

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KARTEZYEN KOORDİNATLI KAYNAK ROBOTU

Makina Müh. Mahmut Mert EĞİLMEZ

**FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Makina Teorisi ve Kontrol Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail YÜKSEK (YTÜ)

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTIMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
1 GİRİŞ	1
1.1 Robot Kavramı.....	1
1.2 Robot Sistemleri.....	2
1.3 Robot Sisteminde Dikkate Alınması Gereken Önemli Faktörler.....	3
1.4 Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması	5
1.4.1 Kartezyen Robot	6
1.5 Robotların Kullanım Alanları	7
1.6 Robotlu Kaynak Sistemleri	7
1.7 Robotlar ile Yapılan Kaynak Yöntemleri	8
1.7.1 Nokta Direnç Kaynağı	8
1.7.2 Ark Kaynağı.....	9
1.7.2.1 Robotlarda Ark Kaynağı Donanımları	10
1.7.2.2 Ark Kaynağı Robotunda Olması Gereken Özellikler	11
1.8 Kaynak Robotları İle Yapılan Çalışmalar	12
1.9 Tezin Amacı ve Kapsamı.....	15
2 KARTEZYEN KOORDİNATLI KAYNAK ROBOTU TASARIMI	16
2.1 Giriş.....	16
2.2 Mekanik Sistem Tasarımı	17
2.2.1 Alüminyum Profiller	17
2.2.2 Hassas Çelik Miller-Mil Sonu Destekleri	22
2.2.3 Alüminyum Yataklar ve Kapalı Tip Rulmanlar.....	23
2.2.4 Kayış Kasnak Sistemi	25
2.2.5 Özel Üretim Parçalar ve Bağlantı Elemanları.....	28
2.2.6 Kaynak Torcu.....	32
2.2.7 Kaynak Makinesi	33
2.2.8 Hareket Sağlayıcılar (Adım Motorları).....	36
2.3 Adım Motorları	36
2.3.1 Adım Motoru Tipleri.....	38

2.3.1.1	Kademeli Adım Motorları.....	38
2.3.1.2	Sabit Mıknatıslı Adım Motorları	39
2.3.1.3	Hibrit Adım Motorları.....	39
2.3.2	Bobin Tahrikli Adım Motoru Tipleri	40
2.3.2.1	Ünipolar Adım Motorları	40
		Sayfa
2.3.2.2	Bipolar Adım Motorları	41
2.3.3	Adım Motorlarına Ait önemli Parametreler.....	42
2.3.4	Adım Motoru Sürme	44
2.4	Elektronik Sistem.....	45
2.4.1	Adım Motoru Sürücü Kartlar	45
2.4.2	Kontrol Kartı	46
2.4.2.1	Kaynak Torcu Tetik Devresi.....	47
2.4.2.2	Bilgisayar İle Haberleşme.....	47
2.4.3	Kontrol Sinyalleri.....	48
2.4.4	Sistem Sınırlarının Kontrolü	49
2.4.5	Bilgisayar Programı	49
3	ROBOTUN KAYNAK ÖZELLİKLERİ ve KAYNAK UYGULAMASI	51
3.1	Kartezyen Koordinatlı Kaynak Robotunun Teknik Özellikleri	51
3.1.1	Genel Özellikler	51
3.1.2	Kaynak Robotu Sensörleri	54
3.1.2.1	Kaynak Robotuna Uygulanan Sensörler	54
3.1.2.2	Kaynak Robotuna Uygulanabilecek Sensörler	54
3.1.3	Kaynak Hızları	56
3.1.3.1	Kaynak Hızının Ark Kaynağına Etkileri ve Optimum Kaynak Hızları	56
3.1.3.2	Gazaltı Ark Kaynağında Optimum Kaynak Hızları.....	57
3.1.3.3	Kartezyen Koordinatlı Kaynak Robotu İçin Kaynak Hızı Hesabı.....	58
3.2	Kaynak İşleminde Kullanılan Malzemeler ve Kaynak Parametreleri.....	59
3.2.1	Kaynak İşleminde Kullanılan Koruyucu Gaz	59
3.2.2	Kaynak İşleminde Kullanılan Kaynak Teli.....	60
3.2.3	Kaynak İşleminde Kullanılan Ana Malzeme	63
3.2.4	Kaynak Torcunun Konumu.....	63
3.3	Kaynak Uygulaması Sonuçları.....	65
4	SONUÇLAR	68
	KAYNAKLAR	69
	EKLER.....	70
Ek 1	Kaynak torcu tetik devresi şeması	71
Ek 2	Bilgisayar programı blok diyagramı	72
Ek 3	Kaynak uygulamalarının radyografik test raporu	73
Ek 4	Kaynak uygulamalarının röntgenleri	74
Ek 5	Mekanik sistemin 3 boyutlu katı modeli.....	76
	ÖZGEÇMİŞ	78

SİMGE LİSTESİ

D_f	Kenarlardan itibaren kasnak çapı
D_0	Kasnak dış üstü çapı
D_y	Kasnak dış dibi çapı
V_{kaynak}	Kaynak robotunun kaynak hızı

KISALTIMA LİSTESİ

CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacture
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
ROM	Read Only Memory
TIG	Tungsten Inert Gas
YAG	Yttrium Aluminum Garnet

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Çeşitli robot anatomileri için çalışma hacimleri.....	4
Şekil 1.2 Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması.....	6
Şekil 1.3 Kartezyen robot modeli.....	6
Şekil 1.4 Ark kaynağı robot donanımı.....	9
Şekil 1.5 Gemi panellerinin kaynağında kullanılan kaynak kafası.....	13
Şekil 1.6 Sade MIG ve hibrit kaynak yöntemleri ile köşe kaynağı.....	13
Şekil 1.7 MIG-lazer hibrit kaynağı ile Audi A2 ve VW Phaeton parçalarının kaynağı.....	14
Şekil 1.8 BMW K 1200 S şasesinin kaynağı ve MIG kaynak dikişleri.....	15
Şekil 2.1 Sisteme genel bakış.....	16
Şekil 2.2 Köprülü (portol) kalıp kullanılarak ekstrüzyon ile üretim.....	18
Şekil 2.3 HV tip sigma profil.....	19
Şekil 2.4 Kaynak robotunda kullanılan AV tip sigma profil ölçüleri.....	21
Şekil 2.5 İndüksiyonla sertleştirilmiş miller (CromSteel).....	23
Şekil 2.6 Değişik çaplarda mil sonu destekleri (Samick).....	23
Şekil 2.7 Alüminyum gövdeli dört civata bağlantılı yatak (Samick SCE 20 UU).....	24
Şekil 2.8 LME 20 UU kapalı tip rulman.....	24
Şekil 2.9 6F tipi kasnağın ölçüleri.....	25
Şekil 2.10 Sistemde kullanılan 6F tipi kasnaklar.....	26
Şekil 2.11 Zaman (dişli) kayış yapısı.....	26
Şekil 2.12 Standart XL zaman kayışı ölçüleri.....	26
Şekil 2.13 Sistemde kullanılan XL kayışın resimleri ve kesiti.....	27
Şekil 2.14 Kayış kasnak sistemi (X-ekseni).....	27
Şekil 2.15 Kayış kasnak sistemi (Y-ekseni).....	28
Şekil 2.16 Step motor taşıyıcı.....	28
Şekil 2.17 Y eksenini boyunca kaynak torcunu taşıyan alüminyum tabla.....	29
Şekil 2.18 Ayarlanabilir torç taşıyıcı.....	29
Şekil 2.19 Özel üretim askı ve torç üzerine monte edilmiş hali.....	30
Şekil 2.20 Limit sensör tutucu ve robot üzerinde uygulaması.....	30
Şekil 2.21 Kayış sıkıştırıcı pabuç.....	31
Şekil 2.22 Boşta dönen kasnak-mil sistemi.....	31
Şekil 2.23 Montajda kullanılan bağlantı elemanları.....	32
Şekil 2.24 Standart gazaltı kaynak torcu.....	32
Şekil 2.25 Kaynak torcununun röle yerleştirilmiş hali.....	33
Şekil 2.26 0.8 mm çapında kaynak teli için kullanılan meme (difüzör).....	33
Şekil 2.27 Projede kullanılan Miller-Matic 35s MIG-MAG kaynak makinesi.....	34
Şekil 2.28 Miller Matic 35 S CY50 kaynak makinesinin tel besleme ünitesi.....	35
Şekil 2.29 Tel besleme mekanizması ve bileşenleri.....	35
Şekil 2.30 Kaynak robotunda kullanılan adım motorları.....	36
Şekil 2.31 Kademeli Adım Motoru.....	39
Şekil 2.32 Dört Fazlı Sabit Miknatıslı Adım Motorunun Yapısı.....	39
Şekil 2.33 Hibrit Adım Motorunun Yapısı.....	40
Şekil 2.34 Ünipolar adım motorunun yapısı.....	40
Şekil 2.35 Ünipolar adım motorunun bobinindeki akımın ters yöne çevrilmesi.....	41
Şekil 2.36 Ünipolar sürüm sırası.....	41
Şekil 2.37 Bipolar adım motorunun yapısı.....	42
Şekil 2.38 Bipolar sürüm sırası.....	42
Şekil 2.39 Sürekli rejimde ve kalkışta maksimum yük momenti/hız eğrileri.....	44
Şekil 2.40 GS-D200S Adım motoru sürücü modülü.....	45
Şekil 2.41 Kontrol kartı şeması.....	46

Şekil 2.42 Çalışmada kullanılan adım motor sürücü kontrol kartı	46
Şekil 2.43 Paralel portun yapısı	47
Şekil 2.44 Bilgisayar programı ekran görüntüsü	49
Şekil 3.1 Kartezyen koordinatlı kaynak robotu ölçüleri	51
Şekil 3.2 Yüksekliği ayarlanabilir ayak	52
Şekil 3.3 Üzerinde kaynak yapılan sac levha.....	52
Şekil 3.4 Kontrol ünitesi	53
Şekil 3.5 Kartezyen koordinatlı kaynak robotu	53
Şekil 3.6 Sınır anahtarı ve robot üzerinde kullanımı	54
Şekil 3.7 Kaynak robotları için “Çoklu Metal Faktörü” özelliği olan endüktif sensör.....	55
Şekil 3.8 Gazaltı kaynak hızı-nüfuziyet ilişkisi	57
Şekil 3.9 Kaynak uygulamasında gözenek oluşumu ve sıçrama	60
Şekil 3.10 Kaynak malzemesinde delik oluşumu	62
Şekil 3.11 Doğru kaynak torcu açıları	64
Şekil 3.12 Tel çıkış- malzeme uzaklıkları	65
Şekil 3.13 Kaynak uygulaması (w1).....	65
Şekil 3.14 Kaynak uygulaması (w2).....	66
Şekil 3.15 Kaynak uygulaması (w3).....	66
Şekil 3.16 Kare kaynak	67

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 AA 6063 alaşımının (alüminyum profillerin) kimyasal bileşimi	20
Çizelge 2.2 İndüksiyonla sertleştirilmiş millerin özellikleri.....	22
Çizelge 2.3 18 XL 037 kasnak özellikleri.....	25
Çizelge 2.4 Kaynak makinesi özellikleri	34
Çizelge 2.5 Tel besleme ünitesi özellikleri	35
Çizelge 2.6 Projede kullanılan adım motorlarının özellikleri.....	36
Çizelge 3.1 SG 2 kaynak teli ile kaynak edilebilen malzemeler.....	61
Çizelge 3.2 SG 2 kaynak telinin mekanik özellikleri	61
Çizelge 3.3 SG 2 kaynak telinin kimyasal bileşimi	61
Çizelge 3.4 SG 2 kaynak teli kaynak parametreleri.....	62
Çizelge 3.5 St 37 malzeme özellikleri	63

ÖNSÖZ

Bu çalışma, kartezyen koordinatlı bir kaynak robotunun tasarım, üretim ve uygulama aşamalarını konu almaktadır.

Kartezyen Koordinatlı Kaynak Robotu Çalışması'nda maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek bu çalışmanın gerçekleşmesinde büyük emeği geçen değerli hocalarım Doç. Dr. İsmail YÜKSEK, Dr. Tamer KEPÇELER ve çalışma arkadaşım elektrik-elektronik mühendisi Ferhat ZEYLAN'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Makina Mühendisi M. Mert EĞİLMEZ

ÖZET

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

Bu çalışmada, bilgisayar kontrollü bir kartezyen koordinatlı kaynak robotu tasarlanmış ve hayata geçirilmiştir. Üç eksenli kaynak robotunun iskeleti alüminyum profillerden oluşturulmuştur. Kaynak torcunun iş parçasına olan yüksekliğini ve açısını ayarlayabilmek için bir torç tutucu imal edilmiştir. Sistemde 2 adet adım (step) motoru kullanılmıştır ve kaynak torcu bu motorlarla X ve Y eksenleri boyunca hareket ettirilmektedir. Robotu pc ile kontrol etmek için Visual Basic ile yazılan özel bir program yardımıyla kontrol sinyalleri Pc'nin paralel portu üzerinden kontrol ünitesindeki kontrol kartına gönderilir. Kontrol kartı da step motor sürücü kartlara ve kaynak torcunu tetikleyen devreye bu sinyalleri iletmekte, robotun istenen parametrelerle kaynak yapmasını sağlamaktadır.

Kartezyen koordinatlı kaynak robotu ile yapılan uygulama örnekleri ve uygulamaların test sonuçları ile robotun, elle yapılan gazaltı ark kaynağından, optimum kabul edilen kaynak hızlarında daha başarılı sonuçlar alabildiği gösterilmiştir. Geliştirilmeye açık bir proje olan kaynak robotu çalışması için ileride yapılması muhtemel iyileştirmelerden de söz edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Gazaltı (MIG/MAG) kaynak robotu, kartezyen kooordinatlı kaynak robotu, robot kaynağı, adım (step) motorlu kartezyen robot.

ABSTRACT

Today, most of the manufacturers for all scales choose more economic, precise and durable systems. If we consider welding process we'll see that, besides having the features mentioned above, robotic welding systems can come up with more standart and faster results than manual arc welding.

In this project a computer controlled cartesian coordinate arc welding robot is designed and built. Cartesian robot's, which has 3 axes, main frame is built from aluminum profiles. For adjusting the angle of the welding torch and the distance between the workpiece and welding torch, a torch holder is designed. There are 2 stepper motors used which move welding torch along X and Y axes. For controlling the robot via pc, a special computer programme written in Visual Basic is used. This programme sends signals through the parallel port of the pc to the control card which controls stepper motor drivers and welding torch triggering circuit. This signal flow makes welding available in desired parameters.

Test samples and results have shown that the cartesian coordinate arc welding robot can weld more accurate than a manual arc welder does, in known optimum welding speeds. Possible future improvements of the arc welding robot are also mentioned in the project.

Keywords: MIG/MAG welding robot, cartesian coordinate arc welding robot, robot welding, cartesian robot with stepper motors.

1. GİRİŞ

Günümüzde endüstri alanlarında daha yüksek kalitede seri üretim gerçekleştirebilmek için sürekli yeni çalışmalar yapılmaktadır.

Özellikle insanın sınırlı fiziksel gücü, fazla ya da uzun süreli fiziksel güç gerektiren işler için özel makinalar geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Ancak bu makinaların kendi kendine karar verme kabiliyeti yoktur ve çalışmaları için genellikle sürekli bir kullanıcı gerekmektedir. Teknoloji alanındaki gelişmeler arttıkça insanın yerini alacak, kendi kendini de kontrol edebilen otonom sistemler üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu şekilde belli bir iş yapma konusunda uzman, mekatronik elemanlar üretilmiştir.

Bu çalışma, bahsi geçen mekatronik sistemlere örnek verilebilecek kartezyen koordinatlı bir kaynak robotunun tasarımını ve gerçekleşmesini konu almaktadır.

1.1 Robot Kavramı

Robot kavramı Amerikan Robot Enstitüsü tarafından şöyle ifade edilmektedir:

“Robot, çeşitli görevlerin gerçekleştirilmesi için, malzeme, parça, takım ya da değişken programlanmış hareketler aracılığıyla, özel parçaları hareket ettirmek amaçlı tasarlanmış, çok fonksiyonlu, yeniden programlanabilir manipülatör veya farklı görevleri yerine getirebilmek için değişken programlı hareketleri gerçekleştirebilen özel araçtır” (1979)

Sanayi robotunun en kapsamlı tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırması ISO 8373 standardında belirlenmiştir. Bu standarda göre bir robot şöyle tanımlanır:

“Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, sabit veya hareketli olabilen, üç veya daha fazla programlanabilir eksene sahip, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipülatördür.”

Tanımdaki terimlerin detaylı olarak açıklamaları aşağıdaki gibidir:

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

Çok Amaçlı : Fiziksel değişikliklerle farklı bir uygulamaya adapte edilebilme yeteneği.

Fiziksel Değişiklikler : Programlama kasetleri, ROM'lar vb. gibi değişiklikler hariç mekanik yapının veya kontrol sisteminin değiştirilmesi.

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

1.2 Robot Sistemleri

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

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

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

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

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

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

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

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

Gerekli Kontrol Tipi:

Basit kuvvet kontrolü : Tek eksen boyunca kuvvetin algılanması

Karmaşık kuvvet kontrolü: İki ya da daha fazla eksendeki kuvvetin algılanması.

Yüksek konum hassasiyet: 0.5 mm.

Hassas (kesin) konumlama: 0.05 mm.

Sensörlü kontrol: görüntü, dokunma ya da kuvvet sensörleri kullanarak.

Sensör Gereklikleri: Yaklaşım sensörleri, kontak sensörleri, basit görüntü işleme ve kompleks görüntü işleme aygıtları.

Diğer Ekipmanlarla Etkileşimler: Bir çok uygulamada robotun parça taşıyan konveyörle senkronize olması, preslerde olduğu gibi bir başka makinanın işini veya başka bir robotla senkronize hareket etmesi gerekebilir.

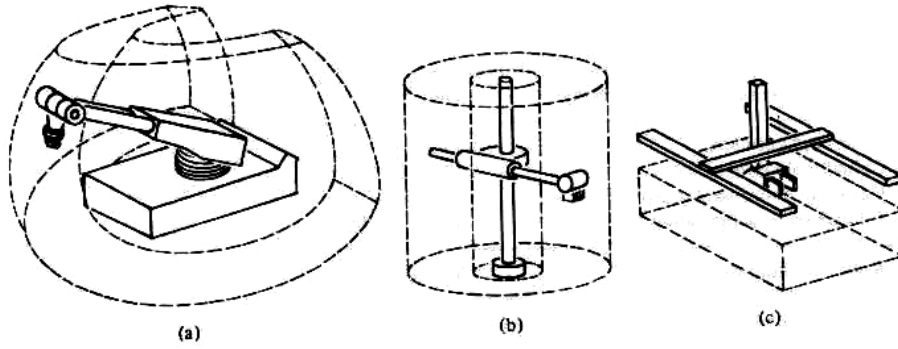
1.3 Robot Sisteminde Dikkate Alınması Gereken Önemli Faktörler:

Robot sisteminde dikkate alınması gereken önemli faktörleri şöyle sıralayabiliriz.:

Çalışma Hacmi : Robotun ulaşabileceği ve her türlü duruş ve konumu sağlayabileceği uzaysal hacimdir. Robotun mümkün olduğunca büyük bir çalışma alanına sahip olması istenir. Ancak müşterinin yapılacak işleme göre en uygun robotu seçmesi gerekir. Çünkü bir robotun çalışma alanının büyümesi, robot uzuv boyutlarının artması dolayısıyla ataleti, gerekli motor gücü, enerji tüketim miktarı ve robot fiyatının artmasıyla sonuçlanır. Gerekli çalışma alanı kimi zaman konumlandırıcılarla da arttırılabilir. Bu nedenle önemli olan robot kollarının uzun olması değil işlevselliğidir.

Şekil 1.1'de fiziksel konfigürasyonun, çalışma hacminin şekli üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Kutupsal koordinat robotunun çalışma hacmi kısmen küreseldir; silindirik koordinat robotunun silindirik, kartezyen koordinat robotunun çalışma hacmi dikdörtgen prizma ve eklemli-kol robotunun çalışma hacmi ise yaklaşık küreseldir. Her çalışma hacmi şeklinin büyüklüğü, kol komponentleri ve eklem hareketlerinin sınırları tarafından etkilenir. Robot seçimi, optimal çalışma hacmi için yapılmalıdır. Çünkü robot çalışma hacminin büyümesi, robot uzuv boyutlarının artması dolayısıyla ataleti, gerekli motor gücü, enerji tüketim miktarı

ve robot fiyatının artmasıyla sonuçlanır.



a) kutupsal b) silindirik c) kartezyen

Şekil 1.1 Çeşitli robot anatomileri için çalışma hacimleri

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

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

Yük Taşıma Kabiliyeti ve Hız : Maksimum yük taşıma kapasitesi, robotun minimum hızında tekrarlanabilirlik değerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük değeridir. Nominal yük taşıma kapasitesi de robotun maksimum hızda tekrarlanabilirlik değerini koruyarak taşıyabileceği maksimum yük miktarıdır. Bu yük taşıma kapasitesi değerleri taşınan malzemenin boyut ve şekline bağlıdır.

Yazılım : Programların oluşturulması aşamasında, program yapan kişi robot eksenlerini teker

teker hareket ettirerek robotu istenen konum ve duruşa getirir. Programlama aşamasının basitleşmesi büyük ölçüde robot kontrol ünitesinin yazılımına bağlıdır. Yazılımda eksen hareket sisteminin yanında, kartezyen koordinat sistemi, takım koordinat sistemi gibi çok seçenekli koordinat sistemleri bulunması, programlamayı zevkli ve kolay bir uğraş haline dönüştürür. Bunun yanında kullanıcının kendi koordinat sistemini oluşturabilmesi gibi ekstra özellikler önemlidir.

Yazılımda uygulamaya has komutlar da bulunmalıdır. Örneğin ark kaynağı uygulamasında (weave) salınım komutu çok yararlı bir komuttur.

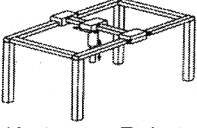
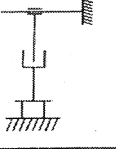
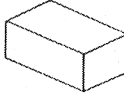
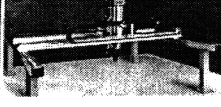

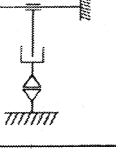
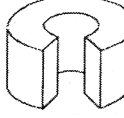
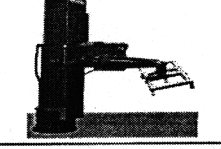
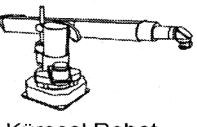
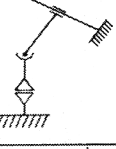

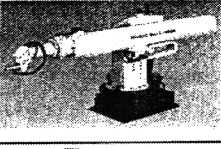
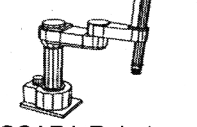
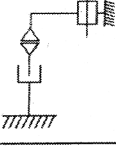

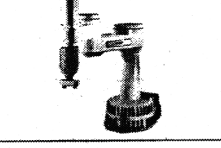

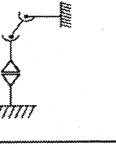

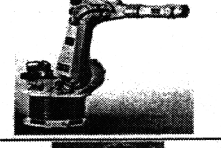
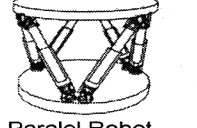
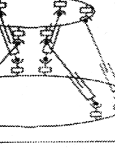

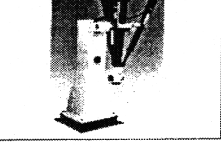
Yine yazılımda (jump) atlama, (shift) öteleme gibi komutlarla program satır sayısı ve program sayısı azaltılabilir. Dosyalama yapısı sadece hareket komutlarını içermemelidir. Kaynak parametreleri, salınım parametreleri gibi dosyalama yapıları program yazımı ve modifikasyonu aşamalarında çok faydalı olabilmektedir.

Günümüzde kullanılmakta olan robotların hemen hepsi on-line programlanmaktadır. Tekrarlanabilirlik, on-line programlanmada büyük önem taşır. Robotlu sistemlerin geleceğinde önem taşıyacak bir başka konu ise mutlak hatadır. Mutlak hata, geleceğin teknolojisinde kullanılacak CAD-CAM kontrollü off-line programlamada önemli bir yer tutacaktır.

Diğer Özellikler : Hafif robot sistemi robotun çok çeşitli montajına imkan vermektedir. Özellikle tavana ve duvara montajda yatay çalışma alanının artması sağlanarak robotun en uygun pozisyonda çalıştırılabilme özelliği robota büyük bir avantaj sağlamaktadır.

1.4 Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması

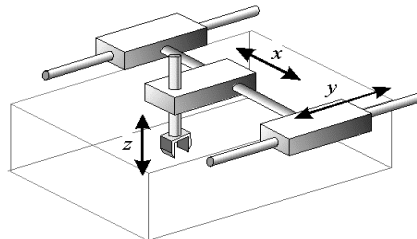
Robotlar, çeşitli ölçütlere (eksen sayıları, kontrol tipleri ve mekanik yapılarına) göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 1.2'de, mekanik yapılarına göre yapılan bir sınıflandırma görülmektedir.

Robot	Eksenler		Örnekler	
	Prensip	Kinematik Yapı		Çalışma Alanı
Kartezyen Robot				
Silindirik Robot				
Küresel Robot				
SCARA Robot				
Mafsallı Robot				
Paralel Robot				

Şekil 1.2 Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması

1.4.1 Kartezyen Robot

Temel kontrol eksenleri birbirine dik ve lineer olan yani dönmek yerine düz bir çizgide hareket eden endüstriyel robotlar kartezyen robot olarak adlandırılır. Bakım kolaylığı ve tekrarlanabilirlik özelliklerinin yüksek olmasının yanısıra, matematik modelleme ve hesaplamalarının da kolay olması bu tip robotların avantajlarındandır.



Şekil 1.3 Kartezyen robot modeli

1.5 Robotların Kullanım Alanları

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

1.6 Robotlu Kaynak Sistemleri

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

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

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

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

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

a) Robot tecrübesi b) Eldeki insan gücü

c) Eldeki bütçe

d) Gerekli sistem performans seviyesi şeklindedir.

