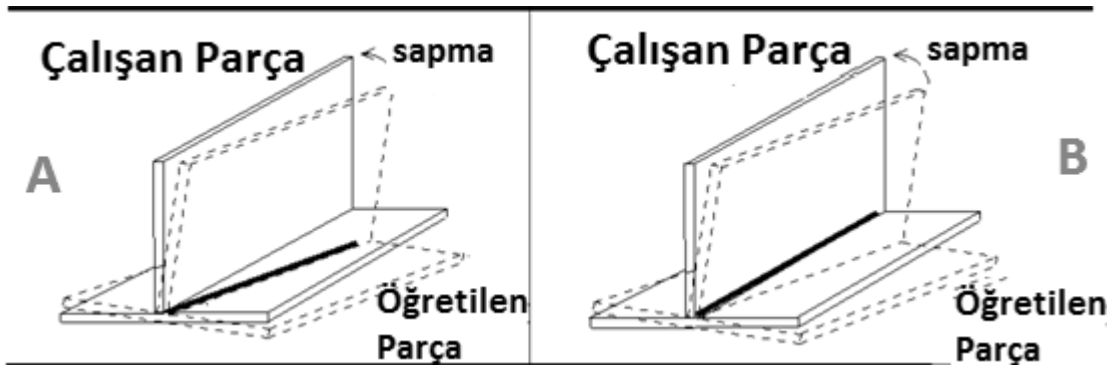


Resim 4. 37 Kaynak Çizgisini Lazer Sensör ile Belirleme

4.4.6.5 Ark sensörü

Ark sensörü, kaynak yapılacak malzemelerin birleşim noktasının merkezini bulmak ve kaynak dikişi yapılacak bölgenin tespiti amacıyla sensör veya dokunma gibi farklı yöntemlerden birisini kullanan sistemlerdir.

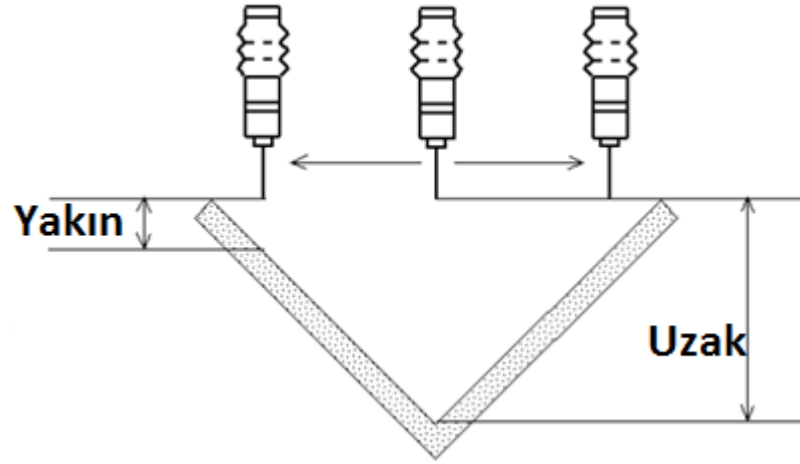
Şekil 4.24'te görüldüğü üzere sisteme öğretilen bir parça ve bu öğretilen standart üründen sapmış bir ürün olduğu varsayılırsa, A bölümünde görüldüğü üzere, ark sensörü olmadığı takdirde, robot öğretilen parçanın birleşim noktasını takip edecek ve kaynak dikişi parçaların birleştiği noktadan saptığı için kaynak başarısız olacaktır. Bu problemin yegane çözümü, sapmış parçaya göre robotta farklı bir öğretim ile sapmış ürüne yönelik program yapmak ya da parçayı hurdaya ayırmaktır.



Şekil 4. 24 Dikiş Merkezinde Kaçıklığın Ark Sensör ile Düzeltilmesi

Ark sensörü mevcut olduğunda, Şekil 4.24'te B bölümünde görüldüğü üzere üründe sapma olduğunda dahi; kaynak dikişinin, kalın çizgi ile örtüşen parça birleşim çizgisini takip etmesi sağlanır. Aynı zamanda ark sensörü yardımıyla akım ve kaynak voltajındaki değişimlerde bu sensör yardımıyla takip edilebilir ve anlık olarak düzeltilebilir. (Chen ve ark., 2005)

Şekil 4.25'te görüldüğü üzere, torç ucundaki teli; kaynak noktasının iki ucu boyunca gezdirerek birleşim noktasını bulmaktadır. Burada mesafenin maksimum olduğu nokta birleşim noktasıdır. Bu işleme, yapılan tarama işleminin hareketinden dolayı, dokuma (ing: weaving) işlemi denir.



Şekil 4. 25 Ark Sensöründe Dokuma İşlemi ile Birleşim Noktası Tespiti

Torç ile kaynatılacak parçalar arasındaki mesafeler değiştikçe ve öğretilenden farklı ürünlerde sapma gerçekleştiğinde, bu kaynak esnasında gerçekleşen akım ve voltaj değişiklikleri ark sensörü yardımıyla yakalanabilmektedir. Ark sensöründen gelen bu veri, sensör işlemcisi tarafından kontrolcüye iletilir ve sapma düzeltilecek şekilde robot yörüngesinde ötelenebilir.

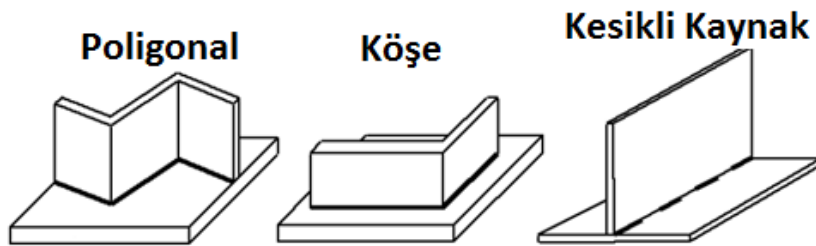
Ark sensörünün verimi ile beraber, kaynak hatalarında azalma ve termal zorlanmanın azalması, TCP noktasının daha net olarak belirtilmesi ve birleşim noktası boyunca çok daha düzgün bir kaynak çizgisi görülmektedir. (Zhou ve ark., 2006)

Endüstride bulunan ark sensörleri çoğunlukla robota özel üretilirler, Fanuc gibi firmalar, ark sensörünü robotla birlikte standart donanım olarak vermektedir. Ama

her çevre biriminde olduğu gibi ark sensörlerinin de çeşitleri vardır. Ark sensörü seçilirken aşağıdaki özelliklere sahip olduğu kontrol edilmelidir;

- Farklı ürün kalınlıkları ile uygun çalışmalı (3mm. ile 10mm. arası veya fazla),
- Dakikadaki uyumlu kaynak hızı 100 mm./dk. ile 1000 mm./dk. arasında olmalı,
- Hem dik hem de yatay kaynak pozisyonunda çalışabilmeli,
- MAG, MIG ve darbeli kaynak uygulamalarına uygun olmalı,
- 10A ila 400 A arasında çalışabilmeli,
- Ark sensörünün dokuma sistemi dar alanlarda da ölçüm alabilecek hassasiyette olmalı,
- Minimum 500 mm./dk. hızda maksimum 5 derece sapmayı yakalamalı,
- Kaynak dikişi ve merkezleme toleransı ± 1 mm. hassasiyetinde olmalıdır.

Eğer parça kaynağını aynı doğrultuda başlayıp bitmiyorsa ve çalışma geometrisi Şekil 4.26'ta olduğu gibi doğrusal bir kaynaktan farklıysa, ark sensörü çalışma prensibi gereği bu aşamada yön değişikliklerini göremeyeceğinden dolayı verimli çalışmayacaktır.



Şekil 4. 26 Ark Sensörünün Verimli Çalışmayacağı Parça Geometrileri

Poligonal parçalarda; köşeler devamlı yön değiştirdiği için, köşeli parçalarda köşe noktaları dokunma sensörü ile doğrulanmadığı için ve kesikli kaynağa sahip parçalarda takip yapıldığı sırada kaynak kesildiğinden, ark sensörü doğru olarak çalışmayacaktır. Bu sebeple, ürünlerin, ark sensörü ile uyumlu çalışacağından emin olunmalı ve hizmet alınacak robot firmasının atölyesinde, ürünleri kurulum

öncesinde kaynak robotuyla işlem görmesini ve sapmaların, ark sensörü ile düzeltilip düzeltilmediğinin teyidinin sağlanması gerekir. (Zhou ve ark., 2006)

4.5 Kaynak Robotları Spesifikasyonları ve Seçim Kriterleri

Kaynak robotlarının yapıtaşlarını incelerken, bu yapıtaşlarında olması gereken özelliklere sırasıyla değinilmiştir. Kurulacak robotlu sistemdeki fikstür bağlantıları, pozisyoner, manipülatör, slider ve çevre birimlerinin birbirleriyle etkileşimi ve spesifikasyonlar üzerindeki etkisini daha net öngörebilmek amacıyla kavramlar bu kriterler altında daha derinlemesine incelenmiştir.

4.5.1 Tekrar edilebilirlik

Tekrar edilebilirlik, diğer bir ismiyle doğrulanabilirlik, herhangi bir makina ekipman veya aletin belirtilen noktaya gidebilme ve pozisyonlama yeteneğidir. Kaynak prosesinde en önemli noktalardan birisi toleranstır. Tolerans; kabul edilebilir hata payıdır, bazı önemli durumlar dışında nominal ölçü (gerçek ölçü) üzerinden çalışılır. Toleranslar boyut, konum ve şekil toleransları olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

Spesifik olarak kaynak robotları için tekrar edilebilirlik, kaynak noktasına hatasız gidebilme ve kaynak dikişini istenilen noktalarda doğru pozisyonlama becerisidir.

Kaynak robotlarının bir çoğu ± 0.2 mm.'lik hassasiyette tekrarlanabilirliğe sahiptir. MIG/MAG kaynak robotu ile tatminkar bir üretim için, telin kaynak çizgisi üzerinde, tel çapının yarısı kadar sapmasına (örneğin; 0.6mm. için $\pm 0,15$ mm.'ye) müsaade edilir. MIG/MAG kaynağı uygulamalarının çoğu için kullanılan robotlar yeteri kadar hassas çalışırlar. Ancak, robot torcunun temas ucu ± 0.2 mm. bir sapma yapsa dahi, kötü biçimde hasar görmüş torç ve torç ekipmanları veya tam düz olmayan bir tel, yanlış çekilen bir dikiş sonucu hatalı kaynağa neden olabilir. TIG kaynağı için ± 0.1 mm. ve daha iyi bir tekrarlanabilirlik tercih edilmektedir. Aynı zamanda satın aldığımız pozisyoner, slider gibi ekipmanların toleranslarının üretici firma tarafından verilmesi gerekmektedir. Özellikle pozisyoner ve fikstürlerde toleransların, ürünün pozisyoner merkez noktası referans alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Yine ürün geometrisi bu aşamada önem kazanmaktadır. Sistemde bulunan bileşenlerin ağırlığı, uzunluğu ve büyüklüğü arttıkça sistemin kararlılığı azalır ve tolerans aralığı büyür.

Bu bilgiler ışığında seçim yapacağınız robotlu sistemdeki manipülatör, yanında seçtiğiniz pozisyoner ve varsa kaydırıcısında (slider) bir tekrar edilebilirlik değeri olacaktır. Örneğin manipülatörün ± 1 mm., kaydırıcının ± 1 mm. ve pozisyonerin ± 1 mm. tekrar edilebilirlik toleransı olduğu düşünülürse, kötü bir senaryoda dikişin birleşim noktasından toplam 3 mm. kayacağı ve birleşme dikişinin yapılamayacağı aşikar olmaktadır. Ürünün toleransına uygun tekrar edilebilirliğe sahip ekipmanları almak, robot kaynağı yapan sistemlerin yüksek kalite ve verimlilik sağlaması için gereklidir.

4.5.2 Taşıma kapasitesi

Ark kaynağı robotları genellikle 3-6 kg. arasında taşıma kapasitesine sahiptirler. Kaynak dikişinin izlenmesi için bir optik laser/ kamera yerleştirilmesi veya takım değiştirme sistemi istendiğinde taşıma kapasitesinin yeniden değerlendirilmesi gereklidir. Taşıma kapasitenin arttığı durumlarda tolerans genişleyecektir.

Tablo 4.4'de görüldüğü üzere 210 kg.'lık bir robotun tekrar edilebilirlik değeri $\pm 0,15$ mm. değerinde iken 4 kg.'lık bir robotta tekrar edilebilirlik değeri $\pm 0,08$ mm. değerindedir.

Tablo 4. 4 Farklı Taşıma Kapasitesinde Robot Tekrar Edilebilirlik Değerleri

Name	NV166		NV210	
Number of axes	6			
Max. payload capacity	166kg		210kg	
Positional repeatability	± 0.1 mm (Note 1)		± 0.15 mm (Note 1)	
Name	NB4	NB4L		NB15
Number of axes	6			
Max. payload capacity	4 kg	4 kg	15 kg	
Positional repeatability	± 0.08 mm (Note 1)	± 0.08 mm (Note 1)	± 0.08 mm (Note 1)	

4.5.3 Açısal hız

Robotlar 0,75 – 1,5 m./s. (45 – 90 m./dk.) arasında doğrusal hıza sahip olabilirler. Aslında kaynak işlemi için 5 m./dk.'dan daha fazla hızlar gerekmemekle beraber robotun maksimum yer değiştirme hızı, kaynaklar arasındaki hareket zamanı dolayısı ile toplam kaynak zamanını etkiler.

Yüksek hızlarda hareket eden bir kaynak torcunu küçük yarıçaplı eğriler etrafında dolaştırırken düzgün bir kaynak hızı elde edilemeyebilir. Bu nedenle bir veya iki mafsal motorunun hız sınırları arttırılabilir. Yatayla 45° açı yapan 300 mm. boyundaki bir kaynak torcunun, 25 mm. yarıçaplı (robot için oldukça dar) köşe birleştirmesini kaynak yapabilmesi için torcun bağlanma noktasının, tel ucundan dokuz kat daha hızlı ilerlemesi gerekir.

Açısal hız, robotun hareket edebildiği birim zamandaki ilerleme miktarıdır. Genellikle inç/saniye veya m./saniye cinsinden ifade edilir. Hız, genellikle robotun belirli ve sabit bir yük altında çalışması sırasında belirlenir ve gerçek hız, robot tarafından taşınan yükün ağırlığına bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Açısal hız, kaynak robotunda, arasında mesafe bulunan kaynatılacak parçalar arasında torç hareket ederken harcadığı zaman çok fazla ise kritik olur. Uzun kaynak işlemleri sonrasında torcun soğuması için hareketin istenerek yavaşlaması dahi bazı durumlarda istenebilir. Bu sebeple açısal hızların kaynak robotlarında karar verirken karşılaştırma unsurlarının alt sıralarında olması beklenir.

Tablo 4.5'te görüldüğü üzere kaynak robotu için hazırlanan ihalede, açısal hızları limitlemek sadece belirli bir markaya yönelik satınalma amacıyla yapılmış olmakta ve objektif değerlendirmenin dışına çıkmaktadır.

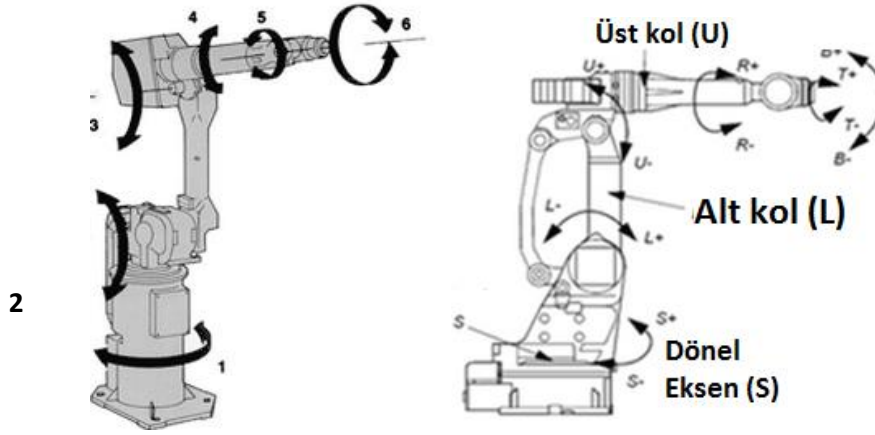
Tablo 4. 5 Robot Eksen Hızlarını Gösteren Teknik Şartname Formu

TEKNİK ŞARTNAME STANDART FORMU (Söz. EK:2b)
(Mal Alımı ihaleleri için)
LOT 1: KAYNAK ROBOTU
İhaleye katılıp, Uzun Ömürlü Sile İmalatı ile ilgili Etiler, Pazartürkçe Sektör Liderliği
Teknik Etütne Projesi
Yatırım Koferansı : TR71/14/33E0054
1. Genel Tanım
Ahler Kalite Kurumu Ajansı Çeşitli Ürünler Üretimi için Malî Destek Programı kapsamında
TR71/14/33E0054 referans numarasıyla gerçekleştirilen Uzun Ömürlü Sile İmalatı ile ilgili Etiler,
Pazartürkçe Sektör Liderliği Etütne Projesi için mal alımı ihalesi gerçekleştirilecektir.
2. Tedarik Edilecek Mallar, Teknik Özellikleri ve Miktarı

A	B	C
Sıra No	Teknik Özellikler	Miktar
	<p>Kaynak Robotu aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.</p> <ul style="list-style-type: none">Sistem kapsamında 1 adet robotkol, üzerinde toplam 6 eksen olmalıdır. Her bir eksenin birbirinden bağımsız fren sistemine sahip servo motorlar bulunmalıdır.Eksen Hızları aşağıdaki değerlere uygun olmalıdır. J1 : 210 - 230°/sec J2 : 200 - 225°/sec J3 : 210 - 230°/sec J4 : 410 - 430°/sec J5 : 410 - 430°/sec J6 : 610 - 630°/sec	

4.5.4 Serbestlik derecesi

Serbestlik derecesi, bir cismin veya sistemin sabit bir noktaya göre konumunu tam olarak belirlemek için gerekli bağımsız değişken sayısıdır. Robotlarda serbestlik derecesi mafsal ve eksenler sayılarak rahatlıkla bulunabilir. Endüstride yaygın kullanım bulan ve üretim ölçeği dolayısıyla endüstride maliyet açısından en uygun robot olan 6 eksenli robotlara ait eksenler daha detaylı olarak izah edilmiştir. Şekil 4. 27’de 6 eksen robotta eksen yerleşimi ve hareket yönleri görülmektedir.



Şekil 4. 27 6 Eksen Robotta Eksen Yerleşimi ve Hareket Yönleri

1. Eksen

1. eksen, robotun bazası üzerinde bulunan ve robotun soldan sağa dönmesine olanak sağlayan eklemdir. Bu süpürme hareketi, hareket alanının her iki yanda ve kolun arkasında genişlemesini sağlar. Aynı zamanda merkez noktasından tam dönüşte 180° alan sağlar. Bazı firmalarda (örn: Motoman) bu eksen ismi “S” olarak, bazı firmalarda (Fanuc, OTC) bu eksen “J1” olarak adlandırılır.

2. Eksen

2. eksen, robotun alt manipülatör kolunun ileriye ve geriye uzanmasını sağlar. Bu eksen alt kolun tamamının hareketine güç verir. Bazı firmalarda (örn: Motoman) bu eksen ismi “L” olarak, bazı firmalarda (Fanuc, OTC) bu eksen “J2” olarak adlandırılır.

3. Eksen

Bu eksen, robotun dikeydeki erişimini sağlar. Üst kolun alçalıp yükselmesini sağlar. Bazı farklı eklemli robotlarda, üst kolu manipülatör gövdesinin gerisine uzatarak erişim uzayı genişletir. Bazı firmalarda (örn: Motoman) bu eksen “U” olarak, bazı firmalarda (Fanuc, OTC) “J3” olarak adlandırılır.

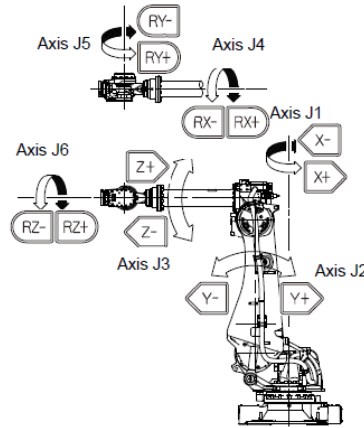
4. Eksen

Eksen 4, eksen 5 ile birlikte çalışarak, uç iş yapıcı birimin hassas pozisyonlamasında görev alır. Bilek olarak adlandırılan bu eksen, üst manipülatör kolunu dairesel olarak dikey ve yatay düzlemde hareket ettirir. Bazı firmalarda (örn: Motoman) bu eksen ismi “R” olarak, bazı firmalarda (Fanuc, OTC) “J4” olarak adlandırılır.

5. Eksen

Eksen 5, manipülatör kolunun yukarı ve aşağı eğilmesini sağlar. Bu eksen; eksenel ve yanal düzlemdeki hareketlerden sorumludur. Eksenel hareketli; karton kutu ağzını açma - kapatma olarak, yanal hareketleri de, dolap kapısını açma-kapatma gibi düşünebiliriz. Eksen 5 bazı firmalarda (örn: Motoman) “B” olarak, bazı firmalarda (Fanuc, OTC) “J5” olarak adlandırılır.

Şekil 4. 28’de 6 eksen robotlarda eksen hareketinin yönü gösterilmektedir.



Şekil 4. 28 6 Eksen Robotta Eksen Hareket Yönü Gösterimi

6. Eksen

Eksen 6 robotun bileği olarak vazife görür ve bükme hareketi yaparak, uç iş yapıcı ekipmanı dairesel olarak hareket ettirerek istenen hassas konuma getirebilir. Çoğu

zaman 360° ‘den daha geniş açıda saat yönünde veya tersine rotasyon yapabilir. Eksen 6 bazı firmalarda (örn: Motoman) “T” olarak, bazı firmalarda (Fanuc, OTC) bu eksen “J6” olarak anılır. (AWS, 2008)

Seçilen robotta bulunan eksen sayısı ne kadar fazla ise o ölçüde hassas pozisyonlama, kaynak açısı, yaklaşma açısı ve kaynak akışında keskinlik sağlanabilir. Eklenebilecek ek eksenlerle erişim büyük ölçüde artırılabilir.

Resim 4. 38’de , dar ve işlem yüzeyi çukur olan bölgelerde ek bir eksen daha eklenerek erişim, açı ve kaynak düzlemi istenilen seviyeye getirilebilmektedir. Ancak 7 eksenli robot seçimi için mutlaka 6 eksenli robotta yapılması gereken çalışmaların yapılması, pozisyonerin modifiye edilmesi ve hiçbir durumda çözüm bulunamıyorsa görece çok maliyetli olan 7 eksenli robot yatırımına gitmek gereklidir.



Resim 4. 38 IGM Firması Tarafından Standart Olarak Satılan 7 Eksenli Robot

Yine erişimin artırılması için 8 serbestlik dereceli robotlar sanayide çok nadir olarak hassas taşıma ve konumlama uygulamalarında yer almaktadırlar. Resim 4. 39’da ek olarak sekizinci eksene sahip taşıma robotu görülmektedir.



Resim 4. 39 Sekiz Eksenli Taşıma Robotu

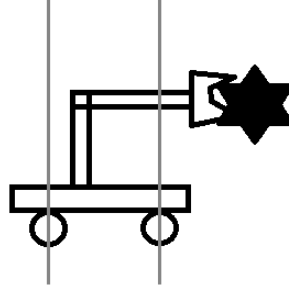
7 eksenli robotlarda, 7. eksen; 1. eksenin gerisine eklenen bir eksen ile yörüngeyi ve erişimin artırılmasını sağlamaktadır. Sekiz eksenli robotlarda ise, sonradan bağlanan eksenler; 6. eksenin önüne eklenen ve manipüle edilecek ürünü daha hassas konumlandırmaya yarayan ek iki eksen oluşmaktadır. 8 eksenli robotların endüstride kullanım alanları sadece taşıma ile ilgili olmakta ve çok nadir ihtiyaç duyulmaktadır.

4.5.4.1 Manipülâtör kol boyu

Robotlarda kullanılan manipülâtör, pozisyoner, slider ve benzeri ekipmanlarda kullanılan motorlara ait kg.cm cinsinden bir tork değeri bulunmaktadır. 1 kg.cm değeri; motorun eksen rotasyonunda 1 kg.'lık bir yükü 1 cm. uzaklığa yada 2 kg.'lık bir yükü 0.5 cm. taşımaya karşılık gelir. Bu bilgiye karşılık eğer 1 kg.'lık bir yük belirli bir mesafede taşınmak istenirse, “ motorun kol boyu * 1kg. < motorun sahip olduğu tork” olmalıdır. Motor ne kadar güçlü torka sahip olursa, robot kolu o ölçüde uzun olabilir. Motor ne kadar torka sahipse maliyet o kadar artar ancak tasarımda ortaya konulan tork ihtiyacı, mutlaka karşılanmalıdır.

Örneğin, robotun tabanında bulunan J1 (S) ekseninde tork değerini bulmak için robotun kol ağırlığını ve en uç noktada tutması gereken ağırlığın bilinmesi gerekmektedir. Burada eğer tork değeri belli ise ve taşıma limiti tork değerinde belirtilen mesafeyi aşıyorsa, robot devrilir. Örneğin Şekil 4.29'da görüldüğü üzere, eğer kol, ağırlık merkezi sınırı olan tekerlekleri geçerse, araba devrilecektir. Robot sistemlerinde de yük motor-redüktörün taşıyabileceği noktayı geçerse, teorik olarak robot devrilir, pratikte robotun ağır hasar görmemesi için motorda aşırı zorlama

sonucu termik açar ve robot frenleyerek az bir hasar ile durur. Bu zorlanmanın sık olması sırasıyla redüktörde ve motorda pahalı hasarlara yol açabilir.

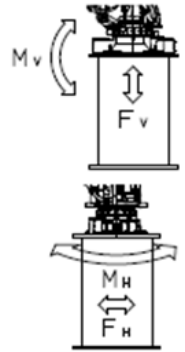


Şekil 4. 29 Ağırlık Merkezini Aşan Kolun Aracı Devirmesi

Yine aynı şekilde robot hareketi sonucu ivmelenme varsa; bu ivmeden kaynaklanan bir kuvvet ($F=m.a$) meydana gelecektir. Eğer sistemde devrilme/zorlanma olup olmayacağı kontrol edilmek istenirse; öncelikle yer çekimine ait kuvvetler ve ivmelenmeden dolayı ortaya çıkan kuvvetlere (eylemsizlik kuvveti, merkezkaç kuvveti vb.) ait vektörler belirlenmelidir. Vektörlerin başlangıç noktaları detaylandırılır ve bu vektörlerin ağırlık merkezleri veya ağırlık yörüngesi dışına çıkıp çıkmadığı kontrol edilir. Eğer yörünge dışına çıkıyorsa, robot muhtemelen devrilecektir. Emin olmak için; ağırlık merkezinin, yük dağılımının dışına taşmadığından (bunun için beton bağlantısı ve bazanın ağırlığı önemlidir), ağırlığın doğru dağıldığından ve gereğinden fazla uzun robot kolu kullanılmadığı kontrol edilmelidir.

Manipülator üreticileri, yük dağılımını göstermek amacıyla, Şekil 4.30'da görüldüğü üzere bir tablo sunarlar. Ürünle beraber bu kuvvet vektörlerinin mutlaka doğru hesaplanması gerekmektedir. (Zhou ve ark., 2006)

Robot Model	Max. vertical generative force F_v	Max. horizontal generative force F_H	Max. vertical generative moment M_v	Max. horizontal generative moment M_H
NV166	46,800 N	35,200 N	92,300 N·m	79,700 N·m
NV210	52,800 N	40,500 N	113,200 N·m	98,300 N·m



Şekil 4. 30 Robot Modeli Bazında Yatay-Dikey Moment ve Kuvvet Dağılımı

Çalışmanın sonunda bulunan Ek-D bölümünde, herhangi bir noktada ürünü manipülatörle taşımak için gerekli olan torkun gereksinimi için kullanılan denklemleri ve açıklamaları daha detaylı olarak incelenmiştir.

4.5.4.2 Manipülatör kol çalışma açısı

Manipülatör kollarının açı aralıkları, çalışma yörüngesinin takdiri ve erişim kontrolü için önemli bir parametredir. Ancak robotun çalışma yörüngesi mevcut ise açılar üzerinden hareket etmenin kaynak robotları için pratikte önemi yoktur.

Her manipülatör üreticisi, eksen açılarını ürünüyle birlikte deklare etmek zorundadır. Tablo 4.6'da örnek bir robot kol çalışma açı tablosu görülebilir.

Tablo 4. 6 Örnek Robot Kol Çalışma Açıları

Working range	Arm	J1 (Revolving)	$\pm 180^\circ$	
		J2 (Lower arm)	-80 ~ +60°	
		J3 (Upper arm)	-146.5 ~ +150°	
	Wrist	J4 (Swing)	$\pm 360^\circ$	
		J5 (Bending)	$\pm 135^\circ$	$\pm 130^\circ$
		J6 (Twist)	$\pm 360^\circ$	

Açı hareketleri temel olarak dört eklem türünde incelenebilir. Bunlar alt bazada süpürme (revolving), dirsek (wrist), bilek (elbow) ve omuz (shoulder) hareketleridir. Bütün eklemler konumlandırma bilgileriyle ilgili yaptıkları her hareketi konumları üzerine eklerler, açıları yardımıyla zamanlanmış dönüşlere çevirirler ve her iki yöndeki hareketlerindeki limitlerini bilirler, bu limitler her robot için Tablo 4.7'de örnek olarak verilmektedir. Rotasyon limitleri, eklemin hareketi boyunca yapabileceği dereceyi ve iki durdurucu arasındaki limitleri arasında geçen süreyi vermektedir.

Tablo 4. 7 Örnek Bir Robota Ait Açısal Hız Değerleri

Max. velocity	Arm	J1 (Revolving)	2.18 rad/s (125°/s)
		J2 (Lower arm)	2.01 rad/s (115°/s)
		J3 (Upper arm)	2.11 rad/s (121°/s)
	Wrist	J4 (Swing)	3.14 rad/s (180°/s)
		J5 (Bending)	3.02 rad/s (173°/s)
		J6 (Twist)	4.54 rad/s (260°/s)

Örnek olarak alt baza eklemi için başlangıç limit noktasından bitiş limit noktasına Tablo 4.7’de görülen örnek tabloda incelenen robota ait açısız hız tablosunda 1. eksen için 2.18 rad./s. olduğunu kabulü yapılırsa, 360 derecelik tam bir turu 6,28 saniyede* geçmesi gerektiği hesaplanabilir.

Kaynak robotlarında açılarının genişliğine bakıldığında, buradaki darlık farklı bir kolun hareketiyle yavaşta olsa tolare edilecek ve bu saniye bazında çok az bir kayıp olarak yer alacaktır. Bu kayıplar doğru bir programlama ile kaynak noktalarının birbirine bitişik seçilmesiyle en aza kolaylıkla indirilebilir. Açısız çalışma aralıkları ancak çok uzak noktalar arasında iş yapan taşıma robotları için oldukça hassas bir konu olarak düşünülebilir.

Tablo 4.8’de görülen teknik şartname formunda verilen açı değerleri, belirli bir marka robotun alınmasına yönelik olmakla birlikte kaynak yapılması için gereken toleranslar robot tipine göre kimi yerde dar, kimi yerde geniş verilmiştir. Bu sebeple şartname, ihale gibi görülmeye değer bir bilgisizlik neticesinde sadece belirli bir markaya yönelik seçimi daraltmış ve en nihayetinde belirtilen marka ihaleyi doğal olarak kazanmıştır.

Tablo 4. 8 Robot Çalışma Açılarını Gösteren Örnek Teknik Şartname

TEKNİK ŞARTNAME STANDART FORMU (Söz. EK:2b)
(Mal Alımı ihaleleri için)

LOT 1: KAYNAK ROBOTU

Sözleşme başlığı : Ürün Örneği Sığır İmalatı ile ilgili Dış Pazarlarda Sektör Liderliği Projesi
Tennis Etme Projesi
Yayın Referansı : TR71/14/DE/0054

1. Genel Tanım
Ahi Evran Kalkınma Ajansı Sektörel Rekabet Edilebilirlik ve Destek Programı kapsamında TR71/14/DE/0054 referans numarasıyla gerçekleştirilen Ürün Örneği Sığır İmalatı ile ilgili Dış Pazarlarda Sektör Liderliği Projesi için mal satın alması amaçlanmaktadır.

2. Tedarik Edilecek Mallar, Teknik Özellikleri ve Miktarı

A	B	C
Sıra No	Teknik Özellikler	Miktar
1	<p>Kaynak Robotu aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.</p> <ul style="list-style-type: none"> Sistem kapsamında 1 adet robotkol, üzerinde toplam 6 eksen olmalıdır. Her bir eksenin birbirinden bağımsız fren sistemine sahip servo motorlar bulunmalıdır. Eksen hareket aralıkları aşağıdaki değerlere uygun olmalıdır. J1 : 350-370° J2 : 240-260° J3 : 430-460° J4 : 360-390° J5 : 270-290° J6 : 700-730° 	5 Adet

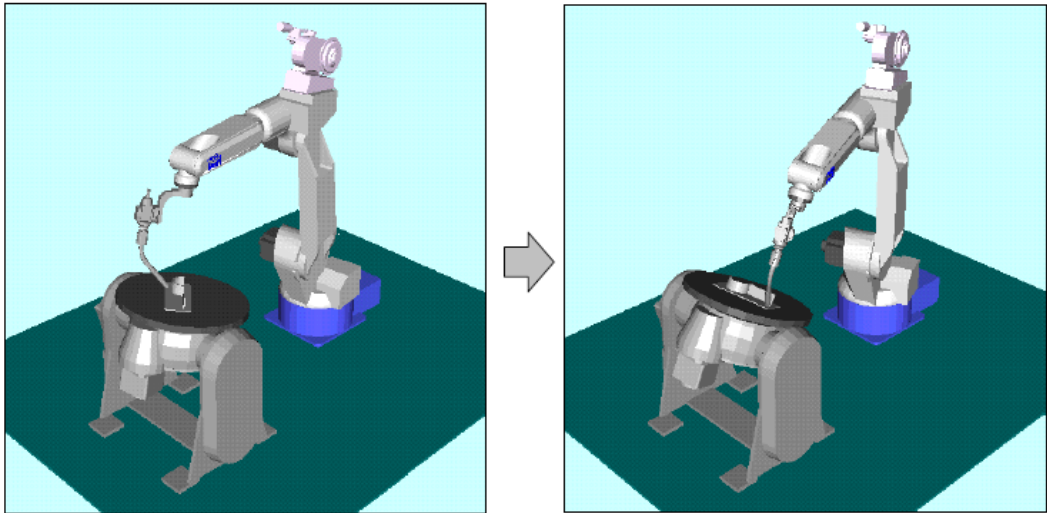
* $360^\circ/125^\circ \cdot 2,18 \text{ rad/s} = 6,28 \text{ sn}$ olarak hesaplanmıştır.

