T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

RULMANLI VİDALI MİL TAHRİKLİ ROBOT TASARIM VE İMALATI

Savaş KOÇ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2018

Prof. Dr. Cengiz DOĞAN danışmanlığında, Savaş KOÇ'un hazırladığı **"Rulmanlı Vidalı Mil Tahrikli Robot Tasarım ve İmalatı"** konulu bu çalışma 09/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Cengiz DOĞAN ……

Üye : Prof. Dr. Ramazan TAŞALTIN ……

Üye : Prof. Dr. Murat KISA ……

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Kürşad GÖV ……

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Abdullah AKPOLAT ……

Bu tezin Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Prof. Dr. H. Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 16074

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 vii
1. GİRİŞ 1
1.1. Robot Tarihçesi 3
1.2. Robotu Oluşturan Parçalar 5
1.3. Robot Eklem Yapıları 6
1.3.1. Dönme hareketi yapan dönel eklem (R-Revolute) 6
1.3.2. Öteleme hareketi yapan prizmatik eklem (P-Prismatic) 6
1.4. Endüstriyel Robot Kollar 7
1.4.1. Kartezyen robot 8
1.4.2. Silindirik robot kollar 9
1.4.3. Küresel robot kollar 9
1.4.4. Scara robot kol 10
1.4.5. Dönel robot kol 11
1.4.6. Mafsallı robot kollar 11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 14
2.1. Robot Tasarımı Alanında Yapılan Çalışmalar 14
2.2. Endüstriyel Robotlar Üzerine Yapılan Diğer Çalışmalar 19
3. MATERYAL ve YÖNTEM 29
3.1. Tez Konusu 29
3.2. Beş Eksenli Vidalı Mil Tahrikli Mafsallı Robot Tasarımı 32
3.2.1. Robot tablası tasarım ve imalatı 32
3.2.2. Robot düşey eksen dönüş sistemi tasarımı ve imalatı 33
3.2.3. Robot gövdesi tasarımı ve imalatı 36
3.2.4. Yatay eksen dönme hareket aktüatörü tasarımı ve imalatı 37
3.2.5. Robot kolu tasarımı ve imalatı 38
3.2.6. Robot kolu dönme aktüatörü tasarımı ve imalatı 39
3.2.7. Robot tutucu aksamı tasarımı ve imalatı 40
3.2.8. Robot tutucusu 4. ve 5. eksen hareketleri 43
3.2.9. Robot gövdesi ve kolunda yay kullanımı 46
3.3. Robot Kontrol Sistemi 50
3.4. Mach3 Kontrol Kartı 52
3.4.1. Mach3 kontrol kartı ile motor sürücü bağlantıları 54
3.4.2. Mach3 kontrol kartı ayarları 54
3.5. Robot Kola Ait Eksenlerin Çalışma Sınırlarının Belirlenmesi 61
3.5.1. Robot kolun sıfır noktasının belirlenmesi 65
3.6. Step(Adım) Motor ve Sürücüleri 69
3.7. Kontrol Panosunun Oluşturulması ve Parçaların Yerleştirilmesi 73
3.8. Kinematik Hesaplamalar 75
3.8.1. Robotun kinematik hesaplamaları 76
3.8.2. Robotun ters kinematik hesaplamaları 80
3.8.3. Mach3 programı için G kodu ve makro programlarının oluşturulması 86
3.8.4. Kinematik hesaplamalarda Matlab/GUI kullanımı 87
3.9. Joystick Tasarımı ve İmalatı 90
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 96
4.1. Robot Kontrolünde Kullanılan Makrolar 96
4.2. Makroların Yazdırılması ve Çalıştırılmasında PLC Kullanımı 102
4.3. Robotun Hareket Yörüngesinin Programlanması 104
4.3.1. Robotun bir işi yapmak üzere programlanması 105
4.4. Robot Kuvvet Analizi 110

4.4.1. Y Ekseni analizi ve sonuçları 111
4.4.2. Z Ekseni analizi ve sonuçları 112
4.4.3. X Ekseni analizi ve sonuçları 114
4.5. Robot Kolun Kontrolünde İşlem Basamakları ve Akış Diyagramı 116
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 118
5.1. Sonuçlar 118
5.2. Öneriler 119
KAYNAKLAR 120
ÖZGEÇMİŞ 125

ÖZET

Doktora Tezi

RULMANLI VİDALI MİL TAHRİKLİ ROBOT TASARIM VE İMALATI

Savaş KOÇ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cengiz DOĞAN
Yıl: 2018, Sayfa:126

Rekabet ortamı, üretilen parçanın kalitesine ve uygulanan imalat yöntemine olan ilgiyi artırmaktadır. Ürün artışı; otomasyon, anında ve esnek üretimle gerçekleşebilmektedir. İmalatta robot kullanımı; işçilik ve malzeme giderlerini azaltarak ve üretimde standardı sağlayarak kaliteyi artırmaktadır. Endüstride kullanılan robotların yurtdışından yüksek dövizlerle ithal edilmesi, robotun arızalanması durumunda tamir edilememesi ve yazılımların üretici firmalar tarafından verilmemesi gibi nedenlerden dolayı ülkemizde robot tasarımı ve imalatı yaygınlaşmamıştır. Robot imalatında kullanılan malzemelerin ülkemizde bulunmasına rağmen robotun imal edilmemesi gibi dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla robot tasarım ve imalatına uygun şartlar yaratılmış ve bu alanda çalışmaların yürütülmesi için öncülük edilmiştir. Günümüzde mevcut olan robot uygulamalarında manipülatörlerin hareket ettirilmesinde redüktörlü servo motorlar kullanılmaktadır. Uygulamalarda kullanılan servo motorların atalet momentlerinden kaynaklı geriye çekme, aşağıya doğru düşme ve titreme gibi istenmeyen bazı hareketlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, redüktörlerin yerine itme-çekme kuvvetiyle hareketi sağlayan rulmanlı vidalı miller kullanılmıştır. Rulmanlı vidalı mil sisteminin mevcut yöntemlerden maddi olarak daha avantajlı olması ve kullanılan robot parçalarının hareketlerinden kaynaklı olan atalet momentlerinin etkisini azaltarak kontrolde kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca robot kolunda kullanılan vidalı miller kolların hareketlerini kontrol ederek aşağıya doğru düşmesini engellemektedir. Robot kolların hareketlerini tahrik ettirmek için vidalı millerin kullanımı, robot tasarımında yeni bir kullanım alanı oluşturmaktadır. Mach3 kontrol kartı, CNC makinalarında kullanılan kontrol yöntemiyle çalışarak motorlara yol vermektedir. Robotun hareket yörüngesinde çalıştırmak için G kodları oluşturulmaktadır. Kontrol kartından alınan eksen değerler kullanılarak robot kolun hareket edeceği noktalar belirlenerek Mach3 programında oluşturulan makrolar yardımıyla noktaların G kodları yazdırılmaktadır. Kolun bir noktadan bir noktaya hareket etmesini sağlayan yörünge belirlenir. Yörüngede hareket etmesi için G kodları yazdırılarak mach3 programında çalıştırılmaktadır. Böylece ithal edilen robotlara ödenen dövizin %5-10'u kadar cüzi bir fiyatla robot imalatı sağlanarak yurt dışına milli servetin gitmesi engellenmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Üretimde standart, endüstriyel robot, vidalı mil, G kodu ile çalışma

ABSTRACT

PhD Thesis

BEARİNG BALL SCREW DRİVEN ROBOT DESIGN AND MANUFACTURİNG

Savaş KOÇ

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

Supervisor: Prof. Dr. Cengiz DOĞAN
Year:2018, Paper:126

The competitive environment increases the relevance of the quality of the produced part and the applied manufacturing method. Product growth happens with automation, instant and flexible production. Use of robot in manufacturing, increasing quality by reducing labor and material costs and ensuring standard in production. Robot design and manufacturing have not been widespread in our country because of the reasons such as importing robots used in the industry from abroad and repairing them in case of malfunction of the robot and not giving software by the manufacturers. Despite the fact that the materials used in robot manufacturing are located in our country, in order to eliminate the disadvantages such as not producing the robot, conditions suitable for robot design and manufacturing have been created and it has been pioneered for carrying out the work in the field. In today's robot applications, servo motors with reducers are used when the manipulators are moved. It causes some unintended movements such as backward stroke, downward motion and trembling due to inertia moments of servo motors used in applications. In this work, instead of gearboxes, a roller-threaded screwdriver has been used to provide thrust-pulling force. The ball screw system with ball bearings is more advantageous than the existing methods and provides ease of control by reducing the effect of inertia moments caused by the movements of the used robot parts. It also controls the movements of the screwed miller arms used on the robot arm, preventing them from falling down. The use of a screw mill to drive the movements of the robot arms creates a new field of application in robot design. The Mach3 control card works with the control method used on CNC machines to drive the engines. G codes are generated to run the robot's trajectory. Using the axis values taken from the control card, the points where the robot arm moves will be determined and the G codes of the points are printed with the help of the macros created in the Mach3 program. Arm movement trajectory that is determined from a point to another point. The G codes are printed and run in the mach3 program in order to move to the orbit. As a result, robots are produced with a small price of 5-10% of the exchange rate paid to the imported robots and the national wealth is prevented from going abroad.

KEY WORDS: Standart in manufacturing, industrial robot, ball screws, working with G code

TEŞEKKÜR

Tezin konusunun seçimi, uygulanması ve çalışmasında yardımlarını eksik etmeyen danışman Hocamız sayın Prof. Dr. Cengiz DOĞAN, çalışmada montaj işlemlerinde yardımlarını esirgemeyen Harran Üniversitesi Makine Fabrikası çalışanları, özellikle torna ustası Sayın İzettin KARAKAŞ ve tez çalışmasında büyük bir sabırla destek çıkan eşim Sayın Suzan TANRIKULU KOÇ, çocuklarım Avşin, Hasan Ali ve Hatice Kübra'ya teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Dönel eklem 6
Şekil 1.2. Prizmatik Eklem 7
Şekil 1.3. Eklemlerin sınıflandırılması 7
Şekil 1.4. Kartezyen robot kolun çalışma alanı 8
Şekil 1.5. Silindirik robot kolun çalışma alanı 9
Şekil 1.6. Küresel robot kolun çalışma alanı 10
Şekil 1.7. Scara robot kolun çalışma alanı 11
Şekil 1.8. Dönel robot kolun çalışma alanı 11
Şekil 1.9. İnsan kolu ve robot kolunun birbirine uyarlanması 12
Şekil 1.10. Puma Robotu (Konukseven ve Kaftanoğlu, 1990) 13
Şekil 1.11. Mafsallı robot kolu 13
Şekil 3.1. Mafsallı bir robotta örnek eklem ve kol bağlantıları 31
Şekil 3.2. Robot yan görünüşü 32
Şekil 3.3. Robot tablası 33
Şekil 3.4. Düşey eksen mili ve gövde montajı 34
Şekil 3.5. Aktüatörün düşey eksen miline montajı 34
Şekil 3.6. Aktüatörün tablaya montajı 35
Şekil 3.7. Rulmanlı vidalı milli aktuatör 35
Şekil 3.8. Rulmanlı vidalı milli aktuatör 36
Şekil 3.9. Robot gövdesi montajı 36
Şekil 3.10. Borulu aktuatörün kesit görünüşü 37
Şekil 3.11. Borulu tip aktuatörün düşey mile montajı 38
Şekil 3.12. Robot kol ve gövde bağlantısı 39
Şekil 3.13. Borulu tip aktuatörün demonte görüntüsü 39
Şekil 3.14. Aktuatörün gövde ve kola montajı 40
Şekil 3.15. Tutucu ünitesi aksamları 41
Şekil 3.16. Motorun tutucu gövdesindeki montajı 42
Şekil 3.17. Tutucu tahrik sistemi 43
Şekil 3.18. Tutucu kolların 4. ve 5. dönüş eksenleri 44
Şekil 3.19. Tutucu gövde bağlantı aksamı 44
Şekil 3.20. Tutucu gövdenin robot kola montajı ve triger kayış-kasnak sisteminin montajı 45
Şekil 3.21. Robot tutucu montajı 46
Şekil 3.22. Robot gövdesinde yayların kullanımı 47
Şekil 3.23. Robot kolunda yayların kullanımı 47
Şekil 3.24. Robotun arka taraftaki kesit görüntüsü 48
Şekil 3.25. Robotun ulaşabildiği yükseklik 48
Şekil 3.26. Robotun yere en yakın ulaşabildiği nokta 49
Şekil 3.27. Robotun sağ yan kesit görüntüsü 49
Şekil 3.28. Açık devre kontrol sistemi 50
Şekil 3.29. Kapalı devre kontrol sistemi 51
Şekil 3.30. Mach3 Kontrol Kartı 53
Şekil 3.31. Mach3 ara yüzü 53
Şekil 3.32. Eksenlerin tanıtılması 54
Şekil 3.33. Motor çıkış ayarları 55
Şekil 3.34. Giriş ayarları 55
Şekil 3.35. Çıkış ayarları 56
Şekil 3.36. Motor yön uçlarının kontaktör üzerindeki bağlantısı 56
Şekil 3.37. Tutucu kol motorunun röle ve kart bağlantısı 57
Şekil 3.38. Röle kontrolü çıkış ayarları 57
Şekil 3.39. X,Y,Z ve A eksenleri motorların motor tuning ayarları 58
Şekil 3.40. B ekseni motor turing ayarı 59

Şekil 3.41. Output 2 çıkışındaki makrolar 59
Şekil 3.42. Output 3 çıkışındaki makrolar 60
Şekil 3.43. Output 4 çıkışındaki makrolar 60
Şekil 3.44. Output 6 çıkışındaki makrolar 60
Şekil 3.45. Sınır anahtarlarının kart bağlantısı 61
Şekil 3.46. Y ekseni çalışma sınırları 62
Şekil 3.47. Z ekseni sınır anahtarları 62
Şekil 3.48. X ekseni sınır anahtarları 63
Şekil 3.49. A ekseni sınır anahtarları 63
Şekil 3.50. B ekseni sınır anahtarları 64
Şekil 3.51. Giriş sinyalleri ayarı 64
Şekil 3.52. Giriş sinyalleri ayarı 65
Şekil 3.53. Sıfırlama işleminde kullanılan mikro anahtar 65
Şekil 3.54. Sıfırlama Anahtarlarının tanımlanması 66
Şekil 3.55. X ekseni sıfırlama anahtarı 66
Şekil 3.56. Y ekseni sıfırlama anahtarı 67
Şekil 3.57. Z ekseni sıfırlama anahtarı 67
Şekil 3.58. A ekseni sıfırlama anahtarı 68
Şekil 3.59. B ekseni sıfırlama anahtarı 68
Şekil 3.60. Step motor iç görüntüsü 69
Şekil 3.61. Step motorlarda sargıların bağlantısı 69
Şekil 3.62. Step Motor ve bipolar kablo bağlantısı 70
Şekil 3.63. JK-1545 Step Motor Sürücüsü 71
Şekil 3.64. Step motorun sürücü ve kontrol kartına bağlantısı 72
Şekil 3.65. Kontrol panosu iç görüntüsü 73
Şekil 3.66. Kontrol panosunun çalıştırma durumu 74
Şekil 3.67. Robot dönüş eksenlerine göre uzunlukların tanımlanması 76
Şekil 3.68. Robotta Kartezyen koordinat eksenleri ve parametreler 79
Şekil 3.69. Ters Kinematik hesabı için parametreler 81
Şekil 3.70. Θ_A açısı sıfırken robotun pozisyonunun belirlenmesi 83
Şekil 3.71. Ara yüz elemanlarının yerleştirilmesi 87
Şekil 3.72. Eksenlerin okunması 88
Şekil 3.73. Ters kinematik verilerinin girişi 88
Şekil 3.74. G kodlarının yazıldığı pencere 89
Şekil 3.75. Joystick 90
Şekil 3.76. Joystick tabanı 91
Şekil 3.77. Joystick tablası 91
Şekil 3.78. Joystick montajı 92
Şekil 3.79. Joystick ayarları 93
Şekil 3.80. Klavye devre kartı (Monk, 2017) 93
Şekil 3.81. Klavye tuş matrisi ile devre bağlantısının prensip şeması (CANDAŞ, 2017) 94
Şekil 3.94. Eksen değerlerine klavye kısa yol tuşunun atanması işlemi 95
Şekil 4.1. M255 makrosu 97
Şekil 4.2. M522 makrosu 97
Şekil 4.3. M225 makrosu 98
Şekil 4.4. M5 makrosu 98
Şekil 4.5. M222 makrosu 99
Şekil 4.6. M555 makrosu 99
Şekil 4.7. M555 makrosu 100
Şekil 4.8. M55 makrosu 100
Şekil 4.9. M25 makrosu 101
Şekil 4.10. M52 makrosu 101
Şekil 4.11. M252 makrosu 101
Şekil 4. 12. M525 makrosu 102
Şekil 4.13. PLC ve rölelerin bağlantısı 102
Şekil 4.14. Robotun parçaya yaklaşması 105
Şekil 4.15. Robotun parçayı kavraması 106

Şekil 4.16. Robotun orta pozisyonu 107
Şekil 4.17. Robotun döndürme pozisyonu 108
Şekil 4.18. Robotun parçayı bırakması 108
Şekil 4.19. Sıfırlama noktası pozisyonu 109
Şekil 4.20. G kodu dosyası 109
Şekil 4.21. ANSYS programında robot analizi 110
Şekil 4.22. Y ekseni üzerine gelen kuvvetlerin analizi 111
Şekil 4.23. Y ekseni kuvvet-zaman grafiği 111
Şekil 4.24. Z ekseni üzerine gelen kuvvetlerin analizi 112
Şekil 4.25. Z ekseni kuvvet- zaman grafiği 113
Şekil 4.26. X ekseni kuvvet analizi 114
Şekil 4.27. X ekseni kuvvet-zaman grafiği 115
Şekil 4.28. Robot kolun kontrolünde işlem basamakları 116
Şekil 4.29. Robot kolun hareketini belirleyen akış diyagramı 117

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Joystickte kullanılan tuşlar ve özellikleri 94
Çizelge 4.1. Y ekseni kuvvet-zaman grafiği 112
Çizelge 4.2. Z ekseninde oluşan kuvvetler 114
Çizelge 4.3. X ekseninde oluşan kuvvetler 115

1. GİRİŞ

Makine, elektrik-elektronik ve bilgisayar bilim dallarını birlikte kullanan mekatronik bilimi; teknolojideki taleplere ve sorunlara çözüm getirme, müşteri isteklerini dikkate alan bir bütünlük içinde algılayan ve bunları bir arada kullanan yeni bir disiplinler arası mühendislik olarak tanımlanmaktadır. Bu felsefe bazı bilimleri bir arada kullanarak bu bilim dallarının birlikte hareket etmesiyle kaynaştırılmaktadır. Bu bilim dalıyla ilgili yapılan tanımlar arasında ön plana çıkanlar ise bir kesişim mühendisliği olduğunu ve genellikle de robot çalışmalarından oluşturulmasıdır. Henry Ford'un 1900'lü yılların başlarında ortaya koyduğu seri üretim kavramı, üretim teknolojilerinde otomasyonun kullanımı büyük bir yer tutmaktadır. Günümüzdeki otomasyonun bu önemli işleve sahip olması 1950'li yıllarda üretimde nümerik kontrollü takım tezgâhlarının üretimde kullanımıyla oluşmaktadır. 1960'lı yılların sonlarına doğru gelindiğinde ise iletken malzeme teknolojisindeki gelişmeler ve küçük boyutlu bilgisayarların ortaya çıkmasıyla birlikte bilgisayar destekli nümerik kontrollü takım tezgâhları (CNC tezgâhlarının) geliştirilmektedir. Makinalar arasındaki koordinasyonu sağlayan bilgisayar ağlarının 1970'lerde ortaya çıkması da mekatronik kavramının otomasyon teknolojileri arasındaki önemini artırmaktadır. Günümüzde otomasyon sistemlerindeki gelişmelere bakıldığında ilk olarak akla mekatronik sistemler gelmektedir. Bu sistemleri kullanabilen uzman kişilere olan talep hızlı bir şekilde artmaktadır (Gören ve Başer, 2000).

Temel üretim süreçlerinde üretime yönelik kullanılan makineler kadar, bu makinelerin çalışmasını sağlayan yardımcı ekipmanlar da bir işletme için yüksek kritikliğe sahip olmaktadır. Yardımcı alet ve sistemlerin en başında mekatronik otomasyon sistemi ve bu sistemlerin çalışmasına yardımcı olan ekipmanlar gelmektedir. Düşük yatırım maliyetleri ve sağladıkları esnek üretim modelleri ile otomasyon sistemleri işletmelerin vazgeçilmez unsurlarını oluşturmaktadır. Otomasyon sistemleri, işletmelerin çalışmalarına yardımcı olan kuruluşlar tarafından sağlanmaktadır. İhtiyaç duyulan uygulamaya uygun olarak işletme bünyesindeki uzmanlar tarafından tasarlanarak imal edilmektedir. Kartezyen robotlar; ham madde,

işçilik ve enerji kullanımını minimum düzeye indirgemektedir. Otomasyon sistemlerinin ana parçalarından biri olan ve geniş bir kullanım alanına sahip kartezyen robotlar; servo ve pnömatik kontrollü olarak tasarlanmaktadır (Türedi ve Bircan, 2016).

Rekabet ortamı; üretilen parçanın kalitesine ve uygulanan imalat yöntemine olan ilgiyi artırmaktadır. İmalatta robot kullanımı işçilik ve malzeme giderlerini azaltarak, üretimde standardı sağlayarak kaliteyi artırarak firmanın rakiplerine göre rekabet gücünü artırmaktadır. Robot kullanımı; insanları kaynak ve boyahane gibi zehirleyici etkileri olan monoton ve ağır hacimli iş ortamlarından kurtararak pek çok işlemin dar alanlarda yapılmasına imkân sağlamaktadır. Ürün artışı, otomasyon, anında üretim (just-in-time) ve esnek (flexible) üretim ile gerçekleşebilmektedir. Yüksek bir refah düzeyinde az çalışarak yaşamayı sağlamak, sanayi devriminin getirdiği makineleşme ve otomasyon sistemlerinde robot kullanımının günden güne artmasıyla gerçekleşmektedir. Üretimde esneklik ve kapasitesinin yükseltilmesi, bozuk parça sayısının azaltılması ve malzeme tasarrufu robot kullanımıyla oluşmaktadır. Ayrıca insan sağlığını tehdit eden unsurların varlığı, iş gücünün gerek zor bulunması gerek pahalı oluşu da robot kullanımını zorunlu hale getirmektedir (Mühendis Forum, 2007).

Küresel pazarların imalat sektörleri; esnek olmalı, değişikliklere kolayca uyum sağlamalı ve en kısa sürede en iyi ürünü sunabilmelidir. İstenilen tüm kalite düzeylerinde ucuza mal etme özelliklerine de sahip olmalıdır. Bu özellikleri dikkate alan imalat sektörleri, gelişen teknolojiden yararlanarak esnek ve bütünleşik imalat sistemlerine dönüştürmeleri gerekmektedir. İnsanlar, bedensel olarak bütün işleri yapma imkânına sahip değildirler. Bundan dolayı da gücünün yetmediği yerlerde kullanmak üzere çeşitli sistemleri kullanan makineler geliştirmiştir. İlkel ve fonksiyonel olmayan bu makineler, teknolojinin gelişme süreci içerisinde insanlar tarafından geliştirilmektedir. Bu makineler, insan hareketlerine benzer hareketler yapma özelliklerine sahip olarak ilk başlarda insanlar tarafından yönlendirilen bu makinalar zamanla geliştirilerek çeşitli çevre birimleriyle birlikte kullanılmasıyla insanlara ihtiyaç duymadan otomatik olarak çalışır duruma gelmektedir. Bu makinalar üretim maliyetini düşürmek ve kaliteli üretim yapmak için kullanılmaktadır. Ayrıca

insan sağlığına zarar verebilecek işlerde (kimyasal enerji, nükleer enerji, çok yüksek ısı, titreşim, yüksek ses vb.) ve insanın ulaşamadığı yerlerde kullanılmaktadır (Çengelci ve Çimen, 2005).

Dünyadaki teknolojik gelişmelerin artmasıyla birlikte endüstrideki üretim sistemlerinin gelişimini de beraberinde getirmektedir. Teknolojik cihaz ve makinaları kullanarak üretim yapan fabrika sistemlerinde gün geçtikçe artan rekabet; daha ucuza ve daha kaliteli mal üretimi yapmaktadır. Üretimde teknolojinin transferi ve kullanımı, bilginin yanı sıra belirli bir maliyet de gerektirmektedir. Ülkemiz, bu teknolojilerin transferinde ve kullanımında oldukça geride kalmaktadır. Bunun sonucunda da rekabet ortamında giderek rekabet gücünü yitirmektedir (Çengelci ve Çimen, 2010).

Robot manipülatörlerini kontrol etme, doğrusal olmayan ve çok değişkenli dinamik davranışlarından dolayı, araştırmacılara bazı zorluklar çıkartmaktadır. Bununla birlikte, robot manipülatörlerinin kontrol algoritmalarında çok fazla çalışma olduğu halde pek çok çalışma benzetimlerle elde edilen potansiyel performans avantajlarını göstermektedir. Fakat gerçek manipülatörler üzerinde yapılan deneylerden sadece birkaçı başarılı olmuştur. Bunun başlıca sebepleri, çalışmalarda uygun deney düzeneklerinin bulunmaması ve robot dinamikleri ve sürtünme gibi diğer bileşenler için doğru bir model kullanılmamasıdır (Reyes ve Kelly, 2001).

