

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SCARA ROBOT TASARIMI, İMALATI VE UYGULAMASI

Abdurrahman DOĞAN

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SCARA ROBOT TASARIMI, İMALATI VE UYGULAMASI

Abdurrahman DOĞAN

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

Doç. Dr. Bülent AKTAŞ danışmanlığında, Abdurrahman DOĞAN'ın hazırladığı “Scara Robot Tasarımı, İmalatı ve Uygulaması” konulu bu çalışma 27/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Bülent AKTAŞ

Üye : Doç. Dr. Kürşad GÖV

Üye : Doç. Dr. Mustafa ÖZEN

Bu Tezin Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 19282

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	9
2.1. Robotların Tarihçesi	9
2.2. Robotların Sınıflandırılması	21
2.3. Endüstriyel Robotlar	24
2.3.1. Kartezyen manipülatör	26
2.3.2. Eklemlı manipülatör (kol robot)	27
2.3.3. Scara manipülatör	28
2.3.5. Silindirik Manipülatör	30
3.MATERYAL ve YÖNTEM	31
3.1. Scara Robot Tasarım ve İmalatı	34
3.1.1. Tutucu çene tasarımı ve imalatı	44
3.2. Robotun Montaj Sonrası Görünüşü	46
3.3. Scara Robot Kinematığı	50
3.3.1.Kinematik diagram çizimi	50
3.3.2. Konum analizi	58
3.3.2.1. Dönme matrisi	58
3.3.2.2. Öteleme vektörü	62
3.3.2.3.İleri kinematik	67
3.3.2.4.Ters kinematik	69
3.4. Elektronik Donanım	77
3.4.1. Mach3 kartı	77
3.4.2. Step motor ve sürücü	79
3.4.3. Çene ekleminde kullanılan röle ve sınır anahtarları	89
3.4.4. Elektrik panosu	93
3.5. Robot Programlaması ve Yazılımı	94
3.5.1. Mach3 kartı tanıtımı ve motor tuning ayarları	95
3.5.2. Çene programlama ve makro tanımı	100
3.5.3. C# ortamında hazırlanan robot kontrol paneli	103
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	111
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	113

KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ	117



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SCARA ROBOT TASARIMI, İMALATI VE UYGULAMASI

Abdurrahman DOĞAN

Harran Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilimdalı

Danışman: Doç.Dr.BülentAKTAŞ

Yıl: 2019, Sayfa: 117

Üretimde rekabet, finansal yapılanma açısından oldukça düzenleyici bir etkidir. Sanayileşen üretim sahalarında ise bu imkân ancak imalatla makine kullanımı ile mümkündür. Robotlar, makineleşme ve otomasyon çözümlerinin en önemli öncüleridir. Yerli üretim miktarının oldukça az sayıda yapıldığı robotların ithalatı da oldukça pahalıdır. Aynı zamanda sistem kurulumu ve bu sistemi kullanacak teknik eleman eğitimi de oldukça zordur. Yerli üretim çalışmaları içinde imalatı etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunlardan birkaçı servo motorların maliyet, redüksiyon setinin pahalılığı ve robotik yazılımın oldukça pahalı ve teknik bilgi gerektirmesidir. Bu çalışmada, dişli kutusu redüktörlerin yerine itme çekme kuvvetiyle hareketi sağlayan vidalı milli elektronik aktüatörler kullanılmıştır. Bu aktüatör ile zincir-dişli düzeneği çalıştırılmış ve 1/75.4, 1/51.5 gibi yüksek redüksiyonlu boşluksuz bir aktüasyon elde edilmiştir. Ayrıca robot kolunda kullanılan vidalı miller kolların hareketlerini kontrol ederek pozisyon kaybını engellemektedir. Robot kolların hareketlerini tahrik ettirmek için vidalı millerin kullanımı, robot tasarımında yeni bir kullanım alanı oluşturmaktadır. Mach3 kontrol kartı, CNC router makinaları yapımında kullanılmaktadır. Bu kart hareket oluşumu için G kodlarını kullanarak CNC mantığı ile eksen çıkışlarını manipüle eder. Eksen kartı çıkışları, robotun eksen redüksiyon bilgisine göre kalibre edilmiştir. Hazırlanan c# programı sayesinde robot, gönderilen hareket verilerini uygulayarak kontrol edilmiştir. Pozisyona gönderim işlemi için çevrimiçi öğretim modu da eklenmiştir. Bu sayede robot kolu 3 boyutlu kartezyen uzayda alınacak parçaya doğru yönlendirilmiş ve hareket verileri kaydedilmiştir. Neticede kullanımı kolay bir ara yüz sayesinde robotun kullanımı için teknik eleman ihtiyacı duyulmamaktadır. Elde edilen yerli üretim robotun kullanım kolaylığı ve düşük maliyeti sayesinde sanayi kullanımına elverişli kullanım imkânı sağlamaktadır.

ANAHTAR KELİMELEER: Scara robot, CNC kodlama, G kodları, çevrimiçi öğretim,

ABSTRACT

Master Thesis

DESIGN, PRODUCTION AND APPLICATION OF SCARA ROBOT

Abdurrahman DOĞAN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Doç.Dr.Bülent AKTAŞ

Year: 2019, Page: 117

Competition in production is a highly regulatory factor in terms of financial structuring. In industrialized production sites, this is only possible with the use of machinery in manufacturing. Robots are the foremost pioneers of mechanization and automation solutions. Imports of robots, where the amount of domestic production is very small, are also expensive. It is also very difficult to install the system and train the technical personnel to use this system. There are many parameters affecting production in domestic production studies. A few of these are the cost of servo motors, the cost of the reduction set, and the fact that robotic software is very expensive and requires technical knowledge. In this study, electronic actuators with screw shafts are used instead of gear boxes. With this actuation system, the gear- chain mechanism was operated and a high reduction without backlash actuator such as 1/75.4, 1/51.5 was obtained. In addition, the screw shafts used in the robot arm control the movements of the arms and prevent loss of position. The use of screw shafts to drive the movements of the robot arms creates a new field of application in robot design. Mach3 control board is used in CNC router machines. This board manipulates axis outputs with CNC logic using G codes for motion generation. The axis card outputs are calibrated according to the axis reduction information of the robot. Thanks to the prepared c # program, the robot was controlled by sending of motion datas. Online teaching mode has been added for the position transfer. In this way, the robot arm was directed towards the part to be taken in 3D cartesian space and motion data were recorded. As a result, there is no need for technical personnel to use the robot thanks to an easy-to-use interface. Thanks to the ease of use and low cost of the domestic production robot, it provides convenient usage for industrial use.

KEYWORDS: Scara robot, CNC coding, G codes, online teaching,

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışması boyunca bilgi birikimi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, değerli bilgilerini benden esirgemeyen, danışman hocam Doç. Dr. Bülent AKTAŞ'a en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışması boyunca, özellikle atölye çalışmalarına sahip olduğu tecrübeleri veengin bilgileriyle öncülük eden saygıdeğer hocam Prof. Dr. Cengiz DOĞAN'a verdiği emeklerinden dolayı en içten duygularıyla minnettarım.

Çalışmalarım boyunca değerli bilgilerinden yararlandığım kıymetli hocam Angela SODENMAN (Arizona University) ve programlama bilgisiyle bana tam destek veren İbadullah Yasin ŞİMŞEK'e teşekkür ederim.

Tüm çalışmam boyunca her zaman yanımda olup manevi desteğini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Versatran Robot	14
Şekil 2.2. Unimate Robot	15
Şekil 2.3. Rancho Arm.....	15
Şekil 2.4. Shakey Robot	16
Şekil 2.5. Stanford Kolu.....	16
Şekil 2.6. PUMA Robot	17
Şekil 2.7. Stanford Card Robot.....	17
Şekil 2.8. Wabot 2	18
Şekil 2.9. Sony oyuncak ev hayvanı Aibo robot	19
Şekil 2.10. Asimo robot	19
Şekil 2.11. Phoenix robotu Mars'a inerken. Temsili resim(NASA/JPL)	20
Şekil 2.12. Seri Robot	25
Şekil 2.13. Paralel Robot.....	25
Şekil 2.14. Kartezyen Manipulatör	27
Şekil 2.15. Eklemler Manipulatör	27
Şekil 2.16. RRRP scara (soldaki) ve PRRR scara (sağdaki) tür manipulatörler	28
Şekil 2.17. Küresel Manipulatör	29
Şekil 2.18. Silindirik Manipulatör	30
Şekil 3.1. Precise Automation PF 400 ürünü scara robot	31
Şekil 3.2. Lineer eklem gövdesi tasarımı	34
Şekil 3.3. Lineer eklem için gezer araba tasarımı	35
Şekil 3.4. Lineer eklem ve gezer araba montajı.....	36
Şekil 3.5. Omuz eklem şasesi	37
Şekil 3.6. Omuz eklem gövdesi	38
Şekil 3.7. Omuz eklemi şase ve gövde montajı	38
Şekil 3.8. Dirsek eklemi bilyalı göbek yataklaması	40
Şekil 3.9. Dirsek eklemi gövdesi motor bağlantı yuvası	41
Şekil 3.10. Dirsek eklemi redüksiyon ve gövde montajı.....	41
Şekil 3.11. Çene bağlantısı için şase sacı ve üzerine tespit edilecek bağlantı unsurları	43
Şekil 3.12. Çene bağlantısı için şase montaj düzeni şematik gösterimi.....	43
Şekil 3.13. Çene eklemlerinin lineer ray üzerine tespiti ve sınır anahtarlarının yerleşimi.....	44
Şekil 3.14. Çene eklemlerini açıp kapama moturu.....	45
Şekil 3.15. Motor çıkış dişlisinin gövdesine tespit edilen sağ ve sol diş vida.....	45
Şekil 3.16. Robotun önden görünüşü	46
Şekil 3.17. Robotun sol el bükülmüş halde üstten görünüşü	46
Şekil 3.18. Robot lineer eklem görünüşü	47
Şekil 3.19. Omuz eklemi şasesi ve gövdesinin önden görünüşü.....	48
Şekil 3.20. Omuz eklemi gövdesi üstten görünüşü	48
Şekil 3.21. Dirsek eklemi ve bilek önden görünüşü.....	48
Şekil 3.22. Eklem türlerinin kinematik diyagramda gösterimi: a)Prizmatik eklem, b) Döner eklem... 51	
Şekil 3.23. Robot manipulatörün tamamlanmış kinematik diyagramı	52
Şekil 3.24. Denavit-Hartenberg kurallarına göre z eksenlerinin bulunması	54
Şekil 3.25. Denavit-Hartenberg kurallarına göre x eksenlerinin bulunması	55
Şekil 3.26. Eksenlerin koordinasyonunda sağ el kuralı uygulanış şekli	56
Şekil 3.27. Sağ el kuralı uygulanarak y eksenlerinin bulunması.....	56
Şekil 3.28. Bulunan koordinat çerçevelerinin Denavit-Hartenberg kural 4'e göre kontrol edilişi	57
Şekil 3.29. Dönme matrisi ifadesinin 0 ve 1 numaralı koordinat çerçevelerine göre tanımı	59
Şekil 3.30. Öteleme vektörü ifadesinin 0 ve 1 numaralı koordinat çerçevelerine göre tanımı.....	62
Şekil 3.31. 0 ile 1 nolu koordinat çerçeveleri arasında öteleme vektörünün bulunması.....	63
Şekil 3.32. 1 ve 2 nolu koordinat çerçeveleri arasında öteleme vektörünün tanımlanması	64
Şekil 3.33. 2 ve 3 nolu koordinat çerçeveleri arasında öteleme vektörünün tanımlanması	65
Şekil 3.34. 3 ve 4 nolu koordinat çerçeveleri arasında öteleme vektörünün tanımlanması	65
Şekil 3.35. Transformasyon matrisin 0 ve 1 numaralı koordinat çerçevelerine göre tanımı.....	66

Şekil 3.36. Transformasyon matrisinin şematik gösterimi	68
Şekil 3.37. Mach3 hareket kontrol kartı	78
Şekil 3.38. Step motor aksamaları	79
Şekil 3.39. 8 kablolu ve 4 kablolu step motor sargı şekilleri	81
Şekil 3.40. CWD556 step motor sürücü	83
Şekil 3.41. Lineer düşey eksen hareketi vidalı milli tahrik aktüatörü	85
Şekil 3.42. Omuz eklemi hareketi vidalı milli ve zincir-dişli redüksiyonlu tahrik aktüatörü	86
Şekil 3.43. Dirsek eklemi hareketi vidalı milli ve zincir-dişli redüksiyonlu tahrik aktüatörü	86
Şekil 3.44. Step motor ve sürücünün Mach3 kartı ile bağlantısının yapılışı	88
Şekil 3.45. Çene eklemi motorunu tetiklemek için kullanılan röle	89
Şekil 3.46. Çene eklemi için kullanılan sınır anahtarı	91
Şekil 3.47. Sınır anahtarı ve rölenin mach3 ile bağlantısının yapılışı	92
Şekil 3.48. Elektrik panosu	93
Şekil 3.49. Mach3 kartı tanıtımı için plug in dosyalarını yerleştirme	95
Şekil 3.50. Mach3 programı açılışında kart seçimi	95
Şekil 3.51. Mach3 programından kartın enable yapılışı	96
Şekil 3.52. Mach3 programında motor output ayarlarının yapılması	97
Şekil 3.53. Mach3 programında input sinyal ayarlarının yapılması	97
Şekil 3.54. Mach3 programında output sinyal ayarlarının yapılması	98
Şekil 3.55. Lineer düşey eklemine bağlı olduğu z ekseninin tuning ayarı	98
Şekil 3.56. Omuz eklemine bağlı olduğu y ekseninin tuning ayarı	99
Şekil 3.57. Dirsek eklemine bağlı olduğu x ekseninin tuning ayarı	99
Şekil 3.58. Bilek eklemine bağlı olduğu a ekseninin tuning ayarı	100
Şekil 3.59. Çene açıp kapatmak için tanımlanmış olan M800 ve M900 makroları	101
Şekil 3.60. C# programında sınır anahtarı ile çene kontrolü için yazılan kod bölümü	102
Şekil 3.61. C# programında hazırlanan robot kontrol paneli	103
Şekil 3.62. İleri ve ters kinematik tab menüleri	104
Şekil 3.63. Acil stop, home pozisyon ve ayarlar butonu	105
Şekil 3.64. Ayarlar ekranı	105
Şekil 3.65. Kayarak açılan çevrim içi öğretim paneli (sağda)	106
Şekil 3.66. Öğretim paneli	107
Şekil 3.67. Elle kayıt modu ve otomatik kayıt modu için yerleştirilen butonlar	108
Şekil 3.68. Çene açıp kapama butonları	109
Şekil 3.69. Metin dosyasına yazma, yapılmış kaydı açma ve kaydı çalıştırma butonları	109
Şekil 3.70. Text dosyası formatında kayıt ekranı	110
Şekil 3.71. Text dosyası olarak yapılan kayıtları açma ekranı	110
Şekil 4.1. Kaydedilen hareket verisi örneği	111
Şekil 4.2. Eklem hareket öncesi, hareket esnası ve hareket sonrasındaki görüntüleri	111
Şekil 4.3. Lineer gövde eklemine sırasıyla sıfır, 50mm, 100mm ve 150 mm konumları	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. CWD 556 step motor sürücü akım ayarı.....	83
Çizelge 3.2. CWD 556 step motor sürücü mikro step ayarı	84



KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

DOF	Serbestlik Derecesi
${}^{n-1}_nR$	Dönme Matrisi
${}^{n-1}_nd$	Öteleme Matrisi
${}^{n-1}_nT$	Homojen Transformasyon Matrisi
$({}^{n-1}_nT)^{-1}$	Homojen Transformasyon Matrisinin Tersi
a_i	İki Eklem Arası Bağ Uzunluğu
θ_i	Döner Eklem Değişkeni
d_i	Prizmatik Eklem Değişkeni
CNC	(Computer Numerical Control) Bilgisayar Sayılımlı Yönetim
DC	(Direct Current) Doğru Akım
PID	(Proportional İntegral Derivative) Oransal İntegral Türevsel
PLC	(Programmable Logic Controller) Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
SCARA	(Selective Compliant Articulated Robot Arm) Seçici Uyumlu Eklemli Robot Kol
CAD	(Computer Aided Design) Bilgisayar Destekli Tasarım
RRP	(Revolute, Revolute, Prismatic) Döner, Döner, Kayar eklemlerin birleşimiyle oluşmuş olan manipülatör düzeni
GUI	(Graphical User İnterface) Grafiksel Kullanıcı Arayüzü

1. GİRİŞ

Finansal olarak küreselleşme yolunda ilerleyen dünyada oluşan yoğun rekabet, firmaları oldukça zor durumda bırakmaktadır. Firmalar sadece kendi ülkelerindeki rakipleri ile değil, dünyadaki rakipleri ile de sıkı rekabet etmek zorunda kalmışlardır. Bu yüzden firmalar, ürünlerin zamanında teslimatı, kalite standartlarına uygunluğu ve düşük maliyet vb. hususlarda rekabet için ileri imalat teknolojilerini kullanmaya yönelmişlerdir.

Teknolojinin hızla ilerlemesi, imalat ve sanayide birçok yenilikçi sistemleri de beraberinde getirmiştir. Yenilikçi sistemlerin en önemlisi bilgisayar kontrollü sistemlerdir. Bu sistemlerin endüstriyle entegrasyonu sayesinde de, otomasyon sistemleri, sanayide daha etkin bir şekilde kullanılır hale gelmiştir.

Manuel sistemlerle yapılan işin büyük bölümünün operatörün inisiyatifinde olması, birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bilgisayar ile kontrol ise yapılan işlemleri kayıt altına almayı kolaylaştırmakla birlikte işleyişe standart kazandırmaktadır.

Endüstriyel robotlarla imalat sanayi yeniden şekillendirilmektedir. Çoğu zaman işçiler için uygun olmayan veya tehlikeli görevler için kullanılan bu robotlar; yüksek güç gerektiren, düşük toleranslarda hatasız iş yapılması gereken uygulamalarda en ideal seçimdir ve gün geçtikçe fabrikalarda ortak bir ihtiyaç haline gelmektedir.

Robotlar sanayideki kullanımlarının yanında, gelişmiş ülkeler başta olmak üzere günlük hayatımıza da girmeye yüz tutmuştur. Teknolojisi uzun zaman önce geliştirilmiş olmasına rağmen robotların kullanım yaygınlığının nispeten geri kalmış olması dikkat çekicidir. Bunun başlıca sebepleri robot sahibi olmanın maliyeti, diğeri ise nitelikli personele ihtiyaç duyulmasıdır.

Ülkemizde işletmelerin çoğunu robot kullanmaktan alıkoyan unsurun, genellikle robotu kullanacak nitelikte personeli istihdam etmekte karşılaşılan güçlükler olduğu görülmektedir. Çünkü büyük işletmelerde yaşananlardan farklı olarak, küçük işletmelerde robotun yapacağı işlerin çeşitliliği daha çok, adetleri ise daha az olduğundan, robotun sıklıkla yeni yapılacak işe göre ayarlanması ve programlanması gerekir. Bu iş için diğer sektörlerde olduğu gibi uygulayıcı firmalardan destek almak yüksek maliyetler nedeniyle makul olmayacaktır. Oysa kalitede sürekliliği sağlamak, standardı tutturmak, işçilik maliyetlerini azaltmak ve hataları en aza indirmek için robot kullanmak pek çok işletme sahibinin ihtiyacı olan bir çözümdür.

Endüstriyel robotların kullanım alanları çok geniş yelpazededir. Ark kaynağı, malzeme taşıma ve montaj, 3 boyutlu işleme gibi uygulamaları için sıklıkla kullanılır. Gruplandırılması ise eksenler sayısına, yapı türüne, iş zarfının boyutuna, yük kapasitesine ve hızına göre yapılır.

Günümüzde geliştirilmiş çok amaçlı robotlar bulunmaktadır. Bu robotların hareket ve yörünge kontrolleri, bilgisayar kontrolü veya çeşitli yapay zekâ yöntemleriyle sağlanmaktadır. Bunlara ek olarak çevre ortamına tepki verebilen, geri beslemeli adaptif robotlar da çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alanda daha önceden yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Literatürde yer alan çalışmaların bir kısmı aşağıda özetlenmiştir.

Daş (2003) Gaziantep Üniversitesi bünyesinde gerçekleştirdiği çalışmada Practical Electronics ürünü SERPENT1 (1985 üretimi) robotun Siemens S7-200 model PLC ile adapte ederek çalıştırılmasını konu almıştır. Mevcut kontrol sisteminden dc servo motorlar ayrılmamış, PLC ile solenoid valfler aracılığıyla pnömatik eklem kontrol edilmiştir. Pascal programlama dilinde yazılan program ile simülasyon yapılmış ve deneysel sonuçlarla simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Sisteme entegreli dc motorlar yerine iki eksenli step motorlu lineer aktüatörlerle bir tasarım yapılmış ve PLC üzerinden gerçekleştirilecek hareket kontrolü için bununla bir uygulama yapılmıştır. PLC'nin robot manipülatörler için hareket kontrolcüsü olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Fırat Üniversitesinde yapılan çalışmada ise PID yöntemi, yine PLC ile denenmiştir. Siemens S7-200 micro PLC seti ile PID uygulaması yapılmıştır. DC motorlara birer takometre bağlanmış ve analog voltaj değeri Analog Dijital dönüştürücü modül yardımıyla PLC'ye aktarılıp hız değeri için geri bildirim alınmıştır. DC motor sürücü devresi olarak da deney seti içindeki darbe jeneratörü, tristörlü sürücü devresi kullanılmıştır. Tako jeneratörden gelen kontrol gerilimi dijital osiloskop yardımı ile tespit edilip kaydedilmiştir. Matlab programı ile de bu kayıtların hareket eğrisi elde edilmiştir. 2 adet DC motor üzerinde eş zamanlı olarak yapılan sürme işlemi için PLC de PID alt programı yazılmış ve sonuçlar alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Siemens S7-200 PLC ile PID kontrolünün uygun olduğu tespit edilmiştir. (Soygüder, 2004)

Şahin (2006) tarafından yapılan çalışmada Matlab-Simulink kullanılarak, sistem modellemesi yapılmış ve PID kontrol algoritması geliştirilmiştir. 4 farklı yol alma mantığının (lineer konum vektörü, sikloid yol alma fonksiyonu, (4-5-6-7) polinomu yol alma fonksiyonu) etkisi hem mafsallı değişkenleri, hem de kartezyen yörünge üzerinde gözlemlenmiştir. Modelde, aynı yörüngeyi takip ederken her birisi ayrı ayrı uygulanmış, bunun sonucunda meydana getirdikleri etki mercek altına alınmıştır. Hız, ivme, tork karakteristikleri ile birlikte, oluşan hata sonuçları da listelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; lineer yol alma fonksiyonuna göre hız, ivme ve torklar ortalama olarak diğer yol alma fonksiyonlarına göre düşük çıksada, titreşim ve anlık gerçekleşen yüksek torklar nedeniyle yol alma fonksiyonu olarak kullanılması uygun olmayacağı saptanmıştır. Diğer yol alma fonksiyonlarında ise oluşan hata grafikleri ve tork grafiklerinden sikloid yol alma fonksiyonu polinom ve harmonik yol alma fonksiyonlarına göre iyi sonuç vermiştir. Genel olarak sikloid ve polinom fonksiyonları birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir. Yörünge hızı verilmesi durumunda ise polinom yol alma fonksiyonu da kullanılabileceği önerilmektedir.

Selçuk Üniversitesinde yapılan çalışmada SCARA tipi robot, tüm montaj elemanları da dahil olmak üzere SolidWorks'te bütünüyle sıfırdan tasarlanmıştır.

Robotun belirtilen yörüngeleri izlemesi durumunda ortaya çıkacak hareket tarzı Matlab programı kullanılarak oluşturulmuş olan animasyonla gösterilmiştir. Gifmax programı aracılığıyla SolidWorks tasarımı canlandırılmış ve animasyon olarak hareket verdirilmiştir. Projenin eğitim amaçlı kullanılması hedeflenmiş ve robot tasarımının görsel animasyonlar kullanılarak desteklenmesi amaçlanmıştır (Saygılı, 2006).

Sakarya Üniversitesinde SCARA robotların yapay sinir ağları ile eğitilmesi üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada Matlab programı kullanılarak yapay sinir ağının SCARA robot üzerinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan modellemeye uygun bir kontrol algoritması seçilmesi ile bu mantığın SCARA robot üzerine uygulanabileceği belirtilmiştir. Elde edilen hata oranları listelenmiş ve kabul edilebilir sınırdan olduğu raporlanmıştır (Öztürk, 2007).

Yamaçlı ve Canbolat (2008) yaptıkları çalışmada Serpent1 türü scara robot, tüm tasarım değerleri kullanılarak simule edilmiştir. PD kontrolcü kullanılarak Matlab simulink ortamında konum izleme karakteri üzerinde bir çalışma yapılmıştır. Daha sonra PD kontrolcü sistemden çıkarılıp, adaptif öğrenme metotlu denetleyiciler sisteme eklenmiş ve yapılan işlem yenilenmiştir. Bu işlem sırasında robot eklemleri hareket ettirilmemiş, simulink ortamında elde edilen performans karakteristikleri analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda her bir eklemin konum izleme değerleri ve takip hataları incelendiğinde, adaptif öğrenme metodunun hata miktarı, PD kontrol metodunun hata miktarından daha az olduğu görülmüştür. İki denetim türü için de meydana gelen maksimum hata miktarı baz alınarak yapılan incelemede, adaptif öğrenim yöntemi sonuçlarının, link1 hatası %59 oranında, link2 ve diğer eklemlerin hatası ise %90 oranında daha düşük sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Dokuz Eylül Üniversitesinde SERPENT 1 robotu üzerinde çalışılmıştır. L298N entegresiyle DC motorlar sürülürken, program ile devreler arasındaki irtibatı sağlamak için National Instruments veri toplama kartı kullanılmıştır. Visual Studio'da yazılan arayüz programı ile ileri ve ters kinematik veri girişi sağlanmıştır. Elde edilen ile hesap edilen açı değerleri arasında ± 2 derecelik açı sapması olduğu

gözlemlenmiştir. Bunun dişli boşluklarından kaynaklandığı düşünülmüştür (Özkarakoç, 2009).

Demirci (2012) yaptığı çalışmada SCARA robotun CAD tasarımı yapılmış. Sonlu elemanlar metodu ile analizi ve titreşim analizi de aynı ortamda yapılmış. Yük kaldırma karakteristiği (düşey düzlemde) esas alınarak tasarım yapılmış. Teoride 40 kg yük taşıyabilecek bir tasarım elde edilmiş. Ama pratikte bu mümkün olmamış. Bu tasarım düşük bütçeyle yapılmış ve tamamlanmış. Eklemden kullanılan bilyalı somundaki boşluk nedeniyle de uç efektöründe istenilmeyen titreşimler elde edildiği saptanmış.

Shariatee ve ark (2014) yaptıkları çalışmada tasarlanan, FUM SCARA ismi verilen endüstriyel ve ekonomik bir SCARA robotunun mekanik tasarım süreci sunulmaktadır. FUM SCARA robotu $\sim \pm 0.01$ mm tekrarlanabilirlik, xy düzleminde maksimum 8.5 m / s doğrusal hız, 0.5 saniye alma ve yerleştirme döngü süresi ve esnek bir kontrol sistemi gibi etkileyici bir performans sunar. Bu özellikler mevcut endüstriyel robotlarla uyumludur. PID kontrolörü kullanarak robotun çalışma alanındaki kritik bir yörünge izlenir. Matlab ortamında gerçekleştirilen simulasyon ortamında elde edilen sonuçlara dayanarak, her eklem için motor ve şanzıman seçimi yapılmış ve daha sonra ağırlık ve atalet değiştirilmiştir. Robot bağlantılarının toplam ağırlığını en aza indirmek için sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Bu prosedür, simülasyon sonuçları seçilen şanzımanın gücü ve hızına ulaşana kadar tekrarlanmıştır. Geleneksel PID kontrolörü ve test yörüngesi kullanılarak robot hareketinin deneysel sonuçları simülasyonlarla karşılaştırılmıştır. Test yörüngesinin pozisyon ve hızda büyük bir doğrulukla takip edildiği gösterilmiştir. Elde edilen scara robotun endüstriyel özelliklere sahip en ekonomik SCARA robotları arasında olduğu düşünülmüştür.

Çelikdağ (2015) çalışmasında ise Serpent1 türü SCARA robot Matlab-Simulink ile kontrol edilmiş, Ziegler – Nichols yöntemi ile PID katsayılarının hesaplanması uygulanarak, PID kontrol uygulaması eksenlere uygulanmıştır. Her eksenin kendi çalışma sisteminde bu PID karakteristiği denenmiş ve çok başarılı

sonuçlar elde edilmiştir. Matlab aracılığıyla Arduino Mega kartı kullanılarak programlama yapılmıştır. Hata seviyesi oldukça düşük olmasına karşın, çoklu motoru aktive edildiğinde, robot eksenleri arasında zaman gecikmesi hatası oluşmuştur. İki motor verilen hızlarda hareket ederken, bu hız performansı değişip, 1. motor durunca, 2. motor hızlanıp kendi hareket karakteristiğine ulaşip hareketi tamamlamaktadır. Bu problem motorlar aynı anda çalıştığı anda ortaya çıkmaktadır.

Urrea ve ark (2016) yaptıkları çalışmada 6 DOF bir scara robot tasarlanmış ve üretilmiştir. Sabit şase kısımları çelikten, hareketli parçalar ise alüminyumdan yapılmıştır. Standart RRP türü bir scara robota, RRP türü bir bilek eklemi yerleştirilmiştir. İlk üç ekleme 12 V sabit mıknatıslı dc motor ve enkoder yerleştirilmiş, kapalı çevrim kontrol elde edilmiştir. 4. ve 5. eklemlere 180 derecelik rc servo motorlar yerleştirilmiş, 6. eklem olan prizmatik eklem için kayan çenelere ise yerleştirilen dc motor kuvvet sensörü ile geri bildirim alınarak çalıştırılmıştır. Kuvvet sensörü, tutma gücü kontrolünde kullanılmıştır. 3 farklı kart tasarlanarak elektronik arayüz oluşturulmuştur. Bu kartlar, sensör kartı, haberleşme kartı ve aktüatör kartı olarak kullanılmıştır. Haberleşme kartı, diğer iki kart ile bus haberleşmesi yapmakta, bilgisayar ile de rs 232 protokolü üzerinden haberleşme yapmaktadır. PIC mikro denetleyiciler kullanılarak hazırlanan kartlar assembly dili ile programlanmış ve Matlab GUI ara yüzü ile kontrol edilmiştir. Hareket için, iki nokta arasındaki kübik polinomlu eğri fonksiyonunun pürüzsüz hareket mantığı kullanılmıştır. Robotun tasarımı ve uygulanması için seçilen morfoloji, oluşturulan grafik ara yüzünden basit ve hızlı bir şekilde, programlanan görevin gerçekleştirilmesine izin vermiştir.

Necmettin Erbakan Üniversitesinde yapılan çalışmada ise SolidWorks programıyla yapılan tasarım imal edilmiş. Açık çevrimli bir kontrol sistemi uygulanmıştır. 3 eksenli olarak yapılan SCARA robot tasarımı step motorlarla tahrik edilmiştir. Açık kaynak kodlu Marlin 3 boyutlu yazıcı yazılımıyla entegre edilen sistemin gerçek değerlere göre verdiği sonuçlar kıyaslanmıştır. Örnek numune baskılarından üçgen prizmanın ölçülerinde %5.28, kare prizmanın ölçülerinde %3.28 konum hatası oluşurken baskıların köşelerinde yaklaşık 0,7 mm yarıçaplı bombeler

oluşturmuştur. Yapılan hesaplamalarla, elde edilen hareket denklemlerinin açık kaynak kodlu Marlin yazılımıyla entegrasyonu ile elde edilen sonuçlar sistemin düzgün çalıştığını göstermiştir (Öğülmüş, 2017).

Karem ve ark (2017) yaptığı çalışmada 3 DOF bir scara robot tasarlanmış ve PLC programlama ile kontrol edilmiştir. Robot eklemlerini hareket ettirmek için dc motorlar, hız kontrolü ile, inverter aracılığıyla sürülmüştür. Her bir yörünge, bu hız verilerinin zamana bağlı ayarlanması ile elde edilmiştir. PLC kodlaması FBD dili ile yapılmıştır. Matlab programında hazırlanan yörünge planı üzerinden gönderilen veriler takip edilmiş ve robot çalıştırılmıştır. Üç farklı yörünge için deneme yapılmış ve test sonuçlarına göre pozisyon takibinin hatasız olduğuna karar verilmiştir. Uygulanan SCARA robotu, kaynak takımları ve alma ve yerleştirme, kesme ve delme gibi diğer uygulamalar için sadece uç efektör değiştirerek kullanılabilir olduğu düşünülmüştür.

Özer (2018) çalışmasında, endüstriyel üretimde sıklıkla kullanılan 4 eksenli SCARA robot kolun SolidWorks programı ile üç boyutlu modellemesi yapılmış ve bu programın Simulation eklentisi ile statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Robot kol, erişim mesafesi ihtiyaca göre artırılıp azaltılabilecek şekilde modüler bir yapıda tasarlanmıştır. Sonlu Elemanlar Metoduyla, erişim mesafesinin arttırılması durumunda robot kolda ve bağlantı elemanlarında oluşan gerilim ve yer değiştirme değerleri incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre gerekli iyileştirmeler yapılmıştır.

Albayrak (2018) çalışmasında, savunma sanayinde yaygınca kullanılan 4 eksenli SCARA robot kolun SolidWorks programı ile üç boyutlu modellemesi yapılmış ve modele uygun olarak üretim gerçekleştirilmiştir. Kinematik hesaplamaları yapılan scara robot çalışır duruma getirilmiş ve robotun çalışma verileri mevcut muadilleri ile kıyaslanmıştır.

Maneetham (2018) çalışmasında robot kolunun taban bağlantısına bir eksen daha gömerek SCARA robotunun geliştirilmesini önermiştir. 3-DOF'lu önceki robot, iki prizmatik ekleme ve iki döner ekleme içeren 4-DOF kolu haline gelmiştir. Bu

sayede link uzunluklarını arttırmaya gerek duyulmadan robotun çalışma uzayı genişletilmiştir. Eski çalışma alanı 0.5698 m² iken yeni çalışma alanı 1.1281 m² olmuş alanda 97.97% oranında genişleme görülmüştür. Kontrol ünitesinin tasarımı mikro denetleyici ve RS485 ara yüzüne dayanmaktadır. Kinematik modelin karmaşıklığı analiz edilmiş, kinematik olarak ileri ve ters kinematik çözümleri elde edilmiş ve robotun geometrik modeli uygulanarak test edilmiştir. Robot koluna gömülü doğrusal kayar aktüatörün ardından birçok pozisyonun çalışma süresinin azaldığı görülmüştür.

Shevkar ve ark (2019) yaptıkları çalışmada 3 DOF PRR türü bir scara robot tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Robot, ilk olarak step motor seçimi için ağırlık ve atalet değerlerini almak üzere Inventor'da modellenmiştir. Robotun atalet hesapları bu programda yapılmıştır. Kinematik hesaplamaları matlab programında yapılan bu robot, Arduino UNO kartı kullanılarak kontrol edilmiştir. Mikro denetleyicinin işlem hızı limitli olduğu için bu hesaplamalar matlab'da yapıp sonra gönderilmiştir. Step motor sürücüleri, step motorların doğruluğunu artırmak için 1/32 mikrostap ayarlarına sabitlenmiştir. MATLAB GUI ile geliştirilen arayüz sayesinde robotu programlamak oldukça kolaylaşmıştır. İki farklı kullanım modu geliştirilmiş olan arayüz ile işlem sırası kaydedilir ve kullanıcının ihtiyacına yürütülebilir. Robotun yüksek hızlarda bile sorunsuz çalışmasını sağlamak için step motorları hızlandırmak ve yavaşlatmak için bir algoritma türetilmiştir. Robot tekrarlanabilirlik açısından test edilmiştir ve kabul edilebilir sınırlar dâhilinde 0,1 mm içinde bulunmuştur.