4.5.5 Senkron hareket kontrolü

Senkron hareket kontrolü (synchromotion); birden fazla mekanizmayı eşzamanlı (simültane) olarak yöneten, pozisyonlayan, durduran, hızını ayarlayan, konumlandıran ve diğer bütün iş araçlarının yönetilmesini sağlayan kontrol sürecidir. Senkron hareket kontrolü ekstra bir özelliktir, sadece çok farklı ve özel ihtiyaçlı kaynak geometri ve yapıları için kullanılmakta olup; çalışılacak parçanın özel bir geometrisi veya metodu yoksa, senkron hareket kontrolü gereksiz bir özellik ve maliyet kalemi haline gelecektir.

Senkron hareket en çok, çoklu ünite desteği ile karıştırılmaktadır. Çoklu ünite desteği; robotlu sistemde bulunan komponentlerde birbirleriyle ardaşık işlerin belirlenmiş bir sıra dizisinde arka arkaya tek kontrolcü üzerinden işlem görmesidir. Senkron hareket ise robotlu sistemde bulunan mekanizmaların aynı anda hareket ederek, ürün üzerinde aynı anda birbirinin işini durdurmadan, engellemeden ve tam tersi ürünü diğer işlem yapan araç için doğru konumlama ve açığa getirme işlemlerini yapabilme kabiliyetidir.

Örneğin Şekil 4.31’da görüldüğü üzere, ark kaynağı sisteminde; manipülatör her zaman optimal torç pozisyonunu ve hızını; pozisyona bağlanan ürünle birlikte hareket ettirebilmektedir.

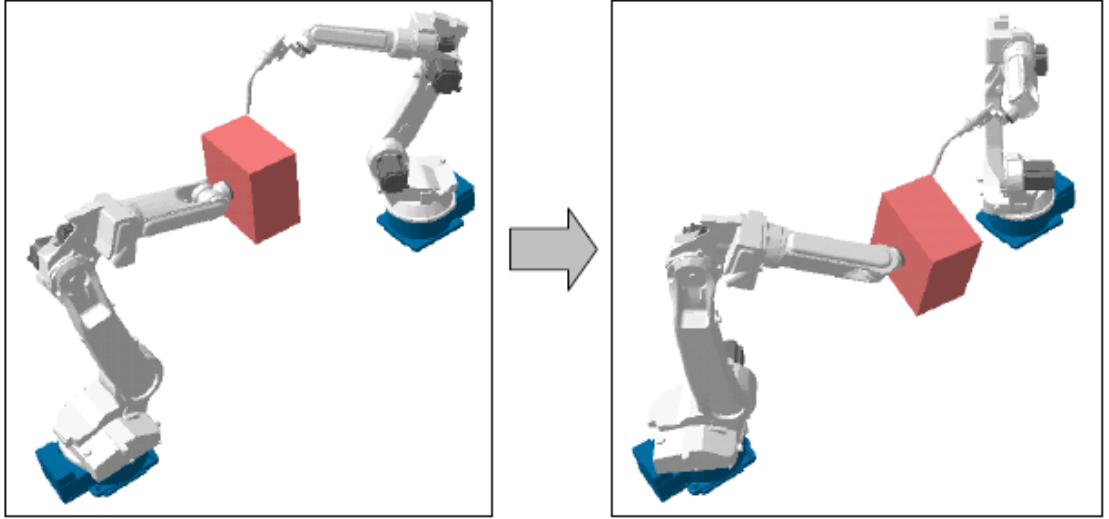


Şekil 4. 31 Senkron Hareket Kontrollü Ark Kaynağı Sistemi

Senkron hareket, sadece kaynak uygulamaları için özel olarak geometri ve metod sorunlarını çözmek için geliştirilmiştir. Hassas ve kesintisiz bir senkron hareket

özeliğine sahip robot isteniyorsa, sistemde kullanılması planlanan bütün servo motorların, robota ait servo motorlarla aynı marka olması tavsiye edilmektedir.

Yine başka bir örnek olarak, pozisyoner ile konumlandırılrsa dahi yinede istenen kaynak konumuna getirilemeyen sistemler için Şekil 4.32’de görüleceği üzere iki robotlu sistemle kurulabilir. Bu tip sistemlerde en az bir adet taşıma robotu konumlandırma, al ve koy işlemleri için, ikinci robot ise kaynak yapabilmektedir. Burada kaynak yapıldığı esnada ürünü pozisyonlayabilmek anahtar noktadır. Böylece başlangıç ve bitiş için ekstra işçilik harcanarak düzeltme olmayacak; doğru açılardan dolayı kaynak dikişi zor geometrilerde dahi pürüzsüz ve hatasız olacaktır.



Şekil 4. 32 İki Robotla Senkron Hareketli Ark Kaynağı

4.5.6 Kablo yerleşimi

Manipülator seçiminde, kaynak robotuna ait kabloların içten (entegre) veya dıştan kablolu olma durumuna göre seçim yapmak gerekmektedir. Kablo yerleşimi kararı tamamen kaynağı yapılacak ürünün geometrisi, robotun çalıştığı yörüngenin geometrisi ve bakım masraflarının karşılaştırılması ile karar verilecek bir konudur. Eğer bu üç konudan herhangi birine uygun bir husus mevcutsa, seçim maliyetli ise, en uygun performansa karşılık gelen kablolu torç paketi kullanılmalıdır.

4.5.6.1 İçten kablolu entegre torç paketi

İçten kablolu entegre torç paketi modellerinde, tel sürme kablosu, gaz hortumu, enerji kablosu gibi komponentler, Resim 4.40’te görüldüğü üzere manipülator

kolunun içine entegre olarak imal edilmişlerdir. Fiyatı ve bakımı daha pahalı ve zor olmasına karşın; özellikle çukur ve dar açılı alanlarda erişim kolaylığı sağlar; hortumun daha erken yıpranmasını önlerler. Ancak hortum pakedinin, manipülatör kolunda olması bu kolda bazı açılarda sıkıntılar yaratabilmektedir. Bu sebeple karar vermeden önce ürün geometrisi ve çevresel diğer çalışan mekanizmalarla etkileşimi iyi değerlendirilmelidir.



Resim 4. 40 İçten (Entegre) Kablolü Kaynak Robotu

Robot içerisine entegre edilmiş kablo demetleri ile dar alan çalışmalarında hareket özgürlüğü sağlanarak programlama kolaylaştırılmış ve kablo aşınmaları minimize edilmiştir. Böylece dar hücrelerde, birden çok robotun yan yana çalışma olanağıyla birlikte parça şeklinden veya fikstür yapısından kaynaklanan erişim zorluklarında, erişim kolaylığı sağlayan modüler yapıya sahiptirler. Üretim parçasına ve diğer

robotlara çok yakın mesafelere konumlandırılabilmesi; çalışma esnekliği, alan kullanımında optimizasyon, çoklu istasyon ihtiyacını giderme, daha kısa üretim hatları ve daha küçük kaynak istasyonları oluşturulabilmesini sağlar. Kaynak koaksiyel kabloları robot gövdesine entegre yenilikçi dizaynı ile kablo sürtünmelerini önler ve programlama zamanını azaltır. Yine torç su soğutmalıysa, bu soğutma kablolarıda gövdeye entegre olarak bağlanmaktadır. Satın almak için başlıca tercih sebepleri; robotun sahip olduğu çevrim ve üretim zamanlarını düşüren optimum esneklik ve yoğunlukta yerleşim alanları oluşturabilmek için sahip olduğu ideal yapı, genişletilmiş hareket çapı, robot vücuduna entegre kaynak kabloları sayesinde daha kolay programlama ve daha az bakım ihtiyacı, kabloların robot içinden geçmesi sayesinde kablo engellemelerinin ve bakım gereksiniminin azalması ve programlamanın kolaylaşması gibi avantajlar yaratmasıdır.

4.5.6.2 Dıştan kablolu

Dıştan kablolu modeller, içten kablolu modellere nispeten maliyet olarak daha %5 ila %10 ucuzdur. Özellikle açık ve erişimi kolay uygulamalar için dıştan kablolu modeller endüstride yaygın olarak kabul görse de, uzun vadede koaksiyel kablonun aşınması ve erişim kısıtlamaları nedeniyle verim kaybı yaşatabilmektedir. İçten kablolu modellere göre, dönüş açısı ve erişim eksenini genişler. Resim 4. 41’de dıştan kablolu kaynak robotuna dair örnek bir resim verilmiştir.



Resim 4. 41 Dıştan Kablolu Kaynak Robotu

Eksenin uç noktalarında koaksiyel kablo gövdeye sürterek zayıflar ve seri imalatta zayıfladığı yerden kopabilir. Yine iki ivmeli hareket arasında robot kolu dursa bile hortum sallanmaya devam eder, bu salınım hareketi esnasında içerisinde beslenen telin beslenmesinde çözülmesi zor problemlere sebep olabilir. Sektör geneline bakıldığında, dıştan kablolu bir sistem senede bir değişim gerektirirken, içten kablolu modellerde bu süre minimum iki yıldır.

4.6 Robot Kaynağında Görülen Hatalar

Tüm kaynak yöntemlerinde olduğu gibi robotlu eriyen ve erimeyen elektrot ile gazaltı kaynağında da kaynak ve robot parametrelerinin uygun seçilmemesi, uygun olmayan ilave metal ve kötü bir kaynak tekniğinin uygulanması sonucu bir takım kaynak hataları ile karşılaşılır. Tüm kaynak hataları, kaynak dikişinde bir zayıflama ve süreksizlik oluşturduklarından, bağlantının servis esnasında kırılmasına ve bazı hallerde de telafisi olanaksız kazalara neden olduklarından, kaynaklı bağlantıların hatasız olması gereklidir. Kaynak dikişlerinde iki ana grup hata ile karşılaşılır; Birinci gruba giren hatalar, dış hatalar olarak adlandırılır ve çıplak göz veya büyüteçle saptanabilirler. İkinci gruba giren hatalar ise göz kontrolü ile saptanması olanaksız iç hatalardır; bunlar ancak “X-ray” ışınları veya ultrason ile belirlenebilirler. Kaynaklı bağlantılarda belirlenmiş hataların tamiri oldukça güç ve pahalı olduğundan, mümkün olduğu kadar hataya olanak vermeyen bir biçimde çalışmalıdırlar. Robotlu kaynakta eriyen elektrot ile yapılan gazaltı kaynağında en çok karşılaşılan hata türleri ve bunların nedenleri detaylarıyla birlikte açıklanmıştır.

4.6.1 Nüfuziyet azlığı

Kaynak anında, erimenin bütün malzeme kalınlığına olmaması sonucunda, bağlantının alt kısımlarında kırılmaya neden olabilecek oyuk ve çentikler oluşur. Robot kaynağında nüfuziyet azlığının oluşmasına aşağıdaki nedenlere yol açmaktadır:

- Birleştirme yerinin geometrisine uygun bir elektrot çapının seçilmemesi,
- Akım şiddetinin uygun seçilmemesi,
- Uygun bir kaynak ağzının açılmaması,

- Kök pasosunun kötü çekilmesi veya robot kaynağından önce el ile hazırlanması.

K t alın birleştirmelerde, tam bir nüfuziyet elde etmek için birleştirilenin altı (yani diğer yüzü) bir keski veya oksijen rendesi ile temizlenmesi gereklidir. Nüfuziyet azlığı hatasının oluşmaması için alın birleştirmelerinde, ağızların titizlikle hazırlanması ve iki parça arasında uygun bir aralığın bırakılması gereklidir.

MIG-MAG kaynağı ile yapılan köşe birleştirmelerinde, düşük akım Şiddeti ile çalışılması veya prosesin ihtiyacına göre kalın bir elektrotun kullanılması, dipte bir nüfuziyet azlığına neden olabilir. Ancak, daha ince çaplı bir elektrotun kullanılmasında her zaman bu hatayı ortadan kaldırmamaktadır; parçanın kütesine ve ısı iletme yeteneğine göre uygun çapta bir elektrotun kullanılması her gereklidir. Genel olarak köşe kaynaklarının oluk durumunda kaynak edilmesi önerilmektedir.

Nüfuziyet azlığının neden olduğu hataların giderilmemeleri halinde; özellikle dikişin yorulma dayanımı ciddi bir Şekilde düşer ve dikiş bükülmeye zorlandığında, dipteki oyuk ve çentikler kırılma eğilimini arttırır ve birleştirme bu kısımdan çatlayarak kolayca kırılır. (Mishra ve Ma, 2005)

4.6.2 Birleştirme azlığı (yetersiz erime)

Kaynak metali ile esas metal veya üst üste yığılan kaynak metaline ait pasolar arasında birleşmeyen kısımların bulunması sonucunda bu hata ortaya çıkar. Birleşme azlığına genellikle cüruf, oksit, kav veya diğer demir olmayan yabancı maddelerin varlığı neden olur. Bu maddeler, esas metal veya ilave metalin tamamen erimesine engel olduğundan yetersiz bir birleşme ortaya çıkar.

Bu hatanın oluşmasının kaynak anında önlenebilmesi için, uygun akım Şiddeti ve kısa ark boyu ile kaynağı programını oluşturmak gereklidir. Fazla düşük akım Şiddeti yetersiz bir birleşme oluşturmakta; buna karşın, çok yüksek akım Şiddetinde elektrotun çabuk erimesi dolayısı ile aynı hataya neden olabilmektedir.

Kaynak kesitindeki birleşme azlığı, hem statik, hemde dinamik zorlamalarda bağlantının dayanımını büyük çapta düşür. Bu hatayı gidermek için kaynak dikişinin hatalı kısımlarının tamamen sökülüp yeniden kaynak edilmesi gereklidir. (AWS, 2008)

4.6.3 Yanma olukları ve çentikler

Bu hata, kaynaktan sonra esas malzemede ve dikişin kenarındaki oyuk veya çentik şeklinde gözüktür; oluklar dikiş boyunca sürekli veya kesintili olarak devam eder. Bütün ark kaynak yöntemlerinde karşılaşılan yanma oluklarının esas nedenleri, manipülatör kolunun hızlı hareket etmesi, kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi ve hatalı manipülasyonlardır. Yanma olukları kaynak dikiş kesitini zayıflattıklarından, özellikle dinamik zorlamalara maruz bağlantılarda varlıkları istenmez.

Yanma oluklarının oluşmasının nedenleri şunlardır:

- Akım şiddetinin yüksek seçilmesi,
- Robotun aşırı hızla çalışması,
- Elektrotun fazla zikzak hareketler yapması,
- Kaynak anında elektrotun yanlış bir açıyla robotta ayarlanması ,
- Esas metalin aşırı derecede paslı olması.

Çentikli kaynak dikişlerinin dinamik zorlamalara karşı dayanımı çok zayıftır, bu nedenle en ufak bir çentik ve oluğun kaynak üzerinde bulunmasına izin verilmemelidir.

Yanma nedeniyle oluşabilecek çentik veya oluklar (iyice temizlendikten sonra) yeni bir paso kaynak ile doldurularak tamir edilebilirler.

4.6.4 Bindirme dikişlerde levha kenarlarının erimesi

Bu hata, üste bindirilen sacın serbest kenarlarının kaynak anında erimesi sonucu ortaya çıkmaktadır. MIG-MAG kaynağında levha kenarlarının erimesine, yanlış torç ve eksen ayarı, yetersiz bindirme, uygun olmayan bir elektrot çapı veya sac kalınlığının seçilmesi neden olabilmektedir.

Bindirilen kenarın kaynak anında erimesi, dikiş yüksekliğini ve dolayısı ile dikişin statik ve dinamik dayanımlarını azaltır; bu hata robot sonrası el ile düzeltme amacıyla tekrar kaynakla doldurularak ortadan kaldırılabılır. (AWS, 2008)

4.6.5 Kalıntılar

Eriyen elektrot ile gaz altı kaynağında iki tür kalıntı ile karşılaşılır; bunlar cüruf ve oksit kalıntılarıdır. Kalıntılar gerek kaynak kesitini zayıflatmaları ve gerekse de çatlak başlangıcına neden olduklarından ciddi kalite problemi yaratırlar.

MIG-MAG kaynak yönteminde, cüruf kalıntısı problemi ciddi bir sorun değildir, zira kaynak banyosu cüruf örtüsü yerine bir koruyucu gaz atmosferi tarafından korunmaktadır. Yalnız özellikle çeliklerin kaynağında kullanılan bazı tür elektrotlar; dikiş üzerinde çok az miktarda camsı bir cüruf oluştururlar; çok pasolu kaynakta bir sonraki pasoya başlamadan önce bunların farklı proseslere çekilip temizlenmesi özellikle önerilen bir konudur.

Alüminyum, magnezyum ve alaşımları ile paslanmaz çeliklerin kaynağında, özellikle kaynak hızının yüksek seçilmesi halinde esas metalin yüzeyini kaplayan oksit tabakası banyo içinde hapsolür ve dikiş içerisinde oksit kalıntıları da bağlantının zayıflamasına neden olur. Bu olaya programda kaynak hızını azaltıp, ark gerilimini yükselterek mani olunabilmektedir.

4.6.6 Çatlaklar

Kaynak hataları arasında en tehlikelileri çatlaklardır; çatlak içeren kaynaklı bağlantının gerek dinamik ve gerekse statik zorlanmasına izin verilmemelidir.

Genellikle, bu çatlaklara, dikişteki bölgesel gerilmeler neden olmaktadır. Fikstür üzerinde kaynak anındaki çarpılma ve çekmelere karşı koyan kuvvetler, iç gerilmelerin dağılmasında önemli rol oynar. Fikstürde kaynak yerinin bir hava akımı ile çabuk soğutulması veya düşük ortam sıcaklıkları çatlama meylini artırır. Birbirine tam uymayan parçalarda ve düzgün olmayan kaynak ağızlarında görülen nüfuziyet azlığı, kötü birleşme veya cüruf kalıntıları gibi hatalar zamanla kılcal çatlakların oluşmasına neden olur.

Yumuşak çeliklerin kükürt içeriği, malzemenin kaynak kabiliyetini etkilediği gibi, esas veya ilave metalde fazla miktarda kükürt bulunması kaynak yerinin çatlamasına neden olur. Böyle bir durum ortaya çıktığında, hemen basit bir kükürt analizinin yaptırılması gereklidir. Kükürt gibi diğer bazı alaşım elementlerinin fazlalığında çatlamaya neden olabileceğini akıldan çıkarmamak lazımdır.

Kaynaklı bağlantılarda karşılaşılan çatlaklar, kaynak metalinde ve esas metalde oluşanlar olmak üzere yer bakımından iki ana gruba ayrılır. Kaynak metalinde görülen çatlaklar, şekil bakımından enlemesine, boylamasına ve krater çatlakları (yıldız çatlaklar) olarak sınıflandırılabilir.

Boylamasına çatlaklar genellikle kök pasolarda oluşurlar. Eğer bu kök pasolar tamamen sökülüp yeniden kaynak yapılmaz ise, çatlak sonraki pasolarda da kendini gösterir. Boylamasına çatlaklar bazen dikişlerde krater çatlaklarının devamı olarak da oluşabilirler.

Enine çatlaklar, kaynak anında hareket olanağı en az olan dikişlerde ortaya çıkarlar. Oluşum zamanına göre de çatlaklar sıcak ve soğuk çatlaklar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Sıcak çatlaklar, kaynak banyosu katılaşmaya başladığı anda oluşan, soğuk çatlaklar ise kaynak metali katılaştıktan sonra (hatta haftalar sonra da ortaya çıkabilen) ortaya çıkan çatlaklardır. Sıcak çatlaklara çelikler halinde esas metalin fazla miktarda kükürt, fosfor ve kurşun, demir dışı metallerde ise kükürt ve çinko içermesi sonucu karşılaşılr. Ayrıca kaynak dikiş kesitinin, esas metalin kalınlığı yanında çok küçük olması da bu çatlaklara neden olur.

Sıcak çatlakların oluşumuna aşağıda belirtilmiş olan önlemler alınarak mani olunabilir:

- Sıcak çatlak oluşumunu teşvik eden elementler içermeyen esas metal kullanmak,
- Yüksek manganezli kaynak elektrotu kullanmak,
- Kaynak dikişinde oluşan gerilmeleri azaltmak gayesi ile ön tav uygulamak,
- Temiz koruyucu gaz kullanmak,
- Kaynak dikişinin boyutlarını arttırmak (kök pasonun),
- Kaynak ağız geometrisi ve dikiş formunu değiştirmek.

Krater çatlakları da bu gruba giren çatlaklardandır ve krater oluşumuna mani olunarak bu çatlakların ortaya çıkması önlenabilir.

4.6.7 Esas metalde oluşan çatlaklar

Esas metalde oluşan çatlaklara sade karbonlu ve az alaşımlı yumuşak çeliklerde nadiren, yüksek karbonlu ve alaşımlı yüksek mukavemetli çeliklerde daha sık olarak rastlanır; bu olaya kaynaktan sonra ısının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesi neden olmaktadır. Esas metalin bileşimi, soğuma hızı ve çekme gerilmeleri bu tür çatlakların başlıca nedenleridir; bu etmenlerden en şiddetlilerinden birisi olan soğuma hızı, parça kalınlığına, kaynak anında parçaya uygulanan ısı girdisine ve parçanın sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Çeliklerin sertleşme eğilimlerini bileşimleri tayin eder; sertleşme eğilimine sahip bir çelikte ısının tesiri altında kalan bölgenin hızlı soğuması, sertleşmeye neden olur. Özellikle kalın parçalarda ısı çabuk dağıldığından, parça kalınlığı arttıkça çatlak oluşma olasılığı da artar. Isının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesini önlemek için soğuma hızını olabildiğince yavaşlatmak gereklidir; soğuma hızı ancak aşağıda sıralanmış kurallara uyularak yavaşlatılabilir:

a- Kaynak edilecek parçalara kaynaktan önce ve sonra mümkünse fikstür üzerinde tav uygulanmalıdır.

b- Parçaya verilen ısı miktarı arttırılmalıdır. Örneğin: yüksek akım şiddeti ile geniş pasolar çekilmelidir.

c- Çok pasolu kaynaklarda, parçaya verilen ısının çabuk dağılması önlenmelidir. Yani sıcaklık olanaklar ölçüsünde sabit tutulmalıdır. Bu da pasoların birbirinin arkasından, soğumaya meydan vermeden manipülatör makul bir hızda hareket ederek çekilmesiyle sağlanır.

d- Sertleşme meyli fazla çeliklerin kaynağında, önceden tavlama işlemi uygulanmadığı durumlarda, puntalamadan ve arkı, kaynak ağzı dışında oluşturmaktan kaçınılmalıdır. Böyle bir işlem, sert bölgelerin ve dolayısıyla yüzeysel çatlakların oluşmalarına neden olur.

Gerek kaynak metalinde, gerekse esas metalde oluşan çatlakların tek onarım şekli, hatalı yeri söküp çıkartarak yeniden kaynak yapmaktır. Bu işlemi yaparken bütün çatlakların tamamen çıkarılmış olmasına, özellikle dikkat edilmeli ve yeniden kaynak yapılacak yer çok iyi temizlenmelidir.

Dış zorlamanın şekli ne olursa olsun, çatlaklar daima bağlantının dayanım değerini düşürür. Bu bakımdan, hiçbir kaynak yönteminde çatlak oluşumuna izin verilmez. Kaynak dikişi tamamen katılaştıktan sonra ortaya çıkan soğuk çatlakların oluşumuna hidrojen gevrekliği, aşırı zorlanma ve çabuk soğuma neden olur. Kaynak dikişinin ortasında boylamasına olarak ortaya çıkan ve bu bakımdan merkez hattı çatlakları olarakta adlandırılan bu tür çatlaklara mani olabilmek için şu önlemler alınmalıdır:

- Kaynak dikiş boyutları büyütülmeli,
- Kök açıklığı azaltılmalı,
- Ön tav uygulanmalı,
- Krater oluşumuna mani olunmalıdır.

4.6.8 Kaynak dikişinin taşması

Dikiş taşması, kaynak metalinin, esas metal üzerine birleşme olmadan taşması hatasıdır. Bu taşma tek tek noktalar halinde yada bütün dikiş boyunca ortaya çıkmaktadır. Genellikle, köşe kaynaklarında oluşan bu taşma olayı, dikişin gereğinden fazla kabarması şeklinde kendini gösterir. MIG - MAG kaynağında yanlış manipülasyonda taşmaya neden olur. Özellikle, yatay ve düşey düzlemdeki, yatay dikişlerin (korniş) kaynağında, robotun erişimine ve doğru açı ile yaklaştığına emin olunmalıdır. Gereğinden fazla kalın elektrot kullanmaktan kaçınılmalıdır. Taşmanın önlenmesinde, akım şiddetinin uygun seçilmesi ve kısa ark boyu ile çalışılmasında önemli etkisi vardır; akım şiddeti yükselince veya ark boyu artınca taşma olayı kendini gösterir.

Taşmalar özellikle dinamik zorlamalarda tehlikelidir, çünkü bu noktalarda bir gerilme yığılması oluşmaktadır. Kaynak kesitinde bir daralma yoksa taşmalar statik yüklemde önemli bir hata olarak görülmez. Taşmaların neden olduğu hatalar, bir keski veya taşla giderilebilir; ancak bunu yaparken, dikiş veya esas metalin üzerinde derin iz bırakmamaya dikkat edilmelidir. (AWS, 2010)

4.6.9 Gözenek oluşumu

Gazların sıvı metal içindeki çözünürlüğü, metal soğudukça azalır ve metalin sıvı halden katı hale geçişi sırasında çözünürlük büyük bir oranda düşer. Kaynak banyosu katılaştırken sıvı metalde çözünmüş haldeki artık gaz dışarı çıkamaz ve gaz kabarcıkları oluşturur. Kaynak banyosunun katılma hızı çok fazla ise, bu gaz kabarcıkları banyo yüzeyinden atmosfere ulaşamaz ve dikiş içinde gözenek olarak hapsolür.

MAG kaynağında genel olarak azot (N_2), hidrojen (H_2) ve karbonmonooksit (CO) gözeneğe yol açar. Bu üç gazdan azot, eğer çevredeki hava atmosferinden emilmişse, MAG kaynağında gözenek oluşumunun en kuvvetli nedenidir. Hidrojen, yüzeydeki nemli tabakalardan veya boya tabakalarından açığa çıkar ve yeterli miktarda olduğunda gözenek oluşturur. Karbonmonooksit gözeneği, ilave teldeki deoksidasyon * elemanları (silisyum, mangan, alüminyum, titanyum veya zirkonyum) gerekenden düşük miktarda olduğunda, çelikteki karbonun oksijenle reaksiyonu sonucu açığa çıkar.

Bir kaynak dikişinin içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından dayanım değerlerini düşürür ve aynı zamanda yerel gerilme birikmelerine neden olur. Bu durum bağlantının mekanik özelliklerini kötüleştirir. Gözenekler özellikle yorulma dayanımını azaltan bir etki yaparlar. Ancak, dağılmış gayet küçük gözenekler, birleştirmenin statik dayanım değerlerini fazla etkilemezler. Yüksek dinamik dayanım istenen konstrüksiyonlarda fazla gözenek içeren dikişler sökülerek yeniden kaynak yapılmalıdır.(AWS, 2010)

4.6.10 Hatalı kaynak şekli ve boyutu

Genellikle, diğer bakımlardan hatasız, fakat dikişin şekli ve boyutu bakımından farklı kaynaklar bu gruba girer. Bu kaynaklarda, dikiş istenen şekil ve ölçülere uymaz. Bu hatalar, fazla iç bükey veya dış bükey, yüzey bozukluğu, kalınlık azlığı ve eşit

* Deoksidasyon: Kimyasal bir bileşimin içindeki oksijenin çeşitli yöntemlerle uzaklaştırılması işlemidir. Çelik üretiminde yaygın olarak kullanılsa da bununla sınırlı olmayıp alaşımlarda da sıkça kullanılan bir işlemdir. Oksijen ilgisi yüksek olan elementler kullanılarak deoksidasyona tabi tutulmak istenen bileşikteki oksijeni mevzu bahis elementlere yönlendirerek bileşiği oksijence fakirleştirmektedir.

olmayan dikiş uzunluğu şeklinde ortaya çıkabilir. Hatalı kaynak boyut ve şekillerinin oluşumlarının başlıca nedenleri yanlış kaynak tekniklerinin uygulanmasıdır. Örneğin, köşe birleştirmelerinde: düşük akım şiddeti; dış bükeylik ve yüksek akım şiddeti de; iç bükeylik oluşturmaktadır. Bunlara, kaynak anında robotun torç parametre ve yörünge ayarı önemli derecede etkilemektedir. (AWS, 2011)

4.6.11 Sıçramalar

Sıçrama; kaynak anında çeşitli nedenlerle meydana gelen patlamaların etkisiyle oluşan küçük metal parçacıkların etrafa saçılması hatasıdır. Bunlar gerek kaynak dikişinin, gerekse esas metalin yüzeyinde istenmeyen ve mutlaka temizlenmesi gereken küresel kabarcıklar oluştururlar. Aşırı sıçrama kaynak dikişinin görünüşünü bozduğu gibi gereksiz elektrot sarfına da neden olur. Sıçramalar, üzerine kaynak metali yığıldığında, arada kalarak yapışmamayada neden olduğundan, özellikle çok pasolu kaynaklarda bu konuya dikkat edilmesi gereklidir. MIG-MAG kaynağında ayrıca sıçrayan metal damlacıkları torcun gaz nozuluna yapışarak tıkanmasına veya koruyucu gaz akımının türbülansına neden olur. Ark gerilimin yükselmesi, akım şiddetinin artması ve tel serbest ucunun büyük olması sıçramaları artırır. Genel olarak karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde diğer gazlara nazaran daha fazla sıçrama görülür. Sıçramanın en önemli sakıncaları, metal kaybı ve temizlenmek için harcanan zamandır. Bu hatanın, bağlantının dayanımı yönünden görünür bir etkisi yoktur. (AWS, 2002)

4.6.12 Dikiş yüzeyinin kötü görünüşü

Bu hata, dikişin yüzeyinde gözenek, cüruf kalıntısı, düzgün olmayan tırtıl oluşumu, dikişin tekrar başladığı noktalarda kötü birleşme ve kraterler içermesidir. Düzgün olmayan dikiş yüzeyinin ve yüzey çıkıntılarının oluşması, MIG-MAG kaynak yönteminde yanlış kaynak tekniklerinin uygulanmasına bağlıdır. Kaynağın, dış görünüşü hakkında bir karara varmadan önce, kaynak pozisyonu değerlendirilerek, birleştirilecek yerlerin daima robotun elektrotu doğru açı ve konuma getirebilecek bir duruma getirilmesi sağlanmalıdır. Kaynak dikişinin fena bir görünüşe sahip olması, bağlantının yorulma dayanımına etki eder. (AWS, 2008)

Yüzeydeki hatalar fikstürde bölgesel gerilme alanlarına, bunlarda yorulma çatlaklarının oluşmasına yol açarlar. Statik yüklemde dikişin dış yüzeyindeki hatalar, bağlantının dayanımını pek etkilemezler. Yüzeydeki bu kusurlu kısımlar türlü şekillerde ortadan kaldırılıp, yeniden kaynak yaparak onarılması hatasız bir üretim için gereklidir. (AWS, 2009)

4.6.13 Azot nedeniyle gözenek oluşumu

Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanıldığında, gözenek oluşumu için sınır değer %3 N₂ olmasıdır. Azot nedeniyle gözenek, daha çok kaynak makinası parametrelerinin ayarlanmasından doğmaktadır. Kaynak şartlarının, sıvı kaynak banyosunun azotu absorbe etme kabiliyeti ve dolayısıyla gözenek oluşumu üzerine büyük etkisi vardır.

Kaynak hızı da gözenek oluşumuna büyük bir etki yapar. Robotta yüksek kaynak hızlarında gözenek eğilimi azalır. Azotun absorpsiyonu aslında kaynak akımından veya kaynak hızından bağımsızdır ancak bu iki değer yüksekliği, kaynak banyosu içinde, azot içeriği düşük olan esas metal eriyen miktarının büyümesine yol açar. Dolayısıyla kaynak banyosu içindeki azot konsantrasyonu ve buna bağlı olarak gözenek oluşma eğilimi düşer.

4.7 Kaynak Robotu ile Gerçekleşen Proseslerde İş Güvenliği Gereksinimleri

Çalışmanın bu bölümünde, kaynak robotu ile gerçekleştirilecek kaynaklı birleşim süreçlerinde, iş güvenliği gereksinimleri ile ilgili genel önlem ve işlemleri anlatılmakta olup, anlatılanlar kesinlikle tüm güvenlik risklerini, önlemlerini ve ölçütlerini içermemektedir. Bu nedenle, çalışanların güvenliğinin sağlanması amacıyla, çalışma ortamına uygun olarak işletme düzenlemelerini içeren güvenlik kontrol standartlarının ve risk analizinin oluşturulması gerekmektedir.

Kaynak robotunun kurulacağı alanlarda aşağıdaki şartların sağlandığından mutlaka emin olunmalıdır:

- Robot, foundry tip¹ değilse, ortam sıcaklığının 0 C° - 45 C° arasında olması,
- Ortam nemliliğinin %20 RH ile %85 RH arasında olması,
- Robotun bulunduğu ortamın; suyun akacağı, giderin taşıdığı, yağmur baskını gibi su teması tehlikelerinden yalıtılmış olması,
- Robotun bulunduğu ortamda yanıcı ve aşındırıcı gaz yada sıvı olmaması,
- Robotun çalıştığı ortamda etkilenebileceği harmonik yüksek akım veya gerilim kaynağı bulunmaması,
- Deniz seviyesinden 1 km.'den daha yüksek olmaması,
- Ortamda bulunan toz emisyonunun, yağlı uçucuların, su buharının minimum olması,
- Yerdeki topraklama kabiliyetinin 100 Ω'dan az olması ve sadece robota özel olması (D tipi topraklama),
- Zemin titreşiminin 0,5 g'den ($\sim 4,9 \text{ m/s}^2$) az olması.