1.1. Robot Tarihçesi

Yapay sistemleri kullanma arzusu, insanlık tarihinde çok eskilere dayanmaktadır. Yunan mitolojisinde, toprak kullanılarak yapılan ve insan kalıbı olarak işlenmiş Talus adında bronz köleyi Girit Adası'nı işgalcilerden korumak için görevlendirilmiştir (Kyriakopoulos ve Loizou,).

"The Pigeon" isimli tahtadan yapılmış bir güvercin, Yunan matematikçi Tarentumlu Archytas(M.Ö430) tarafından yapılmıştır. Bu güvercin kısa süreliğine uçtuktan sonra düşmüştür. Tekrardan uçurtulmaya çalışılmış fakat başarı sağlanamamıştır. Robot tekniğinin ilk fikir babası olarak kabul edilen sibernetik

alanının en büyük dâhilerinden Ebu'l-'Izz Isma'il b. Er-Rezzaz El-Cezeri Artuklu hükümdarına sunmak üzere otomatik olarak çalışan kendi kendine bazı hareketler yapan bir alet geliştirmiştir. Bu alet dünyanın ilk robotu olarak kabul edilmektedir (Korkutata ve Toprak, 2013).

Robot sözcüğü Slavcada iş veya işçi anlamına gelen "robota" sözcüğünden gelmektedir. İlk olarak robot sözcüğü Çek oyun yazarı Karel Čapek tarafından 1921'de *Rossum'un Evrensel Robotları (RUR, Rossum's Universal Robots)* adındaki bilim kurgu hikâyesinde geçmektedir. Bu hikâyenin içeriğine bakıldığında Rossum tarafından yapılan otomat parçası, hikâyenin sonlarına doğru insanlığı yok etmek için başkaldırmaktadır. Mary Wollstonecraft-Shelley'in büyük gotik romanı olan Frankestein'da insana benzer bir varlık yaratılmakta ve o yaratık insanı yok etmektedir. 1940'lı yılların başlarında bilim kurgu yazarı Isaac Asimov da robotu otomasyon sistemlerinde çalışan bir insan görünümlü makine olarak düşünmektedir. Bu robot tanımı, insan tarafından programlanmış görevlerinin dışında, belli etik kurallara riayet eden ve insan tarafından programlanmış bir beyinle robot davranışını yönlendirmektedir. Robotik ifadesi, Isaac Asimov tarafından ortaya atılmıştır. 1950'li yıllarda Asimov'un "I Robot" romanı robot hikâyelerinin ruh halini değiştirmiştir. Teknolojik çağın gelişmesi ile birlikte robotlar fabrikalarda mükemmel makinalara dönüştürülmüştür. Robotik sözcüğü, robot tekniğinin üç temel yasasına dayandırılan ve robotların çalışmasını konu alan bir bilim olarak kabul edilmektedir. Robotlar, belirli bazı etik kodlarla çalışan, kendine zarar vermeyen ve insanlara yaralayıcı veya öldürücü darbeler vurmayan bir mekanizma olmalıdır. 1970'li yılların başında kötü robot karakterleriyle pek çok film kaleme alınmıştır (Selig, 1992) .

Robot, Amerika'da bulunan Robot Enstitüsü tarafından "araçların, malzemelerin ve parçaların hareket ettirilmesinde kullanılmak üzere tasarlanan, programlanabilir ve çok fonksiyonlu manipülatör parçaları veya farklı çalışmalarda verilen görevleri yerine getirebilmek için değişken olarak programlanabilen hareketleri gerçekleştiren özel araç" şeklinde tanımlanmaktadır (Kyriakopoulos ve Loizou, 2006). 1960 yılında George DEVOL tarafından ilk robot patenti alınmış ve bu robota da üretildiği fabrika ismi olan "Unimation Robot" adı verilmiştir. Bu "Master Slave" robot kolu kurşun

cam ekran arkasındaki radyoaktif malzemelerin işlenmesinde kullanılmıştır. Amerikalı mucit Devol'un iki icadı modern robotların gelişimde büyük rol sahibi olmuştur (Selig, 1992).

1960'ların sonlarında araştırmacılar tarafından "Shakey" adında bilgisayar kontrollü bir robot imal edilmiştir. Shakey, etraftaki eşyalara çarpmadan odaları dolaşmıştır. Sesli komutları kullanarak tahta kutuları üst üste dizmektedir. 1960'lı yıllarda Hughes Aircraft adlı uçak şirketi "Mobot" adında robotları üretmiştir. Mobotlar, tamamen uzaktan kumanda ile kontrol edilen makinalardır. 1970 yılında insansız bir Rus aracı olan Lunokohod 1, ayın yüzeyinde iken dünyadan kumanda edilerek keşif gezisini yapmıştır. 1971 yılında Cincinnati Milacron firması tarafından imal edilen bilgisayar kontrollü robot, piyasaya sürmüştür. 1976 yılında NASA tarafından Mars yüzeyinde örnekler toplayan Viking 1 ve Viking 2 araçları geliştirilmiştir. Aynı yılda da Standford Üniversitesi'nde elektrikle çalışan Standford Kolu isimli bir robot kol üretilmiştir. Odetics şirketinin geliştirdiği 6 bacaklı deneysel robotu da hareketli robotlar alanında yapılan diğer bir önemli çalışmadır. Bu robot belirli böceklerin ve insanların bacak yapıları üzerine yapılan çalışmalar sonucu tasarlanmış ve "Functionoid" adı verilmiştir. 1978 yılında Puma Robot Kolu isimli robot kol Unimation ve General Motors tarafından geliştirilmiştir. Fabrikalardaki montaj işlemlerinde kullanılmak üzere 1979 yılında Yamanashi Üniversitesi Scara Kolu'nu tasarlayarak imal etmiştir (Barutcuoğlu, 2001).

1.2. Robotu Oluşturan Parçalar

Robotu oluşturan parçalar dört ana kısımdan oluşmaktadır.

1- Mekanik bir yapı veya eklemlerle birbirine sıralı bir şekilde bağlanmış uzuvlardan oluşan manipülatörler; manipülatörlerde serbestliği sağlayan koldan, el becerisini sağlayan bilekten ve robotun yerine getirmesi gereken görevi tamamlayacak olan sonlandırıcılardan oluşmaktadır.
2- Kolların hareketlenmesiyle manipülatörlerin hareket etmesini sağlayan tahrik sistemleri.
3- Manipülatörün veya sistemin durumunu gözlemleyen algılayıcılar.

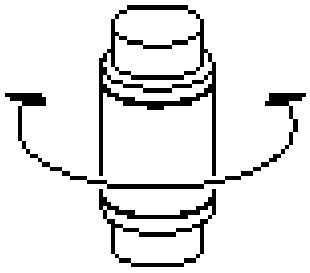
4- Manipülatörlerin hareketlerini kontrol altında tutan ve bu hareketlerin yapılmasını sağlayan bir kontrol sistemi.

1.3. Robot Eklem Yapıları

Robotlar yapısal olarak birbirinden bağımsız hareket eden öteleme ve dönme eklemlerinden oluşmaktadır.

1.3.1. Dönme hareketi yapan dönel eklem (R-Revolute)

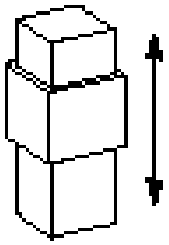
İki manipülatör arasında dönme hareketini sağlamaktadır. Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi dönme hareketleri sonucunda oluşan yer değiştirme de eklem açısı (joint angle) olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1.1. Dönel eklem

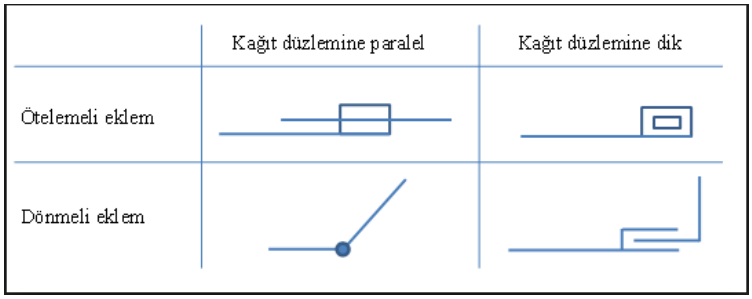
1.3.2. Öteleme hareketi yapan prizmatik eklem (P-Prismatic)

İki manipülatör arasında öteleme hareketini sağlamaktadır. Şekil 1.2.'de gösterildiği gibi bağlar arasındaki öteleme hareketinden dolayı oluşan yer değiştirme de eklem kayması (joint offset) olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 1.2. Prizmatik Eklem

Eklemlerin tanımlanmasında Huang ve Milosevic tarafından Şekil 1.3.'de görüldüğü gibi geliştirilen kodlama ile robotların çalışma şekilleri belirlenmektedir. Bu kodlamalardan yola çıkılarak robotlar sınıflandırılmaktadır (Bingül ve Küçük, 2005).



Şekil 1.3. Eklemlerin sınıflandırılması

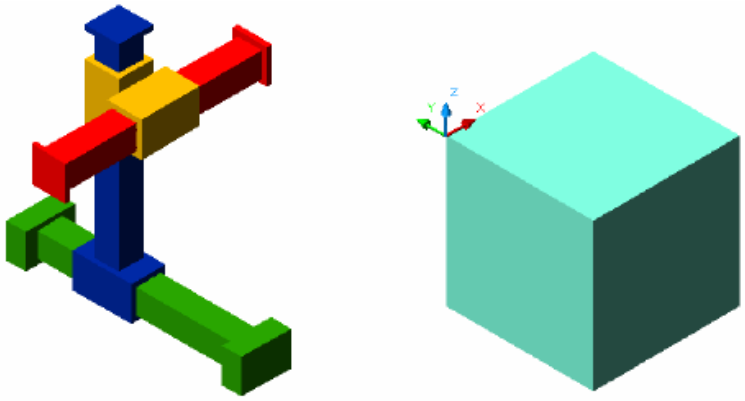
1.4. Endüstriyel Robot Kollar

Eklem türlerine ve kontrol mekanizmasına göre robotlar iki farklı şekilde tanımlanmaktadır. Kontrol tekniğine göre uyarlayıcı robotlar, uyarlayıcı olmayan robotlar ve akıllı robotlar olmak üzere 3 çeşit robot türü bulunmaktadır. Uyarlayıcı robotlarda sensör ve sınır anahtarı gibi donanımlar bulunurken akıllı robotlarda bu donanımlara ek olarak geniş bir hafıza ve çevreyi tanımlayacak bir model bulunmaktadır. Eklem türlerine göre robotları da döner, prizmatik, silindirik, küresel ve helisel türlerine göre de sınıflandırılmaktadır. Bu eklem türlerinden en çok döner ve prizmatik eklemler kullanılmaktadır. Bir robotu oluşturan bölümler ise mekanik parçalar, hareketlendiriciler ve kontrol birimleridir. Ayrıca robotlarda yapısal parçalar, güç ileten parçalar, taşıyıcılar ve akuplaj gibi mekanik bölümler de kullanılmaktadır.

Bu mekanik bölümler, servis parçaları ve temel yapı parçaları olarak ikiye ayrılmaktadır. El, kaynak, boyama, öğütme ve sıkıştırma araçları mekaniğin servis parçaları içinde yer almaktadır. Modern robotlarda eklemleri hareketlendiren tahrik mekanizmaları genellikle elektrikle çalışan DC sürücülerdir. Bunun yanı sıra hidrolik ve pnömatik tahrik ediciler de sıklıkla kullanılmaktadır (Tonbul ve Sarıtaş, 2003).

1.4.1. Kartezyen robot

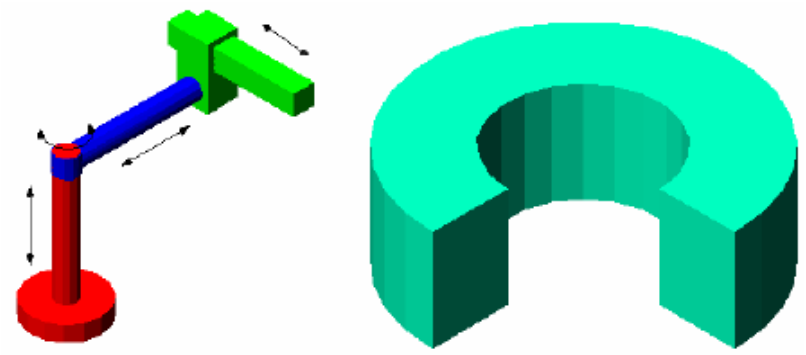
Tutma ve taşıma yeteneğine sahip olan bu robot türü, Kartezyen koordinat sisteminde eksenler boyunca doğrusal hareket etmektedir. Yapıları basit olduğundan kontrollerinin planlanması da kolay olmaktadır. Bu robot türlerinde, robotun uç parçasının bulunduğu nokta, mafsalların o anda eksen üzerinde bulunduğu pozisyonda olduğundan kinematik hesaplamaları da kolayca yapılabilmektedir. Çalışma alanları Şekil 1.4.'de gösterildiği gibi dikdörtgen bölge şeklindedir. Eğilme ve bükülme işlemlerini yapamaz ve yük taşıma kapasiteleri diğer robot türlerine kıyasla daha fazladır. İnsan gücünün yapamadığı işleri yapmada kullanılmaktadır. Genellikle yük kaldırma ve yük boşaltma işlemlerinde kullanılmak amacıyla fabrikaların tavan kısımlarına monte edilmektedirler. Tahrik sistemi olarak küçük güçlü olan türlerinde pnömatik sistem kullanılırken büyük güçlü robot türlerinde ise hidrolik sistem kullanılmaktadır. Pnömatik sistemle çalışan robot türlerinde basınçlı hava ve bu havanın kontrolü işlemlerine ihtiyaç duymasından dolayı kurulum maliyetleri yüksektir. Ayrıca büyük güçlü sistemlerde elektrikli motorlar da kullanılmaktadır.



Şekil 1.4. Kartezyen robot kolun çalışma alanı

1.4.2. Silindirik robot kollar

Kendi ekseni etrafında dönen bir mafsal ve bu mafsal üzerinde bulunan Kartezyen Koordinatlar'da doğrusal hareket edebilen kollardan oluşmaktadır. Esnek olmayan bir silindirik koordinat sistemine sahiptirler. Kartezyen robotlarla karşılaştırıldığında hareket kabiliyetleri daha iyidir. Şekil 1.5.'de gösterildiği gibi kartezyen robotlara oranla çalışma alanı içerisindeki herhangi bir noktaya gitme yeteneği daha iyidir. Hareket kabiliyetlerinin az olması nedeniyle programlaması da kolay olmaktadır. Robot kolun çalışma alanının değişimi hareket eden kolların uzunluklarıyla orantılıdır. Tahrik mekanizması; kullanıldığı yer ve taşıdığı yük miktarına göre pnomatik, hidrolik veya elektrikli olmaktadır. Bu tür robotlar daha çok nemli ve tozlu ortamlarda, uzay gözlem araçlarında, nokta kaynağında ve deniz altı araçlarında kullanılmaktadır.

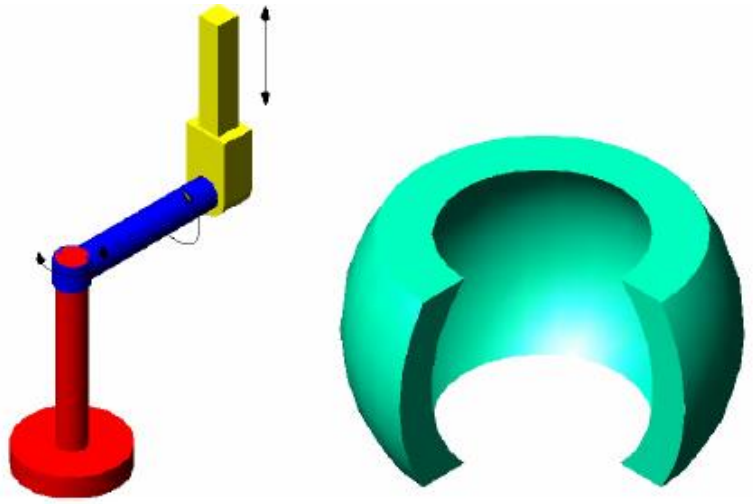


Şekil 1.5. Silindirik robot kolun çalışma alanı

1.4.3. Küresel robot kollar

Robot yapısında genellikle bel, omuz ve dirsek mafsalları kullanılmaktadır. Bel ve omuz mafsalları kendi etrafında dönme hareketi yaparak çalışırken dirsek mafsalları ise kolların uzaması ve kısalması hareketlerini sağlamaktadır. Küresel robotlarda, kol yapılarından dolayı eklemli robot kollarına benzer özellikler göstermektedir. Şekil 1.6.'da gösterildiği gibi küresel robotlarda çalışma uzayı olarak küresel koordinat sistemi kullanır. Robot kolu kontrolü ve kinematik hesaplamalarının denklemleri diğer robot kollara göre daha zor ve karmaşıktır. Çalışma uzayının genişliği robot kolların

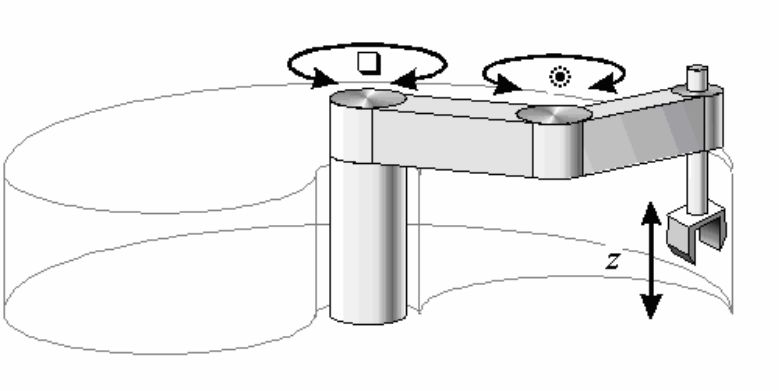
büyüklüğüyle orantılıdır. Genellikle tahrik mekanizması olarak hidrolik sistem kullanılmaktadır. Küresel robot kollar; sıklıkla eğme, kameralı izleme ve bükme işlemlerinde kullanılır. Ayrıca sarkaç robot olarak da uygulanan küçük bir moment hareketiyle de kaynak ve zamklama işlemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 1.6. Küresel robot kolun çalışma alanı

1.4.4. Scara robot kol

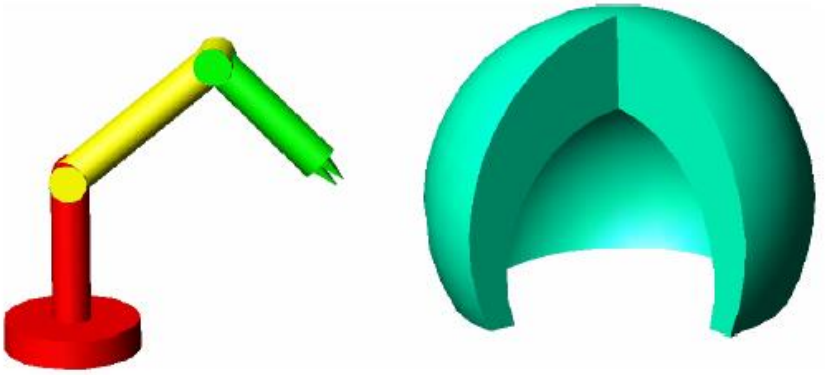
Scara robot kolu mekanizmasında ilk iki eklem elektrik motoru ile tahrik edilirken diğer eklem de pnömatik sistemle tahrik edilmektedir. İlk iki eklemde kullanılan elektrik motorları kolları kendi eksenleri etrafında döndürürken tutma ağzının bulunduğu kol ise pnömatik tahrik sistemini kullanarak Z ekseninde hareket etmektedir. Bu hareket sayesinde esnek bir hareket kabiliyetini kazanmaktadır. Hız ve konum performansları çok iyidir. Scara robot kolları genellikle elektronik sanayisinde, elektronik kartların üzerine devre elemanlarının yerleştirilmesinde kullanılmaktadır. Şekil 1.7.'de gösterildiği gibi çalışma alanı içerisinde kolun altında kalan kısımlarda çalışmaktadır. Maliyetinin ucuz olmasından dolayı utma ve taşıma işlemlerinde en çok tercih edilen robot koldur.



Şekil 1.7. Scara robot kolun çalışma alanı

1.4.5. Dönel robot kol

Dönel robot kolun üç eklemi de döner eklemlerden oluşmaktadır. Dönel robot kolun eklem yapıları ve çalışma alanı şekil 1.8.'de gösterildiği gibidir. Bu robotlar daha çok insan omuzunun ve kolunun hareketlerini yapabilecek şekilde tasarlanmaktadır.

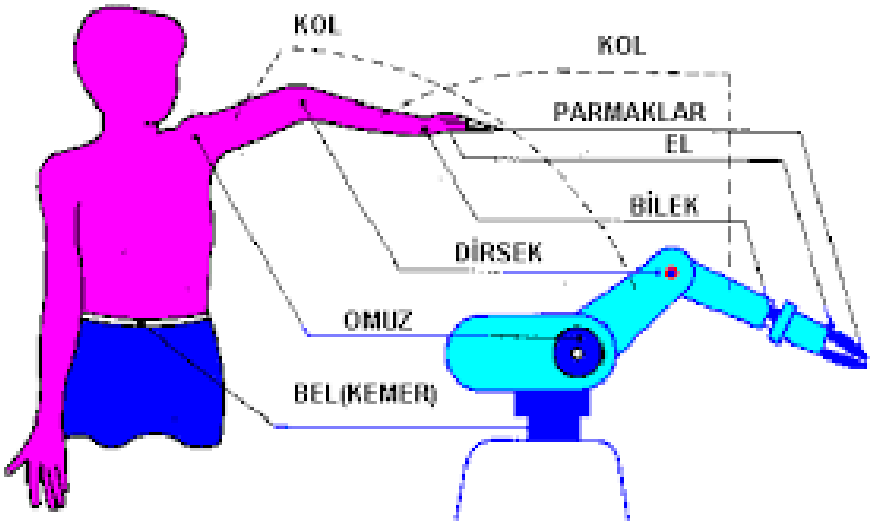


Şekil 1.8. Dönel robot kolun çalışma alanı

1.4.6. Mafsallı robot kollar

İnsan kolunun hareketlerini taklit etmeyi yapabilen robot kolların başında mafsallı robot kollar gelmektedir. Şekil 1.9.'da gösterildiği gibi kolun tüm eklem hareketlerini yapabilecek şekilde eklemler ve kollar kullanılmaktadır. Üretim sistemlerinde bazı hareketleri yapamayan diğer robot kollarının yerine 5 veya 6 mafsallı robot kolları üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu tür robotlarda her bir mafsalı

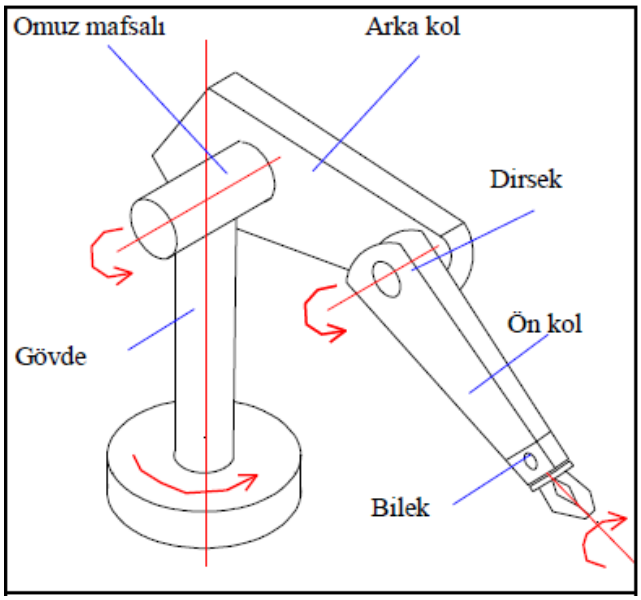
kontrol edebilen elektrikli servo veya step motorlar kullanılmaktadır. Bu motorlar genellikle 12-24 volt gerilimle çalışmaktadır. Mafsallı robot kolları, diğer robot kollara oranla hareketleri daha esnek olan robot kollardır. Çalışma uzayı içerisinde bir noktaya gitme işlemini en kısa yoldan ve en kısa sürede yapabilen robot türüdür. Robotun hedeflenen pozisyona varması mafsal hareketiyle kartezyen koordinat sisteminde hareket etmesiyle gerçekleşmektedir. Diğer robot kol türlerine göre mafsal sayısının fazla olması ve yapılarının karmaşık olması gibi özelliklerinden dolayı kontrolleri ve programlamaları zordur.