Bu çalışmayı yapma amacımız robot kolların kontrol mekanizmalarını kavramak ve gün geçtikçe gelişen robot sanayisinin içinde yer alabilmektir. Tasarlanacak Scara tipi robotun özgün programlama işlemleriyle geliştirilecek olan kullanıcı ara yüzü sayesinde operatör açısından öğrenimi ve kullanımı oldukça kolay olan bir tasarıma ulaşmak hedeflenmektedir. Planlanan robotun kaynaklı montaj işlemleri ve tüm üretim hattı üniversitemiz bünyesindeki makine fabrikasında tarafımızdan gerçekleştirilmiştir. Ayrıca programlanması tarafımızdan yapılmak suretiyle maliyeti çok düşük ve pazarlanabilir olan tamamı yerli, sanayi odaklı problem çözen bir ürün elde edilmesi hedeflenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Robotların Tarihçesi

21. yüzyılda artık robotlar dünyanın her yerinde benimsenmeye, tüm milletlerce hak ettiği değeri görmeye başlamıştır. Yüzyıllar boyunca edinilen tüm bilgi birikimleri günümüz teknolojisini kasıp kavuran robotik teknolojisi olarak karşımıza çıkmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalara göz gezdirilince karşımıza uzun bir bilim serüveni çıkacaktır. İnsanlık dünyaya ilk gönderildiği zamandan bu yana ihtiyaçları doğrultusunda araştıran, alet yapımı ile ilgilenen ve beden gücü ile çalışarak problem çözen bir karakter profiline sahip olmuştur. Dolayısıyla kayda değer olarak nitelendirilecek süreçler tarih öncesine kadar dayanmaktadır.

1926 yılına gelinceye dek dünyada yaygın olarak görülen bir kölelik düzeni bulunmaktaydı. Yakın tarihe kadar devam etmiş olan bu düzende insanlar üretimi artırmak, günlük işlerin zorluğundan kurtulmak için zayıf kişileri zorbalıkla boyunduruk altında çalıştırmıştı. İstenmeyen işlerin kölelere yaptırıldığı bu sistemde, köle sahipleri rahat bir yaşam sürüyordu.

Toplumsal yapıların değişmeye başlamasıyla, insanın yerine iş yapabilecek aletlere, makinelere de ihtiyaç artmaktaydı. Robot benzeri teknolojileri, kimileri çok önceleri ilk kez hayal etmişti. Bu kişilerin kendi dönemlerindeki büyük dahiler olduğu elbette aşık bir gerçektir. Örneğin antik Yunan filozoflarından Aristoteles'in *"Eğer tüm araçlar komutla veya kendi kendilerine çalışabilselerdi, işçilere veya kölelere ihtiyaç kalmazdı."* sözleri, o çağlardan günümüzü de kapsayan ihatalı bir bakış açısının, bir hayal gücünün örneğidir.

Aristoteles'ten 3 asır önce ilk vinç tasarımları hayata geçirilmiş ve ilk çarklar kullanılmaya başlanmıştır. Bahsi geçen çalışmalar, makineleşme ve araç kullanımında insan yeteneğine alternatif bir seçenek sunması açısından çok önemlidir. 20. yüzyılın başlarında Antikythera Adası yakınlarındaki batık gemi

enkazından çıkarılan ve adına Antikytera Mekanizması denilen aletin üretim tarihi M.Ö. 2. yüzyıla dayanmaktadır. Uzmanlara göre Antikythera Mekanizması yalnızca gök cisimlerinin konumunu göstermekle kalmamış, Olimpiyat Oyunları gibi çeşitli olayların yıl dönümlerini hesaplamada da kullanılmıştır. Yine M.Ö. 2. yüzyılda Ctesibus adlı eski bir Yunan bilgini, hareketli parçalardan oluşan organ ve su saatleri üretirken, İskenderiyeli Heron ise M.Ö. 1. yüzyılda su pompaları ile çalışan otomatik bir kapı tasarımına imza atmayı başarmıştır. İskenderiyeli Herona ait olan tasarımda tapınak önünde bir sunak taşı yerleştirilmiştir. Taşın üzerinde ateş yakılınca tapınak kapısı açılmakta, ateş söndüğünde ise kapı kapanmaktadır.

Ctesibos tarafından geliştirilen su saatleri ve suyla çalışan diğer donanımlar ise, mekanizmalara hareket vermekte kullanılmıştır. Ctesibos'un tasarımları kendi zamanında yapılan su saati çalışmalarına önemli ölçüde ışık tutmuştur. Ctesibos uzun çalışmaları sonrasında M.Ö. 250'de suyla çalışan bir saat mekanizması yaptı. Bu icadın önyak olduğu otomatların, birçok otorite tarafından, ilk nesil robotlar sayılabileceği düşünülmektedir. Otomatların çoğu, basit saat zembereği ile çalışan süs ve oyuncaklardır. Otomatlar, su akış debilerinin sabitlenmesi prensibiyle çalıştırılan mekanizmalardır. Bu sistemlerde kullanılan mekanizmalar günümüzde mekanik ve robotik biliminin temel mekanizmalarını da oluşturmuştur. El-Cezerî'nin bilim dünyasına 13. yüzyılda kattığı tasarımları ile bu süreç doruk noktasına ulaşmıştır.

Müslüman bilim adamı El-Cezerî'nin Artuklu sultanına takdim ettiği otomatik olarak çalışan aletin tarihteki ilk robotlarından biri olduğu söylenebilir. Suyun kaldırma gücü esas alınarak geliştirilen robot abdest alma makinesi olarak kullanılmıştır. 50 ye yakın icadı bulunan El-Cezerî, bu eserlerini Artuklu hükümdarının da ricası üzerine tek kitapta toplamıştır. Tasarımlarında görülen benzerliklerden yola çıkılarak, kendisinden sonra gelen Leonardo Da Vinci gibi bilim insanlarının, El-Cezerî'nin eserlerinden etkilendiği düşünülmektedir. Geliştirilen mekanizma ve robot teknolojilerinin günümüzdeki örneklerinden farkı, motor gücü yerine su gücünün kullanılmasıdır (AKINSOFT G. M., 2010).

Günümüz teknolojisindeki robotların bazı özelliklerine sahip olan çeşitli otomatlar 17. ve 18. yüzyılda yapılmıştır. Bu çağlarda yapılan otomatlar, basit ve oyuncak seviyesinde olan, çoğunlukla insan veya hayvan hareketlerinin benzerlerini yapabilen mekanik cihazlardır. Otomatlar genel anlamda şu karakteristiklere sahiptir:

- Yapıldıkları çağda görüntüsü ve basit yetenekleri, yapılışı ve çalışma tekniğinden daha çok ilgi görmekteydi. Tasarımının ve tercih edilmesinin önemli nedeni eğlence amacıydı.
- Tek bir görev için özelleşmiş tasarımlardı. Tasarlanan işlevi yerine getirebilmek için mekanik olarak programlanmışlardı. Farklı bir programlama denenmesi söz konusu değildi. Böyle bir iş için ancak o makinenin baştan yapılması gerekliydi.
- Algılayıcı veya detektör benzeri aygıtlar taşıyorlardı ve çevrelerine bir tepki veremiyorlardı.

20. yüzyıla kadar yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde El-Cezerî'nin eserleri dışında modern robotik anlayışına uygun kayda değer bir ilerleme göze çarpmamaktadır. Kaldı ki robot tanımını, “otonom veya önceden programlanmış görevleri yerine getirebilen elektro-mekanik cihaz” şeklinde ele aldığımızda, söz konusu teknolojinin kapsamı da bir hayli genişlemektedir.

Robot kelimesi, akıllara insan benzeri makineleri getirmektedir. Buna rağmen robotların çoğu insana benzemez. İnsansı robotlar tarih sahnesine ilk kez 1973 yılında çıkmıştır. İlk insansı (humanoid) robot Japonya'da yapılmıştır.

Robotlar doğrudan bir operatörün kontrolünde çalışabildikleri gibi bağımsız olarak bir bilgisayar programının kontrolünde de çalışabilmektedir. Yukarıda da vurgulandığı gibi, robotik 20. yüzyıla kadar genellikle teori, fikir ve öncül tasarımlardan ibaret kalmıştır.

Robot sözcüğünü ilk olarak Çek oyun yazarı Karel Capek kullanmıştır. Robot kelimesi, çek diline göre esir, işçi, köle anlamlarını taşımaktadır. Capek, 1921'de

yazdığı Rossum'un Evrensel Robotu adlı oyunda robotların insanlar gibi iş gideceklerini, fabrikalarda çalışacaklarını ve bir süre sonra dünyayı yöneteceklerini anlatmıştır. Daha sonra Capek'in oyununda kullandığı "robot" sözcüğü birçok dile girerek ve bilim kurgu film yazarlarının ortak sözlüğünde yerini almıştır (AKINSOFT G. M., 2010).

Teknolojik ilerlemeler, sanayi devrimi sonrasında büyük ivmelenme kazanmıştır. Makineleşmenin etkisi sanayide gittikçe belirginleşirken, artık 20. asır ile birlikte robotlar da iş gücüne katkı vermeye başlamıştır. 1962 yılında sıcak kalıp parçalarını döküm makinesinden almak ve dizmek için ilk defa sanayide robot kullanımı gerçekleşmiştir. Yazılım ve elektronik alanındaki gelişmelerle birlikte robotlar, birçok işlerde kullanılabilir, tekrar programlanabilir karakteristiğe ulaşmıştır. Bu sayede uzay araştırmalarında dahi kullanılabilir seviyelere gelen bir gelişim göstermiştir. Robotik alandaki gelişmeler, kronolojik sırayla şöyle sunulmuştur:

~MÖ 270: Ctesibus isimli bir eski Yunan bilgini hareketli parçalardan oluşan organ ve su saatleri üretti.

~MÖ 100: Otomatik açılan tapınak kapıları (İskenderiye).

~1136-1206: El Cezeri'ye ait çeşitli otomatik makinalar.

~1800: Jacques de Vaucanson, Pierre & Henri-Louis Jacquet-Droz, Henri Maillerdet otomatik yazı yazan ve müzik enstrümanı çalan makinalar geliştirdiler.

1801: Joseph Jacquard ilk kez delikli kart kullanarak çalıştırılan otomatik dokunma makinesi geliştirdi.

1818: Mary Shelley, Frankenstein adlı hikâyesinde yapay bir yaşam şekli kullandı.

1830: Christopher Spencer mekanik kam denetimli otomatik bir torna tezgâhı geliştirdi.

1892: Seward Babbitt sıcak metal parçaları fırından almak üzere motorlu tutucuya sahip vinç tasarladı.

1920-1921: Çekoslovak Karel Capek'in yazdığı bir tiyatro oyununda ilk kez "robot" kelimesi kullanıldı.

1927: Fritz Lang'ın yönettiği 1927 tarihli Metropolis filminde, insan biçimli bir robot ilk kez görüldü.

1936: Ünlü matematikçi Alan M. Turing, “Saptama Problemi Hakkında Bir Uygulamayla Birlikte Hesaplanabilir Sayılar” isimli makalesini yayınladı,

1940: Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nde (MIT) radar teknolojisi geliştirilmesi, cisimleri insan etmeni olmadan algılama konusunda en önemli adımlardan birisi oldu.

1940: Grey Walter ışığa yönelen ilk gezer robotları (machina speculatrix) üretti.

1941: Isaac Asimov “robot” kelimesinden “robotik” kelimesini türeterek ilk kez kullandı. Robotik, robot teknolojisiyle ilgili tüm alanları kapsayan bir tanım olarak bilim literatürüne girdi.

1942: Isaac Asimov, “Run around” isimli hikayesinde “Üç Robot Yasası”nı yazdı:

1. Bir robot bir insana zarar veremez ya da zarar görmesine seyirci kalamaz.
2. Bir robot, birinci yasayla çelişmediği sürece bir insanın emirlerine uymak zorundadır.
3. Bir robot, birinci ve ikinci kuralla çelişmediği sürece kendi varlığını korumakla mükelleftir.

3 Robot Yasası'yla bilinen dünyaca ünlü bilimkurgu yazarı Isaac Asimov, aynı zamanda robotik teriminin de mucididir.

1946: George Devol, genel amaçlı manyetik kayıt yapabilen ve tekrar çalıştırılabilen bir cihaz geliştirdi ve çeşitli makinelerde kullandı.

1946: J. Presper Eckert ve John Mauchly, Pennsylvania Üniversitesi'nde ilk elektronik bilgisayar olarak bilinen ENIAC isimli bilgisayarı geliştirdiler. Whirlwind adlı başka bir bilgisayar, MIT'de ilk olarak bir bilimsel problemi çözdü.

1948: MIT'den Norbert Wiener elektronik, mekanik ve biyolojik sistemlerin denetim ve iletişimini inceleyerek “sibernetik” başlıklı bir kitap yayınladı.

1950: Alan Turing, “Hesaplama Mekanizması ve Zeka” isimli ikinci makalesini yayınladı. Bu makale, makineler ve zekayla ilgili birçok tartışmalı konuya cevap niteliğindeydi.

1951: Raymond Goertz, ABD Atom Enerji Komisyonu için uzaktan işletilen bir kol tasarladı.

1954: George Devol, programlanabilir genel amaçlı robotu tasarladı ve patent başvurusu yaptı.

1956: G. Devol ve Joseph F. Engelberger, “Uimation Inc.” adlı dünyanın ilk robot firmasını kurdular.

1958: Satış amaçlı ilk ticari robot üretildi.

1959: MIT’de servo mekanizma laboratuvarında robot kullanılarak bilgisayar destekli üretim amaçlı bir gösteri yapıldı.

1960: Harry Johnson ve Veljko Milenkovic’in tasarladığı Şekil 2.1.’de görülen Versatran isimli robot pazarlanmaya başlandı. Unimation robotlarının adı Unimate Robot sistemleri olarak değiştirildi.



Şekil 2.1. Versatran Robot

1962: General Motors ilk kez bir endüstriyel robotu Unimate’i üretim hattında kullanmaya başladı. Şekil 2.2.’de görülen robot, sıcak parçaları kalıp döküm makinesinden alarak istiflemek amacıyla kullanıldı.



Şekil 2.2. Unimate Robot

1963: Bilgisayar denetimli, altı eklemlilik ilk yapay kol olan Rancho arm geliştirildi. Şekil 2.3'te görülen Rancho 6 eksenliydi ve bilgisayar ile kontrol edildi.



Şekil 2.3. Rancho Arm

1964: Dünyanın önde gelen bazı üniversite ve araştırma merkezlerinde (MIT, Stanford Araştırma Enstitüsü, Stanford Üniversitesi, Edinburgh Üniversitesi) ilk kez Yapay Zekâ araştırmaları başladı ve laboratuvarlar açıldı.

1965: DENDRAL isimli ilk uzman sistem yazılımı geliştirildi.

1967: Japonya, ilk kez robot ithal ederek robot teknolojisini kullanmaya başladı.

1968: Stanford Araştırma Enstitüsü'nce Shakey isimli (Şekil 2.4.'te görülmektedir), görme yeteneği olan ilk gezer robot üretildi.



Şekil 2.4. Shakey Robot

1970: Stanford Üniversitesi'nce bir robot kol geliştirildi. Şekil 2.5'te görülen robot kol Stanford Kolu adıyla araştırma projelerinde bir standart olarak yerleşti.



Şekil 2.5. Stanford Kolu

1973: Richard Hohn, Cincinnati Milacron Corporation adına ilk minibilgisayar denetimli robotu geliştirdi. Geliştirilen robot T3 (The Tomorrow Tool) olarak adlandırıldı.

1974: Stanford kolunu geliştiren Profesör Scheinman, Vicarm Inc. isimli firma kurarak minibilgisayar kullanan robot kollarının pazarlamasına başladı.

1974: Dokunma ve basınç algılayıcıları (sensörleri) kullanarak küçük parçaların montajını yapabilen ilk robot, üretim hattında kullanılmaya başlandı.

1976: Viking 1 ve Viking 2 uzay araçlarında robot kollar kullanıldı.

1977: ASEA isimli Avrupalı bir robot firması iki ayrı boyutta robot üretimine başladı.

1977: Star Wars'ın C3PO ve R2D2 adlı robot karakterleri sayesinde, robot kelimesi geniş insan kitlelerine yayıldı.

1978: PUMA isimli robot (Şekil 2.6'da görülmektedir) üretildi ve pazarlanmaya başlandı.



Şekil 2.6. PUMA Robot

1979: Stanford Cart isimli gezer robot (Şekil 2.7'de görülmektedir), üzerine monte edilmiş kameradan aldığı görüntüleri kullanarak engellerle dolu bir odayı engelleri aşarak boydan boya geçti.



Şekil 2.7. Stanford Card Robot

1984: İlk insansı(humanoid) robot 1973 yılında Japonya’da yapılmıştır. Wabot 1 birçok alanda ilk olma özelliği ile görenleri şaşırttı.1984’de Şekil 2.8’de görülen Wabot 2 yeni özellikleri ile tanıtıldı.(Japonya’nın ilk robot ithaliyle bu işe başladığı yıl 1967 idi.)



Şekil 2.8. Wabot 2

1984: SRI tarafından Shakey’den daha fazla gelişmiş bir gezer robot olan Lakey üretildi.

1990: ABD’de 12 dolaylarında robot firması görülürken, Japonya’da 40’dan fazla robot firması kuruldu.

1992: Marc Raibert ve çalışma arkadaşları tarafından Boston Dynamics şirketi kuruldu.

1993-1994: Önceki robotlara göre ucuz maliyetli ERRATIC ve PIONEER 1 isimli gezer robotlar üretildi

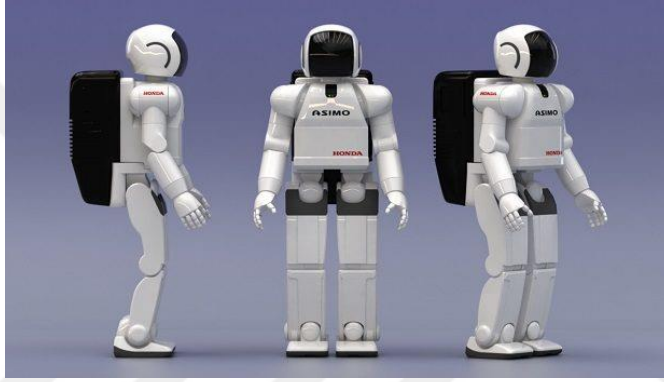
1998: Robot oyuncak FURBY piyasaya çıktı.

1999: Sony Şekil 2.9.’da görülen oyuncak ev hayvanı Aibo’yu piyasaya sürdü.



Şekil 2.9. Sony oyuncak ev hayvanı Aibo robot

2000: Honda yeni humanoid robotu Asimo'yu dünyaya tanıttı. (Şekil 2.10'da görülmektedir)



Şekil 2.10. Asimo robot

2004: ABD'nin ikiz Mars gezginleri Spirit ve Opportunity 2003'de fırlatıldılar ve 2004 başında 21 gün arayla Mars yüzeyine ulaştılar.

2004: Robotik sektörü sadece Kuzey Amerika'da 1.06 milyar dolarlık iş hacmine ulaştı.

2008: NASA'nın Şekil 2.11'de görülen Phoenix robotu Mars'ta başarılı bir şekilde ulaştı.



Şekil 2.11. Phoenix robotu Mars'a inerken. Temsili resim(NASA/JPL)

2012: 26 Kasım 2011’de gönderilen Mars Bilim Laboratuvarı ve beraberindeki Curiosity gezgini, 5 Ağustos 2012’de Mars’a başarılı şekilde iniş yaptı.

2014: İnsan görünümlü bir robot Japonya’da haber bülteni sundu.

2015: İnsan gibi görünüp rol yapabilmesi için özel olarak tasarlanan “Geminoid F” isimli bir robot, Sayonora filminde “Leona” adlı karakteri canlandırarak tarihe geçti. ‘Geminoid F’ başrolü ABD’li oyuncu Bryerly Long ile paylaştı.

2016: Boston Dynamics, iki ayak üzerinde yürüyen dünyanın en gelişmiş engembeli arazi ve iş robotlarından Atlas’ı tanıttı.

2016: Hanson Robotics tarafından Sofia adlı robot tanıtıldı (Yamanol, 2016) (Erden) (Anonim, 2015).

2.2.Robotların Sınıflandırılması

1.Sabit Robotlar (İstasyon)

Sabit robotlar işlerini pozisyonlarını değiştirmeden yapan robotlardır. Robotun sabit olması hiç hareket etmemesi anlamına gelmez. Zemine sabitlenmiş, herhangi bir şekilde tekerlek veya yürüme mekanizması bulundurmadığı için yer değiştirmesi söz konusu olmayan, bulunduğu sabit zemin üzerinde, uç efektörünün pozisyon ve oryantasyon değişikliği ile çevresine etki eden, açık zincirli kinematik yapıya sahip olan robotlardır. Sabit kelimesi ile anlatılmak istenen robotun temelini sabit olmasıdır. Tüm endüstriyel robotlar bu kategoride değerlendirilmektedir.

I. Seri Robotlar

- Kartezyen Manipülatör
- Eklemlili Manipülatör (kol robot)
- SCARA Manipülatör
- Küresel Manipülatör
- Silindirik Manipülatör

II. Paralel Robotlar

2.Tekerlekli Robotlar

Tekerlekli robotlar pozisyonlarını tekerlekleri ile değiştirebilen robotlardır. Tekerlekli hareketi mekanik olarak sağlamak üretim açısından kolay ve düşük maliyetlidir. Aynı zamanda tekerlekli hareketin kontrolü diğer mobil robotlara oranla daha kolaydır. Bu nedenle tekerlekli robotlar en sık karşılaşılan mobil robot tiplerindendir.

Bu robot sınıfı kendi içerisinde çoğunlukla tekerlek sayısına göre kategorilere ayrılır. Bu alt kategoriler içerisinde tek tekerlekli robotlar, mobil top robotlar, iki tekerlekli robotlar, üç tekerlekli robotlar, dört tekerlekli robotlar, çok tekerlekli robotlar ve aslında tekerlekli olmasalar da çalışma prensibi açısından çok benzer olduklarından paletli robotlar bulunur.

- I. Tek Tekerlekli Robotlar
- II. Mobil Top Robotlar
- III. İki Tekerlekli Robotlar
- IV. Üç Tekerlekli Robotlar
- V. Dört Tekerlekli Robotlar
- VI. Çok Tekerlekli Robotlar
- VII. Paletli Robotlar

3. Ayaklı Robotlar

Ayaklı robotlar da tekerlekli robotlar gibi mobil robotlardandır, ancak hareket metotları çoğunlukla tekerlekli robotlara göre daha sofistike ve karmaşıktır. İsimlerinden de anlaşılabileceği gibi hareketlerini sağlamak için ayaklarından faydalanırlar ve tekerlekli robotlara göre sorunlu pek çok zeminde hareketlerini sürdürebilirler. Bu robotların üretim ve kontrolündeki karmaşa ve maliyet tekerlekli robotlara göre daha yüksek olsa da bozuk zeminlerdeki avantajları bu robotları vazgeçilmez kılmaktadır. Bu sınıf içerisinde tek ayaklı robotlar, iki ayaklı robotlar, üçayaklı robotlar, dört ayaklı robotlar, altı ayaklı robotlar ve çok ayaklı robotlar sayılabilir.

- I. Tek Ayaklı Robotlar
- II. İki Ayaklı Robotlar
- III. Üç Ayaklı Robotlar
- IV. Dört Ayaklı Robotlar
- V. Altı Ayaklı Robotlar
- VI. Çok Ayaklı Robotlar

4.Yüzen Robotlar

Yüzen robotlar, suda hareket edebilen robotlardır. Bu robotlar genellikle balıklar gibi yüzgeçlerini kullanarak su içerisinde manevra yapabilen robotlardır.

5.Uçan Robotlar

Uçan robotlar hareketlerini kanat, pervane ya da balonları ile havada asılı kalarak ve manevra yaparak sağlayan robotlardır. Bu robotlara örnek olarak uçak benzeri kanatlı robotlar, kuş/böcek benzeri kanatlı robotlar, pervaneli multikopterler ve balonlu robotlar sayılabilir.

6.Sürü Robotları

Sürü robotları, yapı olarak birleşik ve tek olmak yerine çok sayıda benzer ve basit fonksiyonellikte robotun ortak çalışmaları ile işleyen robotlardır. Modüler robotlarla benzerlikler gösterebilir de sürü robotlarının elemanları çok daha fazla sayıda ve fonksiyonel açıdan çok daha basittirler.

7.Modüler Robotlar

Modüler robotlar da sürü robotlar gibi robotik sistemi değişik robotlara dağıtmış robot sistemleridir. Bu robotların sürü robotlarından farkı ise, modüllerin daha gelişmiş ve nispeten daha az sayıda olmasıdır. Modüler robotların bir diğer özellikleri modüller arası birleşimlerle oluşturdukları konfigürasyonların değişik fonksiyonellikte farklı robotlar oluşturabilmesidir.

8.Mikro Robotlar

Mikro robotlar tanım olarak, hem mikro hassasiyette işlem yapabilen hem de mikrometre boyutlarında olan robotları belirtmek amacıyla kullanılır. Bu açıdan çok büyük boyutlarda olan ama çevresine mikrometre ölçeğinde manipülasyonlarda

bulunabilecek muhtemelen büyük sabit robotlar da boyut olarak mikro metre ölçeğinde bulunan robotlar da mikro robot olarak tanımlanabilirler.

9. Nano Robotlar

Tıpkı mikro robotlar gibi nano robotların da tanımı muğlaktır. Nano robot tanımı ile belirtilmek istenen hem nanometre düzeyinde hassasiyetle işlem yapabilen çok hassas robotlar hem de boyut olarak nanometre düzeyinde ifade edilen çok küçük robotlardır.

10. Yumuşak Elastik Robotlar

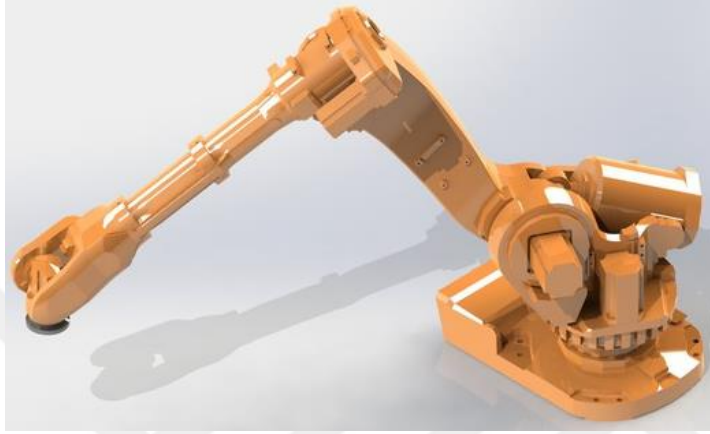
Yumuşak elastik robotlar, robotik alanında yeni yeni kendilerine yer bulan robotlardır. Bu robotların esin kaynakları genellikle kalamar ve toprak solucanı gibi hayvanlardır (Anonim, 2016).

2.3. Endüstriyel Robotlar

Daha önce sabit robotlar statüsü olarak tanımlamış olduğumuz robot grubu endüstriyel alanda en çok kullanılan robotlardır. Endüstride tekrarlı işlemler için insan kullanımı yavaş kalmakta ve firelere sebebiyet vermektedir. Aynı zamanda çalışan personelin dikkatsizliği, psikolojik sorunu o anki işini etkilemekte bu da üretilen ürünün kalitesini düşürmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı geliştirilen endüstriyel robotlar hem kaliteli üretimi sağlarken hem de daha hızlı üretim yapılmasına olanak sağlıyor. Örneğin bisküvi paketleme işlemi yapan bir robotun pişmiş bisküvi ile pişmemiş bisküviyi ayırması ve bunları ayrı işlemler yapması üretimde standardizasyon açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu sebeple endüstriyel robot kullanımı git gide zorunlu olmakta ve gelecekte her fabrikada en az bir robotun olması öngörülmektedir (Gençtürk).

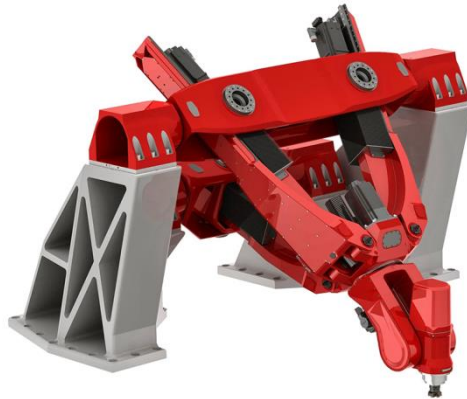
Endüstriyel robot kolları genellikle seri ve paralel robotlar olarak iki grupta incelenir. Mafsal noktaları ve bu mafsalları birbirine birleştiren linklerden

(eklemlerin birbirine bağlandığı yapılardır) oluşur. Seri robotlarda Şekil 2.12’de görüldüğü üzere, eklemler birbirine seri bağlanır. Robotik denklemleri daha basittir. Çalışma uzayları geniş, robotun kaldırabildiği yük ağırlığının, mekanik yapının ağırlığına oranı küçüktür. Konstrüksiyonu için paralel robotlara kıyasla daha az miktarda mekanik parçaya gereksinim duyar.



Şekil 2.12. Seri Robot

Paralel robotlar bu durumdan biraz farklıdır. Mekanik yapısı; asal çerçeve ile uç efektör çerçevesi arasında yer alan linklerin, birbirine paralel bağlı aktüatörlerden oluştuğu bir yapıdır (Şekil 2.13’te görülmektedir). Öncelikle ileri yönlü kinematik denklemleri çok karmaşıktır. Yük kaldırma potansiyelleri büyük, kendi kütlesine oranla daha ağır yükleri çok rahatlıkla taşıyabilir bir yapıya sahiptir. Kaldıra bileceği yük ağırlığının kendi mekanik yapısının ağırlığına oranı büyüktür. Konstrüksiyon olarak oldukça sağlamdır.



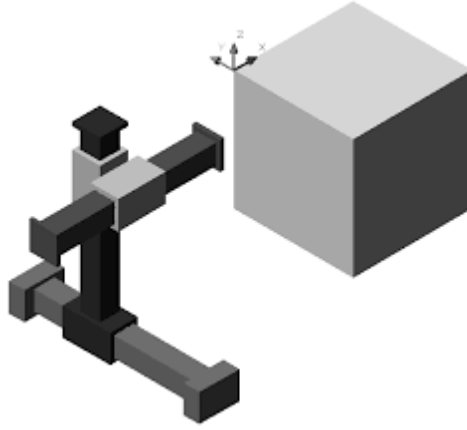
Şekil 2.13. Paralel Robot

Endüstriyel seri robotlar iki kısımdan oluşur. 3 eksenli gövde ve bu gövdeye eklenen bilekten oluşur. Bu robotlar üç eksenli bilek yapısı kullanımıyla da toplamda 6 serbestlik dereceli bir tasarıma sahip olabilirler. Bizim standart olarak kabul ettiğiniz serbestlik derecesi maksimum 6'dır. 6'dan fazla serbestlik derecesine sahip olan robotlara “Redundant” robot denir. Bu robotlarda genellikle 3 eklemlili gövdesine fazladan eklem eklenerek, engel ve çarpma durumlarına karşı robota hareket kabiliyeti sağlanır. 6 serbestlik derecesinin üzerinde bulunan bu yapıların ters kinematik hesabı oldukça zordur. İleri düzeyde uğraştırıcı ve karmaşık yapıda bir kinematik yapısı vardır.

Seri robotlarda gövde yapısını tarif eden 3 serbestlik dereceli standart manipülatörler 5 ana grupta incelenmiştir. Gruplandırma yapılırken robotların uç efetörünün çalışma uzayının şekli esas alınmıştır.

2.3.1. Kartezyen manipülatör

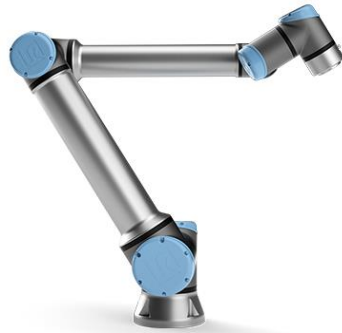
Eklemleri prizmatik eklem düzenine sahip olan manipülatör türleridir. Yani lineer yönde hareket eden eklemlerin ve eklemler arasındaki linklerin düzenleşimi ile elde edilen bir yapıya sahiptir. Linkler bu mafsallarda birbirine dik olarak bağlanır ve neticede Şekil 2.14'te görüldüğü gibi birbirine dik olarak kayan üç eksenli bir manipülatör elde edilir. Yani x, y, z koordinatlarında birbirine dik hareketler gerçekleştirilir. Çalışma alanı, üç boyutlu kartezyen uzayından oluştuğu için kartezyen manipülatör adını almıştır. Mekanik yönden çok sağlam olmasına rağmen çalışma alanındaki hareket yeteneği bakımından zayıf olması bir dezavantajdır. Basit yapı tasarımı nedeniyle kolların hareketi kolaydır. Bir yere ulaşması için hesaplanacak yol çok basit olarak bulunabilir. Bu robot tipi çok büyük boyutlarda ve ağırlıklarda nesneleri hareket ettirmek, taşımak için optimum seçimdir. Bu tarz robotlara dikey eksenli CNC tezgahını örnek verebiliriz.



Şekil 2.14. Kartezyen Manipulatör

2.3.2. Eklemlı manipülatör (kol robot)

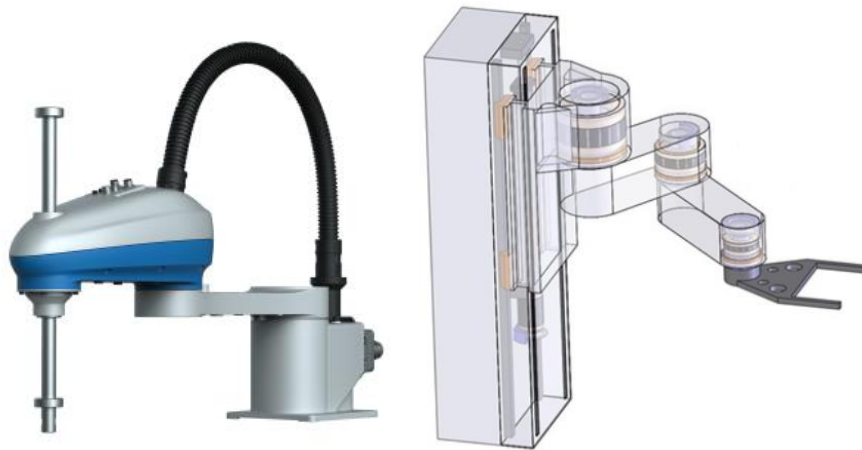
Robotik uygulamalarında çok sık görülen manipülatör çeşididir. Döner veya basitçe eklemlı uygulamaları gerektiren durumlarda kullanılır. İnsan koluna en çok benzeyen manipülatör türüdür. İnsan kol yapısı kıstas alınan bu tip manipülatörler Şekil 2.15'te olduğu gibi tüm eklemleri döner eklem olduğundan en yetenekli robotlardır. Boyama, kaynak yapma, montaj, yüzey temizleme vb. gibi endüstriyel uygulamalarda geniş kullanım alanına sahiptirler. Elektrik motorların tercih edildiğı bu manipülatörler kontrol işlemindeki zorluklar nedeniyle bu koordinat sistemi robot tekniğinde geç uygulama alanı bulabilmiştir. Maksimum derece hareket imkânı sağlayan bu robotlar kabiliyet bakımından en iyi robot çeşitlerindendir.