1.7 Robotlar ile Yapılan Kaynak Yöntemleri

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

1.7.1 Nokta Direnç Kaynağı

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

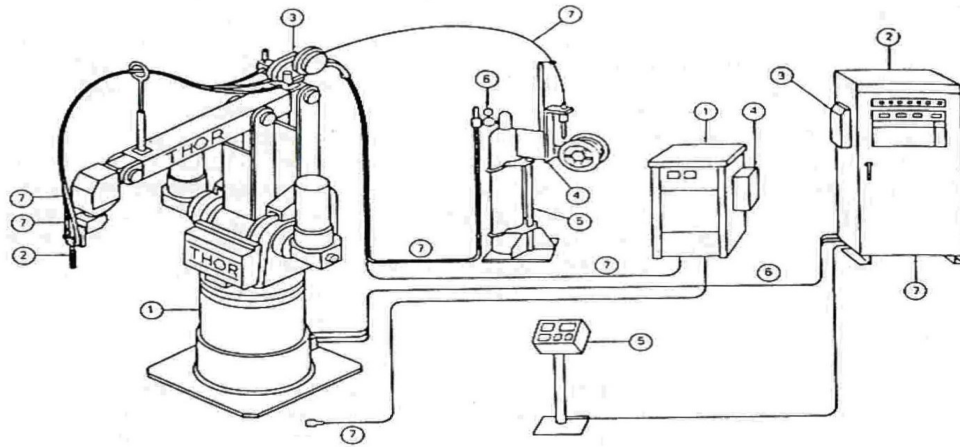
Nokta direnç kaynağında kullanılan robotlar, prosesi gerçekleştirmek için bazı yetenek ve özelliklere sahip olmalıdır. Çalışma hacmi, parçanın boyutuna uygun olmalıdır. Robot, parça üzerinde ulaşılması güç olan yerlerde kaynak tabancasını konumlayabilmeli ve oryante edebilmelidir. Bu ise serbestlik derecesinin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

Robotlar aracılığıyla gerçekleştirilen nokta direnç kaynağı prosesinin otomasyonundan elde edilen faydalar, artırılmış ürün kalitesi, operatör güvenliği ve imalat operasyonuna daha fazla hakim olunmasıdır. Kalitenin artması, kaynak dikişlerinin daha tutarlı olması ve kaynakların konumundaki tekrarlanabilirliğin daha iyi olmasındandır. Göreceli olarak çok iyi bir tekrarlanabilirliğe sahip olmayan robotlar bile insanlara nazaran nokta kaynaklarını daha doğru bir şekilde konumlandırabilirler. Elektriksel şok ve yanık tehlikelerinin bulunduğu çalışma alanından insanın uzak tutulması ile güvenlik artırılmış olur. Nokta direnç kaynağı

prosesini otomize etmek için robotların kullanılması, üretim planlama ve proses içi envanter kontrolü gibi alanlarda gelişmelere neden olacaktır. Robotların ve kaynak ekipmanının bakımı, nokta direnç kaynağı hattının otomizasyonunun başarıyla gerçekleştirilmesi için önemli bir faktördür.

1.7.2 Ark Kaynağı

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



Robot Donanımları :

- 1) Ark Kaynak Robotu
- 2) Robot Kontrol Ünitesi
- 3) Öğretme (Teaching) Kutusu
- 4) Kaynak Sinyal Ünitesi
- 5) Kontrol Ünitesi
- 6) Kablolar

Kaynak Makinası Donanımları :

- 1) Güç Ünitesi
- 2) Kaynak Torcu
- 3) Tel Besleme Ünitesi
- 4) Tel Kontrol Ünitesi
- 5) Koruyucu Gaz Ünitesi
- 6) Manometre
- 7) Kablo ve Hortumlar

Şekil 1.4 Ark kaynağı robot donanımı

1.7.2.1 Robotlarda Ark Kaynağı Donanımları

Endüstride kullanılan bir robotik ark kaynağı donanımı aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır.

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

Bunları ana kısımlar halinde incelememiz gerekirse:

Manipülator: Kaynak işleminin gerçekleşmesi için gerekli hareketleri sağlayan mekanizmadır. Kaynak işlemlerinde en çok kullanılan eklem konfigürasyonları 6-eksenli antropomorfik (veya Vertical Articulated) ve 5-eksenli hibrit (Hybrid Articulated) yapısında olan robotlardır. 6-serbestlik dereceli robotlar çalışma uzayı içinde kalan her türlü yörüngeyi izleyebilmektedir ve genellikle 3- boyutlu parçaların kaynakla imalatında kullanılır. 5-serbestlik dereceli hibrit robotlar ise hızlı ve düzlemsel (yatay) parçaların kaynağında tercih edilir.

Ark kaynağı işleminde genellikle hareket tekrarlamaya kabiliyetinin +0,1 ve -0,1 mm hata sınırında olması yeterlidir. Bir ark kaynağı robotunun yük taşıma kapasitesinin diğer robotlardaki kadar yüksek olmasına da gerek yoktur. Bu nedenle sanayide kullanılan ark kaynağı robotlarının büyük bir kısmı 4,5 ila 6 kg taşıma kapasiteli robotlardır.

Kontrol Ünitesi: Robot kaynak torkunun kaynak prosesi sırasında izlemesi gereken yörünge, öğretme (teaching) programı ile belirlenir. Kullanıcı, robotun izlemesi gereken yörünge üzerinde referans noktalarını (knot points) ve bu noktalardaki kaynak parametrelerini robotun

kendi programındaki komutlarla belirler. Kontrol ünitesi de 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.

Kontrol ünitesinin robotun 6 eksenini kontrol edebilmesi yeterli gibi gözükmemektedir. Bununla beraber eğer sisteme yardımcı ekipman (pozisyoner, slider, 2'nci bir robot) eklenirse kontrol ünitesi ek bir eksen kartıyla bu isteğe karşılık verebilecek yapıda olmalıdır. 15 eksene kadar çıkarılabilen eksen kontrolü sağlayarak, bu isteği fazlasıyla karşılayabilecek kontrol sistemleri vardır.

Kaynak Ekipmanları: Robotlarda ağırlıklı olarak CO₂, MIG, MAG ve TIG ark kaynağı yöntemleri kullanılmaktadır. Bunların içinde de en çok uygulama alanı bulan yöntem MAG kaynağıdır.

CO₂, MIG ve MAG ark kaynağı yöntemleri eriyen elektrodla kaynak, TIG kaynağı ise erimeyen elektrodla koruyucu gaz altında ark kaynağı metodudur. Koruyucu gaz, CO₂ ark kaynağında karbondioksit, MIG kaynağında saf Argon, MAG kaynağında Argon-CO₂ karışımı, TIG kaynağında saf Argon gazıdır.

Pozisyoner ve Slider'lar: Robot kontrol ünitesi tarafından, robotla senkronize olarak kontrol edilebilirler. Pozisyoner, dönel hareketleriyle kaynak edilecek parçaları tutarak istenen duruşa getirir. Pozisyonerler 1 ve 2 eksenli olabilmektedir. Slider ise, üzerine monte edilen robotun çalışma uzayını artırır. Robotun aksenal hareketlerle ulaşamayacağı veya ulaşırken zorlanacağı hareketlere ilave eksen imkanı sağlarken bir yandan da standart ve seri üretim için yardımcı olmaktadır.

1.7.2.2 Ark Kaynağı Robotunda Olması Gereken Özellikler

Ark kaynağı gerçekleştiren endüstriyel robotun bazı özellik ve yeteneklere sahip olması gerekir. Ark kaynağı uygulamalarında göz önünde bulundurulmuş bazı teknik konular şunlardır:

Çalışma Hacmi ve Serbestlik Dereceleri : Robotun çalışma hacmi, kaynak edilecek parçaların boyutlarına yetecek büyüklükte olmalıdır. Kaynak torcunun yeterli manipülasyonuna izin verilmelidir. Ayrıca, eğer iş istasyonunda iki parça tutucu varsa her iki tutucuda da hareket döngüsü gerçekleştirmek için robot uygun erişime sahip olmalıdır. Ark kaynağı robotları için genellikle beş veya altı serbestlik derecesi gerekir. Bu sayı, kaynak

işinin karakteristiklerinden ve parça manipülatörünün hareket yeteneklerinden etkilenir. Eğer parça manipültörü 2 serbestlik derecesine sahipse, robotun daha az serbestlik derecesine sahip olmasına izin verilebilir.

Hareket Kontrol Sistemi : Ark kaynağı için sürekli-yol kontrolü gereklidir. Kaynak dikişinin üniformitesini sağlamak için robot, pürüzsüz sürekli harekete sahip olmalıdır. Buna ilaveten, kaynak döngüsünde hareketin başlangıcında kaynak banyosunu oluşturmak için bir bekleme, hareketin sonunda da kaynağı bitirmek üzere bir bekleme gerçekleştirilmelidir.

Hareketin Kesinliği : Robotun tamlığı ve tekrarlanabilirliği kaynak işinin kalitesini belirler. Kaynak işlerinin kesinlik gereksinimleri, boyut ve endüstrinin pratiğine bağlı olarak değişiklik gösterir ve en uygun robot seçilmeden önce her kullanıcı tarafından bu gereksinimler tanımlanmalıdır.

Diğer Sistemlerle Arayüzleme : Robot, hücredeki diğer ekipmanlarla birlikte çalışabilmek için yeterli giriş/çıkış ve kontrol yeteneklerine sahip olmalıdır. Bu diğer ekipmanlar, kaynak ünitesi ve parça pozisyoneleridir. Hücre kontrolörü, robotun hızı ve yörüngesi ile parça manipülatörünün operasyonu ve tel besleme hızı gibi kaynak parametrelerini koordine etmelidir.

Programlama : Robotun sürekli ark kaynağı için programlanması dikkat gerektirir. Düzensiz şekillere sahip kaynak yolları için, robotun hareket yolu boyunca fiziksel olarak hareket ettirildiği gösterme ile programlama (walkthrough) metodunu kullanmak uygundur. Düz (doğrusal) kaynak yolları için robotun, uzaydaki iki nokta arasındaki interpolasyonu gerçekleştirecek yeteneğe sahip olması gereklidir. Bu, programcının kaynak başlangıç ve bitiş noktalarını belirlemesine ve robotun noktalar arasındaki düz çizgi yörüngeyi hesaplamasına izin verir.

1.8 Kaynak Robotları İle Yapılan Çalışmalar

Önceki kısımlarda da belirtildiği gibi sürekli ark kaynağı uygulamalarında bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Genellikle gemi ve otomotiv endüstrisi, kapalı kaplar, basınçlı depoların imalatı gibi imalat dallarında uygulanan ark kaynak işlemi birçok bileşeni olan ürünlere uygulandığı için bir otomasyon uygulaması yapmak zordur. Fakat günümüzde gelişen teknoloji ile bu zorlukların çoğu ortadan kaldırılabilir hale getirilmiş; ark kaynağı robotları neredeyse kaynak işlemlerinin tamamını insanlara gerek kalmadan yapabilir duruma gelmiştir.

Örneğin Danimarka Aalborg Üniversitesi'nde Ole Madsen ve Carsten Bro tarafından geçtiğimiz sene yapılan “Gemi Panellerinin Hibrid MIG/YAG-Lazer Kaynağının Planlama ve Kontrolü” çalışmasında gemi panellerinin robotik kaynağı üzerinde durulmuş ve özellikle köşe kaynağı üzerine yoğunlaşmıştır. Bisiach&Caru marka hazır robot ve 5 eksen kontrol edebilen CNC kontrolcüsü Siemens Cinumeric 840 D kullanılan çalışmada kaynak torcu, köşelerde oryantasyonunu değiştirmesine yardımcı olarak çarpmalardan sakınmasını ve yörünge kontrolünü sağlayan bir lazer tarayıcı ile birleştirmiştir. Kaynak kafası bir MIG torcu bir lazer kafası (HAAS) ve lazer tarayıcıdan oluşmaktadır.



Şekil 1.5 Gemi panellerinin kaynağında kullanılan kaynak kafası [Madsen, Bro (2004)]

Sadece MIG, sadece lazer veya hibrit kaynak yapabilen sistemin, yapılan deneyler sonucunda köşelerde 0.5 mm hata ile çalışabildiği ve gemi imalatı dışındaki alanlarda da kullanılabileceği gösterilmiştir.

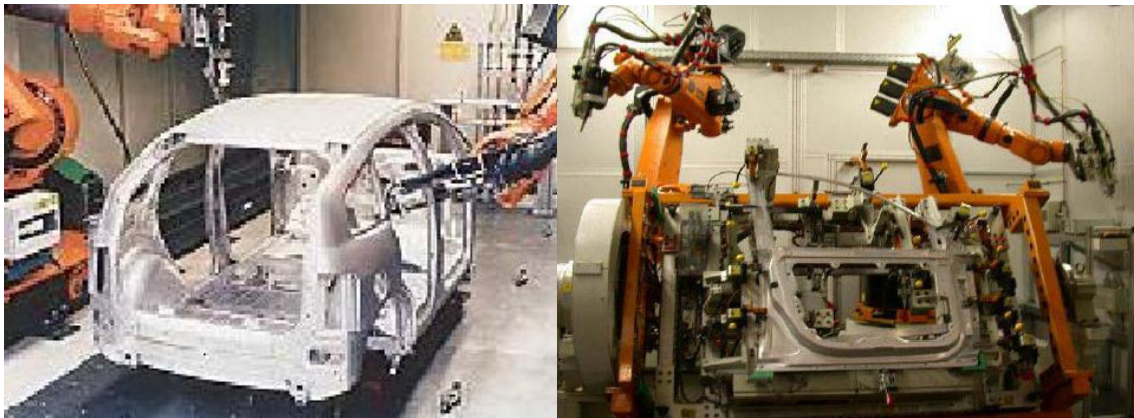


Şekil 1.6 Sade MIG ve hibrit kaynak yöntemleri ile köşe kaynağı [Madsen, Bro (2004)]

Kaynak işlemlerinde daha yüksek sıcaklık, hız ve dikiş kalitesi gerektiren uygulamalar ve yeni arayışlar sonucunda çeşitli hibrit kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. Bu hibrit kaynak metodları imalat proseslerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hibrit kaynak prosesleri genel olarak bir lazer kaynağı ile ark proseslerinin (MIG, TIG, plazma) kombinasyonundan veya bir lazer kaynağının yine bir lazer kaynağı ile kombinasyonundan meydana gelir. MIG/YAG-Lazer hibrit kaynağı imalatta yaygın olarak kullanılan bir tiptir. YAG (yttrium aluminum garnet) insan yapısı bir çeşit elmadır ve bu elmasa flaş lambalarla belli bir dalga boyunda ışık

gönderilir. Bu kaynak türünde reflektörlerden yansiyarak gücünü artıran dalgalar lensler yardımıyla odaklanarak fiberoptik bir kabloya oradan da iş parçasına gönderilir. Bahsi geçen hibrit kaynak prosesi tek başına yapılan ark kaynağından daha hızlı, tek başına lazer kaynağından daha iyi boşluk doldurma kapasitesine sahiptir. Ayrıca hibrit kaynağın nüfuziyeti yüksek hızlarda daha fazla olmaktadır. Bir bakıma hibrit kaynak yöntemlerinde bir kaynak türünün avantajı diğer kaynak türünün dezavantajını örtmektedir.

Özellikle otomotiv endüstrisinde yoğun bir kullanımı olan robot kaynağının gelişmesiyle üretim maliyeti düşerken araçlara verilen garanti süresi de uzamıştır. Bir aracın kaynak gerektiren kısımlarına bakacak olursak karşımıza; debriyajdan abs fren sistemine, yakıt tankından egzosa, sensörlerden motor parçalarına ve kaportadan şaseye kadar geniş bir yelpaze çıkmaktadır. Otomotiv alanındaki kaynak uygulamaları genellikle çok eksenli mafsallı robotlar tarafından yapılmaktadır. Kaporta ve iç kısımların birleştirilmesinde genellikle nokta kaynak kullanılırken diğer bölgelerde sürekli kaynak işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin belçikada üretilen Honda Civic ön panelinde ağırlık olarak kaynak sırası MIG kaynak robotu, nokta kaynak robotu ve manuel MIG kaynağı şeklindedir. Audi A2 modelinde 20 m kadar robotik MIG kaynağı, 30 m kadar da robotik MIG-lazer hibrit kaynağı yapılmaktadır. Buna benzer bir örnek olarak Volkswagen Phaeton kapılarında MIG kaynağı ile 7 dikiş (380 mm) atılırken MIG-lazer hibrit kaynağı ile 48 dikiş (3570 mm) atılması verilebilir.



Şekil 1.7 MIG-lazer hibrit kaynağı ile Audi A2 ve VW Phaeton parçalarının kaynağı

BMW'nin yeni motoru K 1200 S'nin tüm şasesi de tamamen robotlar kullanılarak 12 dakikadan az bir sürede sadece MIG kaynağı ile birleştirilmektedir. Alüminyum şase iki adet 6 eksenli Cloos Romat 320 eklemlili robot kolu tarafından kaynak edilmektedir. Bu iki robot yine iki adet Cloos Rotrol II işlemci ile kontrol edilmektedir. BMW mühendisleri TIG kaynağı kalitesindeki dikişleri MIG kaynağı ile elde etmek için bazı iyileştirmeler ve

optimizasyon çalışmaları yapmış, proses sırasında teknik ve aparat değiştirmeden daha az maliyet ve daha kısa sürede oldukça kaliteli kaynak dikişleri elde etmişlerdir. Bu iyileştirmelerden en önemlisi, kaynak işlemi sırasında parçanın bağlı olduğu ünitenin şaseyi yerçekimi doğrultusunda döndürmesidir.



şekil 1.8 BMW K 1200 S şasesinin kaynağı ve MIG kaynak dikişleri

1.9 Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tezin amacı otomatik tel ve gaz besleyebilen, bilgisayar kontrollü olarak kaynak yapabilen kartezyen koordinatlı bir kaynak robotu tasarlamak ve hayata geçirmektir. Hedeflenen amaçlardan biri de bu kaynak robotunun bilinen optimum kaynak hızlarında, kaynak standartları açasından kabul edilebilir kaynak işlemi yapabilmesidir.

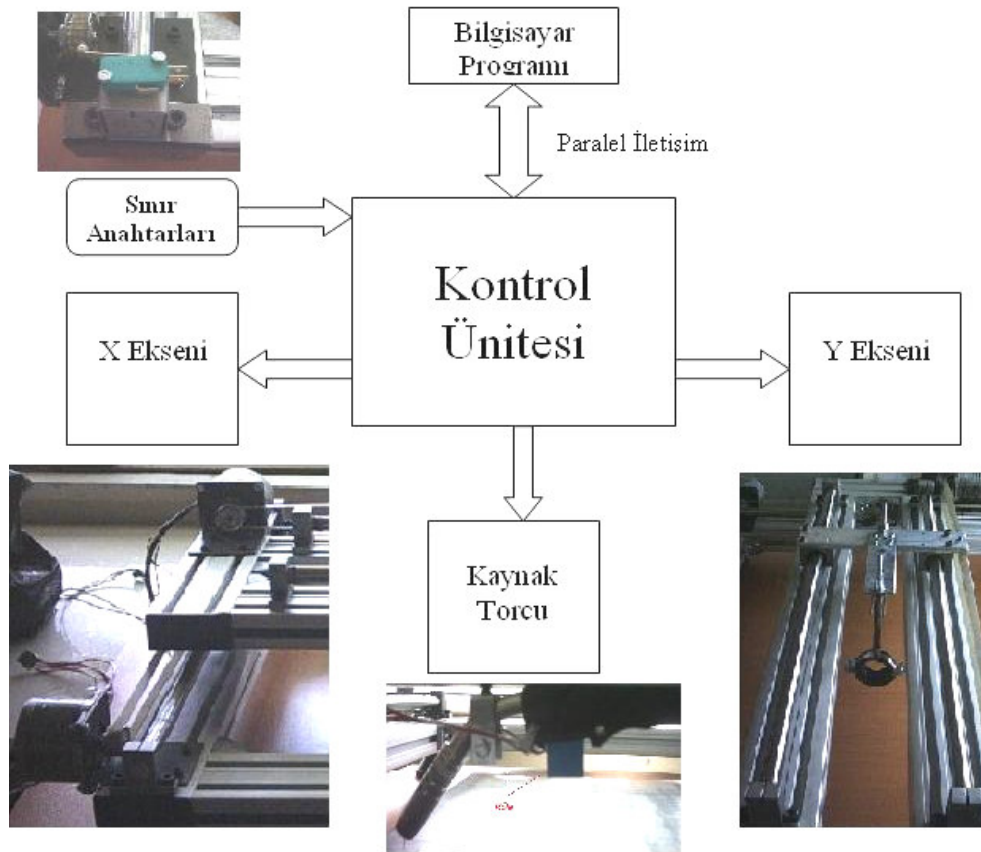
Kartezyen koordinatlı kaynak robotu çalışması genel olarak mekanik tasarım, elektronik tasarım ve kaynak uygulamaları şeklinde incelenebilir. Çalışma tamamen Y.T.Ü. bünyesinde bir makina ve bir elektrik-elektronik mühendisi tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma arkadaşım elektrik-elektronik mühendisi Ferhat Zeylan elektronik tasarım bölümünü üstlenmiştir.

2 KARTEZYEN KOORDİNATLI KAYNAK ROBOTU TASARIMI

Bu çalışmada X ve Y eksenlerinde hareket edebilen, bilgisayar kontrollü bir MIG/MAG kaynak robotu tasarlanmış ve hayata geçirilmiştir. Tüm mekanik ve elektronik tasarımlar çalışma dahilinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca robotun elektronik kısımlarının bilgisayar ile haberleşmesini sağlayacak bir bilgisayar programı yazılmıştır.

2.1 Giriş

Mekanik sistemin, kaynak torcunu istenen koordinat değerlerine götürmesi ve o değerler dahilinde kaynak yaptırabilmesi için yazılan bilgisayar programına koordinat değerleri girilmektedir. Girilen koordinatlar uyarınca, kartezyen robotu hareket ettirmek için kullanılan adım motorlarının adımları (bu çalışmada kullanılan motorların adımları 2° 'dir) göz önüne alınarak gerekli parametreler hesaplanır ve bilgisayarın paralel portu üzerinden kontrol kartına gönderilir. Kontrol kartına gelen sinyaller, adım motorlarının sargı uçlarına ve kaynak torcunun tetik devresine kumanda eder. Adım motorları X ve Y eksenelerine gerekli hareketleri verir kaynak torcu istenilen koordinatlara getirilir; tel ve gaz çıkışı sağlanır.



Şekil 2.1 Sisteme genel bakış

Mekanizmanın sınırlarını aşmaya kalkışması durumuna karşın, sınır anahtarları kullanılmıştır. Mekanik kısımda eksenlerin bitiş noktalarına sabitlenen sınır anahtarları, kontrol kartı üzerinden yazılıma eksen aşımı bilgisini ulaştırdığı anda, sınır aşımı yapılan eksenin hareketi durdurulmaktadır.

2.2 Mekanik Sistem Tasarımı

Kartezyen koordinatlı kaynak robotu çalışması için oluşturulacak yapı, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, kalibrasyonu sarsıntılardan etkilenmeyen ve kolay sökölüp takılabilen bir yapı şeklinde düşünülmüştür.

Bütün bu kriterler göz önüne alınarak oluşturulan mekanik sistem aşağıda bölümler halinde verilmiştir:

- 1) Sistemin iskeletini oluşturan profiller
- 2) Hassas çelik miller-mil sonu destekleri
- 3) Alüminyum yataklar ve kapalı tip rulmanlar
- 4) Kayış ve kasnak sistemi
- 5) Özel üretim parçalar ve bağlantı elemanları
- 6) Kaynak torcu
- 7) Kaynak makinesi
- 8) Hareket sağlayıcılar

2.2.1 Alüminyum Profiller

Sistemin ana yapısını alüminyum sigma profiller oluşturmaktadır.

Malzeme seçiminde neden alüminyum sorusuna verilecek cevap için alüminyumun özelliklerini incelememiz yeterli olacaktır:

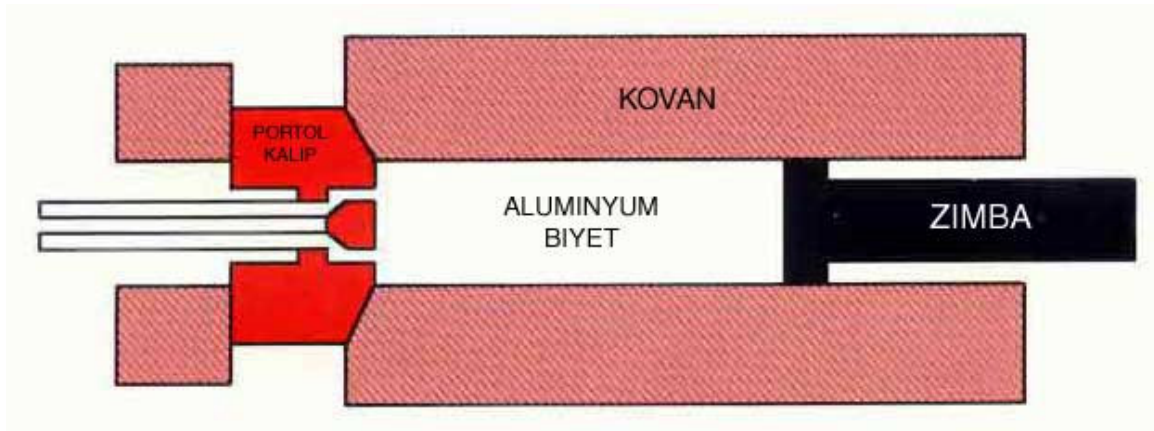
- Alüminyum hafiftir. Aynı hacimdeki bir çelik malzemenin ağırlığının ancak üçte biri kadar ağırlıktadır.
- Alüminyum, hava şartlarına, yiyecek maddelerine ve günlük yaşamda kullanılan pek çok sıvı ve gazlara karşı dayanıklıdır.
- Alüminyum'un yansıtma kabiliyeti yüksektir. Gümüşü beyaz renginin bu özelliğe olan

katkısı ile beraber gerek iç gerekse dış mimarî için cazibeli bir görünüme sahiptir. Alüminyumun bu güzel görünümü, anodik oksidasyon (eloksal), lâke maddeleri vs. gibi uygulamalar ile uzun müddet korunabilir. Hatta, birçok uygulamada tabii oksit tabakası bile yeterli olur.