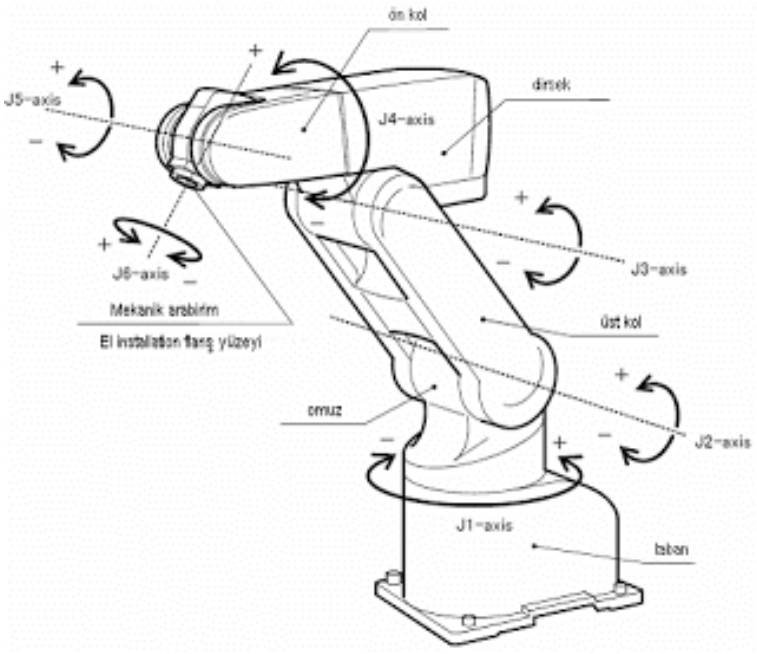
Şekil 1.9. İnsan kolu ve robot kolunun birbirine uyarlanması

Mafsallı robotlara örnek olarak gösterilebilir robot türü Şekil 1.10.'da gösterilen Puma Robotu'dur. Bu robot türünde insan koluna benzerliği açısından kendi ekseni etrafında dönebilen bir gövdeye sahiptir. Bu gövdeye bağlı olarak omuz mafsalını oluşturan kol parçası ve dirsek olarak kullanılabilir bir eklem bağlantısına sahiptir. Tutucu parçası olan çenenin ise bileklik parçası olarak kola bağlanmaktadır. Kollar eklemler şeklinde birbirine bağlanmış ve birbirinden bağımsız hareket edebilir şekilde tasarlanmaktadır. Her mafsal program içerisinde belirlenmiş ve sınırlandırılan bir alan içerisinde hareket etmektedir. Bu sayede robot kolun güvenli bir çalışma ortamı içerisinde hareket edebilmesi sağlanmakta ve alan içerisindeki diğer parçalara çarpması engellenmektedir. Robot kolun hedef noktaya ulaşması en kısa sürede sağlanır. Yapılan uygulamaların niteliğine göre Şekil 1.11.'de gösterildiği gibi

mafsallı robot kollar 3 eksenden 6 eksene kadar çalışabilmektedir. 3 eksenli robot kollar daha basit işlemlerde kullanılırken 6 eksenli robot kollar ise daha zor ve karmaşık işlemlerde kullanılmaktadır. İnsanların çalışma ortamlarında elinin varmadığı veya ulaşılmasında zorluk çektiği yerlerde bu robot kollar kullanılmaktadır.



Şekil 1.10. Puma Robotu (Konukseven ve Kaftanoğlu, 1990)



Şekil 1.11. Mafsallı robot kolu

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Robot Tasarımı Alanında Yapılan Çalışmalar

Corwin ve ark. (1975), bilgisayar kontrollü robot koluna bir çalışma döngüsünü öğretmek ve kolun otomatik olarak işlem döngüsünü yinelemesine izin vermek için bir yöntem ve bu yöntemi kullanan cihaz geliştirilmiştir. Bu cihaz, genelleştirilmiş bir koordinat sistemini tanımlayan geometrik bir konfigürasyona sahip bir robot koluyla çalıştırılabilmektedir. Kolun bir ucuna tutturulmuş kontrollü bir parçayı elle kumanda edilebilen komutları kullanarak, uzaydaki bir yol üzerinde önceden belirlenmiş birkaç noktaya hareket etmesi istenilmektedir. Bu hareketi, eğitilen bir koordinat sistemine göre gerçekleştirmektedir. Kontrol edilen parça, önceden belirlenmiş bir noktaya yerleştirilerek bu noktada uygulanacak bir robot kolu hareketini tanımlayan giriş sinyallerinin üretilmesi için elle kontroller yapılabilmektedir. Daha sonra giriş sinyalleri ve önceden belirlenmiş noktayı tanımlayan koordinat bilgileri hafızaya aktarılmaktadır. Çalışmanın tam bir döngüsü hafızaya aktarıldıktan sonra, robot kolun programlanmış çalışma döngüsünün tekrarı otomatik bir şekilde çalıştırılmaktadır.

Dahlstrom ve Nilsson (1976), endüstriyel bir robot, hareket edebilen bir kola ve bu kola monte edilmiş bir parçaya sahip olmalıdır. En az bir serbestlik derecesiyle hareket edebilecek şekilde bir bağlantıya ve bu kola göre parçanın pozisyonunu algılayacak şekilde yerleştirilen algılayıcılardan oluşmalıdır. Ayrıca parçanın pozisyonunda, kontrol araçlarını düzenlemeye sahip olabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bağlantı parçaları çok yönlü hareketlere ve bu hareketin sadece ön gerilmeli yay uzuvlarına karşı oluşmasına izin verilebilmektedir. Böylece hareketin oluşması için, harekete neden olan kuvvet, minimum değeri aştığında gerçekleşmektedir.

Bankon ve ark. (1987), endüstriyel bir robot, hidrolik, elektrik veya elektro-pnomatik tahrik ile çalıştırılmaktadır. Uzayda hareketleri etkileyen, eklemli kolları bulunan ve otomatik olarak kontrol edilen bir sistemden oluşmaktadır. Ayrıca tutma

parçasına sahip olması da gerekmektedir. Bu çalışmada endüstriyel bir robot için bir parça tutucusu tasarlanmıştır. Parça tutucu B, parçaları kavrama ve değiştirmek için kullanılmaktadır. Bu tutucu ile aynı anda bir parçayı taşıması istenildiğinde, robot kolun döner bir bilek bağlantısına sabitlemek için kullanılmaktadır. Bu robot, mafsallı bir kolun ucuna montajı yapılarak bir bilek-eklem olarak adlandırılan kuvvet, hassasiyet ve tekrarlama özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Yukarı yönde, bir C parçasını içeren, B parça tutucusu 5. bilek ekleme sabitleştirilmiş ve aşağı yönde, bir D parçası da bir parçaya sabitleştirilmiştir. Böylece her bir parça değişikliğinde, tek parça olarak kalmaktadır. Montaj da ek araçlarla donatılmış, C ve D tutucu parçaları, parçanın sökülebilir bağlantıları kullanılarak elektrik ve sıvıyla hem hızlı kilitleme hem de kilidi açma özelliği ile donatılmıştır. Parça tutucusunun bu doğal parçası, uzaydaki robot kol hareketinin hızlı ve kolay olmasını, maksimum robot güvenliğinin yanı sıra; hızlı, güçlü kilitleme ve açma özelliğini de sağlamaktadır.

Matsumoto ve ark. (1987), bu çalışmada, bir endüstriyel robot için bir tahrik sistemi aparatı tasarlanmıştır. Bir robot, tahrik miline sahip bir elektrik motoru ve üzerine monte edilmiş bu motora sahip birinci robot elemanına sahiptir. Birinci eleman üzerinde dönebilir şekilde desteklenen, ikinci robot elemanı da elektrik motorunun dönüşünü kontrol etmek ve ikinci elemana iletmek için redüksiyon dişlisi kullanılmaktadır. Elektrik motorunun dönüşünü azaltmak için, birincil ve ikincil redüksiyon dişlisi kullanılmaktadır. Birincil redüksiyon dişli çıkışının daha da azaltılması için; dişli, normal işletimde elektrik motorunu, ikinci robot elemanı ve redüksiyon dişli parçasını içermelidir. Ayrıca bu dişli, bir tahrik sisteminin karakteristik torsiyon frekansını içeren dönme sayısına da sahip olmalıdır. Birincil redüksiyon dişlisi, elektrik motorunun azami dönme sayısı tahrik sisteminin karakteristik torsiyon frekansından daha düşük olmalıdır. İkincil redüksiyon dişlisi, birincil redüksiyon dişlisine bağlanmış bir eksantrik giriş şaftına bağlanmıştır. Giriş şaftının dönüşüne cevaben, eksantrik olarak döndürülebilen bir harici dişli, dış dişliye göre daha fazla sayıda dişliyle tutunan ve ona göre daha büyük sayıda bir iç dişliye sahiptir.

Kato (1988), bu çalışmada, akışkan, optik veya elektrik sinyalleriyle kontrolü sağlayan bir endüstriyel robot için boru hattı ve kablo tesisatı tasarlanmıştır. Kontrolde kullanılan tahrik elemanlarının ana gövdesinden en uçtaki bir el cihazına giden kabloların iletilmesinde kullanılmaktadır. Boru donanımı ve kablo tesisatının geçirilmesinde, endüstriyel robotta önemli bir aksama oluşmamaktadır. Robotun hareketli bileşenlerinden her birine gönderilen çok sayıda boru bölümleri ve boru parçaları bulunmaktadır. Bu boru bölümlerinden bitişik olanları bir döner bağlantıyla birbirine bağlayan katı bir yapıya sahip olacak şekilde karakterize edilmektedir. Döner eksenli bitişik boru parçalarından birinin etrafında dönecek şekilde diğerine giden bir döner şaftla hizalanmaktadır.

Kazeroni (1988), bir robot, statik olarak dengelenmiş üç serbestlik derecesine sahip direk bir tahrik kolu içermektedir. Bunların hepsi bağımsız tahrik mafsallardan oluşarak ikisinin tahrik eksenleri robot kolun ağırlık merkezinden geçerek, tahrik sistemindeki yerçekimi kuvvetlerini ortadan kaldırmaktadır. Bu çalışmada, statik olarak dengelenmiş ve dört çubuklu bir bağlantı kullanılarak doğrudan sürülen bir robot kol tasarlanmıştır. Geliştirilen bu bağlantı aynı zamanda taban bağlantısıyla da desteklenmektedir. Genel olarak dikey ve yatay eksenler etrafında bağımsız bir hareket oluşturmak için direk tahrik tipi aktüatör tercih edilmektedir. Eksenler, eklemin ağırlık merkeziyle kesişmektedir. Birinci aktüatör; kolun, dikey eksen etrafındaki hareketini, ikinci aktüator; kolun, yatay ekseni etrafındaki hareketini ve üçüncü aktüatör; ise taban ucunun bir ucundan diğer ucuna dönme hareketinin kontrolü için kullanılmaktadır. Kol desteklenerek, dinamik denklemlerde kullanılan yerçekimi etkisi ortadan kaldırılmaktadır. Dengeleme mekanizması sayesinde küçük güçlü motorlar ve yükselticiler kullanılmaktadır.

Abbe ve Baker (1990), robot kolları veya bilgisayar kontrollü eklemli manipülatörler, konumlandırma ve yerleştirme işlevlerini yerine getirmek için sanayide kullanılmaktadır. Eksenel olarak birleştirilen kol manipülatörleri ve tutucuya kadar uzanan robot kolları, hareketi, her eksen veya dirsekteki kol elemanları arasındaki serbestlik derecesinden yararlanmaktadır. Birden fazla serbestlik derecesinde kontrolü sağlayan bir dizi kontrollü motor sürücüleri kullanılmaktadır.

End-effector için istenilen hareketi sağlayacak bilgisayar kontrollü her motorun diğer tüm motorlarla koordineli çalışması gerekmektedir. Bu çalışmada, yarı iletken wafer'ları manipüle etmek için bir robot kol tasarlanmıştır. Bu robot kolu tahrikli dönme hareketinden tek bir motor sürücüsünü kullanarak düz ve radyal hareketleri yapmaktadır. Ek olarak kullanılacak olan motor tahrikleri veya kavrama mili robot kolunun Z ya da yaklaşık θ açısı ile dikey olarak hareket etmesi sağlanarak bir dizi istasyona hizmet etmektedir. Birinci kolun bir ucuna monte edilen end-effectorün uç kısmı ise ikinci bir kola mil etrafında dönebilecek şekilde montaj edilmiştir. Zıt ucu ise motor kontrollü dönüş için merkezi bir eksen etrafında dönebilecek şekilde montaj edilmiştir. Bir dizi kasnak ve tahrik kayışı, tahrik motorundaki milin içerisine girip çıkmaktadır. Bu şekilde motor yönünü korumak amacıyla birinci kol, ikinci kol ve end effectorü koordine ederek düz çizgi hareketi üretmektedir.

Larsson (1990), bu çalışmada kullanılan endüstriyel robot, robot kolu ve tek bağlantı parçasından oluşmaktadır. Kol boyunca uzanan bir eksene göre, eğimli bir yüzey oluşturması durumunda, her bir kol bölümü eklemin bir eklem ekseni etrafında bitişik olarak dönebilmektedir. Bu dönüş bir ya da daha fazla koldan bağımsız olarak eklem eksenine dik olarak dönebilecek şekilde izin verilmektedir. Bir ara kolun zıt uçlarında yer alan eğimli eklem yüzeylerindeki uzantılar, ara kolun dış sınırına yerleştirilmiş bir konumda birbirini kesmektedir. Bu tasarım sayesinde, döner miller ulaşılabilen alanın artmasını sağlamaktadır. Kol kısımları komşu kollara oranla göreceli rotasyonu kısıtlayarak hareket kabiliyeti açısından bu kol bölümleri yüksek bir derecede kullanıma sahip olmaktadır. Küçük bir dönme ve büyük bir aktarma hareketiyle mükemmel erişilebilirlik, yüksek bir hareket kabiliyeti ve yüksek doğruluk derecesine sahip bir endüstriyel robot kolu oluşmaktadır. Bu şekilde tasarlanmış robot kolu, bir hareket modelini gerçekleştirmek için serbestçe bükülmeye uyarlanabilmektedir. Robot kol, birleştirme kollarıyla birbiri ardına esnek bir şekilde birbirine bağlanmış olan silindirik kol parçalarından oluşmaktadır. Kol kısımları, bir üst kol, en az bir ara kol ve bir alt koldan meydana gelmektedir. Ara kolun zıt uçlarında bulunan eğimli bağlantı yüzeyleri, ara kolun dış sınırından dışa doğru olan bir konumda kesişecek şekilde oluşmaktadır.

Kato (1990), bir endüstriyel robot, bir taban gövdesi, bir tutucu ve birbirine bağlanmış iki yatay koldan oluşmaktadır. Bununla birlikte taban gövdesi ile ilk yatay kol arasına yerleştirilen bir kaldırma şaftından oluşmaktadır. Ayrıca taban gövdesi üzerinde bulunan ikinci gövde ve yatay kollarda bulunan hareket aktarma mekanizmaları sırasıyla yatay kollara ve tutucunun her birine sürücülerin çıkış gücünü iletebilmelidir. Bu çalışmanın amacı yukarıda tarif edilen problemleri çözmektir. Bu endüstriyel robot daha yüksek hızda çalıştırılmalı ve ona bağlı olan kabloların zorlanmalarına engel olunmalıdır. Bir endüstriyel robotta, bir tutucu için kullanılan tahrik üniteleri ana gövde üzerine monte edilmeli ve ilgili iletim sistemleri kullanılarak yatay kollara aktarılmalıdır. Bu çalışmada kullanılan endüstriyel robotta, yatay kollar üzerine monte edilmiş tahrik ünitesi bulunmamaktadır. Böylece işletme bölümlerinin ağırlığı da azalmaktadır. Ayrıca tahrik üniteleri taban gövdesine monte edildiğinden, kablolar robotun sabit gövdesine bağlanarak titreşim önlenmektedir.

Torii ve ark. (1992), mafsallı endüstriyel bir robot, robot gövdesi, robot gövdesinin üst ucunda yatay bir W-ekseni etrafında salınım hareketi sağlamak için beraber dönebilecek şekilde desteklenen bir robot üst kolu ve robotun üst kolunun uç kısmında bulunan bir bağlantı parçasına eksenel olarak desteklenen bir robot ön kolundan oluşmalıdır. Bu endüstriyel robot, yatay bir U ekseni etrafında yukarıya doğru bir çevirme hareketini yapabilmek için, robot gövdesinin üst ucundaki eklemin yatay W-ekseni ile uç parçalarına ait yatay U ekseni arasında uzanan bir ofset kol yapısına sahip olması gerekmektedir. Elektrik kabloları ve benzeri parçalar, robotun üst kolunun arka tarafı boyunca uzatılmaktadır. Bu çalışmanın diğer bir amacı ise geleneksel çok mafsallı endüstriyel robotların kablo ve diğer parçalardan dolayı oluşan dezavantajlarını ortadan kaldırmaktır. Başka bir amacı da robot düzeneği, boru ve boru donanımı aksesuarları için gerekli olan kabloların montajını sağlayan çok eklemli bir endüstriyel robot oluşturmaktır. Alt kısım, dikey bir gövde yapısına ve yatay eksene sahip olmaktadır.

Kjellsson ve ark. (2007), kablosuz bir elektrik kaynağı ve kablosuz iletişim cihazı içeren bir robot veya manipülatör, robot sistemindeki bir veya daha fazla aktüatör kullanılarak zırhlı ve kablosuz olarak kontrol edilebilmektedir. Robot

parçasında bulunan bir veya daha fazla parça üzerindeki kablosuz sensörlerden veri iletimi sağlanmaktadır. Parça değişiklikleri otomatik olarak robot tarafından yapılabilmektedir. Bu çalışmadaki yöntemin uygulanabilmesi için bir kontrol sistemi ve bir bilgisayar programı kullanılmalıdır. Çalışmanın öncelikli amacı robotlarda kullanılmak üzere, kablosuz arz kaynağı ve kablosuz iletişimle robot kontrolü yapmaktır. Diğer bir amacı ise endüstriyel robotlarda parçaları otomatik olarak değiştirebilen bir sistem oluşturmaktır.

2.2. Endüstriyel Robotlar Üzerine Yapılan Diğer Çalışmalar

Bozdemir ve Adıgüzel (1999), son yıllarda robot kollarının insan gücü yerine kullanılması oldukça yaygınlaşmaktadır. Kullanım alanının giderek artması, robot kolunun hareket yeteneğinin geliştirilmesiyle paralel gitmektedir. Bu çalışmada gelişmiş bir robot kol sistemi olan PUMA Robot Kolu' na ait hareketler ile insan kolunun yaptığı hareketler karşılaştırılmaktadır. PUMA robot kol sistemine yeni bir mafsal eklenerek hareketlerinin insan omuz eklemi hareketlerine benzetilmesi sağlanmaktadır. Bu mafsal sayesinde hem arkaya ve öne doğru hareket edebilme, hem de yan tarafa açılma hareketi yapan bir omuz geliştirilmektedir.

Wurll ve Henrich (2001), bu çalışmada endüstriyel robotların bir arada çalışmaları esnasında çarpışmalarını engelleyen bir yol planlaması geliştirilmektedir. Bu yol planlamasında, dahili ve ayrıklaştırılmış konfigürasyon uzaylarında çalışmaktadır. Kartezyen çalışma alanında ise çarpışmalar hiyerarşik uzaklık hesaplamasıyla ortaya çıkarılmaktadır. Kullandıkları yöntem, arama algoritmasını temel alarak bir çevrimdışı hesaplamaya gerek duymamaktadır. Yaptıkları çalışma sayesinde kurulum maliyetleri azaltılarak ve noktadan noktaya hareket edilerek çoklu hedef yol planlaması için toplam sıra yol uzunluğunun azaldığı sonucuna varılmaktadır.

Tonbul ve Sarıtaş (2003), bu çalışmanın amacı, beş eksenli olarak hareket edebilen bir Edubot Robotu'nun ters (inverse) kinematik hesaplamaları yapılarak yörünge planlaması oluşturmaktır. Programda girdi olarak verilen değerler, robotun uç

noktasının gideceği yere ait koordinatlar ve robot kolunun başlangıç pozisyon açılarıdır. Bu değerler kullanılarak eklem açılarının alabileceği değerler hesaplanmaktadır. Bu açıları kullanan robot kol görevi yerine getirirken, hareketinin düzgün ve titreşimsiz olabilmesini sağlamak amacıyla yörünge planlaması yapılmaktadır. Yörünge planlamasında; pozisyon, hız ve ivmede süreklilik sağlamak amacıyla beşinci dereceden polinom denklemlerden yararlanılmaktadır. Ters kinematik hesaplamalar ve yörünge planlaması Matlab programında hesaplanarak robotun eklem açılarının, açısal hızlarının ve açısal ivmelerinin zamanla değişimi grafikleri elde edilmektedir. Elde edilen sonuçlar Edubot Robotu üzerinde test edilmektedir.

Bruccoleri ve ark. (2007), bu çalışmada, bir kaynak robotunda kullanılmak üzere çevrimdışı programlama yaklaşımı geliştirilmektedir. Bu yöntem kullanılarak robotu kullanan kişi için çalışma alanındaki elemanların ayarlanması ve gerçekleştirilecek hareketleri grafik tabanlı olarak belirlenmesi sağlanmaktadır. Kullanıcı tarafından belirlenen işlemler sonrasında robot kol, mermer sektörünün bir alt dalı olan mozaik sektöründeki üretim işlemlerinde klasik yöntemlerle kullanılmaktadır. Bu sektörde üretim aşamasında ve sonrasında yapılan işlemlerde pek çok problem yaşanmaktadır. Bu çalışmanın yapılmasındaki esas amaç, üretim sistemlerinde yaşanabilecek sorunlara çözüm bulmak ve endüstriyel otomasyon sistemlerinin yaygın olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla çalışmada, beş eksenli olarak hareket eden RV-2AJ Mitsubishi marka robot kol kullanılarak cam mozaiklerin sıralanması işlemi gerçekleştirilmektedir. Kullanılan sistemin avantajları ve dezavantajları ortaya çıkarılarak elde edilen sonuçlar uygulanan sistemin öncesinde yapılan çalışmalardan daha verimli olduğu ve aynı zamanda da kaliteli mal üretebildiği gözlemlenmektedir.

Kizir ve ark. (2009), bu çalışmada, tek eklemli olarak çalışan esnek bir robot kolu tasarımı yapılmakta ve aynı zamanda da bu robot kolun üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu robot kol sistemine ait yer ve yörünge hesaplaması “bulanık mantık” kullanılarak yapılmaktadır. Birbirinden farklı üç çeşit “bulanık mantık” yönteminden yararlanılarak sistemin çalışmasının pozisyon kontrolü gerçekleştirilmektedir. Birinci bulanık mantıkta esnek robot koluna ait pozisyon ve bu

pozisyonunun değişimi kontrol edilmektedir. İkinci bulanık mantık kullanımında uç işlevcisine ait salınım açısı ve işlevcinin değişimi giriş olarak kullanılmaktadır. Üçüncü bulanık mantık işleminde de diğer iki bulanık mantık yöntemi sonucunda elde edilen çıkışları sistem kontrolünde kullanılmak üzere giriş olarak kabul edilmektedir. Dspace 1103 gerçek zamanlı olarak çalışan kontrol kartından yararlanılarak bulanık mantık işlemleri uygulanmaktadır. Kolun konumunu belirleyecek kontroldeki kalıcı olan sabit durum hatası 0.72º'lik tasarım çözünürlüğünde kaldığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan sistemle kolun yörünge takibinde faz kayması ve hatalar da gözlemlenmektedir. Kullanılan bulanık mantık kontrolünde, kola ait yörünge takibinde de belirli bir oranda faz kayması ve hatalar oluşmaktadır.

Kunt ve ark. (2010), yüksek hassasiyet gerektiren montajlarda kullanılacak olan minyatür delta robot tasarlanarak robotun kinematik tasarım değişkenlerinin elde edilmesi yöntemi ve denetimi sunulmaktadır. Modüler bir mikro fabrika kavramının bir parçası olan bu delta robotu, hassas ve hızlı olarak tutma-bırakma işlemlerini yapabilecek bir manipülatör olarak kullanılmaktadır. Robota ait daha önce belirlenen 40 mm^3 kübik bir çalışma alanında kinematik parametre değerleri için kinematik analiz işlemleri yapılmaktadır. Kinematik analizindeki değişkenlere ait parametrelerden yararlanılarak tasarım süreci gerçekleştirilerek robot üretilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda beklenilen sonuçlara ulaşıldığı gözlemlenmektedir. Tasarımın iyileştirilmesine yönelik olarak yapılabilecek çalışmalar belirtilerek yeni bir tasarım sürecinde çalışmaya geçilmektedir.

Aytepe (2011), gündelik yaşama teknolojinin hızla girmesiyle çağa uyan toplum için teknolojik gelişmedeki yeniliklerin kabulü ve kullanılmasına geçilmektedir. Endüstrideki zaman tasarrufu, insan hayatını kolaylaştıran ve ekonomik olarak avantaj sağlayan robotlar önemli bir sistem olmaktadır. Sanat alanında, sanat ve tasarım eğitiminde uygulamalı sanatlarda teknoloji kullanımı farklı bir bakış açısı kazandırmaktadır. Tasarımı yapılmış bir parçanın üç boyutlu seri üretim öncesi bilgisayar ortamındaki benzetiminde hata payı olasılığını minimuma indirmek için önce prototiplerinin yapılması gerekmektedir. Ürünün ortaya çıkmasına ve hataların ortadan kaldırılmasına olanak sağlayan CNC robotları, bu alanda yürütülen

çalışmalara ümit vermektedir. Ayrıca seri üretim yapımına olanak sağlayarak eğitime ve sanatsal uygulamalara destek sunmaktadır. Araştırmanın ilk aşamasında seramik ve grafik alanı için Rhinoceros çizim programı kullanılarak birer tasarım gerçekleştirilmekte ve seri üretime geçmeden önce üç boyutlu görüntüler kullanılarak kontrol edilmektedir. İkinci aşamada ise CNC robotu kullanılarak görseller farklı malzemeler üzerine kabartma biçiminde aşındırılmaktadır. Sonuçlar değerlendirilerek yeni önerilerde bulunulmaktadır.