Şekil 2.15. Eklemlı Manipülatör

2.3.3. Scara manipülatör

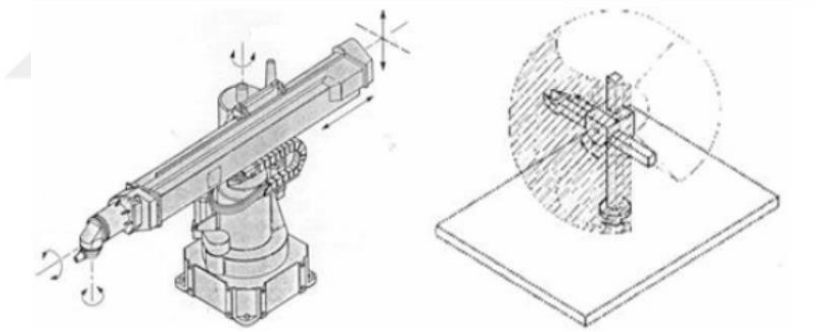
Pick and Place (bir yerden alıp başka bir yere bırakma) uygulamalarında oldukça fazla kullanılan bir çeşittir. Fabrikalarda bir konveyör hattından malzemeyi alıp başka bir konuma yerleştirme işlemlerinde oldukça aktiftir. SCARA robotlar bu görev konusunda popülerdir, çünkü z eksenini boyunca oldukça dirençli ve sağlamdır. Nesneyi almak için aşağı yukarı hareket ederken oldukça yüksek güç açığa çıkaran robot yapılması mümkündür. Silindirik koordinatlı robotların özel bir tipi olarak kabul edilen bu manipülatörlerde bileği konumlandırmak için iki döner ekleme sahiptir. İlk eklem düşey omuz eksenini olarak da düşünülebilecek temel eksen etrafında kolu sağa-sola döndürür. İkinci döner eklem önkolun düşey dirsek eksenini etrafında sağa-sola dönmesini sağlar. Böylelikle iki revolute eklem yatay düzlemdeki hareketi kontrol eder. Hareketin düşey bileşeni bileği yukarı-aşağı hareket ettiren üçüncü eklem tarafından sağlanır. Scara robotlarının ikinci bir düzenleşimi daha vardır. PRRR tipi scara robotlarının düzeninde ilk eklem, yani zemine bağlanan eklem lineer olan aşağı-yukarı yönünde çalışırken omuz ve dirsek eklemleri x-y yönünde pozisyonlama yapar. Bu iki düzenleşim şekliyle Scara robotlar Şekil 2.16 'da görülmektedir. Maksimum 20 kg. taşıma kapasitesine sahip olmasına karşın dikey, çok hızlı hareketi, çalışma hacmi içerisinde istediği yere çok çabuk ulaşılabilmesini sağladığından özellikle montaj işlerinde en çok tercih edilen robot tipidir.



Şekil 2.16. RRRP scara (soldaki) ve PRRR scara (sağdaki) tür manipülatörler

2.3.4. Küresel manipülatör

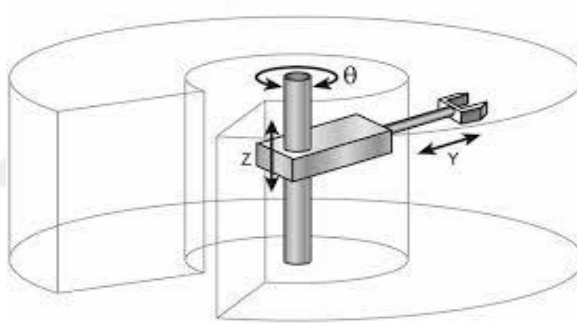
Bu manipülatörün küresel olarak adlandırılmasının nedeni uç efektörünün konumlandırmak için küresel koordinat sistemini kullanıyor olmasıdır. Zemin eklemi düşey doğrultudaki bir döner eklemdir, buna bağlantı yapılan omuz eklemi ise zemin düzlemine paralel ve bir önceki ekleme dik konumda bağlanmış olan yine döner bir eklemdir. Üçüncü eklem ise bu eklemin ucuna seri olarak bağlanmış bir lineer eklemdir. Şekil 2.17 'de örneği görülen küresel manipülatörler mekanik açıdan silindirik ve kartezyen manipülatöre göre daha zayıf, mekanik yapı yönünden diğerlerinden daha karmaşıktır. Elektrik motorlarının tercih edildiği bu robot tipi çoğunlukla makine montajlarında kullanılırlar. Dikey hareket kolun açısal hareketiyle tutucunun aşağı ve yukarıya çıkabileceği kadardır. Cilalama, transfer işlemlerinde, test ve kontrolde ağırlıklı olarak bu manipülatör tipleri kullanılmaktadır. Ünlü Stanford robotu, bu manipülatör sınıfı içerisinde en çok bilinenlerindendir.



Şekil 2.17. Küresel Manipülatör

2.3.5. Silindirik Manipülatör

Silindirik koordinat sistemi ile aynı prensiple çalıştığı için silindirik manipülatör olarak adlandırılır. 1 adet düşey düzlemde döner mafsalsal ve onu takiben biri yatay diğeri düşey düzlemde olmak üzere 2 adet prizmatik jointten oluşan eklem düzeniyle silindirik manipülatör Şekil 2.18 'de görülmektedir. Bu tip manipülatörler de mekanik yönden sağlamdır fakat bilek konum doğruluğu yatay harekete bağlı olarak azalır. Kartezyen manipülatörde olduğu gibi büyük boyutlu nesnelerin taşınmasında kullanılırlar. Bu tip manipülatörlerde hidrolik motorlar tercih edilir. Yapılması gereken iş ve hedefin aynı doğrultuda olmadığı montaj işlerinde çoğunlukla silindirik manipülatörler kullanılır. Robotun dönüş kabiliyeti çok yüksek olduğundan belirli bir doğrultuda olmayan işlerde kartezyen koordinatlı robotlara göre çok hızlıdır.



Şekil 2.18. Silindirik Manipülatör

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Scara robot türünde yapılacak olan tasarım tutacağı parçayı, 3 serbestlik dereceli redundant düzlemsel aktüatör türündeki kol yapısıyla kavrayacak, lineer eksenli gövdesiyle yukarı aşağı yönde hareket ettirecek, kol eklemleri hareketiyle yeniden konumlandırarak bir kullanım yapısına sahip olacaktır. Şekil 3.1’de görülen endüstriyel örneğine muadil karaktere sahip olacak olan robot, parça dizme ve yerleştirmede kullanılacaktır.



Şekil 3.1. Precise Automation PF 400 ürünü scara robot

Robot tasarımında imalat maliyetini düşük tutmak amacıyla ağırlık artışı ve buna bağlı olarak atalet artışı gibi dezavantajlarına rağmen çelik konstrüksiyon gövde tasarlanmıştır. Bu durumda elbette yüksek tork gereksinimi doğacaktır.

Klasik konstrüksiyon mantığında bu problem için iki standart çözüm önerilmektedir. Bunları sıralayacak olursak; güç verileri yüksek servo/step motor kullanımı ve yüksek redüksiyon oranlı dişli kutusu kullanımıdır. Her iki seçenek de ele alındığında hedeflenen yüksek kalite/düşük maliyet hedeflerinden sapma

meydana gelecektir. Ayrıca eklem boşluklarının düşük olması gereklidir ve konum hatasına neden olmamalıdır.

Tasarım odaklı çözüm arayışları neticesinde vidalı mil kullanılarak lineer elektronik aktüatör yapılmıştır. Omuz ve dirsek eklemlerinde eklem hareketi için redüksiyon oranlı zincir- dişli düzeneği yerleştirilmiştir. Lineer aktüatör ile zincir dişli düzeneği hareket ettirilmiş ve yüksek oranlı redüksiyonlar elde edilmiştir. Bu redüksiyonlar maliyeti düşürmenin yanında özellikle vidalı milin etkisiyle tork taşıma kapasitesi yüksek, redüksiyon boşluğu çok düşük bir yapıya sahiptir.

Robot programlanması için birçok yöntem kullanılabilir. Çevrim içi ve offline robot kontrolü oldukça yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. Çevrim içi kontrol; sistem çalışır haldeyken sistem arayüzü aracılığıyla robot canlı olarak yönlendirilir (bu işlem jog modu ile de ifade edilir) ve eğer bu hareket öğretilerek, yapılan işin tekrarı isteniyorsa hareket esnasında pozisyon verileri alınır ve kaydedilir. Bu işleme “on-line teaching” de denir. Offline kontrol uygulamasında ise, daha önceden simülasyon ortamında hazırlanmış bir hareket etüdü kaydedilip, pozisyon verileri hareket kodlarına çevrilip kaydedilir. Sisteme girilen verilere göre bu işlemin robot tarafından yapılması beklenir. Her iki kontrol tarzı için de sistemin ileri ve ters kinematik hareket özelliğine sahip olması gereklidir.

Sanayi robotları için çoğunlukla hareket fonksiyonları ve pozisyon verilerini işleme mantığı olarak, kartezyen uzayda CNC makro kodlaması için türetilmiş olan, G kodları kullanılır. Bu mantık, robot programlanması için daha tanıdık veriler ortaya koyar ve günümüzde CNC kontrol kartları, motion control kartları gibi cihazlar tarafından okunabilecek standarta sahiptir. Dolayısıyla, CNC kontrol kartları kullanılarak yapılacak kontrol için sanayi robotları üzerinde uygulanma imkanı doğar.

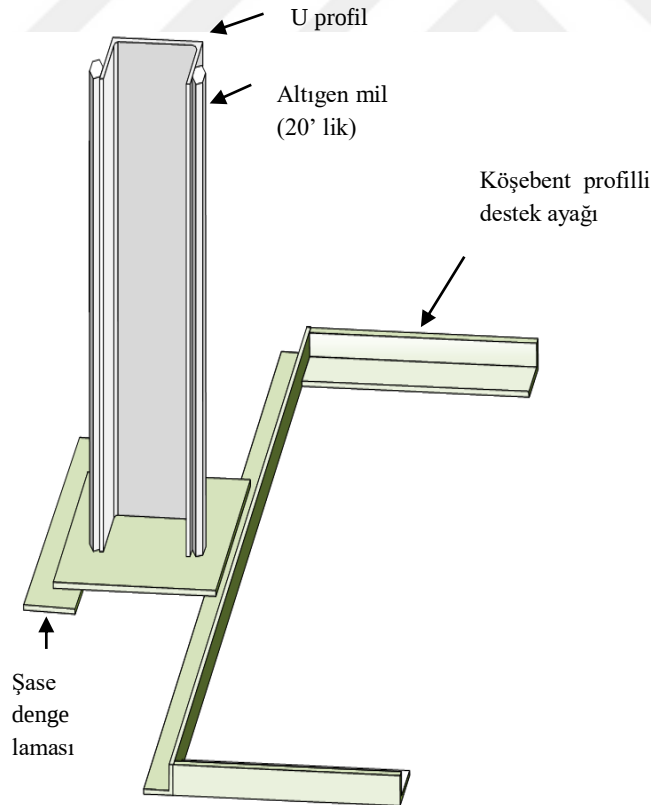
Bu çalışmada mach3 uyumlu CNC kartı kullanılarak robot programlanması yapılmıştır. Visual studio üzerinde c# yazılımı kullanılarak geliştirilen arayüz sayesinde çevrim içi öğretim modunda robotun hareket öğrenimi hedeflenmiştir.

Tüm kinematik hesaplamalar bu yazılım içinde yerleştirilmiş, robot sağ el kullanımına göre ayarlanmıştır. Bu durumda girilen pozisyon değerine göre robot yönlendirilebilirken, jog modunda da arayüzde belirtilen butonlar kullanılarak ileri ve ters kinematik olarak robot hareketi gerçekleştirilebilmektedir. Hareket kayıt özelliği de eklenilmiş olup öğretilen işlemin kolaylıkla tekrar edilebilirliği gösterilmek istenmiştir. Bu sayede ucuz maliyetinin yanında kolay programlanabilirliği ile de kaliteli bir sanayi ürünü elde edilmek istenmiştir.



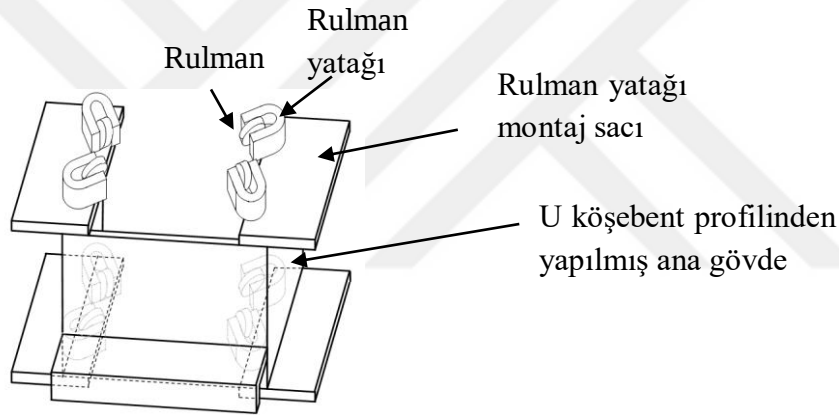
3.1. Scara Robot Tasarım ve İmalatı

Lineer düşey eklem tasarımı için altıgen mil ve u köşebent profil kullanılmıştır. 100x50'lik u profili gövdesinin yan tabanlarına 20'lik altıgen miller, birbirlerine simetrik olarak kaynaklı monte edilmiştir. Böylelikle lineer kızaklı hareket yatağı elde edilmiştir. Düşey düzlemde çalışacak bu eklem zemin üzerine oturtulması için ise şase imal edilmiştir. Eklem şase ile bağlantısı için 10 mm kalınlığında sac metal kullanılmıştır. Robotun kol açıklığı nedeniyle oluşan ağırlık neticesinde eklem öne doğru meylini önlemek için ön tarafta tasarlanan destek ayağı geniş bir u biçimi oluşturacak şekilde birbirine kaynak edilmiş köşebent profillerinden meydana gelmiştir. Düşey düzlemde dik durması açısından aynı kalınlığa sahip bir lama demiri ile de (kaynaklı montaj yapılmıştır) arka taraftan desteklenmiştir. Sac metal, köşebent profil ve lama demirinden yapılmış olan şase, eklem kaynaklı montaj edilmiştir. İfade edilen tasarım Şekil 3.2'de görülmektedir.

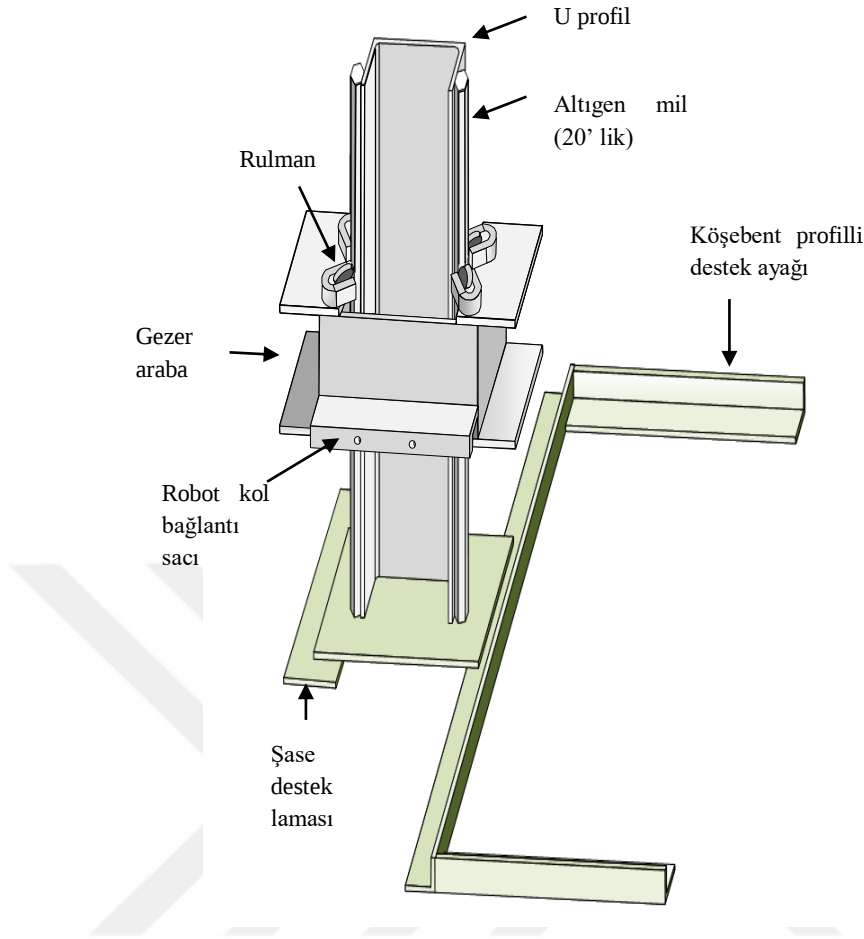


Şekil 3.2. Lineer eklem gövdesi tasarımı

Lineer gezer araba tasarımı için ‘U’ köşebent profil yüzeylere denk gelecek şekilde iki yüzeye basacak ve simetriğindeki ray için de aynısı olacak şekilde toplam 4 adet rulmandan oluşan bir set elde edilmiştir. Yukarı aşağı yönünde hareket eden kol eklemi hareketi esnasında atalet etkisiyle gövdenin esneme yapması durumunu engellemek ve lineer eklemdaki hareketin pürüzsüzlüğünü sağlamak için yukarıdaki rulmanlı sete simetrik olarak aşağıdan da yataklama yapılmıştır. Neticede 8 adet rulmandan oluşan bir lineer araba elde edilmiştir. Araba gövdesine robot kolunu montaj etmek için bir bağlantı sacı kaynak edilmiştir. Robot kolunun bağlantısı sökülebilir yapıda olması için bu sac üzerine montaj delikleri açılmıştır. Gezer araba tasarımı Şekil 3.3’ te görülmektedir. Lineer eklem ve gezer araba için tamamlanmış montaj Şekil 3.4’ te gösterilmiştir.

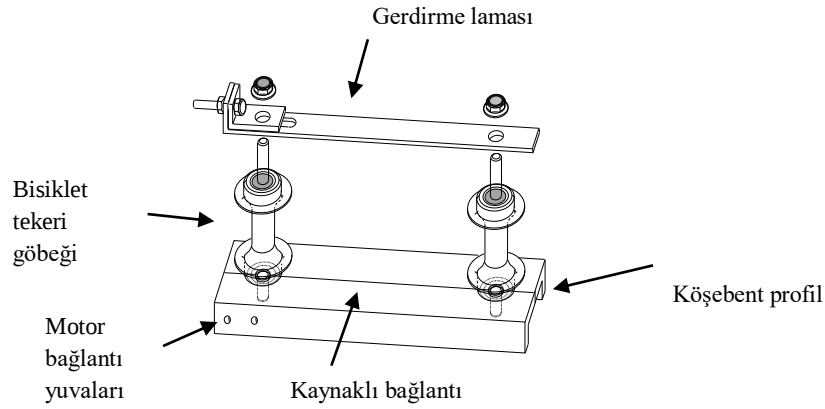


Şekil 3.3. Lineer eklem için gezer araba tasarımı



Şekil 3.4. Lineer eklem ve gezer araba montajı

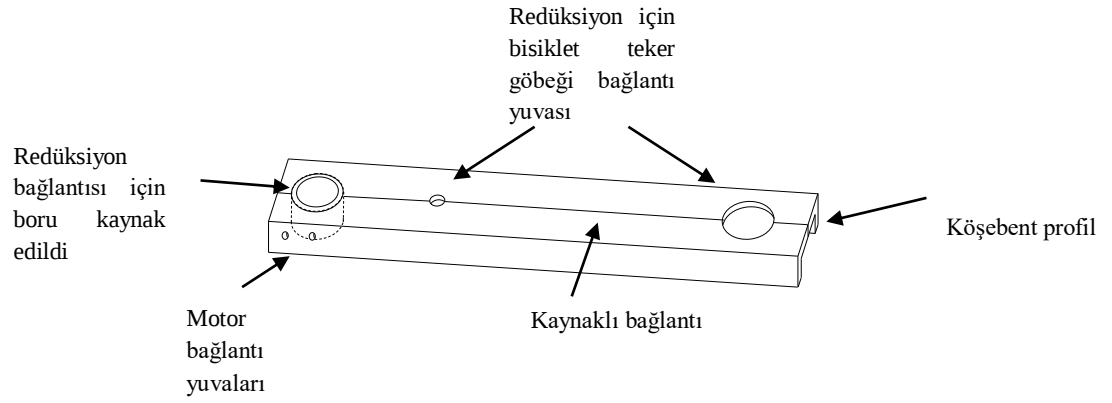
Omuz eklemi için ilk önce redüksiyon üretilmiş ve bu redüksiyonun üzerine omuz eklemi yerleştirilmiştir. Aynı zamanda bu redüksiyon, kol ekleminin lineer düşey ekleme bağlantısı için şase görevi görmektedir. 35x35x4 mm'lik köşebent profiller ağız ağza getirilerek kaynak edilmiş ve bağlantı için kullanılacak şase yapılmıştır. Bu şase üzerine 2 adet bisiklet tekeri göbeği Şekil 3.5'te görüldüğü gibi dik olarak montaj edilmiştir.



Şekil 3.5. Omuz eklem şasesi

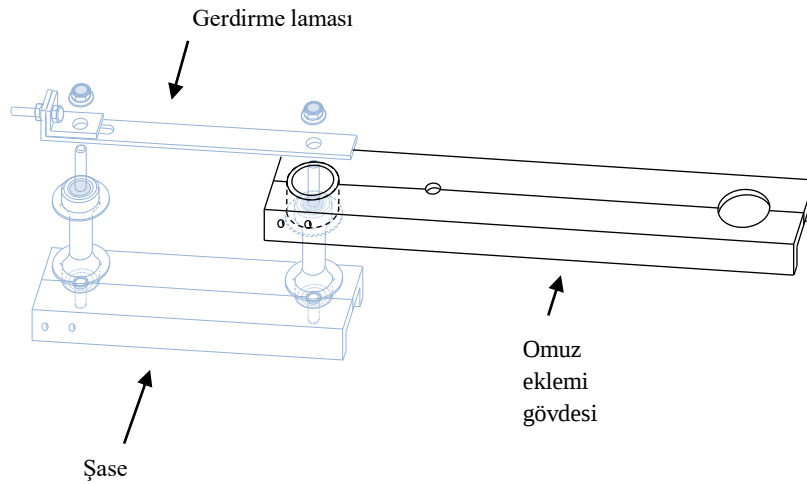
Omuz eklemi redüksiyonu için zincir dişli tasarım yapıldığı ifade edilmiştir. Bu işlem için, bisiklet tekeri gövdesine zincir dişliler, flanşlı jant bağlantı yüzeyleri üzerinden kaynak edilmiştir. Her göbek için iki adet dişli monte edilmiştir. Eklem şasesine, vidalı milli aktüatörün motor bağlantısı için bağlantı yuvaları açılmıştır. İki simetrik köşebent profilden elde edilmiş olan şaseye, ön taraftaki köşebent profil ile motor bağlantısı yapılırken, arka taraftaki köşebent profil ile lineer eklem bağlantısı yapılmıştır. Omuz eklemi, Şekil 3.5'te gösterilen redüksiyon düzeneğine, sağ taraftaki bisiklet tekeri göbeğine yapılan bağlantı ile monte edilmektedir. Bu montaj işlemi eklem gövdesi ile beraber anlatılacaktır.

Omuz eklemi gövdesi için tıpkı şasede olduğu gibi köşebent profiller ağız ağza getirilerek kaynak edilmiştir. Omuz eklemi gövdesi üzerine, bir sonraki eklemin redüksiyon düzeneği monte edilecektir. Bu nedenle hem redüksiyon bağlantısı için, hem de redüksiyonu tahrik edecek elektronik aktüatörün motor bağlantısı için çeşitli bağlantı yuvaları açılmıştır. Omuz eklemi, şasede yer alan redüksiyon düzeneğine monte edilmesi için yine bağlantı yuvası açılmıştır. Bu bağlantı yuvasına Şekil 3.6'da görüldüğü gibi boru montaj edilerek kaynak edilmiştir. Bu sayede hareket düzlemi yükseltilmiş, dolayısıyla aynı düzlemde zincir mekanizması ile çakışması önlenmiştir.



Şekil 3.6. Omuz eklem gövdesi

Şekil 3.6’da gösterilen sol taraftaki bağlantı yuvasında yerleştirilmiş olan boru, şase üzerindeki bisiklet tekeri göbeğine tespit edilmiştir. Bu tespit işlemi, flanşlı yapıdaki yüzeye daha önceden kaynak edilmiş olan zincir dişlisinin üzerine yapılan montaj ile elde edilmiştir. Böylece, şase üzerindeki elektronik aktüatör, zincir-dişli düzeneğini tahrik edecek ve dişli üzerinde montaj halindeki omuz eklemi hareket edecektir. Omuz eklemine şase ve gövde montajı şematik olarak Şekil 3.7’de görülmektedir.

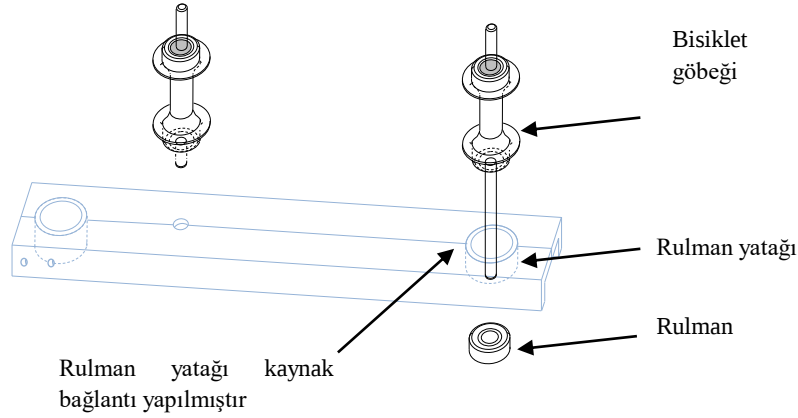


Şekil 3.7. Omuz eklemi şase ve gövde montajı

Dirsek eklemine redüksiyonu, omuz eklem gövdesinin üzerine monte edilmiştir. Bir önceki redüksiyonda da olduğu gibi zincir-dişli düzeneği montajı için bisiklet teker gövdesi kullanılmıştır. Bağlantı ve tahrik şekli için aynı tasarım uygulanmış, dişliler bisiklet teker gövdelerine kaynak edilirken, elektronik lineer aktüatörün motorunun montajı için ise omuz eklemi gövdesine açılmış yuvalar kullanılmıştır.

Elektronik aktüatör tahrikiyle rulmanlı göbek dışarıdan dönerken, omuz eklemi üzerine civatalarla vidalanmış olan göbek mili sabit kalır. Böylece rulmanlı yapısı sayesinde iç taraf sabit iken dış taraf hareketi iletir. Dirsek eklemine hareketi sağ taraftaki göbek iletecektir. Dışı ve iç milini bir aparat yardımı ile sabitleyerek güç iletiminin merkezden yapılması sağlanmıştır. İşlem sonucunda tahrik edilecek olan dirsek eklemi bu mile tespit edilmelidir. Bu işlem için iç mili uzun olan bir göbek kullanılmıştır. Şekil 3.6.' da görüldüğü üzere bu göbeklerin montajı için açılmış olan montaj yuvaları eşit genişlikte değildir. Bunun nedeni sağ taraftaki dirsek eklemine güç iletecek göbek için bir adet rulman yataklanmış olmasıdır.

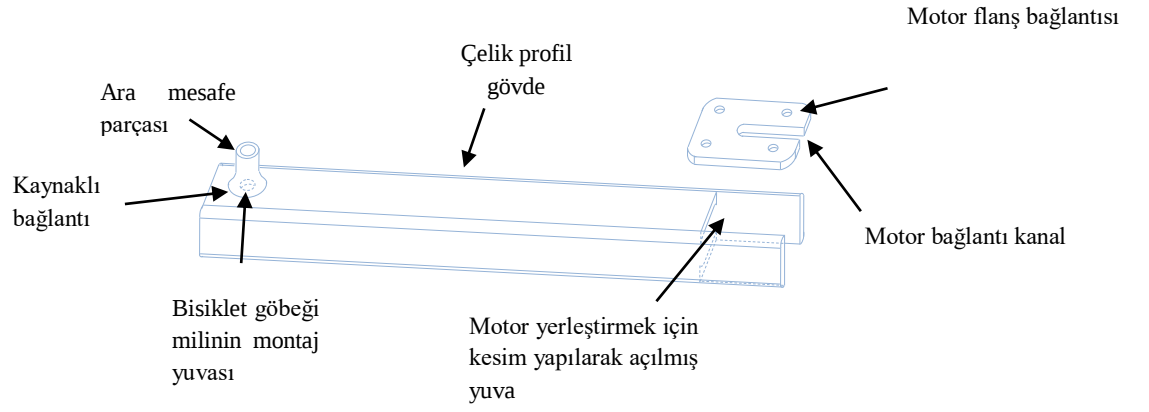
Rulman yataklama işlemi için açılmış olan yuvaya boru kaynak edilerek rulman yuvaya monte edilmiştir. Bu sayede dış ve iç konsantre halde dönerken transfer edilen hareketin yataklaması yapılmış olur. Göbeklerin üzerine alt ve üstten gerdirilmiş iki adet zincir-dişli setinin gerginliği rijiditeyi arttırmıştır. Redüksiyondaki göbek yataklanması şematik olarak Şekil 3.8 'de görülmektedir.



Şekil 3.8. Dirsek eklemi bilyalı göbek yataklaması

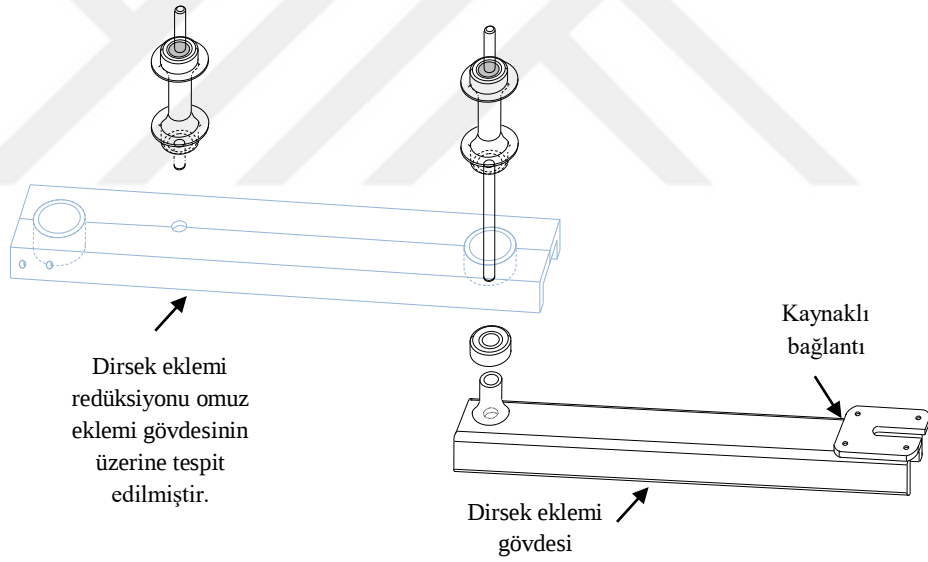
Dirsek eklemi gövdesi olarak profil demir kullanılmıştır. Profilin üst yüzünden delik delinmiş ve göbek milinin buraya tespiti için yuva açılmıştır. Rulman yatağı, rulman ebatlarına göre yapılmıştır. Dirsek eklemine rahat dönüşünü sağlayabilmek için, rulman ile profil arasında bir ara mesafe parçası işlenmiştir. Bu parça, rulmanın iç bileziğine yaslanacak ve diğer taraftan profil demir üzerine montaj yuvası deliğini de içine alacak bir şekilde kaynak edilmiş bir bağlantı yapısına sahip olacaktır.

Bilek eklemi için bir redüksiyon yapılmamıştır ve motor doğrudan dirsek eklemine bitiminde tespit edilmiştir. Bu nedenle dirsek eklemi üzerine motor bağlantısı için revizyon yapılmıştır. Nema 23 Step motorun içine girebileceği şekilde bir yuva açılmıştır. Bu yuvaya step motor sığabilmektedir ancak, motorun üst flanşındaki bağlantı deliklerini kullanarak tespit edilmesi gereklidir. Bu nedenle 5 mm'lik bir sac metal kullanılmış ve üzerine bağlantı delikleri yapılmıştır. Bu flanşın eklem sonundaki motor bağlantı yuvasının üzerine kaynak edilmesi ile motor bağlantısı yatağı da elde edilmiştir. İfade edilen eklem gövdesi tasarımı Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9. Dirsek eklemi gövdesi motor bağlantı yuvası

Dirsek eklemi redüksiyonu ve eklem gövdesinin montaj düzeni şematik olarak Şekil 3.10' da gösterilmiştir.



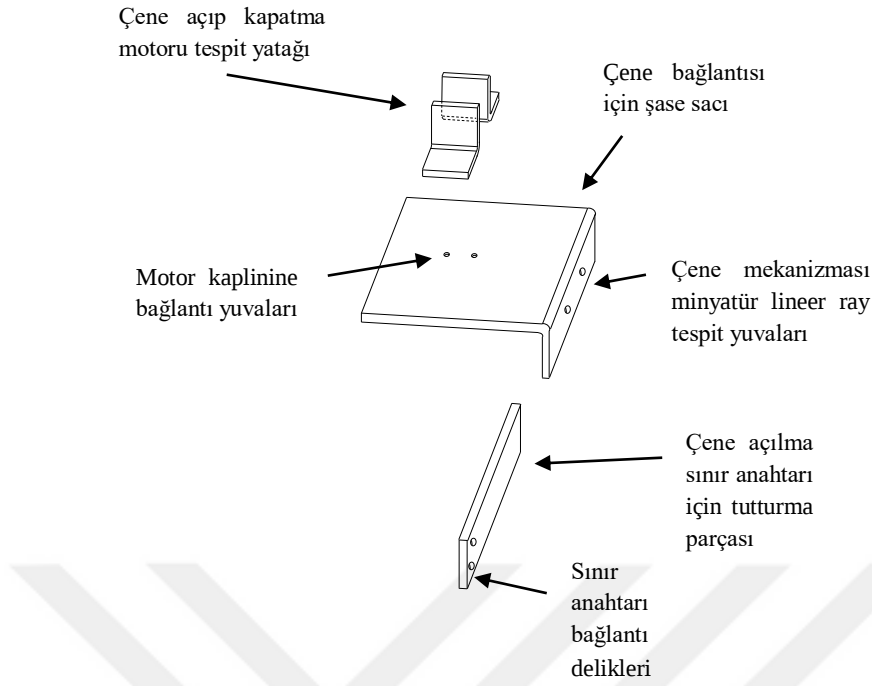
Şekil 3.10. Dirsek eklemi redüksiyon ve gövde montajı

Bilek eklemi şase ve üzerine tespit edilecek bir çene mekanizmasından meydana gelmektedir. Eklemün dirsek eklemi üzerinde konumlanmış olan step motor ile bağlantısı için kaplin kullanılmıştır. Bu kaplin, dirsek eklemi şasesi üzerindeki bağlantı yuvaları ile bu şaseye tespit edilmişken, motor miline ise üzerindeki setskur ile sıkıştırılarak sökülüp takılabilmektedir.

Şase, 3 mm'lik sac metalden yapılmıştır. Çene mekanizmasının çalışma düzlemi zemin düzlemine paralel olması için, sac malzeme, 90° aşağı doğru bükülmüştür. Minyatür lineer ray bağlantısı için, bükülme sonucunda elde edilen flanş yüzeyi üzerine tespit yuvaları açılmıştır.