Robot sistemi, işletmeye gelmeden önce, sistem entegratöründen robotun kurulacağı alan için yerleşim planı istenmelidir. Robot kurulmadan önce mutlaka uygun sigorta değerlerinde trifaze elektrik hattının bağımsız olarak ve mümkünse UPS'den beslenerek robotun kurulacağı alana çekilmesi, başka aygıtların yüksek geriliminden ve akımlarından etkilenmeyecek şekilde ve gerekiyorsa Faraday kafesi² içerisinde ilgili alanda hazır hale getirilmesi gerekir. Yine eğer kaynak gazı dağıtım şebekesi ortak dağıtım şebekesi üzerinden ise, mutlaka şebekenin yeni robotun yerleşeceği alana uzatılması gereklidir.

Robotun fabrika sahasında varsa forklift yerine tavan vinci ile uygun mapalar yardımıyla dikkatlice taşınması tavsiye edilir.

¹ Foundry tip robotlar: Özel olarak dökümhane, dövme hane gibi sıcak ve zor şartlarda çalışmak üzere üretilmiş ve bu şartlara özel redüktör veya yağlarla donatılmışlardır.

² Faraday kafesi, elektriksel iletken metal ile kaplanmış veya iletkenler ile ağ biçiminde örülmüş içteki hacmi dışardaki elektrik alanlardan koruyan bir muhafazadır.

Robot kurulumunda, robotun kurulacağı zemin çok önemlidir. Zeminin mutlaka düz olması gereklidir. Robot hızlandığında veya yavaşladığında, büyük eylemsizlik ve merkezkaç kuvvetleri bütün yönlerden zemin vidaları ve baza yüzeyi üzerinden zemin betonuna aktarılır. Bu dinamik kuvvetlerin zemine tam olarak aktarılması ve bütün yönlerden gelen kuvvetlerin yer bağlantı plakasını hareket ettirmemesi için, zemin bağlantılarının doğru statik bağlantılar vasıtasıyla için sabitlenmiş olması gerekmektedir.

Her robot için ağırlığı, eksen boyu ve kol boyu için üretici kurulum detaylarını paylaşmaktadır. Ancak genel olarak örnekleme gerekirse zeminde en az 160 mm. beton dökülmüş olması ve beton zemin üzerinde beton incilmesi, eğim, yükselti, segregasyon, delik, çatlak veya başka zemin kusurunun olmaması gerekmektedir. Robotu üreticinin tavsiye ettiği kalınlıkta veya üretici belirtmemişse minimum 12.9 sınıfında M20 vidalarla zemine 65 mm.'den az olmamak kaydıyla bağlamalıdır. Yine üretici belirtmemişse 4,5 mm'den ince olmamak kaydıyla somunları vidalara sıkı geçecek şekilde 560 ± 30 N.m. ile sıkmak gerekmektedir. Yukarıdaki verilen kurulum detayları, robotlu sistemi kuracak firmadan mutlaka istenmeli ve kurulum akabinde mutlaka kontrol edilmelidir.

4.7.1 Ayarlama, çalıştırma veya bakım sırasında alınacak önlemler

Robot kurulumu yapacak kişiler mutlaka tulum, kask ve emniyet ayakkabısı giymelidir. Güç açıldığında robotun erişim uzayında kimsenin bulunmadığından ve robotun çalışma alanında bulunulurken, gücün kapalı olduğuna emin olunmalıdır. Denetim ve bakım işlerinin bir kısmının motor gücü açıkken yapılması gereklidir. Bu çalışmaların minimum iki kişilik takımlar halinde yapılması gereklidir. Bir çalışan başka herhangi bir işle meşgul olmadan, eli her an acil durdurma düğmesine basmaya hazır durumda ve çevreyi gözleyecek şekilde beklemelidir. Diğer kişi robotun çalışma alanında dikkatlice çalışmalıdır. Çalışmaya başlamadan önce mutlaka robotun çalışma alanının dışında bir boş alan oluşturulmalı, acil durumlarda bu alana kaçış kolay olacak şekilde düzenleme yapılmalıdır.

4.7.2 Robotun güvenli kullanımı

Kurulum, çalıştırma, bakım veya denetim öncesinde, ekipmanı doğru kullanabilmek için robot kullanım klavuzları ve tüm ekleri dikkatle okunmalıdır. Robotu ancak tüm ekipmanları, güvenlik unsurlarını ve yorumları/önerileri tamamen kavradıktan sonra kullanılması gerekir.

Anormal bir durumda robotun acil / güvenlik durdurma işlemini gerçekleştirmesi için bir takım öz denetim ve anormal denetim işlevleri bulunur. Bununla birlikte robot asla %100 güvenli değildir.

Geçmişte oluşan robot kazalarının çoğu aşağıdaki durumlarda gerçekleşmiştir:

Robotun çalışma alanında kimsenin bulunmadığı onaylanmadan, robot otomatik çalışma moduna getirildi. Otomatik çalışma modunda bulunan bir robotun çalışma alanına girildi ve robot beklenmedik bir şekilde hareket ederek, çalışana çarptı. Robotun etrafı güvenlik çitiyle çevrilmedi, ışık bariyeri veya kapı koruma sviçleri devre dışı bırakıldı.

"Güvenlik işlemleri göz ardı edildi" ve "Hiç beklenmedik bir durumda robot aniden hareket etmeye başladı". Başka bir deyişle, dikkatsizlikten ve "yerleşmiş prosedürlerin uygulanmaması" ndan kaynaklanan tehlikeli uygulamalar olarak özetlenebilir. Deyim yerindeyse bu gibi 'sürpriz saldırılarda', işçiler "acil durdurma" veya "tehlikeden kaçma" gibi hareketlerde bulunamayabilirler ve büyük kazalar yaşanabilir.

Manipülatörün ani hareketleri aşağıdakileri içermektedir:

- Düşük hızdan yüksek hıza ani hareket değişiklikleri,
- Başka bir operatörün gerçekleştirdiği değişiklikler,
- Program hataları veya hatalı çevre ekipmanlarından kaynaklanan sorunlar, robotun farklı bir programı çalıştırması,
- Gürültü ve hataya dayalı anormal davranış,
- Kullanım hatası,
- Düşük hızda çalıştırma niyetine rağmen, yüksek hızda çalıştırma,

- Kilitlenme için bekleyen parçanın aniden boşalması.

Yukarıdaki durumlar sadece örnek teşkil eder ve daha birçok farklı durumun neden olduğu kazalar mevcuttur. Beklenmedik bir şekilde çalışmaya başlayan bir robotu durdurmak veya robottan kaçmak çoğu zaman mümkün değildir. Bu nedenle aşağıdaki noktalara özen gösterilmesi gereklidir.

- Robota asla yaklaşılmamalıdır. Beklenmedik bir hareket sonucu robota çarpmak veya sıkışmak, ölümlerle veya ciddi yaralanmalarla sonuçlanabilir.
- Robotun çalışması gerekli değilse; hareket etmesini engellemek için robot kilitlenmelidir. Beklenmedik bir hareket sonucu robota çarpmak veya sıkışmak, ölümlerle veya ciddi yaralanmalarla sonuçlanabilir.
- Robotun davranışını gözlemlemek için yakın gözlem gerekiyorsa çalışma sırasında devamlı robotu izleyecek ikinci bir kişi bulundurmak gereklidir. Beklenmedik bir hareket sonucu robota çarpmak veya sıkışmak, ölümlerle veya ciddi yaralanmalarla sonuçlanabilir.
- Robot çalışırken, çalışma alanında bir operatör tarafından işlem yapılıyorsa daima acil durdurma butonuna basmaya hazır durumda olunmalıdır. Beklenmedik bir hareket sonucu robota çarpmak veya sıkışmak, ölümlerle veya ciddi yaralanmalarla sonuçlanabilir.

Bu kurallara uymak için, aşağıda anlatılan önlemleri derinlemesine anlamak ve harfiyen uygulamak gereklidir.

Robot, gereksiz çıkıntılar veya keskin uçlar bulunmayacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışma ortamına uygun malzemeden üretilmiştir ve çalışma sırasında kazaları ve hasarı asgari seviyeye indirmek için güvenli bir yapısı vardır. Bulundurduğu çeşitli güvenlik işlevleri sayesinde robot yüksek seviyede güvenlik sağlar; örneğin yanlış işlemin algılanıp robotun durdurulması veya acil durdurma işleminin gerçekleştirilmesi, hasar tehdidi bulunduğu anda çevre ekipmanlarının kilitlenmesi gibi farklı önlemlerde donatılmış olmalıdır.

Robotun çok eklemlili kol yapısı bulunur ve hareket sırasında her eklem açısı devamlı değişir. Özellikle öğretim sırasında hareketli parçalar arasında sıkışmamaya ve parçaların hareketli eklemlerine takılı bulunan durdurucu bloklara dikkat edilmelidir.

Robotu çalıştırmak ve kaynak için, elektrik gücü, hava ve soğutma suyu gibi kaynaklar gereklidir. Ancak standart olmayan kaynak ekipmanları robot performansını etkileyebilir, anormal davranışa, hatalara veya hasara yol açarak tehlikeli bir durum ortaya çıkarabilir. Asla belirtilenlerin dışında kaynak ekipmanı kullanılmaması önemlidir.

Robot çalışırken ve güç açık durumdayken uyulması gerekli olan kurallara, çalışma sırasında alınacak önlemleri belirtmek gerekir. Bazı durumlarda elektromanyetik dalgalar, çeşitli diğer gürültüler veya kusurlu devre kartları, kayıtlı programları silebilir. Emniyet olarak programları, sabitleri, vs. bir compact flaş karta, USB belleğe veya benzeri diğer ortamlara yedeklenmelidir.

4.7.3 Eğitim ve denetim için güvenlik unsurları

Robot kullanıcılarının ilgili öğretimi tamamlamış, robotun işlevleri ve güvenliği hakkında derinlemesine bilgi sahibi olmaları gerekir. Çalışma sırasında doğru prosedürleri iyi bilmeyen kişilerce robotun hatalı kullanımı sonucunda kazalar meydana gelebilir.

Motorlar çalışırken robotun çalışma alanına giriliyorsa, acil durdurma butonu anında ulaşılabilir olmalıdır. Ek olarak, bir gözetimci çalışma alanının dışında Resim 4.42'de örnek olarak görüldüğü üzere acil durdurma butonuna basmaya hazır bulunmalıdır. Bu sayede acil durdurma işlemi çabuk bir şekilde gerçekleştirilebilir.



Resim 4. 42 Örnek Bir Operasyon Kutusu ve Acil Durdurma Butonu

- MOTOR ON butonuna basıldığı zaman, robotta bulunan servo motorlar enerjilenir.
- START butonuna basıldığı zaman, yazılan bir programın, seçilen. programda çalıştırılma isteği yapılmış olur.
- STOP butonu: robotu istenilen anda durdurmak için kullanılır.
- EMERGENCY STOP, acil durdurma butonudur.
- TEACH; çalışma modunda manipülatöre öğretim yapılması için seçilir.
- PLAY BACK; çalışma modunda manipülatörün seçilen programı otomatik olarak koşması için seçilir.

Robotu çalıştırırken veya robotun çalışma alanına girerken baret ve emniyet ayakkabısı gibi koruyucu elbiseler giyilmelidir.

Robotun çalışma alanına girerken, başkasının robotu yanlışlıkla otomatik çalışma moduna geçirmesini engellemek için, robotun anahtarını ve otomatik çalışma moduna geçmek için gerekli emniyet kilidini operatör yanında bulundurmalıdır. Anahtar kilit içinde bırakılırsa başka operatörler yanlışlıkla robotu otomatik çalışma moduna geçirerek ciddi kazalara yol açabilirler.

Öğretim sırasında operasyon kutusuna “Öğretim Yapılıyor” yazılı bir işaret asılmalıdır. Diğer çalışanların bu işareti görebilmeleri önemle gereklidir. Aksi takdirde otomatik çalışma modunu başlatarak ciddi veya ölümcül kazalara yol açabilirler.

Birden fazla operatör robotun öğretimini gerçekleştiriyorsa, el terminalini elinde tutan kullanıcı söz sahibidir; verdiği komutlara diğerlerinin mutlak surette uyması gerekir. Birden çok kullanıcı tarafından verilen komutlar yanlış sonuçlar doğurarak kazalara yol açabilir.

Birçok gurubun birbiriyle konuşarak haberleştiği durumlarda, örneğin büyük bir sistemde (fabrikada), diğer çalışanlarla haberleşmek için haberleşme sistemi entegre edilmiş kulaklıklar veya el hareketleri gibi yöntemler kullanılabilir. Gürültülü bir ortamda yanlış anlaşılma sonucu kazalar oluşabilir.

Acil durumda hemen uzaklaşmak için önceden bir güvenli nokta (kaçış rotası) belirlenmelidir.

Devamlı robotun hareketleri gözlemlenmeli ve asla robota arkaya dönük çalışmamalıdır. Çalışan kişi robota dönük değilse, manipülatörün hareket ettiğini fark edemeyebilir ve bu durum kaza ile sonuçlanabilir.

Herhangi bir anormallik fark edildiğinde hemen acil durdurma butonuna (e-stop) basılmalıdır. Anormal bir durum görünüyorsa, her an robotta ani bir hareket gerçekleşebilir.

Robotun çalışmaya başlatılması, nasıl kullanılacağı ve acil durumda nasıl hareket edileceği ile ilgili uygun birer çalışma kodu ve kontrol listesi hazırlanmalıdır. Robotu kullanırken çalışma kodları takip edilmelidir. Sadece insan hafızasına bağlı kalınırsa, kullanıcıların unutkanlıkları sonucu kazalar oluşabilir.

Robotun çalışmasını gerektirmeyen işlemler, robotun gücü kapalı iken gerçekleştirilmelidir. Robot, gücü kapalıyken asla çalışmaz ancak fren boşalması gibi durumlarda mevcut potansiyel enerji, hareket enerjisine dönüşebileceğinden yükte tutulmamalı ve eksen altında durulmamalıdır.

Öğretim sırasında, robotu çalıştırmadan önce mutlaka program ve adım numaralarını gözden geçirmelidir. Bilmeden yanlış programları veya adımları düzenlemek kazalara yol açabilir.

Hafıza koruma işlevini kullanarak tamamlanmış programların kazara değiştirilmesi önlenmelidir. (Programların ve sabitlerin değiştirilmesini önleyen hafıza koruma fonksiyonu, robotun kontrol ünitesinde bulunabilir.)

Öğretimi tamamladıktan sonra ileri/geri kontrol ve hız aşımı işlevini kullanarak robotun hareketleri kontrol edilmelidir. Hatalı bir program %100 hızda kontrol edilirse çarpışma sonucu kazalar oluşabilir. Öğretim tamamlandıktan sonra güvenlik çitinin içindeki alanda alet, çanta, ürün vs. unutulmadığı kontrol edilmelidir. Yağlanmış veya etrafta alet bırakılmış bir iş ortamı tehlikelidir, düşme ve çarpma sonucu kazalara yol açabilir.

Bakım veya diğer bir amaçla, kontrol ünitesinin kapısı açıkken ana güç kaynağı açılacaksa, aşağıdaki önlemlerin uygulandığına kesinlikle emin olunmalıdır.

Önlemleri göz ardı etmek robot ve/veya kontrol ünitesinin bozulmasına veya hatalı çalışmasına sebep olabilir.

- Kontrol ünitesini doğrudan güneş ışığına maruz bırakmak.
- Kapıyı açtıktan sonra kontrol ünitesinin içindeki parçaları el feneri veya başka güçlü ışık kaynaklarının ışıklarına maruz bırakmak.

4.7.4 Deneme sırasında güvenlik

Öğretim programında bulunabilecek hataların yanı sıra, deneme sırasında tasarım hataları, öğretim hataları veya üretim hataları ortaya çıkabilir. Bu nedenle deneme çalıştırması daha fazla güvenlik önlemi gerektirir. Deneme çalıştırmasını aşağıdaki noktalara dikkat ederek gerçekleştirilmesi durumunda riskleri azaltılabilmektedir.

Robotu durduran tüm butonlar (acil durdurma butonu ve diğer durdurma butonları) ve bunların sinyalleri kontrol edilmelidir. Bununla birlikte anormalliklerin algılanması ile ilgili işlevler (limit anahtarları, konum algılayıcılar vb.) kontrol edilmelidir. “Durdurma” sinyalinin onaylanması özellikle önemlidir. Acil bir durumda butonunun veya sinyalinin çalışmaması kazalara veya yaralanmalara yol açabilir.

Deneme sırasında hareketi kontrol etmek için, hız aşımı fonksiyonu kullanılarak robot yavaş hızda (%5 - %10) çalıştırmaya başlatılmalı ve bu işlem 2 ila 3 kez tekrarlanmalıdır. Herhangi bir hata oluştuğunda derhal giderilmelidir. Sonra hız kademe kademe (%30 → %70 → %100) arttırılabilir ve her hızda işlem 2 ila 3 kez tekrarlanarak hareket onaylanır. Denemeye son hızda başlanırsa, oluşacak bir hata aynı zamanda robota veya çalışana hasar vereceğinden, robotu durdurmak kolay olmayacaktır. %100 hızında hareket eden bir robottan kaçmak mümkün değildir.

Deneme sırasında beklenmedik şeyler oluşabileceği için, programın doğrulanması **asla** güvenlik çitinin içinden yapılmamalıdır. Deneme çalıştırması sırasında öngörülme hızda hareketler olabilir, bu nedenle beklenmedik kazalar oluşması ihtimali bulunur.

4.7.5 Otomatik çalışma için güvenlik

Robotun bulunduğu çalışma ortamı temiz olmalıdır, işe başlarken ve bitirdikten sonra ortam düzenlenmelidir. Çalışma ortamı kirli veya dağınık olursa, takılma ve düşme gibi kazalar oluşabilir.

Günlük çalıştırma öncesinde, belirlenen risk kontrol listesindeki önlemlerin alınması sağlanmalıdır. Anormal durumlar, önceden fark edilerek kazalar önlenebilir.

Güvenlik çitinin tüm girişlerine “girmek yasaktır” yazısı asılmalı ve tüm çalışanlar bu kuraldan haberdar edilmelidir. Aksi takdirde robotun çalışmadığını düşünerek güvenlik çitinin içine giren personel risk yaratmaktadır.

Otomatik çalışma modunu başlatmadan önce güvenlik çitinin içinde kimsenin olmadığına kesinlikle emin olunmalıdır. Kazaların çoğu bu işlem atlandığı için meydana gelmektedir. Otomatik çalışma modunu başlatmadan önce program numarasının, adım numarasının, modun ve başlatma seçiminin otomatik çalışma için uygun olduğu onaylanmalıdır. Robot, üzerinde yanlış bir program veya adım seçili iken çalıştırılırsa beklenmedik veya hatalı bir hareketle bulunarak kazaya yol açabilir. Kesinlikle çitin kapısını, çitin içerisindeyken arkadan kapatıp, robota hareket verilmemelidir. Dünya genelinde bu tür tehlikeli davranışlardan dolayı birçok çalışan, robot çarpması sonucu hayatını kaybetmiştir.

Otomatik çalışmaya başlamak için robotun uygun bir konumda olup olmadığını kontrol edilmelidir. Program numarasının ve adım numarasının robotun o andaki konumuna uygun olup olmadıkları kontrol edilmelidir. Robot hatalı bir konumdaysa, program ve adım doğru olmasına rağmen farklı davranarak olası bir kazaya yol açabilmektedir.

Başlatmadan önce acil durdurma butonuna anında basılabileceğine emin olunulması beklenmedik durumlarla başa çıkmak için önemlidir.

Kullanıcılar robotun hareket güzergâhına, davranışına, çalışma sesine aşina olmalıdır ki anormal durumları anlayabilsinler. Anormallikler yaklaşan bir sistem hatasını haber verebilirler. Bu tür davranışlar gözlenerek hatalar oluşmadan önlenebilir. Anormal durumların anlaşılabilmesi için kullanıcıların normal çalışma belirtilerini çok iyi bilmeleri gerekir. Yine yağlı eksilmiş bir redüktörden gelen ses farkını

duyarak yağını değiştirme maliyeti 30 TL ise, yağsızlıktan sesi duyulmadığından önlem alınmamış ve bozulmuş bir kaynak manipölatörü redüktörünün maliyeti 3.000 TL'den fazladır. Anormal davranış görüldüğü anda acil durdurma butonuna basılmalı ve hata, bakımdan sorumlu personele bildirilmelidir. "Hareket ediyorsa çalışıyordur" yaklaşımı, sadece üretimin uzun süreler durduracak arıza ile sonuçlanmakla kalmayıp, ciddi yaralanmalara da yol açabilir.

Bozulma sonrası kusurlar giderilirken veya giderildiğine kanaat getirildikten sonra, güvenlik çitinin içinde hala bir kullanıcı bulunuyorsa asla robotu çalıştırmamalıdır (düşük hızda deneme gibi). Böyle durumlarda ne olacağı kesin bir şekilde öngörülemeyeceğinden, farklı hatalar oluşarak kazalar meydana gelebilir.

4.7.6 Robot ve kontrol ünitesi üzerindeki etiketler ve işaretler

Türkiye'de kullanılan bütün robotlar ithal edilmiştir. Bu sebeple çoğu etiket, işaret ve işaretçi; menşei ülke dilinde ve İngilizce olarak yazmaktadır. Bu işaretlerin entegratör ve ithalatçı firmalar tarafından Türkçeleştirilmesi zorunluluktur.* Bu yönetmeliğe göre makinalar üzerinde yer alan bilgi ve uyarılar, tercihen hâlihazırda kolayca anlaşılabilen sembol veya şemalardan oluşmalıdır. Herhangi bir yazılı veya sözel bilgi ve uyarı Türkçe hazırlanmalıdır. Bu bölümün devamında, Türkiye'ye ithal edilen robot ve kontrol ünitelerinde bulunabilen farklı tipte ve dilde etiketler ve uyarı levhaları hakkında bilgi verilmiştir. şekil 4.33'de görölen farklı tipte ve dilde yüksek gerilim işaretleri, güç kaynağı birimini ve elektrik çarpması tehlikesini belirtir

* 27.158 sayılı Resmi Gazete, Makine Emniyet Yönetmeliği, 3 Mart 2009 (2006/42/AT)



Şekil 4. 33 Farklı Tipte ve Dilde Yüksek Gerilim İşaretleri

Bu işaret ana güç girişinde, kontrol ünitesindeki trafo kapağında ve robotun kablo grubu bağlantılarında bulunur.

Kontrol ünitesi üzerinde bu işarete sahip kapakların altında ciddi elektrik şoku yaratabilecek şebeke gücü (200V - 430V AC) bulunur. Bakım sırasında kontrol ünitesinin ve güç dağıtım panelinin kapaklarının açılması gerekiyorsa, bu birimlere giden güç mutlaka kesilmelidir.

Yüksek gerilim işaretleri bir robota bir güç girişini belirtir. Motorun ve algılayıcı birime, üzerinde bu işaret bulunan kapakların altındaki farklı bağlantı elemanı ve terminal blokları aracılığıyla güç verilir. Şebeke gücü bağlıyken bağlantı elemanlarına veya terminal bloklarına çıplak elle veya iletken maddelerle dokunulmamalıdır. Şebeke gücü bağlıyken bağlantı elemanları veya terminal blokları sökülürse elektrik çarptırabilir veya robot bozulabilir. Kontrol ünitesinde herhangi bir bakım işlemi yaparken şebeke gücü mutlaka kesilmelidir. Şekil 4.34'te yüksek kapasitif gerilim tehlike işareti, işaretin olduğu bölgede yüksek gerilim olduğunu belirtir.



Şekil 4. 34 Yüksek Kapasitif Gerilim Tehlike İşareti

Bu işareti taşıyan birimlere dokunurken dikkatli olunmalıdır. Şebeke gücü kesildikten sonra bile kontrol ünitesi içerisinde elektrik yüklü parçalar bulunur. Bu nedenle şebeke gücü kesildikten hemen sonra bunlara temas etmek tehlikelidir, elektrik çarptırabilir.

Şekil 4.35’de görülen işaret depolanmış elektrik enerjisi uyarısıdır. Bu yüzden üzerinde bu işaret bulunan robot birimlerini sökerekten dikkatli olunması gerekmektedir.



Şekil 4. 35 Depolanmış Elektrik Enerjisi Uyarısı

Robotu bakım için parçalarına ayırırken bile, bu işareti taşıyan parçalar asla sökülmemelidir. Bu parçaların sökülmesi ölümcül veya ciddi yaralanmalara yol açabilir.

Şebeke gücünü kestikten sonra, kontrol ünitesi içerisinde çalışmaya başlamadan önce 5 dakika kapasitif gerilimin sönümlenmesi mutlaka beklenmelidir. Özellikle bu gibi yüksek kapasitif yükün olduğu bölgelerde küçük bir lamba üzerinden kalan kapasitif akım sönümlenir. Şekil 4.36’da görüldüğü üzere herhangi yanan bir ışık görüldüğünde müdahale etmeden önce mutlaka sönmesi beklenmelidir.



Şekil 4. 36 Yanan ve Sönmüş Kapasitif Gerilim Gösteren Ünite Lambası

Islak ellerle çalışması sonucu elektrik çarpabilmektedir. Parçalar ıslanırsa robot hatalı çalışabilir veya bozulabilir.

Şekil 4.37’de görülen robotta olası sıcak yüzeyleri gösterir işaretçileri taşıyan parçalara dokunmadan önce sıcak olup olmadıklarının kontrolü şarttır. İşaretili sıcak parçalara dikkatsizce dokunmak, yanıklara yol açabilir.



Şekil 4. 37 Robotta Olası Sıcak Yüzeyleri Gösterir İşaretçiler

Şekil 4.38’de görülen el ve uzuv sıkışması uyarıcı işaretleri taşıyan yerlere asla el sokulmamalı ve sistem kilitlenmeden müdahale edilmemelidir. Sadece öğretim sırasında değil, motorlar kapalı olduğu anda da frenler boşalabilmektedir.



Şekil 4. 38 El ve Uzuv Sıkışması Uyarıcı İşaretleri

Bakım ve kontrol yaparken, el veya vücut uzuvlarının bu yerlerde sıkışmalarını önlemek için gerekli önlemlerin alınması şarttır.

4.7.7 Koruyucu gaz sağlama sistemleri, kullanımı ve emniyet kuralları

Gaz altı kaynak yöntemlerinde, daha önceden de belirtilmiş olduğu gibi kaynak bölgesi ve ark, atmosferin olumsuz etkilerinden, koruyucu gaz örtüsü tarafından korunur. Bu gazın tüm işlem süresince yeterli miktarda kesiklik yapmadan sürekli olarak kaynak bölgesine beslenmesi, koruyucu gaz donanımı tarafından gerçekleştirilir. Kaynak için gerekli koruyucu gaz iki farklı sistem ile sağlanabilir:

- Basınçlı gaz tüpünden,
- Merkezi gaz dağıtım sisteminden.

Ülkemizde gaz altı kaynak yöntemleri için gerekli koruyucu gaz, genellikle basınçlı tüplerden sağlanır. İşletme içi merkezi sistem gaz dağıtım şebekeleri henüz çok yaygın uygulama alanı bulamamıştır; zira bu sistemin ekonomik olabilmesi için çok sayıda gaz altı kaynak donanımının işletme içinde yoğun bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Merkezi gaz dağıtım sistemlerinde şebekeye verilen gaz iki ayrı biçimde sağlanır:

- Çok sayıda tüpün bir manifold ile birbirlerine bağlanması yoluyla beslenen bir merkezi gaz dağıtım sisteminden,

- Büyük basınçlı gaz tanklarında sıvılaştırılmış konumda bulunan gazın buharlaştırılması ile beslenen bir gaz dağıtım sisteminden.

Merkezi sistem ile dağılan gazın ne şekilde sağlanacağı tamamen tüketim ile ilgilidir. Merkezi sistemin en büyük üstünlüğü, bir basınçlı kap olan ve özel özen gerektiren gaz tüplerinin yerine, atelyeler içinde gaz dağıtımını sağlayan borulardan yararlanarak hem daha güvenli ve hem de gerektiğinde bir kaynak robotu istasyonunda bir tüpün verebileceğinden daha fazla gaz sağlamak ve tüp değiştirme sırasında ortaya çıkan iş kayıplarını önlemektir. Kaynak makinası sayısının çok, buna karşın gaz sarfiyatının fazla olmadığı durumlarda, bir manifold ile bağlanmış tüplerden borularla, kaynaklı imalat alanına taşınan gaz kullanılır. Günümüzde, gaz fabrikaları, 6 tüpü birarada bir çelik konstrüksiyon içine yerleştirilmiş ve tüpler bir manifold ile birbirine bağlanmış şekilde koruyucu gaz tüplerini kaynaklı üretim yapan işletmelere servis yapmaktadırlar. Gaz tüketiminin çok daha fazla olduğu durumlarda ise, gaz karbondioksit halinde olduğu gibi bir merkezi tankta sıvı halde bulunur ve gereken miktarda gaz, özel buharlaştırıcıdan borular yardımı ile tüketim yerine sevk edilir. Türkiye’de soygaz tüpü olarak, oksijen için üretilmiş olanı 40 veya 50 litre hacimli tüpler kullanılmaktadır. Batı ülkelerinde ise, 10, 20 litre ya da 50 litre hacimli, 200 atü (1 atü = 0,980665 bar) ile doldurulan tüpler tercih edilmektedir; bu şekilde tüplerde 2 m³, 4 m³ veya 10 m³ gaz depolanabilmektedir.

Kaynak için gerekli olan gaz, tüp içindeki veya merkezi buharlaşma ünitesinin çıkışındaki basınçta kullanılamaz, bu bakımdan kaynak için yeterli debide gaz sevk edebilmek amacı ile, kaynak donanımında tüp çıkışına veya merkezi dağıtım hatlarında tüketim noktalarında bir basınç ayar ventili ve akış ölçer olarak adlandırılan aynı anda da kaynak bölgesine sevk edilen gazın miktarını ölçen bir cihaz takılır. Tüp ağızlarına takılan bu cihazların bir türü aynen oksijen tüpündeki düzeneği andırır; bunun üzerinde tüpe yakın olan manometre tüp basıncını, diğeri ise gaz debisini gösterir. Gaz debisi bu şekilde ölçülüp ayarlanabildiği gibi, akış ölçer adı verilen bir konik cam tüp içindeki hareketli bir bilye ile de yapılabilir. Gaz tüplerine takılan basınç ayar ventilleri sadece belirli bir gaz türü içindir ve bunlar tasarlandıkları gaz için kullanılmalıdır.

CO₂ tüpleri içinde gaz sıvı haldedir ve bu bakımdan gaz tüpleri içerdikleri sıvı gazın ağırlığına göre 10 kg., 20kg. ve 30 kg.'lık olmak üzere sınıflandırılırlar. 1 kg. sıvı CO₂ teknik olarak 540 litre koruyucu gaz oluşturur.

Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması durumunda, tüp içinde gaz sıvıdan buharlaşırken ortamdaki enerji çeker ve dolayısıyla tüpte ortaya çıkan sıcaklık düşmesi sonucu kuru buz olarak adlandırılan CO₂ karı oluşur ve bu kar vanayı tıkar; sürekli olarak 12 lt/dk'dan daha fazla debilerde CO₂ kullanılması veya kaynak işleminin soğuk iklimlerde yapılması durumlarında tüp çıkışına bir ısıtıcı konur. MIG/MAG kaynaklı robot yönteminde pek çok durumda koruyucu gaz olarak, saf bir gaz değil de gaz karışımları kullanılır; tüp içinde standart karışım gazlar piyasadan sağlanabilmektedir. Endüstri'de pek yaygın olmayan, diğer bir karışım gaz elde etme yöntemi de gaz mikserleri kullanmaktır; bu mikserlerin 2 veya 3 girişleri vardır, çeşitli tüplerden gelen gazları istenen oranda karıştırırlar. Karbondioksit içeren karışım gazlarda yüksek basınç nedeni ile karbondioksit, gaz değil, sıvı haldedir ve bu bakımdan tüplerin vanasına takılmış ve tüpün iç kısmında karışımı sağlayan bir sifon vardır. Çoğu uygulamalarda, tüpün ilk kullanıma alındığı zaman ile tüp uzunca bir süre kullanıldıktan sonraki karışım gaz, bazı tüplerde bileşim farklılıkları göstermekte ve bu olay da kaynak kalitesini etkilemektedir. Mikser (karıştırıcı) kullanımı halinde, bu olay ortadan kalkmakta ve istenildiği zaman da gaz karışımını değiştirebilme olanağı sağlanmaktadır. Basınçlı gaz tüpleri patlayıcı kaplar sınıfına girdiklerinden, gerek taşınmaları ve gerekse kullanılmaları sırasında özel dikkat gereklidir. Tüm basınçlı gaz tüplerinin boğaz kısmına şu açıklamalar markalanmak zorundadır ve her basınçlı gaz tüpü:

- Yapımcı kuruluşun markası veya adı,
- Gazın türü,
- Çalışma basıncı,
- Kontrol basıncı,
- Kontrol tarihi,
- Kontrol işareti,

bilgilerini içerecek biçimde işaretlenir ve gazın türüne göre renkli boya ile boyanır.

Basınçlı gaz tüpleri, basınçlı gaz yönergelerindeki tanımlamalara uygun olarak, düzenli aralıklar ile kontrol edilmelidir. Bu kontrol süreleri aşağıdaki şekildedir:

- Asetilen : 6 yıl
- Diğer tüm yanıcı gazlar : 6 yıl
- Oksijen : 10 yıl
- Azot : 10 yıl
- Diğer tüm yanıcı olmayan gazlar : 10 yıl

Ulusal ve uluslararası standartlara (TS EN 585) göre tüpler şu renklere boyanır:

- Asetilen tüpleri : Sarı
- Oksijen tüpleri : Mavi
- Azot : Yeşil
- Diğer yanıcı gazlar : Kırmızı
- Diğer yanmayan gazlar : Gri

Kaynakta kullanılan tüm gaz tüplerinin kullanılması ve taşınması sırasında önemle dikkat edilmesi gereken konular şunlardır:

- Tüpler taşınır iken boş veya dolu olsunlar, sürekli olarak koruyucu başlıkları takılı durumda olmalı, fırlatılmamalı, yuvarlanmamalı, şiddetli sarsıntılardan korunmalı ve asetilen tüpleri kesinlikle dik taşınmalı ve kullanma sırasında da dik tutulmalıdır.
- Tüpler depolanır ve kullanılır iken doğrudan güneş ışınlarından, aşırı sıcak ve soğuktan korunmalı ve tehlikeli, yanabilir maddelerin bulunduğu yerlere konmamalıdır.
- Gerek depolama ve gerekse de kullanım sırasında dik duran tüpler devrilmemeleri için bir zincir ile sabitlenmelidir. Tüp vanaları hiç bir zaman ani olarak açılmamalı; vanalar yağlı maddeler ile temas ettirilmemeli, donmuş vanalar yalnız sıcak su ile çözülmeli, vanalar el ile açılmalı ve kapatılmalı, bu işlerde hiçbir yardımcı alet kullanılmamalıdır.