Adar ve ark. (2013), bu çalışmada, 5 serbestlik derecesine sahip robot kolun dinamik modellemesi yapılmaktadır. Robot kol, toplamda 3 parçadan oluşan 5 uzaysal mafsalı bulunmaktadır. Dinamik hareket denklemlerinin modellenmesinde Lagrange - Euler denklemleri kullanılmaktadır. Denklemler matris - vektör formunda alınarak robot kolun parçaları, hareket denklemlerinin doğruluğunu görmek için serbest düşüşe sahip olmakta ve her biri için eklem grafikleri elde edilmektedir. Bir kontrol algoritması, istenilen hareketleri oluşturmaya karşılık gelen eklemin pozisyonunu elde etmek için tasarlanmaktadır. Kübik eklem pozisyon yörüngeleri benzetiminin bir sonucu olarak başarıyla takip edilmektedir.

Çırak (2014), bu çalışmada, iki eklemli olarak hareket edebilen bir robot manipülatörüne ait dinamik davranış modeli ve yörünge kontrolünün belirlenmesi amacıyla bilgisayar ortamında benzetimi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca geliştirilen bir algoritmayla da test edilmektedir. Manipülatöre ait dinamik davranışının benzetim işleminden sonra bu benzetim işleminin doğruluk payından yararlanılarak pratikte de üretim aşamaları gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla manipülatöre hesaplanmış tork metodu yardımı ile noktadan noktaya hareket edebilecek kontrol uygulanmaktadır. Manipülatöre ivme referansı verilmeden, sadece belirlenen noktaya büyük kararlılıkla gitmesinin sağlanması amacıyla noktadan noktaya hareket ettirilmesi başarıyla gerçekleştirilmektedir. Bundan yola çıkılarak hesaplanmış tork metodu kullanılarak gerçekleştirilen kontrol algoritması sonuçlarının iyi olduğu gözlemlenmektedir. Bu çalışma sonucunda elde edilen parametreler dikkate alınarak iyileştirmelerin yapılması için gerekenler ortaya konulmaktadır.

Abut ve ark. (2015), insanların erişmede zorlandığı noktaları veya insan güvenliğinin olmadığı ortam hakkında bilgi veren sistemlere "tele operasyon" sistemleri denilmektedir. Bir robotun yapılacak olan davranışları belirlemek için öncelikle bilgisayar ortamında tasarlanarak benzetimi yapılmaktadır. Bu çalışmanın verdiği önemli avantajların başında gerçek robotlarla yapılan uygulamalarda oluşabilecek hataların belirlenmesi ve algoritmaların geliştirilmesinde hataların fark edilerek önlenmesidir. Bu çalışmanın önemli hedeflerinden biri bilgisayar ortamında tasarlanarak imal edilen robotun tele operasyonunu yapabilmektir. Çalışmada oluşturulan "ara yüz", bilgisayar ortamında kullanıcıya görsel olarak geri besleme sağlanması için robot hareketlerini kullanmaktadır. Bu görsel ara yüz, içerisinde katı modelleme programı kullanılarak oluşturulan robotun benzetim modeli bulunmaktadır. Sanal robot, robota ait olarak oluşturulan katı modelinin konumunun belirlendiği bir bilgisayar ortamını göstermektedir. Sanal ve gerçek robotun dinamik hesaplamalarında kullanılan denklemler elde edilerek robot kontrolü PID ile yapılmakta ve ileri beslemeli tork kontrol yöntemi kullanılmaktadır.

Şenel ve Çetişli (2015), robot alanında gelişme gösteren dünya ülkeleri, endüstriyel sanayideki teknolojik gelişmelerle beraber elde edilen ürünlerde; kalitesi yüksek, maliyeti düşük ve zamanın kısalığı parametreleri aranmaktadır. Bu nedenle yürütülmekte olan pek çok sanayi projesi için insan gücü kullanımı yerine makine gücü geçmektedir. Endüstriyel sanayide yürütülen mevcut projelerde; düşük hata, yük miktarı ve sürekli çalışma gibi parametreler dikkate alınarak robot kollar sık sık kullanılmaktadır. Bu çalışmada, dönen üretim bandı üzerinden geçmekte olan ürünler, robot kontrol sisteminde kullanılmak üzere geliştirilen gömülü bir sistem yazılımı ve robot kol kullanımıyla sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan 60 adet üründen 15'inin üretimi hatalı olurken, 45 adet ürünün üretimi ise hatasız olarak gerçekleştirilmekte ve bunun sonucunda yüksek bir başarı elde edilmektedir.

Kılıç ve Kapucu (2016), OMNIMO robotu yeniden yapılandırılabilir bir robot sistemi olarak dört dönme serbestlik hareketine ve bir öteleme serbestlik hareketine sahiptir. Robotun tasarlanması ve üretilmesinin amacı, yeniden yapılandırabilir modüler robotlarda ihtiyaç duyulduğu anda tek parça olarak yüksek hareket kabiliyeti

ve çoklu olarak yüksek parça üretkenliği sağlamaktır. Bu amaçla her robot parçası, kontrol sistemleri, tahrik mekanizmaları, kablosuz iletişim ünitesi, algılayıcı elemanlar, hareket mekanizmaları, batarya ve elektronik ve mekanik bileşenlerle donatılmaktadır. Robotun serbestlik dereceleri serbest, sabit ve hareketli olmak üzere üç farklı hareket şeklinde kullanılabilmektedir. Robot parçası, homojen ve heterojen mimaride, tamamen kendi başına üç boyutlu çalışma uzayında hareket edebilecek şekilde tasarımı yapılmaktadır. Robotun gelişmiş mekanik tasarımından yararlanılarak kullanılan robot parçaları beş farklı robot tasarımına dönüştürülebilmektedir. Aynı zamanda, robot kendi yapılandırmasını dinamik olarak kullandığı zaman iki farklı görev yapabilmektedir. Aynı özelliklere sahip robot parçaları bir arada kullanılarak değişik robot tasarımı ve yapıları oluşturulabilmektedir.

Karcı ve Tangel (2016), bu çalışmada, 5 eksenli bir robot kolu mobil bir aracın üzerine yerleştirilerek kullanılmaktadır. Bu robot kol, ultrasonik bir sensör yardımıyla cisimleri tanıyan ve boyutlarına göre sınıflandırabilen, tamamen bağımsız bir yapı gibi çalışabilen FPGA tabanlı robotik bir sistem tasarlanarak geliştirilmektedir. Ultrasonik sensörden gelen bilgilerden yararlanarak mobil aracın konum ve hız kontrolü ve robotun konumuna ait oluşturulan tasarım tek bir FPGA kartı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Mobil robot kolu üzerinde bulunan DC motor ve servo motorların sürücü devreleri tasarımı yapılarak bunların hız ve konum kontrolü de VHDL kodu ile çalışan PWM kontrol sinyalleri ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada frekans bölme tekniği kullanılarak PWM sinyalleri üretilmekte ve FPGA tabanlı yapılan tasarımlardan paralel işlem yapabilme yeteneğiyle mobil robot kolu üzerindeki bütün ünitelerin birlikte kontrolü sağlanmaktadır. VHDL ile gerçekleştirilen tasarım kodu Xilinx ISE paket programı kullanılarak sentezi yapılmakta ve modelsim simülasyon programında modellenerek testler yapılmaktadır. Oluşturulan bu tasarım Spartan–3 isimli FPGA geliştirme kitinde başarıyla denenmektedir. FPGA geliştirme kiti, robota ait donanımın parçası olarak platform üzerine yerleştirilmektedir. Aynı zamanda mobil robot kolunun görevlerini de sorunsuz bir şekilde yaptığı deneysel olarak tespit edilmektedir. Ayrıca bazı robot kol tasarımları kullanılarak robot türü, serbestlik dereceleri ve tasarım teknolojisi bakımından farklılık gösterdiğinden kategorik olarak karşılaştırma yapılabilmektedir.

Gadaletta ve ark. (2017), bu çalışmada, minimum enerji tüketimi ile tanımlanmış farklı bazı görevleri yerine getirmek amacıyla imalat yapılan iş alanına yerleştirilen birkaç endüstriyel robotun yerleşim konumunu belirlemek amacıyla geliştirilen yeni bir yöntem sunmaktadır. Öncelikle insan biçimli bir endüstriyel robotun mekatronik modeli geliştirilmektedir. Endüstriyel robotun mekanik yapıları; aktüatörler, güç elektroniği ve kontrol mantıkları gibi alt sistem bileşenleri, sistemin harcadığı güç seviyesini belirlemekte doğru bir tahminde bulunulması için detay seviyesi ile modellenerek verimli hesaplamayı amaçlamaktadır. Daha sonra her bir endüstriyel robota görev ataması yapıldığında, iş hücresindeki uygun değer düzeni minimum enerji harcamasına karşılık gelen endüstriyel robot temel konumunu sayısal olarak alan optimizasyon tekniklerinin kullanılmasıyla hesaplanmaktadır. İkinci gelişme aşamasının sonunda, bir enerji gelişiminde tasarımcıyı desteklemek için çalışma hücresi içerisindeki robotun pozisyonu fonksiyonları olarak görev tamamlama için enerji ve zamanı gösteren bir dizi renk ve kontur haritası çıkarılmaktadır. Çalışma sonucunda son teknoloji ürünlerindeki tasarım pratiğine göre % 20 tasarruf sağlanmaktadır.

Yin ve Pan (2017), parametrik belirsizlikler, dışsal bozukluklar ve belirsiz doğrusal olmayan durumlarda 6 eksenli endüstriyel bir robotun takibi için direk uyarlamalı sağlam bir izleme kontrolü önerilmektedir. Bu kontrolör 6 eksenli robotun uç parçasının çalışma ortamının dinamik karakteristiklerine göre tasarlanmaktadır. Giriş referansına veya hareket yörüngesine göre geliştirilen sağlam bir kontrol terimini içermektedir. Aynı zamanda parametrik tahmin hatalarını telafi etmek için bir projeksiyon tipi "parametrik derleme kanunu" da geliştirilmektedir. Bu iki kanunun etkinliği ve alt yapısı, 6 serbestlik derecesine sahip iki adet endüstriyel robota uygulanarak karşılaştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada belirsizliklerin ve belirsiz doğrusallıkların varlığında, robotların yörünge izlemesi için doğrudan uyarlanabilir bir kontrolör sunulmaktadır. Mevcut kontrolörlerin aksine, endüstriyel robotun uç bileşeninin çalışma sınırları içerisinde tasarlanarak direk tasarım sürecini önemli oranda kolaylaştıran giriş referansı veya istenilen hareket yörüngesinin bilgisini kullanmaktadır. Esas olarak bu kontrol 6 serbestlik derecesine sahip endüstriyel

robotun uç bileşeni çalışma alanında, kısmen yüksek ayarlı model dengeleme ve bozulma sağlamlığı ile tasarlanarak genel bir perspektif sağlamaktadır. Algoritma karmaşıklığını önemli ölçüde azaltarak basit ve kolay kontrol tasarımı girdi referansını kullanarak sentezlemektedir. Mükemmel yörüngenin izlenmesi, olumsuzluklara karşı yüksek dayanıklılık ve parametrik uyum kabiliyeti zorlukları, önerilen kontrol kullanılarak eş zamanlı olarak karşılanmaktadır.

Pellegrinelli ve ark. (2017), güvenlik alanında gelişen teknolojilerde, gerçek endüstriyel çalışmalarda robotik hücrelerinin içerisine insanların girmesini sağlamaktır. Böyle bir hareketin planlaması ve programlaması için çalışma ortamının insan güvenliğini sağlamak amacıyla robotun çalıştırılması için geçen sürenin çok fazla değişkenliğinden dolayı başarılı olamamaktadır. Bu çalışmanın esas amacı her bir görevde birden fazla robot yörüngesinin planlanmasıdır. Robot için oluşturulan görev yapma süresi aralığının değişken olmasını sağlayan yenilikçi bir bütünleşmiş hareket planlama ve bunu çizelge şeklinde oluşturma yöntemini geliştirmektir. Oluşturulan robot hareket planlayıcısı da robot insan işbirliği çalışmasında robotun beklenen görevini yerine getirme süresini tahmin etme ve yörünge planlamasını yapmaktır. Çalışma hücresini kontrol etmek amacıyla geliştirilen bu yöntem bir endüstriyel uygulamada denenerek robot-insan işbirliği çalışmalarında yapılan montaj işlemlerinde esnekliği artırabildiği gözlemlenmektedir. Yöntemin uygulanmasında kullanılan aşamalarda öncelikle görevlerinin tanımlanması sürecinin analizi, görevleri gerçekleştirecek kaynaklar ve görevler arasındaki ilişkilerden oluşmaktadır. Daha sonra esnek görev planlayıcısı robot ile insanın aynı ortamda çalışmasını planlanarak uygun yörüngeler belirlenmektir.

Bdiwi ve ark. (2017), endüstriyel robotlar ile insanlar arasındaki işbirliğinin sağlanması için gerekli olan çalışmalar üretim süreçlerinde giderek artmaktadır. Bununla birlikte insanın çalışma alanı içerisindeki güvenliğinin önemi insan ile endüstriyel robotların birlikte çalışmasının önündeki en büyük engeli oluşturmaktadır. Bu çalışmada ağır yüklerin taşınması amacıyla kullanılan endüstriyel robotların çalışması sırasında insan güvenliğini sağlamak amacıyla yeni bir stratejik yöntem sunmaktadır. Geliştirilen bu yöntem insan robot etkileşimini çeşitli seviyelere

ayırmaktadır. Her seviye kendi içerisinde birbirinden farklı güvenlik fonksiyonlarını geliştirerek analiz etmektedir. Etkileşim sırasında çalışma alanlarının tehlikelerini sınıflandıracak bir algoritma geliştirilmektedir. Bu yöntem özellikle güvenlik işlemlerinin çok sıkı uygulandığı çalışma alanlarında kullanılmaktadır. Özellikle endüstriyel robotlar ile insanların etkileşiminin önemli olduğu uygulamalarda denenerek birlikte çalışılan bir alanda robotla olası etkileşim bölgelerinde insanın güvenliğini sağlayan bir yol önerilerek test edilmektedir. Etkileşim seviyelerini göz önüne alarak çeşitli güvenlik fonksiyonlarının kullanılabileceği belirlenmektedir.

Valente ve ark. (2017), hassasiyeti yüksek olan montaj işlemlerinde kullanılmak üzere tasarlanan endüstriyel robotların hassasiyet ve hız arasındaki dengeyi en iyi şekilde karşılaması beklenmektedir. Bu çalışma, pürüzsüz bir yörünge modelinde çalışması istenilen robotların hareket görünüşlerini tanımlayabilmek için yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Her bir kolun performansını ve çok hassas montaj görevlerinin bulunduğu uygulamalar dikkate alınarak çok değişkenli olan yeni bir optimizasyon yaklaşımı ile yürütme süresi en düşük değere getirilmektedir. Bu model hız ve ivme sınırlandırmalarında ortak uzayda yörüngeler oluşturan yürütme süresinin optimizasyonuna bağlı kalmaktadır. Bir hareketin başlangıç ve bitiş koordinatları dikkate alındığından dolayı bu yöntem, sadece eklemlerin yer değiştirmesi ve hareket yasaları üzerinde çalışmaktadır. Böylece robota ait kinematik hesaplamalardan bağımsız işlem yapmaktadır. Bir robot kolun tüm eklemlerinde birlikte yürütme süresini optimize ederek sağlıklı ve bozulmuş bir durumda düzgün hareket görüntüleri oluşturmaktadır. Yörünge oluşumu genel amaçlı olduğundan herhangi bir robota ait kinematik zincire uygulanabilmektedir. Kullanılan bu yöntemlerdeki en iyi teknik yöntemde %39 başarı elde edilmektedir.

Niemueller ve ark. (2017), gelecek teknolojilerde, üretim yapan şirketlerin üretim süreçlerinde daha çok özerklik ve otomasyon gerektiren yeni bir değerler dizisi takip etmeleri beklenmektedir. Bu değerlere göre çalışan akıllı imalat fabrikaları çok sayıda farklı ürün türlerini üretebilmektedir. Bu farklı ürün çeşitlerini çok küçük boyutlarda bile düşük maliyetlerde üretmek için birleştirilebilen hizmetler olarak çeşitli üretim teknolojileri sunmaktadır. Bu yöntemler, üretimin zamanlaması,

yürütmenin kontrolü ve fabrika içi lojistik desteği için esnek olan otomatik planlama yöntemlerini içeren siber-fiziksel sistemler tarafından etkinleştirilmektedir. Bu sistemin geliştirilmesi aşamasında bu tür çalışmalarda bütünleşik sistemlerin uygulanabilirliğini belirlemek amacıyla testler yapılması gerekmektedir. Ayrıca bu endüstriye dayanan çalışmalarda sistem performansını yönetilebilir bir ölçekte ölçmek ve karşılaştırma yapmak da önemli olmaktadır. Bununla birlikte anlamlı sonuçların elde edilmesi maksadıyla yeterince karmaşık olan ölçütler kullanılmalıdır. Bu çalışmada örnek olarak bir RCLL (Robo Cup Lojistik Ligi) deneyimi kullanılmaktadır. Belirli bir çalışmanın bir dizi önemli performans göstergesini bir araya getiren ve bütünsel bir karşılaştırmanın geliştirilmesi nasıl yapılacağını gösteren genel bir plan sunmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Tez Konusu

Bu çalışmada, parçaları bir yerden alarak üç eksende doğrusal hareket ettirerek, iki eksende döndürme yaparak, taşıma işlemi yapabilen 5 eksenli mafsallı bir robot tasarlanarak imal edilmesi hedeflenmektedir.

Mafsal kollu robotlarda hassas evolvent profillere sahip dişlerden oluşan 1/50 civarında hız düşürülmesi sağlanan, dişliler arasında küçük boşlukları bulunan, ileri teknoloji ürünü dişli kutularından oluşan sistemler kullanılmaktadır. Günümüz şartlarında hassas dişlilerin üretilerek montaj edilmesi, rulmanlarla dişli kutusuna yataklanarak planet dişli sistemleri oluşturulması çok yüksek teknoloji gerektiren işlemlerden oluşmaktadır. İleri teknoloji ürünü olan bu dişli düzeneğini imal etmek için CNC kontrollü tezgâhları ile dişli imalat tezgâhlarının bulunduğu üretim tesislerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Bu şartlarda yüksek teknolojiye sahip üretim yapan tesisler ülkemizde bulunmadığından, robot imalatında yüksek ücretlerle yurt dışından ithal edilen dişli sistemleri kullanılması gerekmektedir. Robotlarda kullanılan dişli sisteminde, yük kaldırma sırasında motora kontrollü dönüş hızlarında büyük tork gerektirdiğinden servo motorun kontrolünü zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada 1/50 oranında hassas dişli kutusu teminindeki ekonomik zorluklar ile servo motorların düşük devirde yüksek torkta kontrollü olarak çalıştırılmasının zorluğu nedeniyle robot tahrikinde rulmanlı vidalı milli sistemler tercih edilmektedir. Vidalı millerin bilgisayar kontrollü olarak çalıştırılan servo veya step motor tarafından döndürülmesi sonucunda rulmanlı somunun lineer olarak ileri-geri hareket ettirilmesiyle robot kollarına hareket aktarılması hedeflenmektedir.

Bu nedenle bilgisayar kontrollü olarak hidrolik pistonlara benzer şekilde çalışan rulmanlı vidalı milli aktüatör sistemleri tasarlanarak imal edilmiştir. Rulmanlı vidalı milli aktüatör sistemlerinin kullanımında robot kolu yüklü durumunda iken, motorun yükü taşımasında büyük tork gücüne ihtiyaç duyulmadığından hem motorun kontrolü kolaylaşmakta hem de aynı şartlardaki robot için daha küçük güçteki motorlar kullanılabilmektedir. Bu çalışmada vidalı milli aktüatör sistemlerinin kullanılması ile robotun çalıştırılması için daha küçük kapasiteli step motor kullanılarak maliyet açısından avantaj sağlanmaktadır.

Robot hareket kontrolü için MATLAB programında oluşturulan ara yüzden Mach3 kontrol kartına G kodunda hareket komutları girilmektedir. Bu işlem için Kartezyen koordinat sistemine göre tutulacak parçanın XYZ koordinatları, hareket yörüngeleri ve bırakılacağı yerlerin pozisyonları MATLAB programına girilmektedir. Hazırlanan MATLAB programı ile girilen hareket yörüngeleri G kodlarına çevrilerek Mach3 programına gönderilerek beş eksenli robot çalıştırılmaktadır.

Robot kontrolü için tasarlanarak imal edilen joystick ile manuel olarak robot hareket ettirilerek, parça tutulup kaldırılarak ve 5 eksende hareket ettirilerek yer değiştirilmektedir. Bu çalışma ile joystick tarafından yapılan hareketlerden oluşturulan hareket yörüngeleri kaydedilerek aynı hareket yörüngesi otomatik olarak robot tarafından yapılması sağlanmaktadır.

Tek elle kumanda edilen joystick ile 5 eksenli robotun hareketi ve hızı kontrol edilerek kayıt altına alındığından robot tutucusunun operatör tarafından yakından görülmesi ile daha hızlı ve uygun hareket koordinatları girilebilmektedir. Girilen koordinatlar ve hız bilgileri MATLAB programı ile G kodlarına çevrilerek Mach3 programına gönderilmektedir.

Bu sektörde parça tutup kaldırmada yaygın olarak kullanılan Şekil 3.1.'de görülen 5R tipi bir robot tasarlanması hedeflenmektedir.

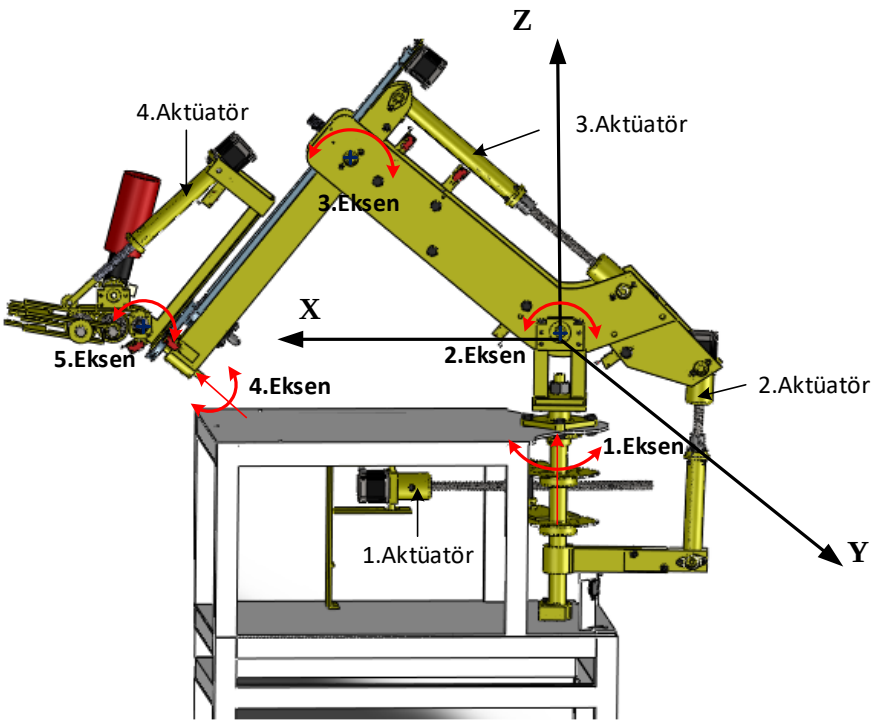


Şekil 3.1. Mafsallı bir robotta örnek eklem ve kol bağlantıları

Bu çalışmada tasarlanan robotta dönme mafsallarında dişli redüktör yerine vidalı milli aktüatörler kullanılmıştır. Bu nedenle robot dönme mafsallarına hareket lineer olarak hareket eden rulmanlı vidalı milli step motorlu aktüatörler kullanıldığından 5R tipi robot şekli Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi tasarlanmıştır.

Robot bir tabla üzerine montaj edilerek Z ekseni düşey, X ve Y eksenleri de yatay düzlemi oluşturmaktadır. Masaya düşey ekseninde rulmanlarla montaj edilen bir ana mille dönüş Z ekseni ile robotun komple dönmesi sağlanmıştır. Robot gövdesi ana mile, robot kolu da robot gövdesine yatay düzleme paralel olarak dönecek şekilde montaj edilmiştir. Robot tutucu gövdesi, rulmanlarla robot koluna dik olarak montaj edilmiştir. İki adet tutucu kolu olan robot tutucu (Gripper) robot gövdesine dik olarak montaj edilmiştir.

Bu sayede parçaları bir yerden alarak üç eksende doğrusal hareket ettirerek, iki eksende döndürme yaparak, taşıma işlemi yapabilen 5 eksenli mafsallı bir robot tasarlanarak imal edilmesi hedeflenmiştir.