- Çeşitli alüminyum alaşımlarının mukavemeti, normal yapı çeliğinin mukavemetine denk veya daha yüksektir.
- Alüminyum elastik bir malzemedir. Bu nedenle ani darbelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, dayanıklılığı düşük sıcaklıklarda azalmaz (çeliklerin, düşük sıcaklıklarda ani darbelere karşı mukavemeti azalır).
- Alüminyum, işlenmesi kolay bir metaldir. Öyle ki, kalınlığı 1/100 mm. den daha ince olan folyo veya tel haline getirilebilir.
- Alüminyum ısı ve elektriği bakır kadar iyi iletir.
- Alüminyum'a şekil vermek için döküm, dövme, haddeleme, presleme, ekstrüzyon, çekme gibi tüm metodlar uygulanabilir.

Alüminyum Ekstrüzyon Profil : Belli bir kesite sahip olan, (bu kesitin şekli düz veya amaca uygun değişik şekilde olabilir) ve kesit/boy oranı küçük olan, başka bir deyişle, boyu eninden çok daha fazla olan şekillendirilmiş malzemeler "profil" olarak tanımlanır. Profil üretimi için birçok metal gibi alüminyum da haddeleme (çekme) veya ekstrüzyon metodu ile işlenir. Ancak, karmaşık şekilli profiller için en çok kullanılan metod "ekstrüzyon"dur.

Ekstrüzyon profillerin üretimi için kullanılan sürekli bir işleme yöntemidir. Isıtılmış bir silindirdeki karıştırıcı aracılığı ile bileşik homojenize edilir, kalıba dökülebilir kıvama getirilir ve profilin istenen şekle girmesini sağlayacak olan işleme kalıplarının nozüllerine girmesi sağlanır. Daha sonra şekil verme kalıplarında profile kendine has şekli verilir.



Şekil 2.2 Köprülü (portol) kalıp kullanılarak ekstrüzyon ile üretim (direkt ekstrüzyon)

AV Tip Alüminyum Alaşım Sigma Profiller :

Bu profiller emsallerine göre oldukça dayanıklı ve hafif olmakla beraber; sökme-takma işlemlerini kolaylaştıran bir yapıda imal edilmişlerdir. Profiller modüler bir yapıya sahip oldukları için gerekli aksesuar montajları kolayca sağlanmaktadır. Bütün bağlantılar vida tekniği ile yapılır. Sonradan taşlama, kaynak ve boyama gibi işlemlere gerek kalmamaktadır. Ayrıca temizleme işlemi de çok kolaydır. Gerektiğinde kolayca sökülüp, profil değişiklikleri yapılarak farklı şekiller elde edilebilmektedir. Alüminyum profiller ayrıca kolay kesilip, delinmektedir.

Profillerin kullandıkları bağlantı parçalarına göre HV, T ve AV tipleri mevcuttur.V tipindeki profiller V profilli somun kullanılarak diğer parçalarla bağlantıyı gerçekleştirmektedir. Kolay sökülüp takılma ve maliyet açısından V tipi profiller tercih edilmiştir.



Şekil 2.3 HV tip sigma profil

Ölçülerinin uygunluğu açısından ise V tipi profillerden 45 x 90 AV tip profil tercih edilmiştir. AV tipi profilin :

Birim Ağırlığı : 3.961 kg/m

Atalet Momenti: $I_x= 25.2 \text{ cm}^4$, $I_y= 174.0 \text{ cm}^4$

Malzeme: AlMgSi 0,5 (AA6063)

AA6063 alüminyum alaşımı inceleyecek olursak:

Alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde (profil, boru, çubuk, lama üretimi) en çok kullanılan malzemelerden birisi olan AA 6063 alaşımı, ısıl işlem ile sertleştirilebilen alüminyum alaşımları grubundandır. Biçimlenebilme kabiliyeti yüksek olan, ısıl işlem ile mekanik değerleri önemli ölçüde arttırılabilen bu alaşım, genel olarak bir Al-Mg-Si alaşımıdır.

TS 412 (ISO 209) numaralı Türk Standardında AlMgSi0,5 kısa gösterilişi ile verilen bu alaşımın bir ikizi de 6060 alaşımıdır. AA 6063 alaşımının, ekstrüzyon yöntemiyle üretilen profillerinin en yaygın kullanıldığı sektörler, inşaat/mimari (cephe kaplama, pencereler, kapılar, dekorasyon, mobilya), otomotiv, elektrik/elektronik ve makina imalat sektörleridir. AA 6063 alüminyum alaşımının eloksal (anodik oksidasyon) kaplanabilme özelliği de son derece iyidir.

AA 6063 alaşımının genel kimyasal bileşimi aşağıda gösterilmiştir (ağırlıkça %):

Si: 0.20-0.60 % Cr: 0.10 % max.

Mg: 0.45-0.90 % Cu: 0.10 % max.

Fe 0.35 % max. Mn: 0.10 % max.

Ti: 0.10 % max.

Cr: 0.10 % max.

Cu: 0.10 % max.

Mn: 0.10 % max.

Diğer: Herbiri 0.05%, toplam 0.15% max.

Ekstrüzyon sektöründe çok yaygın kullanılan AA 6063 alaşımının, kullanım yerine bağlı olarak geliştirilen üç adet versiyonunun kimyasal bileşimi çizelge 2.1'de gösterilmiştir:

Çizelge 2.1 AA 6063 alaşımının (alüminyum profillerin) kimyasal bileşimi

Standart	Notasyon	Si	Mg	Fe	Cr	Zn
EN 537-3	ENAW 6060	0,30-0,60	0,35-0,60	0,10-0,30	0,05 max	0,15 max
EN 573-3	ENAW 6063	0,20-0,60	0,45-0,90	0,35 max.	0,10 max	0,10 max
AA	AA 6063	0,20-0,60	0,45-0,90	0,35 max.	0,10 max	0,10 max
ISO 209 (av-profil)	AlMgSi0,5	0,30-0,60	0,35-0,60	0,10-0,30	0,05 max	0,10 max

Malzeme No: ISO 209 (TS 412)

Çekme Kuvveti: 215 N/mm²

Akma Kuvveti: 160 N/mm²

Elastikiyet Modülü: 7000 kg/mm²

Kopma Uzaması: A5 12% - A10 10%

Sertlik Derecesi: 70 (brinel)

Genleşme Katsayısı: 23×10^{-6} m/C

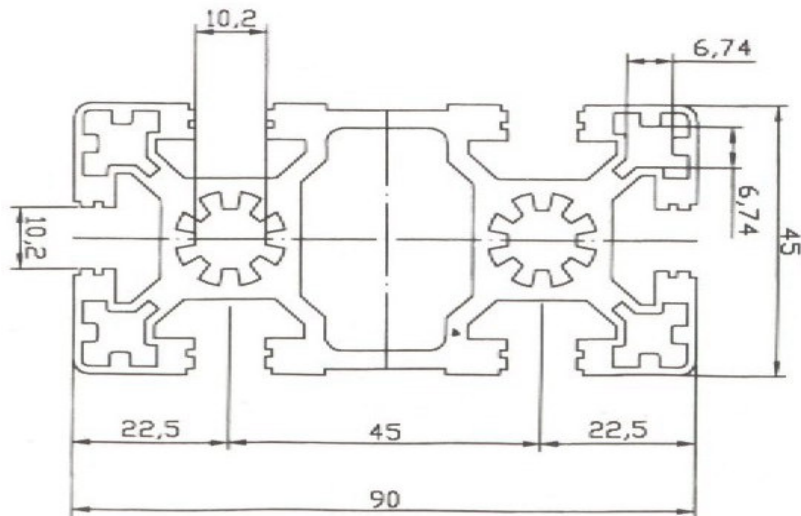
Eloksal Cinsi: mat beyaz eloksal

Eloksal Kalınlığı: 10-30 mikron

Eloksal kaplama (anodik oksidasyon , eloxal, anodize, anodizasyon), alüminyum ürünlere uygulanan en önemli yüzey işlemlerinden birisidir.

Eloksal, alüminyum yüzey işlem dilimize Almanca'dan girmiş bir terimdir (eloxal). Uluslararası terminolojide "Anodic Oxidation (Anodik Oksidasyon)" veya "Anodising / Anodizing (Anodizasyon / Anodize)" olarak tanımlanır. Eloksal, alüminyum için çok özel bir yüzey kaplamadır; elektrokimyasal bir proses ile yapılır. Kullanılan elektrolit, genelde asidik bir çözüldür. Kaplanacak alüminyum elektroliz işleminin "anot"udur. Belirli ve kontrol edilen bir akım (genellikle doğru akım DA) yoğunluğu, kaplanacak alüminyum (iş parçası) ile uygun bir katot arasında, yine belirli bir süre için geçirilir. Bu süre, oluşacak eloksal tabakasının özellik ve kalınlığına göre belirlenir. Proses sırasında ısı ortaya çıkar ve elektrolitin sıcaklığını sabit tutmak için bu ısının işlem ortamından alınması (elektrolitin soğutulması) gerekir. Kaliteli bir eloksal elde etmek için işparçasının metalurjik yapısının kaliteli olması ve eloksal tesisinin gerekli mühendislik kriterlerine göre dizayn edilmiş olması gerektiği unutulmamalıdır.

Buraya kadar malzemesinden mukavemet özelliklerine kadar incelenen AV tipi sigma profilin ölçüleri şekil 2.4'de verilen teknik resimde görülmektedir.



Şekil 2.4 Kaynak robotunda kullanılan AV tipi sigma profil ölçüleri

2.2.2 Hassas Çelik Miller-Mil Sonu Destekleri

Sistemin hareketli kısmının üzerinde ilerleyeceği miller, step motorun küçük darbelerinde bile hassas hareket sağlayabilirken aynı zamanda da darbelere dayanıklı olmalıydı. Bu nedenlerden dolayı CromSteel dış yüzeyi indüksiyonla sertleştirilmiş 20 mm çapında hassas çelik miller tercih edildi.

İndüksiyonla Sertleştirilmiş Miller: İndüksiyonla sertleştirilmiş miller, alüminyum-plastik doğrama makinelerinin veya benzer şekilde çalışan makine ve aparatların kayıcı rulman yataklarının kolonu olarak, hidrolik ve pnömatik silindirlere rot mili olarak, genel olarak yataklamalarda kolon mili olarak kullanılmak üzere üretilmektedir.

İndüksiyonla sertleştirilmiş millerin sadece dış tabakasında 2 mm derinliğinde bir sert kalınlık olduğundan kolaylıkla işlenebilir. İndüksiyon tabakasını seramik kalemler,veya diğer özel elmas uçlar ile rahatlıkla kaldırabilir ve ondan sonra normal imalat çeliği gibi işlenebilir.

İndüksiyonla sertleştirilmiş millerin yüzeyi çapta 15 mikron sert krom kaplıdır.Bu sert krom sayesinde miller atmosferik oksidasyon şartlarına da mukavemet kazanırlar ve makineler de göze hoş gelen bir görünüm kazanır.

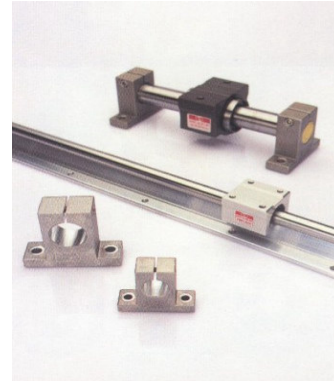
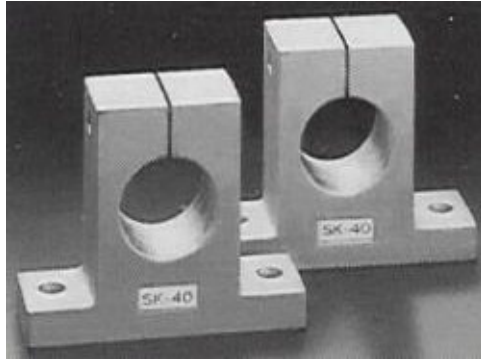
Çizelge 2.2 İndüksiyonla sertleştirilmiş millerin özellikleri

Özellik	
Sert krom kaplama kalınlığı	15 mikron +/- 3 (çapta)
Çap toleransı	ISO h6
Yassılık toleransı	1/2 çap toleransı
Pürüzsüzlük	Ra 0.10 - 0.25 mikron
Malzeme	CK 55
İndüksiyon tabakası sertliği	62 +/-2 HRC
Tabaka sertlik derinliği	0.4 – 2.2mm
Standart Mil Boyları	Çap 6mm'e kadar 2100 mm
Standart Mil Boyları	Çap 6mm'den sonra 6100 mm



Şekil 2.5 İndüksiyonla sertleştirilmiş miller (CromSteel)

Rulmanlı yataklarımıza kolon olarak kullanacağımız millerimizi alüminyum alaşım (AA6063) profiller ile oluşturduğumuz tablalarımıza bağlamak için mil sonu destekleri kullandık. Millerin uzunluğu her iki ekseninde de 800 mm olup çapları daha önce de belirtildiği gibi 20 mm'dir; sistemimizde, bu değere karşılık gelen Samick SK-20 no'lu mil sonu desteği kullanılmıştır.



Şekil 2.6 Değişik çaplarda mil sonu destekleri (Samick)

2.2.3 Alüminyum Yataklar ve Kapalı Tip Rulmanlar

Sistemin hareketli kısmını taşıması için indüksiyonla sertleştirilmiş millerimizle sürtünmeyi en aza indirecek, kontrol ünitesi ile step motorlarımızdan gelecek tepkilere hassas kaliteli rulmanlar ve titreşime, darbeye dayanıklı yataklar seçilmiştir.

Alüminyum gövdeli yataklar dört civata bağlantılı, oldukça hafif ve dayanıklıdır. Samick SCE serisinden (SCE 20 UU) sistemde kullanılan tipin resmi aşağıda görülmektedir.



Şekil 2.7 Alüminyum gövdeli dört civata bağlantılı yatak (Samick SCE 20 UU)

Bu yataklardan kartezyen koordinatlı robotun X ekseninde 4 adet (mil başına 2 adet), Y ekseninde 2 adet (mil başına 1 tane) kullanılmıştır (sistemin genel incelemesi bölüm sonunda yapılmıştır). Alüminyum yatakların boyutları samick LME serisi kapalı tip rulmanlara uyumlu olarak tasarlanmıştır.

LME serisi rulmanlardan kullanılan LME 20 UU modeli'nin özellikleri:

Rulman Çeliği : 100 Cr6

İç çap: 20 mm

Dış çap: 32 mm

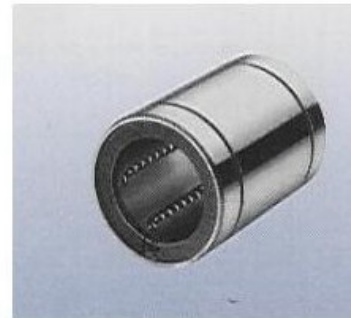
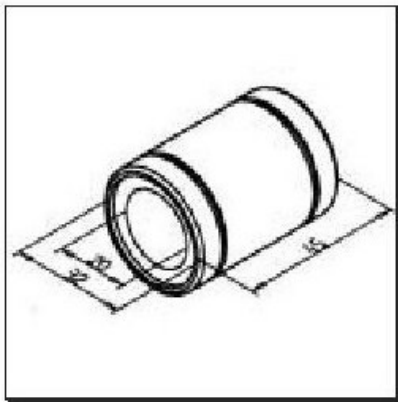
En: 45 mm

Dinamik yük dayanımı: 880 N

Statik yük dayanımı: 1400 N

Max. Çalışma sıcaklığı: 110 C°

Rulmanlar ayrıca 2 adet entegre sızdırmazlık elemanı içermektedir.



Şekil 2.8 LME 20 UU kapalı tip rulman

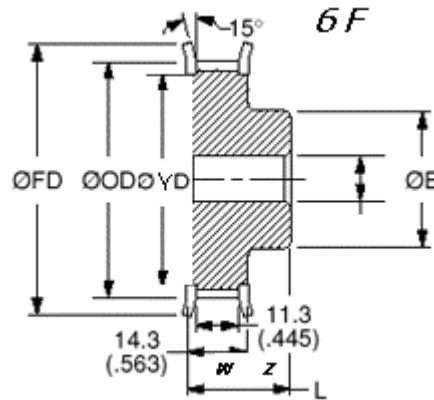
2.2.4 Kayış Kasnak Sistemi

Eksenlerdeki hareketler step motorların uçlarına bağlanan standart kasnaklar yardımıyla sağlanmaktadır. Her iki eksen de tek kayış ile tahrik edilirken, eksenlerde tahrik eden kasnak ve diğer uça ilkiyle aynı boyutta, rulmanlarla yataklanmış boşta dönen ikinci bir kasnak mevcuttur. Aynı kasnakları kullanarak çevrim oranını “1” tutmamızın sebebi olarak, step motorlarımızı doğrudan kontrol edebileceğimiz bilgisayar programı ve sürücü devrelerimiz sayesinde, kayış kasnak sisteminde herhangi bir indirgeme yapmamıza gerek kalmaması gösterilebilir.

Kasnak seçiminde önemli derecede etkili olan eksenlerin konstrüksiyonu ve step motorların yapısı idi. Step motorların millerine bağlanacak kasnaklardaki işçiliğin kolaylığı açısından alüminyum malzeme kasnaklar tercih edildi. Yukarıda da belirtildiği gibi sistemde 4 adet alüminyum alaşım kasnak bulunmaktadır. Bu kasnakların malzemesi 2024-T4 alüminyum alaşım olarak geçerken üzerlerine elektrokimyasal bir metodla aşınmaya dayanıklı okside film kaplanmıştır. Kasnaklar standartlara göre 6F (F = flanged = kenarlı) tipinde olup kullanılabilen maksimum kayışın genişliği (3/8 inch = 0.375), tipi ve diş sayısı ile de ifade edilebilir.

Çizelge 2.3 18 XL 037 kasnak özellikleri

Gösterim	Mlz.	Diş	Do (mm)	Dy (mm)	Df (mm)	W (mm)	E (mm)	Z (mm)	L (mm)
18 XL 037	Al	18	29,11	28,60	33	14,3	20	10,7	25



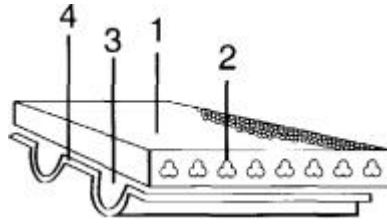
Şekil 2.9 6F tipi kasnağın ölçüleri



Şekil 2.10 Sistemde kullanılan 6F tipi kasnaklar

Standart Zaman Kayışı (XL)

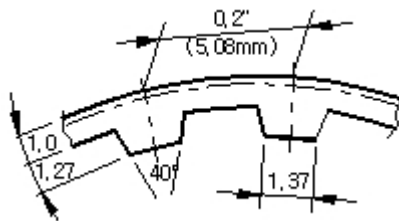
Zaman kayışları, gücü sürtünme ya da kama etkisiyle değil de mekanik olarak birbirine geçme yoluyla iletirler. Zaman kayışının alt tarafındaki dişler (ve bazen üst tarafındaki dişler) bir kasnaktakine benzeyen boşluk ile mekanik olarak birbirine geçer ve gücü iletir. Bu nedenle zaman kayışlarından dişli kayışlar olarak da söz edilir.



1. Kloroplin kauçuk destek
2. Tel cam eğilme üyesi
3. Kloroplin kauçuk diş
4. Naylon kaplama

Şekil 2.11 Zaman (dişli) kayış yapısı

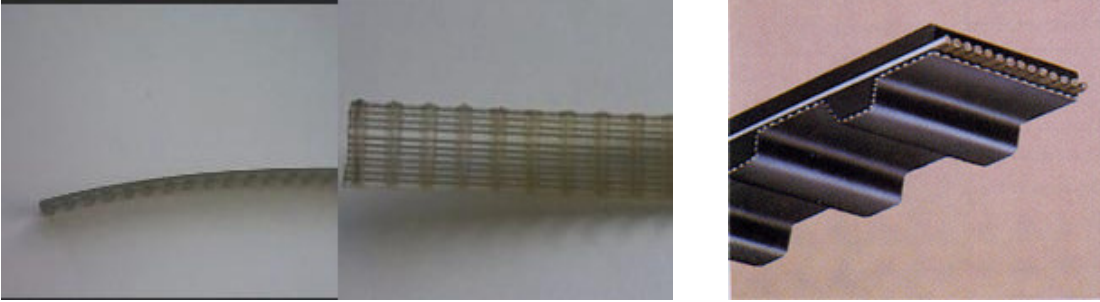
Zaman dişlilerin çalışma prensibi birbirine geçen dişliler ve vitesler yada dişli çarklar ve zincirlerde olduğu gibidir. Bundan dolayı taşınmış ve taşıyıcı şaftlar arasında çok doğru hız oranları mümkün olur. Sürtünmeye bağlı olmaksızın güç iletimi de kayışların nispeten daha küçük gerilimlerde kullanımına olanak sağlar. Sonuç olarak şaftlar ve mil yatakları üzerinde ki yüklenme, iletilmiş aynı güç içerisinde nispeten daha düşüktür. Zaman kayışları diğer kayışlarla karşılaştırıldığında nispeten daha hafif ve esnektirler.



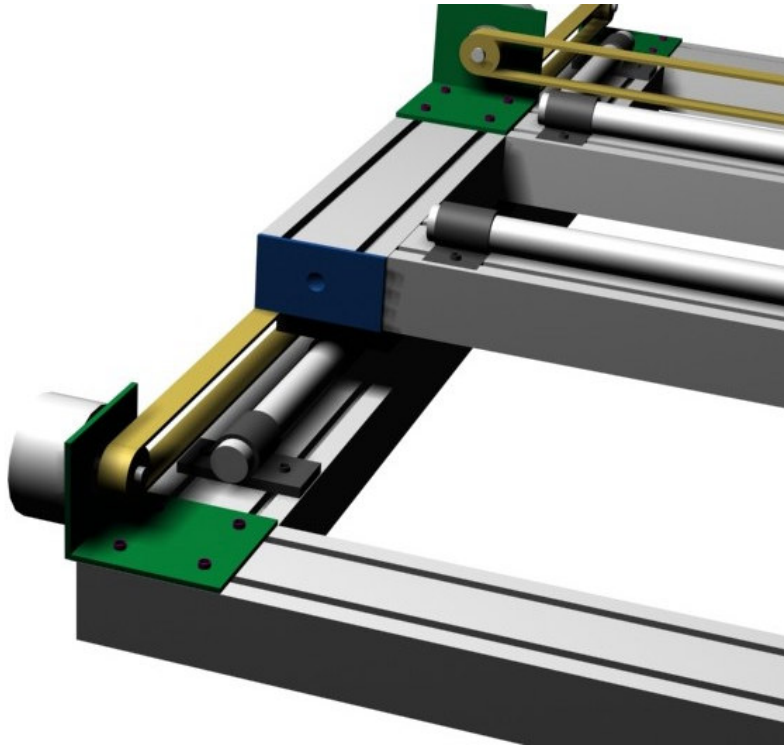
Şekil 2.12 Standart XL zaman kayışı ölçüleri

Kayışlarımız kasnaklardan geçirdikten sonra hareketli tablalarımıza özel yapılan metal pabuçlarla bağlanmaktadır. Bu pabuçlar, *bağlantı elemanları bölümünde* ele alınmıştır.

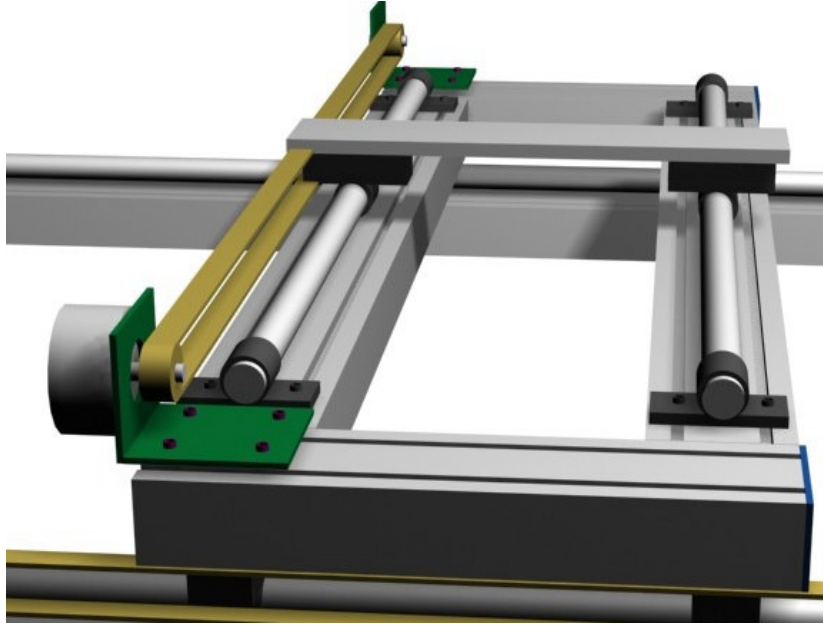
Ayrıca XL kayışların malzemesinde dayanımı artırmak amacıyla dönüş yönüne paralel çelik teller bulunmaktadır.



Şekil 2.13 Sistemde kullanılan XL kayışın resimleri ve kesiti



Şekil 2.14 Kayış kasnak sistemi (X-ekseni)



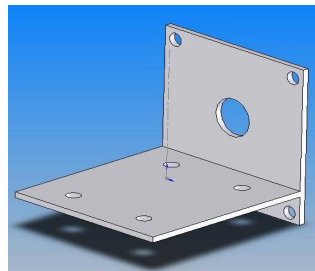
Şekil 2.15 Kayış kasnak sistemi (Y-ekseni)

2.2.5 Özel Üretim Parçalar ve Bağlantı Elemanları

Kartezyen koordinatlı robotun standart parçalardan oluşan kısımlarının montajından sonra karşılaşılan önemli sorun, robotun tasarlandığı şekilde çalışabilmesi için gerekli olan bazı ek parçaların imalidir. Bu parçaların bir kısmı 3 mm'lik sacdan (St 37) bazıları da alüminyum alaşımlarından üretilmiştir.