- Kullanmadan önce takılan basınç düşürme tertibatı vanasının kaçak yapıp yapmadığı, açık alevle değil sabunlu su köpüğü ile kontrol edilmelidir.
- Kaynak işlemi biter bitmez tüp vanasından kapatılmalı ve basınç düşürme vanası içindeki gaz boşaltılmalıdır. Tüpler yönergelerde belirtilen zaman aralıklarında kontrol ettirilmeli ve kontrol damgası belirtilen yıldan eski olan tüpler kesinlikle kullanılmamalıdır.

4.7.8 Ark ışınımından korunma

Açık kaynak arkının toplam enerjisinin %15'inin ışın halinde çevreye yayıldığı öteden beri bilinmektedir. Bu enerjinin %10'u ultraviyole, %30'u parlak veya görünen ışınlar, geri kalanı ise enfraruj ışınlarıdır. Parlak veya görünen ışınlar gözleri kamaştırarak geçici görme bozukluklarına neden olurlar, bu olayın sürekli tekrarı ise doğal olarak gözün görme kabiliyetinin azalmasına neden olur.

Ultraviyole ve enfraruj ışınları insan gözü tarafından görülmediklerinden, ancak ışınlar doğrudan gözü etkilediklerinde insan refleksi ile göz kapağını kapatıp koruma yoluna gitmez. Ultraviyole ışınları göz tarafından absorbe edildiğinde, gözlerde bir yanma, sulanma, ışığa karşı aşırı bir duyarlılık şeklinde ortaya çıkan bir rahatsızlığa neden olur; gözler 4 ila 8 saat sonra kanlanır, gerekli tedavi uygulanırsa 24 saatte iyileşme başlar ve kalıcı bir kusurun oluşması önlenmiş olur; bu olayın sık sık tekrarı, kalıcı görme bozukluklarının ortaya çıkmasına neden olur. Gözleri görünen ışınlardan koruyan renkli maske camlarının kaliteli türleri gözleri bu ışınlardan korur.

Enfraruj ışınları dalga boylarına göre, gözün ön ve arka kısımlarında tahribat yapar. Kısa dalga boylu enfraruj ışınları, gözde ağ tabakasının yanmasına neden olur ve buda sonuçta körlüğe kadar gider. Uzun dalga boylu enfraruj ışınları ise göz merceğinin saydamlığını yitirmesine ve sonuçta katarakt olarak adlandırılan bir göz hastalığının gelişmesine neden olur. Bu hastalık ameliyat ile tedavi edilebilirse de, kişi görme yeteneğinin büyük bir kısmını yitirmesine neden olur.

MIG-MAG kaynağında ark etrafında duman bulunmadığından ve akım yoğunluğunda yüksek olduğundan, aynı akım şiddetinde örtülü elektrot ile yapılan ark kaynağına nazaran gözlerin daha koyu bir maske ile korunması gereklidir. Bütün kaynak

yöntemlerinde gözlerin korunması için kullanılan maske camları DIN Standart'ında 4647'de sınıflandırılmıştır.

Kaynakta ortaya çıkan ışınlar gözler için olduğu gibi cilt içinde tehlikelidir. Enfraruj ışınları ciltte yanma hissi yapar, aşırı biçimde bu ışınlar maruz kalındığında ciltte ateş yanığına benzer yanıklar oluşur. Ultraviyole ışınları ise ciltte güneş yanığını andıran oldukça ızdırap verici yüzeysel yanıkların oluşmasına neden olur. Bazı hallerde, kaynak atölyesinde direkt olarak kaynak yapmayan kişiler sıvalı kollar ile çalışırlar, böyle durumlarda çalışanların kolları yanar. Bu sebeple robotlu kaynak yapılan işletmelerde, Resim 4.43'te görüldüğü gibi kaynak istasyonu zararlı ışınları emecek şekilde tasarlanmalıdır.



Resim 4. 43 Kırmızı Cam ile Korunmuş Kaynak İstasyonu

Korunma ekipmanları olarak Türkiye'de kırmızı ve yeşil renkli koruyucu cam ve perdeler bulunmaktadır. Kırmızı cam zararlı ışınların soğurulmasında, yeşil cama göre daha zayıf ancak kaynağın gözle izlenmesi için daha iyi görünüm sağlamaktadır. Her iki renk uygulamada standartlara uygun olsa da insan sağlığına verilen önem gereği “yeşil renkte ve yanmaz kaynak camı” seçilmesi en uygundur. Yine piyasada yaygın olarak satılmakta olan, ışığı soğuran, yanmaya ve çapağa karşı dayanımı olmayan ucuz kaynak camlarından mutlaka uzak durulması gerekmektedir.

4.7.9 Kaynak prosesinde hava kirliliği

Kaynak yaparken oluşan gaz, duman ve buharlardan solunum sisteminin korunması insan sağlığı açısından en önemli hususlardan bir tanesidir . Kaynak esnasında çıkan toz partikül büyüklüğü 0,2 μ ila 0,8 μ arasında değişmektedir. Kaynak robotu çevresinde çalışan personelin etkilenmemesi için kaynak robotu istasyonunun üzerindeki davlumbaz boyutu ve aspirator debisi doğru seçilmelidir. Aşırı hava vakum debisinin seçilmesi durumunda da kaynak işleminde, debinin fazla olmasından kaynaklanan hava türbülansından dolayı problem yaşanacağı akıldan çıkartılmamalıdır.

Davlumbaz ve fan seçimi yaparken aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Fanların ses seviyesi en fazla 70 db. olmalıdır.
- Fan, akrobat emiş kolunun üzerinde duvara bağlama aparatı ile bağlanmalıdır.
- Fanın tamamı alüminyum döküm olmalıdır.
- Fanın pervane yapısı tortu ve pislikleri tutmayacak şekilde seyrek kanatlı ve alüminyumdan olmalıdır.
- Davlumbaz kısmı alüminyumdan imal edilmiş olup emiş ağzındaki klape yardımı ile emiş debisi kontrol edilebilmelidir.
- Bağlantı kanallarının ek yerleri sızdırmaz şekilde monte edilmeli ve kaçak olmaması için gerekli önlemler alınmalıdır.

Genel olarak kaynak fanlarının 1000 ila 3000 m³/saat debili olması tavsiye edilmektedir ancak mutlaka havalandırma uzmanı ve kaynak mühendisi tarafından çevresel koşullar ve ilgili kaynak işlemleri incelenerek debiye karar verilmelidir.

4.8 Kaynak Robotu Seçiminde Fizibilite ve Ekonomi

Satın alma kararı ve kaynak robotu yatırımı, özellikle KOBİler için kritik bir karardır. Küçük ve basit parçalar için, erişimi kısıtlı ve entegrasyon özelliği olmayan düşük maliyetli bir robot yararlı olabilir. Daha komplike bir sistem, küçük ölçekli firmalar için zorlayıcı olur ancak yine de fizibilitenin bu ölçekte yapılmasında her

zaman fayda bulunmaktadır. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, Kalkınma ajans ve bankaları, KOSGEB, yatırım teşviki ve benzeri fırsatlar kaynak endüstrisinde KOBİler için rekabet fırsatını arttıracak faktörlerdir.

Yatırımın geri dönüşünü hesaplariken yatırım yapılacak sistemde ne tür bir üretim yapılacağına karar vermek gereklidir. En verimli sistem çözümü için, kaynak süresi ve verim için saatlik parça üretim matematiğinin mutlaka yapılması gereklidir.

Çoğu senaryoda, operatör sisteme yükleme – boşaltma yaparken, robot aynı esnada çalışmaktadır. Bu, robotun iş zamanını doldurmaya yönelik bir çalışmadır. Eğer sistem, operatör robotun kaynağı bitirmesini bekleyecek ve robotta operatörün yüklemesini bekleyecek şekilde tasarlanırsa, kaynak süresi ile yükleme – boşaltma süresinin toplanması gerekir. Her iki sürenin toplamı, kaynak çevrim süresini verir.

Basitçe aşağıdaki hesap yapılarak yatırım kararı yönlendirebilir; ilk olarak üründeki kaynak sayısı bulunmalıdır. Eğer dairesel kaynak varsa, kaynak adedi robot erişiminin zorluğundan ötürü iki ile çarpılır ve bütün kaynak uzunlukları toplanır.

Örneğin 30 kaynak noktası ve toplamda 100 cm. toplam kaynak uzunluğu olduğu kabul edilirse:

Kullanılması planlanan kaynak makinasına göre kaynak hızı (cm./dk.) belirlenir. Örneğin: 4 mm. kalınlığındaki bir parça, programa göre 10 cm./dk.'da kaynatılıyorsa, 60 saniyeyi 10 cm./dk.'ya bölmüdüğünde, her cm.'nin 6 saniyede kaynatılabildiği bulunur.

Bundan sonraki hesaplamalar;

Toplam kaynak adedi 2 sn. ile çarpılır, (2 sn. bir kaynak noktasından diğer kaynak noktasına ortalama gitme hareket zamanıdır):

$$6 \text{ sn./adet} \times 30 \text{ adet} = 60 \text{ sn.}$$

Toplam kaynak uzunluğu olan 100 cm.'yi, bulunan 6 sn./cm. ile çarparak kaynak süresi bulunur;

$$100 \text{ cm.} \times 6 \text{ sn./cm.} = 600 \text{ sn.}$$

Eğer pozisyoner kullanılıyorsa 10 saniye daha eklenir;

$$60 \text{ sn.} + 600 \text{ sn.} + 10 \text{ sn.} = 670 \text{ sn.}$$

Böylece bir parça için toplam sürenin 670 sn./ad. olduğunu bulunur. Burada torç temizlemenin pozisyoner hareketi sırasında yapılması düşünülerek süre eklenmemiştir.

Çoğu robot entegretörü %20 daha güvenlik limiti koymaktadır böylece parça başına düşen süre;

$$670 \text{ sn./ad.} \times \%120 = 804 \text{ sn.}$$

olarak hesaplanır.

Eğer gün içerisinde operatörler dönüşümlü olarak çalışır ve robot hiç durmazsa günlük üretim adedi;

$$(24 \text{ saat} * 60 \text{ dakika} * 60 \text{ saniye}) / 804 \text{ saniye} /_{\text{adet}} = 108 \text{ adet.}$$

(4.5)

olarak bulunur. Bu adet bilgisi ile, kârlılığı ve maliyetleri hesaplayarak yatırımın kendini geri ödeme süresi bulunabilmektedir.

BÖLÜM 5

ROBOTİK KAYNAKTA PROSES GELİŞTİRME VAKA ANALİZİ

Robotlu kaynak imalatı uygulamalarında yer alan, endüstriyel robotlarda ve kaynak uygulamasının gerektirdiği ekipmanlarda gerçekleştirilecek iyileştirmeler, süreç çıktısı olan ürünün kaynak kalitesi ve dayanımını doğrudan etkilemektedir. Süreç üzerinde yapılması planlanan her değişiklik, projelendirme esnasında ve devam eden her safhada doğru analiz edilmeli ve ölçümlenmelidir. Robotik imalat sistemi kurulduktan ve rejime girdikten sonra dahi, kalite iyileştirici ve maliyet azaltıcı proses geliştirmeleri çalışmalarına bu bakış çerçevesinde devam edilmesi gerekmektedir.

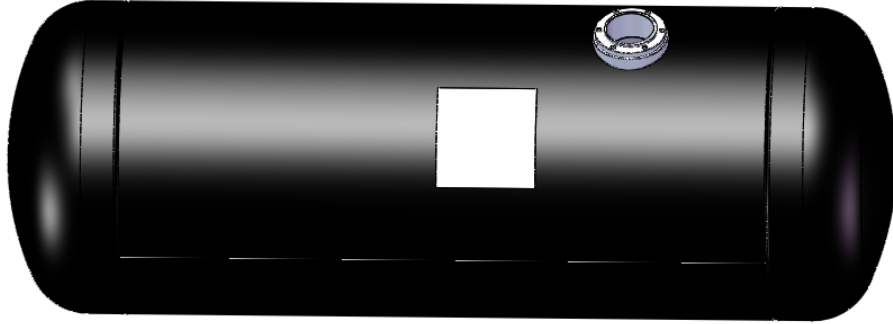
Robotik kaynakta örnek proses geliştirme vakası olarak, LPG tankını manuel olarak toz altı kaynak ile gerçekleştiren Firma'da, robotlu ark kaynağı uygulamasında uygun kaynak telinin seçimi, ön tavlama gereksinimi, uygun koruyucu kaynak gazının seçimi, robot yerleşimi ve komponent fikstürlerin tasarımı, torç erişim kontrolü, parça hazırlık sürecinin robotik toleransa uygunluğunun kontrolü, robotik kaynak prosesinde dikiş konumlandırmanın otomasyon yardımı ile bulunması ve robotik kaynak prosesinde en iyi parametre seçimi konuları tez kapsamında bu bölümde incelenmiş ve inceleme sonucu edinilen bulgular için farklı çözüm önerileri değerlendirilmiştir.

5.1 LPG Tank İmalatı Kaynak Prosesinin Değerlendirilmesi

Tez kapsamında kaynak prosesinde robotik geliştirme yapılan Firma, otomotiv sektörü için 3-4 mm. DIN St-37 standardına haiz sactan muhtelif boyut ve şekillerde LPG tankı üretmekte olup, TSE ECE R 67:2009 Standartı'na* göre 115 bar

* TSE ECE R 67:2009 Standart Regülasyonu, yanma sistemlerinde sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanan M ve N Kategorisi taşıtların özel donanımının onayı ve yanma sistemlerinde sıvılaştırılmış petrol gazı kullanmak için özel donanım takılı M ve N kategorisi taşıtların bu tür donanımın yerleştirilmesi konusundaki onayını içerir.

atmosferik basınca ve 30 bar iç test basıncına dayanmalıdır. Firmanın robotik otomasyonda gerçekleştirmek istediği nihai ürün olan LPG tankı 10 lt. ila 142 lt. kapasitelerde üretilmekte olup Resim 5.1’de örnek tanka ait görsel verilmektedir.



Resim 5. 1 Robotik Kaynak ile Üretilen Birleştirilmiş LPG Tankı

Firma mevcut durumda Resim 5.2’de görülen LPG tank imalatının yan kapamalarını torna benzeri yarı otomatik toz altı kaynak uygulaması ile gerçekleştirmektedir. Tez kapsamında toz altı kaynak uygulaması konusu, tezin 3. konusu olan “Toz Korumalı Ark Kaynağı” bölümünde detaylı olarak işlenmiştir.



Resim 5. 2 Toz Altı Kaynak ile LPG Tankı Yan Kapama Sac Kaynağı

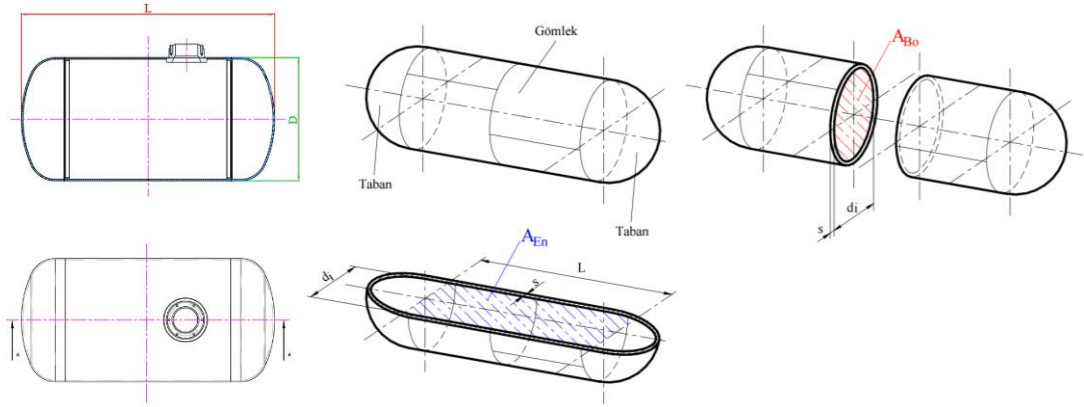
Firma’nın LPG tank üretimini artık robotik uygulamada yaygın yer bulmayan toz korumalı ark kaynağı uygulaması yerine, robotik otomasyon projesinde gaz korumalı ark kaynağı uygulamasına dönüştürülmesi planlanmıştır. Uygun tel elektrot tipi ve gazının seçilmesi, otomasyon detaylarının ve yerleşiminin seçimi, fikstür tasarımı, toleransların ölçümleri ve kaynak parametrelerinin optimize edilmesi süreçleri sırasıyla bu başlık altında değerlendirilmiştir.

5.1.1 LPG Tankında Gereken Kaynak Proses Değerlerinin Bulunması

Kapalı kaplar içerisinde ki basınç $p > 0,5$ bar olacak şekilde imal ediliyorsa, bu kaplar “basınçlı kap” olarak nitelendirilir*. Basınçlı kapların kaynaklı birleşimlerinde sadece alın dikişi kullanılır. Parçalardaki ve kaynak dikişlerindeki gerilimler nominal hesaplanır. Emniyetli mukavemet değerleri özel faktörlerle belirlenir. Basınçlı kaplarda yüzeye etkiyen kuvvetlerin analizi önemlidir. İlk olarak cidar kalınlığı ve yapılacak yan kapamaların kaynak dikişi dayanımı için yapılan hesaplamalarda tank silindir olarak ele alınmıştır.

5.1.1.1 LPG Tankı kaynak prosesi için uygun telin seçimi

Basınçlı tank boyuna etkiyen kuvvet, tank içerisinde oluşacak basıncın, silindirin Şekil 5.1’de gösterilen kesit alanlarıyla çarpımına eşittir.



Şekil 5. 1 Silindir Tank Üzerinde Kesitlerin Gösterilmesi

Kesit boyunca etkiyen kuvvetin bulunması için aşağıdaki formül kullanılır:

$$F_{Bo} = A_{Bo} \times p_e$$

$$A_{Bo} = 0,25 \times \pi \times (d_i)^2$$

Tankın dik yönde kesit alanını temsil eden A_{Bo} değeri, formül üzerine yazılırsa, denklem sonucu, tank boyunca etkiyen kuvvet bulunur.

$$F_{Bo} = 0,25 \times (d_i)^2 \times p_e$$

* 22 Ocak 2007 tarihli 26411 Resmi Gazete, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı: Basınçlı Ekipmanlar Yönetmeliği (97/23/AT)

Denklemdede;

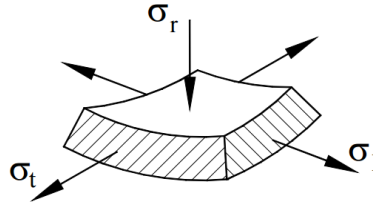
F_{Bo} , Newton cinsinden boyuna etkiyen kuvveti,

d_i , mm. cinsinden,tankın iç çapı,

p_e , Newton / mm.² cinsinden, tankın içerisinde oluşması beklenen basıncı,

göstermektedir.

Tank üzerine etkiyen farklı gerilme kuvvetleri, kesit üzerinden alınan bir parça üzerinde gösterilmektedir. Şekil 5.2 üzerinde gösterilen σ_t teğetsel gerilmeyi, σ_r radyal gerilmeyi, σ_l boyutsal gerilmeyi parça üzerinde temsil etmektedir.

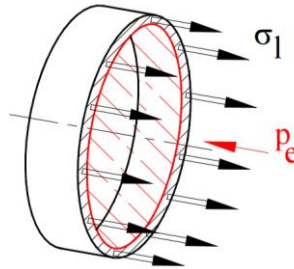


Şekil 5. 2 Tank Cıdarı Üzerine Etkiyen Gerilim Kuvvetlerinin Gösterimi

Her gerilme için farklı kuvvetlerin farklı alanlar üzerindeki etkisi ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Boyuna gerilmenin hesaplanması

Boyuna gerilme simgesi “ σ_l ” ile gösterilmekte olup, Şekil 5.3 üzerinde tank cıdarı boyunca, kesite etkiyen kuvvetlerin gösterimi verilmiştir.



Şekil 5. 3 Tank Cıdarı Boyuna Etkiyen Kuvvete Karşılık Gerilimin Gösterimi

Boyuna gerilme “ σ_l ”, tankın kesit alanına (A_{σ_l}) bölünmesiyle bulunur. Kesit alanı formülü;

$$A_{\sigma_l} = \pi \times d_i \times s$$

olarak bulunur. Daha önce hesaplanan tank boyunca etkiyen kuvvet, kesit alanına bölünür.

$$\sigma_l = \frac{F_{Bo}}{A_{\sigma_l}}$$

Boyuna gerilme formülü:

$$\sigma_l = \frac{d_i \times p_e}{4 \times s}$$

olarak bulunur. Denklemden;

σ_l , Newton / mm.² cinsinden, boyuna gerilmeyi

d_i , mm. cinsinden, tankın iç çapını,

p_e , Newton / mm.² cinsinden, tankın içerisinde oluşması beklenen basıncı,

s , mm. cinsinden tankın cidar kalınlığını,

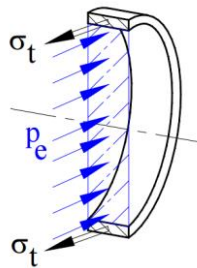
göstermektedir.

Yukarıda belirtilen tüm değerler formülde yerine yazıldığında, boyuna gerilmenin tank üzerinde daha açık bir formda kullanılan denklemini elde edilir:

$$\sigma_l = \frac{0,25 \times \pi \times d_i^2 \times p_e}{4 \times s}$$

Teğetsel gerilmenin hesaplanması

Teğetsel gerilme simgesi “ σ_t ” ile gösterilmekte olup, Şekil 5.4 üzerinde tank cidarına, teğetsel etkiyen kuvvetlerin gösterimi verilmiştir.



Şekil 5. 4 Tank Cidarına Teğetsel Etkiyen Kuvvete Karşılık Teğetsel Gerilim

Teğetsel gerilme “ σ_t ”, tankın kesit alanına (A_{σ_t}) bölünmesiyle bulunur. Kesit alanı formülü;

$$A_{\sigma_t} = 2 \times L \times s$$

olarak bulunur. Daha önce hesaplanan tank cidarına teğetsel etkiyen kuvvet, kesit alanına bölünür.

$$\sigma_{lt} = \frac{F_{Te}}{A_{\sigma_l}}$$

Teğetsel gerilme formülü:

$$\sigma_l = \frac{d_i \times p_e}{2 \times s}$$

olarak bulunur. Denklemden;

σ_t , Newton / mm.² cinsinden, teğetsel gerilmeyi

d_i , mm. cinsinden, tankın iç çapını,

p_e , Newton / mm.² cinsinden, tankın içerisinde oluşması beklenen basıncı,

s , mm. cinsinden tankın cidar kalınlığını,

göstermektedir.

Yukarıda belirtilen tüm değerler formülde yerine yazıldığında, teğetsel gerilmenin tank üzerinde daha açık bir formda kullanılan denklemi elde edilir:

$$\sigma_t = \frac{d_i \times L \times p_e}{2 \times L \times s}$$

Burada; aynı kalınlıkta ve aynı kaynak büyüklüğünde teğetsel gerilmenin, boyuna gerilmenin iki katı olduğu görülmektedir. Bu gerilmeler formülle gösterilirse;

$$\sigma_t = \frac{d_i \times p_e}{2 \times s} = 2 \times \frac{d_i \times p_e}{4 \times s} = 2 \times \sigma_l$$

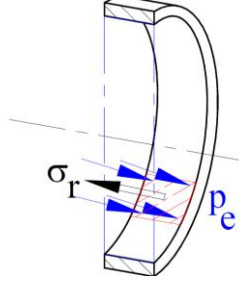
olduğundan,

$$\sigma_t = 2 \times \sigma_l$$

olduğu görülür.

Radyal gerilmenin hesaplanması

LPG tankının iç basıncının, tank iç yüzeyinde boyuna ve teğetsel gerilmelerin dışında birde radyal gerilme oluşturmaktadır. Şekil 5.5'te tank cidarı üzerindeki kuvvet ve gerilme yönleri görülmektedir.



Şekil 5. 5 Tank Cidarına Radyal Etkiyen Kuvvete Karşılık Radyal Gerilim

Bu gerilme tank cidarının iç yüzeyinde maksimum olup, giderek azalarak tank cidarının dış yüzeyinde sıfır olur. Radyal gerilme aşağıdaki denklem ile formülize edilmektedir.

$$\sigma_r = \frac{-p_e}{2}$$

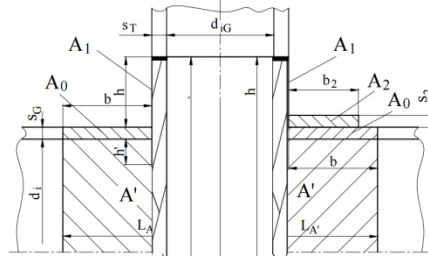
Denklemde;

σ_r , Newton / mm.² cinsinden, radyal gerilmeyi

p_e , Newton / mm.² cinsinden, tankın içerisinde oluşması beklenen basıncı, göstermektedir.

Birleşik gerilmenin hesaplanması

Firmaya ait LPG tankına yapılacak olan açıklık parçasının (koloret) montajı, tankın içerisine doldurulacak LPG gazının, kontrolünün ve ölçümünün yapılabilmesi için elips bir delik üzerine parçanın kaynatılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak bu açılan delikler, tank yapısını zayıflattıkları için mevcut zayıflamaya mukavemet kontrolü yapılmalıdır. Şekil 5.6 üzerinde açıklık parçasına ait detay kesitler belirtilmiştir.



Şekil 5. 6 LPG Tankı Açıklık Kesit Notasyonu

Şekil 5.6'da verilen ölçü notasyonların hesaplama formülleri aşağıdaki gibidir:

- A' , mm.^2 cinsinden; basınç etkisi altındaki toplam eşdeğer alan
- b , mm. , kaynak dikişi boyu; $b = \sqrt{(d_i + s_G - c_1 - c_2) + (s_G - c_1 - c_2)}$
- h , mm. , kaynak dikişi yüksekliği; $h = \sqrt{(d_{iG} + s_T - c_1 - c_2) + (s_T - c_1 - c_2)}$
- A_0 , mm.^2 , güçlendirilecek takviye alanı; $A_0 = b \times S_{Gi}$
- S_{Gi} , mm. , tank gömleği cidar kalınlığı; $S_{Gi} = S_G - c_1 - c_2$
- A_1 , mm.^2 , güçlendirilecek takviye alanı; $A_1 = h_{top} \times S_{Ti}$
- h_{top} , mm. , güçlendirilecek takviye yüksekliği; $h_{top} = h + S_G + h'$
- h' , mm. , güçlendirme iç cidar çıkıntısı, $h' \leq 0,5 \times h$
- S_{Ti} , mm. , kaynak dikişi yüksekliği, $S_{Ti} = S_T - C_1 - C_2$
- A_2 , mm.^2 , kaynak dikişi alanı, $A_2 = b_2 \times s_2$
- A , mm.^2 , toplam kaynak dikişi alanı, $A = A_0 + A_1 + A_2 + A_3$

Firmanın robotik kaynakla üretmeyi planladığı LPG tankının analizinin yapılması için izdüşüm alanının çarpımı olan $A_2 \times p_e$ ile iç kuvvetlerin toplamına eşit olarak oluşan $\sigma \times A'$ 'nin eşit olması gerekir. Böylece aşağıdaki denklem bulunur;

$$A' \times p_e = \sigma_{\max} \times A \quad \rightarrow \quad \sigma_{\max} = p_e \times \frac{A'}{A}$$

LPG tankı gibi bütün basınçlı kaplarda birleşik gerilme, kayma gerilmesi hipotezine dayandırılarak hesaplanmaktadır. Bu hipoteze göre maksimum gerilme ile minimum gerilmenin farkı, toplam birleşik gerilmeyi vermektedir. Tanklarda dahil olmakla

birlikte, basınçlı kapların tamamında, teğetsel gerilme maksimum, radyal gerilme minimum değere sahiptir. Dolayısıyla bu hipotez şu şekilde formüle edilebilir:

$$\sigma_{Bi} = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} = \sigma_{\max} - \sigma_r$$

İlgili değerler yerlerine yerleştirilirse;

$$\sigma_{Bi} = p_e \times \left(\frac{A'}{A} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{bkEM}$$

bulunur. Denklemde:

σ_{Bi} , Newton / mm.² cinsinden, tank dikişindeki birleşik gerilmeyi

p_e , Newton / mm.² cinsinden, tankın içerisinde oluşması beklenen basıncı,

A' , mm.² cinsinden, basınç etkisindeki izdüşüm alanı,

A , mm.² cinsinden, toplam kaynak dikişi alanını,

σ_{bkEM} , Newton/ mm.² cinsinden, tank üzerine yapılacak robotik kaynağın emniyetli dayanımını göstermektedir.

LPG tankında, yapılacak robotik kaynak dikişinin emniyetli dayanım değerinin, ilgili LPG standartı olan TSE ECE R 67:2009 standart regülasyonuna göre hesaplanması için kullanılacak formül aşağıdaki gibidir:

$$\sigma_{bkEM} = \frac{\sigma_{bkD}}{S_{ger}}$$

Denklemde;

S_{ger} , spesifik birim olarak , gerekli emniyet dayanım katsayısını,

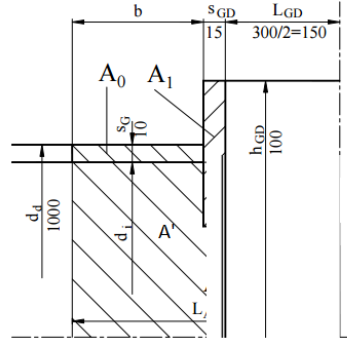
σ_{bkEM} , Newton/ mm.² cinsinden, tank üzerine yapılacak robotik kaynağın emniyetli dayanımını göstermektedir.

LPG tankına yapılacak kaynak dikişinin dayanımının bulunması

İlk olarak firmaya ait LPG tankında yapılması planlanan kaynak dikişlerinin emniyet dayanımlarının bulunması gereklidir. Burada yapılacak dayanım etüdü sonrasında, robotik kaynakta uygulanacak kaynak parametreleri belirlenecektir.

Şekil 5.7’de kesiti görülen LPG tankına ait kaynak dikişinin dayanım kontrolü aşağıdaki denklem yardımıyla yapılmaktadır:

$$\sigma_{Bi} = p_e \times \left(\frac{A'}{A} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{bkEM}$$



Şekil 5. 7 LPG Tankı Açıklık Kesit Notasyonu ve Ölçüleri

İlk olarak Şekil 5.7’de görülen A’ izdüşüm alanının bulunması gerekir:

$$A_2 = L_A \cdot x r_i = 255,6 \times 490 = 126.031 \text{ mm}^2$$

$$L_A = b + S_{GD} + L_{GD} = 92,21 + 15 + 150 = 257,21 \text{ mm}$$

$$b = \sqrt{(d_i + s_g - c_1 - c_2) + (s_g - c_1 - c_2)}$$

$$d_i = d_d - 2 \times S_g = 1000 - (2 \times 10) = 980 \text{ mm}$$

$$b = \sqrt{(980 + 10 - 0,4 - 1) \times (10 - 0,4 - 1)} = 92,21 \text{ mm}$$

Toplam kaynak yapılacak dikiş alanı;

$$A = A_0 + A_1$$

$$A_0 = b \times (S_G - c_1 - c_2) = 92,21 \times (10 - 0,4 - 1) = 793 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = h \times (S_{GD} - c_1 - c_2) = 100 \times (15 - 0,6 - 1) = 1340 \text{ mm}^2$$

$$A = A_0 + A_1 = 793 + 1340 = 2133 \text{ mm}^2$$

$$h = \sqrt{(d_{iG} + s_T - c_1 - c_2) + (s_T - c_1 - c_2)}$$

$$h = 1,25 \sqrt{(980 + 15 - 0,6 - 1) \times (15 - 0,6 - 1)} = 144 \text{ mm}$$

olarak bulunur.

Bu değerler,

$$\sigma_{Bi} = p_e \times \left(\frac{A'}{A} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{bkEM}$$

denkleminde yerine konulursa;

$$\sigma_{Bi} = 3 \times \left(\frac{126.031}{2.133} + \frac{1}{2} \right) = 178,8 \text{ N/mm}^2$$

olarak bulunur. Kõşe kaynak dikişleri için, hesap alanı üzerinde kayma; doğrultusu ne olursa olsun çekme ve basınç ve kıyaslama gerilmesi, TS EN 1993-1-1:2014 Standartı'na* göre, elektrod malzemesinin %30 fazlası olmalıdır. Kaynak teli ve LPG tankının akma dayanımı, bulunan birleşik gerilmenin üstünde olması gereklidir.

Tekrar gerilim denkleminde dönülürse;

$$\sigma_{Bi} = p_e \times \left(\frac{A'}{A} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{bkEM}$$

formülünden sağlanması yapılmalıdır.

St 37-2 tipi çelik malzeme için kaynak banyosunun malzemeye 100 C° ısı girdisi vereceği hesaplanırsa, akma dayanımı 100 C° için DIN 1700 standardına göre 185 N/mm.²dir. Firma'nın mevcut durumda kullandığı çelik St 37-2'dir ve TSE ECE R 67:2009 standartına göre ilgili basınç ve gerilmelere dayanıklıdır.

$$\sigma_{Bi} = 178,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{bkEM}(\text{tank malzemesi RSt372}) = 185 \text{ N/mm}^2$$

Kullanılması planlanan piyasada SG2 tipi bakır kaplamasız gaz altı teli olarak bilinen, TSE EN ISO 14341.A standartına göre G42 3CM G3Si1 standart numarasına sahip ve ilgili standarta göre akma dayanımı 440 (N/mm²), çekme dayanımı 540 (N/mm²) olan özellikle alaşım-sız çelikler üzerindeki yarı otomatik ve tam otomatik kaynak uygulamalarında kullanılan yüzeyi bakır kaplı gaz altı kaynak telinin prosete kullanılması kararlaştırılmış ve yapılan hesaplamalar sonucu dayanımı emniyet katsayıları içerisinde karşıladığı görülmüştür.