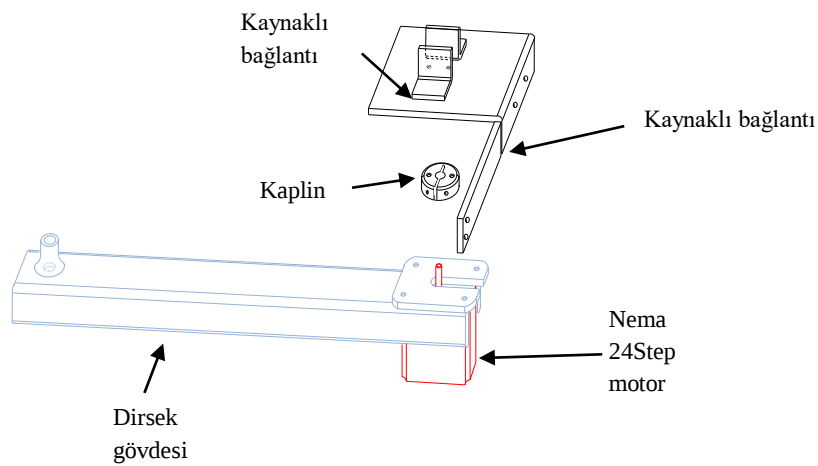
Çene açılış sonu için sınır anahtarları yerleştirilecektir. Bunun için 2 mm'lik ince lama demirinden yapılan bir aparat kullanılmıştır. Bu aparat şase flanş düzlemi ile aynı düzlemde olarak flanşa seri bir şekilde yandan tespit edilmek suretiyle şaseye bağlanmıştır. Bu aparatın bir ucu şaseye bağlantı yapılırken, diğer ucunda sınır anahtarları yerleşimi için delikler açılmıştır.

Çene mekanizmasını tahrik eden dc motor yataklaması için de 25x2 mm'lik ince lama demirinden yatak yapılmıştır. Bu lama demiri 90° bükülerek simetrik olarak iki parça halinde şase üzerine dik oturtulup kaynak edilmiş ve motor tespit yuvası elde edilmiştir. İfade edilen şase, tüm tespit unsurlarıyla beraber Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Çene bağlantısı için şase sacı ve üzerine tespit edilecek bağlantı unsurları

Tamamlanmış bilek eklemi şasesinin step motor bağlantısı için kaplin ile beraber montaj düzeni şematik gösterimi Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Mekanik çene tasarımı ve mekanik bağlantıları, bir sonraki bölüm olan tutucu çene tasarımı bölümünde anlatılacaktır.

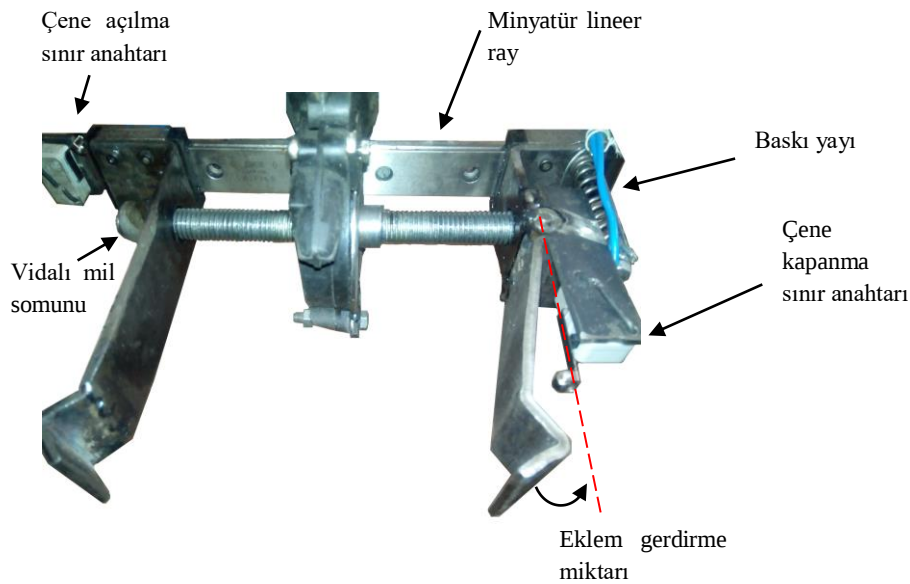


Şekil 3.12. Çene bağlantısı için şase montaj düzeni şematik gösterimi

3.1.1. Tutucu çene tasarımı ve imalatı

Çene eklemleri hareketi için yüksek hassasiyetli minyatür lineer ray kullanılmıştır. Hareket hassasiyeti yüksek ve en hafif lineer ray türlerinden biri olan minyatür ray, çene eklemlerinin ve robot kolunun atalet artışını kontrol için duyarlı bir çözüm sunmuştur. Kayar araba üzerine yerleştirilmiş olan çene eklemlerine sağ ve sol vidalı mil somunları kaynak edilmiştir. Bu sayede motor tahriki sayesinde çenelerin simetrik olarak aynı anda açılıp kapanması sağlanmıştır.

Eklemlerden birisi sabit eklemdir ve doğrudan lineer kayar araba üzerine monte edilmiştir. Üzerinde sol diş vida somunu tespit edilmiş ve vida geçmek için delik açılmıştır. Hareketli eklemler için ise lineer araba üzerine mekanik gerdirme düzeneği yapılmıştır. Hareketli eklemler bu düzencek üzerine menteşeli olarak tespit edilmiştir. Baskı yayı kullanılarak yapılan gergi işlemi sayesinde gerdirilmiş olan eklemler öne doğru yaslanmaktadır. Parça tutulurken, hareketli eklemler menteşe ekseninde dönerek yayı sıkıştırmaktadır. Oluşan basınç ile, tutulan parça için yüksek bir tutma kuvveti elde edilmiştir. Tutma işlemi sırasında menteşeli eklemler arkasına tutma sınırı belirlemek için sınır anahtarı yerleştirilmiştir. İfade edilen mekanik düzen Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



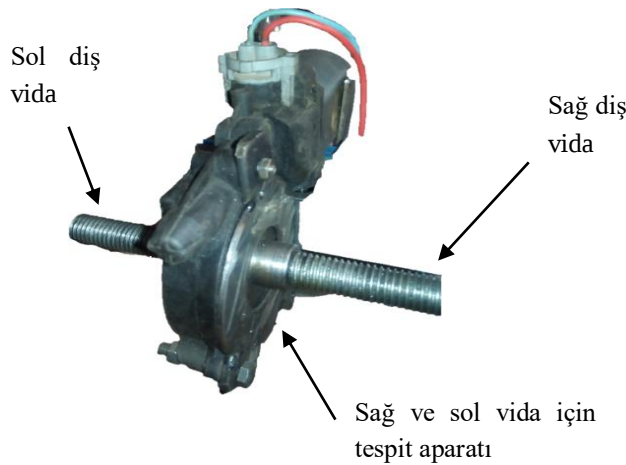
Şekil 3.13. Çene eklemlerinin lineer ray üzerine tespiti ve sınır anahtarlarının yerleşimi

Çene açıp kapatmada, araba cam kaldırma motoru olarak Şekil 3.14'te görülen redüktörlü 24 volt dc motor kullanılmıştır. Kullanılan dc motor, sonsuz redüktör yapısı yardımıyla yüksek tork üretebilmekte ve çene kapama işlemi sırasında yüksek sıkma gücü sağlanmaktadır. Bu sayede parça yakalama performansı yüksek bir çene hareketi elde edilmesi planlanmıştır.



Şekil 3.14. Çene eklemlerini açıp kapama motoru

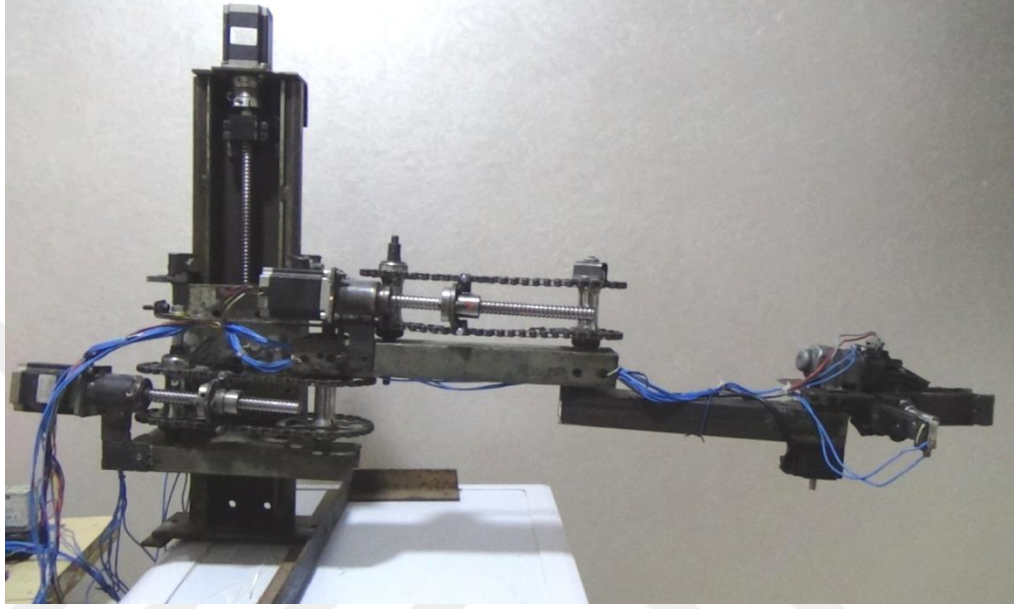
Sonsuz redüktör içindeki çıkış dişlisinin gövdesine revizyon yapılmış, bir geçirme aparatıyla, sağ ve sol vidalı mil, motor gövdesinin iki yanında kalacak şekilde Şekil 3.15'te görüldüğü üzere bu gövdeye montaj edilmiştir. Motor hareketi merkezden verilmek kaydıyla sağ ve sol vidalı mil hareket ettirilmektedir.



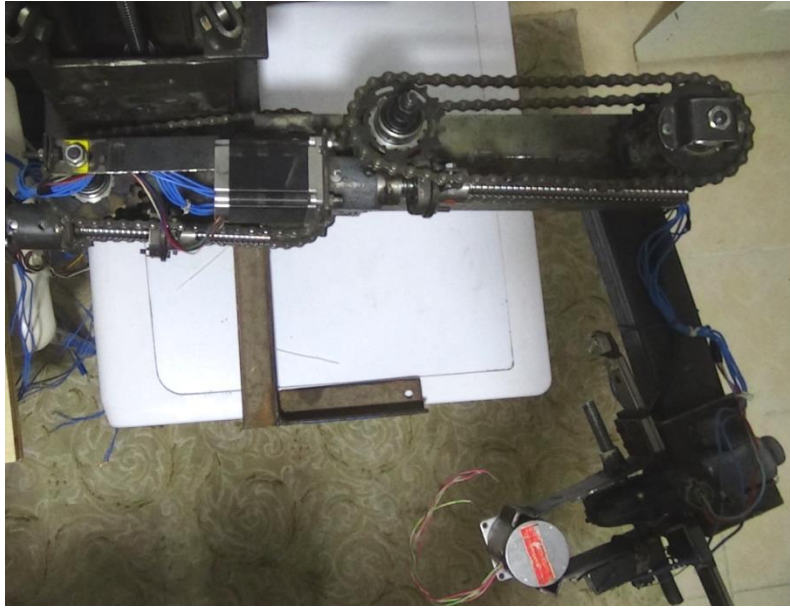
Şekil 3.15. Motor çıkış dişlisinin gövdesine tespit edilen sağ ve sol dış vida

3.2. Robotun Montaj Sonrası Görünüşü

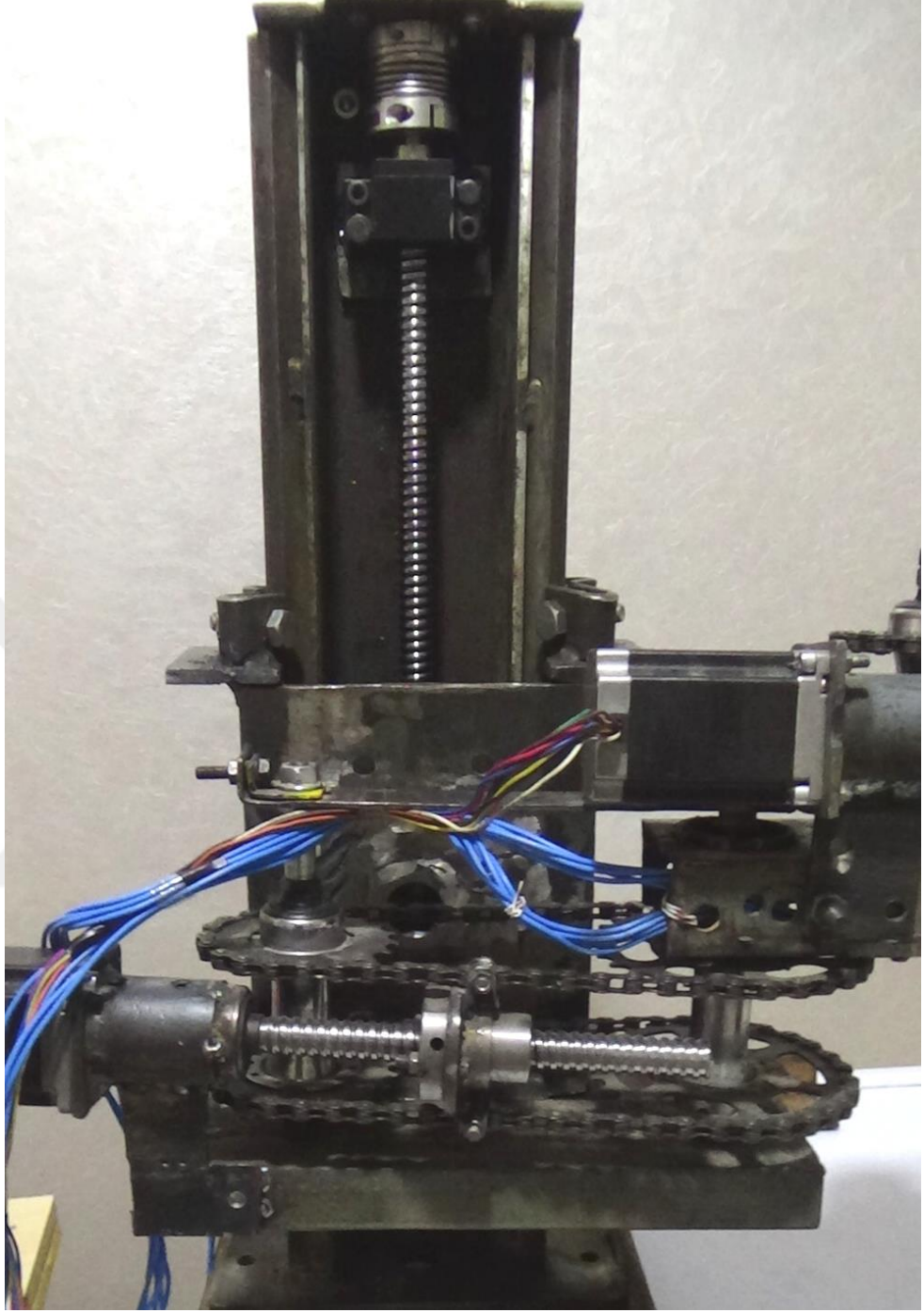
Bu çalışmada tasarlanan robot üniversitemiz atölyesinde imal edilmiştir. Şekil 3.16-3.23'te tasarlanan ve üretilen robotun farklı pozisyonlarda resimleri gösterilmektedir.



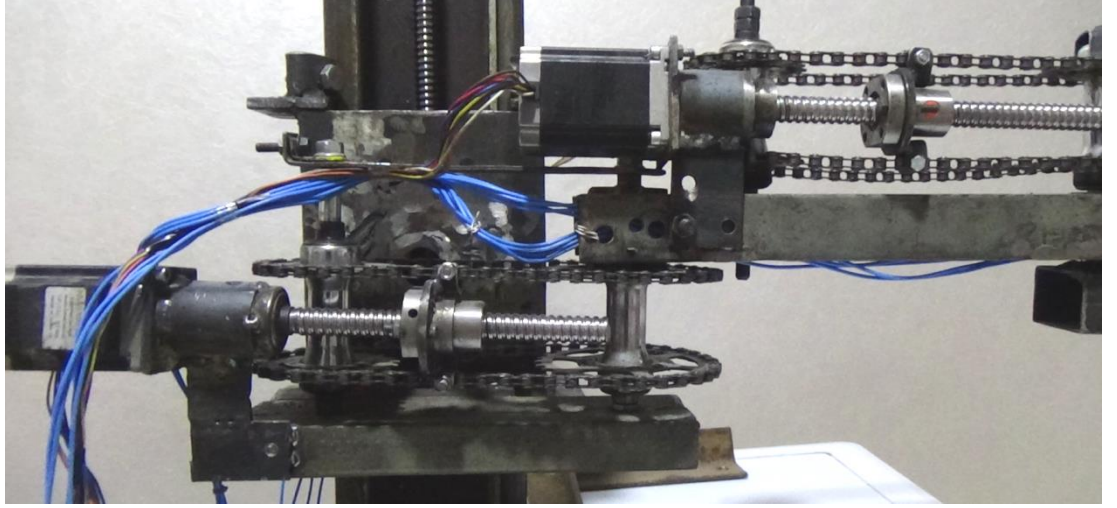
Şekil 3.16. Robotun önden görünüşü



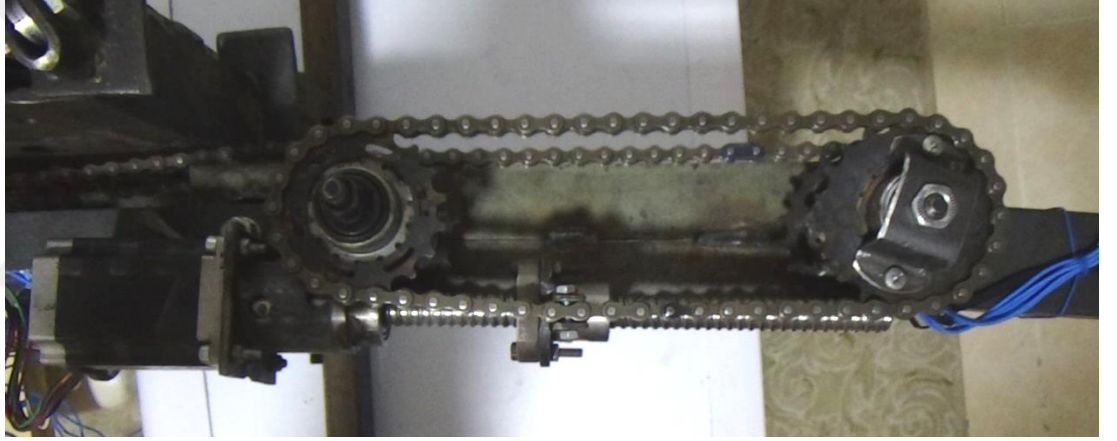
Şekil 3.17. Robotun sol el bükülmüş halde üstten görünüşü



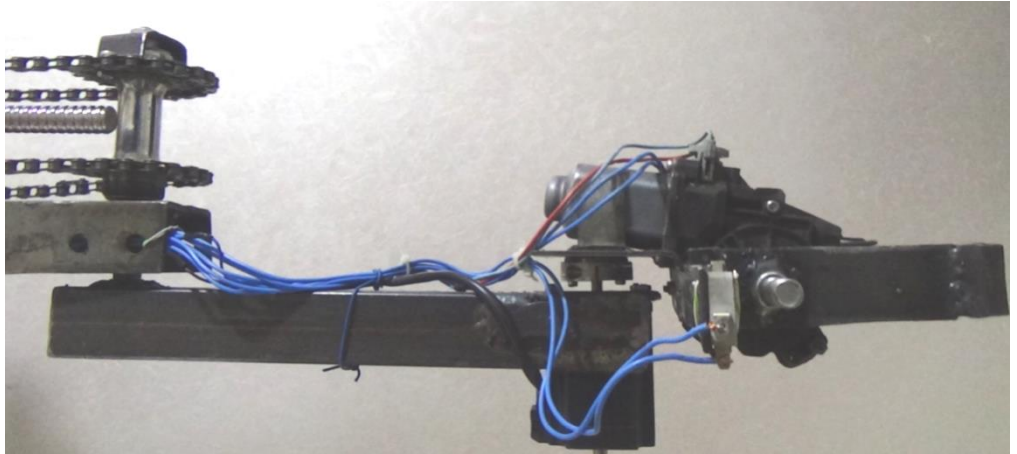
Şekil 3.18. Robot lineer eklemin görünüşü



Şekil 3.19. Omuz eklemi şasesi ve gövdesinin önden görünüşü



Şekil 3.20. Omuz eklemi gövdesi üstten görünüşü



Şekil 3.21. Dirsek eklemi ve bilek önden görünüşü



Şekil 3.22. Dirsek eklemleri ve bilek üstten görünüşü



Şekil 3.23. Robot çene tutma pozisyonu

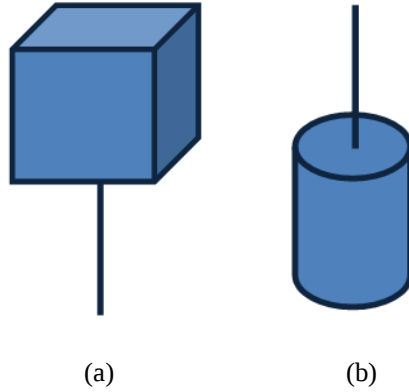
3.3. Scara Robot Kinematığı

Kinematik bilimi nesnelerin devinimleri ile ilgilenen bir hareket bilimidir. Kinematik ile robotun konum, hız ve ivme analizi yapılır. Robot kinematığı özellikle uç efektörü ile diğer eklemlerin arasında bir ilişki tanımlar. Robot yapısında bulunan eklem türleri iki çeşittir. Bunlar; döner eklem (revolute joint- kısaca R ile gösterilir) ve prizmatik (kısaca P ile gösterilir) eklemdir.

3.3.1.Kinematik diagram çizimi

Robotun kontrol edilmesi ve denklem türetilmesine yardımcı olması için mafsalları ve eklem bilgilerini içeren sembolik bir resim çizilir. Buna kinematik diagram denir. Bu diagramda linklerin ve jointlerin birbirine nasıl bağlandığı gösterilir. Bu diagramı çizerken dikkat edilmesi gereken en önemli husus joint mekanığı (dişli kutusu veya kayış kasnak vb düzeneğinden dolayı elde edilen hız redüksiyonu) hesaba katılmayacaktır. Yapılacak olan hesaplama sadece mafsalları hareketi için gerekli olan eklem değişimini ifade edecektir. Hareket kontrol kartına veri gönderilirken ise dişli oranı işleme sokulacak, o hareket için gerekli motor hareketi elde edilmiş olacaktır.

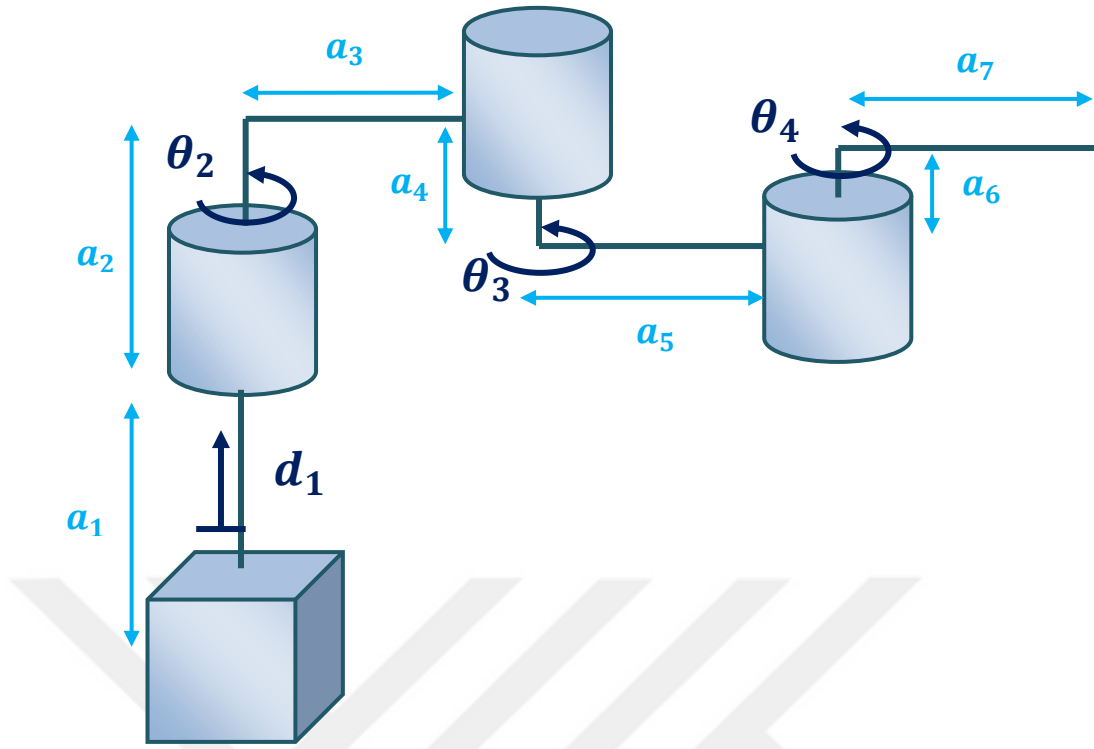
Eklem türlerinin kinematik diyagramda gösterimi Şekil 3.24'te ifade edilmiştir.



Şekil 3.22. Eklem türlerinin kinematik diyagramda gösterimi: a) Prizmatik eklem, b) Döner eklem

Kinematik diyagram çizilirken eklem türleri, seçilen robotun mekanik yapısına uygun bir şekilde yerleştirilmelidir. Üzerinde çalışılan tasarım PRRR tür scara robot tasarımıdır. Bir önceki başlıkta da izah edildiği üzere bu manipülatörde zemin bağlantısı prizmatik eklemlerle sağlanmıştır. Bu eklemler 3 adet döner eklem serisi olarak bağlanmıştır. Tasarımda tek serbestlik dereceli bilek eklemi tercih edilmiş ve toplamda 4 serbestlik derecesi bulunan scara robot tasarımı elde edilmiştir.

Kinematik diyagram üzerinde çubuk uzunlukları ifade edilmelidir. Eklem hareketiyle eklem değişkenleri meydana gelecektir. Eklem değişkenleri ifade edilirken eklem türü eğer döner eklemse θ , eğer prizmatik eklemse d ile gösterilir. Numaralandırılması ise eklem numarasına göre yapılır, kaç nolu eklemden bulunuyorsa yanına o numara yazılır. Bu bilgiler ışığında çizilerek Şekil 3.25'te görünen kinematik diyagram elde edilmiştir.



Şekil 3.23. Robot manipulatörün tamamlanmış kinematik diyagramı

“ $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ ” ifadeleri, bulundukları eklem üzerinde o eklem çubuk uzunluğunu ifade eder. Birinci eklem prizmatik eklemdir ve eklem değişkeni d_1 ile gösterilir. Sonraki eklemlerdeki değişkenler sırasıyla θ_2, θ_3 ve θ_4 ifadelerini alır. Kinematik diyagram kontrol edilirken, çubuk uzunlukları belirtilip belirtilmediği kontrol edilir. Sonra eklem değişkenlerinin ifade edilip edilmediğine bakılır. Eğer hepsi gösterilmiş ise o zaman kinematik diyagram tamamlanmıştır.

Kinematik diyagram üzerinde koordinat eksenleri hiçbir zaman rastgele gösterilmez, tümü bir sıra kural ile tayin edilir. Denavit-Hartenberg kuralları bu eksenleri ve koordinat çerçevelerinin konumlandırılmasını kolaylaştırır. Jacques Denavit ve Richard Hartenberg tarafından 1955 yılında koordinat çerçevelerinin yerleştirilmesini standartlaştırmak için tanımlanmıştır. Denavit-Hartenberg kuralları 4 tanedir, bunlar:

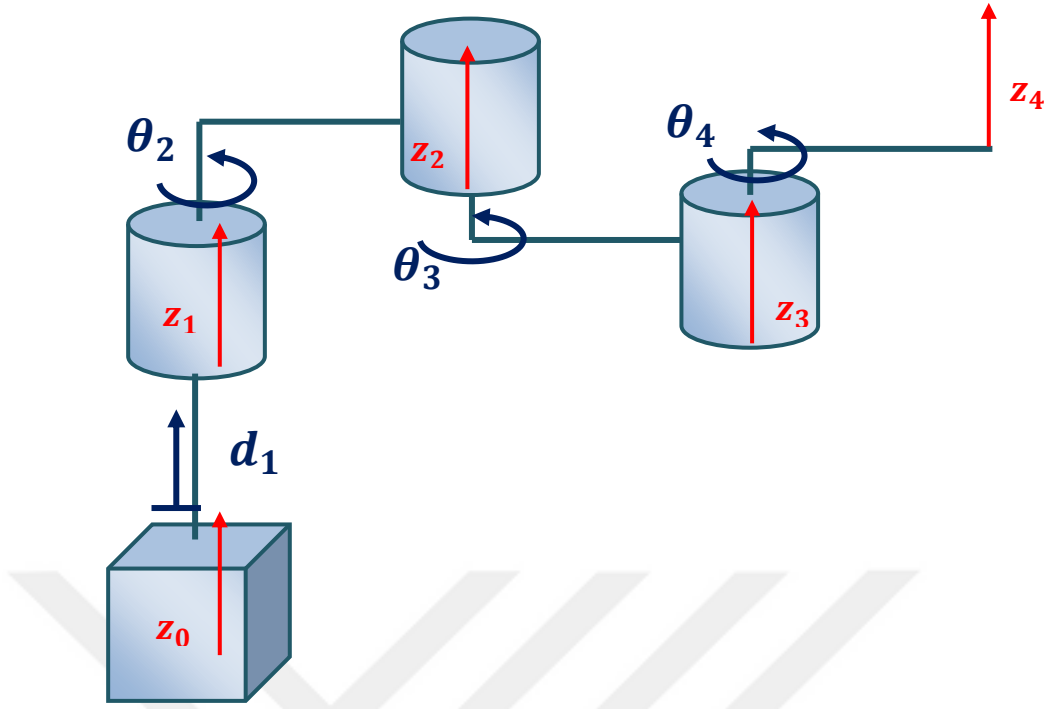
Kural 1: Döner eklem için dönme eksenini, prizmatik eklemden ise hareket eksenini z eksenini olarak alınmalıdır.

Kural 2: X eksenini, hem kendi bulunduğu çerçevedeki z eksenine, hem de kendinden önceki z eksenine dik olmalıdır.

Kural 3: Y eksenini sağ el kuralıyla bulunmalıdır.

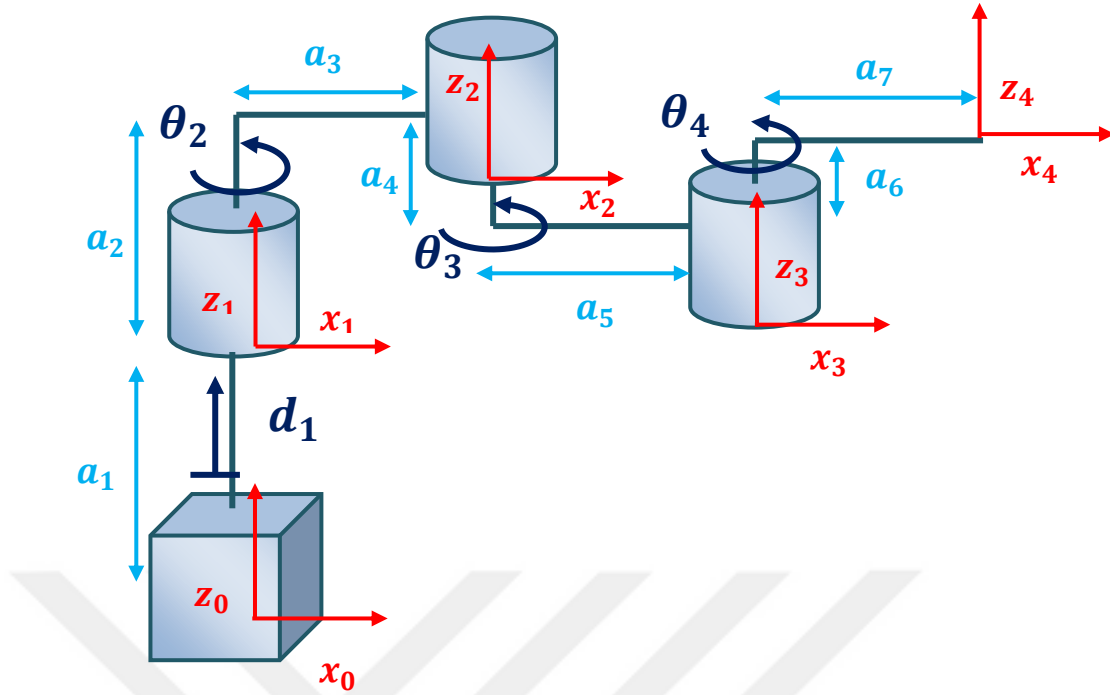
Kural 4: X ekseninin uzantısı ile kendinden önceki z ekseninin uzantısı kesişmelidir. Bu dördüncü kural koordinat eksenlerinin kontrolü için kullanılır. Şayet koordinat çerçeveleri bu kurala uymazsa yapılan koordinat tayinlerinin gözden geçirip revize edilmesi gerekir. Bu kuraldan geçmeyen koordinat sistemi kullanılamaz.

Koordinat çerçevelerinin de numaralandırılması gerekir. Numaralandırmaya başlarken, zemine bağlı olan eklemle başlanır. Bu eklem üzerinde bulunan koordinat çerçevesi ana çerçeve olarak nitelendirilir ve 0 numaralı çerçeve olarak belirtilir. Sonraki eklemlere yerleştirilen çerçeveler ise sırasıyla numara arttırarak devam eder ve son koordinat çerçevesi uç efektörüne aittir. Kural 1 kullanarak z eksenlerinin tayin edilmesi Şekil 3.26'da görülmektedir.



Şekil 3.24. Denavit-Hartenberg kurallarına göre z eksenlerinin bulunması

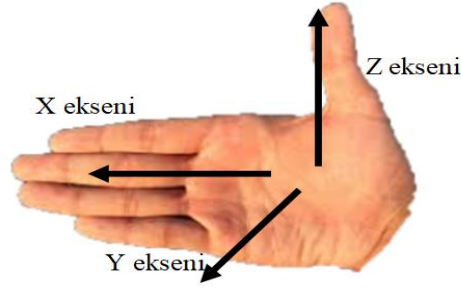
Z eksenleri belirtilirken tayin edilen yönler tamamıyla bizim tarafımızdan yapılan tercihtir. Herhangi bir eklem üzerine yerleştirilen z ekseni vektörü aynı işlem için ters yönde seçilse de doğru olur. Önemli olan şart Denavit-Hartenberg kural 1 kriterlerinin sağlanmasıdır. Çoğunluk olarak aynı yön tercih edilmesinin nedeni kinematik hesaplamalar için kolaylık sağlaması içindir. X eksenlerinin yerleştirilmesi için Denavit-Hartenberg'in ikinci kuralının uygulaması Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



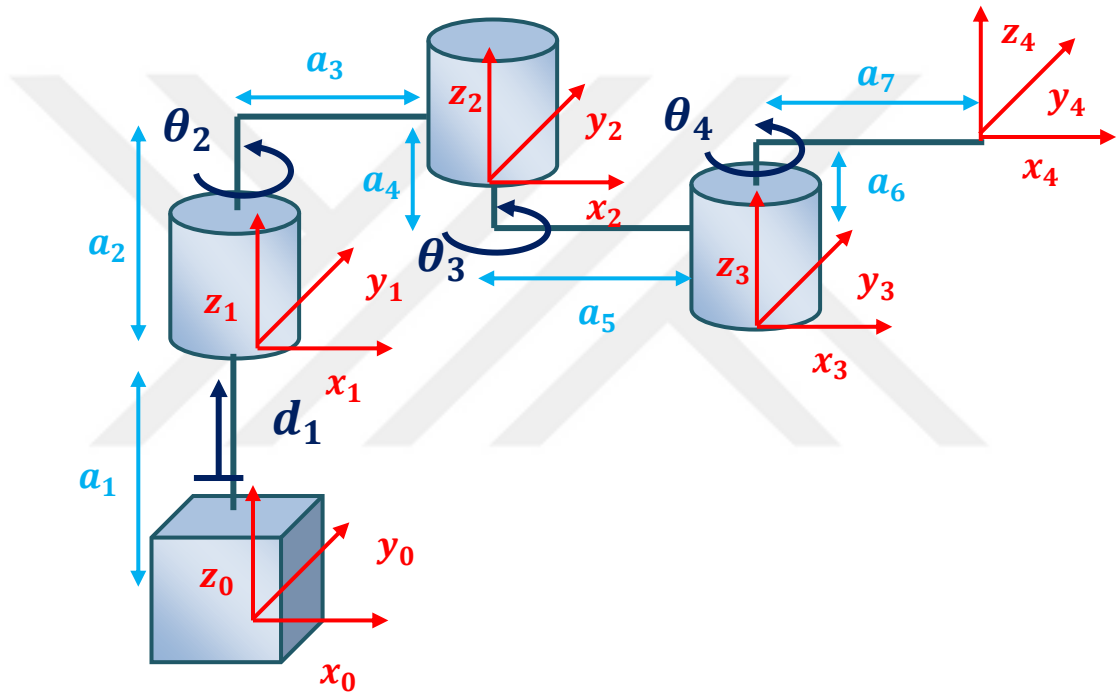
Şekil 3.25. Denavit-Hartenberg kurallarına göre x eksenlerinin bulunması

Denavit-Hartenberg'in ikinci kuralı gereğince x_1 eksen, z_1 ile z_0 eksenlerine dik olacaktır. Aynı şekilde x_2 eksen, z_2 ve z_1 eksenlerine, x_3 eksen, z_3 ile z_2 eksenlerine, x_4 eksen ise z_4 ve z_3 eksenlerine dik olacaktır. Hesaplama kolaylığı olması açısından mümkün olduğu kadar (Kural 2 için tanımlı sınırlar içinde) x eksenleri aynı yönde alındı.