Step Motor Taşıyıcılar

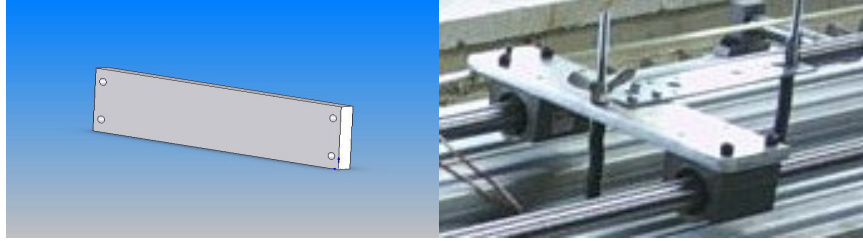
Step motor taşıyıcılar 3 mm'lik sacdan (St 37) imal edilmiştir. 82x82 şeklinde bir kare ve 82x90 şeklinde bir dikdörtgen sac levhanın birbirlerine kaynaklanmasından oluşan 2 adet step motor taşıyıcısının ortalarında step motor mili ve ucundaki kasnağın geçmesine imkan veren 40 mm çapında bir delik bulunmaktadır. Ayrıca parçaların köşelerinde step motorların montajı için 4 adet, üst ve alt tablalara montaj için 4 adet olmak üzere toplam 8 adet 7mm'lik delik bulunmaktadır.



Şekil 2.16 Step motor taşıyıcı

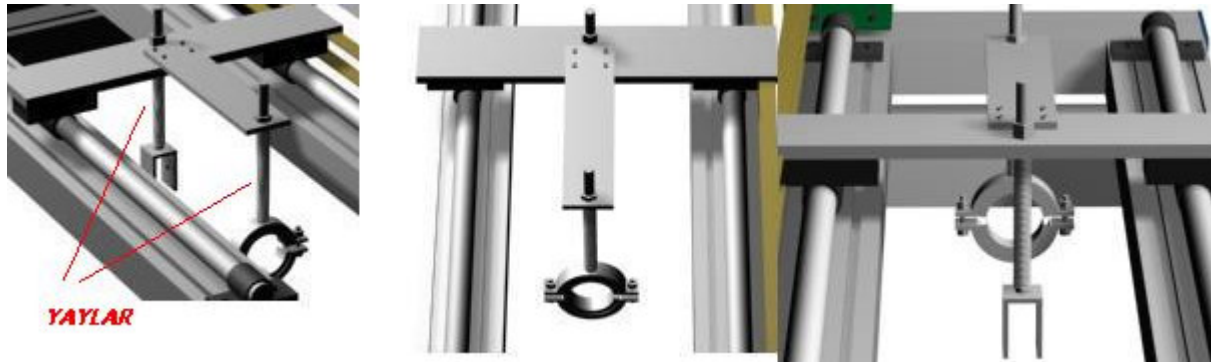
Yüksekliği ve Dikliği Ayarlanabilir Torç (torch) Taşıyıcı

Tasarım sırasında imali gereken ikinci bir parça da kaynak makinesinin torcunu taşıması gereken alettir. Bu aparat, Y eksenini üzerindeki millere, rulmanlı yataklarla bağlı olan 10 mm kalınlığındaki 260 mm'ye 60 mm ölçülerindeki alüminyum tabla üzerine monte edilmek üzere; kaynak torcunun yüksekliğini (Z eksenini) ve torcun parçaya olan dikliğini ayarlanabilir kılması için torcu iki noktadan tutacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.17 Y eksenini boyunca kaynak torcunu taşıyan alüminyum tabla

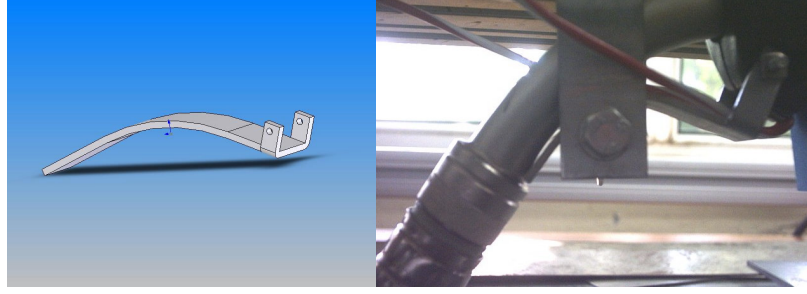
Bu kaynak torcunu tutan iki noktadaki özel yapım taşıyıcı kısımların vidaları ile hareketli tabla arasına yay yerleştirilip, tablanın üzerine yine özel olarak üretilen kelebekler takılmıştır. Böylelikle Z ekseninde yüksekliğin ve torcun parçaya olan açısının ayarlanabileceği taşıyıcı bir sistem oluşturulmuştur.



Şekil 2.18 Ayarlanabilir torç taşıyıcı

Torç Askısı

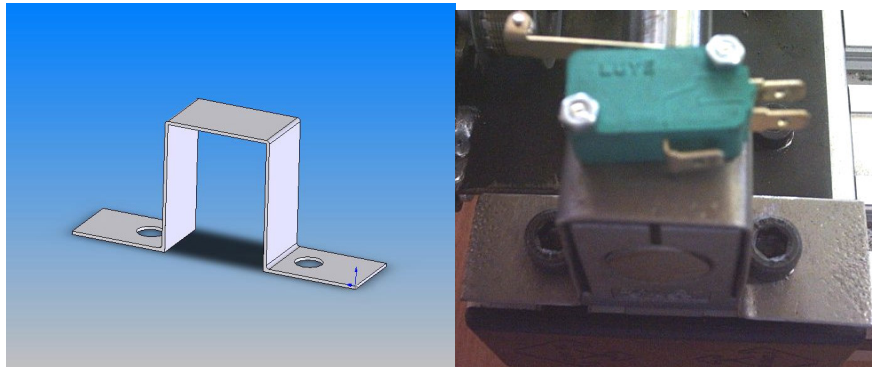
Kaynak Torcunun kaynak yapılırken darbe ve titreşimlerden etkilenmemesi gerektiği için tutucu ve torç arasında rijit bir bağlantı sağlanmalıdır. Bunun için kaynak torcunun asılması için düşünülmüş olan orjinal askı demiri sökölerek yerine alüminyum alaşımdan, taşıyıcı ve torcun ölçülerine uygun bir parça imal edilmiştir. Bu parça taşıyıcının öndeki dörtgen kısmına bir vida ve kelebek yardımıyla sabitlenerek torcun ön kısmının rijit bir şekilde bağlantısını sağlamaktadır.



Şekil 2.19 Özel üretim askı ve torç üzerine monte edilmiş hali

Limit Sensör (sınır anahtar) Tutucu

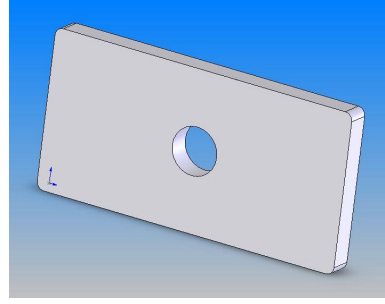
Robotun bilgisayar aracılığıyla verilen komutları hassasiyetle yerine getirebilmesi, daha önceden yapılan bir kaynağı yani hafızada kayıtlı olan bir hareketi yeniden yapabilmesi için, sistemin sıfır noktalarının bulunmasını ve step motorların tarama alanı dışına gelindiğinde durmasını sağlayan sensörlerin mil sonu destekleri üzerine rijit bir şekilde bağlanmaları gerekmektedir. Burada 1 mm'lik sac levhalara, mil sonu desteklerinin üzerine monte edilecek halde şekil verilerek limit sensörlerin bağlanması sağlanmıştır.



Şekil 2.20 Limit sensör tutucu ve robot üzerinde uygulaması

Metal Pabuçlar (kayış sıkıştırıcı)

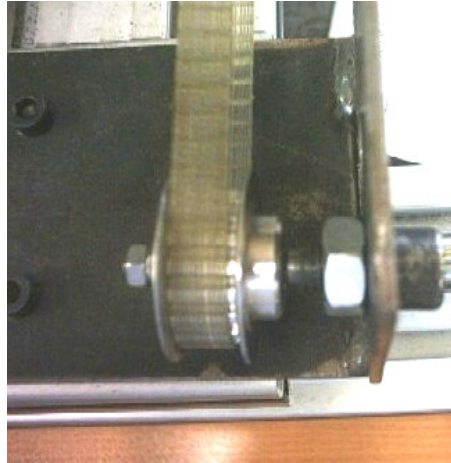
Kayışlar kasnaklardan geçirildikten sonra hareketli tablolara özel yapılan metal pabuçlarla bağlanmaktadır. 3 mm'lik St 37'den imal edilen pabuçlar 40 x 20 mm ölçülerindedir. Zaman kayışlarının her iki ucu bu pabuçlardan iki tanesi arasına sıkıştırılarak hareketli tablalarımızdaki "V" profilli somunlarımıza bir civata yardımıyla tutturulmuştur.



Şekil 2.21 Kayış sıkıştırıcı pabuç

Kasnak Denge Milleri

Step motorlara bağlı kasnakların karşısındaki, hareketi tamamlayan 2. kasnakların boşta dönmesi için 6F tipi alüminyum kasnakların ortalarına çift taraflı rulman (dış çap: 10mm) çakıldı ve bu şekilde kasnaklar, ucuna diş açılmış bir mile sıkı geçme halde; mil de taşıyıcıya somunlarla bağlanmıştır. Bu sayede step motor taşıyıcılara takılan, boşta dönerek hareketi tamamlayan 2. kasnak sistemi oluşturulmuştur.



Şekil 2.22 Boşta dönen kasnak-mil sistemi

Bağlantı elemanları

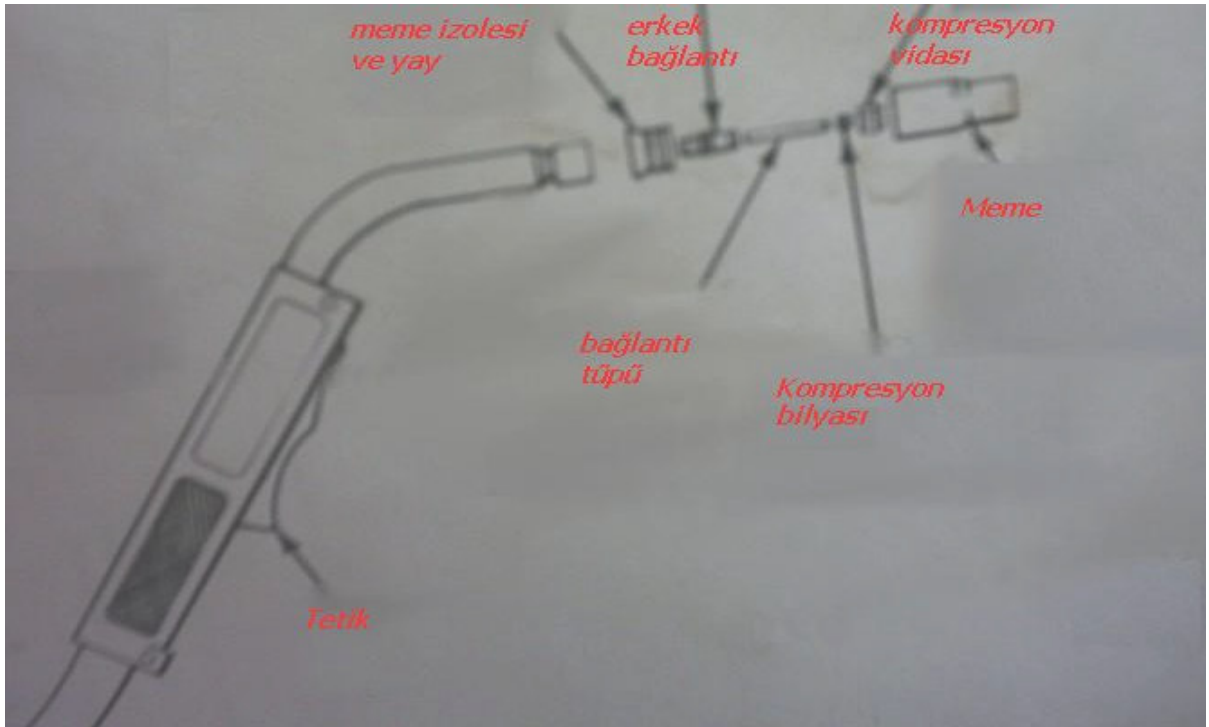
Kartezyen koordinatlı kaynak robotunun montajında kullanılan bağlantı elemanları genellikle alüminyum alaşım profillerde kullanılan elemanlardan seçilmiştir. Bu elemanlardan “V” profil somunlar alüminyum profillerin içerisindeki kanallara yerleşerek eksenleri oluşturan millerin ve yatakların kolayca sökölüp takılmalarını sağlamaktadır. Aşağıdaki resimde sistemin montajında kullanılan bağlantı elemanları (somunlar, civatalar, koruyucu kapaklar ve lastikler) görülmektedir.



Şekil 2.23 Montajda kullanılan bağlantı elemanları

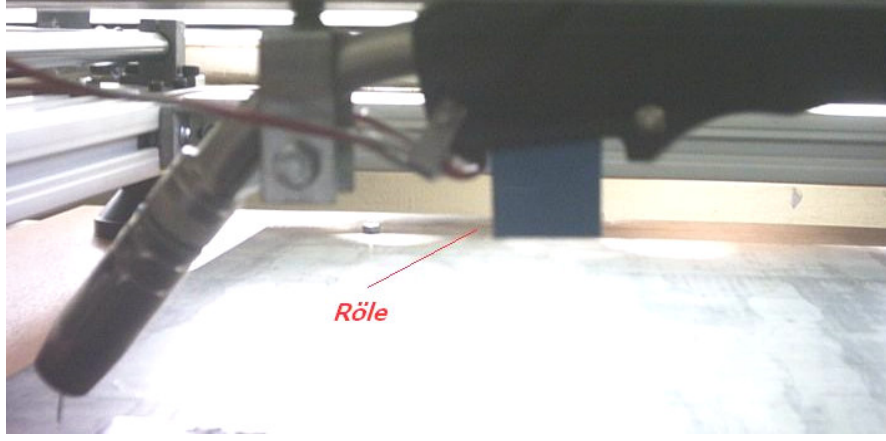
2.2.6 Kaynak Torcu

Kaynak robotunda, üzerinde değişiklikler yapılması gerektiği için gazaltı makinesinin orjinal torçu yerine 250 amperlik akımlara kadar kullanılabilen BatWeld marka (Bw-25) 3 metrelik bir torç kullanılmıştır. Şekil 2.24’de standart bir gazaltı makinesi torcu, genel hatlarıyla gösterilmektedir:



Şekil 2.24 Standart gazaltı kaynak torcu

Projede, orjinal torcun devreyi tamamlayan düğmesi (tetik), çıkartılarak yerine bir röle takılmıştır. Bu sayede tel ve gaz beslemesi, bilgisayardan verilen komutlar ile yapılabilir hale getirilmiştir.



Şekil 2.25 Kaynak torcununun röle yerleştirilmiş hali

Kaynak uygulamasında 0.8 mm'lik kaynak teli (SG 2) ile birlikte 0,8'lik torç memesi (difüzör) kullanılmıştır. Kaynak telinin çapını değiştirirken kaynak torcunda da o çapa uygun meme kullanmak gerekmektedir. Uygulamada kullanılan memeler bakır malzemedendir imal edilmiş olup 2 parçadan oluşmaktadır.



Şekil 2.26 0.8 mm çapında kaynak teli için kullanılan meme (difüzör)

2.2.7 Kaynak Makinesi

Uygulamada kullanılan kaynak makinesi : Miller Matic 35 S CY50 (150 A) MIG-MAG makinesidir. Proje dahilinde makine üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadı ve kaynak makinesi standart haliyle kullanılmıştır.

Makine Özellikleri

- Sürekli ve punta kaynak seçimi
- 6 kademeli sıcaklık ayarı
- Kaynak sonrası kaynak teli geri yanış süresi (Burn Back Function)
- Kaynak teli hız ayarı
- Punta kaynakta ince zaman ayarı

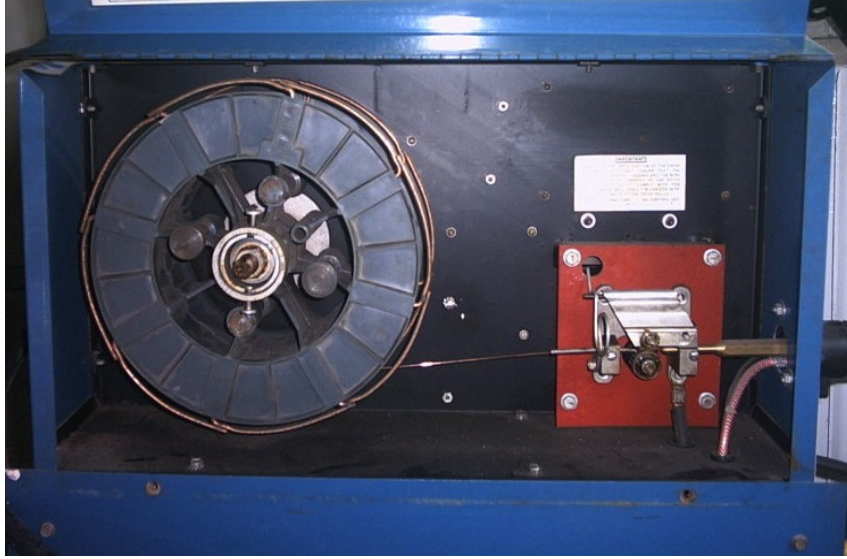
Çizelge 2.4 Kaynak makinesi özellikleri

Şebeke Gerilimi	380 V trifaze
Akım Ayar Sahası	14,5-150 A
Tel Çapı	0,6-1 mm
Elektrik Güç Gereksinimi (Kva)	4.8
Soğutma	Fan
Makine Ağırlığı	60 kg



Şekil 2.27 Projede kullanılan Miller-Matic 35s MIG-MAG kaynak makinesi

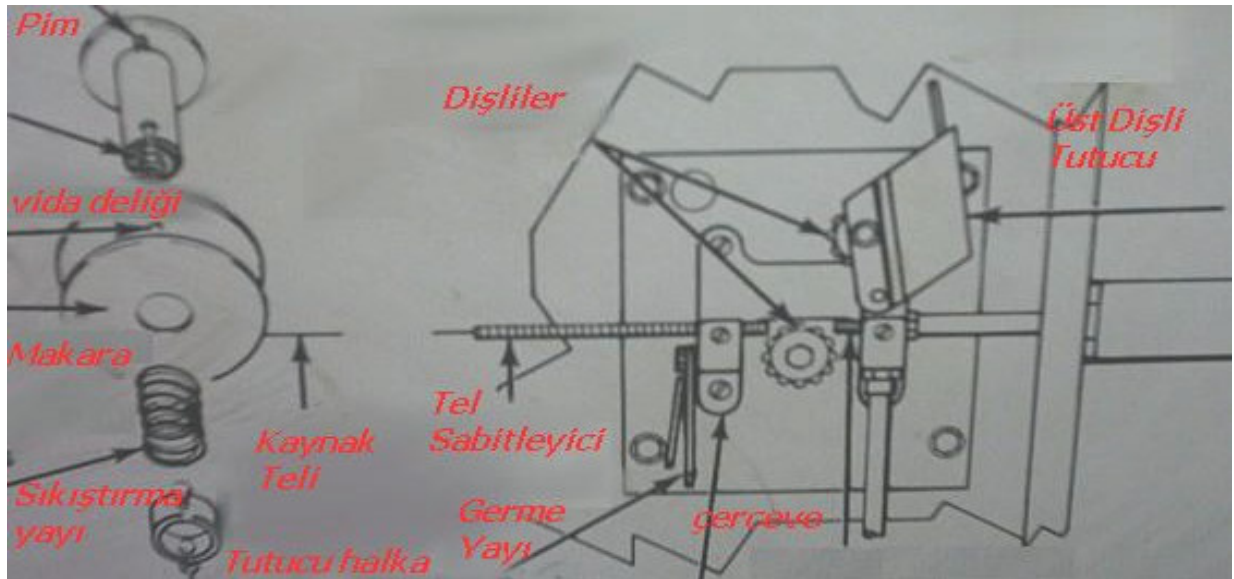
MIG-MAG kaynak makinesinin önemli bir diğer kısmı da tel besleme ünitesidir zira bu ünite üzerindeki herhangi bir aksama ya da takılma kaynak işleminin devamlılığını veya kalitesini doğrudan etkileyecektir.



Şekil 2.28 Miller Matic 35 S CY50 kaynak makinesinin tel besleme ünitesi

Çizelge 2.5 Tel besleme ünitesi özellikleri

Çalışma Gerilimi (VAC)	42
Tel Çapı	0,8-1 mm
Yanma Kontrolü (saniye)	0,1-3
Vuruş	2 vuruşlu
Tahrik	2 merdane
Motor Gücü (W)	40
Azami Tel Hızı (metre/dakika)	15



Şekil 2.29 Tel besleme mekanizması ve bileşenleri

2.2.8 Hareket Sağlayıcılar (Adım Motorları)

Hareketli sistemde 2 adet, adım açıları 2° olan yani tam bir dönme hareketi için

$(360^\circ / 2^\circ = 180)$ 180 darbeye ihtiyaç duyan adım motorları kullanılmıştır.

130 in-oz tutma torku olan bu motorlar 1000 adım/sn (60 inch/dak) değerinde rahatlıkla sürülebilmektedir.

Bu motorların karekteristikleri birbirlerinin aynısı olmakla beraber markaları farklıdır:

Çizelge 2.6 Projede kullanılan adım motorlarının özellikleri

Marka	Tip	IBM p/n	Derece/Step	Gerilim	Akım
Sanyo StepSyn	103-820-2	2526734	2	DC 2V	1.4 A
Plessey Power	5-8861	2526734	2	DC 2V	1.4 A



Şekil 2.30 Kaynak robotunda kullanılan adım motorları

Adım motorlarının genel çalışma prensipleri, çeşitleri ve özellikleri bir sonraki kısımda ayrıntılı olarak verilmiştir.

2.3 Adım Motorları

Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara adım motorları denir. Adından da anlaşılacağı gibi adım motorları belirli adımlarla hareket ederler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyarımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90° , 45° , 18° , 7.5° , 1.8° veya daha değişik açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir.

Adım açısı, bir tam dönüş için kaç tane adım atılacağını belirler. Örneğin 1.8° adım açılı bir motor, şaftın bir tam dönüş yapması için 200 darbe ile tahrik edilmelidir ($360^\circ / 1.8^\circ = 200$). Bir adım motorun hassasiyeti ve fiyatı bir tam dönüşteki adım sayısı yükseldikçe artar.

Daha küçük bir adım açısı, motorun hassasiyetini artırmaktadır fakat adım motorların saniyede kabul edebilecekleri darbeler için bir üst sınır vardır. Ağır iş motorları saniyede 200-300 arasında darbe oranına sahiptir, yani yüksek hızda dönmektedirler (dakikada 60-180 tam tur). Daha küçük bazı adım motorlar saniyede 1000 ve üzeri darbe alabilir fakat yüksek tork üretmediğinden sürme ve dümenleme motorları için uygun değildir.

Adım motorlarının bobinleri belirli voltajlara göre ayarlıdır. Bobinler üzerlerine gerilim uygulandığında indüktör gibi davranır. Öyle ki, aniden en yüksek akım değerlerini yansıtamadıkları gibi, yüksek step frekanslarında bu en üst değere ulaşamayabilirler. Bobinler tarafından üretilen elektromanyetik alan, akım miktarı ile orantılıdır. Elektromanyetik alan ne kadar büyük olursa, motorların tork üretme potansiyelleri de o denli fazla olur. Torku yükseltmenin yolu bobinlerin her adımda en yüksek akım değerine ulaşmasından geçer.

Adım motorlar, komutatörsüz elektrik motorları gibi algılanabilir. Tipik olarak motordaki tüm sarımlar statorun bir parçası iken, rotor sürekli bir mıknatıs veya kaplanmış yumuşak manyetik malzemeden meydana gelir. Burada bütün iletişim ve kontrolün dışarıdan motor kontrolcüsü tarafından yapılması gerekmektedir. Adım motorlar ve motor kontrolcüleri, motorların herhangi bir yönde dönerken istenen konumda tutulmasına imkan verecek şekilde dizayn edilirler.

Adım motorların hareketsiz halde iken birden son hızlarında sürülemezler de belirtilmelidir. Ayrıca, motorun kapasitesini aşan şekilde, çok fazla darbe göndermek de motorun donmuş gibi hareketsiz kalmasına neden olacaktır. En yüksek hızlara ulaşabilmek için, motor aşamalı olarak hızlandırılmalıdır. İvmelenme, insan kriterlerine göre gayet hızlı olabilir. Hız ilk ms'ler için $1/3$ değerinde, 50-75 ms'ler arası $2/3$ sonrasında ise son sürat olabilir.

Sarımlardan birini aktive etmek, adım motorlarda şaftı ilerletir. Sarıma akım uygulamaya devam edersek motor dönmez, fren uygulanmış gibi kilittlenir. Bu ilginç kilitleme özelliği kullanılarak step motorlara ayrıca bir fren uygulanmasına gerek kalmaz. Bir step motorun frenleme gücünün büyüklüğü, tutma torku olarak adlandırılır.

Adım motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler

mikroişlemci veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Sonuç olarak adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde çok kullanılırlar. Adım motorlarının kullanıldıkları yerlere örnek olarak, endüstriyel kontrol teknolojisi içerisinde bulunan bazı sistemler, robot sistemleri, takım tezgahlarının ayarlama ve ölçmeleri verilebilir. Ayrıca, adım motorları konumlandırma sistemlerinde ve büro makinaları ile teknolojisi alanında da kullanma alanı bulmaktadır.

Adım motorlarının bu kadar çok kullanılma alanı bulmasının nedeni bu motorların bazı avantajlara sahip olmasıdır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Geri beslemeye ihtiyaç göstermezler. Açık döngülü olarak kontrol edilebilirler.
- Motorun hareketlerinde konum hatası yoktur.
- Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden bilgisayar veya mikroişlemci gibi elemanlarla kontrol edilebilirler.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
- Herhangi bir hasara yol açmadan defalarca çalıştırılabilirler.