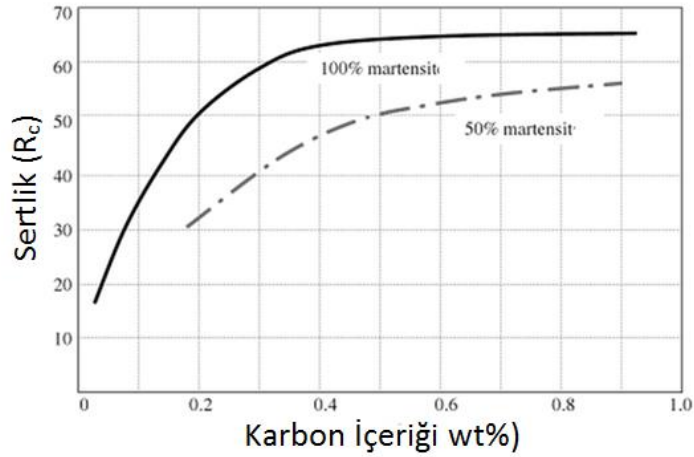
$$\sigma_{Bi} = 178,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{bkEM}(\text{kaynak teli SG2}) = 440 \text{ N/mm}^2$$

* TS EN 1993-1-1 Standart Regülasyonu, malzeme kalınlıkları t ≥ 3 mm olan çelik konstrüksiyonların temel tasarım kurallarını kapsamaktadır.

5.1.1.2 LPG tankı kaynağı için ön tavlama ihtiyacının değerlendirilmesi

Bazı malzemeler, yüksek karbon ve yüksek alaşım değerli yüksek dayanımlı çelikler de dahil olmak üzere, çatlamadan kaynaklanan kaynak hatalarına daha duyarlıdır. Bu malzemelerin daha az sünek olması ana metal ve kaynak metali üzerinde ve kaynak işlemi bittikten sonra soğuma esnasında “artık gerilim” oluşmasına sebep olur. Bu tip metallerin tavsiye edilen süre boyunca ve tavsiye edilen sıcaklıkta kaynak prosedürlerine uygun olarak ısının eşit olarak dağılımının sağlandığı bir ön tav işlemine tabi tutulması önemlidir.

Ön tav işlemi malzeme üzerindeki büzülme gerilimini sınırlandırır ve martenzitik (sert ve kırılgan) yapı oluşumunu azaltır. Ancak ön tavlama işlemi için malzeme içerisindeki alaşım miktarı önemlidir. Şekil 5.8’de sertlik ile karbon ilişkisi grafik üzerinde gösterilmektedir. (Lippord, 2014)



Şekil 5. 8 Çeliklerde Karbon Muhteiyat ile Malzeme Sertliği Arasındaki İlişki

LPG tankının imal edildiği St-37 çeliği için Ereğli Demir Çelik tarafından verilen alaşım elementleri ve bu elementlerin çelik içerisindeki miktarları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5. 1 St-37 Çeliğın Alaşım Elementleri ve İçerik Oranları

Element Tanımı	Yüzde İçerik	Element Tanımı	Yüzde İçerik
Si	% 0,0968	Cu	% 0,0232
Mn	% 0,5566	Al	% 0,0257
P	% 0,0166	C	% 0,1058
Cr	% 0,0215	Fe	% 99,114
S	% 0,0078	V	% 0,0317

LPG tankı gibi DIN St çelik standartında üretilen çeliklerin, kaynaklı birleşimlerinin genelinde görülen ve ciddi bir kalite problemi olarak adlandırılan, martenzitik yapının oluşumunu önlemek için ön tav yapılması gerekliliği, her kaynaklı imalat sürecinde sorgulanmalıdır. Bu sorgulama için Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün çeliklerin karbon eşdeğerinin hesaplanması formülü aşağıdaki gibidir: (AWS, 2009)

$$CE_{IIW} = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$$

Karbon eşdeğer hesaplama formülüne, Tablo 5.1'de ki element alaşıma katılım oranlar yazılırsa;

$$CE_{IIW} = 0,1058 + 0,5566/6 + (0,0232 + 0)/15 + (0,0215 + 0 + 0,0317)/5$$

denklemin sonucu olarak, St – 37 çeliğın karbon eşdeğeri 0,21075334 (%21) bulunmuştur. Uluslararası Kaynak Enstitüsü'nün bu hesaplama sonucu karbon içeriğinin ön tavlama sıcaklığı tablosu Tablo 5.2'de görülmektedir.

Tablo 5. 2 Çeliğın Eşdeğer Karbon İhtivasının Ön Tav Sıcaklığı İhtiyacına Etkisi

CE_{IIW} (%) (Eşdeğer Karbon Muhteviyatı)	Ön Tavlama Sıcaklığı (°C)
%45'den az (CE _{IIW} < %45)	Gerek duyulmaz
%45 - %60 arasında (%45 < CE _{IIW} < %60)	100°C – 200 °C
%60'dan fazla (%60 < CE _{IIW})	200 °C – 350 °C

Formülden çıkan sonuç %21 olup, Tablo 5.2’de verilen çeliğin eşdeğer karbon ihtivasının ön tav sıcaklığı ihtiyacına göre % 45 skalasının altında kalmakta ve bu kaynak imalatında ön tav işlemine gerek kalmadığı bu skaladan anlaşılmaktadır.

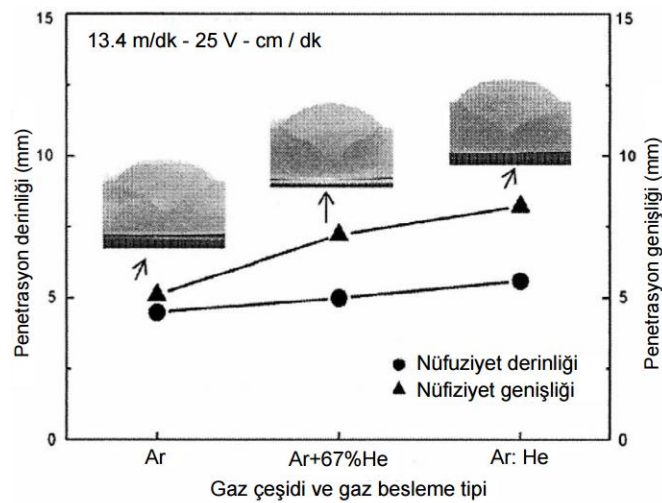
$$(St - 37 CE_{IIW}) \% 21 < (\text{Ön Tav } CE_{IIW}) \% 45$$

5.1.1.3 LPG tankı kaynak prosesi için uygun koruyucu gazın seçimi

Yapılan farklı tip gaz denemelerinde saf Argon, saf CO₂ ve çeşitli oranlarda Argon, CO₂ ve O₂ karışımları ile Argon, CO₂ ve Helyum karışımları kullanılmıştır. Sıçrama miktarının koruyucu gazdaki CO₂ oranıyla doğru orantılı olduğu, Argon’a kıyasla Helyum’un, yüksek oranda Karbondioksit içeren karışımlarda daha iyi sıçrama kontrolü sağladığı gözlemlenmiştir.

Deneylede Argon’a %2,5 ile %25 arasında CO₂ katarak karışım gazları elde edilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda, karbondioksit miktarının artmasının kalıntı ve gözeneklilikte azalmaya yol açtığı ve karbondioksit miktarındaki artışla kaynak metali sertliğinin azaldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, en büyük dikiş genişliğine Ar + %55 He+%2 CO₂ ve en derin nüfuziyete ise Ar + %5 He gazı ile ulaşılmıştır. NO (Azot oksit) içeren ve içermeyen Argon tabanlı düşük CO₂ içerikli koruyucu gazlar en büyük dikiş yüksekliğini vermiştir. Çalışmaya baz oluşturan Argon – Helyum karışım grafiği Tablo 5.3’de gösterilmiştir. (Ebrahimnia ve ark. 2009)

Tablo 5. 3 Helyum – Argon Karışımının Nüfuziyete Etkisi



Denemeler sonucunda istenilen kaliteli dikişı sağlayan gazın; %86 Argon, %12 CO₂, %2 O₂ gaz karışımlarından oluşan ve Habaş Sınai ve Tıbbi Gazlar İstihsal Endüstrisi A.Ş. tarafından ulusal imalat piyasasına “HB 212” koduyla satılan karışım gaz olmasına karar verilmiştir.

5.1.1.4 Robotik kaynak prosesinde parametrelerin optimizasyonu

LPG tankı üzerinde yapılan denemeler esnasında yetersiz ergime (süreksizlik) problemi görülmüştür. LPG tankında kesinlikle istenmeyen bu problem Resim 5.3'te görülmektedir.



Resim 5. 3 Tank Yan Kapama Kaynağında Yetersiz Ergime ve Nüfuziyet Hatası

Kaynak banyosu eldesi esnasında, temas yüzeylerine torç vasıtasıyla aktarılan yüksek sıcaklık ile açığa çıkan ısı enerjisi, LPG tank metali üzerinde lokal bir erime sağlamakta ve çoğu zaman yeterli geldiği düşünülmektedir. Ancak aktarılan ısı enerjisi kullanılan dolgu elektrotu olan SG2 telinin de, yüzeyle birlikte eritmeye yetecek düzeyde olduğu kontrol edilmelidir. Isı yoğunluğu, birim yüzeye düşen spesifik enerji miktarı olup, $W/mm.^2$ olarak ölçülür. Güç yoğunluğu, ergime süresi ile ters orantılıdır. Kaynak işleminde minimum güç yoğunluğu $10 W/mm.^2$ 'dir. Güç yoğunluğu yükseldikçe (özellikle $100 W/mm.^2$ ve üzeri), kaynak yapılan bölgede aşırı ısınma sonrası tank sacı ve/veya kaynak metali buharlaşır ve çeşitli kalite ve dayanım zaafiyetlerine neden olur. Dolayısıyla, farklı kaynak yöntemlerinde farklı güç yoğunlukları söz konusu olacağı öngörülmelidir. Güç yoğunluğu, herhangi bir yüzeye aktarılan ısı enerjisinin, bu yüzey alana bölünmesiyle elde edilir. Bu alan, aşağıdaki formül ile ifade edilir:

$$PD = \frac{P}{A}$$

Formülde;

PD, W/mm.² cinsinden , toplam güç yoğunluğunu,

P, W cinsinden, yüzeye aktarılan güç miktarı,

A, mm² cinsinden, enerjinin aktarıldığı yüzey alanını göstermektedir.

Tablo 5.4’de bazı eritme kaynak yöntemlerinin güç yoğunluğu değerleri tabloda karşılaştırılmaktadır.

Tablo 5. 4 Eritme Kaynak Yöntemlerinin Güç Yoğunluğu

Kaynak Yöntemi	Yaklaşık Güç Yoğunluğu (W/mm. ²)
Oksijen - Gaz Kaynağı	10
Ark Kaynağı	50
Direnç Kaynağı	1.000
Lazer Kaynağı	9.000
Elektron Kaynağı	10.000

Firma’da yapılan denemelerde SG2 tel ile kaynak esnasında çıkan problemlerin çözümü için yüzey ısı kontrol edilmiş ve silindir yüzeyine geçen ısı miktarı kaynak güç ünitesi üzerinden okunan W değeri ile süre çarpılarak kaynak esnasında torçtan metal tank yüzeyine 5.000 W’lık ısı aktarıldığı bulunmuştur. Isı, yüzey üzerinde silindirik bir alana etki etmekte ve yoğunluğu tankın her iki yüzeyi arasında değişmektedir. Yapılan sıcaklık ölçümlerinde ısının uzun yüzey üzerine %57 oranında RSt-37 metal daire kesiti içerisinde, %43’inin ise yan kapama olan RSt-37 metal kısa daire kesiti içerisine etkimektedir. Her iki yüzeye düşen birim güç yoğunluğunun ark kaynağı için istenilen değere (50 W/mm.²) yakın olması gereklidir. Yüzey alanının bulunması için dairenin alan formülü olan:

$$A = \frac{\pi r^2}{4}$$

denkleminde yerine koyulduğunda, her iki metal parçanın alanı:

$$A = \frac{\pi(11)^2}{4} = 94,99 \text{ mm}^2$$

olarak bulunur. Bu alan verilen güç ile verim oranında çarpıldığında uzun silindir tarafı için:

$$PD_{uzun\ silindir} = \frac{P}{A} = \frac{5.000 \text{ W} \times \%57}{94,99 \text{ mm}^2} = 30.1 \text{ W/mm}^2$$

kısa yan kapama parçası için aynı hesap yapıldığında:

$$PD_{yan\ kapama} = \frac{P}{A} = \frac{5.000 \text{ W} \times \%43}{94,99 \text{ mm}^2} = 22.63 \text{ W/mm}^2$$

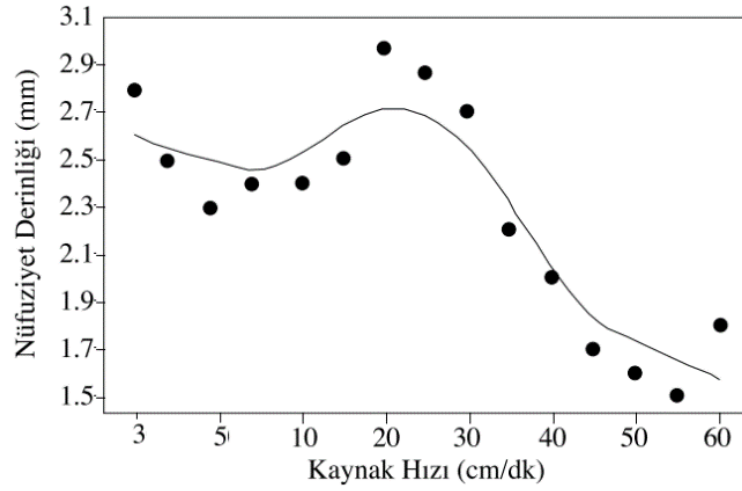
bulunur. Sonuçlar karşılaştırıldığında,

$$PD_{yan\ kapama} (22.63 \frac{W}{mm^2}) < PD_{uzun\ silindir} (30.1 \frac{W}{mm^2}) < PD_{ark\ kaynağı\ gereken} (50 \frac{W}{mm^2})$$

hesaplama sonucu ark kaynağı için gereken güç yoğunluğunun az olduğu görülmektedir. Burada üç parametre değiştirilerek güç yoğunluğu değiştirilebilmektedir:

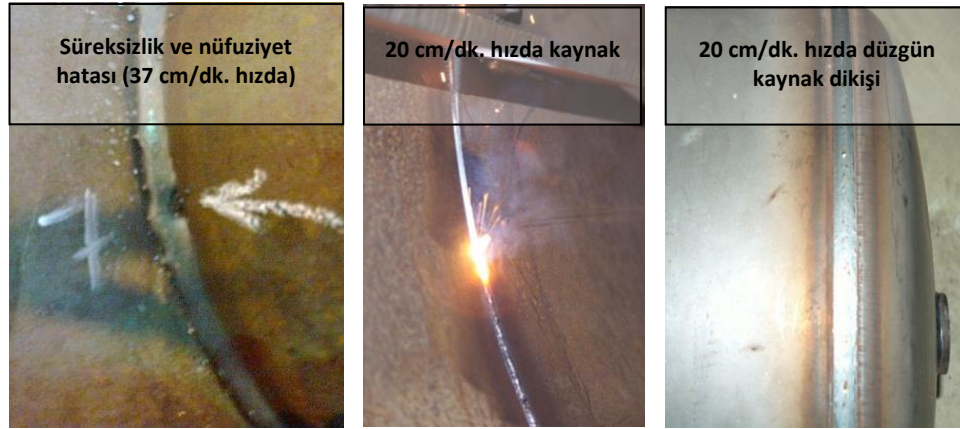
- Kaynak hızı (cm/sn.)
- Kaynak gücü (W)
- Parça Kalınlığı (mm.)

LPG tankının standart gereği, parça kalınlığı değişmemektedir. Kaynak gücü ise ekipman bazında değişkenlik gösterdiği için ilgili yapıda en kolay ayarlama kaynak hızında yapılabilir. Farklı nüfuziyet derinliği için farklı kaynak hızlarında denemeler yapılmış ve Şekil 5.9'da grafikte sonuçlar paylaşılmıştır.



Şekil 5. 9 Gaz Altı Robotik Ark Kaynağı Kaynak Hızı – Nüfuziyet Derinliği

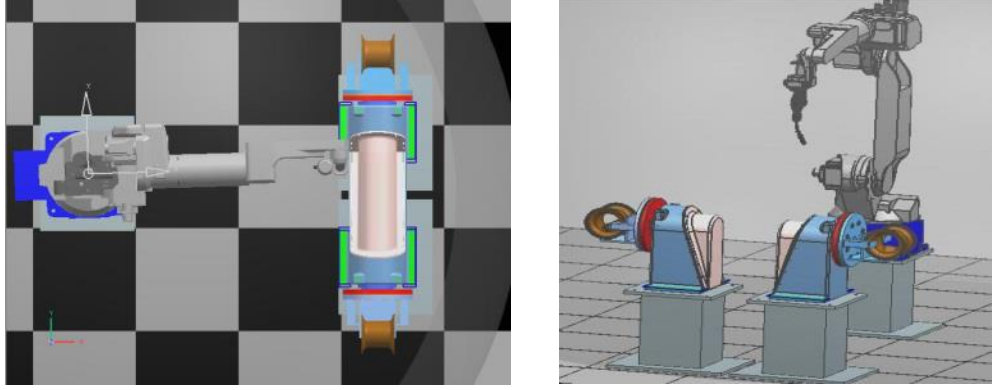
Mevcut durumda 37 cm/dk. olan kaynak hızı, en optimum nüfuziyet derinliğine grafikten görüldüğü üzere 20 cm/dk.'da ulaşmıştır. Böylece birim yüzeye düşen güç yoğunluğu artmış ve süreksizlik (yetersiz ergime) problemi Resim 5.4'de görüldüğü üzere hız ayarı sonrasında düzelmiştir.



Resim 5. 4 Hız Değişimi Sonrası Dikiş Görünümünde ve Kalitesinde İyileşme

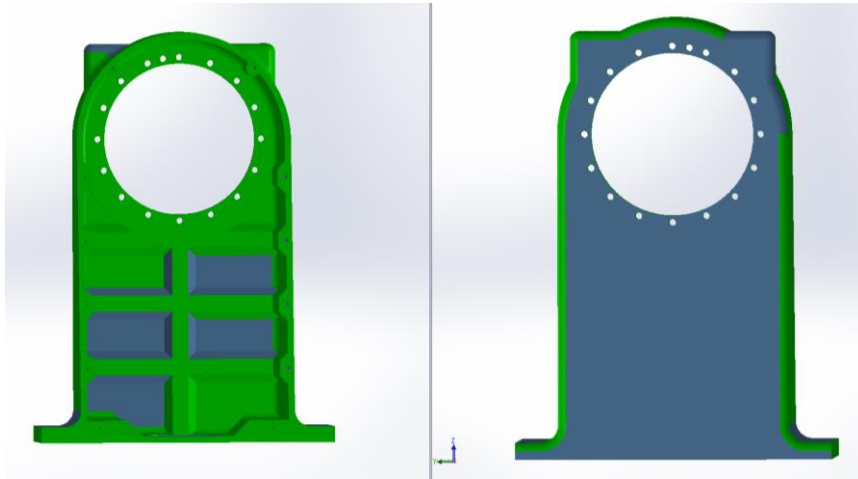
5.1.2 Uygun Otomasyon Sisteminin Geliştirilmesi

İlgili LPG tankı üreticisi Firma'nın robotik kaynakta yapmayı planladığı ürüne ait parça bileşenlerinin tamamı fikstür tasarımı esnasında kontrol edilmiştir. Parça boyu, konumu, kaynak noktalarına torç erişimi ve açısı göz önünde bulundurularak robot ve fikstüre ait detaylara ilk şekil verilmiştir. Robotik hücre tasarımı SolidWorks 2015 programında çizilmiş olup, yerleşimin ilk planlanan hali Şekil 5.10'da görülmektedir.



Şekil 5. 10 Silindirik LPG Tankı Robotik Hücre Tasarımı

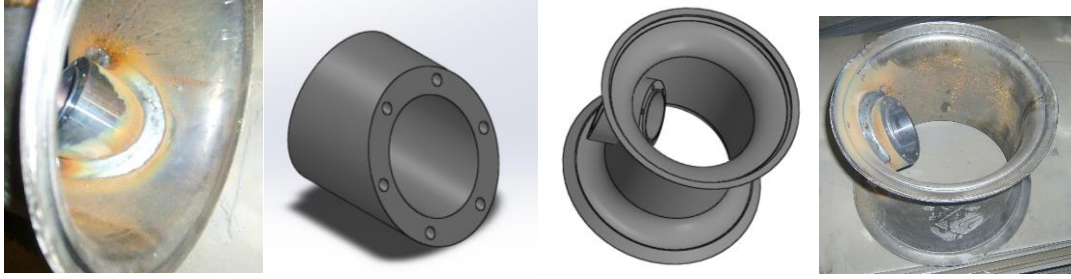
Tasarım için parça simetrisinin korunması amacıyla CNC mantığıyla çalışan bir aynaya bağlanacak silindir kapatmaların her iki tarafından robot vasıtasıyla kaynatılması planlanmıştır. Ayna döndükçe, robot en iyi akma açısıyla kaynağı gerçekleştirecektir. Şekil 5.2’de aynanın bağlanacağı döküm imal tahrik ekseni sisteminin tasarımı ve son hali verilmiştir.



Şekil 5. 11 Bağlantı Fikstürü Döküm Tahrik Ekseni Tasarımı

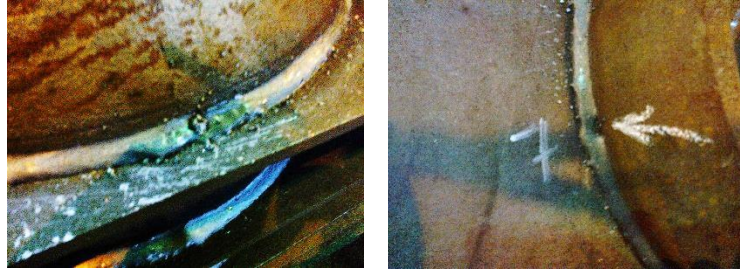
Ancak tasarım aşamasında firmaya ait silindirik LPG tankına ait açıklık parçasında robot kaynaklı üretimde erişim ve açı problemi olduğu görülmüştür. Robot torçunun ilgili iş parçasına dair konumu ve izlenen rota esnasındaki hareketlerinin dikiş formuna olan olumsuz etkisi incelendiğinde, ilgili kaynağın yönü dikkate alındığı takdirde aksi yönde erişim kısıtı nedeniyle torç açısının kaynak ağzına olan minimum açısı 50° olduğu ve buradaki yüksek açısının olması gereken maksimum 30° ’lik eğimi aşması nedeniyle kaynak banyosu önünde yığılma, dikişte kalıntı, çapak ve

gözenek görülmektedir. Şekil 5.12’de ilgili parçaya ait katı modeller ve kaynak sonrası görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5. 12 LPG Tankı Açıklık Parça Kaynağı Uygulaması

Bu kalitesizlik kusurunun en büyük etkisi tolerans dışı gelen parça limitleri, yer çekimi aksi iş yapmak ve koruyucu gazın akım şiddeti ve yönünün türbülansa neden olacak şekilde doğrultu değiştirmesidir. Ürünün fazla eğimle kaynatıldıktan sonraki hatalara ait görüntüleri Resim 5.5’de verilmektedir.



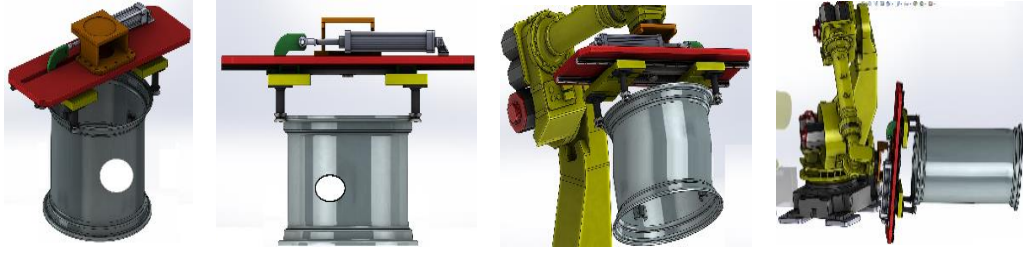
Resim 5. 5 LPG Tankı Üzerinde Torç Kaynak Açısı Kaynaklı İmalat Hataları

İlgili parça yüksek emniyet standartları dahilinde dar toleranslara haiz olması nedeniyle parça üzerinde açı ve erişim çalışması titizlikle gerçekleştirilmiştir. Firma’ya otomasyon çözümü olarak daha iyi mekanik bir sistem sunan ikinci bir robot ile doğru açının ürüne kazandırılması amacıyla bu robotun altıncı eksenine entegre çalışan bir tutucu tasarlanmıştır.

5.1.2.1 Robot torcunda erişim arttırımı için fikstür tasarımı

Kaynak torcunun, kaynak işlemi esnasında kaynak banyosunu doğru oluşturabilmesi için işlem boyunca en iyi pozisyonu yakalaması ve koruması beklenir. Ancak torcun ve ürünün, sistemin yapısı gereği doğru konuma getirelemediği durumlarda alternatif olarak kaynatılacak malzemeninde torçla beraber konumlandırılması gerekir. Bu yöntemlerden biri, ikinci bir taşıma robotunun altıncı eksenine eklenecek mekanik

yapı ile tankın açısını istenen konum ve açıya getirmektir. Şekil 5.3'te ilgili robota ait tasarım bilgileri paylaşılmıştır.



Şekil 5.3 Tank'ın İkinci Bir Robot Yardımıyla Pozisyon Alması

Proje detayında mafsallı pnömatik çift etkili bir silindir yardımıyla mekanik kilitleme hareketi gerçekleştirilecek, 500 mm. boyunda kramayer dişli ve 1200 mm. uzunluğunda kızak üzerinde hareket edecek olup, krom malzemedeki üretilen taşıma ve tutma mekanizması 181 mm. çapında 0,41 sürtünme katsayısına sahip olarak tasarlanmıştır.

Tutma ve kilitleme tahrikini oluşturacak piston kuvveti, tutucu sistemin üzerinde planlanan en ağır yüke (73 kg.) göre ve robotun işlem pozisyonuna gelirken planlanan en yüksek hıza ait ivmede hareketi esnasında ($3 \text{ m}^2/\text{sn.}^2$), robotun acil butonuna basıldığında gerçekleştirilecek ani duruştan kaynaklanan merkezkaç ve eylemsizlik kuvvetine karşılık malzemede meydana gelecek tutma kuvvetinin hesaplanması gereklidir. Bu kuvvet aşağıdaki denklem ile bulunmaktadır:

$$F_{top} = \frac{m \times (g + a_{(t+y)}) \times S}{\mu \times n}$$

Formülde;

F_{top} , Newton cinsinden, toplam gereken tutma kuvvetini,

m, kg. cinsinden, taşınacak LPG tankının kütlesini,

g, $\text{m}/\text{sn.}^2$ cinsinden, yerçekimi ivmesini,

$a_{(t+y)}$, $\text{m}/\text{sn.}^2$ cinsinden, tutucu ve yükün robot hareketinden kaynaklanan ivmesini,

S, spesifik birim cinsinden, emniyet katsayısını,

μ , spesifik birim cinsinden, sürtünme katsayısını,

n, birim adet cinsinden, tutucu mesnet (ayak) sayısını göstermektedir.

Firma'dan alınan veriler ışığında belirlenen dizayn parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$m = 73 \text{ kg.}$$

$$g = 9,81 \text{ m/sn.}^2$$

$$a_{(t+y)} = 3 \text{ m/sn.}^2, d$$

$$S = 2.5$$

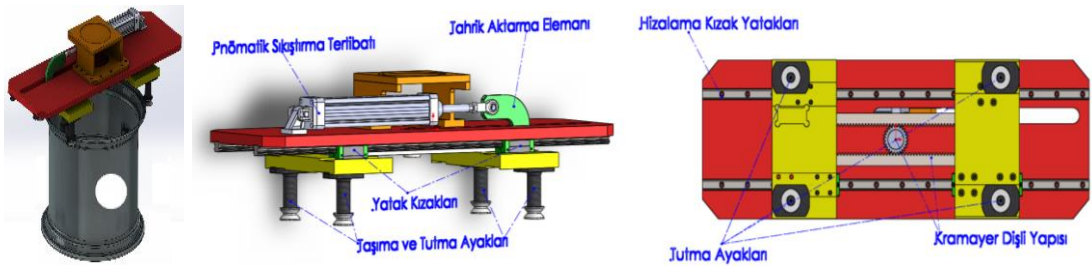
$$\mu = 0,41$$

$$n = 4 \text{ adet}$$

Bulunan denklemde veriler yerine konulduğunda;

$$F_{top} = \frac{73 \times (9,81 + 3) \times 2,5}{0,41 \times 4} = 1.425,50 \text{ N}$$

olarak bulunur. Tahrikin mevcut en yüksek merkezkaç ve eylemsizlik kuvvetini karşılayabilmesi için kramayer dişli ve doğrusal bilyalı yataklama üzerinde hareket etmesi planlanan sıkıştırma, tutma ve sabitleme ayaklarının tahrikinin; olası hava düşümü, pistonun zamanla eskimesi, tutucu ayaklar ile malzeme arasında yağ benzeri sürtünmeyi azaltıcı madde kontaminasyonu gibi olumsuz koşullar düşünülerek, son konum kilitlemesine sahip DSBC tipi 100 mm. piston çapı ve 2800 mm. stroka sahip, 6 barda teorik itme kuvveti 4.418 N olan piston seçilmiş olup, en ağır olan 73 kg'lık LPG tankını tutabilecek dayanımda emniyetli tarafta kalacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5.13'de yapılan mekanik çalışmanın detayları sunulmaktadır.



Şekil 5. 13 LPG Tankı Tutma Mekanizması Detay Çalışması

Ancak bu durumda parçanın hareket esnasında düşmemesi için tank ile parçanın birbirine punta kaynağı (metot kaynağı) ile tutturulması ihtiyacı doğmakta ve ekstra işçilik gerekmektedir. Firma manuel punta kaynağı yapmak ve yeni robot ve tutucu

yatırımı yapmak yerine, ilgili açıklık parçasını manuel operasyon yardımıyla kaynak yapmayı tercih etmiştir. Aynı operatör yan kapama saclarında kaynak ağızlarının ön birleşim işlemini punta metot kaynağını gerçekleştirecektir.

5.1.3 Parça Hazırlık Prosesinin Robotik Toleransa Uygunluğunun Ölçümü

Firma, ürettiği LPG tankları üzerinde yer alan açıklık parçasını (koloret) CNC tornada yüksek hassasiyet ile üretmektedir. Ancak yan kapatma parçaları hidrolik preste basılmakta ve kaynak esnasında toleransın geniş olması sebebiyle nüfuziyet veya kaynak taşması problemi görülmektedir. Bu sebeple robotun çalışma toleransının ölçülmesi için pres hattından çıkan yan kapamalardan 5 farklı ürün grubu üzerinden, her grup için 25 adet ölçüm alınmıştır. LPG tankı imalatında yer alan hidrolik pres makinaları Resim 5.6’da verilmiştir.



Resim 5. 6 LPG Tankı İmalatı Sac Şekillendirmede Kullanılan Hidrolik Pres

Alınan yan kapama sacları, hidrolik preslerden alınmıştır. Hidrolik preste işlem gören sacların teknik resmi referans alındığında, ürün çapı 406.4 ± 4 mm. olarak verilmektedir. İmal edilen her grup yan kapama sacından yirmi beş adet ardaşık numune alınmakta, kalite departmanı tarafından ölçülmekte ve Tablo 5.5’te de verilen tabloya kaydedilmektedir Her beşli grubun, ortalaması (X_{ort}) ve en büyük ölçü değeri ile en küçük ölçü değeri arasındaki aralık hesaplanarak (R) tabloya işlenmektedir.

Çizelgede bir defada alınacak numune büyüklüğünün seçimi, sürecin özelliği ile ilintilidir. Genel prensip, numune alınması esnasında, süreci Firma’dan kaynaklı özel nedenlerin etkileme olasılığının mümkün olduğu kadar az olması ve ürünler

arasındaki farkların sadece genel nedenlerden etkilenmesidir. Bu açıdan aynı makinada, aynı vardiya, operatör ve çelik balyasından ardarda üretilen parçaların numune grubu olarak alınması genelde tercih edilmektedir. Grupların belirlenmesi ise rastgele olarak farklı makina, vardiya, operatör ve çelik balyası seçimi gerçekleştirilmiştir. Örnekleme işleminde bu tercih ve kısıtlar gözetilerek, preste üretilen yan kapama sacları alınmış ve ölçülmüştür.

Ortalama değer ve limit hesabının gerçekleştirilebilmesi için 5 grup için minimum 100 ölçü gereklidir. Buradan anlaşılacağı üzere her grup için en az 20 adet numune almak gereklidir ancak çıktılarının sağlaştırılması amacıyla deneme esnasında 25 adet numune alınmıştır (Joglekar 2003). Her numune grubuna ait ölçüler S1, S2, S3, S4 ve S5 olarak tabloya işlenmiştir. Ölçüm sonuçları Tablo 5.5’de verilmektedir.