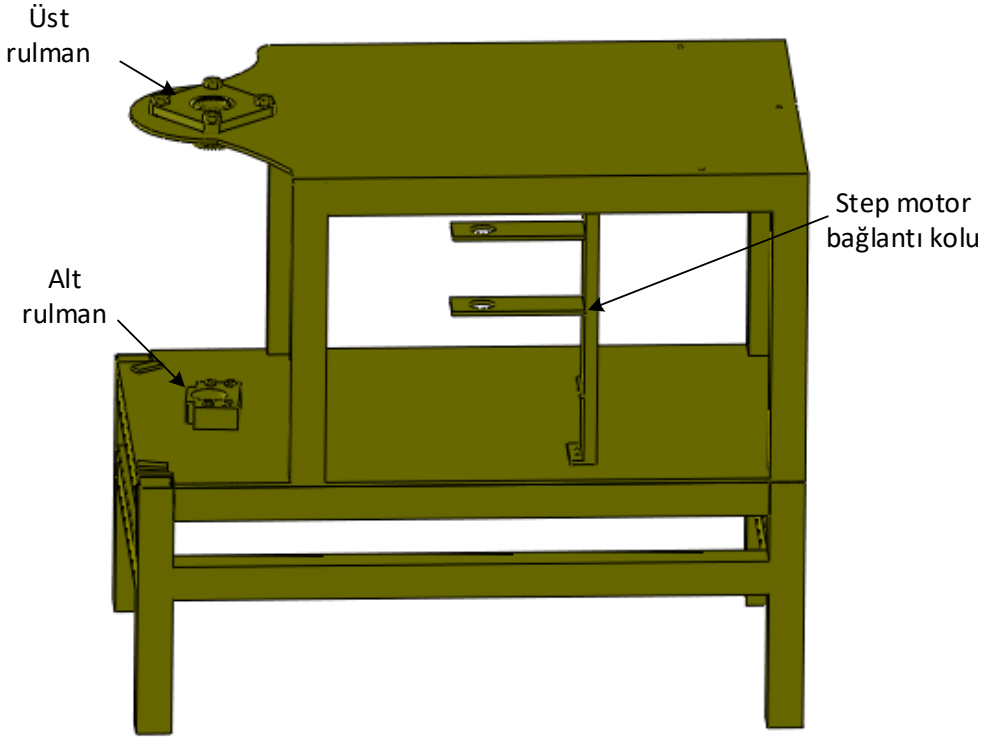
Şekil 3.2. Robot yan görünüşü

3.2. Beş Eksenli Vidalı Mil Tahrikli Mafsallı Robot Tasarımı

Bu tezde robotun mekanik tasarımı robot tablası, düşey eksen mili, robot gövdesi, kolu ve robot tutucu başlık sırasına göre anlatılmaktadır.

3.2.1. Robot tablası tasarım ve imalatı

Robotu zemine yerleştirmek için iki plakadan oluşan bir tabla Şekil 3.3.'de gösterildiği gibi tasarlanarak imal edilmiştir. Tablaya robot gövdesinin montaj edilerek ve düşey doğrultuda dönmesi için flanşlı bir mil bir tanesi zemine diğeri ise üst plakaya iki adet rulmanla montaj edilmiştir. Flanşlı mili kontrollü olarak döndürmek için üst ve alt plaka arasına step motor tahrikli vidalı milli bir aktüatör tasarlanarak imal edilmiştir.



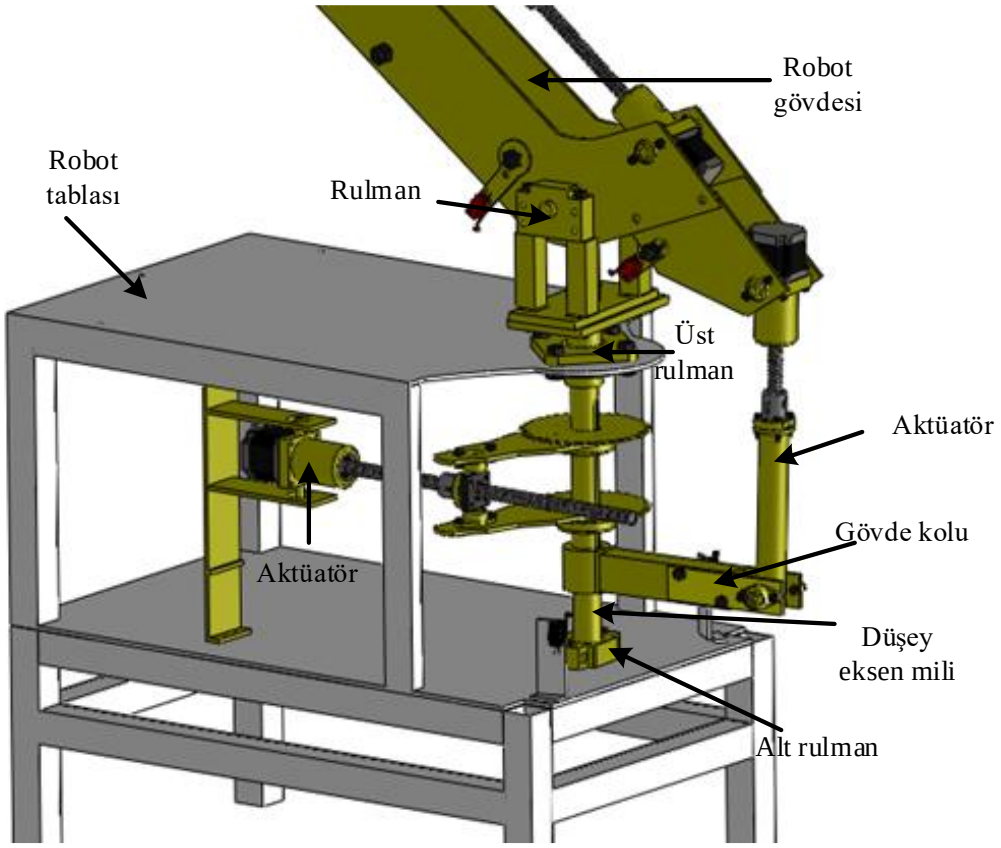
Şekil 3.3. Robot tablası

3.2.2. Robot düşey eksen dönüş sistemi tasarımı ve imalatı

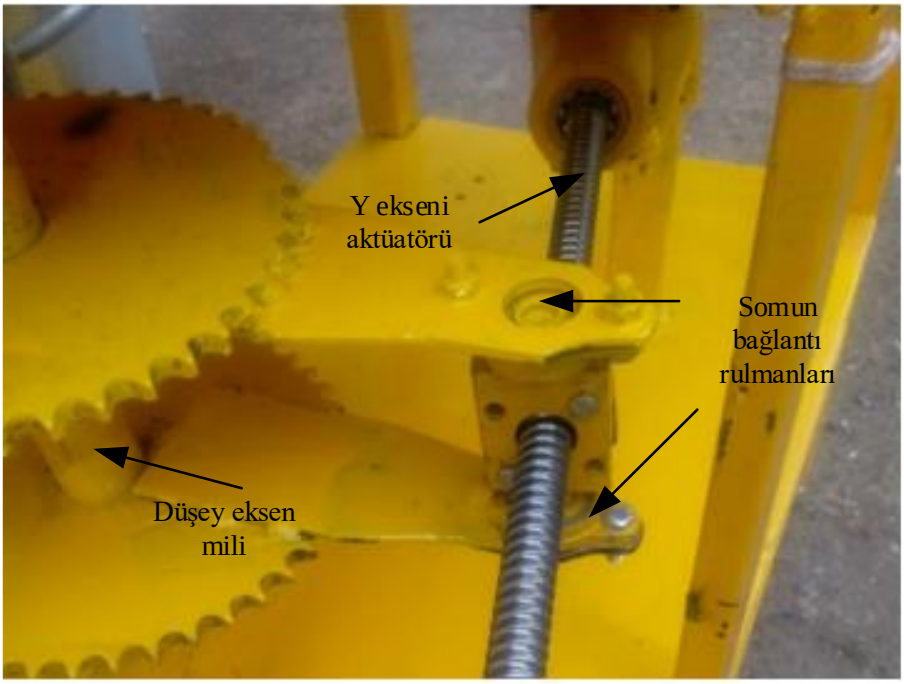
Robot gövdesini düşey eksende dönmesi için Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi üst ucunda flanş bulunan bir mil tablaya aralarında mesafe bulunan iki adet rulmanla montaj edilmiştir. Vidalı milin somunu düşey eksende dönebilecek şekilde flanşlı mile bir çift bağlantı kolunun uç kısmına iki adet rulmanla mile montaj edilmiştir.

Rulmanlı vidalı milli aktüatör kullanılarak robotun düşey eksende dönmesi sağlanmıştır. Vidalı mil aktüatörünün tahrik motoru bir çift rulmanla Y ekseninde dönecek şekilde montaj edilmiştir. Bu sayede robotun kontrollü olarak Y ekseninde 140 derece dönmesi sağlanmıştır.

Robotun düşey eksende dönmesini sağlamak için vidalı milli aktüatör Şekil 3.5.'de gösterildiği gibi düşey eksen miline bir çift rulman kullanılarak montaj edilmiştir. Aynı şekilde vidalı milli aktüatör Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi robot tablasına bir çift rulman kullanılarak montaj edilmiştir.



Şekil 3.4. Düşey eksen mili ve gövde montajı



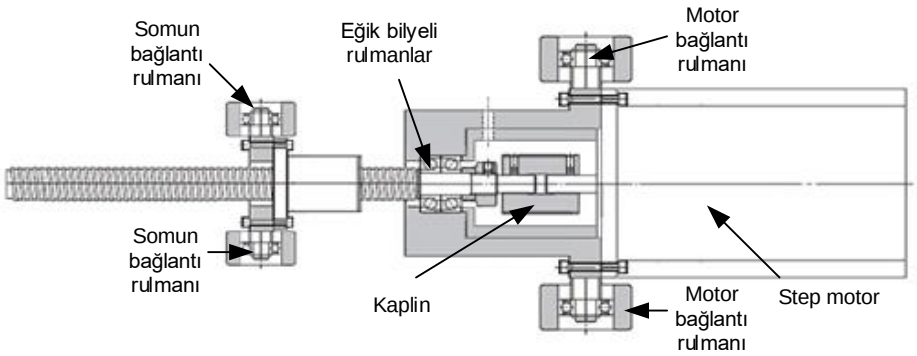
Şekil 3.5. Aktüatörün düşey eksen miline montajı



Şekil 3.6. Aktüatörün tablaya montajı

Düşey eksende yataklı olan milin üst ucundaki flanş üzerine aralarında mesafe bulunan iki adet rulman montaj edilmiştir. Bu rulmanların iç bileziklerine robot gövdesinin alt kısmındaki yuvaya montaj edilen bir mil yerleştirilerek robotun yatay (Z) eksende dönmesi sağlanmıştır.

Robot kolunun düşey eksende döndürmek için step motor tahrikli vidalı milli bir aktüatörün kesit görüntüsü Şekil 3.7.'de görülmektedir. Vidalı mili rulmanlarla yataklamak için step motor flanşına bir bağlantı aksamı cıvatalarla tespit edilmiştir. step motoru tablaya montaj ederek Y ekseninde dönmesini sağlayabilmek için UFL 001 kodlu iki adet derin yivli rulman kullanılmıştır.



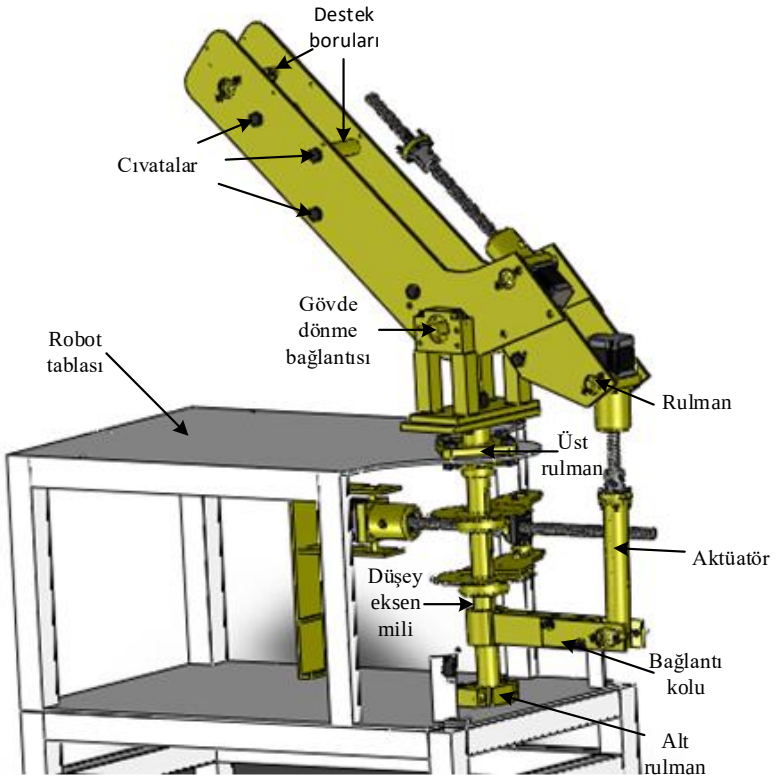
Şekil 3.7. Rulmanlı vidalı milli aktuatör

Vidalı mili bağlantı aksamına montaj etmek ve eksenel kuvvetleri taşımak için bir çift eğik rulman sırt sırta montaj edilmiştir. Step motor milinin hareketinin vidalı mile aktarılması için bir kaplin montaj edilmiştir. Şekil 3.7.'de görüldüğü gibi vidalı mil somunun robotu düşey eksende döndüren mil bağlantılı kollarına montaj için iki adet rulman kullanılmıştır. Şekil 3.8.'de robotu Y ekseninde döndürmede kullanılan step motorlu tahrikli rulmanlı vidalı mil aktüatörün genel görüntüsü perspektif olarak verilmektedir.



Şekil 3.8. Rulmanlı vidalı milli aktuatör

3.2.3. Robot gövdesi tasarımı ve imalatı

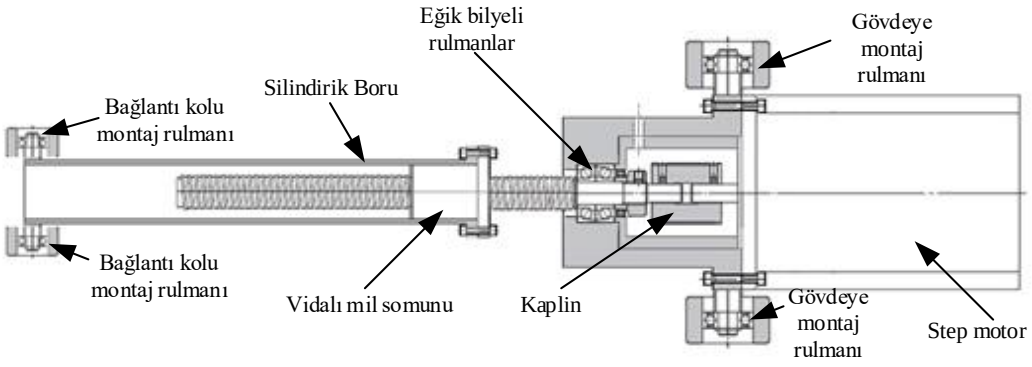


Şekil 3.9. Robot gövdesi montajı

Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi robot gövdesi, sac plakadan kesilerek, aralarına destek boru parçaları cıvatalarla tespit edilerek imal edilmiştir. Robot gövdesi için gövdenin alt ucuna bir mil montaj edilmiştir. Düşey mile tespit edilen bağlantı kolu ile robot arka ucu arasına step motor tahrikli aktüatör yerleştirilerek robot gövdesinin yatay düzlemde 100 derece dönmesi sağlanmıştır.

3.2.4. Yatay eksen dönme hareket aktüatörü tasarımı ve imalatı

Robot gövdesini yatay eksende döndürmede kullanılan step motor tahrikli rulmanlı vidalı milli aktüatör tasarımında Y ekseni için tasarlanan step motor tahrikli rulmanlı vidalı milli aktuatörün rulman dışındaki aksamları olduğu gibi kullanılmıştır. Bu aktüatörde Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi aktüatörün somunu bir borunun uç kısmına cıvatalı bağlantı ile montaj edilmiştir. Borunun diğer ucuna rulman montaj edilebilmesi için simetrik iki pim kaynak edilmiştir. Borulu tip olarak imal edilen aktüatörün sistem üzerindeki montajı Şekil 3.11.'de gösterildiği gibi tasarlanarak imalatı gerçekleştirilmiştir.



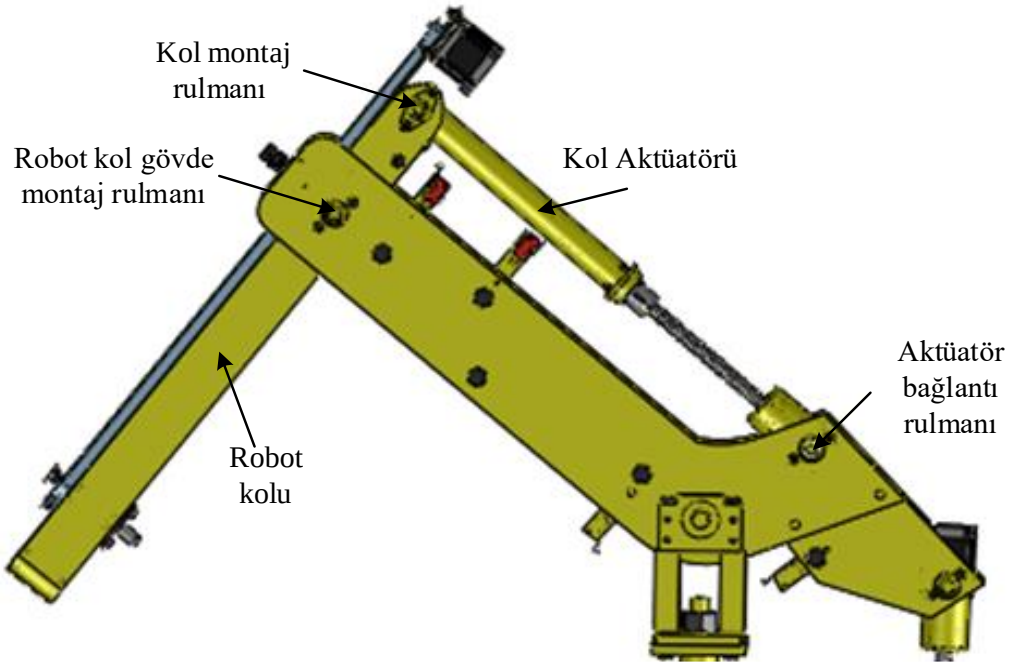
Şekil 3.10. Borulu aktuatörün kesit görünüşü



Şekil 3.11. Borulu tip aktuatörün düşey mile montajı

3.2.5. Robot kolu tasarımı ve imalatı

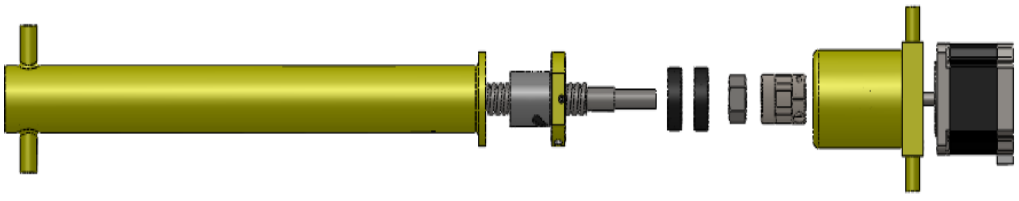
Robot gövdesi ile robot kolu tutucu ünitesi arasına saç profilden Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi 600x40x60x3 mm boyutlarında bir robot kolu tasarlanmıştır. Robot kolunu, robot gövdesi üst ucuna tespit etmek için bir mil montaj edilmiştir. Bu mile bir çift rulman montaj edilerek robot gövde üst ucuna cıvatalı bağlantı ile tespit edilmiştir. Robot kolunu hareket ettirmede kullanılan rulmanlı vidalı mil aktüatör bağlantısı için robot kolu üst ucuna Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi rulmanlı bağlantı sistemi tasarlanarak imal edilmiştir. Robot kolu tutucu ünitesi robot kolu alt ucuna montaj etmek içinde bir çift rulman montaj edilmiştir.



Şekil 3.12. Robot kol ve gövde bağlantısı

3.2.6. Robot kolu dönme aktüatörü tasarımı ve imalatı

Robot gövdesini yatay eksende döndürmede kullanılan step motor tahrikli rulmanlı vidalı milli aktüatör tasarımında borulu tip aktüatör kullanılmıştır. Şekil 3.13.'de kesitte görüldüğü gibi rulmanlı vidalı mil somunu, bir borunun uç kısmına cıvatalı bağlantı ile montaj edilmiştir. Borunun diğer ucuna, aktüatör bağlantısı için dik eksende bir çift rulman montaj etmek için simetrik iki pim kaynakla boruya tespit edilmiştir.



Şekil 3.13. Borulu tip aktuatörün demonte görüntüsü

Aktüatörün diğer kısmı step motor bağlantı aksamına bir çift rulmanlı bağlantı ünitesi montaj edilmiştir. Tasarlanarak imal edilen rulmanlı vidalı milli aktüatöre 300 mm ileri geri hareket kabiliyeti sağlanarak robot gövdesini yatay ile düşey eksenler arasına 135 derece hareket sağlanmaktadır.

Robot kolun hareketini sağlayan rulmanlı vidalı milli aktüatörün robot gövdesi üzerine Şekil 3.14.'de görüldüğü gibi montaj edilmiştir. Robot kolu aktüatörü robot gövdesine bir çift rulman kullanılarak montaj edilmiştir. Aynı şekilde robot koluna da bir çift rulman kullanılarak montaj edlmiştir.

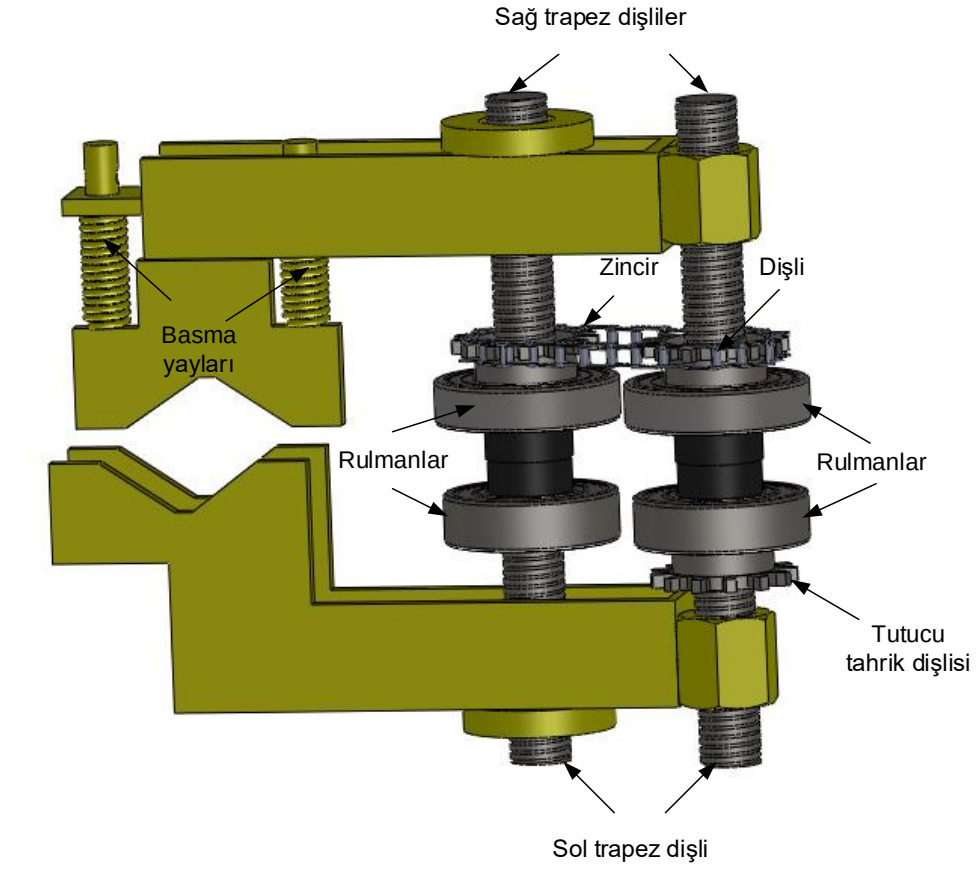


Şekil 3.14. Aktuatörün gövde ve kola montajı

3.2.7. Robot tutucu aksamı tasarımı ve imalatı

Robotun silindirik, küresel ve dikdörtgenler prizması şeklinde parçaları tutmak için Şekil 3.15.'de görüldüğü gibi üzerinde V kanal bulunan, simetrik olarak açılıp kapanan iki tutucu kol tasarlanarak imal edilmiştir. Tutucu kollar iki adet vidalı miller vasıtasıyla simetrik olarak açılıp kapanmaktadır. Orta kısmından tutucu gövdesine yataklanmış olan vidalı millerin bir tarafında sağ helis, diğer tarafında ise sol helis trapez dişliler bulunmaktadır. Bu nedenle vidalı mil saat yönünde çevrilince somunlar

birbirine yaklaşmakta, saat yönünün tersine çevrilince de uzaklaşmaktadır. Bu millerden bir çift imal edilerek tutucu gövdesine rulmanlarla birbirine paralel olarak montaj edilmiştir. Miller, üzerlerine montaj edilen zincir ve dişli sistemi ile her ikisi birlikte dönmektedir. Bir tutucu kol üzerine iki adet somun montaj edilerek simetrik olarak yerleştirilmiştir. Bu sayede miller saat yönüne çevrildiği zaman tutucu çene kapanmakta, saat yönünün tersi istikametinde çevrildiğinde açılmaktadır.