Kural 3 için herhangi bir alternatif seçenek oluşturma ihtimali bulunmamaktadır. Yani y eksen seçimini istenilen doğrultuda yapmak mümkün değildir. Y eksen diğer iki eklemin seçimine bağlı olarak sağ el kuralıyla bulunacaktır. Bu nedenle diğer iki kuralda belirtilen ifadelerin doğrultusunda y eksen tayin edilecektir. Sağ el kuralının uygulanış prosedürü Şekil 3.28'de görülmektedir. Koordinat çerçeveleri tanımlanmış olan diyagram Şekil 3.29'da gösterilmiştir.

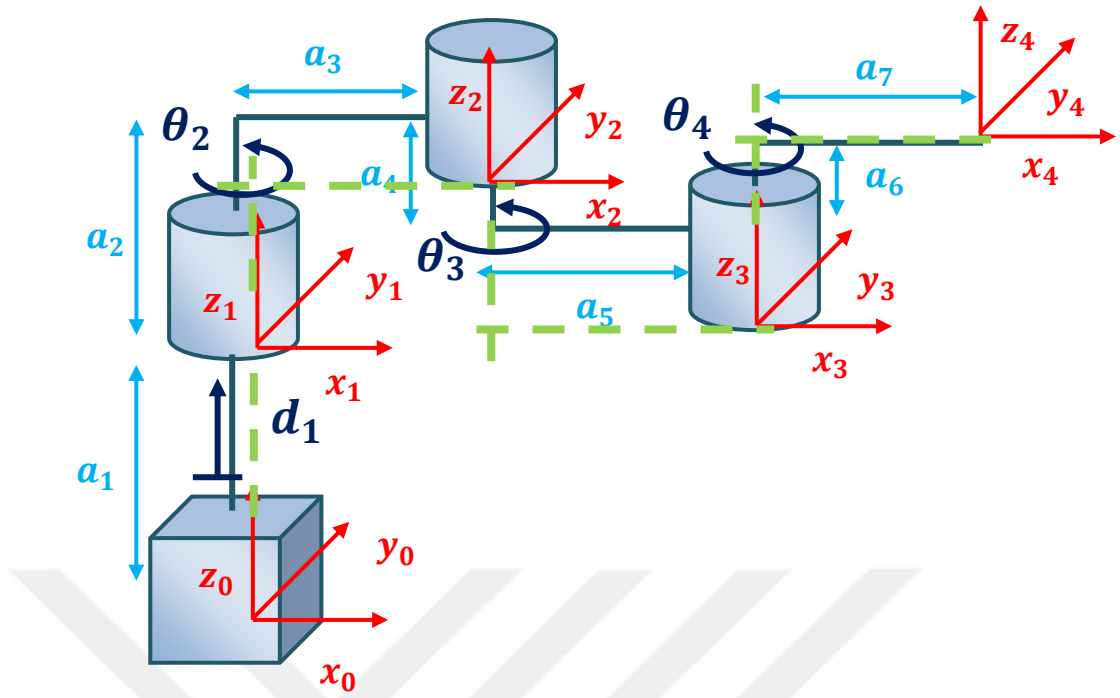


Şekil 3.26. Eksenlerin koordinasyonunda sağ el kuralı uygulanış şekli



Şekil 3.27. Sağ el kuralı uygulanarak y eksenlerinin bulunması

Kural 3'e göre tüm koordinat çerçeveleri bulunmuştur. Bu çerçevelerin doğruluğunu kontrol etmek için Kural 4'e bakılmalıdır. Kural 4'e göre x ekseninin uzantısı, kendinden önceki z ekseninin uzantısıyla kesişmelidir. Dolayısıyla x_1 eksenini ile z_0 ekseninin uzantıları kesişmelidir. Aynı şekilde x_2 ile z_1 eksenlerinin, x_3 ile z_2 eksenlerinin, x_4 eksenini ile z_3 eksenlerinin uzantıları kesişmelidir. Kural 4 uygulanışı Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.28. Bulunan koordinat çerçevelerinin Denavit-Hartenberg kural 4'e göre kontrol edilişi

Kural 4 'e göre kinematik zincirin doğruluğu ispatlanmıştır. Artık kinematik analiz için bu kinematik zincir kullanılabilecektir.

3.3.2. Konum analizi

Eklem hareketleriyle uç efektörde olan değişimlere dikkat edelim. Her hareket ettiğinde uç efektörde 2 şeyin değiştiği görülecektir:

1. Pozisyon değişikliği
2. Oryantasyon değişikliği (dönmeyi, yönelmeyi ifade eder.)

Robot hareket ettiğinde uç efektörde hem pozisyon hem de oryantasyon değişikliği meydana gelir. Bu da demektir ki bir robotu kontrol ederken sadece pozisyonu yakalamak yetmez, doğru oryantasyonu da elde etmek gereklidir.

Örneğin boyama robotu ele alınırsa, pozisyon bilgisiyle robotu konuma gönderirken boyamayı yapacağı doğrultuyu da ifade etmek gereklidir. Ancak bu şekilde uç efektör kullanılabilir. Robotik çalışmalarda bu iki şeyi göstermenin metotları vardır. Bunlar :

Pozisyon → Öteleme vektörü

Oryantasyon → Dönme matrisi

3.3.2.1. Dönme matrisi

Üç boyutlu uzayda bir noktanın herhangi bir koordinat sistemine göre konumunun yanında yönelimi de tanımlanır. Yönelim (yani oryantasyon), bir koordinat sisteminin başka bir koordinat sistemine göre dönme miktarıdır ve 3x3 boyutlu bir matrisle ifade edilir. Dönme matrisi ifadesinin 0 ve 1 numaralı koordinat çerçevelerine göre tanımı Şekil 3.31’de gösterilmiştir.

$$R_1^0 = \begin{bmatrix} X_1 \text{ in } X_0 \text{ üzerine iz düşümü} & Y_1 \text{ in } X_0 \text{ üzerine iz düşümü} & Z_1 \text{ in } X_0 \text{ üzerine iz düşümü} \\ X_1 \text{ in } Y_0 \text{ üzerine iz düşümü} & Y_1 \text{ in } Y_0 \text{ üzerine iz düşümü} & Z_1 \text{ in } Y_0 \text{ üzerine iz düşümü} \\ X_1 \text{ in } Z_0 \text{ üzerine iz düşümü} & Y_1 \text{ in } Z_0 \text{ üzerine iz düşümü} & Z_1 \text{ in } Z_0 \text{ üzerine iz düşümü} \end{bmatrix}$$

Şekil 3.29. Dönme matrisi ifadesinin 0 ve 1 numaralı koordinat çerçevelerine göre tanımı

“ R_1^0 ” ifadesi; çerçeve 1’in çerçeve 0 içinde veya çerçeve 1’in, çerçeve 0’a göre nasıl döndüğünü ifade eder. Diğer ardışık koordinat çerçevelerinin birbirine göre dönmesi R_2^1 , R_3^2 , R_4^3 ifadeleriyle gösterilir. Uç efektörünün (4 nolu koordinat çerçevesi), zemine (0 nolu koordinat çerçevesi) göre dönme ifadesi olan R_4^0 ’ü ifade etmek için; $R_1^0 * R_2^1 * R_3^2 * R_4^3 = R_4^0$ çarpımları yapılır.

Çerçeve 1, çerçeve 0’a göre x eksen, y eksen veya z eksen etrafında dönebilir. Dönme matrislerinden X ekseninde dönmeyi tanımlayan ifade R_X ile, y ekseninde R_Y ile ve z ekseninde ise R_Z ile gösterilir. Bu ifadelerin arasında kalan dönüşler, bunların kombinasyonu olarak düşünülecektir. Bu kombinasyon ifadeleri, dönme matrislerini sırayla çarparak elde edilir. Mesela önce x yönünde 30 derece döndürülüp, daha sonrada y ekseninde 60 derece döndürüldü ifadesi; x yönünde 30 derece döndürülmeyi ifade eden dönme matrisleri ile y ekseninde 60 derece döndürülmeyi ifade eden matris çarpılarak elde edilir. R_X , R_Y ve R_Z matrisleri 3.1, 3.2 ve 3.3 numaralı denklemlerde gösterilmiştir.

$$R_X(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$R_Y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$R_Z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Bu işlem robota uygulanırken, eklem hareketleri henüz gerçekleşmeden koordinat sistemlerinin birbirine göre ilk durumları analiz edilmelidir. Bu ifade birim uzunluktan oluşan iki koordinat çerçevesinin birbirine göre durumu olarak düşünülür. Neticede birim matrisli dönme matrisi ortaya çıkar. İşlem olarak koordinat çerçevelerinin, numara sırasıyla küçük olanı referans alınıp, diğer çerçevenin, küçük çerçeve eksenleri üzerine dik izdüşümü incelenir ve 3x3 dönme matrisi elde edilir. Böylece daha eklemler dönmeden aralarında mevcut bulunan oryantasyon bilinmiş olur.

Dönme ifadesi tanımlanırken, birim uzunluklardan elde edilen oryantasyon matrisi üzerinde diğer dönme işlemleri tanımlanır. Daha önce de ifade edildiği gibi, x ekseninde meydana gelen dönmeleri R_x ile, y ekseninde meydana gelen döndürme R_y ile, z ekseninde meydana gelen dönme ise R_z matrisi ile çarpılarak bulunur. Bu çarpım ifadesi için z ekseninde döndüğünü varsayalım. R_z matrisini elimizde bulunan birim uzunluklu oryantasyon matrisinin sağına veya soluna rastgele yazıp çarpamayız. Bu ifadelerde işlem sonucu aynı çıkmayabilir. Doğru işlem için kinematik olarak analiz ile devam edilmelidir.

0 ve 1 nolu çerçeveler incelenecek olursa; aynı dönme ifadesi 0 nolu çerçevede z ekseninde iken, 1 nolu çerçevede y eksenine denk gelebilir. Bu durumda aynı dönme ifadesi hem R_y , hem de R_z çarpımlarıyla elde edilebilmesi gerekir. Ama ikisini de birim uzunluklu oryantasyon matrisiyle sağdan çarpım yaparsak sonuçlar farklı çıkacaktır. Kinematik açıdan bu durumun izahı şöyledir:

Eğer önceki koordinat çerçevesine göre döndü kabul edilirse, dönme ifadesi olan R matrisi soldan çarpılır. Yani örnekteki durumda çerçeve 0'a göre dönüyor denilirse z ekseninde meydana gelen dönme için R_z matrisi alınır ve birim uzunluklu oryantasyon matrisinin soluna yazılıp çarpılır.

Şayet sonraki koordinat çerçevesi etrafında döndü kabul edilirse, dönme ifadesi olan R matrisi sağdan çarpılır. Yine örnekteki durumda çerçeve 1'e göre y ekseninde meydana gelen dönme için R_y matrisi, birim uzunluklu oryantasyon matrisinin sağına yazılıp çarpılır. Her iki durumda da sonuç değişmeyecektir. Robotik hesaplamalarımızda biz ilk olan metodu, yani önden çarpmalı olanı (önceki ekleme göre yazılan ifadeyi) tercih ettik.

Kinematik diyagramda eklemler belirlenirken, kurallar çerçevesinde aynı yönlü tercihler yapılmıştı. Sonuçta koordinat çerçevelerinin tümü birbirine paralel ve aynı oryantasyonda olan bir kinematik sistem meydana gelmişti. Bu sayede sıfır dereceli oryantasyon matrislerinin hepsi birim matris olarak elde edilir.

0 numaralı eklem prizmatik eklem olduğu için dönme ifadesi meydana getirmez. R çarpım matrisi birim matris olur, çünkü eklem hareketi dolayısıyla bir oryantasyon değişimi olmaz. Öyle ise R01 işleminde iki adet birim matrisin birbiriyle çarpımı sonucunda yine birim matris elde edilecektir. Diğer eklemlerin hesaplarında ise ön çarpım ile matrisler bulunmuştur. Birim uzunluklu oryantasyon matrislerinin hepsi birim matris olduğu için çarpım sonuçları aynı kalmıştır. Sonuçlar 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7 numaralı denklemlerde gösterilmiştir.

$$R_1^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

$$R_2^1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$R_3^2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$R_4^3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

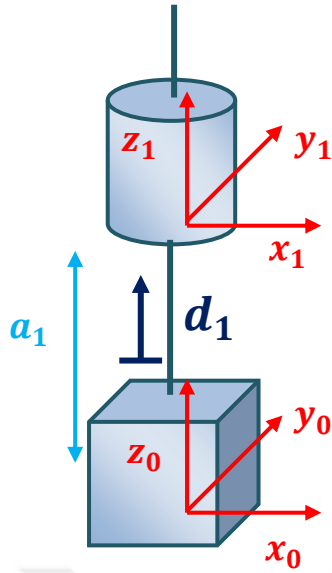
3.3.2.2. Öteleme vektörü

Bir nokta, evrensel çerçeve içerisinde herhangi bir yere konumlandırılabilir. Üç boyutlu uzayda bir nokta, koordinat sistemlerinin merkezine göre tanımlanmış 3 x 1 boyutlu bir vektör ile gösterilebilir. İki nokta arasındaki mesafeyi tanımlarken, noktaların merkezinde tanımlanmış olan koordinat çerçeveleri kullanılır. 0 ve 1 nolu koordinat çerçevelerinin arasındaki mesafeyi ifade etmek için displacement manasında kısaltma olan d_1^0 kısaltması kullanılır. “ d_1^0 ” tanımının yapılması için x_1 ekseninin x_0 eksenine olan uzaklığı, y_1 ekseninin y_0 eksenine olan uzaklığı, z_1 ekseninin z_0 eksenine uzaklığı parametrelerine bakılır. Bu uzaklıklar 0 nolu çerçeveye göre pozitif ya da negatif olabilir, burada esas aldığımız kıstas 0 nolu çerçevenin eksenidir. Öteleme vektörü tanımlarken, dönme matrisinde yapıldığı gibi 0 dereceli bir oryantasyon kullanılmaz. Şekil 3.32’de öteleme vektörü ifadesi, 0 ve 1 nolu koordinat sistemlerine göre gösterimi yapılmıştır.

$$d_1^0 = \begin{bmatrix} \text{çerçeve 1 merkezi ile çerçeve 0 merkezinin arasındaki } x_0 \text{ yönündeki mesafe} \\ \text{çerçeve 1 merkezi ile çerçeve 0 merkezinin arasındaki } y_0 \text{ yönündeki mesafe} \\ \text{çerçeve 1 merkezi ile çerçeve 0 merkezinin arasındaki } z_0 \text{ yönündeki mesafe} \end{bmatrix}$$

Şekil 3.30. Öteleme vektörü ifadesinin 0 ve 1 numaralı koordinat çerçevelerine göre tanımı

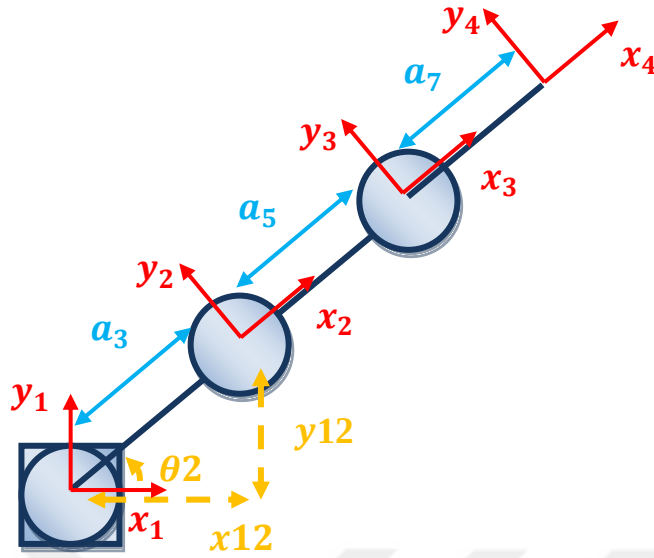
Ardışık iki eklem arasında, küçük koordinat çerçeve numarasına sahip eklem hareketi sonucu pozisyon değişikliği meydana geliyorsa, eklem değişkenlerinin etkisi de hesaba katılması istenir. Önceki eklem bir miktar hareket ettirilip, 2 eklem arasındaki konum vektörü değişkenler cinsinden tanımlanır. Prizmatik eklemlerde, eklem öteleme hareketi yaptığı için orada eklem değişkeni olan “ d_1 ” ifadesi mesafe olarak toplanır. İlk mafsal hareket ettirilerek, 0 ve 1 nolu çerçevelerin arasında öteleme vektörü bulunması Şekil 3.33’de gösterilmiştir.



Şekil 3.31. 0 ile 1 nolu koordinat çerçeveleri arasında öteleme vektörünün bulunması

$$d_1^0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ a_1 + d_1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

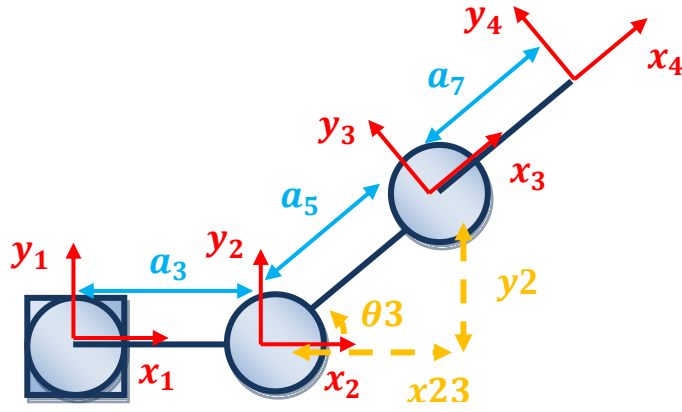
“ d_1^0 ” matrisi denklem 3.8’de görüldüğü gibi elde edilmektedir. İkinci eklem bir döner mafsaldır. Eklem hareketiyle birlikte kendisinden sonraki mafsalın pozisyonunu yorumlayabilmek için mafsal hareket ettirilip, üst görünüşten incelenecektir. İkinci eklemi hareket ettirip, 1 ve 2 nolu çerçevelerin arasında öteleme vektörü bulunması Şekil 3.34’te gösterilmiştir.



Şekil 3.32. 1 ve 2 nolu koordinat çerçeveleri arasında öteleme vektörünün tanımlanması

$$d_2^1 = \begin{bmatrix} a_3 * \cos \theta_2 \\ a_3 * \sin \theta_2 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

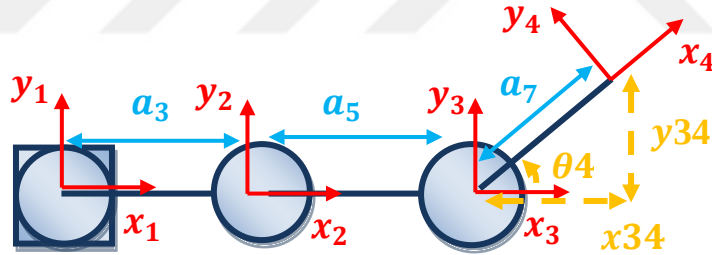
“ d_2^1 ” matrisi denklem 3.9’da olduğu şekilde elde edilmektedir. Benzer uygulamalar olduğu için 3. ve 4. eklemler de aynı şekilde hareket ettirilip öteleme vektörlerinin bulunması Şekil 3.35 ve Şekil 3.36’da gösterilmiştir.



Şekil 3.33. 2 ve 3 nolu koordinat çerçeveleri arasında öteleme vektörünün tanımlanması

$$d_3^2 = \begin{bmatrix} a_5 * \cos \theta_3 \\ a_5 * \sin \theta_3 \\ -a_4 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

“ d_3^2 ” matrisi denklem 3.10’da olduğu şekilde elde edilmektedir.



Şekil 3.34. 3 ve 4 nolu koordinat çerçeveleri arasında öteleme vektörünün tanımlanması

$$d_4^3 = \begin{bmatrix} a_7 * \cos \theta_4 \\ a_7 * \sin \theta_4 \\ a_6 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

“ d_4^3 ” matrisi denklem 3.11’de olduğu şekilde elde edilmektedir.

Genel olarak 2 çerçeve arasındaki pozisyon ve oryantasyon ilişkisi tek bir matrisle ifade edilmek istenir. Dönme matrisleri pozisyon bilgisi vermez, öteleme vektörleri ise 3x1 formunda olduğundan $d_1^0 * d_2^1 * d_3^2 * d_4^3 = d_4^0$ ifadesini sağlamaz. Yani uç efektörünün zemin çerçeveyle arasındaki ilişkinin, öteleme vektörlerinin çarpımı sonucu elde edilmesi mümkün değildir.

Bu nedenle hem yönelimi (oryantasyonu) hem de pozisyonu ifade etmek için bu iki karakteristiği de içeren 4x4 bir matris oluşturulur. Bu matrise homojen transformasyon matrisi veya dönüşüm matrisi denir. T_1^0 (veya H_1^0 olarak ifade edilir) ifadesi bize çerçeve1'in, çerçeve 0'a göre hem konumunu, hem de oryantasyonunu ifade eder. Transformasyon matrisinin 0 ve 1 numaralı koordinat çerçeveleri için oluşturulma sistematığı Şekil 3.37'de gösterilmiştir.

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} R_1^0 & d_1^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Şekil 3.35. Transformasyon matrisin 0 ve 1 numaralı koordinat çerçevelerine göre tanımı

Elimizde 3x3 ve 3x1 olarak 2 adet matris bulunmaktadır. 4x4 bir matris elde edebilmek, yani homojen dönüşüm matrisini bulma işlemi için bir kuralımız bulunmaktadır. 3x3'lük dönme matrisinin yanına 3x1'lik öteleme vektörü yerleştirip 4 sütunlu 3 satırlı bir düzenleşim elde ederiz. Bu ifadenin 4. satırı olarak ilk üç sütununa sıfır ve son sütununa bir gelecek şekilde bir satır eklenir. Böylece homojen dönüşüm matrisi elde edilmiş olunur. Buradaki son eklenen 1 değeri skala faktörü olarak tanımlanır. Farklı değerler alınması mümkündür, genellikle 1 alınır. Biz kendi çalışmamızda skala faktörünü 1 aldık.

3.3.2.3.İleri kinematik

İleri kinematik; joint değişkenlerinin hareket miktarlarını girerek, bu değerlerin sonucunda meydana gelen pozisyon ve oryantasyonun elde edildiği kinematik hesaplamalara denir. Transformasyon matrisler ileri kinematik denklemleridir. Hesaplamalar bu matrislerle yapılır. Uç efektör çerçevesinin zemin çerçevesine göre ileri kinematik denklemi $T_1^0 * T_2^1 * T_3^2 * T_4^3 = T_4^0$ işlemleri ile bulunur. Bu işlemdeki T_1^0 , T_2^1 , T_3^2 , T_4^3 matrisleri sırasıyla 3.12, 3.13, 3.14 ve 3.15 nolu denklemlerde ifade edilmiştir.

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a_1 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & a_3 * \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & a_3 * \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & a_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & a_5 * \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & a_5 * \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & -a_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_4 & -\sin \theta_4 & 0 & a_7 * \cos \theta_4 \\ \sin \theta_4 & \cos \theta_4 & 0 & a_7 * \sin \theta_4 \\ 0 & 0 & 1 & a_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Çarpma işlemini yaparken işlemleri sırayla yapmak işlemi kolaylaştıracaktır. Denklem (3.16), (3.17) ve (3.18) sırasıyla işlem sırasını göstermektedir.

$$T_1^0 * T_2^1 = T_2^0 \quad (3.16)$$

$$T_2^0 * T_3^2 = T_3^0 \quad (3.17)$$

$$T_3^0 * T_4^3 = T_4^0 \quad (3.18)$$

T_4^0 matrisinin 4. sütununun 1, 2 ve 3. elemanları uç efektörünün koordinatlarını belirlerken, sol üstte 3x3'lük matris ise uç efektörün oryantasyonunu gösterir. Bu tanım, Şekil 3.38'de ifade edilmiştir.

$$T_4^0 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Şekil 3.36. Transformasyon matrisinin şematik gösterimi

p_x , p_y ve p_z ifadeleri uç efektörünün x, y ve z koordinatlarıdır.

3.3.2.4. Ters kinematik

Ters kinematik, robotik çalışmalarda en çok kullanılan hesaplama türüdür. İstenilen pozisyon ve oryantasyon verildiğinde, her ekleme ait açısal hesaplamaları yapan matematiksel ifadeyi türetmeye yarar.

İki çeşit ters kinematik hesaplama metodu vardır. Bunlar analitik ve grafik yöntemlerdir. 3 serbestlik dereceli düzene sahip manipülatörlerde grafik yöntem daha kolay bir tercih olabilirken, daha fazla serbestlik derecesi için analitik yöntem kullanımı tercih edilir.

Analitik yöntemin kullanımında lineer özdeşliklerden yararlanılarak denklem sistemi oluşturulur. İşlem protokolü olarak ise T_1^0 matrisinin tersi alınarak başlanır. 4x4'lük bir matrisin tersini almak oldukça zordur. Bu nedenle bilgisayar destekli yazılımlar kullanılarak yapılır. Tezin matematiksel denklem işlemlerinde Mathcad programı kullanılmıştır. Bir matrisin tersi ile kendisinin çarpımı birim matrisi verir. Denklem sistemi elde edilirken bu mantık kullanılır. $T_1^0 * T_2^1 * T_3^2 * T_4^3 = T_4^0$ ifadesi kullanılıp, $(T_1^0)^{-1}$ ifadesi her iki tarafla da çarpılır. Bu sırada T_0^4 ifadesi için Şekil 3.38'de gösterilen şematik gösterim matrisi kullanılır ve bu ifadeden denklem türetilmeye çalışılır. İfade edilen işlem denklem 3.19'da gösterilmiştir.

Denklem sistemi:

$$(T_1^0)^{-1} * T_4^0 = (T_1^0)^{-1} * T_1^0 * T_2^1 * T_3^2 * T_4^3 \quad (3.19)$$

$(T_1^0)^{-1} * T_4^0 = I$ özdeşliği denklem 3.19 'da yerine koyularak denklem 3.20 elde edilir.

$$(T_1^0)^{-1} * T_4^0 = T_2^1 * T_3^2 * T_4^3 \quad (3.20)$$

Mathcad programı kullanılarak denklemin her iki tarafının işlemleri yapıp karşılaştırılacaktır. Bulunan matris işlem basamakları (3.21), (3.22), (3.23) numaralı denklemlerde ifade edilmiştir.

$$(T_1^0)^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & a_1 - d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$(T_1^0)^{-1} * T_4^0 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z - d_1 - a_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$T_2^1 * T_3^2 * T_4^3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & -\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & 0 & \cos(\theta_2) * a_3 + \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) * a_7 + \cos(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \\ \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & 0 & \sin(\theta_2) * a_3 + \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) * a_7 + \sin(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \\ 0 & 0 & 1 & a_2 - a_4 + a_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Uç efektörünün pozisyonu p_x , p_y ve p_z iken oryantasyonu $\theta_{uç}$ yani $(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$ tür. Bu değerler biliniyor kabul edilip ters kinematik çözümüne gidilir. Denklem 3.22 ve 3.23 içinde yer alan karşılıklı satır ve sütun değerleri birbirine eşit olacaktır. Denklem sistemini elde etmek için ilk olarak 4. sütunların karşılıklı eşitliğiyle başlanır. Eşitlik denklemleri 3.24, 3.25, 3.26 numaralı denklemlerde ifade edilmiştir.

$$p_x = \cos(\theta_2) * a_3 + \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) * a_7 + \cos(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \quad (3.24)$$

$$p_y = \sin(\theta_2) * a_3 + \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) * a_7 + \sin(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \quad (3.25)$$

$$p_z - d_1 - a_1 = a_2 - a_4 + a_6 \quad (3.26)$$

3.24 ve 3.25 nolu denklemler bilinenler bir tarafa, bilinmeyenler diğer tarafa gelecek şekilde düzenlenirse 3.27 ve 3.28 elde edilir.

$$p_x - \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) * a_7 = \cos(\theta_2) * a_3 + \cos(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \quad (3.27)$$

$$p_y - \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) * a_7 = \sin(\theta_2) * a_3 + \sin(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \quad (3.28)$$

3.27 ve 3.28 nolu denklemlerin sol tarafındaki değerler bilinen değerlerdir. Sabit sayıya eşitleyip değişken dönüşümü yaparak hesaplama işlemi kolaylaştırılacaktır.

Bunun için kullanılacak değişkenler denklem (3.27) için X' ve denklem (3.28) için Y' şeklinde olacaktır, (3.29) ve (3.30) numaralı denklemlerle gösterilmiştir.

$$p_x - \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) * a_7 = X' \quad (3.29)$$

$$p_y - \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) * a_7 = Y' \quad (3.30)$$

3.29 ve 3.30 nolu denklemleri 3.27 ve 3.28 nolu denklemlerde yerine yazarak 3.31 ve 3.32 numaralı denklemler elde edilir.

$$X' = \cos(\theta_2) * a_3 + \cos(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \quad (3.31)$$

$$Y' = \sin(\theta_2) * a_3 + \sin(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \quad (3.32)$$

Denklemlerin çözümünü için $\theta_2 + \theta_3$ ifadesi yok edilmelidir. Bunun için de θ_2 bulunan ifadeleri denklemin sol tarafına atıp her iki tarafın da kareleri alınır. Bu işlem ile 3.33 ve 3.34 denklemleri elde edilir.

$$(X' - \cos(\theta_2) * a_3)^2 = (\cos(\theta_2 + \theta_3) * a_5)^2 \quad (3.33)$$

$$(Y' - \sin(\theta_2) * a_3)^2 = (\sin(\theta_2 + \theta_3) * a_5)^2 \quad (3.34)$$

3.33 ve 3.34 denklemlerindeki kare ifadelerinin açılımı yapılarak 3.35 ve 3.36 elde edilir.

$$(X')^2 - 2 * X' * \cos(\theta_2) * a_3 + \cos(\theta_2)^2 * a_3^2 = \cos(\theta_2 + \theta_3)^2 * a_5^2 \quad (3.35)$$

$$(Y')^2 - 2 * Y' * \sin(\theta_2) * a_3 + \sin(\theta_2)^2 * a_3^2 = \sin(\theta_2 + \theta_3)^2 * a_5^2 \quad (3.36)$$

Taraf tarafa toplayarak işleme devam edilir ve 3.37 elde edilir.

$$(X')^2 - 2 * X' * \cos(\theta_2) * a_3 + \cos(\theta_2)^2 * a_3^2 + (Y')^2 - 2 * Y' * \sin(\theta_2) * a_3 + \sin(\theta_2)^2 * a_3^2 = \cos(\theta_2 + \theta_3)^2 * a_5^2 + \sin(\theta_2 + \theta_3)^2 * a_5^2 \quad (3.37)$$

a_3^2 ve a_5^2 ifadelerine göre ortak paranteze alıp denklem 3.37 düzenlenir ve denklem 3.38 elde edilir.

$$(X')^2 - 2 * X' * \cos(\theta_2) * a_3 + [\cos(\theta_2)^2 + \sin(\theta_2)^2] * a_3^2 + (Y')^2 - 2 * Y' * \sin(\theta_2) * a_3 = [\cos(\theta_2 + \theta_3)^2 + \sin(\theta_2 + \theta_3)^2] * a_5^2 \quad (3.38)$$

3.38 nolu denklemde $(\sin\theta)^2 + (\cos\theta)^2 = 1$ özdeşliği kullanılacaktır. $\cos(\theta_2 + \theta_3)^2 + \sin(\theta_2 + \theta_3)^2 = 1$ ve $\cos(\theta_2)^2 + \sin(\theta_2)^2 = 1$ değerleri yerlerine yazıp yeniden düzenlenirse 3.39 nolu denklem elde edilir.

$$(X')^2 - 2 * X' * \cos(\theta_2) * a_3 + a_3^2 + (Y')^2 - 2 * Y' * \sin(\theta_2) * a_3 = a_5^2 \quad (3.39)$$

3.39 nolu denklemi düzenlersek denklem (3.40) elde edilir.

$$-2 * Y' * a_3 * \sin(\theta_2) - 2 * X' * a_3 * \cos(\theta_2) + (X')^2 + a_3^2 + (Y')^2 - a_5^2 = 0 \quad (3.40)$$

Bu durumda denklemin sağ tarafında bulunan $(X')^2 + a_3^2 + (Y')^2 - a_5^2$ değerleri bilinen ifadelerdir. Bilinen değerleri C'ye, $\cos(\theta_2)$ ve $\sin(\theta_2)$ ifadelerinin katsayılarını ise sırasıyla B ve A'ya eşitleyip değişken dönüşümü yapılacaktır, (3.41), 3.42 ve 3.43 denklemleriyle belirtilmiştir.

$$(X')^2 + a_3^2 + (Y')^2 - a_5^2 = C \quad (3.41)$$

$$-2 * X' * a_3 = B \quad (3.42)$$

$$-2 * Y' * a_3 = A \quad (3.43)$$

3.41, 3.42, 3.43 ile belirtilen dönüşümler denklem 3.40' ta yerine yazılıp düzenlenmesi sonucu denklem 3.44 elde edilir.

$$A * \sin(\theta_2) + B * \cos(\theta_2) + C = 0 \quad (3.44)$$

$\cos(\theta_2)$ ve $\sin(\theta_2)$ ifadelerinden oluşan bu denklem sistemini çözmek için birbirine dönüştürmek veya ortak türe dönüştürmek yöntemi kullanılabilir. Bu iki tür tanjant'a dönüştürülecek ve denklem düzenlenecektir. Öncelikle her taraf $\sqrt{A^2 + B^2}$ 'ye bölünecektir. Yeni şekli denklem 3.45 olacaktır.

$$\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}} * \sin(\theta_2) + \frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}} * \cos(\theta_2) + \frac{C}{\sqrt{A^2+B^2}} = 0 \quad (3.45)$$

İfadenin düzenlenmesi için değişken dönüşümü yapılmalıdır. Denklem 3.46 ve 3.47 'de tanımlanan özel fonksiyonlarla değişken dönüşümü yaparak denklem 3.48 'de yerine yazılır.

$$\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}} = \sin(\alpha) \quad (3.46)$$

$$\frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}} = \cos(\alpha) \quad (3.47)$$

$$\sin(\alpha) * \sin(\theta_2) + \cos(\alpha) * \cos(\theta_2) + \frac{C}{\sqrt{A^2+B^2}} = 0 \quad (3.48)$$

Kesirli ifade sağa kaydırılıp, trigonometrik toplam formülleri özdeşliği olan $\sin(\alpha) * \sin(\theta_2) + \cos(\alpha) * \cos(\theta_2) = \cos(\theta_2 - \alpha)$ ifadesi denklem 3.48'de yerine yazılırsa denklem 3.49 elde edilecektir.

$$\cos(\theta_2 - \alpha) = -\frac{C}{\sqrt{A^2+B^2}} \quad (3.49)$$

Denklem 3.49 ters trigonometrik fonksiyon olarak çözülürse denklem 3.50 elde edilir.

$$\theta_2 = \alpha + \arccos\left(-\frac{C}{\sqrt{A^2+B^2}}\right) \quad (3.50)$$

α ifadesini de katsayılar türünden tanımlamak gerekir. Bu ifadeyi ilk olarak getirdiğimiz 3.46 ve 3.47 nolu denklemleri kullanarak bu ifadeyi tanımlamalıyız.

$$\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}} = \sin(\alpha) \quad (3.46)$$

$$\frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}} = \cos(\alpha) \quad (3.47)$$

Her iki denklemi taraf tarafa bölerek denklem 3.51 elde edilir.

$$\frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \tan(\alpha) = \left(\frac{\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}}}{\frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}}} \right) \quad (3.51)$$

Denklem 3.51 ters trigonometrik olarak çözülürse denklem 3.52 elde edilir.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}}}{\frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}}}\right) \quad (3.52)$$

Bu ifadeyi 3.50 numaralı denklemde yerine yazarsak denklem 3.53 elde edilir.