Tablo 5. 5 LPG Tankı Yan Kapama Sacı Baskı Sonrası Sapma Ölçüm Sonuçları

Grup Tanımı	Numune Sayısı																								
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25
S1	7	6	5	5	7	3	6	7	3	5	10	5	6	10	8	5	8	4	5	6	7	5	8	3	7
S2	8	6	7	3	6	6	5	9	5	5	7	8	4	4	5	8	8	2	9	3	4	6	6	8	6
S3	2	7	8	6	4	5	7	4	7	9	9	10	5	4	9	5	8	6	10	4	5	9	8	7	4
S4	8	3	4	4	6	7	5	4	8	7	4	3	4	6	7	8	6	7	7	6	7	6	3	5	5
S5	5	4	6	6	7	7	5	8	9	3	8	8	4	9	6	6	5	11	4	6	3	4	6	6	8
Ortalama (X)	6	5.2	6	4.8	6	5.6	5.6	6.4	6.4	5.8	7.6	6.8	4.6	6.6	7	6.4	7	6	7	5	5.2	6	6.2	5.8	6
Aralık (R)	6	4	4	3	3	4	2	5	6	6	6	7	2	6	4	3	3	9	6	3	4	5	5	5	4

S1 ile S5 gruplarındaki saclardan alınan ölçülerin ortalaması “Ortalama (X)” olarak, en büyük ile en küçük değer arasındaki en yüksek fark ise “Aralık (R)” olarak ölçüm sonucu tablosuna işlenir. Bütün numuneler için aynı işlem tabloda tekrar edildikten sonra X ve R’nin kümülatif ortalamasını bulmak için aşağıdaki formüller kullanılır:

$$x_{ort} = \frac{(X_1 + X_n + \dots + X_n)}{n}$$

$$\check{R}_{ort} = \frac{(\check{R}_1 + \check{R}_n + \dots + \check{R}_n)}{n}$$

Bu ortalama değerler X çizelgesinin ve R çizelgesinin ana eksenlerini vermektedir. Tablo 5.X’den gelen değerler X ort ve R ort denklemlerinde yerine konulursa:

$$x_{ort} = \frac{(6 + 5.2 + 6 + 4.8 + 6 + 5.6 + 5.6 + 6.4 + 6.4 + 5.8 + 7.6 + 6.8 + 4.6 + 6.6 + 7 + 6.4 + 7 + 6 + 7 + 5 + 5.2 + 6 + 6.2 + 5.8 + 6)}{25}$$

$$x_{ort} = 6,04$$

$$R_{ort} = \frac{(6+4+4+3+3+4+2+5+6+6+6+7+2+6+4+3+3+9+6+3+4+5+5+5+4)}{25}$$

$$\check{R}_{ort} = 4,6$$

Her iki çizelgenin alt ve üst limit değerleri şu formüller kullanılarak hesaplanır (2003 Joglekar).

$$x_{alt} = X - A_2 \times R$$

$$x_{üst} = X + A_2 \times R$$

Bu formüllerde kullanılan A_2 , D_3 ve D_4 değerleri numune sayısına göre değişen kontrol katsayısı sabitleri olup Tablo 5.6'da verilen kontrol katsayıları tablosunda numune sayılarına göre ilgili sabitler kullanılarak olması gereken tolerans değerleri bulunacaktır.

Tablo 5. 6 Kontrol Katsayıları Tablosu (ASTM, 2010)

n	d_2	d_3	C_4	\bar{X} and R Charts			\bar{X} and S Charts		
				A_2	D_3	D_4	A_3	B_3	B_4
2	1.128	0.8525	0.7979	1.880	—	3.267	2.659	—	3.267
3	1.693	0.8884	0.8862	1.023	—	2.574	1.954	—	2.568
4	2.059	0.8798	0.9213	0.729	—	2.282	1.628	—	2.266
5	2.326	0.8798	0.9400	0.577	—	2.114	1.427	—	2.089
6	2.534	0.8480	0.9515	0.483	—	2.004	1.287	0.030	1.970
7	2.704	0.8332	0.9594	0.419	0.076	1.924	1.182	0.118	1.882
8	2.847	0.8198	0.9650	0.373	0.136	1.864	1.099	0.185	1.815
9	2.970	0.8078	0.9693	0.337	0.184	1.816	1.032	0.239	1.761
10	3.078	0.7971	0.9727	0.308	0.223	1.777	0.975	0.284	1.716
11	3.173	0.7873	0.9754	0.285	0.256	1.744	0.927	0.321	1.679
12	3.258	0.7785	0.9776	0.266	0.283	1.717	0.886	0.354	1.646
13	3.336	0.7704	0.9794	0.249	0.307	1.693	0.850	0.382	1.618
14	3.407	0.7630	0.9810	0.235	0.328	1.672	0.817	0.406	1.594
15	3.472	0.7562	0.9823	0.223	0.347	1.653	0.789	0.428	1.572
16	3.532	0.7499	0.9835	0.212	0.363	1.637	0.763	0.448	1.552
17	3.588	0.7441	0.9845	0.203	0.378	1.622	0.739	0.466	1.534
18	3.640	0.7386	0.9854	0.194	0.391	1.607	0.718	0.482	1.518
19	3.689	0.7335	0.9862	0.187	0.403	1.597	0.698	0.497	1.503
20	3.735	0.7287	0.9869	0.180	0.415	1.585	0.680	0.510	1.490
21	3.778	0.7272	0.9876	0.173	0.425	1.575	0.663	0.523	1.477
22	3.819	0.7199	0.9882	0.167	0.434	1.566	0.647	0.534	1.466
23	3.858	0.7159	0.9887	0.162	0.443	1.557	0.633	0.545	1.455
24	3.895	0.7121	0.9892	0.157	0.451	1.548	0.619	0.555	1.445
25	3.931	0.7084	0.9896	0.153	0.459	1.541	0.606	0.565	1.435

İlgili değerler tablodan okunduğunda, R_{alt} ve $R_{üst}$ değerlerinin bulunması için 5 grup için (n=5) A_2 , D_3 ve D_4 değerleri tablodan:

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 2,114$$

$$A_2 = 0,577$$

olarak bulunur. Daha önce bulunan $X_{ort} = 6$ mm. ve $R_{ort} = 4.6$ mm. değerleri için formülde yerine konulduğunda:

$$x_{alt} = X_{ort} - (A_2 \times R)$$

$$x_{alt} = 6 - (0,577 \times 4,6) = \mathbf{3,35 \text{ mm.}}$$

$$x_{üst} = X_{ort} + (A_2 \times R)$$

$$x_{üst} = 6 + (0,577 \times 4,6) = \mathbf{8,65 \text{ mm.}}$$

olarak bulunur. Teknik resimde istenilen kaynak toleransı olan 4 mm. sapma, ölçüm alınan ve yukarıda merkezden sapma miktarı: minimum 3,35 mm. ve maksimum 8,65 mm. olan 125 adet numune sac parçanın, hidrolik preslerde imal edildikten sonra tolerans gereksinimi teknik resimde verilen mevcut sapma toleransı dahilinde karşılamayacağı anlaşılmaktadır.

$$\sigma_{tolerans} = 4 \text{ mm.} < \sigma_{max} = 8,65 \text{ mm.}$$

Bu durumda kaynak ağızlarının birleşim noktalarının robota akuple olarak torç ile birlikte dikişi izini takip edecek ve tolerans sapmalarının bu kamera yardımıyla algılanması ve arka planda gelen görüntüleri algılayıp torçun konumu yönlendiren bir sistem kurulması planlanmıştır.

5.1.4 Robotik kaynak prosesinde dikiş konumlandırmanın bulunması

Robotik kaynakta dikiş konumlandırması, kaynaklı birleştirme gerçekleştirilecek iki parçanın kaynak ağızlarının oluşturduğu çizginin tayin edilmesi ile yapılmaktadır. Birleşim çizgisinin takibi için mevcut kaynak ağız birleşiminin görüntüsünün sınır eğri çizgisinin analizi gereklidir. Görüntünün sınır eğrisi çizgisi, yerel süreklilik gösteren ve çevresine göre belirginleşmiş noktalardan oluşur. Görüntü sınırının netleştirilmesi için 5 farklı filtre algoritması kullanılabilir. Bu filtreler, Sobel, Prewitt, Roberts, Log ve Canny filtre algoritmalarıdır. Sınır grafiği siyah zemin üzerine beyaz noktalar olarak çizilir ve bu noktaların birbirlerine olan mesafeleri yardımıyla tek bir çizgi oluşturulur. Bu çizgi, robotun 6. eksenine bağlı torcun ucundaki kaynak telinin izlemesi gereken yolu verir.

Log filtresi

Bu filtreye Marr-Hildreth (Laplacian of Gaussian – LoG) algoritması da denir. LOG filtreleme öncelikli olarak gürültü yumuşatma, kaldırma ve ikinci türev oluşturma benzeri sıralı matematiksel işlemler içerir. Kenarlar süzöldükten sonra görüntünün ikinci türevi sıfıra eşit olduğu nokta yeri işaretlenerek filtre edilen görüntü tanımlanır.

Canny filtresi

Görüntüdeki gürültü bir sigma değerine göre üretilen Gaussian çekirdekle evrimi alınarak azaltılır. Daha sonra, gradyent operatörü uygulanarak, kenar gradyan (yön türevi) büyüklüğü ve yönü hesaplanır. Kenarlar, non maksima baskılama (ing: non-maxima supression) uygulanarak inceltir. Son olarak görüntü, ikili eşikleme (ing: image tresholding) uygulanarak istenmeyen ayrıntılardan arındırılır.

Sobel filtresi

Sobel operatörü yatay ve düşey yönde keskinlikleri yakalar. Sobel operatörü bir resmin üzerinde iki boyutlu gradyan ölçümü yapar ve böylece kenarları karşılıklı gelen yüksek uzaysal frekans bölgelerini vurgular. Tipik bir giriş gri tonlama görüntüdeki her noktasında yaklaşık mutlak indirgenmiş büyüklüğü bulmak için kullanılır.

Roberts filtresi

Bu filtre diyagonal olarak kenar tarar. Çapraz operatör bir görüntü üzerinde hızlı ve iki boyutlu gradyan ölçümü gerçekleştirir. Bu nedenle sık sık kenarlarına karşılık Sobel filtresine benzer olarak yüksek uzaysal frekans bölgeleri vurgular. Çıkış olarak en yaygın kullanımda, girdi olarak gri tonlu bir görüntü, çıktı ise her noktada piksel değerleri, o noktadaki giriş görüntüsünün mekansal gradyan tahminini ve mutlak büyüklüğünü temsil eder.

Prewitt filtresi

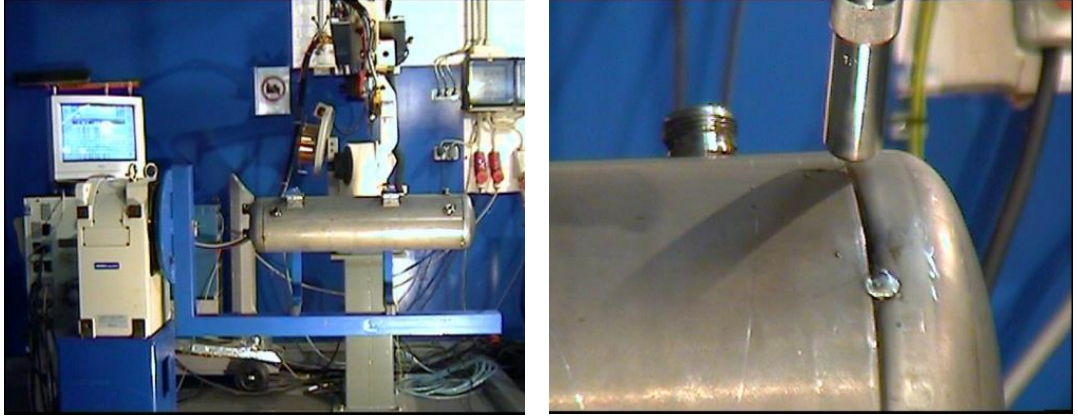
Prewitt filtresi, Sobel filtresi gibi düşey ve yatay keskinlik yakalar. Prewitt filtre operatörü özellikle kenar algılama algoritmaları içinde, görüntü işlemede kullanılır. Resimdeki her noktada, Prewitt filtresi sonucu gelen indirgeme vektörü mevcuttur. Öte yandan, ürettiği gradyan yaklaşım yüksek görüntü frekans varyasyonları için, küçük, ayrılabilir ve tam sayı değerli, özellikle hızlı aksiyon alınması gereken kaynak operasyonları için değerlendirilebilir bir filtre seçeneği olarak öne çıkmaktadır.

Laplace filtresi

Laplace operatörü her yönde keskinleştirme yapar. Laplace, görüntünün iki mekansal türevinin iki boyutlu izotropik ölçüsüdür. Görüntünün Laplace ile filtrelenmesi sonucu görüntü üzerinde hızlı yoğunluk değişim bölgelerini vurgular ve bu nedenle bu filtre sık sık kenar tespiti için kullanılmaktadır. Laplace genellikle ilk olarak gürültü hassasiyetini azaltmak için bir Gauss yumuşatma filtresi ve iki varyant ile birlikte görüntüye uygulanır. Filtre algoritması normalde girdi olarak, tek bir gri seviye görüntü alır ve çıkış olarak başka gri seviye görüntü üretir.

5.1.4.1 Filtre seçimi

LPG tankının kaynağı esnasında torcun ark kaynağı dikişini izleyeceği yol, yan kapama ile silindir gövdenin birleştiği kaynak ağzıdır. Bu kaynak ağzının doğru belirlenmesi için, birleşim çizgisini oluşturan kaynak ağzının video ve fotoğrafları Matlab r2015 programında analiz edilmiş ve hangi filtrenin seçileceğine dair denemeler yapılmıştır. Fotoğrafi çekilen kaynak ağzlarının birleşim çizgisi Resim 5.7'de görülmektedir.

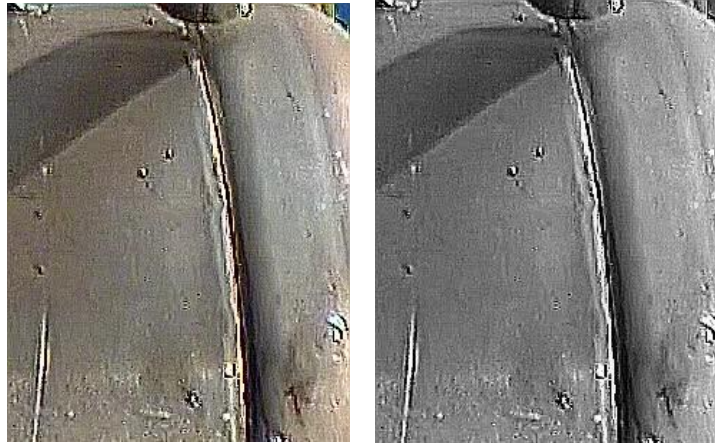


Resim 5. 7 LPG Tankı Puntalanmış Yan Kapama Sacı Kaynak Ağzı

Matlab r2015 programında öncelikle görüntünün filtrasyonu için KYM (kırmızı – yeşil – mavi) renk kodunda bulunan görüntüye ait mevcut renklerin gri renk uzayına çevirilmesi gereklidir. Çevirme işlemi için öncelikle mevcut görüntü “ham.jpg” olarak Matlab klasörü altına kaydedilmiş ve akabinde aşağıdaki kod kullanılmıştır.

```
>>imge = imread('ham.jpg');  
>>imshow(imge)  
>>title('Orjinal Görüntü')  
% Görüntüyü korumak amacıyla ile bilgisayara ham olarak kaydedilir  
>>imgeGri = rgb2gray(imge);  
>>imwrite(imgeGri, 'RGB.gif', 'gif');
```

Bu kodun çalıştırılması sonrasında, ilgili kaynak ağzını gösteren fotoğraf filtrasyona hazırlık amacıyla, KYM (kırmızı – yeşil – mavi) renk uzayından, gri renk uzayına çevirilmektedir. İlgili kaynak ağzının KYM ve gri renk uzayı görüntüleri Resim 5.8’de verilmiştir.

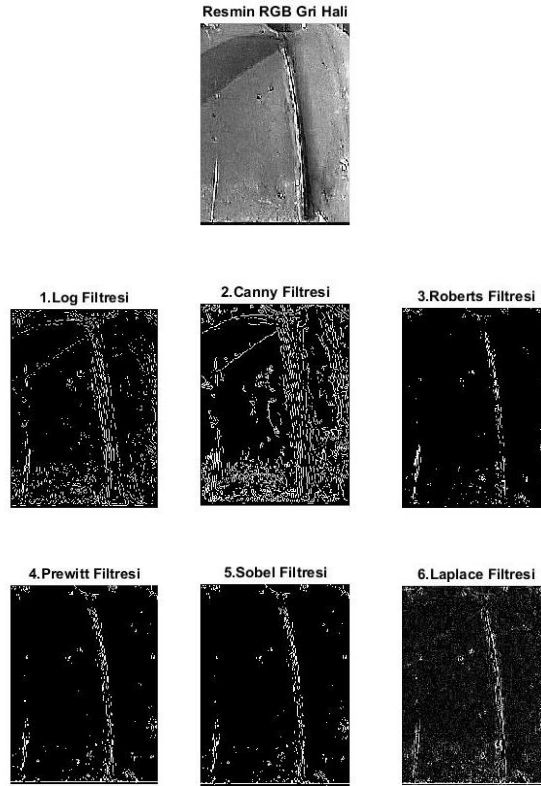


Resim 5. 8 Tank Kaynak Ağzı KYM Renk ve Gri Renk Evrimi

LPG tankına ait kaynak ağzı görüntüsü gri ton renk uzayına evirildikten sonra, Sobel, Prewitt, Roberts, Log ve Canny filtre algoritmalarından ayrı ayrı geçirilir. Aşağıdaki kod, “RGB.gif” olarak kaydedilen görüntüyü her bir filtreden ayrı ayrı geçirmekte ve filtre çıktısını konsolide halde ekran çıktısı olarak sunmaktadır.

```
% (1.Log Filtresi, 2.Canny Filtresi, 3.Roberts Filtresi,  
% 4.Prewitt Filtresi, 5.Sobel Filtresi, 6.Laplace Filtresi)  
>> ResimOrjinal=imread('RGB.gif');  
>> logFiltresi=edge(ResimOrjinal,'log');  
>> cannyFiltresi=edge(ResimOrjinal,'canny');  
>> robertsFiltresi=edge(ResimOrjinal,'roberts');  
>> prewittFiltresi=edge(ResimOrjinal,'prewitt');  
>> sobelFiltresi=edge(ResimOrjinal,'sobel');  
>> hLaplaceFiltresi=fspecial('laplacian');  
>> laplaceFiltresi=imfilter(ResimOrjinal,hLaplaceFiltresi,'replicate')  
>> figure;  
>> subplot(3,3,2);  
>> imshow(ResimOrjinal);  
>> title('Resmin RGB Gri Hali');  
>> subplot(3,3,4);  
>> imshow(logFiltresi);  
>> title('1.Log Filtresi');  
>> subplot(3,3,5);  
>> imshow(cannyFiltresi);  
>> title('2.Canny Filtresi');  
>> subplot(3,3,6);  
>> imshow(robertsFiltresi);  
>> title('3.Roberts Filtresi');  
>> subplot(3,3,7);  
>> imshow(prewittFiltresi);  
>> title('4.Prewitt Filtresi');  
>> subplot(3,3,8);  
>> imshow(sobelFiltresi);  
>> title('5.Sobel Filtresi');  
>> subplot(3,3,9);  
>> imshow(laplaceFiltresi);  
>> title('6.Laplace Filtresi');
```


Yazılan program kodun Matlab r2015 programında çalıştırılması ile Resim 5.9'da filtre edilmiş görüntüler çıktı olarak aynı tablo çerçevesi içerisinde elde edilmektedir.



Resim 5. 9 Farklı Filtrelerde Kaynak Ağız Birleşim Çizgisi Görünümü

Bu filtreler daha sonra, robotun takip edeceği kaynak ağız çizgisini tayin edebilmesi için kullanılacak yolun bulunmasında önemli rol oynayacaktır. İkinci programa referans oluşturabilmek adına bütün filtre edilmiş görüntü çıktıları çıktıları “.bmp” formatında kaydedilmektedir. Aşağıdaki kod, filtre çıktılarının kendi isimleriyle Matlab klasörü altına kaydedilmesi için yazılmıştır.

```
%bütün filtre sonuçları farklı isimle kaydedilir
>>imwrite(logFiltresi, 'log.bmp', 'bmp');
>>imwrite(cannyFiltresi, 'canny.bmp', 'bmp');
>>imwrite(robertsFiltresi, 'roberts.bmp', 'bmp');
>>imwrite(rewittFiltresi, 'rewitt.bmp', 'bmp');
>>imwrite(sobelFiltresi, 'sobel.bmp', 'bmp');
>>imwrite(laplaceFiltresi, 'laplace.bmp', 'bmp');
```

Bu kod ile birlikte, Matlab klasör içerisinde görüntü dosyaları oluşacaktır. Oluşan “.bmp” uzantılı görüntülerden, kaynak torcunun izleyeceği koordinatın bulunması için aşağıdaki kod çalıştırılır.

```

>>function dikis(I)
    %I seçilen resmi temsil eden karmaşık sayı kümesidir
>> I = im2double(I);
>> try
>> I = rgb2gray(I);
>> catch exception
>> end

>> minpath = extractseam(exp(-I*3));
>> img = zeros(size(I,1), size(I,2), 3);
>> img(:,:,1) = I;
>> img(:,:,2) = I;
>> img(:,:,3) = I;

>> for i = 1:length(minpath)
>>     img(i, minpath(i), 1) = 1;
>>     img(i, minpath(i), 2) = 0;
>>     img(i, minpath(i), 3) = 0;
>> end

>> figure('isim', 'kaynak dikisi');
>> imshow(img);

>>end
>>function minpath = extractseam(E)

>> Emin = E;
>> alpha = 1.25; %çapraz keskin köşeler için pay
>> Ealpha = (alpha-1)*E;
>> for i = 2:size(Emin,1)
>>     rowmin = min([NaN NaN Emin(i-1,:)+Ealpha(i-1,:); ...
>>                 NaN Emin(i-1,:) NaN; ...
>>                 Emin(i-1, :)+Ealpha(i-1,:) NaN NaN]);
>>     Emin(i,:) = Emin(i,:)+rowmin(2:end-1);
>> end

    % çizgi birleşiminde en kısa yolun bulunması
>> minpath = zeros(size(E, 1), 1);

```

```

>> midx = find(Emin(end, :) == min(Emin(end, :)));
>> minpath(end) = midx(ceil(rand*length(midx)));

>> % en kısa dikiş çizgisinin oluşturulması
>> for i=size(E,1)-1:-1:1
>>     tmp = Emin(i,max(minpath(i+1)-
>>     1,1):min(minpath(i+1)+1,size(Emin,2)));
>>     [~,idx]=min(tmp);
>>     minpath(i)=idx+minpath(i+1)-1-(minpath(i+1)>1);
>> end
>>end

```

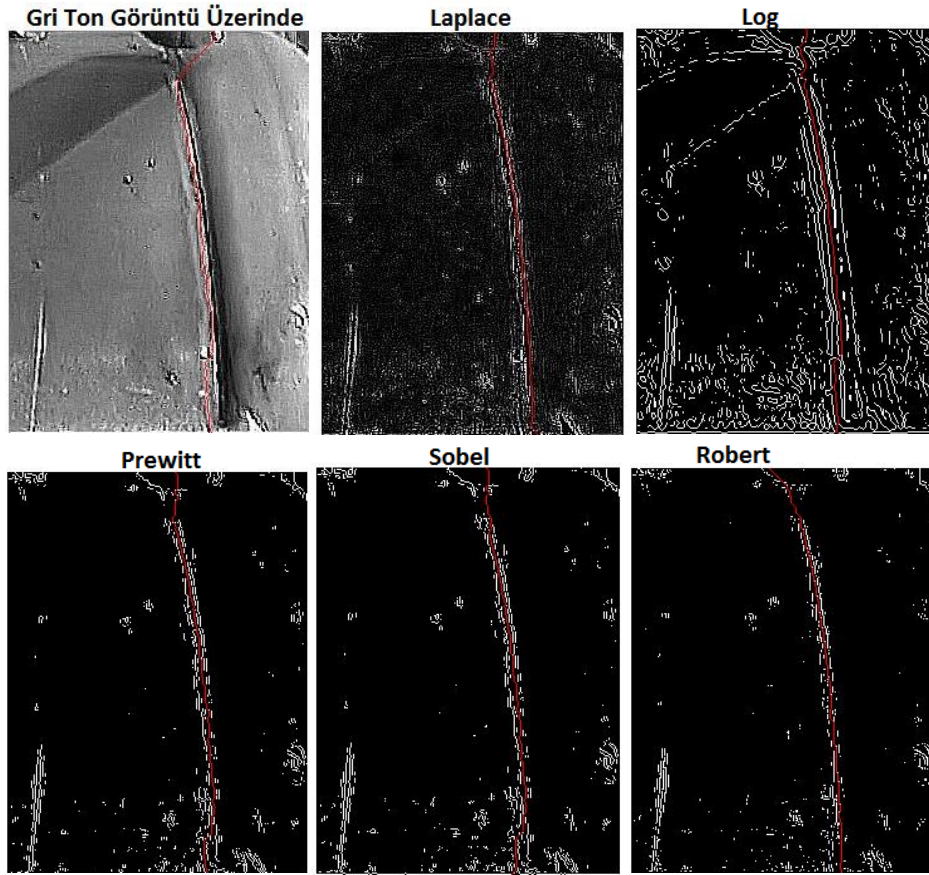
Verilen kodda “I” ile temsil edilen parametre, resimlerin farklı bir kod üzerinden çağırılması için tanımlanmıştır. Bu sebeple ilgili “dikis” fonksiyonunda “I” ile temsil edilen görüntü dosyalarını çalıştırmak amacıyla aşağıdaki Matlab kod bloğu yazılmıştır. Bu kod bloğu, “dikis” fonksiyonunda yanında belirtilen görüntüyü çağırır.

```

>>dikis(imread('log.bmp'));
>>dikis(imread('canny.bmp'));
>>dikis(imread('roberts.bmp'));
>>dikis(imread('prewitt.bmp'));
>>dikis(imread('sobel.bmp'));
>>dikis(imread('laplace.bmp'));
>>dikis(imread('rgb.gif'));

```

Bu kod bloğu çalıştığında, her görüntü için robotun kaynağı gerçekleştireceği kaynak ağzının izlemesi gereken yol bulunmaktadır. Program çıktısı ilgili filtreler üzerindeki yol, program tarafından kırmızı ile işaretlenmiş olarak Şekil 5.14’de verilmektedir.



Şekil 5. 14 Filtre Sonrası Görüntülerde Kaynak Dikiş Yolunun Tayini

Filtreler üzerinden yapılan çözümlerde, gerçek duruma en yakın olan filtrenin Robert Filtresi olduğu, görüntü üzerine herhangi bir filtre uygulamadan yol bulma işleminin “Gri Ton Görüntü Üzerinde” filtresi sonucunda ise başarısız olduğu görülmüştür.

Sistemi yüksek hızda ve çözünürlükte kamera ile tam entegre hale getirmek Firma için maliyetli olduğundan, sadece mesafe ölçen lazer kullanılması durumunda da istenilen kaliteye ulaşıldığı görülmüştür.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kuruluşa alınmasına karar verilen ilk kaynak robotunun, beklenenden daha fazla sorun çıkartması muhtemeldir. Ancak bu firmanın robotlu üretim için uygun olmadığı anlamına gelmez, sadece işletmede aşılması gereken birkaç adımın daha olduğunu gösterir.

Eğer işletmede yoğun olarak el kaynağı yapılıyorsa, teknik resme göre daha geniş toleranslarda çalışabilmek mümkündür. Ancak robot alırken akıldan çıkartılmaması gereken en önemli husus, kaynak robotlarının geniş tolerans aralıklarıyla asla çalışamayacaklardır. Eğer kaynak robotunun verimli bir kaynak yapması isteniyorsa, robot tekrarlanabilirlik değerinin dolayısıyla robot toleransının “±” toplamı, kullanılan kaynak telinin yarıçapını aşmaması gerekmektedir. Eğer başlangıçta bu kabul yapılmazsa, prosesin ilerleyen zamanlarında kalite ve verimlilik problemleri yaşanması muhtemeldir.

Yeni bir robot almak işletmeleri “tersine mühendislik” yapmaya zorlamalıdır, bu koşullarda bütün üretim prosedürlerin başından itibaren gözden geçirilmesi elzemdir. Parça toleransları çok mu geniş? Eğer kaynaktan önce birleştirme varsa, birleştirme sonrası kaynak bölgesinde boşluk var mı? Kurtağızları doğru kesiliyor, bükümler doğru açıyla bükülüyor mu? Başka firmalardan alınan parçalar teknik resimlerle uyumlu mu? Robotta işlem göreceğ bütün parçalar birbirinin aynısı mı?

Robot yatırım kararı almadan önce işletmede yukarıdaki sorulara verilecek olası ve potansiyel menfi cevapların ipuçlarını ve çözümleri mutlaka aranmalıdır. Bazı parçaların yeniden tasarlanması, makine parkurlarının yenilenmesi veya teknik resimlerin güncellenmesi gerekebilir. Farklı komponentler için kontrol fiğstürleri oluşturma gereksinimi, yeni bir üretim kalite planı ve operatörlerin eğitim ihtiyacı mutlaka değerlendirmelidir.

Dördüncü bölümün sonunda anlatılan “Kaynak Robotu Seçiminde Fizibilite ve Ekonomi” konusundaki yatırımın geri dönüşünün hesaplanması akabinde, değerlendirme “yatırım yapılabilir” olarak sonuçlandırıldıysa, piyasada bulunan kaynak robotu projelendirme ve entegratör firmalarıyla görüşmeler başlatılabilir.

Doğru entegratörü seçmek için birçok faktör bulunmaktadır, öncelikle doğru karar için, maliyetin tek seçim kriteri olmaması konusunda karar vericilerin şartlanmaları gereklidir. İlk robot sisteminin mutlaka tamamen entegre edilmiş, sevkedilmiş ve fabrika sahasında “anahtar teslim” olarak çalışır durumda alınması yerinde bir karar olacaktır. Sözleşmedeki “anahtar teslim” kelimesinin, ileride yaşanacak problemler için bir nevi sigorta olduğu hatırdan çıkartılmamalıdır.

İyi bir entegratör firma uzun vadede işletmeye destek, yedek parça ve mühendislik hizmeti sağlamalıdır. Mutlaka entegratörün referansları ve daha önce kurulum yaptığı firmalar araştırılmalıdır. Mümkünse entegratör ve daha önce kurulum yapılan firmalar ziyaret edilmelidir. Ziyaret edilen firmalarda robotlu imalat sürecine dahil olan operatörlerle, yaşanan problemve zorluklar tartışılmalıdır.

Entegratörler genelde sadece bir veya iki marka robot satmaktadırlar. Entegratör kadar doğru robot markasının da seçildiğinden emin olunmalıdır, özellikle ana sanayide kullanılan ve bilinen marka robotları seçmek, karar vericileri hatalı seçimlerden uzaklaştıracaktır. Bazı robotlar oldukça kullanıcı dostu olsada yazılım desteği olarak zayıf desteğe, bazı robotlar ise kullanması çok karışık ancak yazılım tarafında güçlü bir desteğe sahip olabilmektedir. Kullanıcı dostu ancak zayıf yazılıma sahip olanları “Japon Ekolü” olarak, güçlü yazılım ancak karmaşık programlama diline sahip robotlar ise “Alman Ekolü” robotlar olacak şekilde bir genelleme yapılabilir. Seçim mutlaka iyi bir araştırma ile verilmelidir, burada göz önünde mutlaka bulundurulması gereken kriterler için “Kaynak Robotları Spesifikasyonları ve Seçim Kriterleri” bölümüne bakılabilir.

Yine Türkiye’de düşük kapasiteli taşıma robotlarının, kaynak robotu amacıyla satılması söz konusudur. Bu robotlar, dar alanlarda ve açılarda çalışmak için üretilmemişlerdir ancak karar bu yönde olacaksa, mutlaka torcun takıldığı son eksenin, kaynak noktasına erişimi açısından, nispeten “daha küçük boyutta” olmasına dikkat edilmelidir. Yine Türkiye’ye özel bir durum olan ikinci el robot alımı ile ilgili

olarak, alınan robotun çalışma verimi tamamen belirsizdir; muhtemel olarak yedek parça temini, yüksek enerji sarfıyatı veya kronik mekanik-elektronik problemlerden ötürü satılıyor olabilmektedir. Prosese uyum sağlaması yüksek çaba isteyecektir, eğer ciddi bir üretim söz konusu ise bu tür rizikolu yatırımlardan kesinlikle kaçınılması gerekmektedir.

Robot ve entegratör seçilmesi akabinde kaynak hücresinin boyutları, çalışma prensibi ve şekli, pozisyoner, slider gibi genel çalışma birimleri ve yan komponentlerinin seçilmesi gerekmektedir. Kaynak istasyonları, genelde birçok prosesi kapsayacak şekilde birkaç standart yapıda tasarlanırlar. Ancak bu standart yapılara uymayacak şekilde proses farklı bir ihtiyaca yönelik kurgulanabilir. Bu sebeple entegratörle olası bütün senaryolar birlikte çalışılmalıdır. Çok özel bir tasarım ve imalat biraz daha maliyetli olsada, uzun vadede net çözüm için çok daha sağlıklı bir yapı kurulması bu sayede sağlanmaktadır.

Yapıya karar verdikten sonra en kritik konu “kaynak fikstürü” seçimine gelmektedir. Daha önce “Kaynak Robotları ile Bütünleşik Birimler ve Seçim Kriterleri” bölümü altında incelenen fikstür seçimi konusu, tasarımı ve kontrolü kriterlerinde bu konuyla ilgili daha detaylı bilgi bulunabilir. Eğer basit parçalar ve bu işle ilgili tasarım yapabilecek mühendis ve teknikerler işletme bünyesinde istihdam ediliyorsa, fikstür tasarım ve imalatını işletme kendi bünyesinde gerçekleştirebilir. Ancak parça geometrisi karmaşık ve ürün birden çok alt komponente sahipse, robotik kaynak, el kaynağına oranla çok daha zor bir hale gelebilir. Fikstürün tamamında, robotun kaynak noktasına doğru açıyla erişebildiğine emin olunması gerekmektedir. Eğer fikstürler yeni alınıyorsa, tasarım ve imalat mutlaka uzman entegratör tarafından gerçekleştirilmektedir. Zamanla fikstür ve erişim mantığını anlaşılabilir, işletme bünyesinde fikstür üzerinde önce geliştirmeler, sonra ise farklı türde imalatlar yapılabilir. Kaynak robotunda en önemli nokta erişim kontrolüdür ve fikstür tasarımında yapılacak bir hata, projenin tamamlanmasını ciddi bir gecikmeye neden olmakla birlikte, her iki tarafa ekstra maliyet olarak yansımaktadır. Her zaman ilk plan, parça fikstürlerinin entegratör tarafından yaptırılması olmalıdır, bunun öncesinde ise mutlaka parçalara ait iki boyutlu teknik resimlerin toleranslarıyla, entegratörün tasarım departmanına iletilmesi gerekir. 3 boyutlu çizimler üzerinden fikstür tasarlamak, entegratörü yanlış yönlendirebilmektedir.