Şekil 3.15. Tutucu ünitesi aksamları

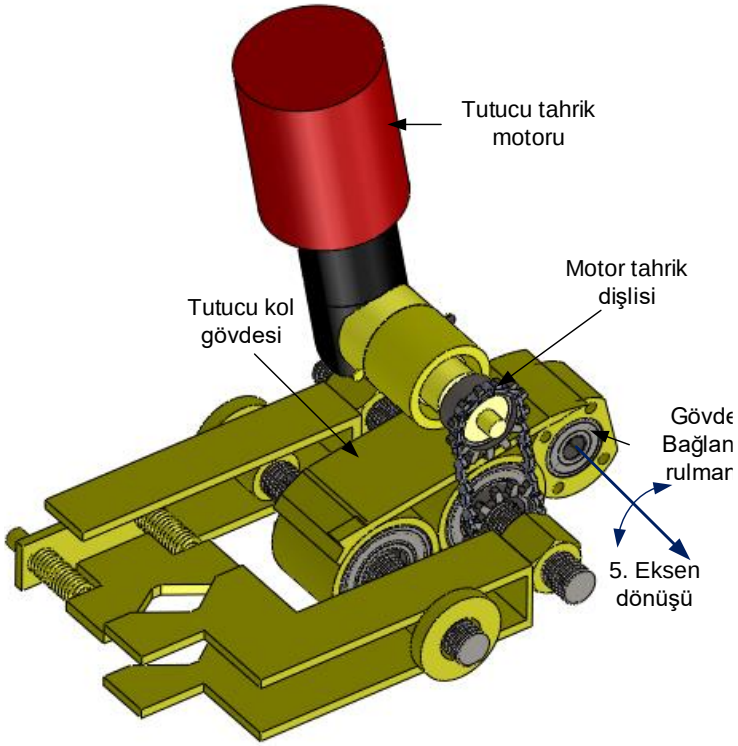


Şekil 3.16. Motorun tutucu gövdesindeki montajı

Şekil 3.16.'da görüldüğü gibi tutucu kollar iki adet vidalı miller vasıtasıyla simetrik olarak açılıp kapanmaktadır. Orta kısmından tutucu gövdesine yataklanmış olan vidalı millerin bir tarafında sağ helis, diğer tarafında ise sol helis trapez dişliler bulunmaktadır.

Tutucu kolları açıp kapatmak için redüktörlü dik açılı bir elektrik motoru kullanılmıştır. Motor, Şekil 3.17.'de görüldüğü gibi tutucu gövde üzerine dik olarak montaj edilerek motor miline takılan bir zincir dişli ile vidalı millere hareket verilmektedir.

Parçaları tutma sırasında tutucu kolun uyguladığı sıkma kuvvetini kontrol altına almak için sağ tutucu kolda bulunan V blok birbirine paralel iki silindirik mil ile kola dik olarak yataklanarak aralarına baskı yayları yerleştirilmiştir. Çenelere uygulanan kuvveti ayarlamak içinde tutucu kol ile hareketli çene arasına mikro anahtar yerleştirilmiştir.

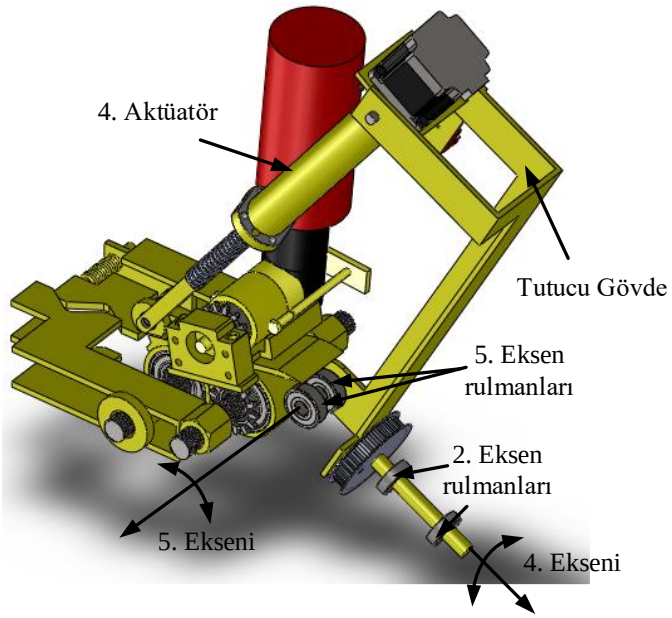


Şekil 3.17. Tutucu tahrik sistemi

Tutucu çenenin açılıp kapanma miktarını kontrol etmek için 3 adet anahtar montaj edilmiştir. Hazırlanan bir elektrik devre bağlantısıyla tutucu kol motoruna akım verildiğinde V çeneli tutucu kollar kapanarak parçaya basma kuvveti uyguladıktan sonra durmaktadır. Tutucu kolları açmak için, tutucu kol tahrik motoru ters yönde döndürülerek açılan tutucu kollar mikro anahtara temas ederek motor durması sağlanmaktadır. Bu sayede silindirik veya küresel parçalar robot tutucu kolu çeneleri arasına konsantrik olarak tutmaktadır.

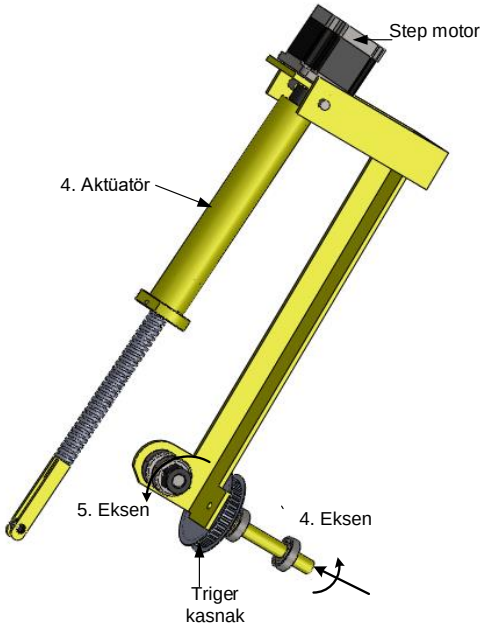
3.2.8. Robot tutucusu 4. ve 5. eksen hareketleri

Belirli bir pozisyondaki parçaları tutabilmek için robot tutucusunun tahrik sistemleri tarafından 4. ve 5. eksenlerde kontrollü olarak dönmesi sağlanmalıdır. Şekil 3.18.'de görüldüğü gibi 5. eksenin hareketi için vidalı millere paralel olarak montaj edilen gövde bağlantı rulmanlarını hareket etmeleri step motor tahrikli rulmanlı vidalı milli aktüatörle sağlanmıştır. Bu aktüatörde rulmanlı somun step motor miline tespit edilen borunun uç kısmına montaj edilmiştir.



Şekil 3.18. Tutucu kolların 4. ve 5. dönüş eksenleri

Bu Aktüatörün montaj pozisyonu nedeniyle diğerlerinden farklı olarak step motorun vidalı mili tahrk etmesi yerine rulmanlı somun bir boru ucuna montaj edilerek motor tarafından tahrik edilmiştir.

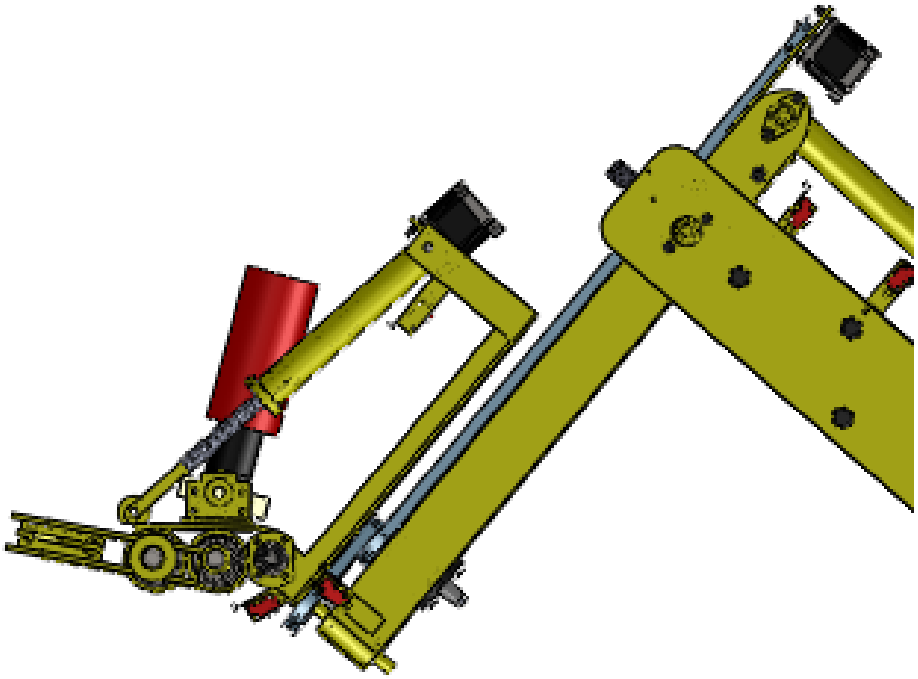


Şekil 3.19. Tutucu gövde bağlantı aksamı

Vidalı mili tutucu gövdeye rulmanla Şekil 3.19.'da görüldüğü gibi montaj edilerek ucunda rulman montaj edilen borunun step motor tarafından döndürülmesi ile tutucu gövde bağlantı rulmanları 5. Eksen doğrultusunda 90 derece dönmesi sağlanmaktadır.

4. Eksen tutucu gövde bağlantı mili robot kolu uçuna montaj edilen bir step motor triger bağlantısı sistemi ile kontrollü olarak 180 derece dönmesi sağlanmıştır.

Robot tutucu aksamın robot kol ucuna montajının sol yan görünüşü Şekil 3.20.'de görülmektedir. Bu sayede robot herhangi bir pozisyondaki parçaları tutarak 5 eksende hareket ettirerek istenilen pozisyonda bırakılması sağlanmıştır.



Şekil 3.20. Tutucu gövdenin robot kola montajı ve triger kayış-kasnak sisteminin montajı

Robot tutucu gövde bağlantı ünitesini çevirebilmek için Şekil 3.20.'de görüldüğü gibi pim ve rulmanlarla robot kolu ucuna montaj edilerek triger kayış kasnak sistemi ile motor kolu en üst ucuna yerleştirilen step motor vasıtasıyla tahrik edilmesi sağlanmıştır. Step motor torkunu artırmak için üzerinde 10 ve 40 dişli bulunan triger kasnakları mili robot koluna rulmanlı yataklı olarak montaj edilmiştir.

Güç aktarmak için, 2.2 Nm torklu step motor miline takılmış olan 10 dişlili triger kasnak ile gövde üzerinde yataklanmış olan mildeki 40 dişlili triger kasnak üzerine bir triger kayış montaj edilmiştir. Mil üzerindeki 10 dişlili triger kasnak ile tutucu gövde bağlantı mili üzerindeki 40 dişlili kasnak arasına ikinci triger kayış takılarak, step motor torku 16 kat artırılarak 35.2 Nm değerine yükseltilmiştir. Robot tutucusunun 4. ve 5. eksen bağlantıları yapıldıktan sonra Şekil 3.21.'de görüldüğü gibi montajı tamamlanmıştır.



Şekil 3.21. Robot tutucu montajı

3.2.9. Robot gövdesi ve kolunda yay kullanımı

Robot gövdesinde ve kolunda kullanılan aktüatörlerin üzerine düşen yükü azaltmak için aktüatörlerin çalışma alanlarına paralel olarak vücüt geliştirmede sporunda kullanılan egzersiz yaylarından yararlanılmıştır. Şekil 3.22.'de görüldüğü gibi robot gövdesinde kullanılan yaylar yerleştirilmiştir. Aynı şekilde Şekil 3.23.'de görüldüğü gibi robot kolunda kullanılan yaylar yerleştirilniştir. Bu yaylar sayesinde aktüatörlerin üzerine düşen yükler azalarak çalışmadığı durumlarda robot öne doğru düşmesi engellenmiştir.



Şekil 3.22. Robot gövdesinde yayların kullanımı



Şekil 3.23. Robot kolunda yayların kullanımı

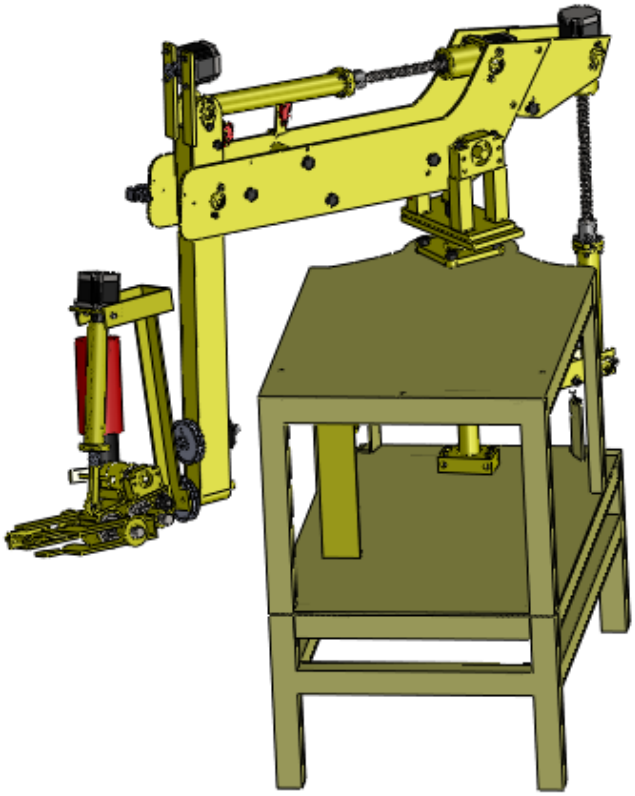
Robotun arka taraf kesit görüntüsü Şekil 3.24.'de görüldüğü gibidir. Robotun sol yan kesittern görüntüsü Şekil 3.25.'de gösterilmiştir. Robotun çalışma sırasında zemine en yakın uzanabildiği pozisyonu da Şekil 3.26.'da görüldüğü gibidir. Ayrıca robotun sağ yan kesit görüntüsü de Şekil 3.27.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Robotun arka taraftaki kesit görüntüsü



Şekil 3.25. Robotun ulaşabildiği yükseklik



Şekil 3.26. Robotun yere en yakın ulaşabildiği nokta

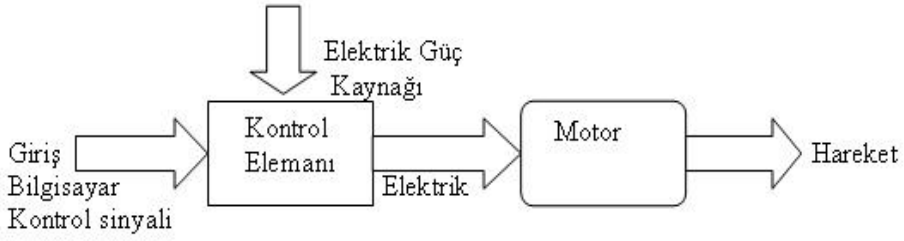


Şekil 3.27. Robotun sağ yan kesit görüntüsü

3.3. Robot Kontrol Sistemi

Bir robot sistemi; robot, kontrol ünitesi, bilgisayar ve öğretici panel veya joystickten oluşmaktadır. Her robotun pozisyon konumlama için kullanacağı komutlar çeşitli programlama editörlerince bilgisayarda yazılarak robotun kontrol ünitesine yüklemektedir. Robot sistemler, uygun şekilde bir araya getirilen mekanik ve elektronik sistemlerin amaca uygun olarak kumanda edilmesi ile çalışmaktadır. Bir robot sistemi tasarımında, istenilen hareketlerin kusursuz biçimde elde edilmesi için, kontrol ünitelerinin ve programlama yöntemlerinin doğru seçilmeleri gerekmektedir. Kontrol birimi, robot aktüatörleriyle ilgili olan taşıma işlemlerini belirtilen hata sınırlarında, robotun içerisine yerleştirilen dahili sensörlerle kontrol ederek robot sisteminin çevre ile ilgisi varsa, harici sensörler kullanılarak kontrol sağlanmaktadır. Robotlarda kullanılan kontrol sistemleri açık ve kapalı devre kontrol sistemi olarak İki gruba ayrılmaktadır.

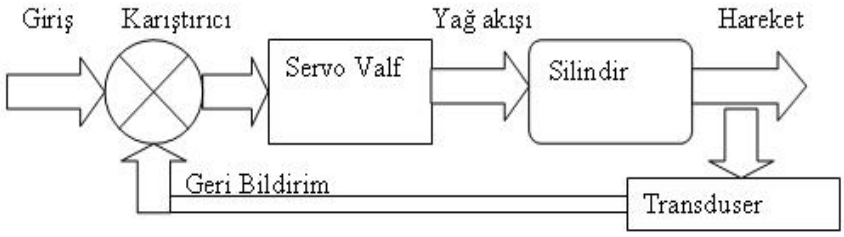
Açık devre kontrol sistemlerinde, çıktı hareketini algılayacak kontrol birimi yoktur. Endüstride yapılan işlerin çoğu, genellikle insanlar tarafından açık devre kontrolle yapılmaktadır. Operatör, kumanda kolunu kontrol ederek istediği hareketler sağlanabilmektedir. Manuel kontrollü sistemler, açık devre kontrol sistemleridir.



Şekil 3.28. Açık devre kontrol sistemi

Şekil 3.28.'deki Açık devre kontrol sistemlerinde, geri besleme sistemi bulunmadığından sürücülerde ve mafsallarda oluşan hareket miktarı tam olarak sağladığı sisteme bildirilmemektedir. Açık devre kontrol sistemlerin kurulum maliyeti, kapalı devre kontrol sistemlerinin maliyetine göre daha düşüktür. Açık devre kontrol sistemlerinin kullanım alanları sınırlıdır.

Şekil 3.29.'daki kapalı devre kontrol sistemi, açık devre kontrol sistemlerine bir geri besleme sistemi ilave edilerek sensörlerle sürücülerin yaptığı hareketler algılanarak, sistemin kumanda edilmesi esasına göre çalışmaktadır.



Şekil 3.29. Kapalı devre kontrol sistemi

Robot kontrol sistemlerinde kullanılan kontrol kartları, sensörlerden aldığı verileri işlenerek çıkış birimlerine komut verilerek kontrol sağlanmaktadır. Bu kontrol kartları bir bilgisayar işletim sistemi gibi çalışmaktadır. Bu kontrol kartları; Mikrokontrolcü kartları (PIC, Arduino, ESP8266, mBed v.b.), tek kart bilgisayarlar (Raspberry Pi, Orange Pi, BeagleBoard v.b.), PID kontrol kartlarıdır. Ayrıca robot kontrol ünitesi içerisinde hareket kontrollü PLC cihazları da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Mach3 kontrol kartları, G kodları ile aynı anda 6 eksen step ve servo motor sürücülerini kontrollü olarak sürebildiği için kullanılmıştır. Mach3 kontrol sisteminde makro programlar yazılarak operatör kontrollü olarak belirlenen hareket yörüngeleri kontrol sistemine kaydedilerek robota aynı hareketlerin tekrarlanması sağlandığından robot programlaması mevcut robotlarla rekabet etme niteliği kazandırılmıştır.

Bu çalışmada aktüatörleri tahrik eden motorların servo motor yerine maliyet nedeniyle step motorları tercih edilerek açık devre kontrol sistemi kullanılmıştır. Mach3 kontrol kartında G kodları programında pozisyon ve hız bilgileri girilerek 5 eksenli olarak step motorlar açık devre kontrollü olarak çalıştırılmaktadır. Mach3 kontrol sisteminde makro programların yazılması ve joystick tasarımı yapılabilmesi için Mach3 kontrol kartı ile programlanması analiz edilmektedir.

3.4. Mach3 Kontrol Kartı

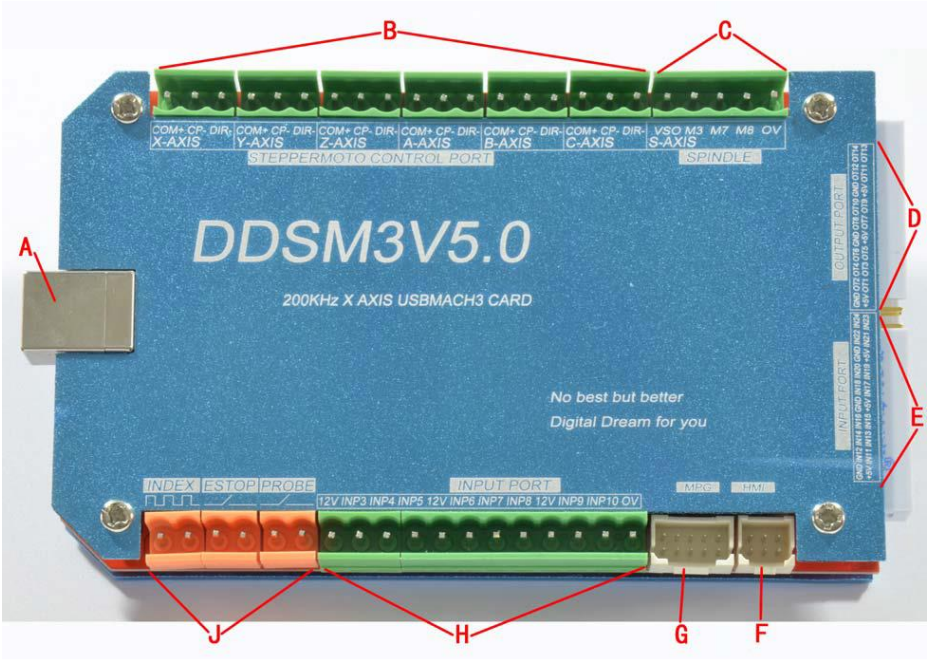
CNC Makineleri ile Operatörler arasındaki iletişimi sağlayan ara yüzleri geliştiren pek çok yazılım, G-kodu kullanarak hareket kontrolü için geliştirilmektedir. Mach3 yazılımı MS Windows sisteminde çalıştığından endüstride yaygın olarak Kartezyen makinaların kontrolünde kullanılmaktadır. Mach3 kontrol sistemi ile aynı anda 6 eksen kontrol edilebilmesi en büyük avantajlarından birisidir. CNC tezgâhlarında kullanılan G kodlu program ile hareket sağlanabilmektedir. Bu kontrol kartı ile 6 serbestlik derecesine sahip bir robot kolun dönmesi ve parçanın Kartezyen koordinattaki pozisyonuyla ilgili kinematik hesaplamaları yapılarak kontrol sağlanabilmektedir (Bomfim ve Ark. 2014).

Bu çalışmada robot hareket kontrol kartı olarak Şekil 3.30.'da görülen Mach3 kontrol kartı kullanılmıştır. USB ara yüz kablosu ile bilgisayar vasıtasıyla G formatında programlar girilerek 6 eksen step ve servo motorları kontrol edilerek çalıştırılmaktadır.

Kartın üzerinde giriş ve çıkışlar için portlar bulunmaktadır. Seçilen kartta her bir eksen 200 kHz frekansta çalıştığı için aktüatörlerde kullanılan step motorlar maksimum 500 devir/dakikada dönebilmektedir. Bu durumda seçilen aktüatörlerin ilerleme hızı da maksimum 3000 mm/dk olmaktadır.

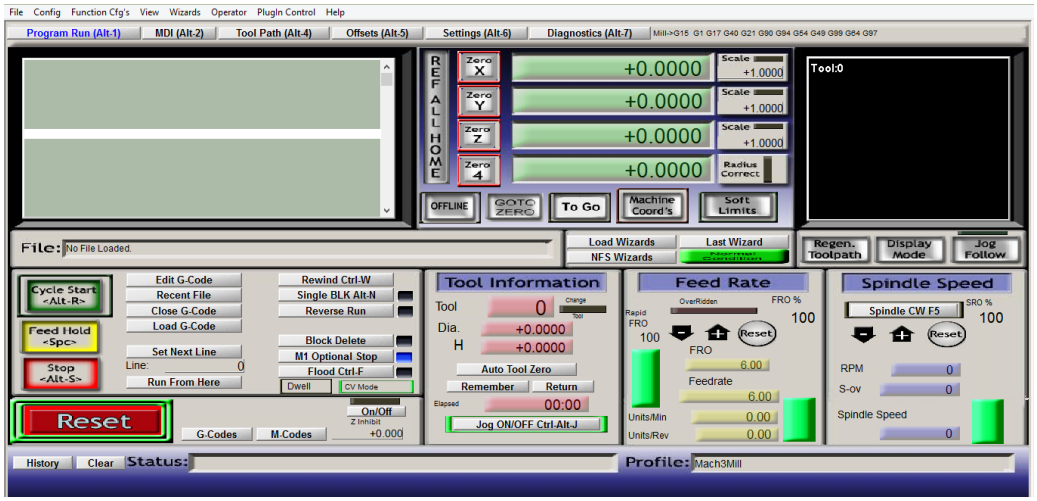
6 eksenli DDSM3V5.0 kodlu Mach3 kontrol kartında bir adet USB bağlantısı, step motor sürücü çıkışları ve bir adet Spindle çıkışı bulunmaktadır. Ayrıca 12 adet 5 V Output çıkış portu, 10 adet 12 V ve 12 adette 5 V Input giriş portu, 2 adet MPG girişi, index, acil stop ve pop girişi de bulunmaktadır.