$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}}}{\frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}}}\right) + \arccos\left(-\frac{C}{\sqrt{A^2+B^2}}\right) \quad (3.53)$$

Tekrar genişletilmiş olarak bu ifade güncellenir ve düzenleme yapılırsa θ_2 ifadesinin son şekli denklem 3.54' te ki gibi olacaktır.

$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{\frac{Y'}{\sqrt{X'^2+Y'^2}}}{\frac{X'}{\sqrt{X'^2+Y'^2}}}\right) + \arccos\left(\frac{-(X'^2+Y'^2+a_3^2-a_5^2)}{2*a_3*\sqrt{X'^2+Y'^2}}\right) \quad (3.54)$$

θ_3 'ün bulunuşu:

3.33 ve 3.34 şeklinde düzenlenmiş numaralı denklem sistemleri ele alınacaktır. Bu denklemlerde karesi alınmış ifadeler karesiz olacak şekilde denklem 3.55 ve 3.56 olarak belirtilmiştir.

$$Y' - \sin(\theta_2) * a_3 = \sin(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \quad (3.55)$$

$$X' - \cos(\theta_2) * a_3 = \cos(\theta_2 + \theta_3) * a_5 \quad (3.56)$$

Bu denklem sisteminin sol tarafında bulunan ifadeler, θ_2 değeri önceki aşamada bulunduğu için, bilinen değerlerdir. Her iki denklem sisteminde de sin ve cos ifadeleri yanındaki çarpan değerleri diğer tarafa gönderilir ve 3.57 ve 3.58 nolu denklemler elde edilir.

$$\frac{Y' - \sin(\theta_2) * a_3}{a_5} = \sin(\theta_2 + \theta_3) \quad (3.57)$$

$$\frac{X' - \cos(\theta_2) * a_3}{a_5} = \cos(\theta_2 + \theta_3) \quad (3.58)$$

Denklemler taraf tarafa bölünerek 3.59 ve 3.60 nolu denklemler elde edilecektir.

$$\frac{\sin(\theta_2 + \theta_3)}{\cos(\theta_2 + \theta_3)} = \frac{\frac{Y' - \sin(\theta_2) * a_3}{a_5}}{\frac{X' - \cos(\theta_2) * a_3}{a_5}} \quad (3.59)$$

$$\tan(\theta_2 + \theta_3) = \frac{\frac{Y' - \sin(\theta_2) * a_3}{a_5}}{\frac{X' - \cos(\theta_2) * a_3}{a_5}} \quad (3.60)$$

Denklem 3.60 ters trigonometrik fonksiyon ile düzenlenecek olursa 3.61 ve 3.62 nolu denklemler elde edilecektir.

$$\theta_2 + \theta_3 = \arctan\left(\frac{\frac{Y' - \sin(\theta_2) * a_3}{a_5}}{\frac{X' - \cos(\theta_2) * a_3}{a_5}}\right) \quad (3.61)$$

$$\theta_3 = \arctan\left(\frac{\frac{Y' - \sin(\theta_2) * a_3}{a_5}}{\frac{X' - \cos(\theta_2) * a_3}{a_5}}\right) - \theta_2 \quad (3.62)$$

θ_4 'ün bulunuşu:

Uç efektörünün oryantasyonu $\theta_{uç}$ yani $(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$ değeri biliniyor kabul edilir. Ters kinematik çözümde θ_4 değerini elde etmek için gerekli parametreler bilinmektedir. Denklem ifadesi 3.63'te görülmektedir.

$$\theta_{uç} = (\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) \quad (3.63)$$

Denklem 3.63'ten θ_4 değeri çekilirse denklem 3.64 elde edilir.

$$\theta_4 = (\theta_{uç} - \theta_2 - \theta_3) \quad (3.64)$$

d_1 'in bulunuşu:

Prizmatik eklem değişkeni olan d_1 değeri için 3.26 nolu denklemi düzenlenerek denklem 3.65 elde edilir.

$$p_z - d_1 - a_1 = a_2 - a_4 + a_6 \quad (3.26)$$

$$d_1 = p_z - a_2 - a_1 + a_4 - a_6 \quad (3.65)$$

ifadesi elde edilir.

3.4. Elektronik Donanım

3.4.1. Mach3 kartı

Mach3 kontrol kartları, bilgisayar bağlantısı ile mach3 veya mach4 olarak adlandırılan yazılımlar kurularak servo ya da step motorların nümerik yol ile çalıştırılması ve CNC router makinelerinin yapımı için kullanılırlar. Bu doğrultuda step ve servo motorları çalıştırmak için iki çeşit mach3 kontrol kartı bulunmaktadır. Bahsedilen kontrol kartları, bağlantı biçimlerine göre paralel mach3 kontrol kartları ve USB bağlantı mach3 kontrol kartlarıdır. Bunun için mach3 kartı üzerinde eksen pals ve yön çıkış portları bulunmaktadır. Mach3 kartından motor hareketi için üretilen sinyaller bu portlar aracılığıyla motor sürücüsüne dijital sinyal olarak aktarılmaktadır. Böylece bilgisayardaki Mach3 programından elde edilen hareket verileri, step/servo motor hareketlerine dönüştürülmektedir.

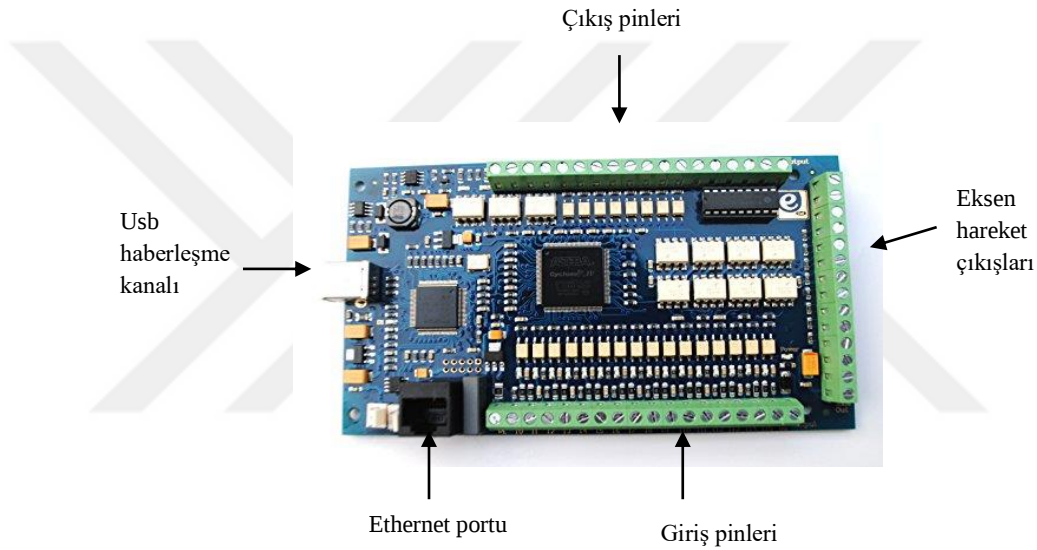
Mach3 kontrol kartları ile, eksenel hareketlerin yanı sıra spindle devri ayarlanabilir ve soğutucu açıp kapatılabilir, acil stop butonu, eksen sınır anahtarları ya da çevrimiçi jog modu için elektronik el çarkı gibi elektronik aksesuarlar da bağlanabilir. Bu işlemler için mach3 kartı üzerinde yer alan çeşitli giriş ve çıkış pinleri kullanılmaktadır. Kart üzerinde harici 24V besleme ile giren akım, kartın çeşitli yerlerinden 5V gerilim olarak çıkış vermektedir. Neticede kart üzerine yer alan 5V çıkış pinleri ve GND bağlantıları, sensor kullanımında gerekli olabilecek elektrik bağlantısı imkanı tanımaktadır.

Hareket kontrol kartı olarak E-cut 4 Axis motion (1 Mhz) controller kartı kullanılmıştır. Mach3 uyumlu olan bu kart hem usb, hem de ethernet bağlantısı ile bilgisayar haberleşmesi yapabilmektedir. Real time haberleşme imkânı sunan bu kartın servo ve step motor kullanımı için kullanışlı maksimum step-pals frekansı 800 Khz dir.

16 adet genel maksatlı giriş pini bulunduran kart üzerinde her pinin aktif ya da pasif olduğunu işaret eden bir gösterge ledi bulunmaktadır. 8 adet genel amaçlı çıkış

pininin yanında bir adet 0-10V arası çıkış verebilen analog output pini yer almaktadır. Ayrıca PID kontrol ile hız ayarı yapılan spindle motor için bağlantı çıkışları da yine 8 adet genel amaçlı çıkış pininin yanında yer almaktadır.

Usb bağlantısı ile kart haberleşmesi sağlanırken, bu esnada kart üzerindeki giriş ve çıkış pinlerinin aktif olmadığı görülür. Tüm pinlerin aktif edilmesi için kart üzerinde yere ala harici besleme portu aracılığıyla dışarıdan 12-24V gerilim uygulanmalıdır. Bu harici besleme portu output pinlerinin hemen yanında konumlandırılmıştır. Kart yerleşik düzeni Şekil 3.39’da gösterilmiştir.

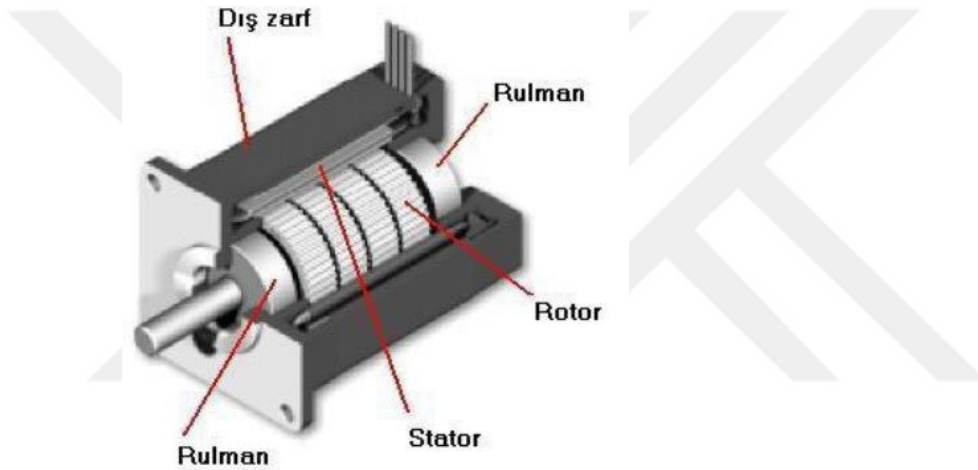


Şekil 3.37. Mach3 hareket kontrol kartı

Bu kontrolcü, çok kademeli mikro algoritması sayesinde dört eksenli eş zamanlı olarak kontrol edebilmektedir. Kullanıcı operasyon ile ilgili ayarlarını parametre ayarlarından yapabilir. Yine bu kontrol kartının en önemli fonksiyonlarından birisi manuel operasyon imkânı sunmasıdır. Bu sayede mekanik sıfıra dönme, koordinat operasyonlarını sıfırlama ve yine sıfır başlangıcına dönme gibi operasyonlara el ile müdahale edilebilir. Ayrıca Mach3 dizüstü bilgisayarlar ile de kullanılabilir.

3.4.2. Step motor ve sürücü

Step motorlara adım motorları da denilmektedir. Adım motorlarının tanımını yapacak olursak; Girişlerine uygulanan darbe sinyallerine karşılık olarak analog dönme hareketi yapan yani açısal konumu adımlar halinde değiştiren, fırçasız, sabit mıknatıs kutuplu DC motorlardır. Sabit mıknatıs kutuplar motorun hareketli kısmında yer alır. DC gerilimin uygulandığı sargıların bulunduğu kısım “stator”, dönen kısım ise “rotor” olarak isimlendirilir. Step motor aksamaları şematik olarak Şekil 3.40’da görülmektedir.



Şekil 3.38. Step motor aksamaları

Step motorların yapıları rotor, stator ve rulmanlardan oluşmaktadır. Rulmanlar, rotora bağlı şaftın rahat hareket etmesini sağlarlar. Statorun birden fazla kutbu vardır. Kutup sayısı motordan motora değişmektedir. Kutupların polaritesi elektronik anahtarlar vasıtasıyla sürekli değişir. Rotorun mıknatıslığı ya sabit mıknatıs ile ya da dış uyarım teknikleri ile meydana getirilir.

Step motorların yapmış olduğu adım açısı, motorun yapısına bağlı olarak 90, 45, 18, 7.5, 1.8° veya daha değişik açılarda olabilir. Ayrıca step motorlara uygulanan palslerin (sinyallerin) sırası değiştirilerek dönüş yönü belirlenir. Dönüş yönleri saat ibresi yönü (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilir. Step motorların

hassasiyetlerini mikro step tekniği ile düşürmek mümkündür. Step motorların bir devirdeki yapmış olduğu adım sayısı yükseldikçe hassasiyeti artar. Yan yana bulunan iki sargı aynı anda enerjilenerek yarım adım şeklinde çalıştırılabilir.

Step motorları “boyut 11”, “boyut 17”, “boyut 23” gibi boyutlarla kategorize edilirler. The National Electrical Manufacturers Association (Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği) step motorlar da dâhil bütün elektrikli ürünler için standartlar belirler. NEMA standartları step motorların boyutlarıyla ilgilidir. NEMA 17: 1.7 Inch kare, NEMA 23: 2.3 Inch karelik step motor oldukları anlamına gelmektedir.

Adım motorları geri besleme ihtiyacı göstermezler. Bu sayede açık döngülü olarak kontrol edilebilirler. Motor hareketlerinde konum hatası yoktur. Herhangi bir hasara yol açmadan defalarca durdurulup çalıştırılabilirler. Step motorların mekanik yapıları oldukça basit olduğundan bakım gerektirmezler. Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden bilgisayar veya mikroişlemci ile kontrol edilirler. Yüksek duyarlılık ve düşük devirde yüksek tutma torkuna sahiptirler.

Step motorların adım açıları sabit olduğundan hareketleri sürekli değil darbelidir. Çok yüksek hızlarda kolaylıkla kontrol edilemezler. Sürtünme kaynaklı yükler, açık döngülü kontrolde konum hatası meydana getirirler. Adım motorlarında elde edilebilecek güç ve moment sınırlıdır. Step motorlar, DC ve Servo motorlara göre daha karmaşık sürücü devrelerine ihtiyaç duyabilirler. Yüksek eylemsizlikli yüklerde yetenekleri sınırlıdır. Step motorlar iyi kontrol edilmezse rezonans meydana gelebilir.

Sabit mıknatıslı step motorlar kendi içlerinde dörde ayrılırlar:

- İki fazlı sabit mıknatıslı iki fazlı step motor
- Orta uçlu sargılara sahip sabit mıknatıslı step motor
- Disk tipi sabit mıknatıslı step motor
- Dört fazlı sabit mıknatıslı adım motor

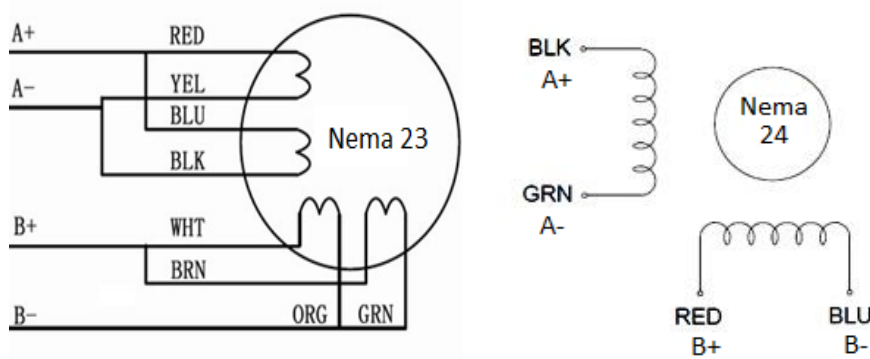
İki fazlı step motorlarda iki farklı bobin sarım tipi vardır:

Unipolar Step Motor:

Unipolar step motorlar tek yönlü beslemeye sahip olup akımın tek yönde iletildiği motorlardır. Bu tip motorlarda 4 bobin bulunur. Unipolar motorların kablolarından birisi ortak uç (negatif) olarak kullanılır. Kolay sürülebilmelerine karşın her bir adımda sadece fazlardaki sarımların yarısı aktif olacağından sağlayacağı maksimum tork elde edilemez.

Bipolar Step Motor:

Bipolar motorların sarımlarında ortak uç bulunmaz ve her fazı ayrı ayrı sürmek gerekir. İki yönlü beslenirler ve akım her iki yönden de akar. Daha karmaşık sürücü yapısına ihtiyaç duymalarına karşın, her fazdaki sarımların tamamı kullanıldığından motorun verebileceği torkun tamamı kullanılabilir. Çalışmada kullandığımız step motorlar bu çeşit step motorlardır. Lineer eklem, omuz eklemi ve dirsek eklemi için Nema23 8 kablolu step motor kullanılırken, bilek eklemi için Nema24 4 kablolu step motor kullanılmıştır. Sargı şekilleri Şekil 3.41’de görülmektedir (KIZILTAŞ, 2016), (Semiz, 2018).



Şekil 3.39. 8 kablolu ve 4 kablolu step motor sargı şekilleri

Step motor sürücüsü :

Step motor sürücüsü olarak CWD556 bipolar step motor sürücü kullanılmıştır. Yeni nesil dijital 2 fazlı step motor sürücüsü olan tasarım, rezonans karşıtı, daha doğru mikro adım kombinasyonunu, 32-bit DSP işlemci mimarisi kullanılarak gerçekleştirilir. Bu teknoloji step motorun performansını önemli ölçüde artırır ve düşük gürültüye, düşük titreşime, düşük sıcaklık artışına ve yüksek torka sahiptir.

32 bit DSP işlemci, elle uyarlamaya gerek olmadan çevrimiçi adaptif PID (Orantılı Integral Türev) teknolojisinin kullanılmasına izin veren karmaşık algoritmaların uygulanmasına izin verir. Farklı kademeli motorlar için otomatik olarak en uygun parametreleri oluşturabilir ve en iyi performansı elde edebilir. Bu üst düzey işlem gücü, sürücünün yukarıda açıklanan daha iyi performans ve özellikler için izin veren farklı adımların özelliklerini adapte etmesini ve öğrenmesini sağlar. Tavsiye edilen 36 ~ 38 Volt ile 24 V DC'den 50 V DC'ye besleme gerilimi aralığı, 5.6 A'nın altında faz akımı olan çeşitli 2-fazlı hibrid step motorları çalıştırmak için uygundur. 100 Khz' e kadar pwm frekansını destekleyen bu sürücülerin mikro step ve akım miktarı ayarlanabilmektedir. Mikro adımlama, yarım adım 400 adım / devir ile 51200 adım / devir arasında ayarlanabilir. Çıkış akımı, sürücüde otomatik rölanti akımı azaltma ayarı ile birlikte, düşük voltaj ve aşırı akım koruma ile 2.1 A'dan 5.6 A'ya ayarlanabilir. CWD556 step motor sürücüsü Şekil 3.42'de gösterilmiştir.



Şekil 3.40. CWD556 step motor sürücü

Sürücü üzerinde donanımsal olarak yer alan on/off ayarlamalı çeşitli anahtarlar bulunmaktadır. Akım mikro step ayarları bu anahtarlar ile yapılır. Akım ayarı, Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. CWD 556 step motor sürücü akım ayarı

Peak	RMS	SW1	SW2	SW3
1.5A	1.0A	off	off	off
2.1A	1.5A	on	off	off
2.7A	1.9A	off	on	off
3.2A	2.3A	on	on	off
3.8A	2.7A	off	off	on
4.3A	3.1A	on	off	on
4.9A	3.5A	off	on	on
5.6A	4.0A	on	on	on

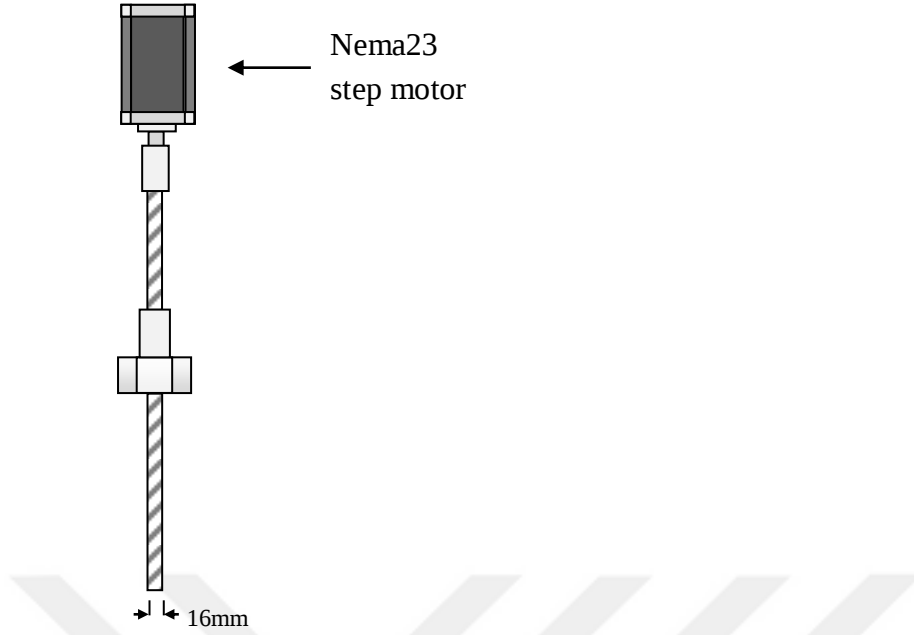
RMS ile ifade edilen değer, motorun boşta iken çektiği rölanti akımıdır. Tüm motorlar için bu ayar 2.7 A değerine ayarlanmıştır. Bunun için anahtar 1 ve 3 on konumuna getirilirken, anahtar 2 ise off konumuna getirilmiştir. Anahtar 4, motor boşta iken dışarıdan motora ani etkiyen torklarda, pozisyonu korumak için anlık akım miktarını iki kat uygulayarak tutma torku oluşturmak için kullanılır. Bu özelliğe ihtiyaç duyulmamış ve off konumunda bırakılmıştır.

Mikro step ayarları sayesinde bir tur dönüş için gerekli step miktarı değiştirilebilmekte ve çözünürlük miktarı ayarlanabilmektedir. Anahtar 5, 6, 7 ve 8, mikro step ayarları için kullanılmaktadır. Mikro step ayarı Çizelge 3.2’de ifade edilmiştir.

Çizelge 3.2. CWD 556 step motor sürücü mikro step ayarı

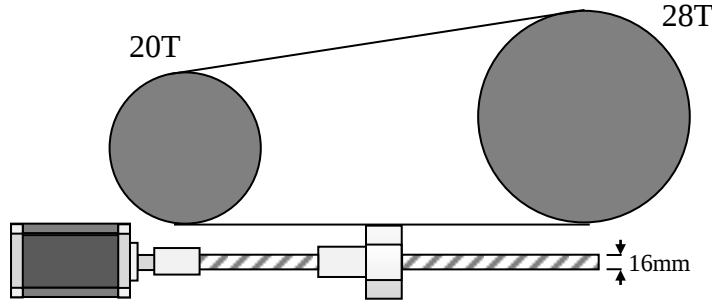
Step/Rev	SW5	SW6	SW7	SW8	Microstep
400	on	on	on	on	2
800	off	on	on	on	4
1600	on	off	on	on	8
3200	off	off	on	on	16
6400	on	on	off	on	32
12800	off	on	off	on	64
25600	on	off	off	on	128
51200	off	off	off	on	256
1000	on	on	on	off	5
2000	off	on	on	off	10
4000	on	off	on	off	20
5000	off	off	on	off	25
8000	on	on	off	off	40
10000	off	on	off	off	50
20000	on	off	off	off	100
40000	off	off	off	off	200

Lineer düşey eksen hareketi vidalı mil ile verdirilmiştir. Vidalı mil olarak 16 mm’lik, hatvesi 4 mm bilyalı mil seçilmiştir. Düşey eksen aktüatörü Şekil 3.43’te görülmektedir. Gövde eklemi, eklem değişkeni ifadesi d_1 olarak tanımlanmış olan prizmatik tür bir aktüatördür. Bu durumda tam tur için 2000 pals step hareketi yapılması gerektiği için, 1 mm’lik d_1 değişkeni ifadesine denk gelecek pals miktarı $2000/4 = 500$ pals olarak belirlenmiştir.



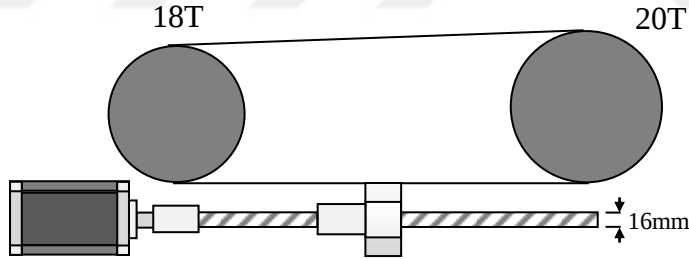
Şekil 3.41. Lineer düşey eksen hareketi vidalı milli tahrik aktüatörü

Omuz eklemi için 20 dişli ve 28 dişliden oluşan bir zincir dişli çifti kullanılmıştır. Bu çift 16 mm 'lik 4 mm adım mesafeli vidalı milli elektronik aktüatör ile sürülmüştür. Şekil 3.44'te gösterilmiş olan tahrik sisteminin redüksiyon oranı 75.4'tür. Bu oranın hesaplanması için deneysel verilere dayalı yapılan ölçümlerden faydalanılmıştır. Böylece step motorun tam turu olan 2000 pals ile hesap yapılacak olursa, omuz ekleminin tam turu için gerekli step miktarı $2000 \times 75.4 = 150800$ pals step miktarı gerekmektedir. Bu step miktarından yola çıkılarak, 1 derecelik eklem hareketi için gerekli olan step miktarı hesaplanacak olursa; $150800 / 360 = 418.888$ adet step teorik olarak gerekli olacaktır. Bu rakam aşağı ya da yukarı yuvarlanabilir. Çünkü step miktarı tam sayı adedi olmalıdır.



Şekil 3.42. Omuz eklemi hareketi vidalı milli ve zincir-dişli redüksiyonlu tahrik aktüatörü

Dirsek eklemi için ise omuz eklemine benzer bir işlem gerçekleştirmiştir. 18 dişli ve 20 dişliden oluşan zincir dişli çiftinin tahrik unsuru önceki eklemlerinkiyle aynıdır. Şekil 3.45'te görülen bu eklemin redüksiyon oranı 51.5'tir. Step motor ayarı 2000 pals/ devir olduğu için tam turluk bir eklem hareketi için gerekli olan step miktarı, $51.5 \times 2000 = 103000$ pals olacaktır. Öyle ise bir derecelik harekete sarf edilecek step miktarı için hesap şöyle olmalıdır: $103000/360 = 286.111$ step. Step miktarı tam sayı adedi olarak verilmek gerektiğinden, bu sayı yuvarlanmalıdır.



Şekil 3.43. Dirsek eklemi hareketi vidalı milli ve zincir-dişli redüksiyonlu tahrik aktüatörü

Bilek eklemine motor için bir redüksiyon tasarımına ihtiyaç duyulmamış, motor bağlantısı direkt olarak yapılmıştır. Tam turluk dönüş için 40000 pals/rev sürücü ayarı yapılmıştır. Bir derecelik açı için gerekli step miktarı, $40000/360 = 111.111$ step hesabıyla bulunacaktır.

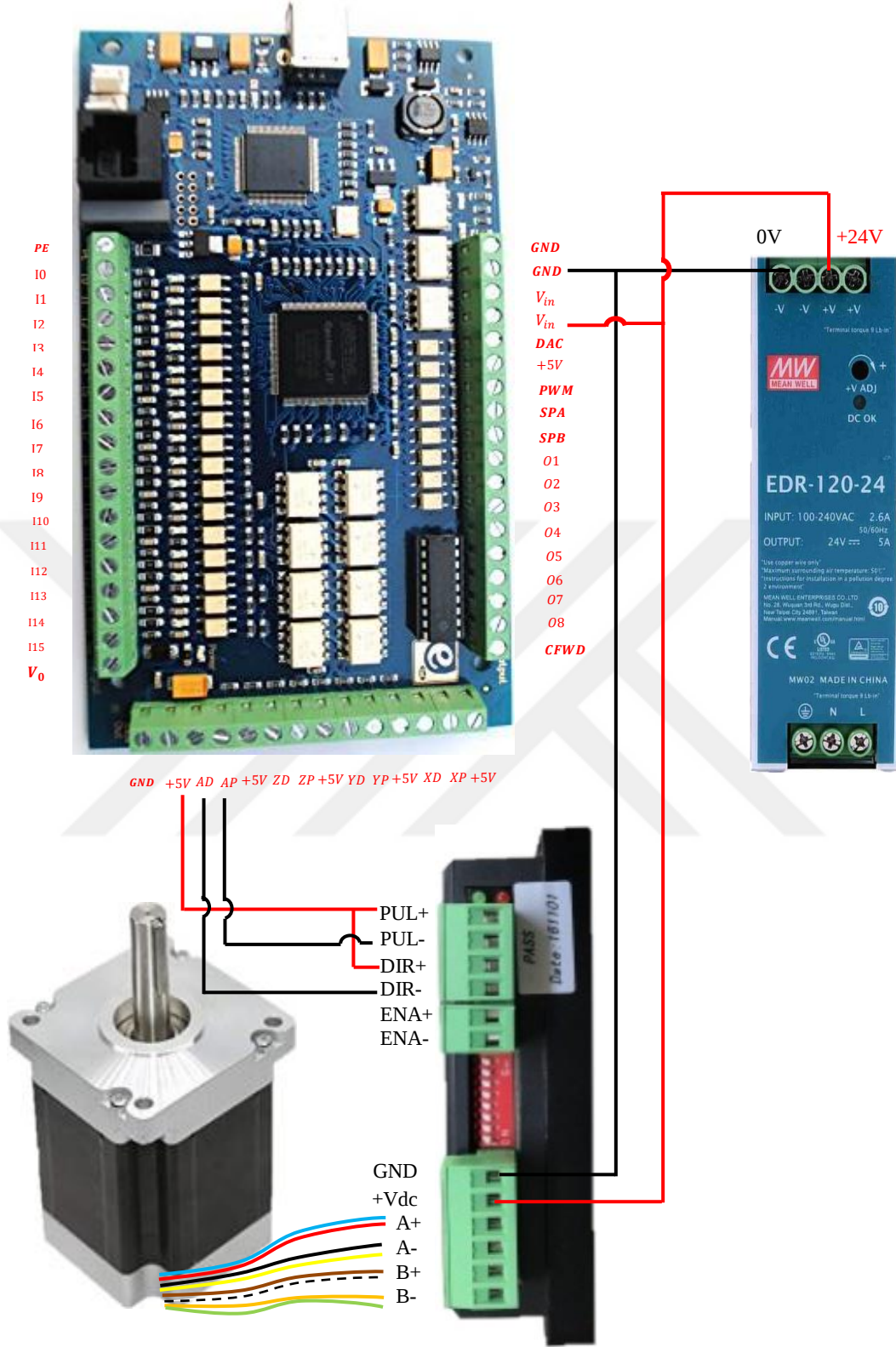
Eklem değişkenleri, prizmatik eklem için milimetre, döner eklem için ise derece olarak alınacaktır. Eklem değişkenlerine karşılık gelen step miktarları her bir eklem için hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre, eklem değişkeninin her bir

artışına denk gelen step miktarı arttıkça eklemnin de hassasiyeti artacaktır. Bununla birlikte motorun sarf edeceği tahrik torku da düşecektir. Bu sayede step motor, yüksek hızlarda çalışabilmekte, bu seviyelerde tork yüklemesi oluşup motorun güçten kesilmesi ya da pals kaçırmaları durumunun meydana gelmesi engellenmektedir.

Step motor ve sürücülerin Mach3 kartı bağlantısı;

Sürücü pals ve yön sinyal kanalları, 5 V bir gerilim uygulanınca çalışmakta, tepki vermektedir. Enable kanalı, sinyal verildiğinde sürücüyü aktif edip, pasif etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada sürücü hep aktif durumda düşünülmüş ve bu kanal kullanılmamıştır. Pals ve yön kanallarının + girişleri birleştirilmiş ve mach3 kartının eksen çıkışları portundan +5 V'luk çıkış ile bağlanmıştır. Dolayısıyla – volt ile tetikleme yapılacaktır. Sürücü pals girişi, için mach3 üzerinde yer alan eksen çıkış portları üzerinden pals kanalına bağlantısı yapılırken aynı işlem yön kanalı için de uygulanmıştır. Bu bağlantı standart kabul edilip tüm eksen bağlantıları bu şekilde yapılmış ve Scara robot eklemlerindeki 4 motor bağlantısı bu şekilde uygulanmıştır.

Robotun her uzvu için mach3 kartında karşılık gelecek bir eksen ismi belirlenmiştir. Bunun için lineer olarak aşağı yukarı yönde kayan hareket yapan ekleme z ekseni bağlantısı yapılmış, bu ekleme bağlı olan döner omuz eklemine y ekseni bağlantısı, omuz bitiminde yer alan döner dirsek eklemi için x ekseni bağlantısı ve son olarak döner bilek eklemi olarak A ekseni bağlantısı yapılmıştır. Sürücü üzerine motor bağlantısı, motor sargılarından bahsedilen kısımda, Şekil 3.41'deki şematik gösterimde olduğu gibidir. 8 kablolu bipolar step motor ve sürücünün mach3 kartıyla yapılan elektrik bağlantısı örneği Şekil 3.46'da görülmektedir.