Entegratörün verdiği teklifte ve sonrasındaki görüşmelerde karşılıklı olarak anlaşmaya varılan bütün ekipman, parça, yedek parça, çalışma prensibi, kaynak hızı, kaynaklı birleşim ve parça adedi ve benzeri üzerinde anlaşmaya varılan ve netleşen her konu sözleşmede mutlaka belirtilmelidir. Herhangi bir anlaşmazlık durumunda nihai çözümün ve cevabın yapılan sözleşmede olduğu veya olmadığı hatırdan çıkartılmamalıdır. Yine garanti şartlarını ve bu şartların garanti süresi boyunca devamı için işletme tarafından verilmesi gereken bakım aralıkları ve periyodik bakım masrafları da yatırımda göz önünde bulundurulmalıdır. Robotla birlikte garanti belgesinin verildiğinden emin olunmalıdır. Eğer sistem pozisyoner veya diğer çevre birimleriyle haberleşecekse, mutlaka elektrik diyagram şemasını istenmelidir. Bu şema olmadığında herhangi bir elektrik problemini çözmek zorlaşacaktır. Yine diğer çevre birimleri içinde ayrıca garanti belgesi, bakım şartlarını ve gerekli ekipman plaka değerleri istenmelidir. Ek-A'da örnek bir robot garanti şartnamesi verilmiştir.

Entegratör firma tarafından, işletmenin robotla çalışacak olan personeline aşağıdaki konularda eğitim verilmesi gereklidir;

- Robot komponentlerinin özellikleriyle tanıtılması,
- El terminali ile yörünge yazılması,
- Kaynak parametrelerinin belirlenmesi ve yazılması,
- Dış birimler, I/O ve diğer çevresel elemanların tanıtımı,
- Manipülâtör ve çevre birimlerin mekanik ve elektriksel bakım ayrıntıları.

Mekanik ve elektriksel olarak işletme personelinin bilmesi ve yapması gereken bakımlar aşağıdaki gibidir;

- Redüktör yağ kontrolü ve eklenmesi,
- Kayış gergi kontrolleri,
- Pil kontrolleri,
- Torch kalibrasyon,
- WPS - TCP kalibrasyon,
- Kontrol ünitesi kart temizliği ve kontrol,

- Mekanik aksam kontrol ve temizlik.

Bu eğitimler sonucunda operatör ve teknisyenlerin robot sisteminin temel çalışma prensiplerini bilmesi ve ilk arıza tespitini yapabilecek seviyede bilgi sahibi olması beklenir. Eğitim alan operatörlerin uzun süredir işletmede kaynak makinalarıyla çalışan ve uzun müddet daha fabrika bünyesinde çalışacak personelden seçilmesi önemlidir.

Sistem tesliminde, yapılması gereken ilk kontrol acil durdurma butonu (e-stop) düğmelerinin işlev kontrolü olmalıdır. Test sırasında, istenmeyen bir durumda, acil durdurma butonunun çalışmaması, insan hayatını tehlikeye sokabilir.

Sistem, entegratör tarafından teslim hazır hale geldiğinde (sistem sadece robot veya basit çevre birimlerinden oluşmuyor ve standart bir komponent değilse), mutlaka entegratöre ait işletmede çalışır vaziyete getirilmeli ve işlenecek imalat parçalarının burada kaynak işlemlerine ait kalitesinin, hızının ve diğer üretim parametrelerinin doğruluğu teyit edilmelidir. Çıkan problemlerin çözümü için entegratöre imkan ve süre verilmeli, sözleşmede belirtilmişse öngörülemeyen konular için ekstra ücret ödenmelidir. Asla eksik bir sistemin entegratörde tamamlandığını görmeden, zaman, maliyet veya benzeri kısıtlamalar dahi olsa, sistemin işletmeye kabulü veya şartlı kabulü yapılmamalıdır. Yanlış bir karar, daha yüksek yatırım maliyeti ve zaman kaybı olarak yatırımcıya dönebilmektedir.

Entegratörde sözleşme kapsamında belirlenen spesifikasyonlara uygun çalıştığı gözlenen kaynak robotu sistemi artık işletmeye sevkedilebilir. Burada sözleşmedeki teslim türü önem arz etmektedir. Teslim türü için uluslararası kodlar aşağıdaki gibidir;

- Entegratör işletmesinden teslim / Exworks (EXW)
- Entegratör alıcının istediği bir noktaya teslim eder / Free carrier (FCA)
- Entegratör bütün taşıma işlemi tamamlanmış ve sigorta ödenmiş olarak alıcıya teslim eder/ Carriage and insured paid to (CIP)

Taşıma, gümrük ve navlun ile ilgili ödeme ve riskler alıcıya ait olacaksa EXW, entegratöre ait olacaksa CIP olarak sözleşmede belirtilmelidir. Daha detaylı bilgi için Incoterms 2015 iç ve dış ticarete ilişkin ticari terimlerin kullanımı için ICC Kuralları (Milletlerarası Ticaret ODASI (ICC) Yayınları) incelenebilir.

İşletmeye kurulacak sistem için mutlaka entegratöre yardımcı olacak operatör ve teknisyenler bulundurmalıdır. Burada ki kuruluma iştirak ettikleri takdirde, statik, mekanik ve elektriksel devreye alma ve kontroller hakkında daha detaylı bilgi sahibi olmaları beklenir. Sistem kurulduktan sonra entegratörün mutlaka statik devreye alma (ing: commissioning) kontrollerini yapması gerekir. Statik kontroller sonrası sisteme enerji verilir ve dinamik devreye alma prosedürü yürütülür. Buradaki kontroller sonrasında deneme ve programlamalar yeniden düşük hızda kontrol edilmelidir. Bu aşamada uzun deneme koşulları yapmak, problemlerin açığa çıkması açısından önemlidir. Gecikme ve problemler bu aşamada normaldir, entegratörü bu aşamada zaman olarak kısıtlamak; uzun vadede çıkabilecek problemlerin o anda üstünün örtülmesine sebep olabilir. Bir sistem genelde çözülmesi gereken ufak hatalarla doğar, bu hatalar komplike sistemlerin entegrasyonundan, işletmedeki parça tolerans ve kriterlerinden ve operatörlerin bu yeni sisteme alışma sürecinden kaynaklanabilir. Tam hız ve verimde üretim koşusu için, 4 ila 6 hafta arası sistemin tam verimde çalışmaya başlamasını beklemek gerekebilir. Bu süreci robotlu sisteme alışma, sisteme gelen ve sistemden çıkan parça / ürün akışını düzenlemek için bir fırsat olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Acquisition of weld seam dimensional position information for arc welding robot based on vision computing, SB Chen, XZ Chen, T Qiu, JQ Li - Journal of Intelligent and Robotic, Springer, 2005

Automatic teaching of welding robot for free-formed seam using laser vision sensor, P Kim, S Rhee, CH Lee - Optics and Lasers in Engineering, Elsevier, 1999

Autonomous acquisition of seam coordinates for arc welding robot based on visual servoing, L Zhou, T Lin, SB Chen - Journal of Intelligent and Robotic Systems, Springer, 2006

AWS B2.1/B2.1M:2009 ADD1 Specification For Welding Procedure And Performance Qualification, 2009

AWS B5.17:2008 Specification For The Qualification Of Welding Fabricators, 2008

AWS BRH:2007 Brazing Handbook, 5th EDITION ISBN 978-0-87171-046, 2007

AWS D14.3/D14.3M:2010 AMD1 Specification For Welding Earthmoving, Construction And Agricultural Equipment, 2011

AWS D16.1M/D16.1:2004 Specification For Robotic Arc Welding Safety, 2004

AWS D16.2M/D16.2:2007 Guide For Components Of Robotic And Automatic Arc Welding Installations, 2007

AWS D16.3M/D16.3:2009 Risk Assessment Guide For Robotic Welding, 2009

AWS D16.4M/D16.4:2005 Specification For The Qualification Of Robotic Arc Welding Personnel, 2005

AWS QC19:2002 Standard For The Aws Certification Of Robotic Arc Welding Personnel, 2002

AWS PRGP:2008 The Practical Reference Guide To Positioning, 2008

AWS WHB-4.9 Welding Handbook Volume 4 - Materials And Applications Part Liu Ren, Alton Patrick, Alexei A. Efros, Jessica K. Hodgins, and James M., 2010

AWS WHC1.11 Mechanized, Automated And Robotic Welding, 2001

Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know, P.W. Singer , Allan Friedman, Oxford University Press , ISBN-10: 0199918112, 2014

Development of Remote Laser Welding Method Using Long Focal-Distance Lens for Automobile Galvannealed Steel, Shinozaki, K., Yamamoto, M., Morinaga, K., Yagi, D., Katakami, Y., Ozaki, T., Journal of the Japan Welding Society, v.27, n.2, sayfa 60-63, 2009

Ebrahimnia, M., Goodarzi, M., Nouri, M., Sheikhi, M. 2009. "Study of the Effect of Shielding Gas Composition on the Mechanical Weld Properties of Steel St 37-2 in Gas Metal Arc Welding," Materials and Design,

Friction stir welding and processing, RS Mishra, ZY Ma - Materials Science and Engineering, Elsevier, 2005

Handbook of Industrial Robotics, 2nd Edition, Shimon Y. Nof ISBN: 978-0-471-17783-8, Sayfa 1100-1378 , 1999

ISO 8373:2012 Robots and robotic devices – Vocabulary, ISO Standartı, 30 Eylül 2012

Laser İle Malzeme İşlemleri, Karaaslan, A., Literatür Yayınları, sayfa 85-143, İstanbul, 2009

Manual on presentation of data and control chart analysis / prepared by Committee Ell on Quality and Statistics, American Society for Testing and Materials, 2010

Material Processing with Remote Technology – Revolution or Evolution ? , Zaeha, F.M., Moesla. J. , Musiola. J. , Oefelea. F., Physics Procedia, v.5, n part 1, p. 19-33, 2010

Model-based feedforward control in industrial robotics, M Grotjahn, B Heimann - The International Journal of Robotics, 2002

Outlook on World Robotics 2014 IRF Statistical Department, (Uluslararası Robot Federasyonu İstatistik Departmanı Yayını), 2014

Robot Analysis and Control, Wiley-Interscience Publications, USA, H. Asada and J.J.E. Slotine, 1986

Robots In The Nuclear Industry: A Review Of Technologies And Applications,
Industrial Robot: An International Journal, Vol. 38, Robert Bogue, 2011

Statistical Methods for Six Sigma: In R&D and Manufacturing, 2003 John Wiley &
Sons, Inc , Author(s): Anand M. Joglekar 2003

Titan VII: Quadruped walking and manipulating robot on a steep slope. In IEEE Int.
Conf. Rob. Aut., Albuquerque, NM, Shigeo Hirose, Kan Yoneda, and Hideyuki
Tsukagoshi., 1997.

Welding Handbook: Welding Processes, Part 2 American Welding Society, A
O'Brien, C Guzman, 2004

Welding Metallurgy and Weldability John C. Lippold; John Wiley & Sons, 10 Kas
2014

EK-A

Örnek Garanti Sözleşmesi

Madde 1-

TARAFLAR :

Bir tarafta Sahtiyen Robot A.Ş. ile, diğer tarafta Robot Kullanan A.Ş. şirketi arasında aşağıdaki koşullarla bir garanti sözleşmesi akdolanmıştır.

İş bu sözleşmede ;

Sahtiyen Robot A.Ş. “garanti veren”,

Robot Kullanan A.Ş “garanti alan” olarak alınacaktır.

Madde 2-

KONU :

İş bu sözleşmenin konusu, garanti alanı; ekte listesi verilen teçhizat, ekipman ve makineler için verilen garanti koşulları ve süresidir.

Madde 3-

GARANTİ VERENİN YÜKÜMLÜLÜĞÜ :

Ekte listesi verilen ekipman, teçhizat ve makinaların garanti süresi 2 (iki) yıldır.

Ekte listesi verilen ekipman, teçhizat ve makinalardan garanti süresi içerisinde, gerek malzeme ve işçilik, gerekse montaj hatalarından dolayı arızalanması halinde, işçilik masrafı, değiştirilen parça bedeli ya da başka herhangi bir ad altında hiçbir ücret talep etmeksizin, tamiri yapılacaktır.

Arıza yapan veya arıza yapması muhtemel ekipman, teçhizat ve makinaların, garanti alan firma tarafındaki imalat, kalite ve iş güvenliği konularında zafiyet yaratılan

durumlarında; garanti alan firma, garanti veren firmanın 7gün / 24 saat açık olan “Destek Hattı” ’nı arayarak durumu bildirir. Arıza telefonla çözülemediği takdirde, garanti veren firma Türkiye Cumhuriyeti çalışma günü ve saatleri baz alınarak, 24 çalışma saati içerisinde garanti alan firmanın sahasında hazır bulunacaktır.

Arıza yapmış veya arıza yapması muhtemel; ekipman, teçhizat ve makina ‘üretici firma kaynaklı olarak tasarım, imalat ve malzeme hatası var ve onarılamıyor’ ise ürünün yenisiyle değişimi için garanti veren yetkili servisi tarafından “Teknik Rapor” düzenlenir. Garanti kapsamı içerisinde arıza yapan ekipman, teçhizat ve makine’ya ait işçilik masrafı, değiştirilen parça bedeli ya da başka herhangi bir ad altında hiçbir ücret talep etmeksizin,7 (yedi) gün içerisinde değişimi, garanti alan firmanın sahasında yapılacaktır.

Ekipman, teçhizat ve makinalarda ki arıza, “üretici firma kaynaklı olarak tasarım, imalat ve malzeme hatası var ve onarılabilir’ ise arızalı parça Yetkili Servis’in teslim almasından itibaren 7 (yedi) iş günü içerisinde ücretsiz olarak onarılarak yerinde çalışır durumda teslim edilecektir.

Arıza yapmış veya arıza yapması muhtemel ekipman, teçhizat ve makine aşağıdaki şartları taşıyorsa;

1-Kullanım ve kullanıcı hataları ve ekipman, teçhizat ve makinaların standart kullanım şartları/sınırları/amaçları haricinde kullanması,

2-Sistemin tamamının garanti alana tesliminden sonra, sistemin tamamında veya bir kısmında nakliye/taşıma sırasında oluşabilecek hasarlar,

3-Doğal afetler, ekipman, teçhizat ve makinalardan kaynaklanmayan harici/fiziki dış etkenler, mevsimsel hava şartları ve çevresel etkenler (deprem, yangın, sel, su basması, şiddetli rüzgar, yıldırım düşmesi, nem, rutubet, toz, nakliye, taşıma,ürünün dona maruz kalması vb.) nedeniyle oluşan arızalar,

4-Ekipman, teçhizat ve makinaların harici/fiziki dış etkenler nedeni ile hasar görmesi sonucu oluşacak arızalar ve problemler,

5-Ekipman, teçhizat ve makinanın standart ve sorunsuz çalışma koşullarının sağlanması için gerekli /zorunlu olan teknik özelliklerin (voltaj değeri, hava basıncı, sigorta değeri, topraklama, uygun toleranslı malzeme, kaynak teli, kaynak gazı,

doğru sarf malzemeleri (torch, kontaktip, gaz dağıtıcı, nozzle) v.b.) uygun olmaması, sabit olmaması ve/veya değişken olması halinde, cihazda meydana gelebilecek arızalar ve sorunlar,

6-Garanti alanın periyodik olarak yapması ve/veya yaptırmaması gerekli olan/tavsiye edilen bakım ve kontrolleri zamanında yapmaması/yaptırmaması nedeni ile ekipman, teçhizat ve makine üzerinde meydana gelebilecek arızalar,

7-Ekipman, teçhizat ve makinenin proje amacının haricinde olarak kullanımından kaynaklı arızalar ve sorunlar,

8-Ekipman, teçhizat ve makine'den doğrudan kaynaklanmayan sorunlar,

9-Elektrik tesisatı ve/veya tesisat ekipmanları, tesisat kaçakları, tesisat bağlantıları nedeniyle meydana gelebilecek arızalar,

10-Garantili onarım için yetkili servise başvurulmadan önce, garanti veren bünyesindeki yetkili personel veya yetkili servis personeli dışında birinin, cihazı onarım veya tadiline kalkışması durumunda;

garanti kapsamı dışında değerlendirilir ve garanti alan firmaya ilgili parçanın bedeli, teklif olarak gönderilir. Garanti alan firmanın yazılı siparişı üzerine, ilgili ekipman, teçhizat ve makine garanti veren tarafından teklif şartlarına göre tedarik edilir.

Parça temin garantisi, garanti sözleşmesinin imzalanmasından sonra ki 10 yıldır. 10 yıl garanti süresi boyunca garanti veren, garanti alana ilgili parçaları veya muadilini temin etmekle ve servis sağlamakla yükümlüdür.

Garanti süresi içerisinde aynı parçanın tamirinden sonra, parçanın 3 (üç) kez aynı özellikte (konum, durum, hata modu) arıza vermesi durumunda, parça garanti veren tarafından bila bedel değiştirilecektir.

Madde 4-

GARANTİ ALANIN YÜKÜMLÜLÜĞÜ :

Garanti alana, garanti veren tarafından makina, ekipman ve malzeme bazında belirtilen, periyodik olarak yapması ve/veya yaptırmaması gerekli olan bakım ve kontrolleri takip etmesi ve gerçekleştirilmesi garantinin devamlılığı için gerekmektedir.

Madde 5-

TARİH:

İş bu sözleşmeden, 23/09/1984 tarihinde, üç sayfa sözleşme ve makine, teçhizat ve ekipman listesi ekiyle, iki nüsha olarak imzalanmış ve bir nüsha garanti alana teslim edilmiş, ikinci nüsha garanti verende kalmıştır. Bu tarih aynı zamanda garanti başlangıç tarihi olarak belirlenmiştir.

Garanti Alan

Robot Kullanan A.Ş

Garanti Veren

Sahtiyar Robot A.Ş

EK-1: Makine, Ekipman ve Teçhizat Listesi

EK-B

Kaynak Fikstürlerinde İmalat Öncesi Kontrol Listesi

Kaynak fikstürünün tasarımının tamamlanmasını müteakiben, fikstür imalatına başlamadan önce kontrol edilmesi gereken önemli hususlar bulunmaktadır. Bu hususlar tasarımın imalatın doğrulanması ve fikstür imalatı sırasında ve sonrasında oluşabilecek problemlerin öncesinde yakalanması için mutlaka entegratör ve yatırım işletmecisi ilgilileri ile birlikte oluşturulmalı ve fikstür tasarımı bitiminde her seçenek üzerinde ciddi kontroller yapılması gereklidir. Aşağıdaki örnek olarak verilen tabloda otomotiv sanayisinde kullanılan örnek bir kaynak fikstürü tasarımında yapılması beklenen kontrol listesine ait tablodur.

Kaynak fikstürü tasarım kontrol listesi		Kontrol	
Sıra no:	Tanımlama	Evet	Hayır
1	Sistemin genel özellikleri (H-tipi, I-tipi, vb.) ve kullanılacak robotun erişimi onaylandı mı?		
2	Torç çakışma analizi yapıldı mı?		
3	Genel fikstür çalışma ergonomisi uygun mu?		
4	Fikstür; takılacağı pozisyonerin ağırlık değerlerine uygun mu?		
5	Fikstür; takılacağı pozisyonerin dönme eksenini çapı değerlerine uygun mu?		

6	Fikstür; takılacağı pozisyonerin eksen kaçıklığı değerlerine uygun mu?		
7	Parça; operatörün yerleştirmesi sırasında yerinde kalıyor mu?		
8	Kaynatılmış parça yerinden alınabiliyor mu?		
9	Pnömatik sistem; acil durum yönergesine göre davranacak şekilde tasarlandı mı?		
10	Pnömatik sistem; çalışılan firmanın şartname özelliklerine göre hazırlandı mı? (pnömatik şema)		
11	Şartnamedeki; fikstür açılma/kapanma süresini sağlayabilir mi?		
12	Şartnamedeki; parça yükleme/boşaltma süresini sağlayabilir mi?		
13	Şartnamedeki; kaynak süresini sağlayabilir mi?		
14	Fikstür çalışma senaryosu hazırlandı mı?		
15	Montaj sıralaması düşünülmüş ve bakım, ayar sırasında zaman almayacak hale getirilmiş mi? (montaj / demontaj kolaylığı var mı?)		
16	Ölçüm için, gerekli noktalarda eksenleme delikleri veya referanslar var mı?		
17	Uygun noktalarda fikstür taşıma amaçlı mapalar var mı?		
18	Pnömatik ve elektrik tesisatı için uygun geçiş kanalları var mı?		
19	Bağlantı adaptörü içinden geçen hava, şase, elektrik veya su hatları uygun geçişe sahip mi?		

20	Fikstürdeki tüm pim, cıvata vs. bağlantıları parça ile çalışmak için uygun konumda tasarlandı mı?		
21	Tüm ray, mil, kızak sistemleri koruma altında mı?		
22	Kritik parçaların mukavemet hesapları yapıldı mı?		
23	Hareketli grup var ise; bunlara ait mekanik stoper var mı?		
24	Manuel klemler var ise; ulaşım ve ergonomileri uygun mu? El ve uzuv sıkışma tehlikesi var mı?		
25	Klemler çalışırken çakışma var mı?		
26	İş parçaları uygun şekilde eksene alınmış mı?		
27	Ayar şim plakaları uygun şekilde yerleştirilmiş ve erişimleri sağlanmış mı?		
28	Valf adası; bakım kolaylığı, doğru susturucu, erişim ve koruma için uygun pozisyonda mı?		
29	Parça varlık sensörleri etkili şekilde pozisyonlanmış ve bağlantı geçişi düşünülmüş mü?		
30	Varsa; pistonlar kasıntı alıcı ile donatılmış mı?		
31	Varsa; hareketli arabalara ve redüktörlere ait yağlama noktaları erişimi uygun mu?		
32	Çalışan sistemlerin uygun yağlama olanağı var mı?		
33	Piston çapları ve klemp kuvvetleri uygun seçilmiş mi?		

34	Klempeler üzerindeki objeler, katalog değerlerinin belirttiği ataletsel özelliklere uygun mu?		
35	Değişebilen (birbiri veya başka bir yere bağlanabilen) gruplar varsa; bunların emniyet ve ömürleri için uygun tasarım yapılmış mı?		
36	Rulman tarzı yataklama ve merkezleme elemanları; yeterli koruma ve tolerans aralığında seçilmiş mi?		
37	İş parçası üzerindeki kaynak ve çapak koruma istekleri karşılanabiliyor mu?		
38	Fikstürde aksesuar niteliğinde kullanılacak (basınç anahtarı, ölçü aleti, potansiyometre, klemens kutusu, bus modülü, ...) nesnelere için uygun pozisyon ve koruma var mı?		
39	Aşırı ısınması beklenen noktalar var mı, önlem alınmış mı?		
40	Ayarlı olan tüm parçalar, maksimum ve minimum ayarda başka bir obje ile çakışma yapıyor mu?		
41	İşlenmesi çok zor “grift” parçalar var mı?		
42	İmalat tekniklerine (genel imalat tekniklerine) göre işlenemeyecek parçalar var mı?		
43	Kullanılan standart parça ve özel yapım malzemelerin bulunabilirliği ve bulunduğu geliş süreleri uygun mu?		
44	Tasarımda kullanılan referans pim ve dayamaların malzeme, ısıl işlem ve yüzey işlemleri belirendi mi?		
45	Alüminyum malzeme kullanımı var mı?		
46	Teflon, cam yünü ve silikon bazlı malzemelerin haricinden başka bir çeşit malzeme kullanılıyor mu?		
47	Yumuşak malzemeler üzerinde (alüminyum, bakır, vb...) helikoil uygulaması yapılacak mı?		

48	Teknik resimde; antet bölümü eksiksiz olarak doldurulmuş mu?		
49	Teknik resimde; kaynak kodlaması ve yerleri doğru mu / gösterilmiş mi?		
50	Teknik resimde; montaj antetleri ve poz numaraları doğru mu / gösterilmiş mi?		
51	Teknik resimde; ısıl işlem tanımlaması doğru mu / gösterilmiş mi?		
52	Teknik resimde; kaplama özellikleri tanımlı mı?		
53	Teknik resimde; açılı parçalar uygun ve anlaşılabilir tanımlanmış mı?		
54	Teknik resimde; parça ölçüleri (maksimum ebatlar) gösterilmiş mi?		
55	Teknik resimde; gereğinden fazla/az görünüş var mı?		
56	Teknik resimde; yeterli/uygun kesit görünüş var mı?		
57	Teknik resimde; özel işlemler tanımlanmış mı? (yerinde pimlenecek, montajda kaynat, vb..)		
58	Teknik resimde; kaynaklı parçalara ait birden fazla pafta varmı/gösterilmiş mi?		
59	Teknik resimde; CNC’de işlenecek parçaların uygun koordinat ölçülendirmesi var mı?		
60	Teknik resimde; toleranslandırma doğru mu / gösterilmiş mi?		
61	Teknik resimde; parça referanslandırması doğru mu / gösterilmiş mi?		

62	Teknik resimde; şekil ve konum toleransları doğru mu / gösterilmiş mi?		
63	Teknik resimde; parça adı ve kodu doğrumu / gösterilmiş mi?		
64	Teknik resimde; yön noktaları adlandırılmış ve gösterilmiş mi?		
65	Teknik resimde; şablon kesim amaçlı resimler ve tanımlamaları var mı?		
66	Teknik resimde; kaynaklı parçalarda “gerilim giderme” işlemi belirtilmiş mi?		

EK-C

Kaynak Fikstürlerinde İmalat Sonrası Kontrol Listesi

Kaynak fikstürünün imalatının tamamlanmasını takiben, fikstür üzerinde, imalata başlanmadan önce kontrol edilmesi gereken önemli hususlar bulunmaktadır. Bu hususlar fikstür imalatının doğrulanması ve fikstür imalatı sonrasında oluşabilecek problemlerin öncesinde belirlenmesi için mutlaka entegratör ve yatırım işletmecisi ilgilileri ile birlikte oluşturulmalı ve fikstür imalatı bitiminde her seçenek üzerinde ciddi kontroller yapılması gereklidir. Aşağıdaki örnek olarak verilen tabloda otomotiv sanayisinde kullanılan örnek bir kaynak fikstürü imalatı sonrasında yapılması beklenen hidrolik, mekanik ve pnömatik kontrol listelerine ait tablolardır.

Hidrolik sistem kontrol listesi	
Sıra no:	Tanımlama
	1. GENEL
1.	Devrenin bütün parçaları maksimum çalışma sırasında oluşabilecek yüksek basınç değerlerine göre tasarlanır veya koruma altına alınır.
2.	Ani basınç yükselmesi veya basınç genişlemesi bir risk yaratmamaktadır.
3.	Tüm yük kayıpları veya kritik basınç düşmeleri, personel için risk yaratmamaktadır.
4.	Devre ve devre elemanlarının güvenlikle kullanılabilmesi için , çalışma sıcaklıkları belirlenen limit değerleri geçmemektedir.

	2. SİSTEM İNCELEMESİ
5.	Grupların birbirleriyle olan ilişkisi ve kartuşlu ekipmanların basınçlarının gösterildiği hidrolik şema üzerinde gösterilmiştir.
6.	Tesisat kurulumundan sonra, farklı elemanların (presostatlar (basınç sensörü), manostatlar, vb.) ayar basınç değerleri devre şeması üzerinde mevcuttur.
Aşağıdaki bilgiler devre şemasında veya eklerinde bulunmalıdır.	
7.	a) Tüm devre elemanlarının isimleri, katalog ve seri numaraları, imalatçı veya fabrika bilgileri (bu malzemeleri sipariş edebilecek bilgilerin tamamını içermelidir.) (Bağlantı elemanları için tip ve markalar tanımları)
	b) Boruların boyutları, et kalınlığı ve özellikleri (Hortumlar için, boyutlar ve özellikler)
	c) Sistemin öngörülen çalışmayı gerçekleştirebilmesi için, her piston milinin çapı ve kurs boyu, tahmini maksimum kuvveti ve hız değeri
	d) Sistemde öngörülen her hidrolik motorun hacmi, maksimum çıkış momenti, istenilen dönüş hızı ve yönü
	e) Her pompanın debilerinin pompa etiketi üzerinden karşılaştırılması
	f) Her pompanın enerji kaynağının tipi , dönüş hızı ve gücü
	g) Basınç ayar değerleri
	h) Filtre tipleri ve yedek elemanlar
	i) Devreyi maksimum seviyesine doldurmak için gereken akışkan hacmi
	j) Kullanılan akışkan tipi ve viskozitesi

7. (devam)	k) Harfle veya rakamla verilen yol-adım diagramı
	l) Kollektörlerdeki devrelerin tamamının açık olarak gösterimi (hidrolik elemanlar, valf vs.)
	m) İş elemanlarının her yöndeki çalışmasının açık olarak gösterimi
	n) Akümülatörlerin nominal hacimleri ve ön yükleme basınçları
	o) Devre içinde numune ve hava alma noktalarının yeri, tipi ve boyutları
	p) Kollektörlerin ve elemanların akış hatlarının tamamının belirtilmesi
	q) Hidrolik soğutma gruplarının minimum, maksimum sıcaklıkları, basınç ve debileri
8.	Tanımlamaların, teknik özelliklerin, devre elemanlarının üzerlerindeki sembollere uygunluğu standarttır.
9.	Parça listelerinde, yerleşim planlarında ve tüm şemalarda gösterilen, devre elemanları tesisat üzerinde markalanmıştır
10.	Markalamaların tamamı, hidrolik devre elemanlarının üzerinde olmayacak şekilde yakınına kalıcı ve okunaklı olarak yapılmıştır.
11.	Tüm orifisler, güç prizleri, test prizleri ve boşaltma noktaları, boşaltma orifisleri açıkça tanımlanmıştır.
12.	Kumanda elemanları görünür ve kalıcı şekilde hidrolik devre ve elektrik şemadaki tanımlara uygun olarak işaretlenmiştir.
13.	Bir devre elemanı veya alt elemanı , sökülmesi durumunda makineyi ve bulunduğu yeri kirletmeyecek şekilde yerleştirilmiştir.

14.	Hidrolik elemanlar ve bunlara dahil boru tesisatları bakım ve ayar işlemlerini zorlaştırmayacak biçimde monte edilmiştir ve kolay ulaşılabilirliktedir.
Bakım operasyonları sırasında aşağıdaki maddelerin uygunluğu sağlanmalıdır.	
15.	a) Bağlantılar söküldüğü zaman aşırı bir kaçağa neden olmuyor
	b) Bakım için tankı boşaltmak gerekmiyor
	c) Çok fazla sayıda parçaların sökümü gerekmiyor.
	d) Ağırlığı 20 kg.'dan fazla olan devre elemanları veya eleman gruplarına kolay ulaşılabilir ve bir kaldırma düzeneği ile donatılmıştır.
Toplam üretken bakım için aşağıdaki maddeler tam olarak gerçekleştirilmiştir.	
16.	a) Tesisatın durdurma ve çalıştırma adımları belirtilmiştir.
	b) Basınç alma işlemine ait bilgiler ve normal araçlarla basıncı alınamayan sistemlerin tanımlamaları yapılmıştır.
	c) Ayarlamaların adımları belirtilmiştir.
	d) Dış yağlama noktaları, gereken yağlayıcı tipi ve uyulacak yağlama sıklıkları belirtilmiştir.
	e) Yağ seviye göstergeleri, doldurma ve boşaltma noktaları, filtreler, basınç kontrol noktaları vb., programlı bir bakım gerektiren yerler belirtilmiştir.
	f) Kabul edilen en yüksek kirlilik oranı özellikle belirtilmiştir.
	g) Akışkanın bakımıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

16. (devam)	h) Akışkanların ve yağlayıcıların güvenli bir şekilde el doldurulması ile ilgili öneriler verilmiş.
	i) Tam bir soğutma için soğutucunun debisi, maksimum sıcaklığı ve gereken kabul edilebilir basınç aralığı özellikle belirtilmiştir.
	j) Kullanılan hidrolik elemanların iç parçaları (örn: conta) referans numaraları verilmiştir.
	k) Önerilen yedek parçalar listelenmiştir.
	l) Bağlantı ağzları ISO normuna uygun olarak açılmıştır.
	m) Çalışma anında tanktaki hidrolik akışkanın normal sıcaklığı 50 °C dir ve sıcaklık 65°C olduğu anda bir alarm sinyali devreye girmektedir.
3. ENERJİ ÇEVİRİM EKİPMANLARI	
17.	Pompalar ve hidrolik motorlar korunaklı bir yere yerleştirilmiş veya tam olarak korunmuştur.
18.	Tahrik milleri ve kaplinler korunmuştur.
19.	Pompalar ve hidrolik motorların yerleşimi bakım operasyonlarını zorlaştırmamaktadır.
20.	Pompaların ve hidrolik motorların boyutları, drenaj hatları imalatçısının belirlediği özelliklere uygundur.
21.	Pompa ve hidrolik motorların devreye alma veya bakım sonrası ilk çalıştırma esnasında ön doldurma işlemi için gerekli ekipmanlar mevcuttur.
22.	Pompalar ve hidrolik motorlar aşağıdaki şekillerde yerleştirilmiştir: <ul style="list-style-type: none"> a) Bağlantılardan dolayı kaçak oluşmamıştır. b) Sistem çalışmadığı zamanlarda pompa veya motorda yağlama kaçaqları ortaya çıkmamaktadır.

23.	Silindir, sızdırmazlık elemanları ve aşınmaya çalışan diğer elemanlar kolaylıkla değiştirilebilir şekilde monte edilmiştir.
24.	Mekanik olarak birleşik silindirlerin kullanımından kaçınılmalı, eğer kullanılmışlar ise aşınan parçaların değişimine uygun olmalıdır.
25.	Aşağıdaki tanımlar akümülatör üzerine silinmez bir şekilde markalanmıştır: a) imal yılı b) toplam hacim c) seri numarası d) kabul edilebilen sıcaklık aralığı, (derece Celsuis)
26.	Aşağıdaki tanımlamalar akümülatörün üzerinde, akümülatöre sabitlenmiş bir etikette veya akümülatörün yakınında bulunur. : - Dikkat rezervuar basınç altında, sökmeden önce boşaltınız. - Önyükleme gaz basıncı ___ bar. - Yalnızca azot kullanılır.
27.	Hidroponomatik akümülatör içeren hidrolik devreler, devre kesildiği anda akümülatörün içerdiği basınç altındaki sıvının otomatik olarak boşalmasını veya akümülatörü tamamen devreden ayırmayı sağlamaktadır.
28.	Hidroponomatik akümülatör içeren hidrolik devreler bir uyarı etiketi taşımaktadır DİKKAT: (x) akümülatörü içeren devre, herhangi bir müdahaleden önce boşaltınız!
29.	Devre kesildiği anda eğer, hidroponomatik akümülatörün içindeki basınç altındaki sıvının etkisinin ortadan kaldırılması isteniyorsa, akümülatörün yakınında, görülebilen bir yerde, güvenli bir bakım yapılabilmesi için tüm bilgiler bulunmaktadır.
30.	Gazlı akümülatörlü tüm devreler bir elle boşaltma musluğu içermektedir.
31.	Basınç altındaki sıvının otomatik olarak boşaltılması, bir akış kontrol valfi üzerinden gerçekleştirilmiştir.
32.	Hidroponomatik akümülatörler, akümülatör imalatçısının talimatlarına uygun ve bakımı kolaylaştırmak için erişilebilir şekilde yerleştirilmiştir..
33.	Akümülatör modifikasyon geçirmemiştir.
34.	Akümülatörlerin önyüklemesi azot ile yapılmıştır.