Şekil 3.30.'da USB bağlantı noktası A, motor eksen çıkışları B, Spindle çıkışı C, Output çıkış portu D, 5 V Input giriş portu E, MPG girişi F ve G, 12 V input giriş portu H ve de index, acil stop ve pop girişi J olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Mach3 Kontrol Kartı

DDSM3V5.0 kodlu Mach3 kontrol kartı yazılımı bilgisayara yüklendiğinde Şekil 3.31.'de görüldüğü gibi Mach3 programı ara yüzde oluşmaktadır. Bu ara yüzde dosya yükleme, çalıştırma, durdurma ve tekrardan başlatma butonları bulunmaktadır. Çalışma esnasında çalışma hızı, parçanın pozisyonu, eksen değerleri ve çalışma işlemini gösteren bölümler bulunmaktadır.

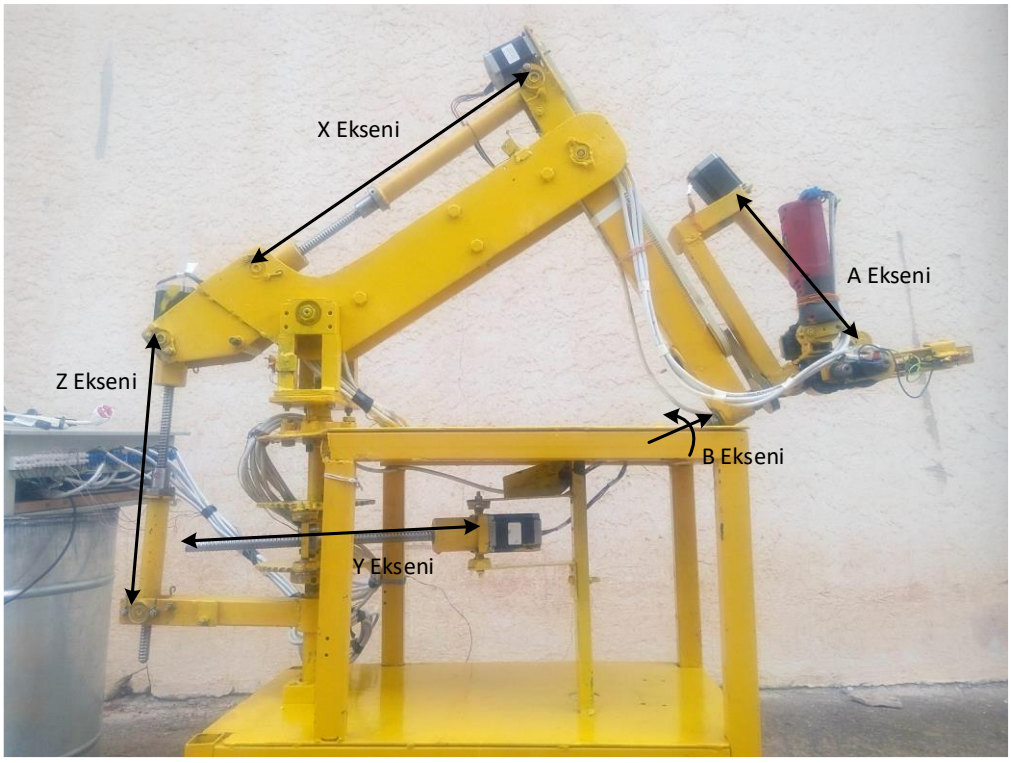


Şekil 3.31. Mach3 ara yüzü

3.4.1. Mach3 kontrol kartı ile motor sürücü bağlantıları

Mach3 kontrol kartı programında eksenler X, Y, Z, A, B ve C olarak 6 eksen kontrol etmektedir. Şekil 3.32.'de görüldüğü gibi düşey ekseni Y, gövdenin yataydaki dönmesi Z ve kolun yataydaki dönme hareketi X, tutucu kolun çenesinin hareketi A ve tutucunun kola dik olarak dönme hareketi B ile sürülmektedir.

Robotta X, Y, Z ve A eksenlerinde step motor tahrikli rulmanlı vidalı milli 4 adet aktüatör kullanılmaktadır. Tutucu kolu robot kolu simetri ekseninde dik eksende hareket aktüatörü için A ekseni seçilmiştir. Robot tutucu kolunu robot koluna dik eksende çevirmede kullanılan triger kayışlı dişli sistemi için de B ekseni seçilmiştir.

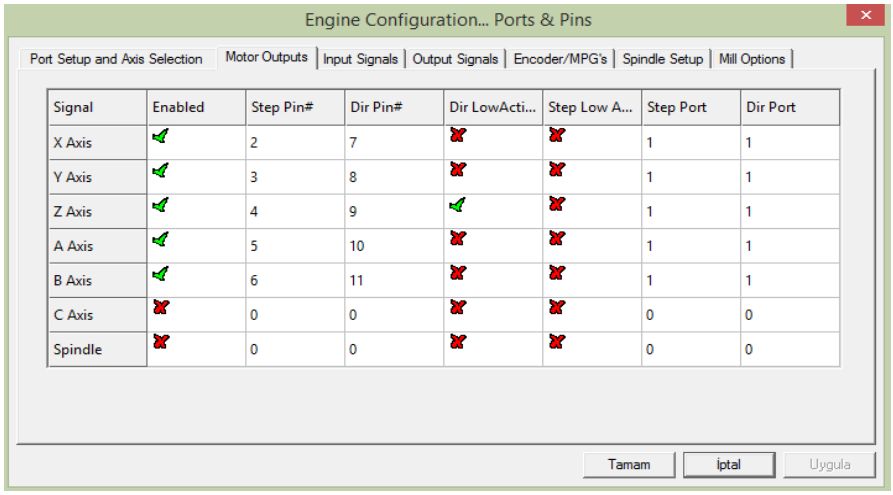


Şekil 3.32. Eksenlerin tanıtılması

3.4.2. Mach3 kontrol kartı ayarları

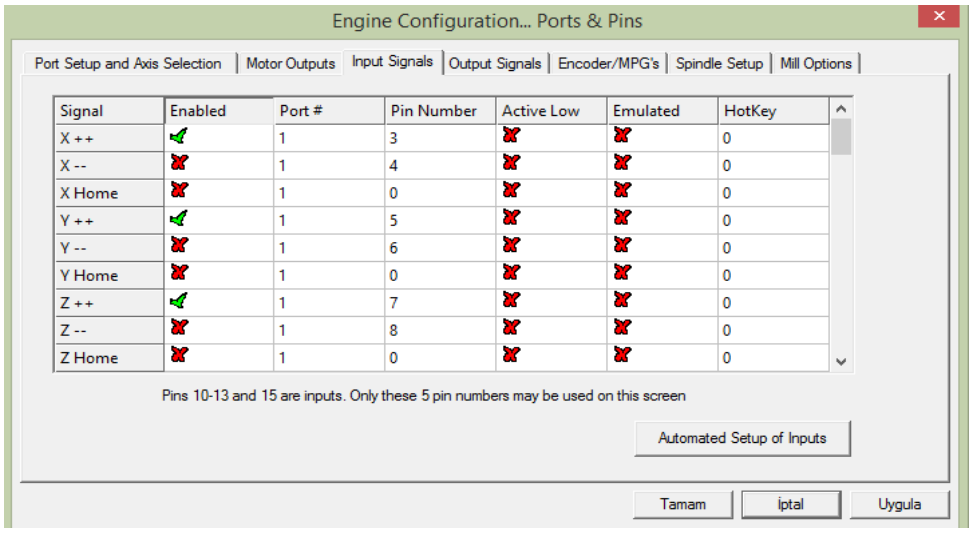
Mach3 programında motor çıkış port seçimi aktif olarak çalışan eksenler, step motor kontrol ünitesindeki motor yön ve hareket (Step ve Dir) pin numaraları robotun

hareketine göre Şekil 3.33.'de görüldüğü gibi belirlenmiştir. Robot hareketinde Z ekseni motorunun ters yönde dönmesi gerektiğinden Dir LowActivate aktif edilmiştir.



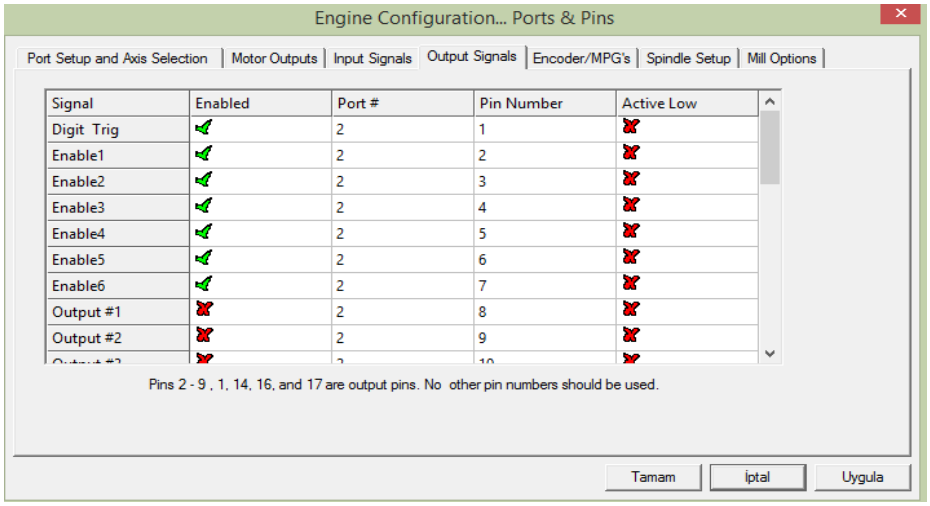
Şekil 3.33. Motor çıkış ayarları

Robotta eksenlerin çalışma sınır anahtar pin numaraları seçilerek Şekil 3.34.'de görüldüğü gibi Mach3 programında motor giriş portunda motorun saat yönü (++) ve saat yönü tersi (--) sembolleri aktif edilmektedir.



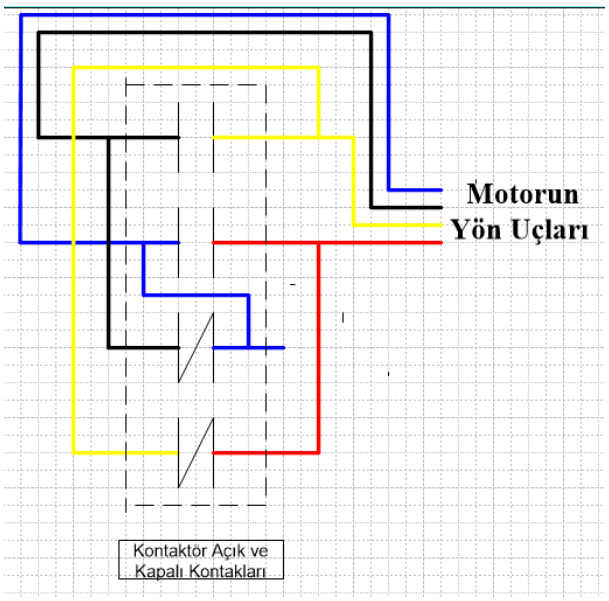
Şekil 3.34. Giriş ayarları

Kontrol sisteminde kullanılan motorların çıkış sinyallerinin aktif olması için motorların çıkışları şekil 3.35.'de gösterildiği gibi ayarlanmıştır.



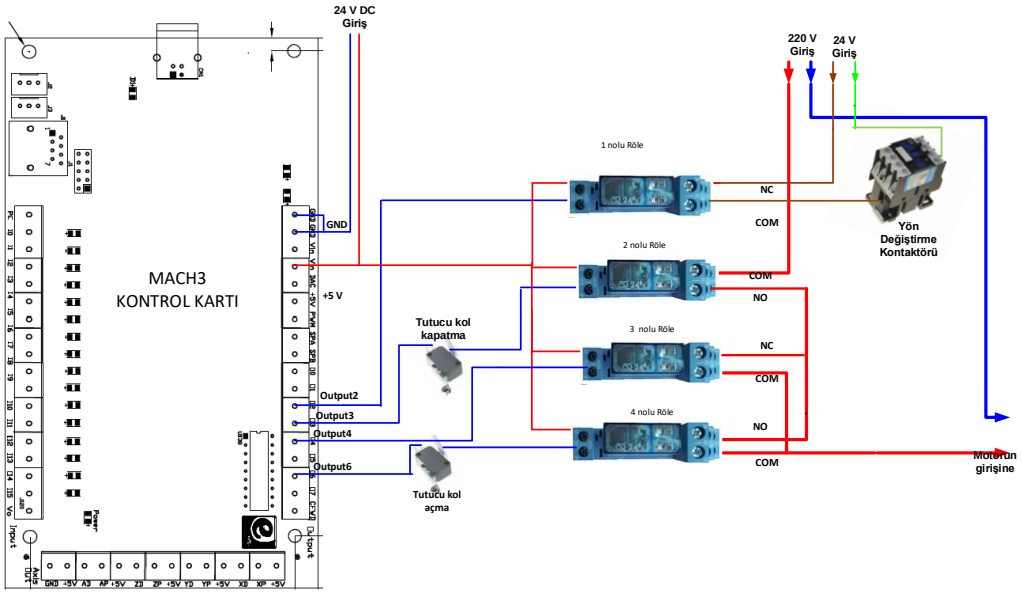
Şekil 3.35. Çıkış ayarları

Motoru sağa ve sola çevirmek için 4 adet giriş ucu bulunmaktadır. Bu girişleri bağlamak içinde 2 açık ve 2 kapalı kontağı bulunan 24 V AC kontaktörü kullanılmıştır. Şekil 3.36.'da görüldüğü gibi kontaktör açık iken motoru sağa çevirmek için 1 nolu 24 V DC kontaktörü aktif duruma getirilerek 1 ve 2 ile 3 ve 4 uçların bağlanmıştır. Motoru sola çevirmek için 1 nolu 24 V DC kontaktörü pasif duruma getirilerek kontaktör kapalı durumda iken 1 ve 3 ile 2 ve 4 nolu uçların bağlanmıştır. Mach3 kartı çıkışı ile 2, 3 ve 4 nolu 24 V DC kontaktörler aktif edilerek motoru çalıştırılmaktadır.



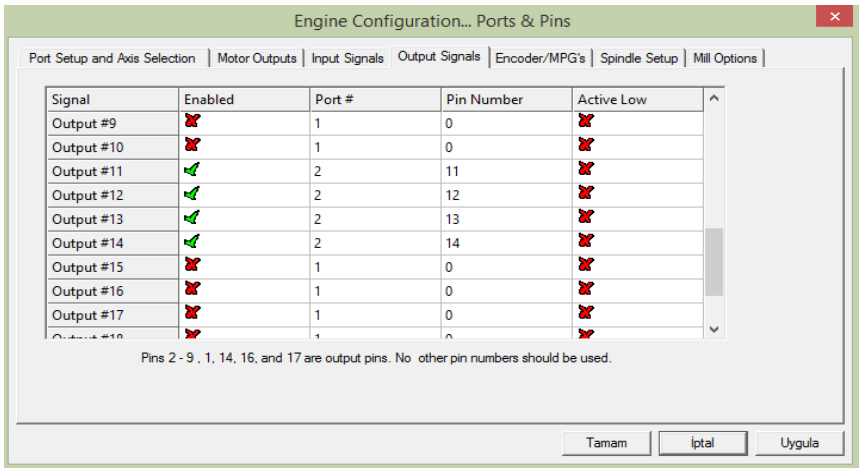
Şekil 3.36. Motor yön uçlarının kontaktör üzerindeki bağlantısı

Robot tutucu kollarını hareket ettiren vidalı milleri çevirmede 220 V AC de çalışan motor kullanılmıştır. Tutucu kolları açma ve kapamada sınır anahtarları kullanılmıştır. Motorun çalıştırılması için Şekil 3.37.'de görüldüğü gibi 1, 2, 3 ve 4 nolu 4 adet 24 V DC kontaktörü kullanılmıştır. Mach3 kartı Output 2, 3, 4 ve 6 numaralı çıkışları bu kontaktörler kontrol edilmektedir.



Şekil 3.37. Tutucu kol motorunun röle ve kart bağlantısı

Bu Mach3 kartında output çıkışlarını aktif etmek için Şekil 3.38.'de görüldüğü gibi port numarası 2 kullanılmaktadır.



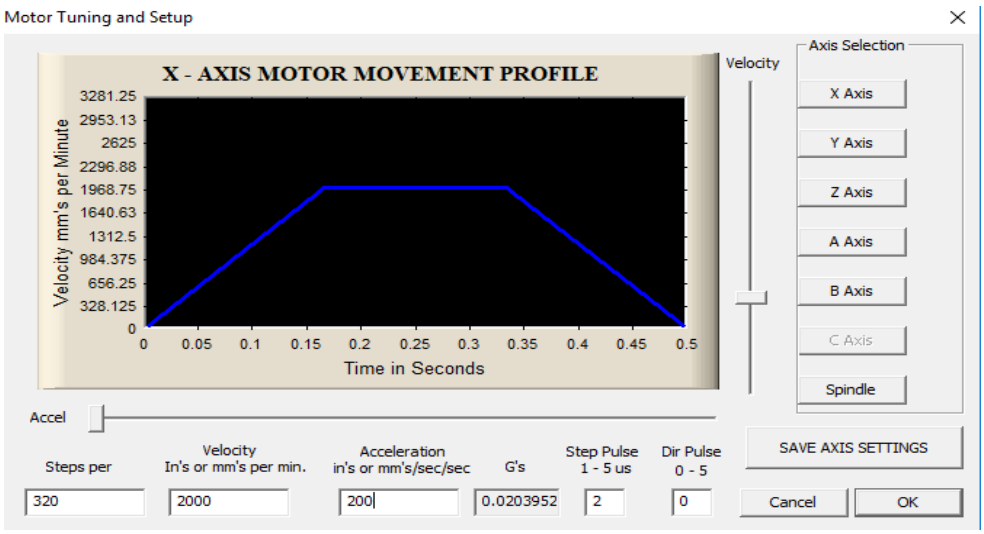
Şekil 3.38. Röle kontrolü çıkış ayarları

Mach3 programında kullanılan step veya servo motorların tuning ayarları Şekil 3.39.'da gösterilen pencereden yapılmaktadır. Her bir ekseni kontrol eden aktüatörün ilerlemesi ile programdaki eksenin ilerlemesi eşit olmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan motorların adım sayısı 200, mikrostep ayarı 1/8 ve milin hatvesi 5 mm olarak alındığında bir turdaki adım sayısı (steps per ayarı);

200*8/5= 320 adım (3.1)

Tuning ayarlarında kullanılan kartın özelliklerine göre her eksen için motorun bir turdaki adım sayısı, ivmesi ve hız değeri belirlenmektedir. Robotta kullanılan X, Y, Z ve A eksenlerinde kullanılan aktüatör motorları için; kullanılan Mach3 kontrol kartının özelliğine göre ilerleme hızı 0 – 3000 mm/dakika ve ivmesi de 200 mm/sn^2 olarak en yüksek değerler seçilmiştir.



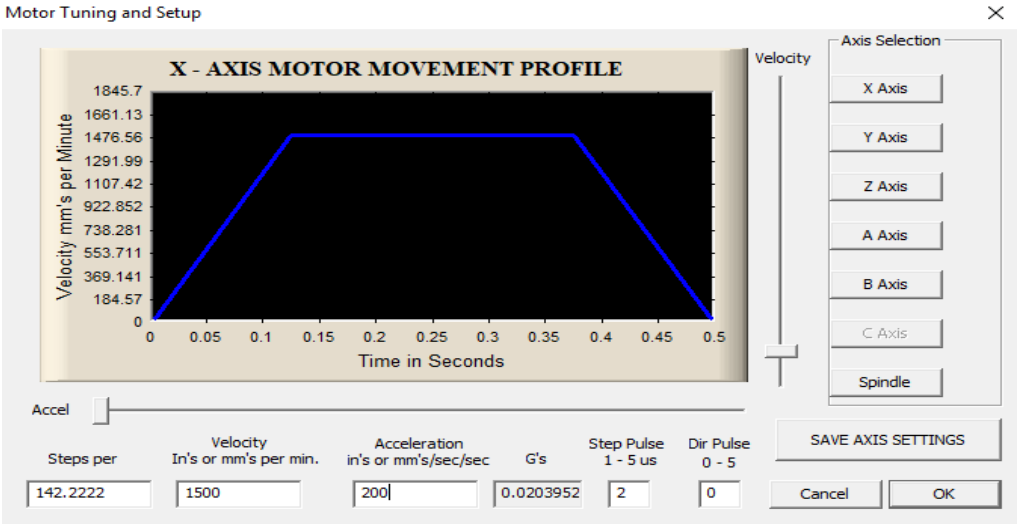
Şekil 3.39. X,Y,Z ve A eksenleri motorların motor tuning ayarları

Tutucuyu kol eksenine dik olarak çevirmede kullanılan triger kayışlı hareket sisteminde kullanılan B ekseninin hız ve tur ayarları, Şekil 3.40.'da gösterilen pencereden ilerleme hızı 1500 ve ivmesi 200 olarak seçilmiştir. Tutucu kolu açısal olarak döndürmek için tutucu koldaki döndürme açısı ile B eksenindeki ilerlemenin eşit olması sağlanmalıdır. Tutucu kolun döndürme açısı hesaplanmasında; açı 360

derece, adım sayısı 200, microstep ayarı 1/8 ve triğer kasnak oranı 1/16 seçilerek bir turdaki adım sayısı (steps per ayarı);

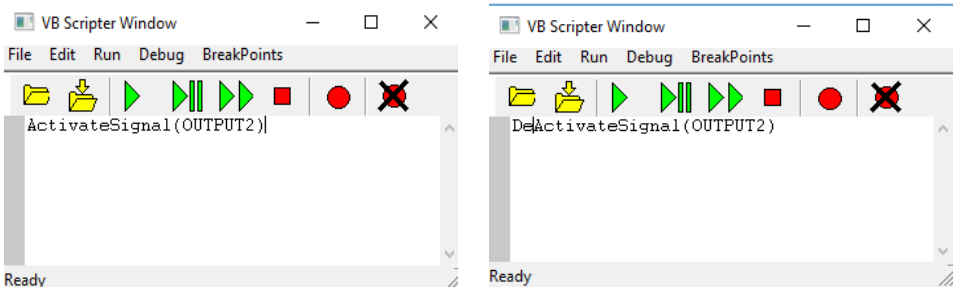
$$200*8*16/360 = 142.2222 \quad (3.2)$$

olarak hesaplanmıştır.



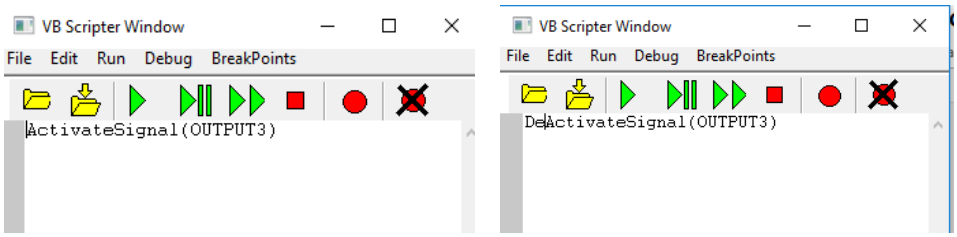
Şekil 3.40. B ekseni motor turing ayarı

Motorun röleden gerilim alması için Şekil 3.41.'de gösterilen makrolar kulanılmaktadır. Output 2 çıkışı ActivateSignal kodu kullanılarak rölenin enerjisi kesilerek 2. ve 4. rölenin orta uçlarına enerji gitmektedir. DeActivateSignal kodu ise röleye tekrardan enerji verilerek motorun enerjisi kesilmektedir.



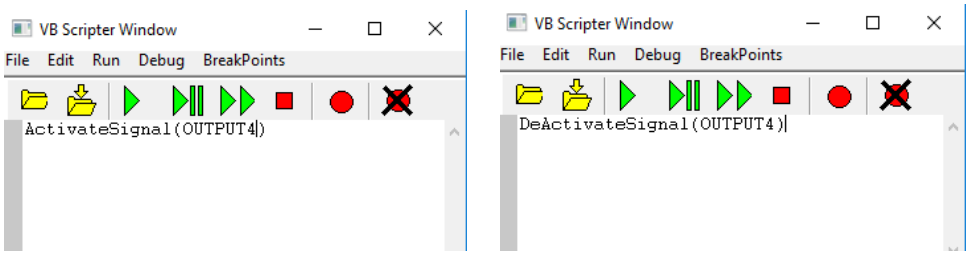
Şekil 3.41. Output 2 çıkışındaki makrolar

Tutucu kolların kapanmasında kullanılan motorun çalışması için Şekil 3.42.'de gösterilen makrolar kullanılarak, Output3 çıkışı aktif veya pasif edilerek motorun çeneyi kapatması sağlanmaktadır.