A+: MAVİ + KIRMIZI
A-: SİYAH + SARI
B+: KAHVERENGİ + BEYAZ
B-: TURUNCU + YEŞİL

Şekil 3.44. Step motor ve sürücünün Mach3 kartı ile bağlantısının yapılışı

3.4.3. Çene ekleminde kullanılan röle ve sınır anahtarları

24 volt luk röle ve kullanılışı:

Röle, üzerinden akım geçtiği zaman çalışan elektromanyetik bir devre elemanıdır. Röleler küçük değerli bir akım ile yüksek güçlü bir alıcıyı anahtarlayabilmek için kullanılır. Röleler, tek bir elemanda birden fazla anahtar kontağına sahip olabilir ve böylelikle birden fazla yükü aynı anda açıp kapatabilirler. Kullanılan röle, 24 volt gerilim ile tetiklenen ve 3 farklı kanalda geçen akım yollarını değiştiren bir alettir. Telemecanique RUN31A21 türü röle Şekil 3.47’de görülmektedir.



A2 31 21 11 A1

Şekil 3.45. Çene eklemi motorunu tetiklemek için kullanılan röle

Tetikleme yapılırken mach3 kartının 4 ve 5 nolu çıkışları kullanılmıştır. Rölenin tetikleme uçları olan A1 ve A2 bağlantısı için A1 ucu +24 V güç kaynağına bağlanmış, A2 ucu ise Mach3 kartının output çıkışlarından birisiyle tetiklenmiştir. Röle 1 , 2 ve 3 nolu kanallara sahiptir. Bu kanallardan 11 , 21 , 31 numaralı olanlar giriş kanalıdır. 12, 14, 22, 24, 32, 34 numaralı olan kanallar ise değiştirilebilir özellikteki çıkış kanallarıdır. Röle default olarak çıkışları 12, 22, 32 kanallarından verir. 24 V gerilim uygulandığında ise bu kanallar 14, 24, 34 ile değiştirilir. Yapılan çalışmada 2 ve 3 nolu kanallar kullanılmıştır. 2 ve 3 nolu röle kanalları kullanılarak, motora giden voltajın (–) ve (+) kutupları değiştirilmek suretiyle çene için açma ve kapatma hareketi elde edilmiştir.

Kutup değiştirme işlemi yapılması için 2 adet röle kullanılmıştır. Birinci röle 4 nolu output kanalıyla ,ikinci röle ise 5 nolu output kanalıyla tetiklenmiştir. Birinci rölenin 21 girişine +24 V bağlanırken, 31 girişine ise 0 V çıkışı bağlanmıştır. Böylece default konumda 22 ve 32 kanallarından voltaj çıkışı olacak ve 4 nolu mach3 çıkışının aktif edilmesi ile bu voltaj çıkışları 24 ve 34 kanallarına geçecektir.

İkinci rölenin 21 girişine ,birinci rölenin tersi olarak, 0 volt bağlanırken; 31 girişine ise +24 V güç kaynağı bağlantısı yapılmıştır. Neticede ise default durumda akım 22 ve 32 kanallarından geçecek ve 5 nolu mach3 çıkışının aktif edilmesi ile bu voltaj çıkışları 24 ve 34 kanallarına geçecektir.

Birinci ve ikinci rölenin 24 kanalı bağlanmıştır. Aynı şekilde 34 kanalları da birbiriyle bağlanmıştır. Çene için kullanılan DC motorun kutupları, bu bağlantılı haldeki 24 ve 34 nolu çıkışlara bağlanmıştır. Bu sayede akım hangi röleden geçerse geçsin mutlaka motoru çevirecektir. Bir röle aktif edilince diğeri kapatılmalıdır. Aksi takdirde güç kaynağında kısa devre meydana gelecektir. Mach3 'ün 4 nolu çıkışı aktif, 5 nolu çıkışı pasif iken; akım birinci röleden geçecek ve 24 kanalından +24 V ve 34 kanalından ise 0 V çıkışı yapılacaktır ve bu sayede çene kapanacaktır. Çenenin açılması için ise mach3 kartının 4 nolu çıkışının pasif, 5 nolu çıkışının aktif olması gereklidir. Bu durumda akım ikinci röleden geçecektir. Neticesinde ise 24 kanalından 0 V ve 34 kanalından ise +24 V çıkışı yapılacak ve çene açılacaktır.

Sınır anahtarı bağlantısı:

Sınır anahtarı ya da diğeri adıyla sınır şalteri, bir hareketli mekanizmanın temas etmesi sonucu mekanik olarak tahrik edilerek elektriksel kontakları pozisyon değiştiren elektriksel bir anahtardır. Sınır anahtarının kontaklarının pozisyon değiştirmesi, yani açık konumdan kapalı konuma ve ya kapalı konumdan açık konuma geçmesi sonucu herhangi bir elektrik devresi açılır ve ya kapanır. Çene eklemi için kullanılan sınır anahtarı Şekil 3.48'de görölmektedir.

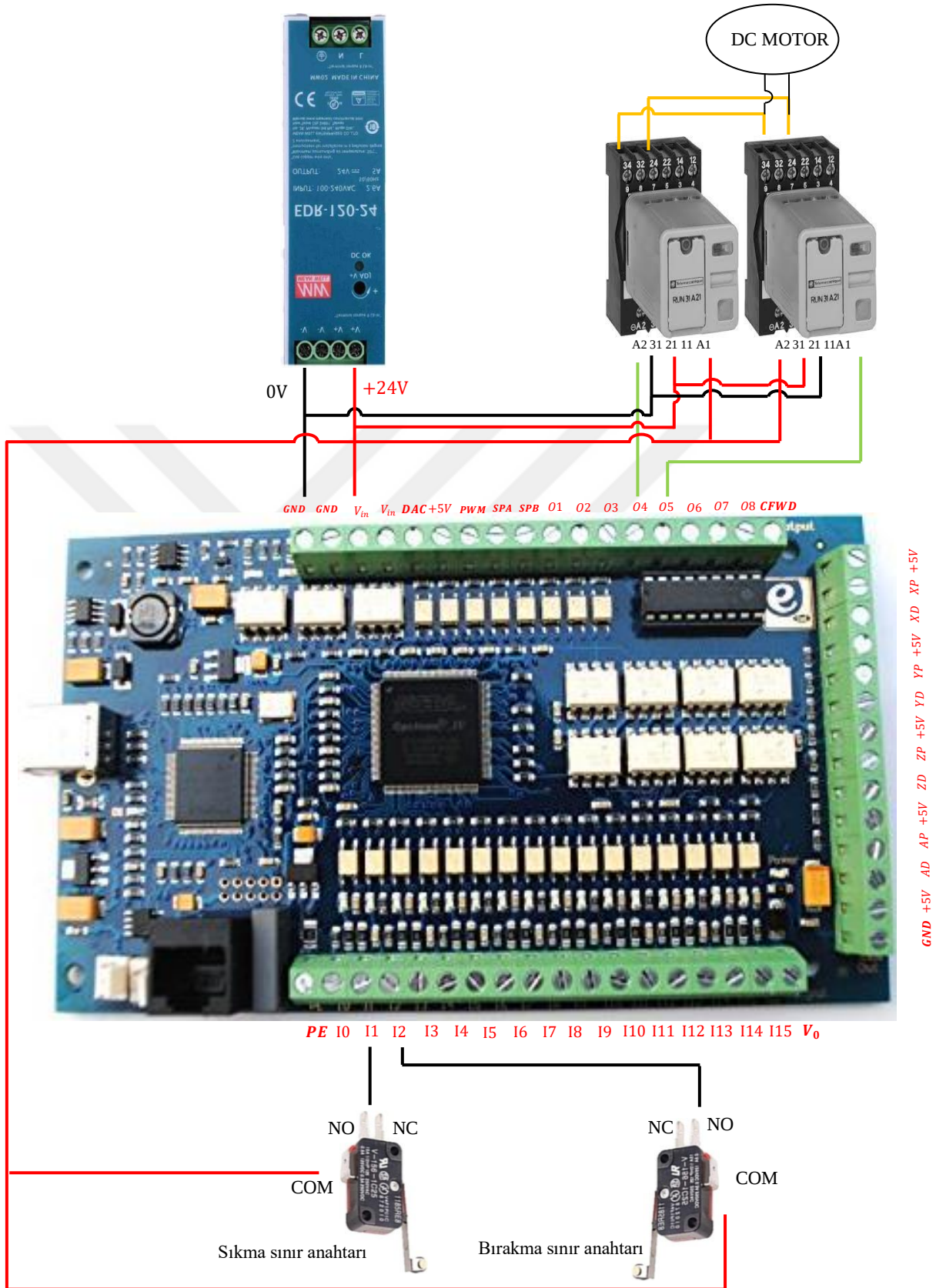


Şekil 3.46. Çene eklemi için kullanılan sınır anahtarı

Çene için, açık konumdaki son limit ve çene kapanışındaki sıkma gücü kontrolü için iki adet sınır anahtarı kullanılmıştır. Açıklık limiti olarak lineer rayın ucunda bir sınır anahtarı yerleştirilmiş ve mach3 kartının 2 nolu girişi ile bağlanmıştır. Çene yapısı olarak ise; lineer ray üzerinde kayan çene eklemlerinden birisi tek parça mekanik yapıda iken, diğerinde ise tutacak çentik mekanizması yaylı bir gergiyle bir miktar öne yaslanmıştır. Parça tutulurken çentikli kısım geriye doğru yaslanır ve iki çene yüzeyleri birbirine paralel olunca motor daha fazla sıkmasın diye yerleştirilmiş olan sınır anahtarı tetiklenir ve motor durdurulur. Bu sınır anahtarı mach3 kartının 1 nolu girişine bağlanmıştır.

Sınır anahtarının üç adet bağlantı ayağı vardır. COM bağlantısı +24 V kaynağına bağlanmış, NO (normalde açık) olan ayak ile mach3 giriş pinine bağlantı yapılmıştır. NC (normalde kapalı) ayak için ise bağlantı yapılmamıştır. Böylece sınır anahtarı tıklanınca anahtar kapanır ve giriş pini aktif olur.

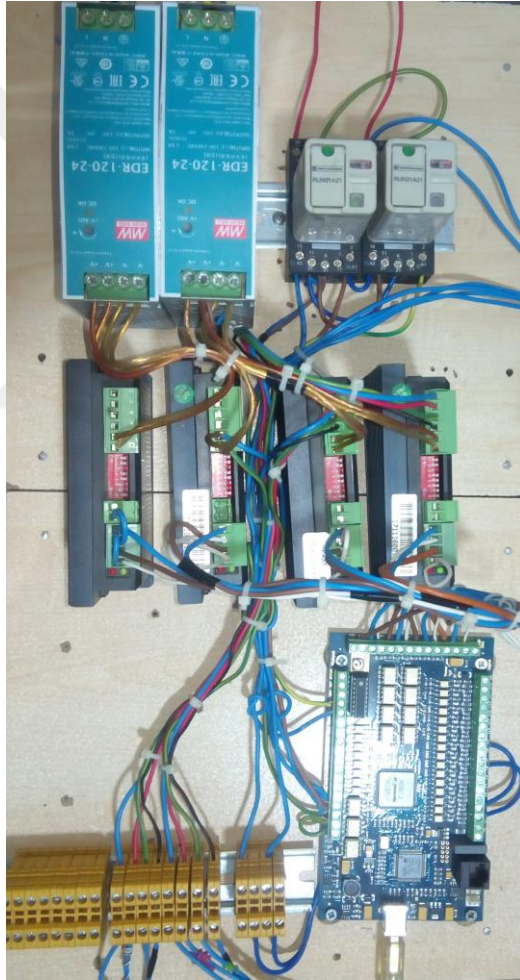
Mach3 için yazılan programda ise 1 ve ya 2 nolu mach3 girişi aktif edilince motoru durdur denilir. Bunun için 1 nolu giriş, çeneyi kapatma için yapılan kontrolü ifade edip, çeneyi kapatan 4 nolu outputu kapatır, birinci röle kapanır ve akım kesilir. 2 nolu giriş ise çeneyi açma limitini kontrol eder, çeneyi açan 5 nolu outputu kapatır, DC motoru aktif eden ikinci röleyi kapatır ve akım kesilir. Böylece çene açılmış olur. Sınır anahtarı ve rölenin mach3 ile bağlantısı Şekil 3.49’da gösterilmiştir.



Şekil 3.47. Sınır anahtarı ve rölenin mach3 ile bağlantısının yapılışı

3.4.4. Elektrik panosu

Önceki bölümlerde de aktarılan elektronik aksam için güç ünitesi ve sistemin elektrik düzeneginin yerleşik olarak kurulu olduğu bir pano hazırlanmıştır. Güç kaynağı olarak 24 V 120 W 2 adet güç kaynağı kullanılmıştır. Her eklem için kullanılan motor sürücüsü için elektrik beslemeleri bu kaynaklar aracılığıyla yapılmıştır. Ayrıca mach3 kartı dışarıdan beslemesi ve röle/sınır anahtarı için de yine bu kaynak kullanılmıştır. Elektrik panosunun gösterimi Şekil 3.50’de görülmektedir.



Şekil 3.48. Elektrik panosu

3.5. Robot Programlaması ve Yazılımı

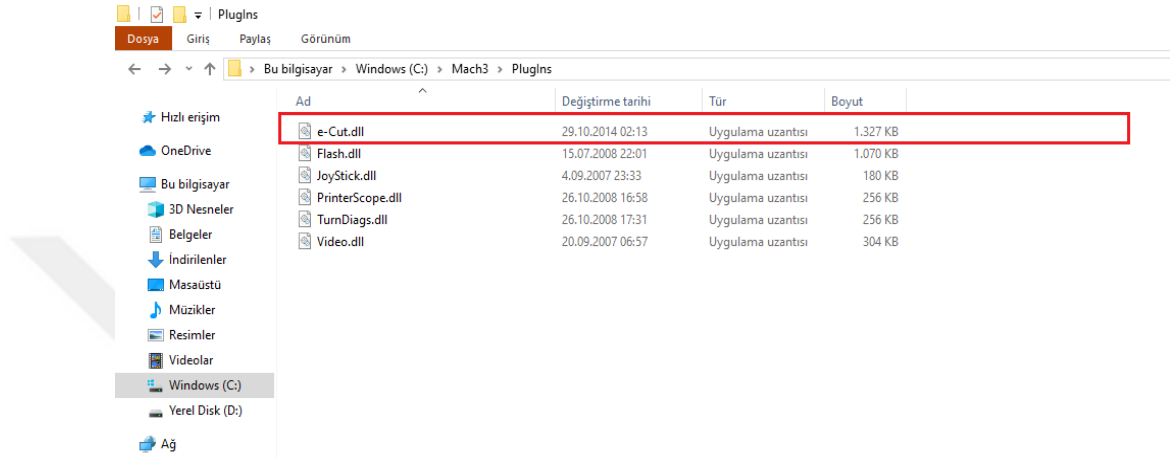
Mach3 programı ile her eksen için hız ve ivmelenme ayarı yapılmıştır. Motor ayarları, motor redüksiyon işlemleri bölümünde tanımlanmış ifadelerle göre kalibre edilmiştir. Kalibrasyon işleminde her bir birimlik eksen değişimi için gerekli step sayısı, hesaplanarak eksene kaydedilmiştir. Robot eklemleri ile Mach3 kart eksen bağlantısında; lineer eklem Z eksen ile, omuz eklemi Y eksen ile, dirsek eklemi X eksen ile, bilek eklemi A eksen ile bağlanmıştır. Mach3 programının tüm eklemleri sıfır değerinde iken, robot “home” pozisyonundadır.

Mach3 programında girilen eksen bilgisine göre, eklem değerine gideceği pozisyon gönderilerek robot hareket ettirilmektedir. Robot hareketleri için uygulanacak hareket programında lineer eklem 10 mm konumuna gelmesi için mach3 programına ‘G00Z10’ değeri girilir. Aynı şekilde ‘GOOX25Y30A45’ programı ile omuz eklemi 30, dirsek eklemi 25, bilek eklemi 45 derecelik absolute pozisyonlarına getirilir.

Tutucu çenelerin açılıp, kapaması için Mach3 kartının genel amaçlı çıkışlarını manipüle etmek için iki adet makro tanımlanmıştır. Bu makrolar çağırılmak suretiyle C# programında yapılan bir kinematik analiz neticesinde robotun gitmesi istenen pozisyon verileri, tasarlanan ara yüz aracılığıyla mach3 programına gönderilmektedir. Bu ara yüz, Mach3 programının kütüphanelerini kullanarak, gönderilen verileri Mach3 programına yazmaktadır. Mach3 programı ise real time olarak gönderilen verileri uygulamaktadır.

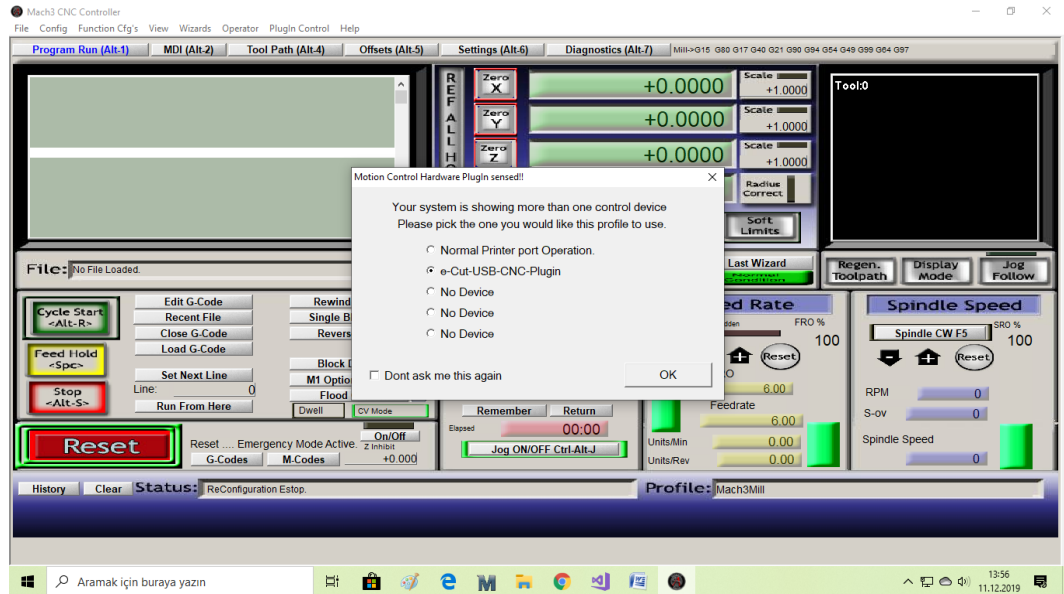
3.5.1. Mach3 kartı tanıtımı ve motor tuning ayarları

Kartın, Mach3 programı tarafından tanınması için karta ait e-cut plug in dosyası, Şekil 3.51’de görüldüğü gibi Mach3 programının plug in klasörüne yapıştırılmıştır.



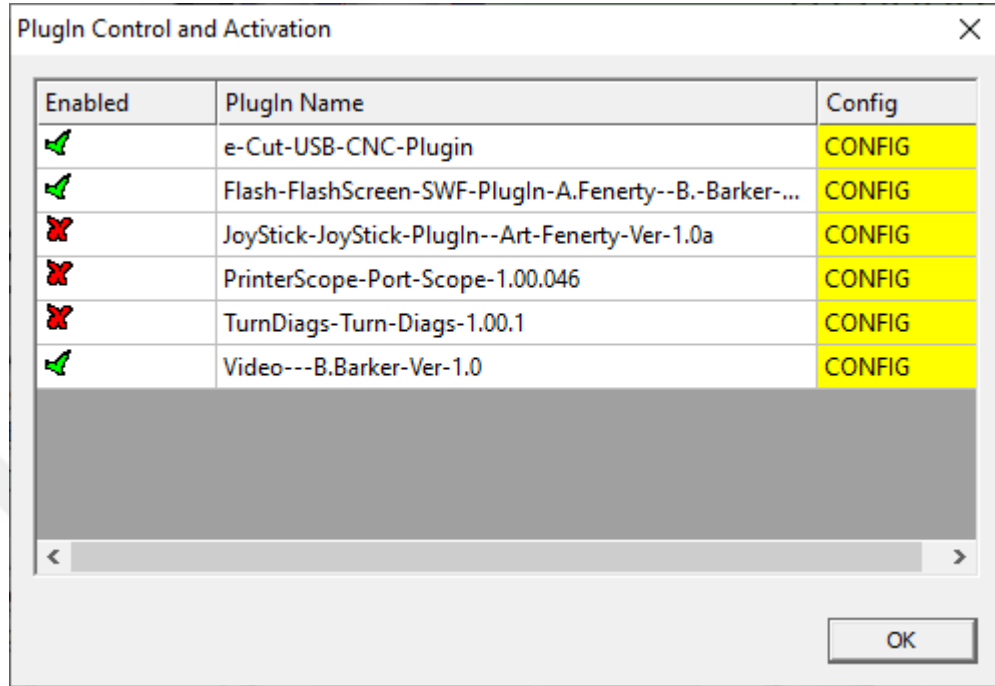
Şekil 3.49. Mach3 kartı tanıtımı için plug in dosyalarını yerleştirme

Mach3 programı açılışında kart tanınmış olur ve Şekil 3.52’de görüldüğü gibi seçeneklerden kart seçilerek mach3 kartı kullanılır.



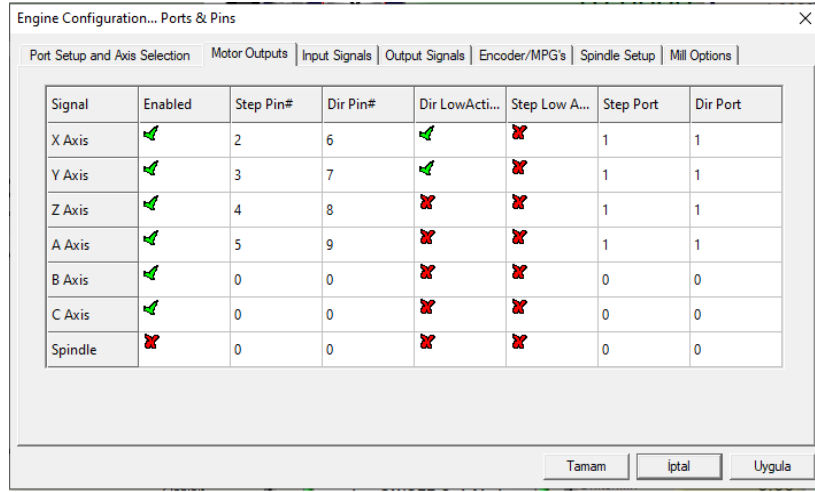
Şekil 3.50. Mach3 programı açılışında kart seçimi

Kartın kullanıma açılması için Config>ConfigPlugins menüsünden mach3 kartı enable yapılır. Plugin kontrol ayarları Şekil 3.53'te görülmektedir.

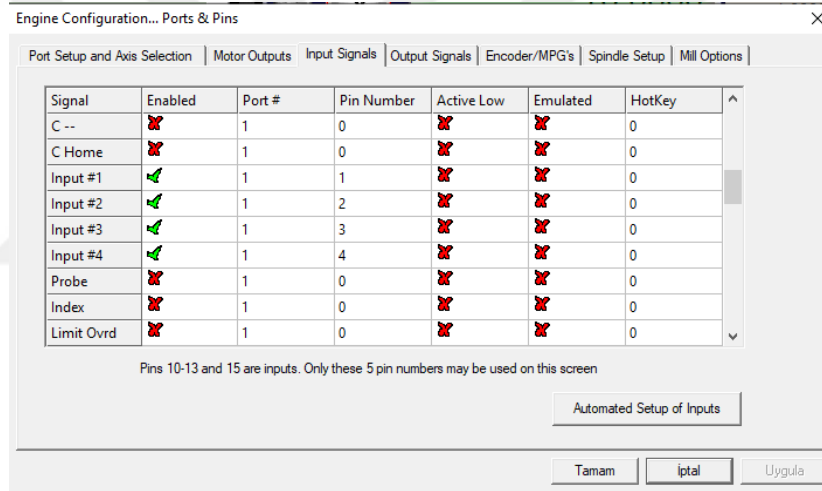


Şekil 3.51. Mach3 programından kartın enable yapılışı

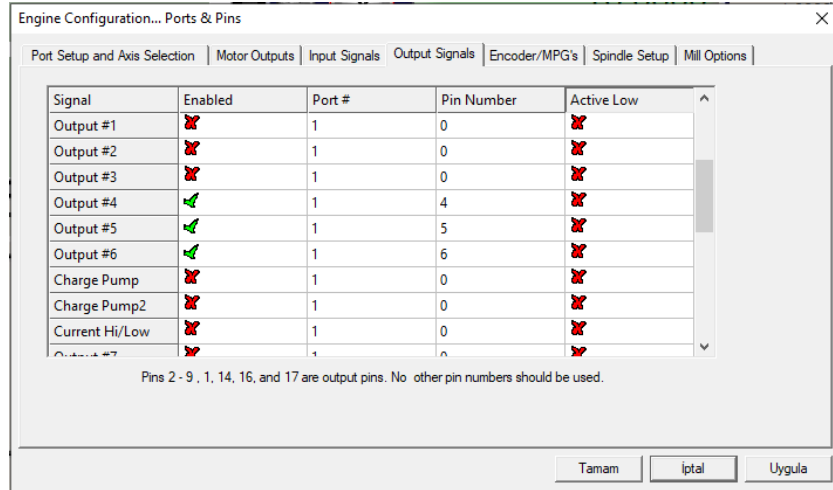
Kart üzerinde yer alan port ve pinlerin kullanımı için ayarlama yapmak gereklidir. Mach3 programında default olarak bu ayarlar “enable” konumunda değildir. Dolayısıyla eksen çıkışı ve mach3 kartı üzerinde yer alan giriş ve çıkış pinleri kullanıma açık değildir. Pin ve port ayarları yapılarak kullanılacak olanlar tek tek seçilip aktif edilmelidir. Bu ifadelerle göre motor eksen çıkışı, genel maksatlı giriş ve çıkış portu ayarları yapılışı; Şekil 3.54, Şekil 3.55 ve Şekil 3.56’da gösterilmiştir.



Şekil 3.52. Mach3 programında motor output ayarlarının yapılması

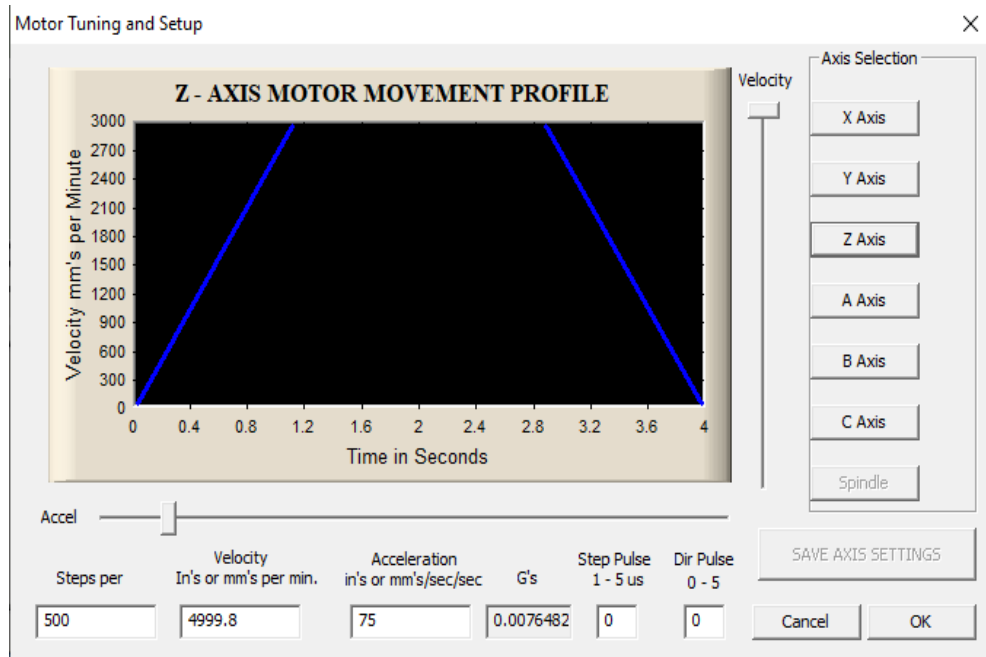


Şekil 3.53. Mach3 programında input sinyal ayarlarının yapılması

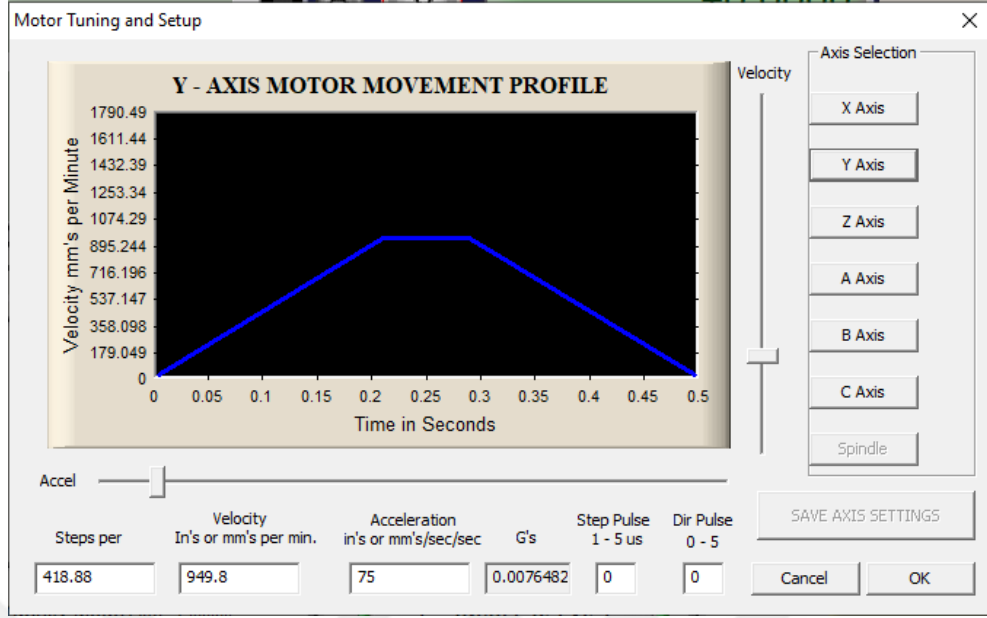


Şekil 3.54. Mach3 programında output sinyal ayarlarının yapılması

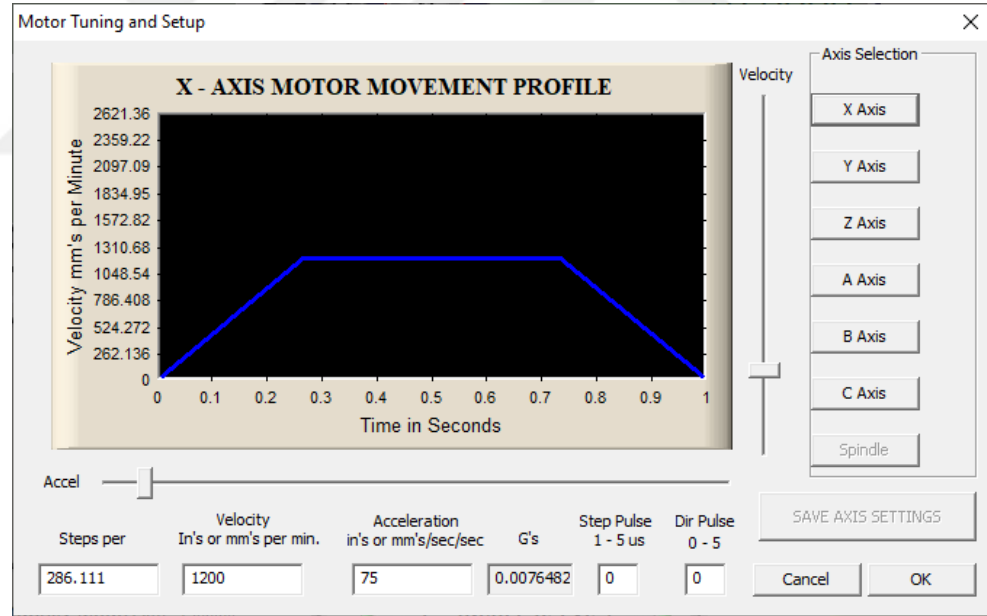
Tuning ayarları içerisinde steps per kısmı eklem pozisyonu için kalibrasyon değerleridir. Diğer veriler ise deneysel olarak ayarlanacak, hız ve ivme ayarlarıdır. Bu veriler içinden, değiştirilemez olan veriler sadece pozisyonu kapsar. Kullanım ve ihtiyaca göre hız ve ivme ayarları şekillendirilebilir. Her eklem hareketi için yapılan ayarlar Şekil 3.57, Şekil 3.58, Şekil 3.59 ve Şekil 3.60’ da gösterilmiştir.



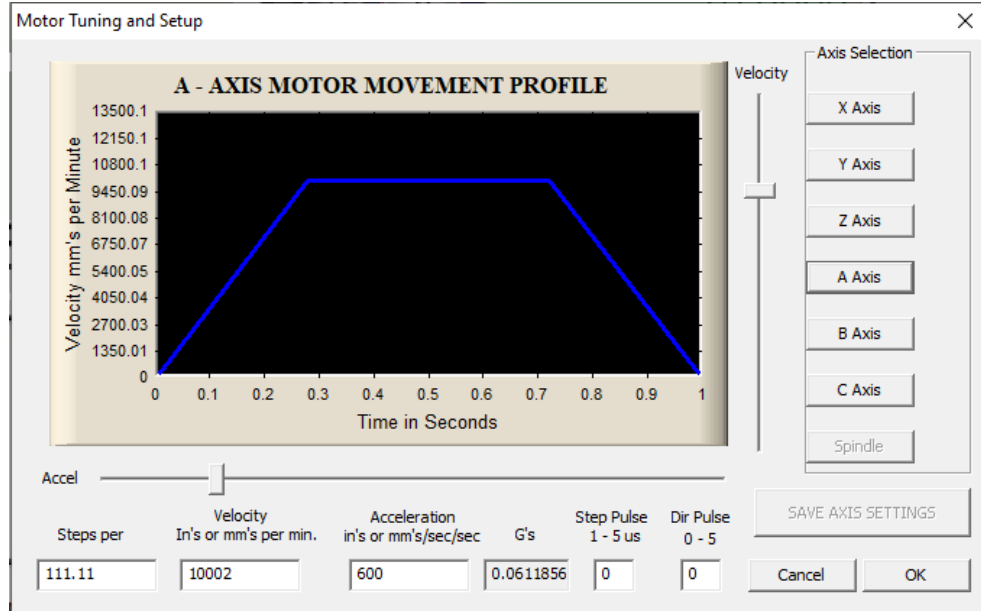
Şekil 3.55. Lineer düşey eklemin bağlı olduğu z ekseninin tuning ayarı



Şekil 3.56. Omuz ekleminin bağlı olduğu y ekseninin tuning ayarı



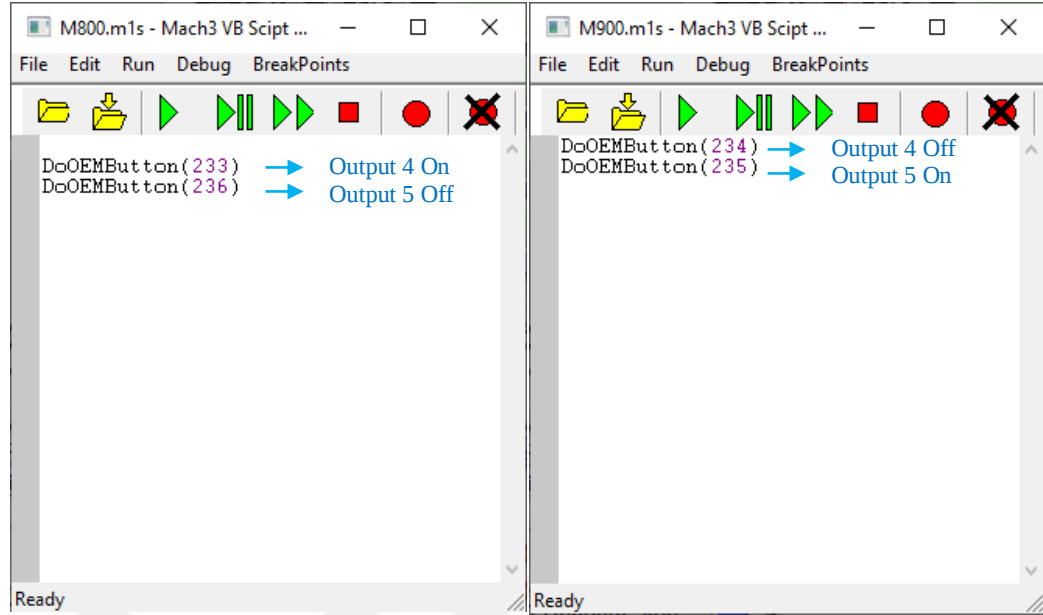
Şekil 3.57. Dirsek ekleminin bağlı olduğu x ekseninin tuning ayarı



Şekil 3.58. Bilek ekleminin bağlı olduğu a ekseninin tuning ayarı

3.5.2. Çene programlama ve makro tanımı

Elektrik donanımı olarak, çene ekleminin çalışması, çene ekleminde kullanılan röle ve sınır anahtarı bölümünde anlatılmıştır. Çene programlama ve kontrol aşamalarında; çene tutma yönünde çalışması için mach3pinlerindenoutput 4 “on” durumuna getirilip, output5 “off” olmalıdır. Çene bırakma yönünde çalışması için ise tam tersine output 4 off yapılıp, output 5 on yapılmalıdır. Bunu sağlamak için M800 ve M900 makroları tanımlanmıştır. Çene tutma ve bırakma makroları olan M800 ile M900 Şekil 3.61’de görülmektedir.