35.	Valflerin ve distribütörlerin elektrik bağlantıları, fişlenebilen, ayrılabilen ve yağ geçirmeyen, ISO 4400 veya ISO 6952 normlarına uygun konnektörlerle gerçekleştirilmiştir. Elektrik bağlantıları ilgili elektrik normlara uygundur.
36.	Elektrobobinler güvenli çalışacak tarzda seçilmiş, toz ve akışkan girişine karşı korunmuştur.
37.	Farklı ekipmanların ayar basınç değerleri (pressostatlar, manometreler, regülâtör, basınç şalteri, vb.) yerleşimden sonra ilgili ekipmanların yakınında açık, görülebilen ve kalıcı bir şekilde belirtilmiştir.
Valfler ve distribütörler aşağıdaki özellikleri taşımaktadır.:	
38.	a) Valfin ayarlarını sabit kalmasını sağlayan tedbirler alınmıştır.
	b) Gerekliyse, ayarı kilitleyen düzenekler mevcuttur.
	c) Ayar parametrelerini takip edebilecek düzenekler mevcuttur.
39.	Bir valfin veya bir distribütörün yerleştirilmesi için onunla birleşik olan boruların ve bağlantı elemanlarının sökülmesine gerek duyulmuyor.
5. AKIŞKANLAR VE ŞARTLANDIRMA ELEMANLARI	
40.	Kullanılan akışkanlar ve onların isimlendirilmeleri uluslararası normlara uygundur.
41.	Hidrolik devreler ve yağlama devreleri ayrıdır. Hidrolik ve yağlayıcı akışkanların doldurma delikleri açık ve kalıcı bir şekilde işaretlenmiştir.
42.	Akışkanın kontrolü ve akışkandan numune almak için gereken araçlar ve talimatlar yapılmıştır.
43.	Doldurma işlemi tesisatın, tank üzerine yerleştirilmiş ve aşağıdaki özellikleri taşıyan bir filtresi veya doluluk göstergeli özel bir filtre aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.:
44.	- X bar 'dan az en az X lt/dk. debi (viskozite : üretici sepsifikasyonu (X mm ² ./s.). - geçirgenlik X µ.

45.	Doldurma işlemi ve akışkan seviyesini sabit tutmak için kullanılan akışkanlar bir filtreden geçirilmesi sağlanmıştır.
46.	<p>Tankın boyutlandırılması için aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmuştur:</p> <p>(Tanktaki akışkanın kullanılabilen kapasitesi)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sürekli bir debi üretmek için: Kullanılabilen kapasite (l) = pompa debisinin 4 katı kadar (l/dak). - Sürekli olmayan zamanla değişen bir debi üretimi için: Kullanılabilen kapasite (l) = ortalama pompa debisinin 4 katı kadar (l/dak). <p>göre seçilmiştir.</p>
Tank aşağıdaki özellikleri sağlamaktadır.	
47.	a) devreye bir eşanjör (ısı değiştirgeci) yerleştirilmediği zaman normal çalışma şartlarında ortaya çıkan ısıyı düzgün bir şekilde dağıtmaktadır.
	b) devrede dolaşan akışkanın tamamını normal çalışma ve bakım şartlarında muhafaza etmektedir.
	c) akışkan seviyesini emniyetli bir şekilde muhafaza etmekte, tüm çevrimlerde ve çalışma modları süresince besleme hattından yeter miktarda yağın geçmesini sağlamakta ve havanın ayrılması ve ısıl genleşme için yeterli boşluk bırakılmıştır.
	d) dönen akışkanı ve pompanın emiş noktalarını bir tertibat yardımıyla ayırmaktadır; eğer sac bölümler kullanılmışsa bunlar tankın tam bir temizliğini engellememelidir.
Fikstür dayamalarının yapısı aşağıdaki maddeleri sağlamalıdır.	
48.	a) taşıma kolaylığı sağlayacak, sıcaklık dağılımını iyileştirecek şekilde tasarlanmıştır.
	b) devreye alma ve montaj sırasında köşelerden kalınlık şimleri ile seviye ayarlamasına müsaade edilmektedir.

Tankın üst kısmı :	
49.	a) eğer sökülebilen tipte ise kirleticilerin girmesini engelleyecek şekilde tasarlanmıştır.
	b) kirleticileri toplamaya ve tutmaya elverişli kısımlar olmayacak şekilde tasarlanmış ve yapılmıştır.
Tankın yapısı aşağıdaki talimatlara uygun olmalıdır :	
50.	a) emiş hatları, imalatçının talimatlarında belirtilen, pompanın emiş özelliklerine uygun olarak boyutlandırılmıştır.
	b) emiş hatları, akışkanın en düşük çalışma seviyesinde normal beslemesini yapacak tarzda yerleştirilmiştir.
	c) tanka dönüş hatları minimum seviyenin altında olmalıdır.
	d) tanka dönüş hatları hava yaratmayacak bir akışkan hızını sağlamalıdır.
Bakım için alınan önlemler aşağıda özellikle belirtilen talepleri karşılamaktadır:	
51.	a) kapaklar yerleştirilebilen ve bir kişi tarafından yerine konabilen tarzda yapılmıştır.
	b) tank tamamen boşaltılabilmesini sağlayacak bir boşaltma musluğu veya benzer düzenek ile donatılmıştır.
52.	Tank deformasyona uğramayacak şekilde tasarlanmıştır. Yüzey işlemleri;
	a) iç yüzeyler tüm nem ve diğer kirleticilerden arındırılarak itina ile temizlenmiştir.
	b) bütün iç yüzeye yapılan işlemler (kaplama vs.) kullanılan akışkan ile uyumludur.
	c) dış yüzeye yapılan işlemler akışkan ile uyumludur.
	d) tanka dönüş hatları hava yaratmayacak bir akışkan hızını sağlamalıdır.

Bakım için alınan önlemler aşağıda özellikle belirtilen talepleri karşılamaktadır:	
53.	Tank, forklift, halat ve vinç yardımıyla bir zarara uğratılmadan yerleştirilebilecek şekilde yapılmıştır.
54.	Kaldırma noktaları belirtilmiştir.
55.	Tanklar tek kademeli seviye şalteri ile donatılmıştır. Yağ hacmi bu seviyeye ulaşır ve çalışma seviyesi bir patlak olduğu anda kaçakları en aza indirecek şekilde minimumda olmalıdır. Akışkan seviyesi göstergeleri doldurma işlemi sürerken açıkça görünebilen bir şekilde yerleştirilmiştir. Doldurma, boşaltma ve tank seviyesini tamamlama işlemleri hızlı, ve elemanları sökülmeden erişilebilen bağlantılar aracılığıyla gerçekleştirilir.
56.	Tanklar, tank içine devrenin ihtiyacına uygun seviyede giren havayı filtre edebilen havalandırma borusu ile donatılmıştır.
57.	Çalışma anında, parçacık kirlilik oranını sınırlandırmak için seçilmiş ekipmana ve öngörülen uygulama değerlerine göre bir filtreleme seçilmiştir.
58.	Basınç altındaki hatlara, dönüş hatlarına ve veya ikincil hatlara yerleştirilen filtreler, devre tarafından istenen temizlik seviyelerini elde edebilecek tarzdadır.
59.	Tüm filtreler, filtrenin bakım müdahalesi gerektirip gerektirmediğini gösteren bir tertibatla donatılmıştır. Bu tertibat bakım personeli veya operatör tarafından açıkça görülebilir olmalıdır.
60.	Filtre elemanları kirlilik oranı belirlenen değerleri geçtiği takdirde oluşan basınç değişimlerinin zarar verici etkisini ortadan kaldırmak amacıyla by-pass valfi ile donatılmıştır.
61.	Filtreler kolay erişilebilen noktalara yerleştirilmişlerdir ve filtreleme elemanlarının değişimi için uygun bir boşluk öngörülmüştür.
62.	Filtreleme elemanlarının tanımlama numarası ve gereken adedi filtre karteri üzerine silinmez ve görünebilir bir şekilde işaretlenmiştir.

63.	Emiş ağız üzerinde filtreler ve süzgeçler kullanılmaz.
64.	Eşanjörler (soğutucular, yeniden ısıtıcılar) tankın dışına yerleştirilmiştir
65.	Otomatik termik kumandaları hidrolik akışkanın istenen sıcaklık değerinde kalmasını sağlamaktadır.
66.	Sıvı-sıvı çalışan soğutucular soğutucu akışkandan dolayı oluşabilecek korozyona karşı korunmuştur.
67.	Sıvı - hava çalışan soğutucular temiz hava ile beslenmiştir.
	6. BORULAMALAR
68.	Borulara hiçbir dış yük uygulanmamıştır.
69.	Borulamalar, onları merdiven veya basamak olarak kullanılmasını engelleyecek şekilde tasarlanmıştır.
70.	Her borulama bağlantısı, boruyu veya ekipmanı sökmeden sıkılabilecek şekilde yapılmıştır.
71.	Sabit ve esnek borular, yerleşimin zorlaştırıcı etkisini azaltacak, öngörülen bütün zararlara karşı korunacak ve ekipmanların ayar, onarım, değiştirme veya çalışma anındaki diğer işleri sınırlandırmayacak şekilde yerleştirilmiştir.
72.	Esnek bağlantılar sabit kısımlarından işaretlenmiştir.
73.	Çelik borular ISO 10763'de belirtilen özelliklere uygundur.
74.	Borular kelepçeleri tarafından boru boyunca düzgün aralıklarla ve uçlarından desteklenmiştir.

Esnek borular aşağıdaki özelliklere uygundur.	
75.	a) Daha önce kullanılmış elemanlardan seçilmemiştir.
	b) imal tarihini gösteren uygun normlarda belirtilmiş markalamaları taşımaktadır.
	c) imalatçısı tarafından belirtilen basınç değerinde veya altındaki değerlerde kullanılmıştır.
	d) imalatçısının talimatlarında belirttiği yüksek basınç noktalarına bağlanmamıştır.
	e) ekipmanın çalışması sırasında kıvrılmayı ve aşırı bir deformasyonu engelleyecek şekilde gereken minimum uzunlukta seçilmiştir.
	f) montaj ve kullanım sırasında esnek borunun eğilmesinin en aza indirilmesi, örneğin dönel bağlantıların sıkılmasından dolayı oluşabilecek gerilmeler ve eğilmeler giderilmiştir.
	g) esnek borunun kılıfı üzerindeki aşındırıcı sürtünmeleri azaltacak şekilde yerleştirilmeli veya korunmalıdır.
7.KUMANDA SİSTEMİ	
76.	Ekipmanlar, kumandaların beslemesinin eksikliği durumunda bir risk yaratmayacak şekilde seçilmiş ve yerleştirilmiştir.
77.	Kumanda devrelerinde veya beslemelerinde ortaya çıkabilen aşağıda belirtilen durumlar herhangisi bir tehlikeye neden olmamaktadır: a) devreye alma veya devreden çıkarma b) besleme gerilimindeki değişimler c) besleme geriliminin kesilmesi veya yüklenmesi
78.	Kumandaların beslemesi kurulduğu zaman hiçbir tehlikeli durum ortaya çıkmamaktadır.

79.	Ayarlanabilen kumandalar resetleninceye kadar üzerindeki ayarları korumaktadır.
80.	Eğer bir ayar değerlerinin değişimi çalışma bozukluğuna veya bir tehlikeye neden oluyorsa ekipmanın ayar değerlerini sabitlemek için gerekli tedbirler alınmıştır.
81.	Filtreleme elemanının durumunu gösteren, kolaylıkla okunabilen bir gösterge ile donatılan tam geçişli bir filtre, besleme hattında servovalfin veya oransal valfin yakınına yerleştirilmiştir.
82.	Eğer zamansız bir hareket tehlike yaratacaksa çalışma hızları servovalfler veya oransal valfler tarafından kontrol edilen iş elemanları, bakıma veya iş elemanını kesin konumuna taşıyan düzenele donatılmıştır.
83.	Sistemlerin çalışma parametreleri açıkça belirlenmiştir.
84.	Basınç ölçüm noktaları her basınç seviyesinde, her basınç kontrol valfi ve benzerlerinin üzerinde, hassas hareketli veya ürün kalitesini etkileyen her yerde bulunur.
85.	Devre basınç ölçme noktaları aşağıdaki maddelere uygun olarak yapılmıştır: <ul style="list-style-type: none">- erişilebilir- sabitlenmiş- tapalı- maksimum basınçta hızlı ve kesin çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.
86.	Kumandalar bozulmalara, yüksek sıcaklıklara ve korozyif ortama karşı uygun bir koruma içerecek şekilde yerleştirilmiştir.
87.	Eğer zamansız bir hareket tehlike yaratacaksa çalışma hızları servovalfler veya oransal valfler tarafından kontrol edilen iş elemanları, bakıma veya iş elemanını kesin konumuna taşıyan düzenele donatılmıştır.

Manuel kumandaların konum ve montajları aşağıda belirtilen şekillerde olmak zorundadır.	
88.	a) Normal çalışma konumunda operatörün elinin uzanabileceği yerde,
	b) Operatörün dönel veya hareketli kısımların altına kumandayı değiştirmek için müdahalesine müsaade etmeyecek şekilde,
	c) Operatörün çalışması sırasında hareketleriyle karışmayacak şekilde, Hidrolik devre bir acil durdurma komutu veya yeniden çalıştırma komutu aktif hale geldiğinde bir tehlike yaratmayacak şekilde tasarlanmıştır. Bir acil durdumadan veya yeniden çalıştırma komutundan sonra tesisin yeniden devreye alınması esnasında bir tehlike taşımamaktadır.
8. SORUN TESPİT ve TAKİP	
89.	Koruyucu bakımı ve arıza aramayı iyileştirmeye müsaade eden tespit testleri gerçekleştirmek için gereken düzenekler öngörülmüştür.
90.	Ekipman, ısının doğal olarak dağıtılmasını gerçekleştiremediği zaman, uygun dereceye ayarlanan sıcaklığın elektiriksel olarak kontrolü gerçekleştirilmiştir.
91.	Tank sıcaklık değişimlerini üzerinden okunabilen bir gösterge ile donatılmıştır.
92.	Yerlerine yerleştirilen manometreler, hattan bir vana ile korunmuştur.
9. SİSTEM KABUL	
Sistemin genel talimatlara uygun olduğunu belirlemek için aşağıdaki testler uygunlanır	
93.	Devrenin ve tüm güvenlik ekipmanlarının düzgün bir şekilde sökülmesini belirleyen testler belirlenmelidir.
94.	Devrenin herbir kısmının maksimum basınçta kontrolü için basınç testleri gerçekleştirilmeli ve basınç altında bekletilerek, zayıf alanların oluşumu gözlenmelidir.

Oransal veya otomatik kontrollü ekipmanların değişik ayar parametreleri verilecek dökümanlarda belirtilmiştir.

Bu dökümanlar :

95.	a) ISO 1219-2 ye uygun devre şeması
	b) yedek parça listesi
	c) genel plan
	d) borulamaların ve bağlantı elemanlarının yerleşimi
	e) fonksiyonların, sürenin ve/veya sıralarının
	f) gerekiyorsa başka planlar
	g) kullanma ve bakım talimatları kılavuzu
	h) performans ölçüm testleri sonuçları
	i) akışkanların şartlandırılmaları ile ilgili uygulanan talimatlar
96.	Entegratör sistemle birlikte, ilk değişimler için sistem üzerine yerleştirilen her bir filtre kadar filtreleme elemanı teslim etmelidir.

Mekanik sistem kontrol listesi	
Sıra no:	Tanımlama
	1. GENEL
1	Fikstür dönme çapı pozisyoner dönme çapına uygundur.
2	Fikstür eksantresitesi * pozisyoner için uygundur.
3	Şim plaka ayarı yapıldığında, sensor ayarı tekrar düzeltildi.
4	Kesit ve pimlerin ısıtılma raporu var.
5	Kesit ve pimlerin tanımlama isimleri üzerine yazılıdır.
6	Pim delikleri ve yüzeyleri plaka ile kapalıdır.
7	Operatörün parçayı yüklemesi için yönlendiriciler mevcuttur.
8	Operatör parçayı yükleyince parça düşmüyor ve ön konumlama mevcuttur.
9	Sensörler parçaya temas etmiyor.

* Eksantresite: Kolon, temel, çelik profil, kiriş gibi herhangi bir taşıyıcı elemana geometrik ağırlık merkezinden farklı bir noktadan etkiyen yükten dolayı o elemanda oluşan ilave yükleri temsil eder.

	2.ETİKETLER
10	Fikstür tanıtım etiketleri takılmıştır.
	3. BAĞLANTI ELEMANLARI
11	Tüm bağlantılar pimle yapılmıştır.
12	Allen civatalar için tapa mevcuttur.
13	Tüm bağlantı elemanlarına erişim kolaydır.
14	Tüm civatalarda uygun köşebaş sayısı kullanılmıştır.
15	Civatalar minimum 8.8 kalite kullanılmıştır.
16	Civatalar kaplamalı kullanılmıştır.
17	Pimler uygun köşebaş civata takılarak kapatılmıştır.
18	Lineer yatakların özel civata tapaları takılmıştır.

PNÖMATİK SİSTEM KONTROL LİSTESİ	
Sıra no:	Tanımlama
	1. GENEL
1	Boşaltma sonrası basınç altında kalan pnömatik elemanlar üzerinde “dikkat basınç altında” yazılı işaretçi olmalıdır.
	2. SİSTEM İNCELEMESİ
2	Tüm ekipmanlar; isim, katalog, seri veya tasarım numarası ve üreticinin ismi ile tanımlanmıştır.
3	Her silindirin iç çapı, piston mili çapı, kurs uzunluğu, tahmin edilen maksimum kuvvet ve öngörülen servis hızı belirtilmiştir.
4	Basınç kumanda valflerinin basınç altında ayarı şemalardakine uygundur.
5	Tüm iş elemanlarının fonksiyonları net bir biçimde gösterilmiştir.
6	Rakor, boru ve yataklar için marka tipi ve dış çeşidi spesifikasyonlarda belirtilmiştir
7	Kumanda elemanları ve fonksiyonları görünür ve kalıcı şekilde elektrik ve pnömatik şemadaki tanımlarına uygun olarak işaretlenmişlerdir.
8	Sistemdeki elemanlar başka bir komponentin sökülmesine gereksinim olmadan sökülebilecek şekilde yerleştirilmişlerdir.
	3. ENERJİ ÇEVİRİM EKİPMANLARI
9	Yastıklama ayar vidaları ulaşılabilir yerdedir.

10	Silindirler bakım açısından kolayca ulaşılacak şekilde monte edilmişlerdir.
11	Tek etkili silindirler kirliliğe karşı korunmuşlardır.
	4. VALFLER ve DİSTRİBÜTÖRLER
12	Hortumlar valflere destek teşkil etmemeli ve valfler mümkün olduğu kadar az hortum sükülerek değişebilmelidir.
13	Debi ayar ve durdurma valfleri tercihen alıcıların orifisleri üzerine monte edilmişlerdir.
14	Aynı boyuttaki 3 veya daha çok valfin montajı yanyana koyulabilecek kütükler üzerine veya dağıtıcı bir blok üzerine yapılmıştır.
	5. AKIŞKANLAR VE ŞARTLANDIRMA
15	Sistemler özel durumlar haricinde silikon ihtiva etmez ve yağsız çalışmaktadır.
16	Yağlama gerektiren özel durumlarda egzost hatlarının yağı tutacak sistemleri yapılmıştır.
	6. BORULAMALAR
17	Basınç kaybını önlemek amacıyla çaptaki ani değişikliklerden kaçınılmıştır.
18	Ara bağlantı yapılan (fittings) malzeme sayısı mümkün olduğu kadar sınırlandırılmıştır.
19	Tüm boru ve hortumlar şemalardaki gibi isimlendirilmişlerdir.
20	Malzemelerin, eğrilik ve bükülme performansları, kullanımdaki uluslararası normlara uygundur.

21	Uygun tasarımdaki destekler, borulara dayanak oluşturmaktadır.
22	Hortumlar yenidir ve üretim tarihlerini taşırlar.
23	Hortumlar üreticileri tarafından önerilmiş basınç özellikleri sınırları içinde kullanılmışlardır.
24	Hortumlar burulma, bükülme veya sürtünmeye maruz kalmaz. Tüm aşınmalardan kaçınacak şekilde korunmalı ve sabitlenmiştir
	7.KUMANDA SİSTEMİ
25	Şartlandırıcı grubu sonrasında bir presostat genel hava basıncını kontrol etmekte ve devreye almaya izin veren bir sinyal üretmektedir.
26	Devredeki havayı boşaltabilecek ve devreyi izole edecek çeyrek turlu manuel kumandalı ve kilitlenebilen manuel bir vana kullanılmıştır.
27	Elektrik veya pnömatik ayırıcı, devrenin önceki kısmını izole etmek amacıyla kullanılmış ve sonraki kısmını egzost etmektedir.
28	İzolasyon valfinin hızla açılması sonucu, pistonlarda kontrol edilemeyen bir harekete sebep olması durumunda, bir yavaş başlatma valfi kullanılmıştır.
29	Her değişik basınç değeri oluşan yerde basıncı kontrol edileceği bir aparat, basınç ayar cihazları yanına koyulmuştur.
31	Otomatik kumanda elemanları çalışma bölgesinin minimumu 0,6 m. altına ve maksimum 1,8 m. üstüne konulmuştur.
	8. KABUL
33	Hava kullanımı sırasında işitilebilir hiçbir hava kaçağı olmamalıdır.

EK-D

Kaynak Robotlarında Tork Değerinin Bulunmasında Kullanılan Denklemler

Bu bölümde görülen denklemler, robot kolunun herhangi bir noktasında alınacak yük için gerekli olan torku verecektir. Burada motor kelimesi yerine, endüstrinin artık neredeyse tamamında yaygınlaşan servo motorlar için daha uygun olan aktüatör kelimesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Tork (T), potansiyel kuvvete sahip bir cismi döndürme, bükme veya hareket ettirme gücüdür ve aşağıdaki denklemle ifade edilir;

$$T=F \times L$$

“F” kuvveti, bir pivot noktasında “L” uzunluğu boyunca etki eder. Dikey bir düzlemde, bir cismi yerçekimi etkisiyle ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) düşürmek için gerekli olan kuvvet hacmi “m” ile orantılıdır;

$$F=m \times g$$

Buradaki kuvvet aynı zamanda cismin Dünya üzerindeki ağırlığı “W” olarak ifade edilir;

$$W=m \times g$$

Bir kütleyle sahip cismi, bir referans noktasından verilen mesafede hareket ettirmek için gerekli olan tork aşağıdaki gibi seçilmelidir;

$$T= (m \times g) \times L$$

L uzunluğunun referans noktasında dik olarak uygulanan kuvvetin yolu olduğu unutulmamalıdır. Aynı zamanda bu, bir noktaya yapılacak tork dengelemesi ile de bulunabilir.



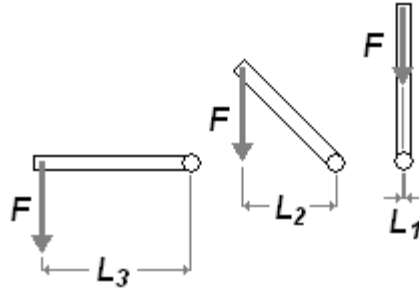
Şekil Ek-D 1 Tork'un Kuvvet ve Mesafe Bileşenleri Üzerinde Gösterimi

$$\sum T = 0 = F \times L - T$$

Denklemden, "F" kuvvetini "m * g" ile değiştirilirse; yukarıdaki denklemlerle aynı sonuç bulunmaktadır. Bu yöntem aynı zamanda tork değerinin elde edilmesinde daha güvenilir bir yöntemdir.

$$M \times g \times L = T \times A$$

Robotun her birleşim noktasında, en kötü senaryoya göre tork değeri tayin edilmesi gerekir;



Şekil Ek-D 2 Dönen Robot Kol Doğrultusunda Kuvvet Yön Gösterimi

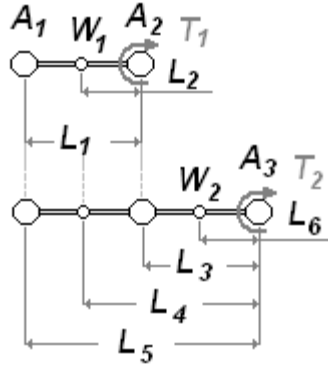
Şekil Ek-D2'de görüleceği üzere, robot kolu saat yönünde hareket etmektedir ve sadece eklem yerine dik olan kuvvetleri dikkate alınmaktadır. Yine şekil Ek-D2'de görüldüğü üzere, mesafe L3'ten L1'e gittikçe daralmaktadır. Buradan, F kuvveti değişmedikçe (robotun taşıdığı ürüne ait kütle), en uzun tork L3 uzunluğunda gerekecektir. Robot kolu saat yönünün tersine çevirildiğinde, aynı etki gözlenir. Manipülasyon kolunun en açık olduğu anı, olası en yüksek tork olarak almak güvenlidir.

Kütleye sahip yük "A1" olarak tanımlanırsa, ağırlık merkezinden, manipülasyon eklem birleşim yerine kadar olan uzaklık ile kütle çarpımı, eklem yerindeki tork ihtiyacını ortaya çıkartmaktadır. Aynı zamanda ürün tutucu kavrayıcı (gripper) kütle de "W1" hesabına katılmalıdır. kavrayıcı ağırlık merkezini ise ürün uzaklığı

olan “L” ’nin yarısı kadar olduğu düşünülduğünde, toplam gereken tork aşağıdaki gibi olacaktır.

$$T1 = L1 \times A1 + \frac{1}{2} L1 \times W1$$

Bu örnekte T1 torkunu üretmek için gereken aktüatörün ağırlığı hesaba katılmamıştır. Çünkü referans alınan nokta olan eklemde aktüatörün uzunluk bileşeni olan “L”, “0” olduğundan burada tork kuvveti bulunmamaktadır. Ancak manipülatör sisteminin tamamında güç aktarması olduğundan, T1 torkunu üretmek için gerekli aktüatöre ait ağırlığa “A2” denilirse, A2 aktüatörüne güç aktaran diğer A3 aktüatöründe sistemde olması gerekmektedir. Toplam torku bulmak için ikinci eklem yerinde torkun yeni mesafelerle tekrar hesaplanması gerekmektedir;



Şekil Ek-D 3 Aktüatörler ve İş Yapılan Kütleye Ait Tork Şeması

$$T2 = (L5 \times A1) + (L4 \times W1) + (L3 \times A2) + (L6 \times W2)$$

W1 ve W2 ağırlıkları, kol uzunluklarının tam ortasında konumlandığı için yukarıdaki denklemi aşağıdaki gibi mesafeleri birbiri cinsinden çevirerek yazılabilir;

$$T2 = (L1 + L3) * A1 + (\frac{1}{2} L1 + L3) * W1 + (L3) * A2 + (\frac{1}{2} L3) * W2$$

Sadece ağırlıkların ve L1 ve L3 mesafelerinin tespit edilmesiyle tork bulunabilir. Eğer herhangi bir eklem üzerinde birden fazla aktüatör bulunuyorsa hesaplamalarda bununda dikkate alınması gerekmektedir.

Yukarıda gerçekleştirilen tork hesabı sadece robotun yükü tutmuş halde ve hareketsiz olduğu durumu gösteren basit bir denklemi temsil etmektedir. Ancak torkun asıl önemli olduğu ve ölçülmesi nispeten daha zor olan yükün tutulu ve manipülatör kolunun hareket halinde olduğu anda ki kuvveti ölçmektir. Bu durumda ilk olarak atalet (eylemsizlik) momentlerinin “I” ’nın bulunması gerekmektedir. Atalet

momenti; eksene göre oluşan tork gücü toplamının, açısal ivme (alfa = α) ile çarpılmasından meydana gelir;

$$T = I x \alpha$$

Hareket ettirmek için gereken ekstra torku öğrenmek için (örneğin açısal ivme oluşturmak için), hareket ettirilecek cismin bitişinden, eksene kadar olan eylemsizlik momentinin aşağıdaki denklem yardımıyla bulunması gereklidir;

$$I = \frac{m \times r^2}{2}$$

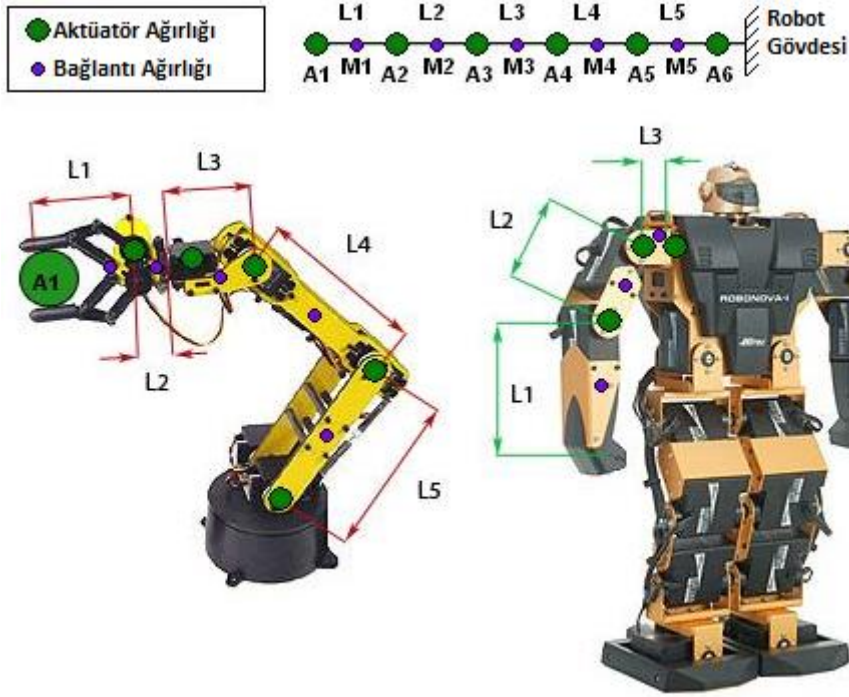
Bu denklem, atalet momentinin tam ağırlık merkezinde olduğu anı hesaplar. Manipülatör kolu hareket ederken, atalet momenti parçanın dönüşünden ötürü değişecektir, bu sebeple ağırlık merkezi her seferinde yeniden hesaplanmalıdır.

Her birleşim noktası için, atalet momenti hesaplanması esnasında her kütle (m_i), uzunluğun karesi (r_i) ile birlikte torka eklenmelidir. Herhangi bir aktüatör için, “ismi ‘N’ aktüatörü olarak varsayıldığında”, N aktüatörüne ait atalet momentinin toplamı aşağıdaki gibi olmaktadır;

$$I_N = \sum_{i=1}^{L-1} \frac{m_i \times r_i^2}{2}$$

Bu denklem, atalet momentinin hesabında özellikle sabitin $\frac{1}{2}$ 'den fazla olduğu yerlerde kullanılabilir. Yine atalet momenti farklı eksen kollarından farklı sabitlerle ölçülmelidir. “r” sabiti, eksenden olan uzaklığı belirtir. Yine parçadan parçaya farklılık gösteren açısal ivme değişmez ve hesaba katılmaz. Gereken toplam tork aşağıdaki denklemle bulunabilir;

$$\sum TN = TN (dinamik) + TN (statik) = I x \alpha$$



Şekil Ek-D4 Manipülator ve Hümanoid Tork Bileşenlerinin Gösterimi

Şekil Ek-D4'de görülebileceği üzere, hangi eklemin hangi torku etkilediğini şekil üzerinde gösterilmiştir. Robot gövdesinden başlayarak numaralandırma takip edildiğinde, hangi kolun nerede tork ilettiği görülebilir. Yani son eksen olarak göre yapan aktüatör (A6), bütün yükü ve tork gücünü taşımaktadır. (Grotjahn ve Heimann, 2002)

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmayla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığı beyan ederim.

Kürşad Sezai TÜRKER

İmza

ÖZGEÇMİŞ

Adı	Kürşad Sezai	Soyadı	Türker
Doğum Yeri	Kadıköy	Doğum Tarihi	23.09.1984
Uyruğu	TC	Tel	0532 456 9001
E-mail	kursad.t@engineer.com		

Eğitim Düzeyi

	Mezun Olduğu Kurumun Adı	Mezuniyet Yılı
Lisansüstü		
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi (Endüstri Mühendisliği) Anadolu Üniversitesi (İktisat Fakültesi – Kamu Yönetimi)	2008
Lise	Şişli Anadolu Lisesi	2002

İş Deneyimi

Görevi	Kurum	Süre (Yıl - Yıl)
Mühendis	Arçelik LG	2009 - 2010
Mühendis	Procter and Gamble	2010 - 2013
Mühendis	Unilever	2013-2014
Mühendis	Türkiye Sınai Kalkınma Bankası	2014-

Yabancı Dilleri	Okuduğunu Anlama*	Konuşma*	Yazma*
İngilizce	Çok iyi	Çok iyi	Çok iyi
Almanca	Orta	Orta	Orta

Yabancı Dil Sınav Notu #								
YDS	ÜDS	IELTS	TOEFL IBT	TOEFL PBT	TOEFL CBT	FCE	CAE	CPE
71.25								

	Sayısal	Eşit Ağırlık	Sözel
ALES Puanı	74.85	74.38	62.71
(Diğer) Puanı			

Bilgisayar Bilgisi	
Program	Kullanma becerisi
<ul style="list-style-type: none">• Autocad• MS Office• Solidworks• Minitab• Robcad	<ul style="list-style-type: none">• İyi• Çok iyi• İyi• İyi• Orta