Adım motorlarının bu avantajları yanında bazı dezavantajları da aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

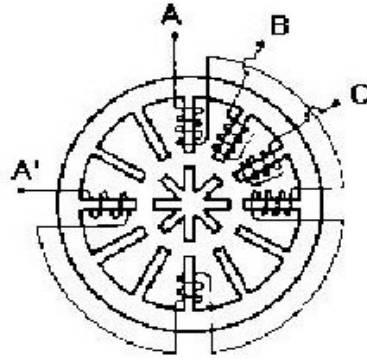
- Adım açıları sabit olduğundan hareketleri sürekli değil darbelidir.
- Sürtünme kaynaklı yükler, açık döngülü kontrolde konum hatası meydana getirirler.
- Elde edilebilecek güç ve moment sınırlıdır.

2.3.1 Adım Motoru Tipleri

2.3.1.1 Kademeli Adım Motorları

Kademeli adım motorları, yumuşak demir rotorlara ve yarık statorlara sahiptir. Genellikle 5° ile 15° arasında adım açılarında, nispeten yüksek adım oranlarında, tetik torku (motordan akım geçmediği anlardaki tutma torku) olmadan çalışırlar.

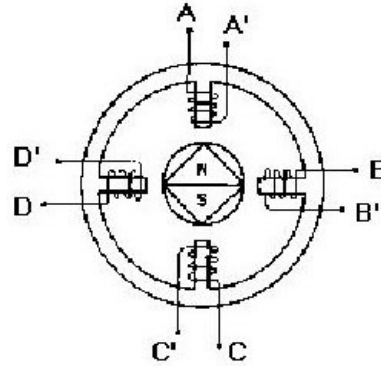
Şekil 2.31 Kademeli adım motorunun yapısını göstermektedir : A fazına enerji verildiğinde, dört rotor dişi, manyetik çekimle A fazının dört stator dişinin karşısında yerini alır. Bir sonraki adım, A fazının kapatılıp B fazına enerji verilmesiyle atılır. Rotor saat yönünde 15° döndürülerek, C fazına ve sonra tekrar A fazına geçilir. Faz sırası ters çevrilirse saat yönünün tersi yönde dönme elde edilir.



Şekil 2.31 Kademeli adım motoru

2.3.1.2 Sabit Mıknatıslı Adım Motorları

Sabit mıknatıslı motorlar, eksene dik olarak mıknatıslanmış olmaları ve dişsiz sürekli mıknatıslı rotorlarıyla ayrılırlar. Dört faza sırasıyla enerji verilirken, rotor manyetik kutuplara çekiliyormuşçasına döner. Şekil 2.32 Sabit mıknatıslı adım motorunun yapısını göstermektedir. Motor, sarımlara ABCD sırasıyla enerji verildiğinde 90° lik adımlarla dönecektir. Sabit mıknatıslı motorlar genelde 45° ya da 90° 'lik adım açlarına ve nispeten düşük step oranlarına sahiptir. Buna karşın yüksek tork ve iyi sönümlenme karakteristikleri gösterirler.

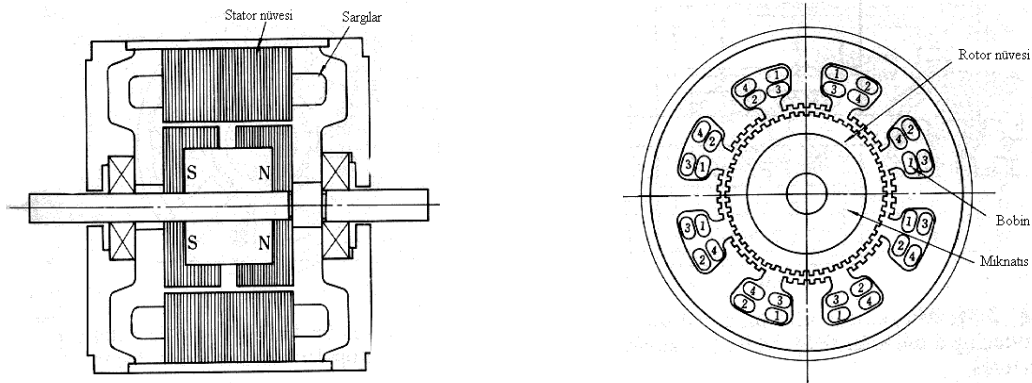


Şekil 2.32 Dört fazlı sabit mıknatıslı adım motorunun yapısı

2.3.1.3 Hibrit Adım Motorları

Hibrit adım motorları, kademeli ve sabit mıknatıslı adım motorlarının arzu edilen özellikleri alınarak oluşturulmuş motor tipleridir. Yüksek tetik ve tutma torkuna sahip bu motorlar yüksek hızlarda çalışabilir. Normalde $0,9^\circ$ ve 5° derece arası adım açılarında çalışırlar. Çift telli sarım uygulandığından tek fazlı güç kaynağı kullanılabilir. Fazlara sırasıyla enerji

verildiğinde, rotor $1,8^\circ$ 'lik artışlarla dönecektir. Bu motor daha çok tork üretmek adına, aynı anda 2 fazlı olarak sürülebilir veya tek fazlı, çift fazlı sonra yeniden tek fazlı sürülerek $0,9^\circ$ 'lik yarım adımlar oluşturulabilir.

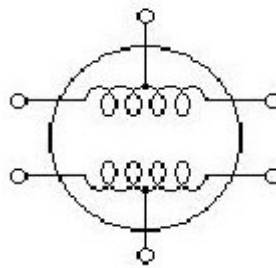


Şekil 2.33 Hibrit adım motorunun yapısı

2.3.2 Bobin Tahrikli Adım Motoru Tipleri

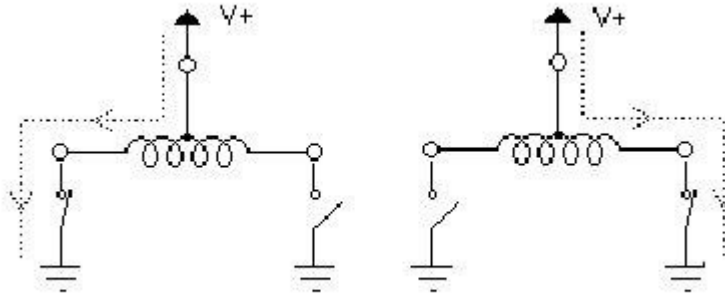
2.3.2.1 Ünipolar Adım Motorları

Ünipolar motorlar, nispeten kontrolü daha kolay motorlardır. Basit bir sayaç devresi, doğru bir adım sırasını sağlayabilir, ayrıca sarım başına bir transistör şeklindeki basit sürücüler bu motorlarda kullanılabilir. Ünipolar adım motorları ortada merkezlenmiş tapalı sarımlarla tanımlanabilir. Bütün sarımları $+V_m$ (motor voltajı) ile besleyecek genel bir yapı vardır. Sürücü devre, her sarıma enerji vermek için sarımları topraklamaktadır.



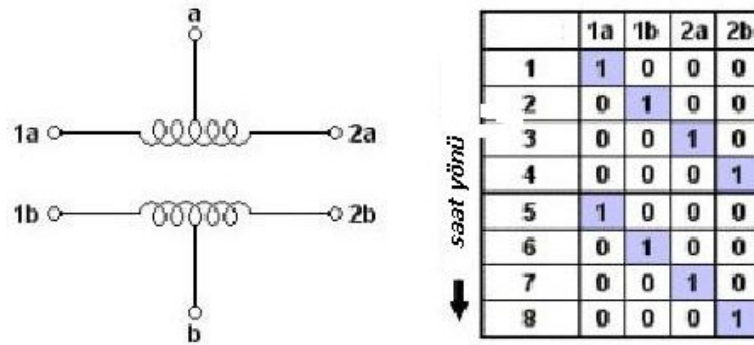
Şekil 2.34 Ünipolar adım motorunun yapısı

Sabit mıknatıslı ve hibrid (5-6 kablolu) ünipolar adım motorları, genelde Şekil 2.34 'deki gibi bağlanır. Kullanımda, sarımların merkez uçları kaynağın pozitif ucuna bağlanırken, sarımın diğer iki ucu, üretilen manyetik alanı ters yöne çevirmek için topraklanır.



Şekil 2.35 Ünipolar adım motorunun bobinindeki akımın ters yöne çevrilmesi

Ünipolar adım motorlarında her bobin ikiye ayrıldığından fazların sayısı bobin sayısının iki katıdır. Şekil 2.36'da iki merkez bobini olan diagram, 4 fazlı bir ünipolar step motoru simgelemektedir.



Şekil 2.36 Ünipolar sürüm sırası

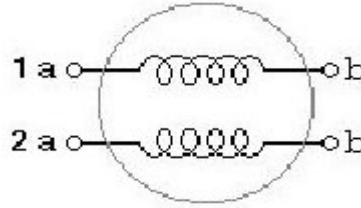
Standart sürüm sırasına ek olarak, yüksek tork ve yarım-adım sürüm sıraları da kullanılabilir. Yüksek tork sürüm sırasında, her motor adımı için 2 adet sarım aktiftir.

Bu iki sarımlı kombinasyon standart sürümün 1.4 katı kadar kazanç getirirken 2 katı kadar da akım çekmektedir. Yarım adım sürümü ise 2 sürümün birleşmesinden meydana gelir. İlk olarak bir sarım aktive edilir sonra diğeri, tekrar ilki vs. Bu durum motor şaftının her dönme hareketi için step sayısını 2 katına çıkarırken, step açısını yarıya indirir.

2.3.2.2 Bipolar Adım Motorları

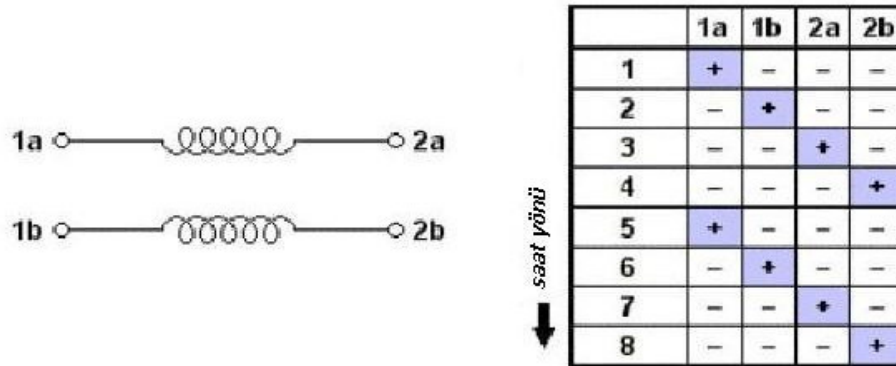
Bipolar kademeli ve sabit mıknatıslı adım motorları, tamamen ünipolar motorlardaki mekanizmalar kullanılarak yapılmıştır tek fark ortadaki 2 sarımın daha basit yapıda ve merkez tapalar olmadan bağlanmasıdır. Motor daha basitken, sürücü devre her motor kutbu çiftinin

polaritesini terse çevirebilmek için daha komplekstir.



Şekil 2.37 Bipolar adım motorunun yapısı

Ünipolar adım motorlarının tersine, bipolar üniteler daha kompleks sürücü devrelere ihtiyaç duyarlar. Bipolar motorlar mükemmel büyüklük / tork oranlarıyla bilinirler, zira büyüklüklerine göre ünipolar motorlardan daha fazla tork sağlarlar. Bipolar motorlar sağlıklı bir adımlamanın gerçekleşebilmesi için iki yönde de sürülebilmesi gereken ayrı bobinlerle (polarite çalışma esnasında terse çevrilmelidir) dizayn edilmiştir. Bu da sürüm için zorlaştırıcı bir etkidir. Bipolar motorlar, ünipolar motorların kullandığı çiftli sürüm şablonunu kullanır, bobinlere uygulanan voltajın polaritesine sadece “0” ve “1” sinyalleri karşılık gelmektedir, basit “aç-kapa” sinyalleri geçersizdir.



Şekil 2.38 Bipolar sürüm sırası

2.3.3 Adım Motorlarına Ait önemli Parametreler

Çözünürlük: Çözünürlük; bir devirdeki adım sayısı veya dönen motorlar için adım açısı (derece), lineer motorlar için ise adım uzunluğu (mm) olarak tanımlanır. Bu sabit değer, üretim sırasında tesbit edilen bir büyüklüktür. Bir adım motorunun adım büyüklüğü, çeşitli

kontrol düzenleri ile değiştirilebilir. Yarım adım çalışmada adım büyüklüğü normal değerinin (özünürlüğünün) yarısına indirilir.

Doğruluk: Bir adım motorunun adım konumu, tasarım ve üretim sırasında biraraya getirilen birçok parçanın boyutları ile belirlenir. Bu parçaların boyutlarındaki toleranslar ve dahili sürtünmeler adımların nominal denge konumlarında da toleranslara neden olurlar. Bu durum adım motorunun doğruluğu olarak isimlendirilir ve belli bir konumdaki maksimum açısal hatanın nominal tek adım değerinin yüzdesi olarak ifade edilmiş halidir. Klasik adım motorlarında bu hata $\% \pm 1$ ile $\% \pm 5$ arasında değişmektedir. Sürtünme momenti veya kuvveti nedeniyle oluşan konum hataları bu doğrulukla ilgisi olmayan, daha az veya çok olabilen rastgele hatalardır. Ancak her iki tip hata toplanarak sistemin toplam hatası elde edilir.

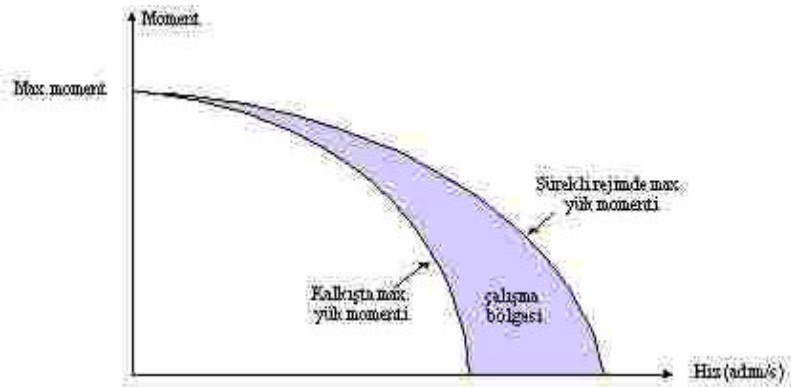
Tutma Momenti: Tutma momenti, bir adım motorunun en temel moment karakteristiğidir. Tutma momenti eğrisi, motorun ürettiği tutma momentinin rotor konumuna bağlı olarak değişimini veren eğridir. Eğrinin merkezi motorun bir fazının uyarılmış olduğu durumda rotorun kararlı adım konumuna karşılık düşer. Bu eğri, rotor adım pozisyonundan uzaklaştırılırsa, motorda endüklenecek olan ve rotoru sıfır momentli adım pozisyonuna geri getirmeye çalışan momentin (tutma momenti) yönünü ve miktarını verir. Tutma momenti eğrisi, motorun tüm rotor konumları ve statik uyarma koşullarındaki ani momentini tam olarak tanımlamak için gereklidir. Diğer moment karakterisitikleri (statik ve dinamik) bu eğri baz alınarak elde edilebilir.

Tek Adım Tepkisi: Motor fazlarından biri uyarılmış durumdaysa motor kararlı bir adım konumundadır. Bu fazın uyarımı kesilip yeni bir faz uyarılırsa motor bir adım atacaktır. Rotor konumunun zamana göre bu değişimi tek adım tepkisi olarak tanımlanır. Tek adım tepkisi, motorun adım hareketinin hızını, tepkinin aşım ve salınım miktarını, adım açısının hassaslığını veren önemli bir karakteristiktir. Adım motorlarından maksimum performans elde edebilmek için tek adım tepkisindeki aşım ve salınımların azaltılması ve yerleşme zamanının kısaltılması gerekmektedir. Bu nedenle tek adım tepkisinin iyileştirilmesi adım motorlarının kontrolünde çok büyük öneme sahiptir.

Sürekli Rejimde Maksimum Yük Momenti Eğrisi: Sürekli rejimde maksimum yük momenti / hız eğrisi herhangi bir sabit dönüş hızında, rotor hareketinin giriş darbe dizisiyle olan senkronizasyonunu bozmadan ve rotorun durmasına neden olmadan sürekli halde motor miline uygulanabilecek maksimum yük momentini verir. Bu moment aynı zamanda, sözkonusu hızda motorda meydana gelecek maksimum moment anlamına da gelmektedir.

Klasik motorlarda bu eğriye karşılık gelebilecek bir karakteristik yoktur. Maksimum yük momenti eğrisi çalışma noktalarını göstermediği gibi bir transfer fonksiyonu eğrisi de değildir. Sadece, çalışma bölgesini sınırlar. Bu eğrinin sınırladığı bölge içinde herhangi bir noktada motor giriş darbe dizilerini kaybetmeden ve durma tehlikesi olmadan ilgili hız ve yük momenti ile çalışır. Sınırların dışına çıktığında bu durum değişebilir.

Kalkışta Maksimum Yük Momenti Eğrisi: Özellikle açık döngülü sistemlerde duran bir sistemi istenen pozisyona getirebilmek için motora uygulanan uyarım darbelerinin motor tarafından hiç kaçırılmadan takip edilmesini sağlamak çok önemlidir. Fakat, uygulanan uyarım sinyallerin sıklığı, motorun miline bağlı yükü sıfır hızından itibaren kaldırıp hızlandırmasına izin vermeyebilir. Bu yüzden adım motorları için, kalkışta maksimum yük momenti eğrileri tanımlanır. Şekil 2.39'da sürekli rejimde maksimum yük momenti ve kalkışta maksimum yük momenti eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2.39 Sürekli rejimde ve kalkışta maksimum yük momenti/hız eğrileri

2.3.4 Adım Motoru Sürme

Adım motoru sürücü devresinin iki önemli görevi vardır:

- Faz sargılarındaki akı ve akım yönünü değiştirmek.
- Sargılardan geçen akım miktarının yükselme ve düşme zamanlarını mümkün olduğunca düşük tutacak şekilde akımı kontrol ederek yüksek hızda performans sağlamak.

Adım motorunun adım atması için, akı yönünün her bir fazda bağımsız olarak yön değişmesine gereksinim vardır. Bu yön değişimi, ünipolar veya bipolar sürücü kullanılmak sureti ile akım yönünün değiştirilmesi sayesinde yapılır.

Ünipoar Sürme: Ünipoar sürme prensibi, ortada merkezlenmiş tapalı sarım veya her faz için iki ayrı sarım temeli üzerine kurulmuştur. Akı yönü, akımın sarımın bir yarısından diğer

yarısına kaydırılması sureti ile değiştirilmektedir. Bu yöntem faz başına sadece iki anahtarlama gerektirmektedir. Öte yandan, ünipolar sürme, mevcut sargının ancak yarısının kullanılmasına olanak vermektedir. O yüzden buradaki güç kaybı, aynı çıkış gücüne sahip bipolar sürmedeki güç kaybının iki katı olacaktır.

Bipolar Sürme: Bipolar sürme prensibi, sarımın üzerinden geçen akım yönünün, sarım üzerindeki gerilim kutuplarının kaydırılması suretiyle yön değiştirmesi üzerine kurulmuştur. Kutupları değiştirmek için dört adet anahtar, “H” harfi meydana getirecek şekilde kullanılmaktadır. Bu yüzden bipolar sürücüler “H-Köprüleri” olarak anılırlar.

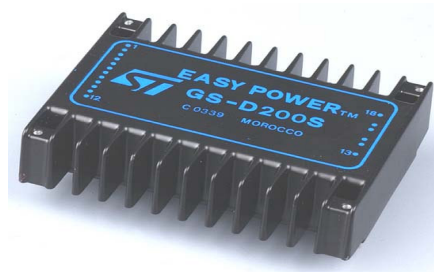
2.4 Elektronik Sistem

Elektronik sistem, bilgisayar ile kaynak robotunun paralel port üzerinden haberleşmesini sağlayan; üzerinde kontrol kartı, adım motor sürücü kartları, transformatörler ve güç kaynağını bulunduran kontrol ünitesi ve robot üzerinde bulunan kaynak torcu tetik devresi ve sınır anahtarlarından oluşmaktadır. Komutların girildiği Visual Basic ile yazılmış bilgisayar programı da bu sisteme dahil edilebilir.

2.4.1 Adım Motoru Sürücü Kartlar

Adım motorlarını bilgisayar yardımıyla kontrol etmenizi sağlayacak devrelere sürücü kart adı verilir. Kaynak robotunun X ve Y eksenlerinin hareketini sağlayan iki adet adım motorunu kontrol eden iki adet sürücü kartı bulunmaktadır. Bu kartlar GS-D200S bipolar adım motoru sürücü modülerini kullanmaktadır.

GS-D200S adım motoru sürücü modülleri, iki fazlı, bipolar ve sabit mıknatıslı adım motorlarına bir mikroişlemci tarafınan doğrudan kumanda edebilecek şekilde üretilmişlerdir. GS-D200S ile motor sürebilmek için, yalnızca saat darbesi, yön ve manuel etkin sinyallerini göndermek yeterlidir. GS-D200S ayrıca kısa devre ihtimaline karşı da tam korumalıdır.

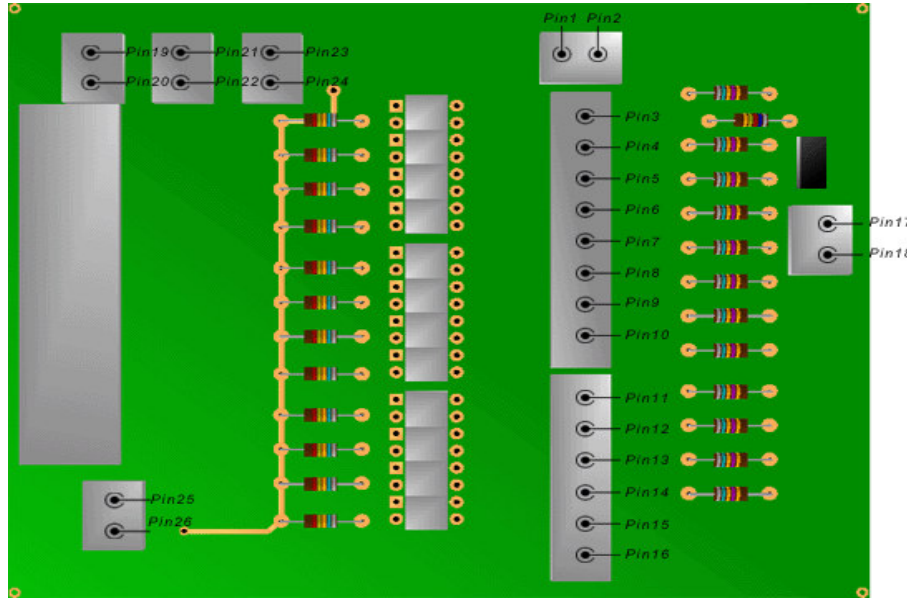


Şekil 2.40 GS-D200S Adım motoru sürücü modülü

Sürücü kartların kontrol ünitesindeki yerleşimi şekil 3.4’de verilmiştir.

2.4.2 Kontrol Kartı

Kontrol kartı, GS-D200S adım motoru sürücü modullerinin bulunduğu adım motoru sürücü kartlarının bilgisayar ile haberleşmesini sağlayan bir arabirimdir. Bilgisayar, kartezyen robotu pozisyonlamak için kullanılan adım motorlarına gönderilecek olan hareket, yön ve manuel etkin sinyallerini belirli algoritmalara göre hesaplayarak bilgisayarın paralel portu üzerinden kontrol kartına gönderir. Kontrol kartı bu sinyalleri, bilgisayarın paralel portundan yüksek akım çekilmesini engellemek amacı ile opto-izolatörler kullanarak izole eder ve adım motoru sürücü devrelerine gerekli sinyalleri ulaştırır.



Şekil 2.41 Kontrol kartı şeması



Şekil 2.42 Çalışmada kullanılan adım motor sürücü kontrol kartı

2.4.2.1 Kaynak Torcu Tetik Devresi

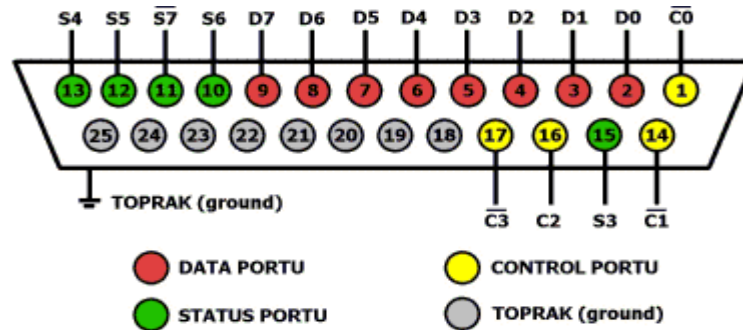
Kaynak torcunun bilgisayar ile kumanda edilebilmesini sağlamak amacı ile, kontrol kartı üzerinden gelen ilgili sinyal ile kumanda edilebilen elektronik tetik devresi kullanılmıştır. Bu uygulama, manel düğmeli tetik devresi çıkarılarak yerine yüksek gerilim ve akıma dayanıklı röle kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Ek 1, kaynak torcu tetik devresi şemasını göstermektedir.

2.4.2.2 Bilgisayar İle Haberleşme

Step motor sürücülerin bilgisayar ile haberleşmeleri kontrol kartı üzerinden paralel port ile sağlanmaktadır.

Paralel port, 8 bit veri aktarabilen, 25 pinden oluşur. Veri aktarımı "Data Portu" (2-9 numaralı pinler) üzerinden gerçekleştirilir. Data portu üzerindeki bu 8 pinin değeri özel bir durum olmadığı sürece "0"dır. Bu pinlerden aruz edilenler "1" durumuna getirilerek istenilen veri elde edilebilir. Paralel port üzerinde "Data Portu"na ilave olarak "Status" ve "Control" portları da bulunmaktadır. Data, Status ve Control Portlarının dışındaki 18-25 numaralı pinler ise toprak pinleridir.



Şekil 2.43 Paralel portun yapısı

Data portuna göndereceğimiz değerler, port üzerine ikilik sistemdeki bir sayı gibi yerleşirler. Data portuna veri gönderilmediği zaman değeri "00000000"dir.