Şekil 3.59. Çene açıp kapatmak için tanımlanmış olan M800 ve M900 makroları

Çene açıp kapanma hareketini durdurmak için ise çalışma yönüne göre “on” durumda bulunan output “off” yapılır. Bunun sağlanması için sınır anahtarı kullanılmıştır. Sınır anahtarı aracılığıyla çene tutma yönünde çalışırken tutma limiti olarak input 1 pini aktif olur. Dolayısıyla durdurmak için, input 1 pini aktif olunca output 4 “off” yapılmalıdır. Aynı şekilde çene kapanırken de input 2 pini aktif olur. Burada da input 2 pini aktif olunca output 5 pini “off” yapılmalıdır. Bu sistem algoritmasının düzgün çalışması için zaman gecikmesi olmaması lazımdır. Bu nedenle yazılan kod 1 milisaniyelik zaman diliminde sürekli yenileyerek kontrol edecektir. Her değişiklik için real time olarak tepki vermesi sağlanacaktır. C# ortamında hazırlanan yazılımın çene kontrol kod kısmı Şekil 3.62’deki gibidir.

```
bool tutma_limit = false;

if (_mInst != null)
{
    tutma_limit = _mInst.GetOEMLed(821); // İNPUT 1 PİNİ AKTİF İŞARETİ
}

if (tutma_limit == true)
{
    _mInst.DoOEMButton(234); //OUT 4 OFF
}

Boolbirakma_limit = false;

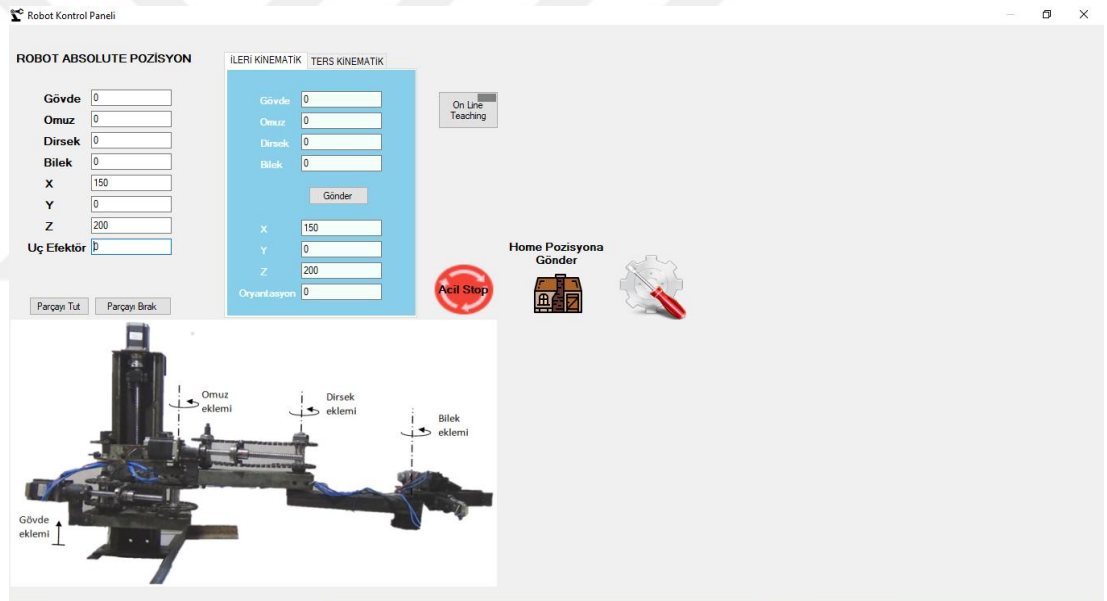
if (_mInst != null)
{
    bırakma_limit = _mInst.GetOEMLed(822); // İNOUT 2 PİNİ AKTİF İŞARETİ
}

if (bırakma_limit == true)
{
    _mInst.DoOEMButton(236); //OUT 5 OFF
}
```

Şekil 3.60. C# programında sınır anahtarı ile çene kontrolü için yazılan kod bölümü

3.5.3. C# ortamında hazırlanan robot kontrol paneli

Bu programın tasarımında, kullanım kılavuzuna gerek duyulmadan kolay kullanıma sahip bir ara yüz tasarımı hedeflenmiştir. Herhangi bir teknik personelin ara yüz kontrolünü kendi başına dakikalar içinde öğrenebileceği ön görülmüştür. C# tabanında hazırlanan program içinde Mach3 fonksiyonları kullanılmıştır. Buna bağlı olarak program çalışırken Mach3 programı da arka planda çalışmaktadır. Tüm kinematik denklemler ve hesaplamalar, program içinde gömülü şekilde çalışmaktadır. Hazırlanan yazılım, robotun sağ kol kullanımı esas alınarak geliştirilmiş kinematik çözümlere göre çalışır. Programa “Robot Operatör Paneli” adı verilmiştir. Program ana sayfası Şekil 3.63’te görülmektedir.



Şekil 3.61. C# programında hazırlanan robot kontrol paneli

Program sayfasının sol tarafında absolute pozisyon takibi ifadesi yer alır. Bu ifadeler her 1 milisaniyelik zaman diliminde Mach3 programından okunan değerlere tekabül eder. Her eklemin anlık pozisyon verileri ve bu verilere bağlı olarak uç efektörünün anlık pozisyon değerleri 1 milisaniyede yenilenen değerlerle gösterilir. Ana sayfanın alt tarafında yer alan görsel yardımıyla program içinde yer alan eklemlerin yer ve isimleri belirtilmiştir. “Parçayı Tut” ve “Parçayı Bırak” butonları

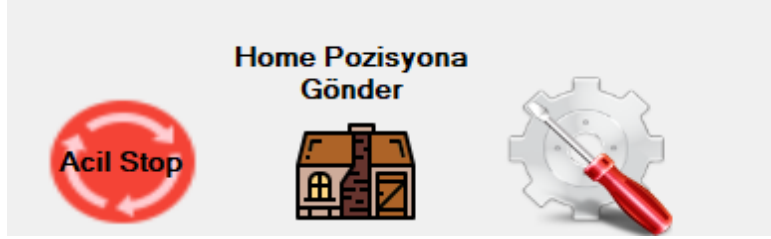
çene kontrolünü sağlarken, mavi renkli tasarıma sahip olan “ileri kinematik”, ”ters kinematik” sekme menüleri aracılığıyla robot eklemlerinin kontrolü gerçekleştirilir.

İleri kinematik ve ters kinematik verileri için gönder butonu eklenmiştir. Aynı zamanda bu değerlere karşılık gelen hesap verileri aynı menünün alt kısmında anlık olarak gösterilir. Gönderilen değerler Mach3 programı aracılığıyla gerçek zamanlı olarak işleme alınır ve robota hareket verilir. İleri ve ters kinematik sekme menüleri Şekil 3.64’te görülmektedir.

İLERİ KINEMATİK	TERS KINEMATİK
X: 150	Gövde: 0
Y: 0	Omuz: 0
Z: 200	Dirsek: 0
Oryantasyon: 0	Bilek: 0
Gönder	Gönder
Gövde: 0	X: 150
Omuz: 0	Y: 0
Dirsek: 0	Z: 200
Bilek: 0	Oryantasyon: 0

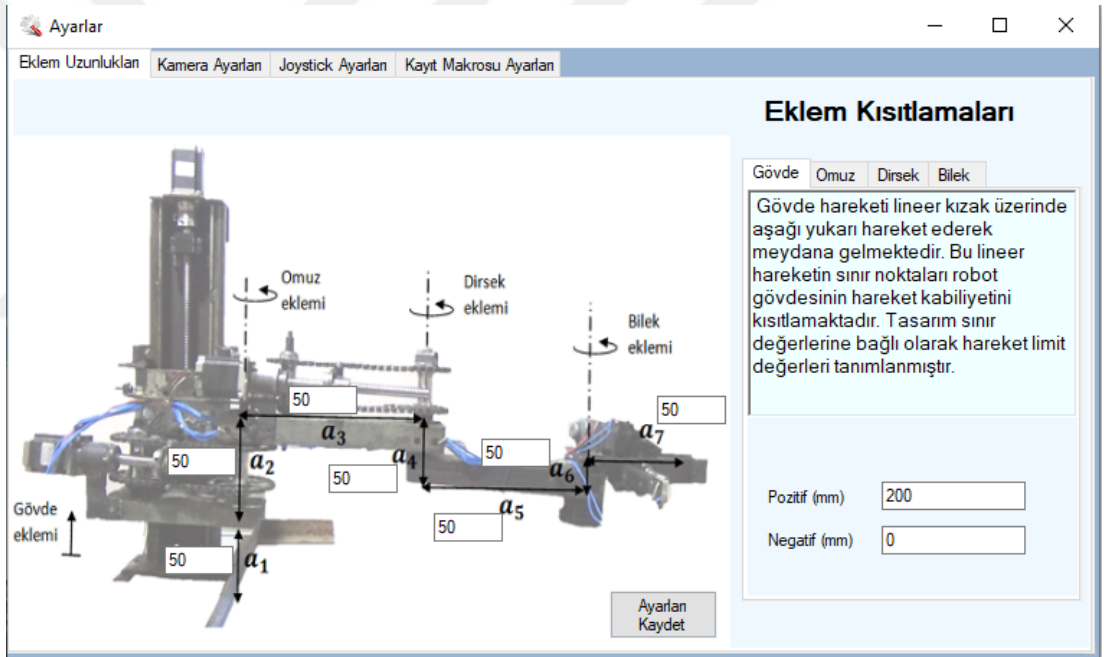
Şekil 3.62. İleri ve ters kinematik tab menüleri

Ana sayfa üzerinde acil stop, home pozisyon ve ayarlar menüsü düğmesi yer almaktadır. Acil stop butonu, tüm çıkış hareketlerini kilitler ve böylece çene ve eklem hareketlerini durdurur. Home pozisyon ise, tüm eklem değerleri “0” derece olan başlangıç konumuna hızla dönmek için kullanılır. Ayarlar menüsünde ise eklemlerin kinematik uzunlukları ve eklem hareket sınırı belirlenir. Bu üç düğme, Şekil 3.65’te görülmektedir.



Şekil 3.63. Acil stop, home pozisyon ve ayarlar butonu

Ayarlar ekranı içinde “Ayarları Kaydet” butonu aracılığıyla belirtilen eklem uzunluk değerleri ve eklem hareket limitleri sabitlenmiş olur. Ayarlar ekranı görüntüsü Şekil 3.66’da gösterilmiştir.



Şekil 3.64. Ayarlar ekranı

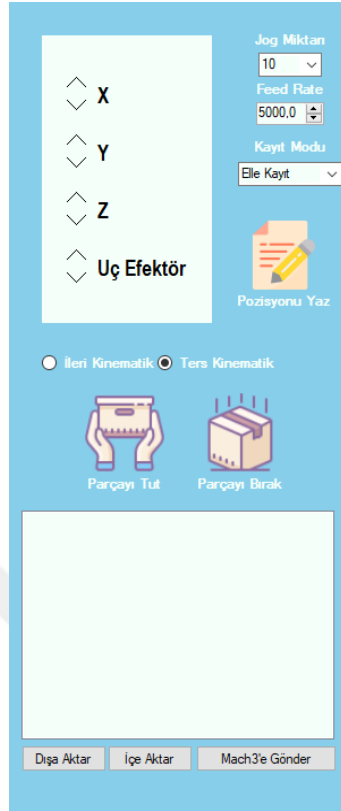
Nesnelerin konumu ve oryantasyonu açısından girilecek değerleri hesaplamak yerine robotu o pozisyona x, y, z uzayında yönlendirmek suretiyle göndermek daha kolay bir işlem olacaktır. Bu işlem CNC dik işlem merkezlerinde kullanılan jog modu mantığıdır. Bu sayede daha efektif kullanım yapısına sahip kontrol imkânı oluşacaktır. Robot kullanımı açısından ana ekrandan yapılabilen tüm işlemleri kapsayan kontrol kabiliyetinin yanında kontrol işlemlerinin kaydedilmesi de ifade

edilen karakteristiğe eklenmelidir. Neticede kolaylıkla kontrol edilebilir ve kayıt edilebilir hareket kontrolü esas alınmalıdır. Bahsi geçen maslahatlar çerçevesinde çevrim içi öğretim paneli tasarlanmıştır. Ana ekran üzerinde bulunan “online teaching” butonuna basıldığında buton üzerinde yer alan led yanar ve yana doğru kayan bir panel açılır. Öğretim panelinin ana ekran üzerinde görüntüsü Şekil 3.67’de görülmektedir.



Şekil 3.65. Kayarak açılan çevrim içi öğretim paneli (sağda)

Hareketle beraber oluşan eklem değerleri absolute değer olarak ana sayfada görüntülenmektedir. Kayıt veri değerleri, her bir eklem için o an bulunduğu açı miktarlarıdır. CNC kodu formatına dönüştürülürken mach3 kartı üzerinde bağlantılı bulunduğu eksen isimleri ile beraber yazılır. Dolayısıyla hangi kinematik türü seçilirse seçilsin, kayda alınan veriler sadece anlık eklem derecelerdir. Yazım işlemi X15 Y20 Z45 A30 gibi bir format ile belirtilir. Bu kayıt değerleri panelin alt tarafında bulunan metin kutusu şeklindeki kayıt ekranı içine alt alta sıralamak şeklinde yazılır. Mach3 programına gönderilirken hareket fonksiyonu olan “G01” kodu, satır başına eklenir ve neticede kaydedilmiş hareket yeniden elde edilmiş olur. Üzerinde jog miktar ayarı, feed rate ayarı ve kayıt modu ayarı bulunan çevrim içi paneli; kayıt değerlerini, dışarıdaki text dosyasına yazıp, text dosyasına yazılmış olan değerleri okuyabilmektedir. Öğretim paneli Şekil 3.68’de görülmektedir.



Şekil 3.66. Öğretim paneli

Hareket öğretimi için iki farklı kayıt modu belirlenmiştir. “Pozisyonu Yaz” isminde bir buton ile verileri elle seçme seçeneği yerleştirilmiştir. Butona her basıldığında kayıt değerleri alt alta sıralanacaktır. Hareket verilerini bilgisayarın kendi kaydetmesi için otomatik kayıt modu tanımlanmıştır. Kayıt işlemi için “Başla” ve “Durdur” düğmeleri yerleştirilmiştir. Bu sayede her 1 milisaniyede yenilenen pozisyon verileri kontrol edilir ve değişen değerler alta doğru otomatik kaydedilir. Bu iki kayıt modu için yerleştirilen ara yüz düğmeleri Şekil 3.69’da gösterilmiştir.



Şekil 3.67. Elle kayıt modu ve otomatik kayıt modu için yerleştirilen butonlar

Hareket gerçekleştirilirken her bir jog miktarınca kinematik işlemlerle eklem değişkenleri hareket ettirilir. Jog sinyali ileri ve ters kinematik olarak gönderilebilmektedir. Bu durumda her bir jog sinyali için robotun gerçekleştireceği hareket miktarı ihtiyaca göre ayarlanabilmelidir. İhtiyaca göre hareket miktarını değiştirmek için “Jog Miktarı” ayarı menüsü eklenmiştir. Bu proses için hareket hızı ayarı da sağlanmış ve “Feed Rate” ayarı eklenmiştir. Eklem hareketlerinin, kaydedilirken ne kadar hıza sahip olacakları bu ayar ile belirlenebilmektedir.

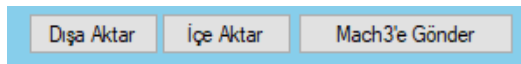
Robota öğretilen hareket senaryosu içinde parçaya yaklaşımı için yukarıda bahsedilen prosedürler ile gerçekleşen kayıt sonucu CNC kodu formatında veri kayıtları elde edilir. Senaryoda parçanın tutulma ve bırakılması için de bir içerik bulundurulmalıdır. Parçanın tutulması ve bırakılması için iki adet buton tanımlanmış ve panele yerleştirilmiştir. “Parçayı Tut” ve “Parçayı Bırak” butonları Şekil 3.70’te görülmektedir.



Şekil 3.68. Çene açıp kapama butonları

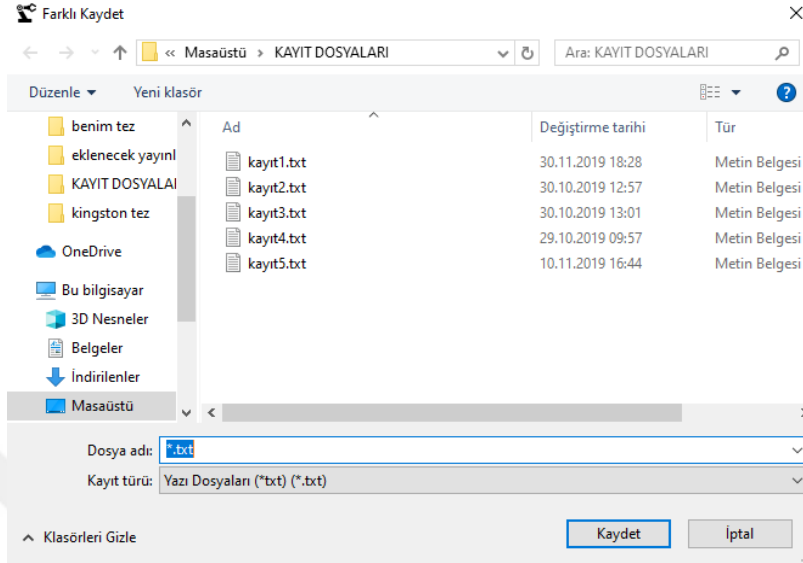
Parçayı tutma işlemi kaydedilirken butona basılır anında çene kapanır ve kayıt ekranına M800 değeri yazılır. Aynı şekilde bırakma işlemi kaydı yapılırken ise butona basılınca çene açılır ve ekrana M900 değeri yazdırılır. Bu kayıt verileri diğer tüm verilerle birlikte alt alta yazılarak kaydedilir.

Robot öğretimi için elde edilen kayıt değerleri, direkt mach3 programına gönderilip çalıştırılabilmektedir. Aynı zamanda bu değerler dışa aktarılıp, bir metin dosyasına kaydedilip saklanabilmektedir. Daha önceden kayıtlı olan değerler ise çağırılıp, mach3 programına gönderilebilmektedir. Bu işlemler için tanımlanmış butonlar Şekil 3.71’de gösterilmiştir.



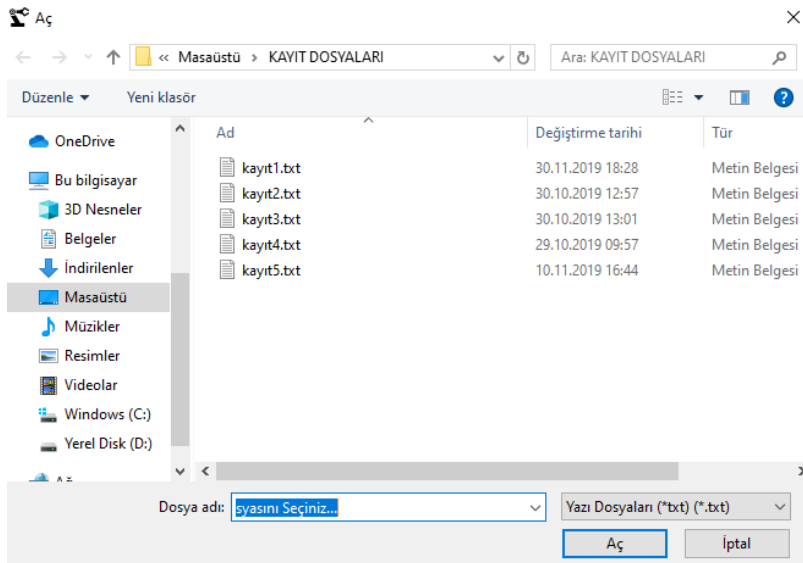
Şekil 3.69. Metin dosyasına yazma, yapılmış kaydı açma ve kaydı çalıştırma butonları

“Dışa Aktar” butonu basılınca bir pencere açılır ve kayıt ekranı aracılığıyla text formatında kayıt yapılır. Kayıt ekranı Şekil 3.72 ’de görülmektedir.



Şekil 3.70. Text dosyası formatında kayıt ekranı

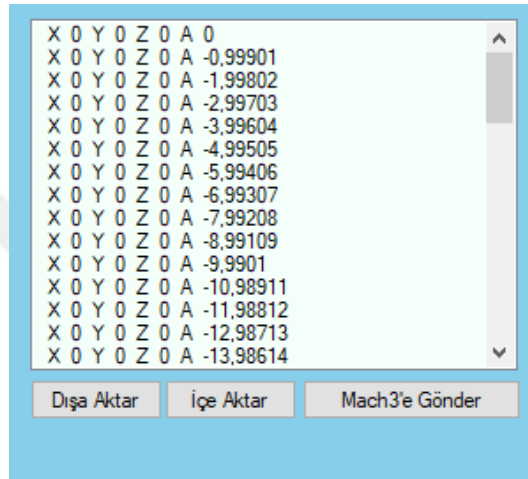
“İçe Aktar” butonu basılınca açılan pencere aracılığıyla text formatında yapılmış olan kayıt açılır. Açılan ekran Şekil 3.73’te görülmektedir.



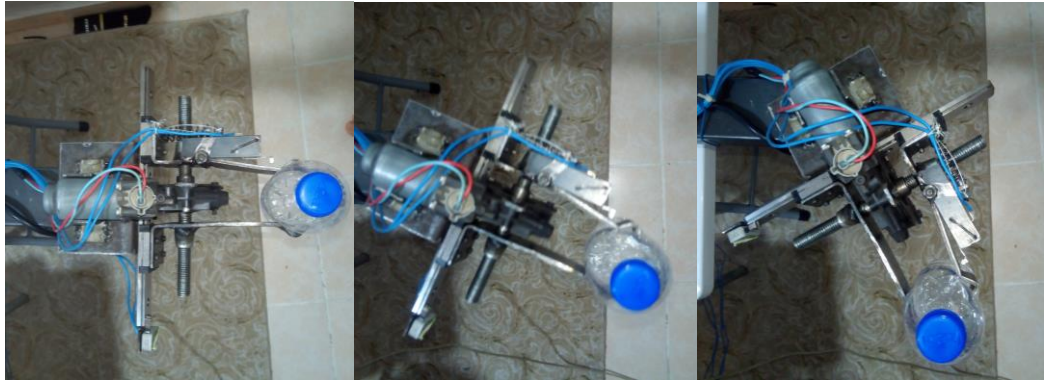
Şekil 3.71. Text dosyası olarak yapılan kayıtları açma ekranı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Sadece bilek eklemi hareket ettirilerek örnek kayıt değerleri alınmış ve Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Öğretilen hareket değerlerinin mach3 programına gönderilmesiyle elde edilen hareketin görüntüleri Şekil 4.2’de görülmektedir.

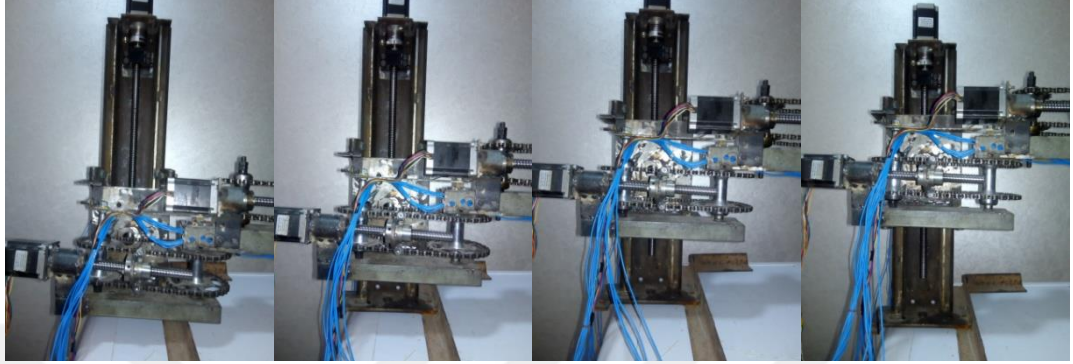


Şekil 4.1. Kaydedilen hareket verisi örneği



Şekil 4.2. Eklem hareket öncesi, hareket esnası ve hareket sonrasındaki görüntüleri

Lineer eklem, ana ekran üzerinde yerleştirilmiş olan tab menülerden ters kinematik kullanılarak hareket ettirilmiş ve sırasıyla 50, 10 ve 150 mm konumlarına gönderilmiştir. Hareket görüntüleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Lineer gövde eklemine sırasıyla sıfır, 50mm, 100mm ve 150 mm konumları

Hareket eklemlerinin geniş ölçekli hareketlerinde daha pürüzsüz ve titreşimsiz bir hareket elde edilmiştir. Bununla beraber hareket tekrar edilebilirliği ise pick and place uygulamalarına çok uygun bir seviyede olduğu görülmüştür. Paketleme ve taşıma işlemleri için tasarlanan robot bu görevler için kolay programlanması ve ağır yapısına rağmen çevik hareketleriyle oldukça elverişli olduğu düşünülmüştür.

Parça taşıyan robotların hız performansı ile çene sıkma performansı, yapılan işin karakteri dolayısıyla birbiriyle bağlantılıdır. Tutucu çene performansı için en önemli kriterlerden birisi, yüksek eklem hızları esnasında, dönme hareketinden doğan dinamik savrulma etkisi ile elindeki parçayı düşürme durumudur. Yapılan çene tasarımı sayesinde yüksek sıkma gücü elde edilmiş ve yüksek hızda denenmiştir. Çene eklemi dayanıklılığı ve kavrama performansı ile tam not almıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tutucu ünitesiyle silindirik ve dikdörtgenler prizması şeklindeki parçaları tutarak yatay düzlemde omuz, dirsek ve bilek bağlantılarıyla döndürme hareketi, düşey düzlemde lineer hareket eden 4 serbestlik dereceli bir scara robot tasarlanarak imal edilmiştir.

Scara robot, c# yazılımı ile yapılan programlama ile parçaları X, Y, Z kartezyen koordinatlarında yatay düzlemde istenilen hız ve ivmelerde hareket ettirerek parçayı düşey ekseninde döndürerek istenilen konum ve açıda kontrollü olarak bırakmaktadır.

Geliştirilen step motor tahrikli vidalı milli elektronik aktüatör ile dişli kullanılarak yapılan redüktörlere göre boşluksuz ve düşük maliyetli dönme hareketi sağlanmıştır. Bu sayede robot, gövde ataletine karşı güçlü bir tork elde edilerek step motorlarda tork performansı sergilemesi sağlanmıştır. Sistemde kullanılan zincir-dişli düzeneği ve elektronik aktüatör ile bir redüksiyon düzeneği tasarlanmış ve 1/75.4, 1/51.5 oranlarında boşluksuz redüksiyon elde edilmiştir.

Elektronik aktüatörlerde omuz eklemine 105 derece, dirsek eklemine ise 240 derecelik bir dönme kabiliyeti sağlanmıştır. Eklem boyutlarında yapılacak tasarımsal iyileştirmelerle bu değerlerin kolaylıkla değiştirilebilecektir.

Panoda bulunan ayarlar menüsünden robotun eklem uzunlukları girilerek robotun hareket limitleri belirlenmektedir. Kinematik hesaplamalar için eklem uzunluklarının kalibre edilmesini kolaylaştırmak açısından bu değerler değişken olarak belirtilmiştir.

Kontrol panelindeki “home” pozisyonu düğmesiyle robot sıfır pozisyonuna getirilmektedir. Ters kinematik sistem çalışmasında kontrol paneline gidilecek konumun X, Y, Z koordinatları girilip, “gönder” butonu ile hareket başlatılarak

tutucu ünitesi istenilen pozisyona belirtilen hız ve ivmede gönderilmektedir. Tutucu ünitesinin kontrol panelindeki tutma butonu ile mekanik sınır anahtarı kullanılarak istenilen sıkma kuvveti ile parça tutulmaktadır. Kontrol panelindeki X, Y, Z pozisyon girişlerine girilen veri bilgilerine göre parçanın yerleştirme koordinatları ve konumu girilerek parça taşınması yapılmaktadır. Çalışma anında istenildiği zaman panelde bulunan stop butonuna basılarak sistemin hareketi durdurulmakta, tekrar start'a basılarak devam ettirilmektedir. Bu hareket sırasında X, Y, Z koordinat değerleri hem ekrandan görünmekte hem de kaydedilebilmektedir.

Hazırlanan programla robot kullanımı kolaylaştırılmış ve hiçbir teknik bilgisi olmayan bir kullanıcının dakikalar içinde öğreneceği basit bir kullanıcı ara yüzü elde edilmiştir.

Kullanılan elektronik donanım ile kapalı çevrim bir kontrol imkanı elde edilemediğinden sistem hareketlerinde istenilmeyen bazı titreşimler gözlenmiştir. Bu titreşimlerin ortadan kaldırılması ve program ara yüzünün daha gelişmiş versiyonları ile de sanayi alanında pazarlanabilir bir robot elde edileceği düşünülmüştür.

KAYNAKLAR

- DAŞ, T., 2003. Motion Control Of Scara Robot With A Plc Unit. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep, 49s.
- SOYGÜDER, S., 2004. Programlanabilir Lojik Kontrolör Kullanılarak Pıd Yöntemi İle Bir Scara Robotun Kontrolü. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 95s.
- SAYGILI, Ç., 2006. Scara Tipi Bir Robotun Tasarımı Ve Animasyonu. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 150s.
- ŞAHİN, Y., 2006. Scara Tip Bir Robotun Yörünge Kontrolünde Pıd Kontrol Uygulanması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 81s.
- ÖZTÜRK, S., 2007. Scara Tipi Robotun Yapay Sinir Ağları İle Eğitilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 128s.
- YAMAÇLI, S. VE CANBOLAT, H., 2008. Simulation of a SCARA Robot with PD and Learning Controllers., *Simulation Modelling Practice and Theory*, 16(9): 1477-1487.
- ÖZKARAKOÇ, M., 2009. Scara Robot Manipulatör İle Seçme Ve Yerleştirme Uygulaması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 48s.
- DEMİRCİ, E., 2012. Design And Analysis Of Scara Robot. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 65s.
- SHARİATEE, M. , AKBARZADEH, A. , MOUSAVİ, A. ve ALIMARDANI, S., 2014. Design of an Economical SCARA Robot for Industrial Applications. Second RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM), 15-17 Ekim, Tahran, s.534-539.
- ÇELİKBAĞ, Y., 2015. Sayısal Sinyal İşleyici Kullanarak Scara Robot Denetimi . Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 63s.
- URREA, C., CORTÉS, J., VE PASCAL, J., 2016. Design, construction and control of a SCARA manipulator with 6 degrees of freedom. *Journal of Applied Research and Technology*, 14(6) : 396-404.
- ÖĞÜLMÜŞ, A., 2017. Scara Tipi Üç Boyutlu Yazıcının Tasarımı Ve Analizi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 87s.
- KAREM, I.S., WAHAB, T.A.J.A ve YAHYH, M.J., 2017. Design and Implementation for 3-DoF SCARA Robot based PLC. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 13(2) : 40- 50.
- ALBAYRAK, Ö., 2018. Scara Dört Eksenli Scara Robotun Tasarlanması Ve Üretimi. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, 68s.
- ÖZER, O., 2018. Programlanabilir Hareketli Üretim Platformu Montaj Otomasyonu İçin Yüksek Erişimli Hafifleştirilmiş Scara Robot Geliştirilmesi ve Prototip Uygulaması. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 84s.
- MANEETHAM, D., 2018. Kinematics Modeling and Simulation of SCARA RobotArm. *International Journal of Modern Research in Engineering and Technology (IJMRET)*, 3(8) : 1-6.
- SHEVKAR, P., BANKAR, S., VANJARE, A., SHINDE, P., REDEKAR, V. ve CHIDREVAR, S., 2019. A Desktop SCARA Robot using Stepper Motors. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 6(2) : 132-139.
- AKINSOFT G. M., 2010. Robotların Tarihçesi. *inovax*. [Erişim Tarihi: 05 11 2019.] <https://inovax.net/inovax/2010/02/robotların-tarihçesi/>.
- ANONİM, 2015. Robot İcadı ve Tarihçesi. *FORUM TR*. [Çevrimiçi] 22 08 2015. [Erişim Tarihi: 5 11 2019.] <https://www.frmtr.com/tarihce-ansiklopedisi/6655614-robot-icadi-ve-tarihçesi.html>.
- ANONİM, 2016. Tüm Robot Çeşitleri. *Robotpark*. [Çevrimiçi] 26 04 2016. [Erişim Tarihi: 05 11 2019.] <http://www.robotpark.com.tr/Tum-Robot-Cesitleri>.
- ERDEN, A. Robot teknolojisinin kilometre taşları. [Çevrimiçi] [Erişim Tarihi: 05 11 2019.] <http://bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/bilgipaket/robotik/kilometre7.html>.
- GENÇTÜRK O. Endüstriyel Robot Nedir ve Ne İşe Yarar. *Türk otomasyon*. [Erişim Tarihi: 05 11 2019.] <http://www.turkotomasyon.com/endustriyel-robotlar.html>.
- KIZILTAŞ, M. B., 2016. Step Motor Nedir? *MechatronicTurkey*. [Erişim Tarihi: 05 11 2019.] <http://www.mechatronicTurkey.com/step-motor-nedir/>.
- SEMİZ, T. Y., 2018. Step Motor Nedir? Çeşitleri nelerdir? *Robotistan*. [Erişim Tarihi 05 11 2019.] <https://maker.robotistan.com/step-motor-nedir/>.

YAMANOL, İ. 2016. Robotların Kısa Tarihi: Bilim Kurgu Kulübü. *Bilim Kurgu Kulübü Web Sitesi*.
[Erişim Tarihi: 05 11 2019.] <https://www.bilimkurgukulubu.com/genel/bilim-teknoloji/robotlarin-kisa-tarihi/>.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Abdurrahman DOĞAN
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Şahinbey/ 20.11.1993
Telefon : 0 542 391 01 19
Faks : -
E-mail : abdur_dogan@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Şanlıurfa Anadolu Lisesi, Şanlıurfa	2011
Lisans	: Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği, Gaziantep	2017
Yüksek Lisans:	-	
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017	Yıldızsu Dalgıç Pompa A.Ş	Üretim Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Makine tasarım, konstrüksiyon. Bilgisayar destekli üretim teknolojisi. İmalat teknolojileri ve robotik.

YABANCI DİLLER

İngilizce (YÖKDİL : 82.5)