Kartezyen Koordinatlı Kaynak Robotu uygulamasında kullanılan programlama dili Microsoft Visual Basic'tir. Visual Basic programlama dilinde, paralel porta MS Windows 9x/Me/Nt/2000/XP işletim sistemleri altında erişebilmek için inpout32.dll isimli dosya kullanılır bu dosyada içinde paralel port ile haberleşmemize olanak sağlayan "Out" ve "Inp" komutları bulunmaktadır.

2.4.3 Kontrol Sinyalleri

Adım motoru sürücü kartlarının, adım motorlarını istenilen açı ve yönde sürebilmesi ve gerektiği hallerde manuel etkin kılabilmesi için belirli kontrol sinyallerine ihtiyacımız vardır.

Bu sinyaller:

Saat Darbesi : Adım motoru sürücüsü, bu girişe uygulanan her bir sinyal darbesinde adım motorunu bir adım (bu projede kullanılan motorların adımları 2° 'dir) döndürmektedir.

Yön : Adım motoru sürücüsü, her bir saat darbesinde, motoru bu girişe uygulanan sinyal yönünde döndürmektedir.

Manuel Etkin : Bu girişe sinyal uygulanması, motorun kullanılmadığı anlarda trafolardan akım çekilmemesini, motoru serbest bırakmayı ve manuel olarak pozisyonlanmasını etkin hale getirmeyi sağlar.

Bu sinyaller, gerektiği anlarda kullanılmak üzere, bilgisayar yazılımı tarafından belirli algoritmalara göre hesaplandıktan sonra kullanılmaktadır.

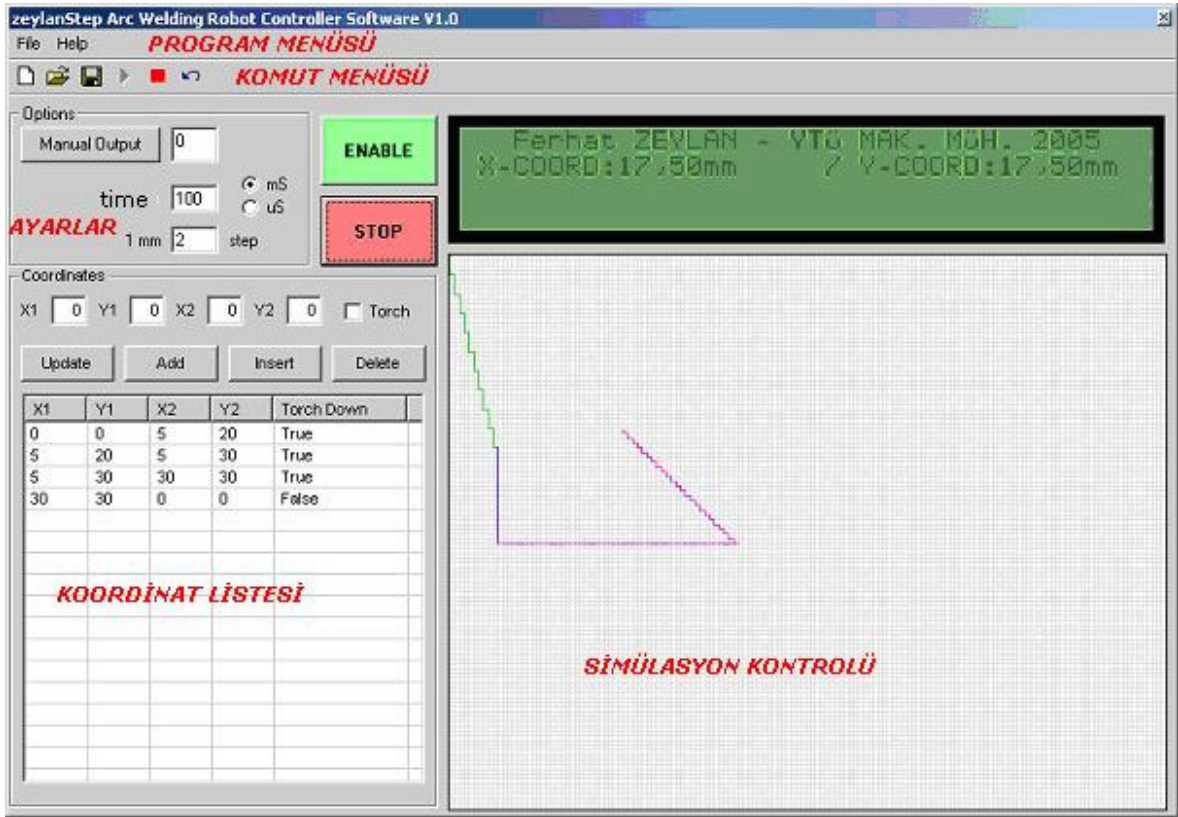
2.4.4 Sistem Sınırlarının Kontrolü

Sistem sınırlarının kontrolü ve eksenlerin sıfır noktasına getirilmesi gibi işlemlerin yapılabilmesi için robotun sınırlarının tanımlanabilmesi gerekmektedir. Bunun için sınır anahtarları kullanılmaktadır. Kartezyen robotun hareketli eksenleri, hareket sırasında sınır anahtarlarının kontaklarını kapatacak şekilde temas ettiğinde, kontrol kartı üzerindeki bağlantı noktaları kısa devre olur. Bilgisayar programı bu sayede, uçları kısa devre edilmiş sınır anahtarının bulunduğu doğrultudaki eksen hareketini durdurur.

2.4.5 Bilgisayar Programı

Bu projede kullanılan bilgisayar programı (ZeylanStep) kartezyen koordinatlı kaynak robotuna özel olarak Visual Basic ile yazılmıştır. Adım motorları, kontrol kartının adım motoru sürücü devrelerine belirli sinyalleri uygulaması ile, uygun zamanlarda uygun açılarda döndürülerek kaynak torcunu referans koordinatlara taşımaktadır. Kontrol kartı ise bu sinyalleri bilgisayarın parallel portu üzerinden almaktadır. Bilgisayar programı, kontrol kartına gönderilen sinyallerin, koordinat / adım seviyesinde üretilmesini ve haberleşmesini sağlamaktadır.

Ek 2'de bilgisayar programının blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.44 Bilgisayar programı ekran görüntüsü

Şekil 2.44'deki bilgisayar programını ekran görüntüsünden de anlaşılabilirliği gibi program birkaç ana kısımdan oluşmaktadır.

Program Menüsü

Program menüsü, içinde New (yeni dosya açma), Open (var olan bir dosyayı açma) ve Save (dosya kaydetme) özelliklerini bulunduran bir Coordinates File (Koordinat Dosyası) sekmesine sahiptir. Bu sekme içerisinde istenen komut seçilip koordinat dosyalarıyla işlemler yapılabilir. Koordinat dosyalarının uzantısı "crd" şeklindedir.

Komut Menüsü

Bu menüde, simge sırasına göre yazılacak olursa, program menüsündeki New, Open ve Save komutlarına ek olarak Start Welding (Kaynağa Başla), Stop Welding (Kaynağı Durdur) ve Reset Position (Pozisyonu Sıfırla) şeklinde komutlar bulunmaktadır.

Kaynağa Başla komutu, geçerli bir koordinat dizisi mevcut ise kaynağı başlatmakta; Kaynağı Durdur komutu ise kaynak işlemini durdurmaktadır. Pozisyon Sıfırlama komutu robotun sınır anahtarları ile belirlenen sıfır noktalarına gelmesini sağlamaktadır.

Ayarlar

Manual Output (Manuel Çıkış) düğmesi, robot bilgisayar paralel portu üzerinden çalıştığından paralel portun ilgili pinlerinden veri gelip gelmediğini kontrol amacıyla kullanılan yani ilgili alana yazılan veriyi paralel porta ileten bir düğmedir.

Time (Zaman) alanı, adım motorlarının bir adımlık yolu alması için geçen sürenin ayarlanabildiği alandır.

mm/step (adım) oranı yani motorun bir adımının kaç mm'ye denk geldiğinin ayarı ise robotun değişik motor tipleri ile çalışabilmesi için düşünülmüş bir ayardır. Bu projede kullanılan kasnak ve bağlantı elemanlarına göre "1 mm = 2 adım" şeklinde sabitlemiştir.

Koordinat Listesi

Koordinat listesi, kaynak işleminin gerçekleştirilebilmesi için ihtiyaç duyulan koordinatların kaydedildiği bölümdür. Bu bölümde sırasıyla, var olan bir veriyi değiştiren Update (Güncelle), yeni bir veri ekleyen Add (Ekle), yeni bir veriyi öncelik sırasına göre ekleyen Insert (Araya Ekle) ve verileri silebilen Delete (Sil) komutları yer almaktadır.

Koordinatlar bölümündeki veri alanlarının temsil ettiği büyüklükler (mm cinsinden) :

1. Veri (X1) : Bu veri, adım motoru hareketinin başlangıç noktasının yatay koordinatını (x);

2. Veri (Y1) : Bu veri, adım motorunun hareketinin başlangıç noktasının düşey koordinatını (y) ;

3. Veri (X2) : Bu veri, adım motorunun hareketinin bitiş noktasının yatay koordinatını (x);

4. Veri (Y2) : Bu veri, adım motorunun hareketinin bitiş noktasının düşey koordinatını (y) göstermektedir.

5. Veri (Torç Aktif) : Bu veri, (X1,Y1) – (X2,Y2) nokta çiftleri ile belirlenen lineer hareket süresince kaynak işleminin yapılıp yapılmayacağını belirler.

Simülasyon Kontrolü

Robot hareketini görebildiğimiz bu alan, robotun kullanılmadığı veya yazılım ile donanımın aynı ortamda bulunmadığı durumlarda, çevrimdışı (cihaza bağlanmadan) olarak oluşturulan eksen hareketlerinin simülasyonu ve kaynak sırasında bilgisayar ekranıyla robotun hareketinin senkronizasyonunun takibini mümkün kılmak amaçlarıyla programa dahil edilmiştir.

3. ROBOTUN KAYNAK ÖZELLİKLERİ ve KAYNAK UYGULAMASI

Kartezyen koordinatlı kaynak robotuyla yapılan uygulamaları ve sonuçlarını incelemeden önce buraya kadar oluşturulan robotun teknik özelliklerini vermek gerekirse:

3.1 Kartezyen Koordinatlı Kaynak Robotunun Teknik Özellikleri

3.1.1. Genel Özellikler

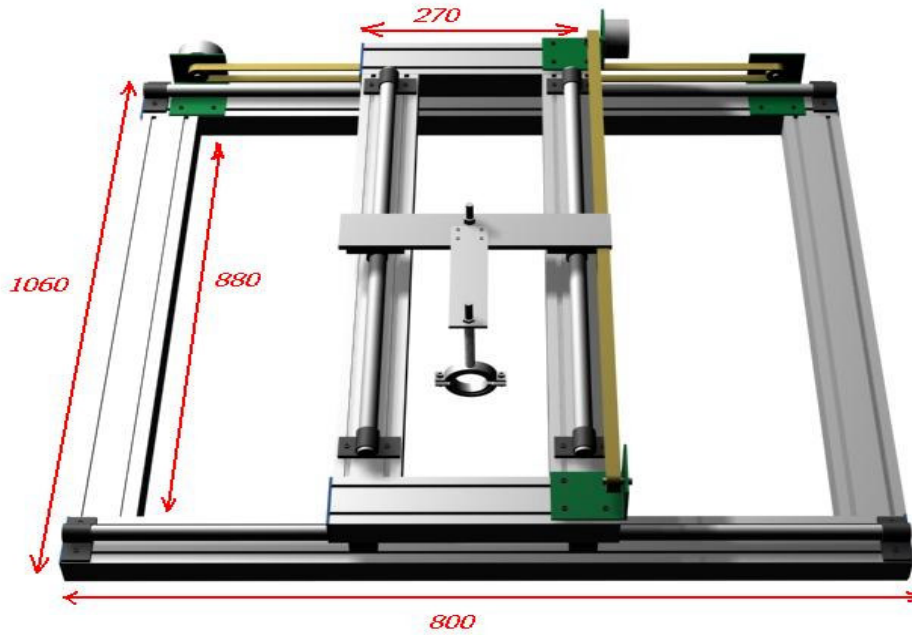
Robotun Ölçüleri

Kaynak robotunun X eksenini de oluşturan alt tablasının ölçüleri 1060 x 800 mm'dir.

Üst tabla ölçüleri ise 1060 x 270 mm'dir.

X ve Y eksenlerinde hareket alanı: $800 \times 800 = 640000 \text{ mm}^2 = 0.64 \text{ m}^2$

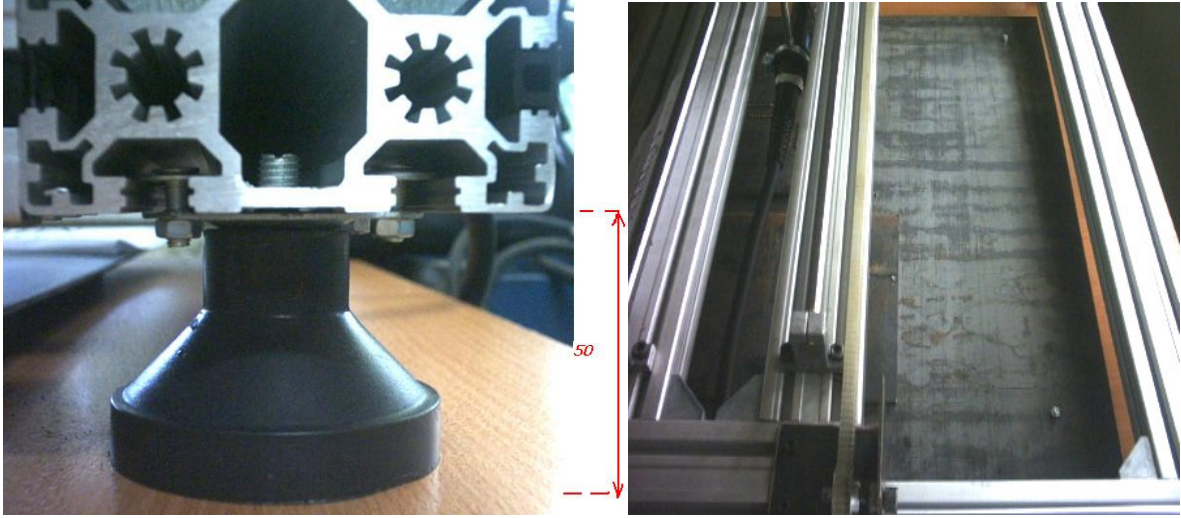
Kaynak torcunun tarayabildiği alan: $(800-135) \times (800-250) = 365750 \text{ mm}^2 = 0.365 \text{ m}^2$



Şekil 3.1 Kartezyen koordinatlı kaynak robotu ölçüleri

Kaynak robotunun elemanlarını olası sıçramalardan korumak ve kaynak işlemi uygulanacak parçaların özelliklerine göre kaynak torcu ve parçalar üzerindeki işlemleri daha kolay yapmak adına, robot ayarlanabilir ayaklarla yerden 50 mm kadar yükseltilmiştir. Sertleştirilmiş millerin, bağlı oldukları alüminyum profillerden yükseklikleri ise 35 mm'dir.

Ayrıca yerden yükseltileen robotun hareket alanına, üzerinde kaynak yapmak için 3 mm kalınlığında 60 x 80 mm boyutlarında sac (St 37) yerleştirilmiştir.



şekil 3.2 Yüksekliği ayarlanabilir ayak

şekil 3.3 üzerinde kaynak yapılan sac levha

Robotun Kaynak Yapabildiği Malzemeler

Kartezyen koordinatlı kaynak robotu bağlandığı kaynak makinesinin (Miller Matic 35 S) kaynak özelliklerini taşıdığından bu projede elik alaşımları, paslanmaz elik ve alüminyum malzemelerinin kaynağını yapabilecek özelliktedir.

Kaynak makinesi olan 150 A'lık Miller Matic 35 S'de kullanılan gaza göre MIG ve MAG kaynakları arasında seçim yapılabilirken alüminyum malzemelerin kaynağında saf Argon kullanılmalı yani MIG kaynağı tercih edilmelidir.

Tekrarlanabilirlik

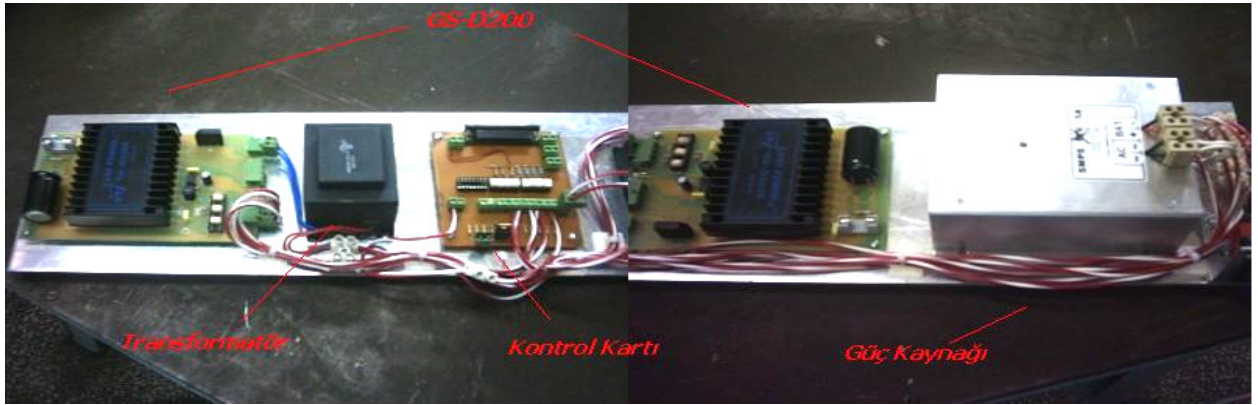
Daha önce de belirtildiği gibi genel amaçlı robotlarda tekrarlanabilirlik değerinin 0,1 mm ila 0,2 mm olması yeterli olabilmektedir. Ark kaynağı uygulaması göz önüne alındığında tekrarlanabilirlik değerinin kaynakta kullanılacak tel çapının yarısından küçük olması istenmektedir bu durumda projede kullanılan 0.8 mm SG 2 gazaltı kaynak teli çapının yarısı olan 0.4 mm değeri kriter olarak alınmalıdır.

Kaynak robotunun tekrarlanabilirlik değerini ölçebilmek amaçıyla robotu (kaynak torcunu) sınır anahtarları ile belirlenmiş sınırlarından aynı koordinatlara 10 kere gönderilmiş ve milimetrik kağıt üzerinde işaretlemelemler yapılmıştır. Karşılaşılan değerlerin ortalaması alınarak bu değerin olması gereken sınırlar dahilinde yani 0.4 mm'den küçük olduğu görülmüştür.

Sistem Bileşenleri

Kaynak robotu sistemi:

- 1) Robot kontrolü için yazılan bilgisayar programı ve bilgisayar
- 2) Kontrol ünitesi : 2 adet step motor sürücü (GS-D200), kontrol kartı, 2 adet transformatör, sınır anahtarları ve güç kaynağı (5 V)



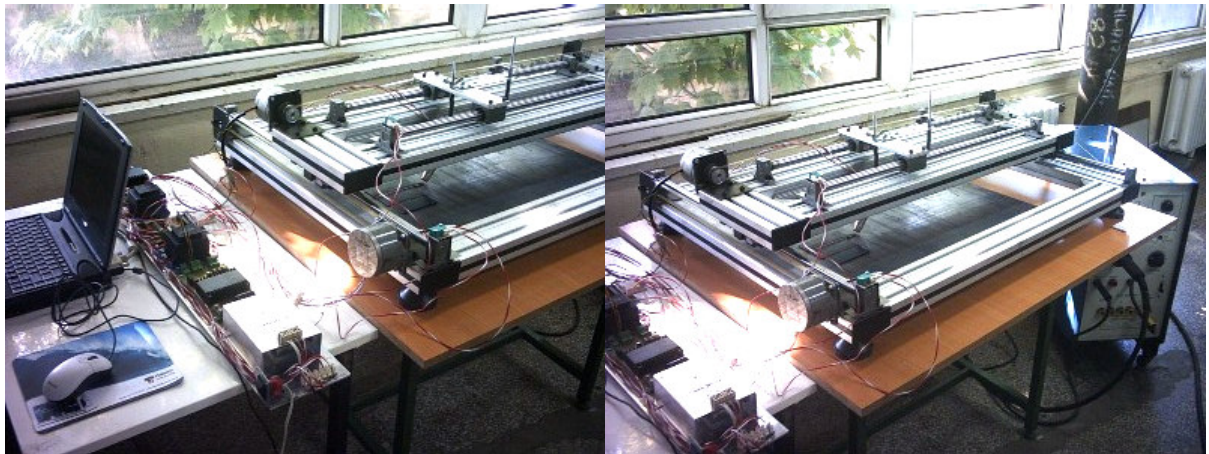
Şekil 3.4 Kontrol ünitesi

3) Step motorlar (2 adet)

4) Mekanik sistem

5) Kaynak sistemi : kaynak makinesi, gaz-gaz karışımı, kaynak torcu, kaynak teli

şeklinde beş ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler ve içerikleri önceki kısımlarda detaylı şekilde açıklanmıştır.



Şekil 3.5 Kartezyen koordinatlı kaynak robotu

3.1.2. Kaynak Robotu Sensörleri

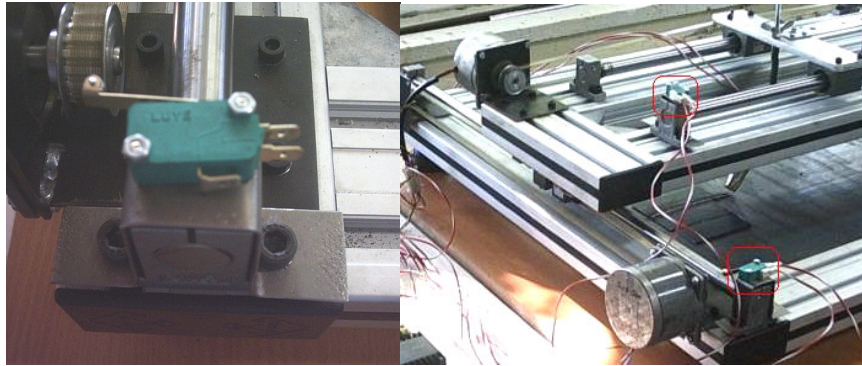
3.1.2.1 Kaynak Robotuna Uygulanan Sensörler

Sınır Anahtarları

Kaynak robotunun sınırlarını tanıyabilmesi ve tanımlanan sınırlara gelebilmesi için kullanılan sensörler sınır anahtarları olarak adlandırılmaktadır.

Sınır anahtarları, kontrol kartı üzerindeki ilgili klemenslere, kontaklarından biri status portunun ilgili pinine, diğeri ise toprak bağlantısına olacak şekilde bağlanırlar. Robotun hareketi esnasında, herhangi bir eksende robotun hareketli kısımları sınır anahtarlarının kontaklarını kapatacak olursa kontrol kartındaki ilgili kısım kısa devre olarak hareketi durdurur.

Sınır anahtarlarının kullanılmasının amacı yukarıda da belirtildiği üzere, kartezyen robotun sınır aşımı istemini engellemek ve sistem eksenlerinin bilgisayar programı sayesinde sınırlarına konumuna getirilmesini sağlamaktır. Sınır anahtarları sayesinde robot, kaynak işlemini tamamladıktan sonra kendini başlangıç konumuna getirebilme özelliğini de kazanmıştır.



Şekil 3.6 Sınır anahtarı ve robot üzerinde kullanımı

3.1.2.2 Kaynak Robotuna Uygulanabilecek Sensörler

Bu kısımda, günümüz kaynak robotlarında kullanılan fakat robotun şu anki donanımında mevcut olmayıp yeni çalışmalarda eklenmesi düşünülen sensörler ele alınmıştır.

Endüktif Sensörler

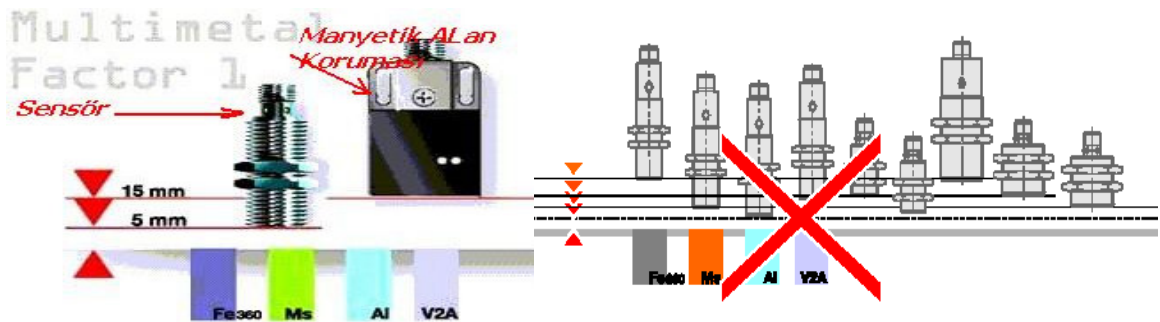
Bu tip sensörler üretim prosesleri esnasında kontrol, düzenleme, pozisyon alma ve otomasyon için kullanılmaktadır. Kaynak robotlarında çok kullanılan sensörlerin başında gelen endüktif

sensörler, büyük oranda kaynak makine ve robotlarının pozisyon bilgilerinin alınmasında kullanılırlar. Bu çalışmada kartezyen koordinatlı kaynak robotu, endüktif sensör yardımıyla kaynak metalini algılayarak kaynağa başlanacak konuma kendini otomatik olarak getirebilecek ve işleme başlayıp sonlandırabilecektir.

Kaynak robotlarında kullanıma yönelik tasarlanmış endüktif sensörler, manyetik alandan etkilenmeyen elektronik yapılarının yanı sıra kaynak kıvılcımına dayanıklı teflon kaplı gövdeye sahiptir. Bu sensörlerin algılama yüzeyleri de teflonla kaplı olup kaynak maşalarına yaklaşım anahtarı olarak dahi monte edilebilirler. Başka bir deyişle endüktif sensörler kaynak ortamında kullanım için her türlü donanıma sahiptirler. Bu sensörlerin metale gömülebilir tipleri ya da çıkık kafa denilen metale gömülemez tipleri mevcuttur.

Bazı endüktif sensörlerde “multimetal factor” (çoklu metal faktörü) denilen bir özellik sayesinde her metali aynı uzaklıktan algılama özelliği mevcuttur. Bu özelliğe sahip “Balluff” marka bir kaynak sensör modelinin genel özellikleri verilmiştir:

- Kaynak makineleri ve robotların pozisyon bilgisinin alınmasında kullanılabilir
- “Multimetal Factor 1” özelliği sayesinde her metali aynı mesafede algılayabilme (düzeltme faktörü $1 \times S_n$)
- Kaynak maşası veya elektrodla yakın yerleştirilebilir
- Kaynak kıvılcımlarına dayanıklı teflon kaplı gövde yapısı
- Kısa devre korumalı
- M12 standart bağlantı ucu
- LED fonksiyonlu gösterge
- 100 kA/m ‘ye kadar Kaynak akımının yarattığı manyetik alandan etkilenmez (bu değer yaklaşık olarak 40 mm bir mesafede 25 kA’ya karşılık gelir).
- Boyutlar: M12 × 1, M18 × 1, M30 × 1,5 ve Kompakt tipler
- Metale gömülebilir (düz kafa) ya da gömülemez (çıkık kafa) tipler



Şekil 3.7 Kaynak robotları için “Çoklu Metal Faktörü” özelliği olan endüktif sensör

3.1.3. Kaynak Hızları

3.1.3.1. Kaynak Hızının Ark Kaynağına Etkileri ve Optimum Kaynak Hızları

Kaynaklı birleştirmelerde birleştirmenin istenen mekanik özellikleri yerine getirebilmesi için kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) ana malzemeye uyum sağlaması gerekmektedir.

Ark kaynaklarında, yöntemin karakterine bağlı olarak kaynak metalindeki özellikler de değişmektedir. Kaynak hızı, kaynak metalinin mikroyapısına ve nüfuziyetine önemli ölçüde etki etmektedir. Kaynak hızının artması veya azalması durumlarında kaynak edilen malzemeye değişik oranlarda ısı girdisi uygulanmaktadır. Isı girdisinin bir sonucu olarak mikroyapıda ve nüfuziyette bir takım değişiklikler olmaktadır.

Ergiyik havuz sıcaklığı düşmeye başladığı zaman ergiyik atomları enerjilerini kaybederler. Sıcaklık, metal tabaka tarafından kaynak merkezinden uzaklaştırıldığı yani ısı, katı-sıvı ara yüzeyinden aktığı için bu bölgedeki atomlar mevcut sıvıya doğru akma meylinde dirler. Ara yüzeydeki katı atomlar boş bağlara sahip olan atomlara kendilerini tuttururlar ve böylece katılaşma sıvı havuza doğru ilerler. Kaynak işlemi sonunda katılaşmış durumdaki kaynak metalinin mikroyapısı incelendiğinde iki değişik bölge ile karşılaşılır. ITAB'ye yakın olan kaynak metali kolonsal bir tane yapısı, kaynak merkez çizgisine yakın olan kaynak metali ise ısı dağılımının karmaşıklığından dolayı eşksenel taneler içerir.

Kaynak metalinin yapısı, malzemenin kimyasal bileşimi ve soğuma esnasındaki dönüşümün bir sonucudur.

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi yada birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak bilinmektedir. Kaynak işlemi esnasında hız yavaş olduğu zaman birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da sonuçta kaynak banyosunun büyümesine sebep olur. Kaynak metalinin büyümesi ve ısı girdisinin artmasıyla akışkan hale gelen sıvı metal kaynak ağzı içinde arkın önüne doğru akar, düzgün ark oluşumunu etkiler. Hızın artması birim boya verilen kaynak ısısının azalmasına ve dolayısıyla da ana metalin ergiyen miktarının azalmasına neden olur, bu da kaynak dikişi ıslatmasını olumsuz yönde etkiler.

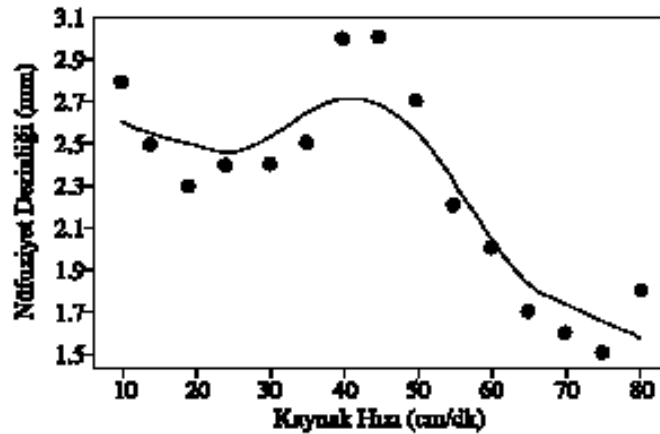
Kaynak dikişinin formu üzerine tesir eden faktörlerden olan kaynak hızı yükseldikçe veya azaldıkça, nüfuziyette ve mikroyapıda bir takım değişiklikler olmaktadır. Bu değişiklikler kaynaklı parçanın kullanım anındaki mekanik davranışlarını etkilemektedir. Aynı zamanda kaynak hızı ekonomik yönden de (tel, koruyucu gaz, zaman, vs.) önem arz etmektedir.

3.1.3.2. Gazaltı Ark Kaynağında Optimum Kaynak Hızları

Kaynak işleminde sürekli bir kaynak hızından söz edebilmek için kaynak torcunu sabit hızlarda sürebilen bir robot ya da ray üzerinde hareket edebilen otomatik hız arabaları gibi sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler sayesinde kaynak işlemi değişik sabit hızlarda uygulanıp optimum hızlar gözlemlenebilmektedir.

Gazaltı ark kaynağında otomatik arabalar ile yapılan deneylerde malzemenin cinsine, kalınlığına ve tel çapına bağlı olarak 40-60 cm/dak arasındaki hızların mikroyapı ve nüfuziyetin en tutarlı olduğu kaynak hızları olduğu görülmüştür. Nitekim “Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikroyapıya Etkisi” [Tülbentçi, Gülenç, Durgutlu (06.07.1998)] çalışmasında, 245 A akım şiddeti (400 A’lık MIG/MAG kaynak makinesi) ve 1.2 mm çapında SG2 kaynak teli ile 10 mm kalınlığındaki Platina (CK45) malzemeye çekilen dikişlerde en ideal kaynak dikişi 40 cm/dk ve 45 cm/dk olan kaynak hızlarında elde edilmiş ve bu hızlarda nüfuziyet 3 mm olarak tespit edilmiştir. Aynı hızlarda kaynak metalinin ana metali ıslatmasıda bu değerlerden daha hızlı veya yavaş olduğunda nüfuziyet azalmaktadır. Kaynak hızı arttıkça kaynak dikişi çok ince bir hal almakta ve dikiş kenarlarında yanma oyukları meydana gelmektedir.

Gazaltı ark kaynağı tekniği ile çekilen kaynak metallerinin mikroyapısına bakıldığında, kaynak hızının düşük olduğu durumlarda iri, kolonsal tanelerin kaynak merkez çizgisine doğru yönlendiği göze çarpmaktadır. Kaynak hızının optimum değerlerden yüksek olması durumlarında tanelerin ince yapılı ve uzunlamasına kaynak merkez çizgisine yönlendikleri, en yüksek hızlarda ise yönlenmenin az olduğu ve tanelerin daha karmaşık bir hal aldığı gözlenmiştir.



Şekil 3.8 Gazaltı kaynak hızı-nüfuziyet ilişkisi [Tülbentçi, Gülenç, Durgutlu (06.07.1998)]

3.1.3.3. Kartezyen Koordinatlı Kaynak Robotu İçin Kaynak Hızı Hesabı

Kartezyen koordinatlı kaynak robotunda hareket sağlayıcılar, adım motorları ve onlara direkt bağlı kayış-kasnak sistemi olduğu için visual basic ile yazılan, robotun kaynak ve hareket hızını doğrudan kontrol eden programda adım motorlarının bir adımda katettiği yol esas alınmıştır. Kullanılan step motorlara ve kasnaklara göre :

$$1 \text{ adım (step)} = 2^\circ \quad \rightarrow \quad 1 \text{ tur} = 180 \text{ adım}$$

$$6F \text{ tipi kasnak } D_o = R = 2r = 29.11 \text{ mm}$$

$$\text{Çevre} = 2 \times \pi \times r = 91.45 \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$180 \text{ adım} \rightarrow 91.45 \text{ mm}$$

$$1 \text{ adım} = 0.508 \text{ mm} \quad 2 \text{ adım} ; \text{Ç}1 \text{ mm}$$

Eldeki bu sistemle 1 adım 1 mm yol aldırın istenirse :

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot r}{180} = 1 \text{ mm} \rightarrow r = 28,65 \quad (3.2)$$

$D_o = 57.3 \text{ mm}$ olan kasnak kullanılmalıdır ki böyle bir standart yoktur. Buna en yakın standart $D_o = 58.21 \text{ mm}$, 6 tipinde, 36 dişli (36 XL 037) kasnak şeklindedir.

Diğer kaynak parametreleri, daha önde yapılmış araştırma ve yayınların sonuçlarına göre kabul edilebilir seviyelerde sabit tutularak yapılan başarılı kaynak denemelerine göre 1 step 50 ms'de alınabiliyor o halde robot için kaynak hızı:

$$V_{\text{kaynak}} = \frac{0.508}{50} = 0.01016 \text{ mm/msn} = 10.16 \text{ mm/sn} = 61 \text{ cm/dak'dır} \quad (3.3)$$

Buna göre robot, 61 cm/dak hızında başarılı kaynak yapabiliyor denebilir.

Otomatik araba ile yapılan gazaltı kaynağı deneylerinde 40-60 cm/dak arasında hızların başarılı olduğu ve tercih edildiği örneklerle belirtilmiştir. Bu hızların ortalaması 50 cm/dak olarak alınacak olursa; kabul edilebilir yavaşlıktaki kaynak hızlarında zaten çalışabilen kartezyen koordinatlı kaynak robotuyla yapılan işlemin ortalamadan daha hızlı da olabildiği sonucu ortaya çıkmaktadır. 61 cm/dak kaynak hızı istenirse diğer kaynak parametreleriyle oynanarak daha da yükseğe çekilebilir.

3.2 Kaynak İşleminde Kullanılan Malzemeler ve Kaynak Parametreleri

3.2.1 Kaynak İşleminde Kullanılan Koruyucu Gaz

MIG/MAG kaynağında soy veya aktif gazlar ya da bunların çeşitli oranlarda karışımını içeren koruyucu gazlar kullanılır. Genel olarak soy gazlar, reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar ile aktif ve soy gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulur. Koruyucu gazlarla ilgili en önemli özellik gazın safiyetidir. Bütün gazlar için safiyet %99'un altında olmamalıdır [Müftüoğlu, 1997].

Çeliklerin gazaltı kaynağında saf Ar, Ar ve CO₂ karışımları, Ar ve O₂ karışımları ve sadece CO₂ gazı kullanılır. Kullanılan koruyucu gazlar metal damlalarını, kaynak banyosunu ve ısıdan etkilenmiş bölgeyi havanın etkisinden korur ve kaynak arkının davranışını iyileştirir. Ayrıca, arkın nüfuziyetini de etkiler [Pierre, 1987; Raoufi, 1994; Kuna; Svensson, 1994].

MIG/MAG kaynak yönteminde koruyucu gaz seçimi için göz önünde bulundurulması gereken faktörler aşağıda sıralanmıştır [Tülbentçi, 1990; Sacks, 1981; Althouse, 1992];

- Kaynak edilen metal veya alaşımın türü,
- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- Kaynak hızı,
- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- Kaynak dikişinden istenen mekanik özellikler,
- Gazın maliyeti ve bulabilme imkanları.

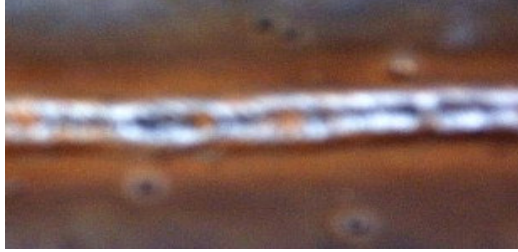
Gazlar birbirlerine bir takım durumlarda üstünlük gösterdiğinden gaz karışımları kullanmak koruyucu gazları tek başına kullanmaktan daha avantajlı olmaktadır. Örneğin Ar tek başına kullanıldığında en düşük ergime gücü, dar dikiş ve en az nüfuziyeti vermektedir.

Kaynak Uygulamasında Kullanımı:

Gaz karışımlarının avantajları göz önüne alınarak kartezyen koordinatlı kaynak robotu çalışmasında, karbonlu çeliklerin kaynağına uygun olduğu bilinen Ar-CO₂ gaz karışımı kullanılmıştır. Bu karışımda gaz oranları 80 % Ar, 19 % CO₂ şeklindedir.

Günümüze dek yapılan deney ve gözlemlerden yola çıkılarak MAG uygulamalarında gaz basıncı genellikle tel çapının yaklaşık 8-12 katı alınır. Bu genellemeye göre uygulamada

kullanılan 0.8 mm çapındaki tel ile kullanılması gereken gaz basıncı yaklaşık 7-10 lt/dak arasında ayarlanmalıdır. Robotunun kaynak işlemini gerçekleştirmesi, manuel kaynağa nazaran hızlı olduğundan basıncın 7 lt/dak şeklinde ayarlanması koruyucu gazın yeterli gelmemesi nedeniyle, kaynak esnasında sıçramaya ve kaynak dikişinde gözenek oluşumuna sebep olabilmektedir.



Şekil 3.9 Kaynak uygulamasında gözenek oluşumu ve sıçrama

Yapılan deneyler sonucunda kaynak robotu ile 10-11 lt/dak koruyucu gaz seviyesinde dikiş kalitesi açısından başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlar bir sonraki bölümde irdelenecektir.

3.2.2 Kaynak İşleminde Kullanılan Kaynak Teli

Kartezyen koordinatlı kaynak robotu ile yapılan uygulamalarda 0.8 mm çapında SG 2 gazaltı kaynak teli kullanılmıştır (makara).

SG 2 kaynak teli yüzeyi bakır kaplı gazaltı kaynak telidir. 15 kg'lık makaralara veya 250 kg'lık bidonlara sarılmış olup, özellikle yarı otomatik ve tam otomatik gazaltı kaynağı işlemleri için geliştirilmiştir. -50 ile +450°C'a kadarki çalışma şartlarına karşı dayanıklıdır. Bu tip kaynak teli ile koruyucu gaz olarak CO₂ ya da Ar ve CO₂ karışım gazları kullanılır.

Sınıflandırma

AWS A5.18 : ER 70S-6

ISO 14341 (TS 5618) : SG 2

DIN 8559 : SG 2

EN 440 : G3 Si1

Uygulama Alanları

- Otomobil, kamyon, raylı taşıt araçları kaportaları,
- Tarım ekipmanları,

- Çelik yapılar,
- Depolama tankı üretimi,
- Boru tesisatı.
- Kaynak Edilen Alaşımlar
- SG 2 gazaltı kaynak teli genel olarak çekme dayanımı 530 N/mm²'ye kadarki alaşımsız yapı çeliklerinin, ince taneli karbon-manganez çeliklerinin ve gemi levhalarının gazaltı kaynak yöntemi ile kaynatılmasında kullanılır.

Çizelge 3.1 SG 2 kaynak teli ile kaynak edilebilen malzemeler

Malzeme Tipi	Gösterimi
Yapı Çelikleri	St 33, St 37, St 44, St 52.3, St 50, St 60
İnce taneli yapı çelikler	StE 255, St 355, WStE 255, WStE 355, TStE 255, TStE 355,
Boru çelikleri	St 37.0'dan St 52.0'a, St 37.4'den St 52.4'e, St 35.8'den St45.8'e, StE 210.7'den StE 360.7'ye kadar olan kaliteler
Kazan sacları	HI, HII, 17Mn4, 19Mn5
Gemi sacları	A,B,D,E
Dökme demirler	GS-38, GS-45, GS-52

Tipik Mekanik Özellikleri

Çizelge 3.2 SG 2 kaynak telinin mekanik özellikleri

Mekanik Özellik	Sayısal Değer
Akma Dayanımı	450 N/mm ²
Çekme Dayanımı	550 N/mm ²
Çentik Darbe Dayanımı	50 J (30° C' de)
Uzama (L=5do)	30 %

Kaynak Telinin Kimyasal Bileşimi

Çizelge 3.3 SG 2 kaynak telinin kimyasal bileşimi

C	Mn	Si	P	S	Cu
0.7-0.10	1.4-1.6	0.7-1.0	<0.025	<0.025	<0.30

Akım Tipi ve Kaynak Parametreleri

Akım her durumda DC (+)'dir.

Çizelge 3.4 SG 2 kaynak teli kaynak parametreleri

Tel Çapı (mm)	0.8	1.0	1.2	1.6
Kaynak Akımı (A) (kısa ark)	60-140	80-175	120-200	-
Kaynak Akımı (A)	-	-	150-280	225-480
Kaynak Voltajı (V) (kısa ark)	18-22	18-24	18-27	-
Kaynak Voltajı (V)	-	-	25-40	28-40
Makara Ağırlığı (kg)	15	15	15	15
Bidon Ağırlığı (kg)	250	250	250	250

Kaynak Uygulamasında Kullanımı

Daha önce de belirtildiği gibi kaynak uygulamasında 0.8 mm çapında, makara halinde SG 2 gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Burada eldeki parametreler ile başarılı kaynak yapabilmek için değişik tel hızları denenmiştir. Tel hızı eksenlerin hareketinden, yani olması gerektiğinden yüksek olduğu zaman saca (kaynak malzemesine) malzeme yığılması olur kaynak banyosu büyüyerek malzemede delinmeye neden olabilir. Tam tersi durumlarda yani tel beslemesinin torç hareketine nazaran zayıf kaldığı anlarda, birim boya verilen ısı azalarak ana metalin ergiyen kısmını daraltır bu durum da nüfuziyeti kötü şekilde etkiler.



Şekil 3.10 Kaynak malzemesinde delik oluşumu

Uygulamada kullanılan Miller-Matic 35s kaynak makinesinde tel hızı 100 birimlik bir ayar düğmesi ile kontrol edilmektedir. Bahsi geçen diğer parametrelere uygun olarak bu kontrol düğmesi 17-20 birime ayarlanmıştır ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Ünitenin tel besleme hızı 15 m/dak olduğuna göre; 100 birimde 20 birimlik bir ayar yaklaşık 3 m/dak'lık bir değere karşılık gelmektedir.

3.2.3 Kaynak İşleminde Kullanılan Ana Malzeme

Uygulamalarda 130 x 45 x 3 mm ebatlarında sac (St 37) kullanılmıştır. Çelik yapım standartlarına göre “genel yapı çelikleri” kalitesinde olan St 37, çeliğin minimum çekme dayanımı (Kgf/mm^2) esas alınarak gösterilir. Buradaki 37 en az 37 Kgf/mm^2 veya 370 N/mm^2 çekme dayanımına sahip olan çeliği tanımlar. Kullanılan ana malzemenin özellikleri çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 St 37 malzeme özellikleri (Erbosan)

Standartlar	Sınıf	Kimyasal Bileşim (%)					Çekme Dayanımı	Akma Dayanımı	%Uzama boy/en
		C	Mn	P	S	N			
DIN 17100	St 37	17	-	5	5	0.9	370	235	İÜİÜ

Manganez (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S) üretim sırasında hammaddeden kaynaklanan elementler olup, çelik bünyesinde belirli oranlarda bulunur.

Kaynak uygulamasında kullanılacak malzemeler giyotinde 130 x 45 mm ölçülerinde kesildikten sonra kaynak dikişlerinin çekileceği bölge taşlanmış ve yüzey oksit, yağ benzeri yabancı maddelerden temizlenmiştir.

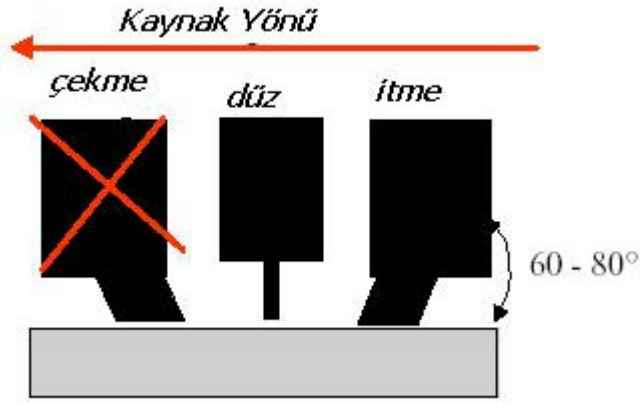
3.2.4 Kaynak Torcunun Konumu

Kaynak işlemi esnasında kaynağın kalitesine direkt etki eden faktörlerden biri de kaynak torcunun konumudur. Bu konum, genel olarak kaynak açısı ve kaynak torcunun malzemeden uzaklığı (tel çıkış uzaklığı) şeklinde incelenebilir.

Kaynak açısının doğruluğu,

- Temiz dikiş ve dumansız yüzey;
- Yüksek gaz koruması;
- Daha iyi dikiş formu, şeklinde kendini göstermektedir.

Kaynak işleminde torç açısının malzemeye dik ya da itiş yönünde olması yukarıda saydığımız avantajları beraberinde getirmektedir.



Şekil 3.11 Doğru kaynak torcu açıları

Kartezyen koordinatlı kaynak robotunun açı ve yükseklik ayarlı torç tutucusu ve eksenler doğrultusunda ileri geri hareket edebilen yapısı her üç durumda da kaynak yapabilme olanağı sunmaktadır.

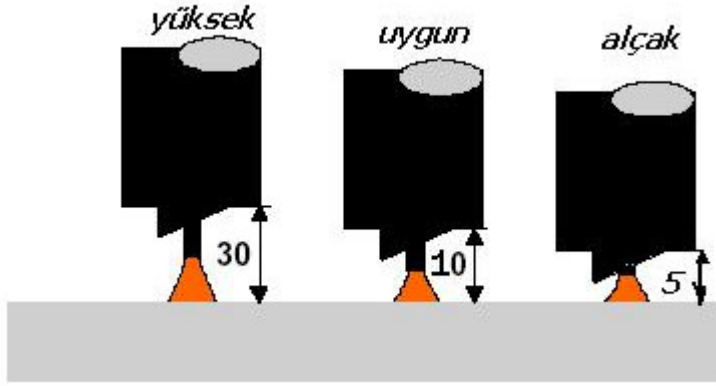
Kaynak torcunun kaynak edilecek malzemeden uzaklığı (tel çıkış uzaklığı) ise bir başka önemli kriterdir. Kaynak torcu malzemeye gereğinden uzaksa:

- Zayıf gaz koruması;
- Kararsız ark;
- Zayıf nüfuziyet;
- Kaynak profili deformasyonu şeklinde sorunlarla karşılaşılır.

Kaynak torcu malzemeye gereğinden yakınsa :

- Tel besleme problemleri;
- Aşırı torç ısınması;
- Gaz çıkışı problemleri;
- Zayıf görüş problemleri baş gösterir.

Doğru tel çıkış uzaklığı, yüksek kaynak parametrelerinde (hız, voltaj, tel besleme vb.) tel çapının 15 katı, düşük kaynak parametrelerinde 10-12 katı kadar alınır.



Şekil 3.12 Tel çıkış- malzeme uzaklıkları

Kaynak robotu uygulamasında tel çıkış uzaklığı, yaklaşık 12 mm alınmıştır.

3.3 Kaynak Uygulaması Sonuçları

Kartezyen koordinatlı kaynak robotu ile yapılan ve “Teknik NDT Gözetim Danışmanlık Hizmetleri San. ve Tic. LTD. Şti” tarafından radyografik kaynak testine tabi tutulan parçaların büyütülmüş resimleri aşağıda verilmiştir.

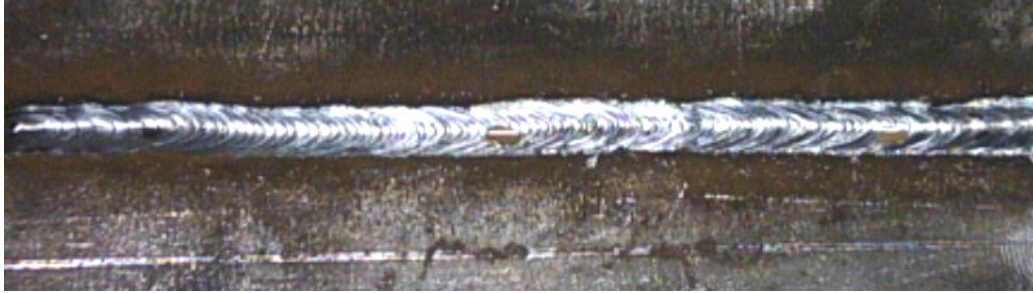
Daha önce belirtilen kaynak parametrelerine ek olarak, uygulamalar kaynak makinesi sıcaklık ayarı 4. kademedede olmak üzere yapılmıştır.



Şekil 3.13 Kaynak uygulaması (w1)



Şekil 3.14 Kaynak uygulaması (w2)



Şekil 3.15 Kaynak uygulaması (w3)

Resimlerde de görüldüğü gibi kaynak robotu ile oldukça düzgün ve temiz kaynak dikişleri elde edilmiştir. Birinci örnekte koruyucu gazın 9 lt/dak seviyelerinde olması nedeniyle kabul edilebilir miktarda sıçrama olmuştur. Sonraki uygulamalarda bu seviye 10 lt/dak'nın biraz üzerine çekilmiştir.

Teknik NDT Gözetim Danışmanlık Hizmetleri San. tarafından verilen raporda kartezyen koordinatlı kaynak robotu ile yapılmış kaynak uygulamalarında; malzeme, koruyucu gaz veya tel üzerindeki nem, yağ, boya gibi yabancı maddeler nedeniyle oluşan gözenek (Aa), veya borucuk (Ab), yanlış çapta tel seçimi veya torcun stabil tutulamaması gibi yanlışlar sonucu görülen tek curuf kalıntısı (Ba) veya sıralı curuf kalıntısı (Bb), enine çatlak (Ea), boyuna çatlak (Eb) hata tiplerine rastlanmamış kaynak işlemleri bu kriterlere göre başarılı bulunmuştur.

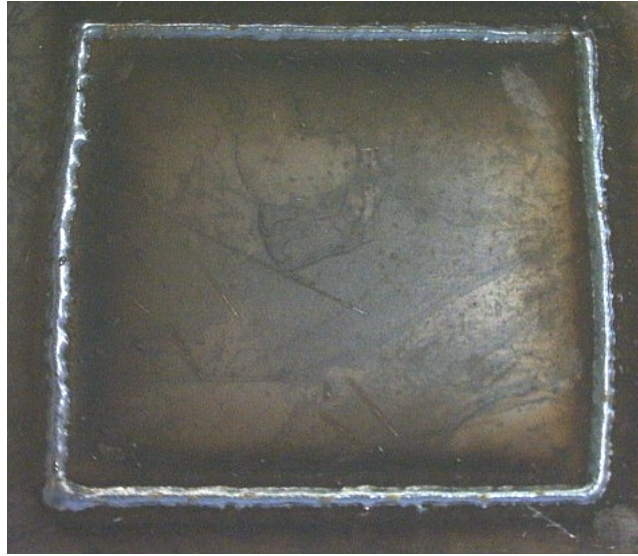
Yapılan kaynak işleminde sadece kök hatası (root defect) denilen hataya rastlanmıştır. Bu

hatanın temel nedeni eksik nüfuziyettir. Bu duruma yanlış kaynak parametreleri (düşük akım, yanlış torç açısı vb.) veya yanlış tel kullanımı sebep olabilir. Kaynak teli ve torcun açısı kaynak malzemesine uygun olduğuna göre 0.8 mm çapındaki tel ile uygulanan akım 3 mm'lik saclar için yeterli gelmemiştir denilebilir. Bu duruma bir kanıt olarak da benzer kaynak parametreleriyle 1.2 mm'lik saclarla yapılan uygulamalarda nüfuziyet probleminin olmaması gösterilebilir. Bu sorun takibeden deneylerde kaynak makinesi üzerinden akım yükseltilerek giderilmiştir.

Ayrıca kök hatasını en aza indirmek ve geçerli bir nüfuziyeti garanti edebilmek için kaynak edilecek kalın malzemeler ön ısıtma denen işleme tabi tutulabilir. Küçük parçalar fırınlama yöntemi ile ısıtılabilirken, büyük malzemeler şalümo ile asetilen/oksijen veya bütan alevine maruz bırakılabilir.

Kaynak uygulamalarının radyografik test raporu Ek 3'de, röntgenleri ise Ek 4'de verilmiştir.

Ek olarak robotun köşe dönme ve tekrarlanabilirlik, başladığı noktaya geri dönebilme hassasiyetini göstermesi açısından 5 mm kalınlığında düz bir sac levha üzerine 10 cm'lik kenarlara sahip kare şeklinde bir kaynak yaptırılmıştır. Bu kaynak şekil 3.16'da görülmektedir.



Şekil 3.16 Kare kaynak

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada tamamen bilgisayar kontrollü, sabit bir hızda hareket ederken otomatik olarak gaz ve tel besleyebilen kartezyen koordinatlı bir kaynak robotu tasarlanmış ve üretilmiştir. Bütün elektronik ve mekanik kısımları çalışma dahilinde oluşturulan robot için; kaynak yapılacak uzunluk, kaynak hızı gibi parametreler özel yazılan bilgisayar programından tanımlanabilmektedir.

Bu kartezyen koordinatlı kaynak robotu, elle veya otomatik araba ile yapılan kaynak işlemi hızlarıyla aynı ya da daha yüksek hızlarda sağlıklı kaynak yapabilmektedir. Robot, kaynak işlemi sırasında birim zamandaki hareket miktarını sabit düzeyde tuttuğu için yapılan işlem elle yapılan benzer kaynak işlemine nazaran daha az tel ve gaz harcamakta ve daha düzgün olmaktadır. Sisteme aynı parametreler girildiğinde ardışık kaynak işlemlerinde belirli bir standart yakalanmaktadır. Bu da üretim aşamasında istenen bir durumdur.

Projenin bu hali kaynak işlemini tamamen otomatik olarak gerçekleştirebilmekte veya iptal edebilmekte, çalışma alanı içerisinde her yere 0.4 mm'den daha küçük hatalarla (koordinat sapması) kendisi gidebilmekte ve sınır anahtarları ile tanımlı olan sistem sıfırlarına gidip pozisyon alabilmektedir. Bütün bu özelliklerin yanında sadece kaynağa başlanacak yerin elle ayarlanması ya da kaynağa başlanması gereken yerde bilgisayar programı vasıtasıyla komut verilmesi gerekmektedir. Bu eksikliği gidermek, robotun kendisinin parçayı bularak kaynağa başlayıp bitirebilmesi amacıyla robota, bölüm 3.1.2'de (Kaynak Robotu Sensörleri) bahsedilen metal algılayıcı sensör uygulanabilir.

KAYNAKLAR

Asai, K., Takashima, S., (1994), Manufacturing, Automation Systems and CIM Factories, Chapman&Hall.

Beatty, E.C., (1969), "How the Properties and Microstructure of AA6063 Alloy Extrusions Depend on Fabricating Practice" Aluminum Association, First Extrusion Technology Seminar, 1969.

Craig, J., (1989), Introduction to Robotics, Mechanics and Control, Addison Wesley.

Durgutlu, A., Gülenç, B., Tülbentçi, K., (1999), "Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nüfuziyete ve Mikroyapıya Etkisi", Tübitak (23): 251-259, 1999.

Madsen, O., Bro, C., (2004), "Automatic Planning and Control of Hybrid MIG/YAG-laser Welding of Ship Panels", Department of Production, Aalborg University

Şık, A., Kaluç, E., (2004), "Otomobil Saclarının MIG/MAG Kaynağında Gaz Karışımlarının Dikiş Özelliklerine Etkisi", Trakya Üniversitesi 5 (2): 179-186, 2004.

The International Federation of Robotics, (2001), World Robotics 2001, United Nations Publications.

Tülbentçi, K., (1998), MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Rem Matbaacılık, İstanbul.

Yumurtacı, S., Mert, T., (2003), "Robotik Kaynak Sistemleri ve Gelişme İstikametleri", Kaynak Teknolojisi IV. Ulusal Kongresi, 24-25 Ekim 2003, Kocaeli.

Yücel, İ., (1991), Sanayide Robot Teknolojisi-Uygulaması ve Önemi, DPT Sosyal Planlama Genel Müdürlüğü Planlama Dairesi, Ankara.

INTERNET KAYNAKLARI

<http://www.mmo.org.tr>

<http://ogrenci.hacettepe.edu.tr/~b0164043/maximus>

<http://www.robots4welding.com>

<http://www.robot-welding.com>

<http://www.robotics.e-symposium.com/articles/e2005/>

<http://www.sme.org/>

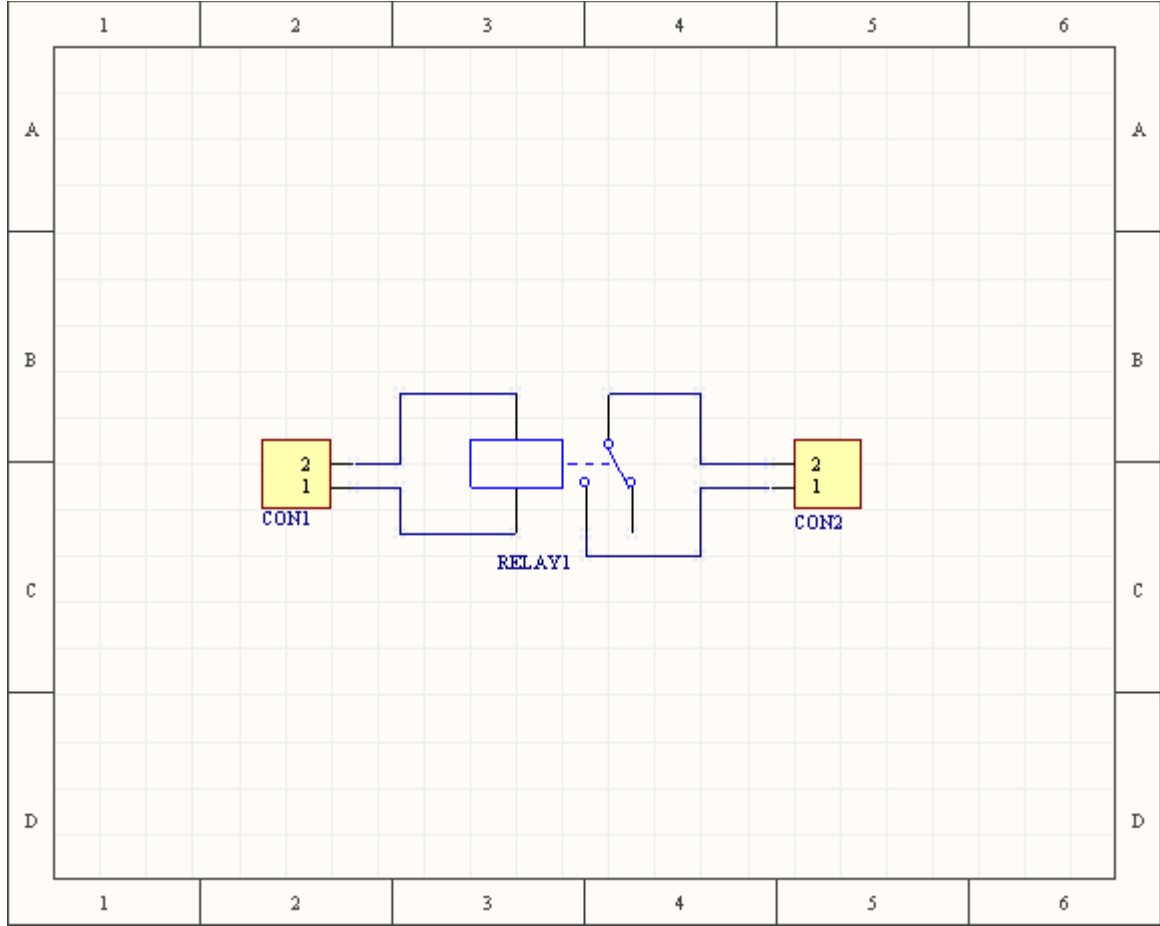
<http://www.balluff.com>

<http://www.optibelt.com>

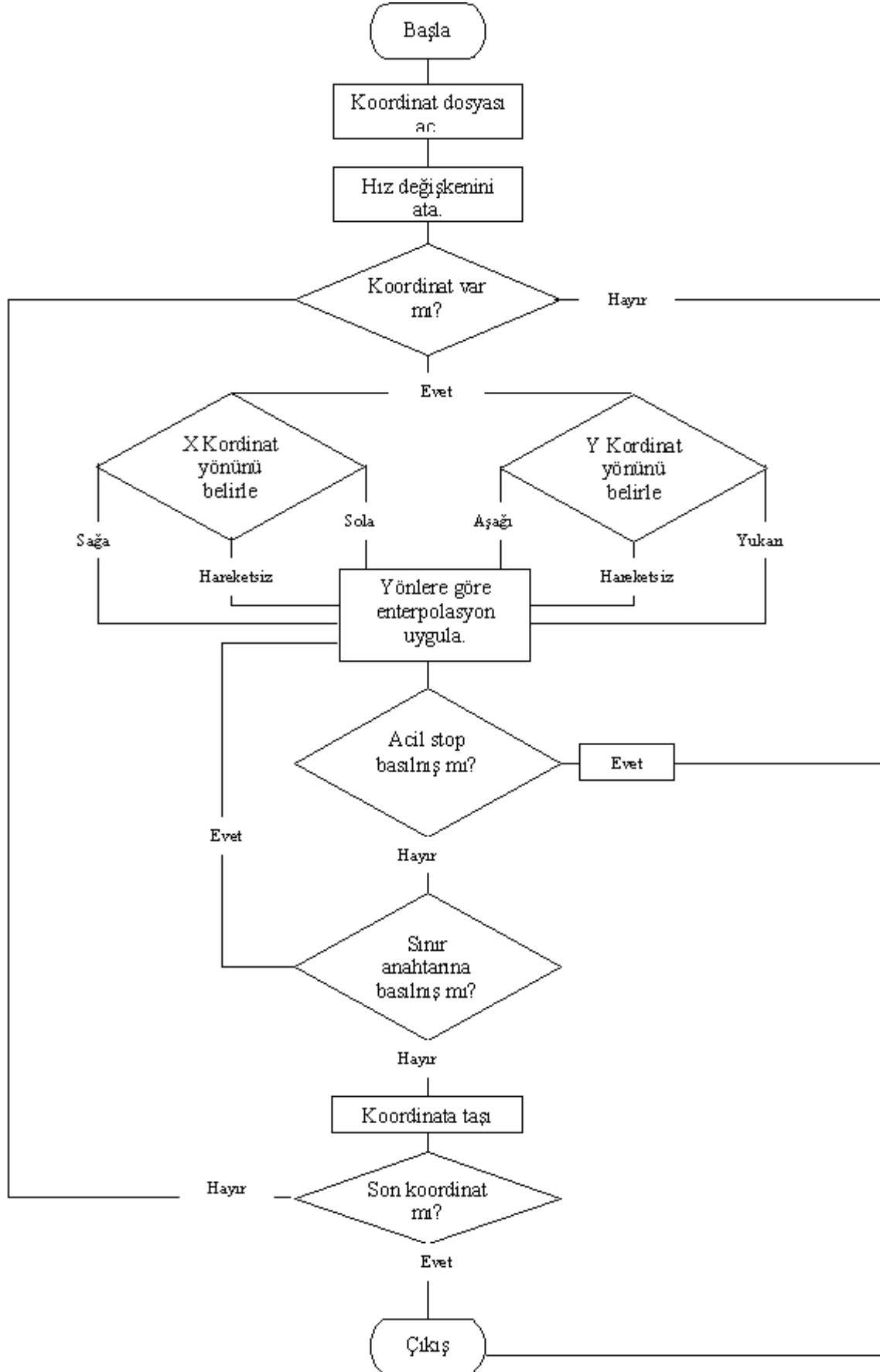
<http://www.aluminyumsanayi.com>

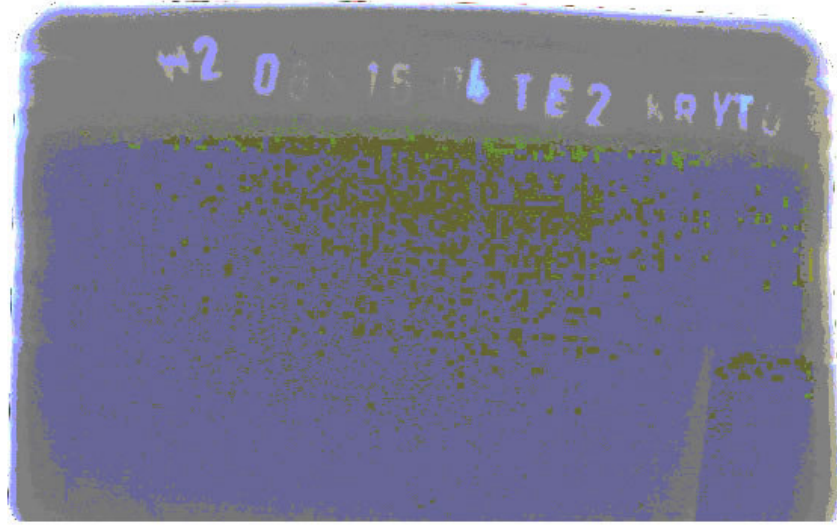
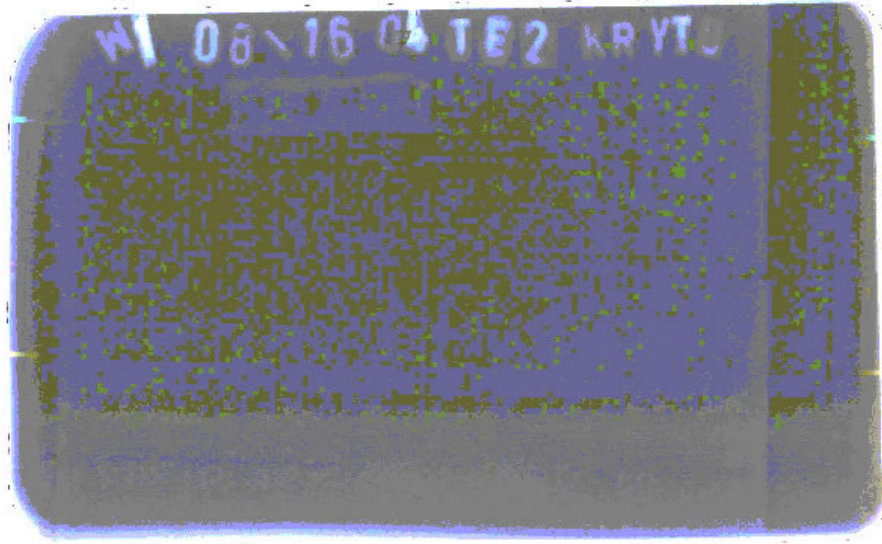
EKLER

- Ek 1 Kaynak torcu tetik devresi şeması
- Ek 2 Bilgisayar programı blok diyagramı
- Ek 3 Kaynak uygulamalarının radyografik test raporu
- Ek 4 Kaynak uygulamalarının röntgenleri
- Ek 5 Mekanik sistemin 3 boyutlu katı modeli

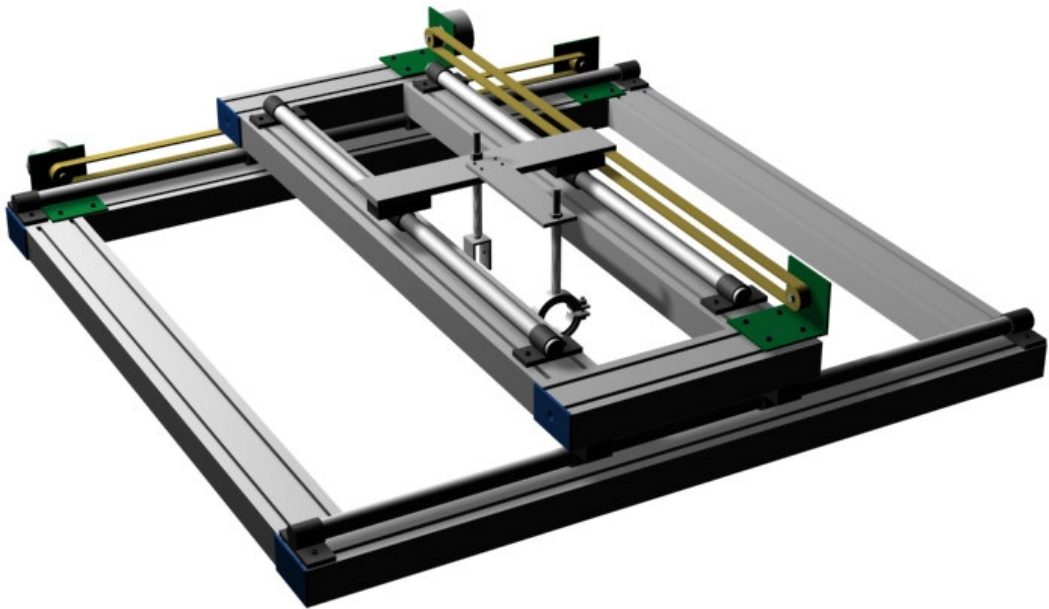
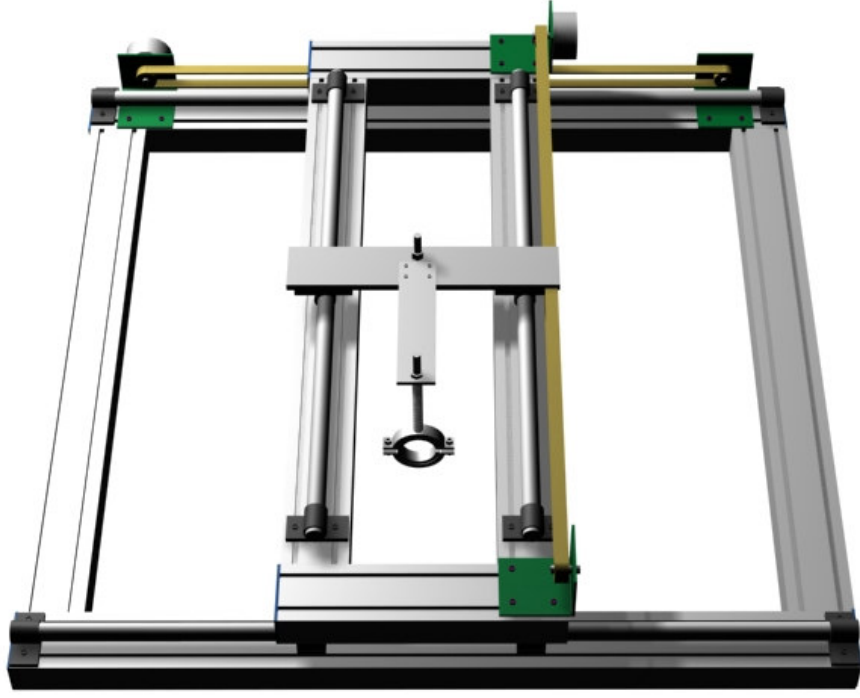
Ek 1 Kaynak torcu tetik devresi şeması

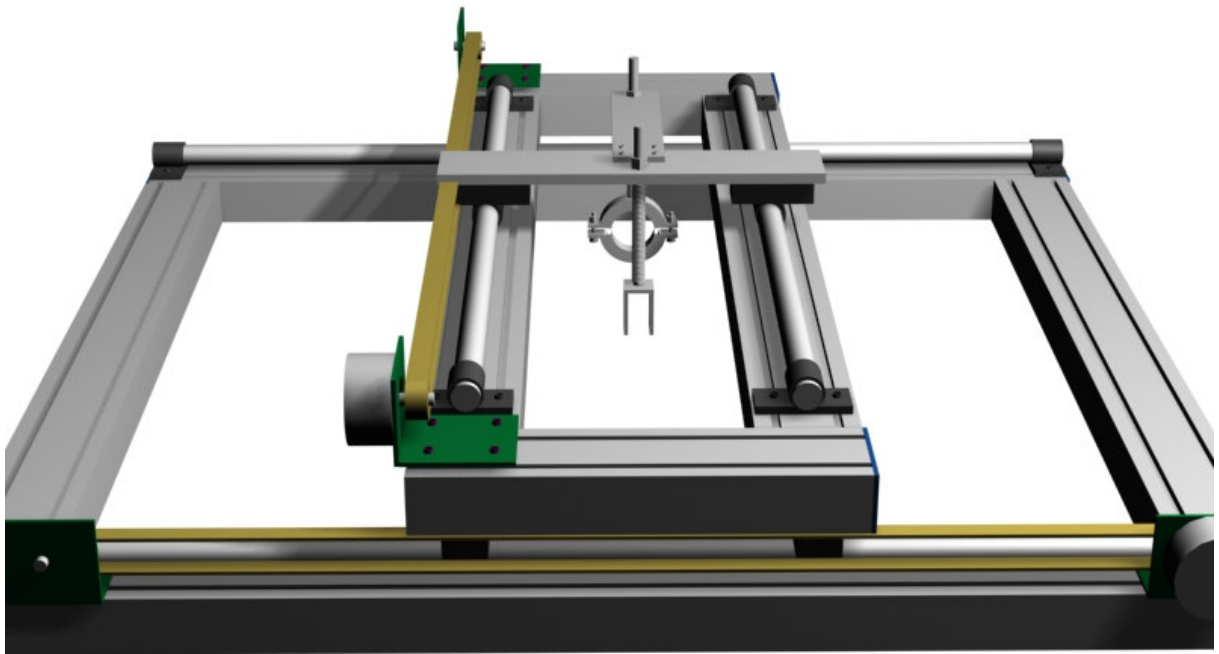
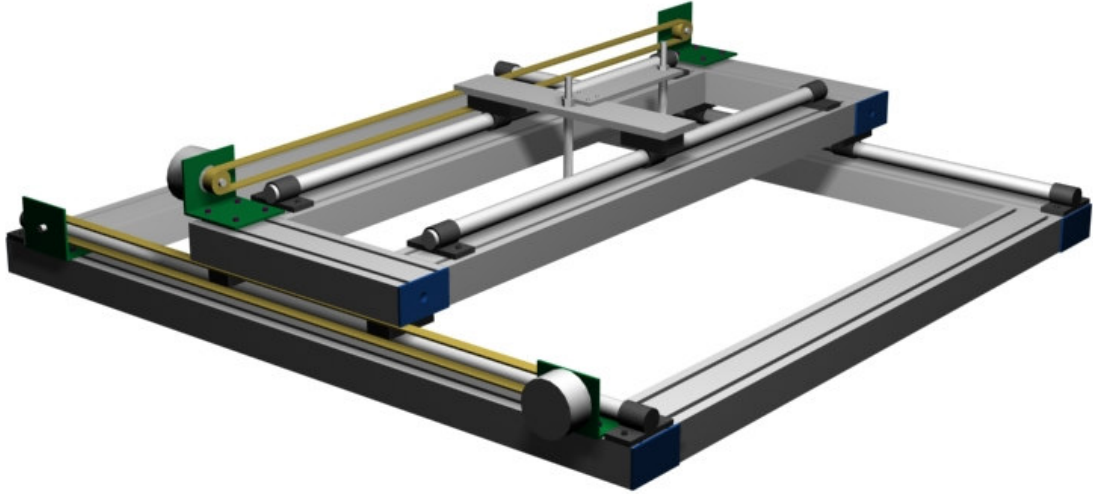
Ek 2 Bilgisayar programı blok diyagramı



Ek 4 Kaynak uygulamalarının röntgenleri



Ek 5 Mekanik sistemin 3 boyutlu katı modeli



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	23.05.1980	
Doğum yeri	Gümüşhane	
Lise	1991-1998	Vatan Anadolu Lisesi (İstanbul Fatih)
Lisans	1998-2003	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2003-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. ABD, Makine Teorisi ve Kontrol Programı