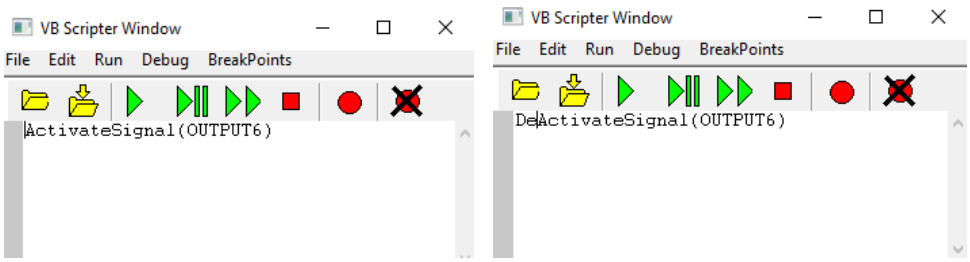
Şekil 3.42. Output 3 çıkışındaki makrolar

Şekil 3.43.'de gösterilen makroların kullanılmasıyla motor dönüşünü kontrol eden kontaktörün kontakları açılarak veya kapanarak motorun sağ ve sol dönüşleri sağlanmaktadır.



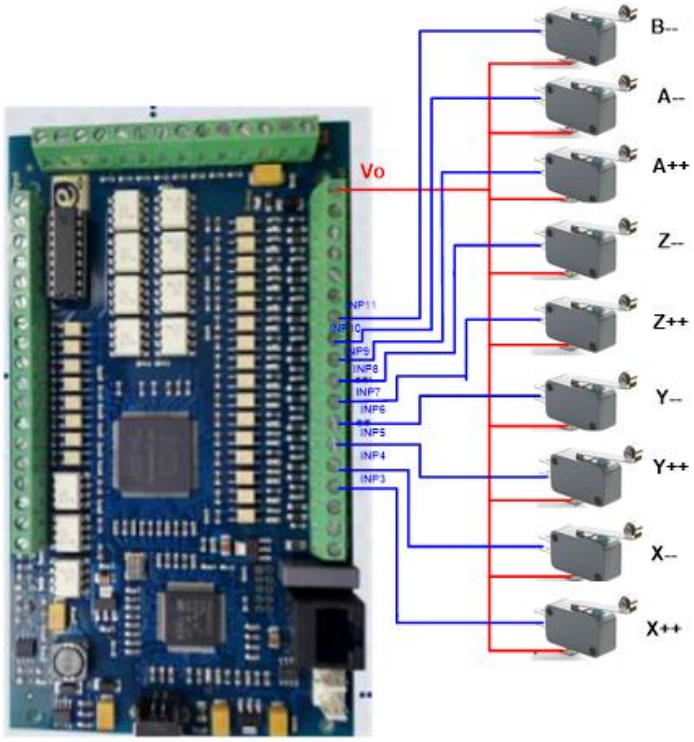
Şekil 3.43. Output 4 çıkışındaki makrolar

Şekil 3.44.'de gösterilen makroların kullanılmasıyla tutucu kolları tahrik eden motorun çeneyi açmasını sağlayarak parçayı bırakmaktadır. Tutucu kollar açıldığında Output 6 çıkışı aktifleştirilerek motora 4. röle üzerinden giden enerji kesilmektedir.



Şekil 3.44. Output 6 çıkışındaki makrolar

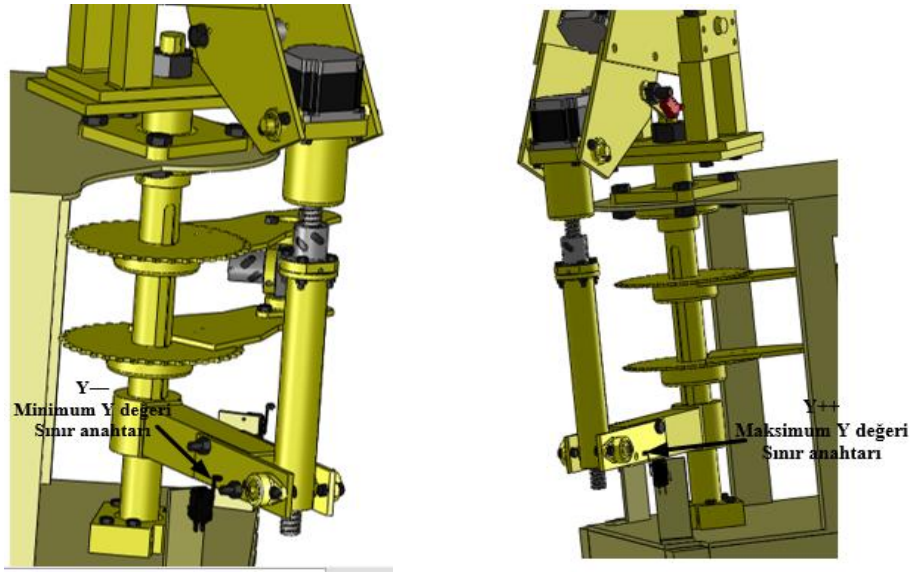
3.5. Robot Kola Ait Eksenlerin Çalışma Sınırlarının Belirlenmesi



Şekil 3.45. Sınır anahtarlarının kart bağlantısı

Mach3 kontrol sisteminde Şekil 3.45.'de gösterildiği gibi her eksen için iki adet mekanik sınır anahtarları kullanılmıştır. Mach3 kartının V_0 çıkışından 24 volt ile kullanılan mekanik sınır anahtarları beslenmektedir. Normalde açık olan sınır anahtarları makaraya temas edildiğinde kontak kapanarak kartın girişine sinyal verilince kart ekseni hareket ettiren motor sürücüsünü durdurmaktadır. Her eksen için iki adet sınır anahtarı kullanılarak eksenin minimum ve maksimum hareketleri sınırlandırılmıştır.

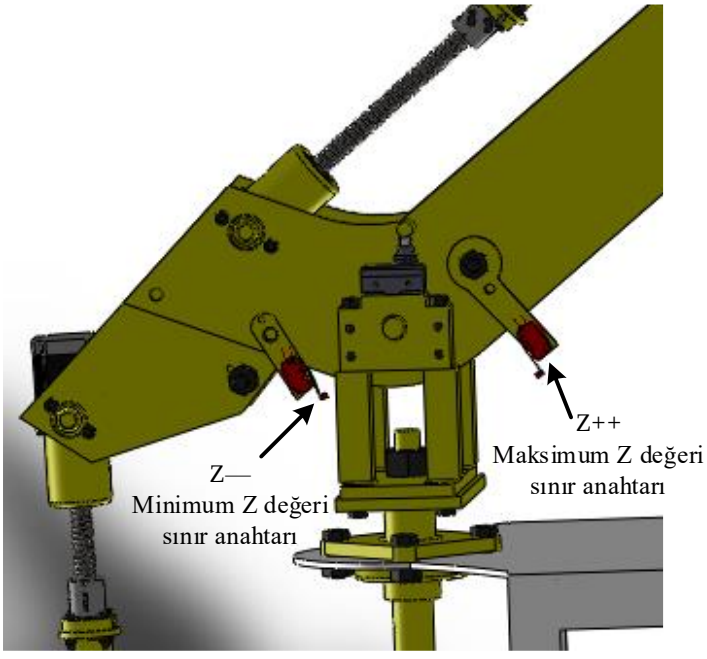
Robot gövdesinin düşey eksende yaptığı dönme hareketi düşey eksen miline tespit edilen bağlantı kolunun sınır anahtarı makaralarına teması etmesiyle sınırlandırılmaktadır. Düşey eksenin saat yönünde dönme hareketi Şekil 3.46.a'da saat yönü tersi istikametindeki dönüşü ise Şekil 3.46.b'de gösterildiği gibi çalıştırmaktadır. Hareket sırasında bu sınırlar aşıldığında Y eksen aktüatörünün motoru durdurulmaktadır.



a) Y ekseni minimum noktası b) Y ekseni maksimum noktası

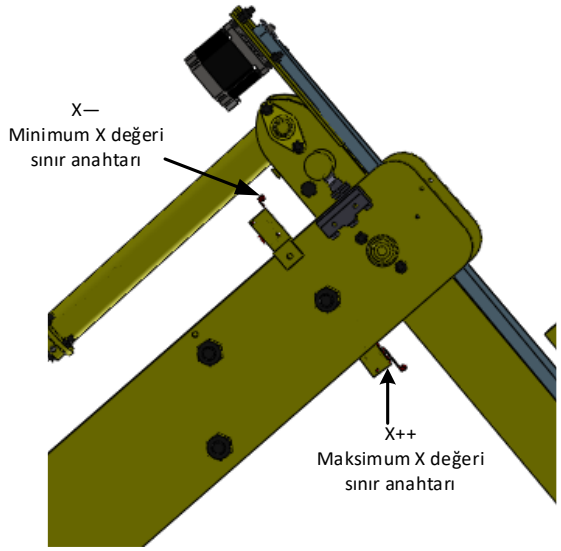
Şekil 3.46. Y ekseni çalışma sınırları

Robot gövdesinin yatay düzlemde hareketini sınırlandırmak için Şekil 3.47.'de görüldüğü gibi motor gövdesine iki adet sınır anahtarı montaj edilerek gövde rulmanlarını düşey eksene bağlayan kollarına temas etmesiyle sınırlandırılmıştır. Şekilde gövdenin saat yönü ile tersi yöndeki hareket sınırları gösterilmektedir.



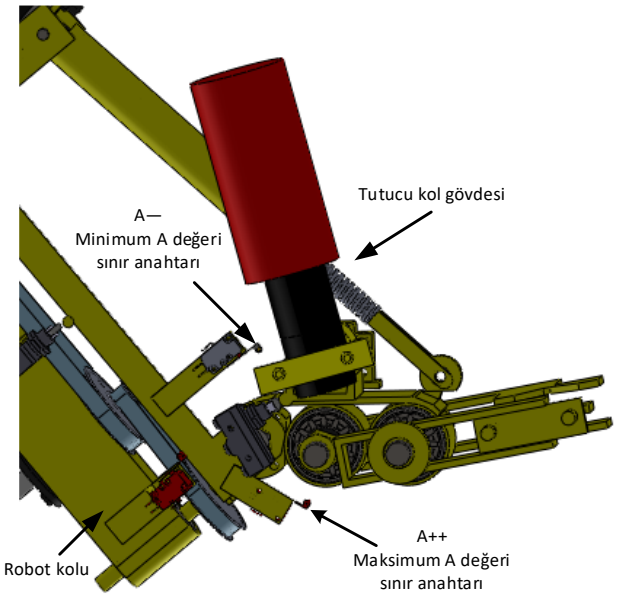
Şekil 3.47. Z ekseni sınır anahtarları

Robot kolunu hareketlerini sınırlamak için de Şekil 3.48.'de görüldüğü gibi robot gövdesine yerleştirilen iki adet anahtar ile sınırlandırılmaktadır.



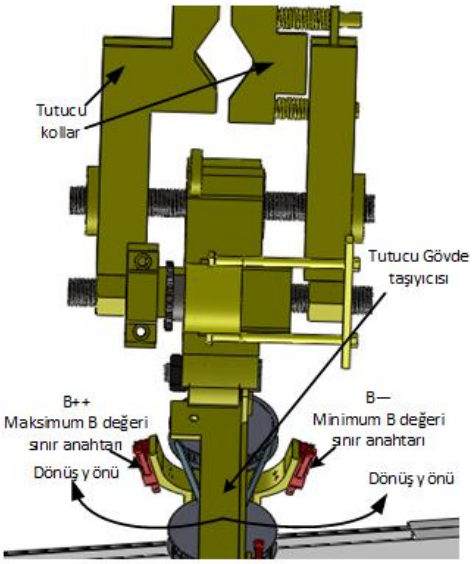
Şekil 3.48. X ekseni sınır anahtarları

Robot tutucu kollarının A ekseninde dönmesini sınırlandırması içinde Şekil 3.49.'da gösterildiği tutucu gövde bağlantı aksamına iki adet sınır anahtarı montaj edilmiştir.



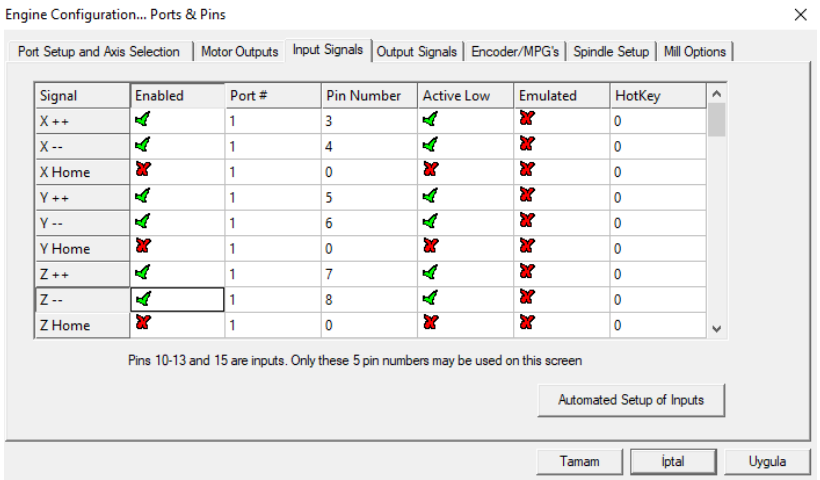
Şekil 3.49. A ekseni sınır anahtarları

Robotun tutucu gövdesinin B eksendeki hareketini sınırlamak için Şekil 3.50.'de üst görünüşünde gösterilen robot kolu ucuna montaj edilen iki adet sınır anahtarı kullanılmıştır. Tutucu kolun B eksenindeki dönme hareketi sınır anahtarlarının tutucu kol gövdesinin teması ile çalışmaktadır.

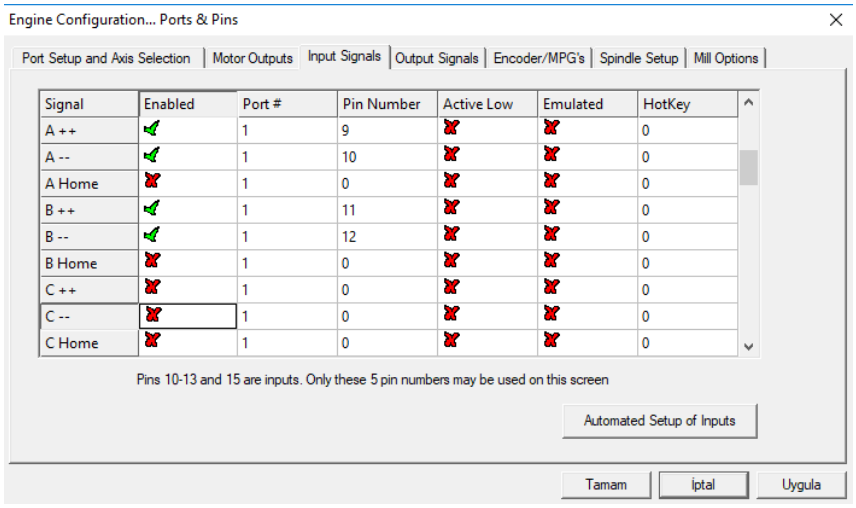


Şekil 3.50. B ekseni sınır anahtarları

Mach3 programında robot eksenleri sınır anahtarlarının çalışması için sınır anahtar pin bağlantıları Şekil 3.51. ve Şekil 3.52.'de gösterildiği gibi pin numaraları girilerek aktif edilmektedir.



Şekil 3.51. Giriş sinyalleri ayarı



Şekil 3.52. Giriş sinyalleri ayarı

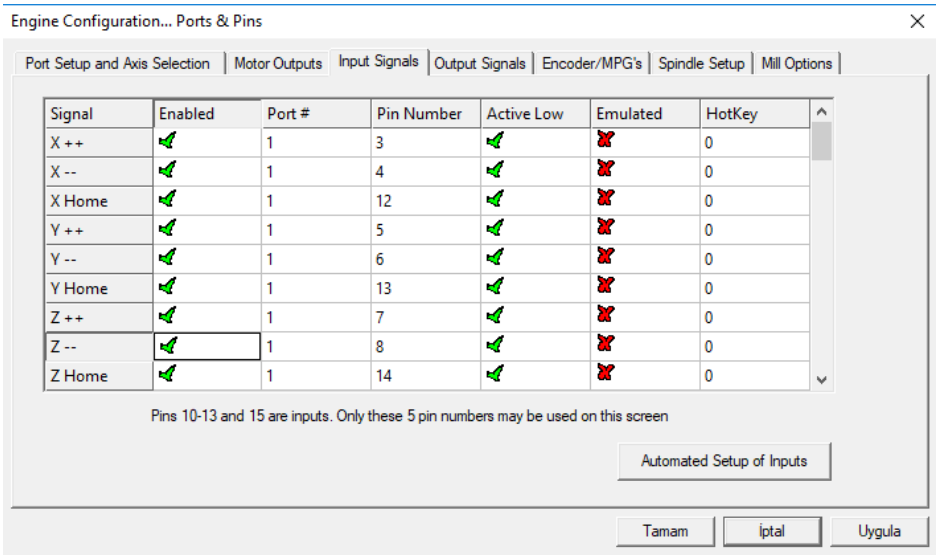
3.5.1. Robot kolun sıfır noktasının belirlenmesi

Robotun (x,y,z) koordinatları belirlenen hedefteki parçayı alarak istenilen hareket yörüngesi ile hedeflenen koordinatlara yerleştirilmesi sağlanması gerekmektedir. Robotun hareket yörüngesine göre programlanarak çalıştırılabilmesi için robotun sıfır noktası olarak tanımlanan bir başlangıç noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için X, Y, Z, A ve B hareket eksenleri sıfırlanmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan robotun sıfırlama işleminde Şekil 3.53.'de gösterilen eksenel mikro anahtarlar kullanılmıştır. Mach3 programında XHome, YHome, ZHome, AHome ve BHome girişleri Şekil 3.54.deki gibi aktif edilerek 12, 13, 14,15 ve 16 pin numaraları girilmiştir.

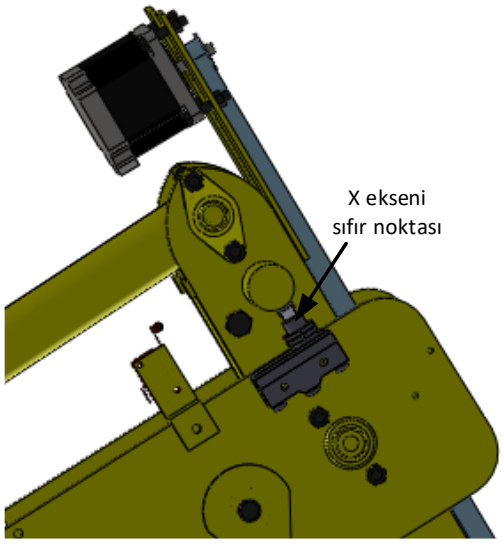


Şekil 3.53. Sıfırlama işleminde kullanılan mikro anahtar



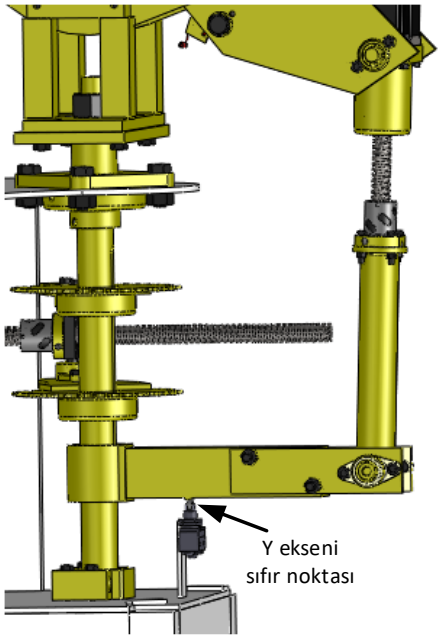
Şekil 3.54. Sıfırlama Anahtarlarının tanımlanması

Robot kolunun sıfır noktasını belirlemek için Şekil 3.55.'de görüldüğü gibi robot kolunun ucuna bir sıfırlama anahtarı montaj edilerek robot kolu üst kısmına küresel parça ile aktif edilmesi sağlanmıştır.



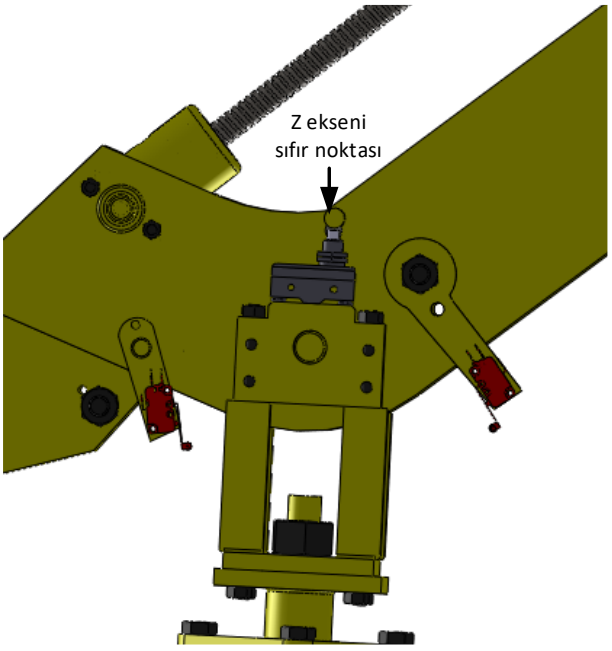
Şekil 3.55. X ekseni sıfırlama anahtarı

Robotun düşey eksen milini sıfırlamak için Şekil 3.56.'da görüldüğü gibi robot tablası alt sehpasına bir sıfırlama anahtarı montaj edilerek düşey eksen bağlantı koluna yerleştirilen bir küresel parça ile aktif edilmesi sağlanmıştır.



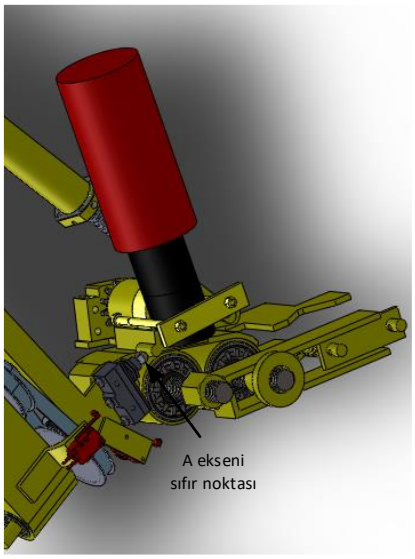
Şekil 3.56. Y ekseni sıfırlama anahtarı

Robot gövdesini yatay eksendeki Z eksenini sıfırlamak için Şekil 3.57.'de görüldüğü gibi rulman üst bağlantısına montaj edilen bir sıfırlama anahtarının gövde üzerine tespit edilen küresel elemanla aktif edilmesi sağlanmıştır.



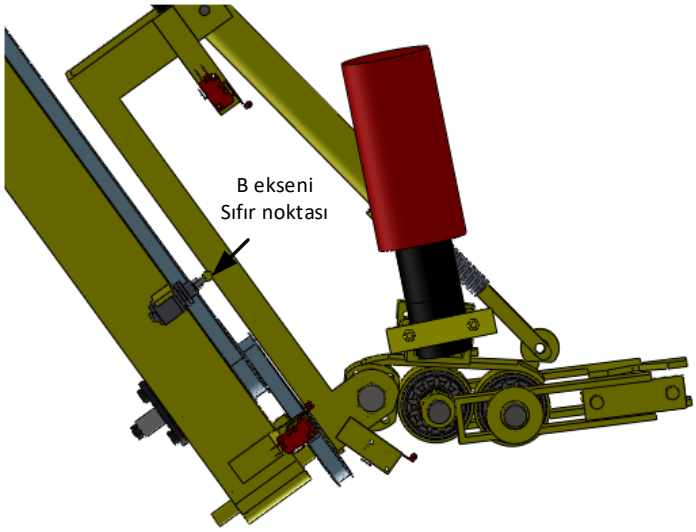
Şekil 3.57. Z ekseni sıfırlama anahtarı

Robot tutucu gövdesinin A eksenindeki dönmesini sıfırlamak için Şekil 3.58.'de görüldüğü gibi robot tutucu bağlantı aksamına bir sıfırlama anahtarı montaj edilerek robot tutucu kol gövdesine tespit edilen bir küresel parça ile sıfırlanması sağlanmıştır.



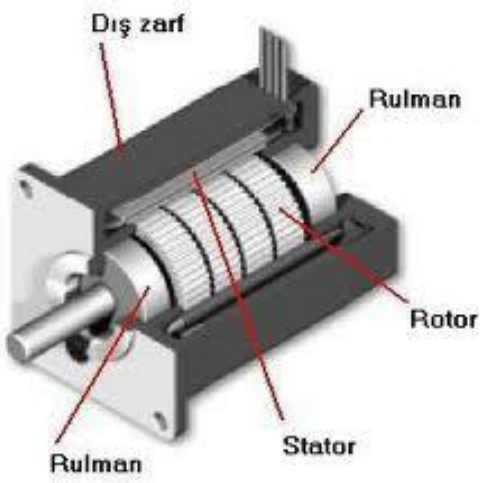
Şekil 3.58. A ekseni sıfırlama anahtarı

Robot tutucu gövdesinin B eksenindeki dönmesini sıfırlamak için Şekil 3.59.'da görüldüğü gibi sıfırlama anahtarı robot kolu üzerine montaj edilerek robot tutucu kol gövdesine yerleştirilen küresel parça ile sıfırlanması sağlanmıştır.



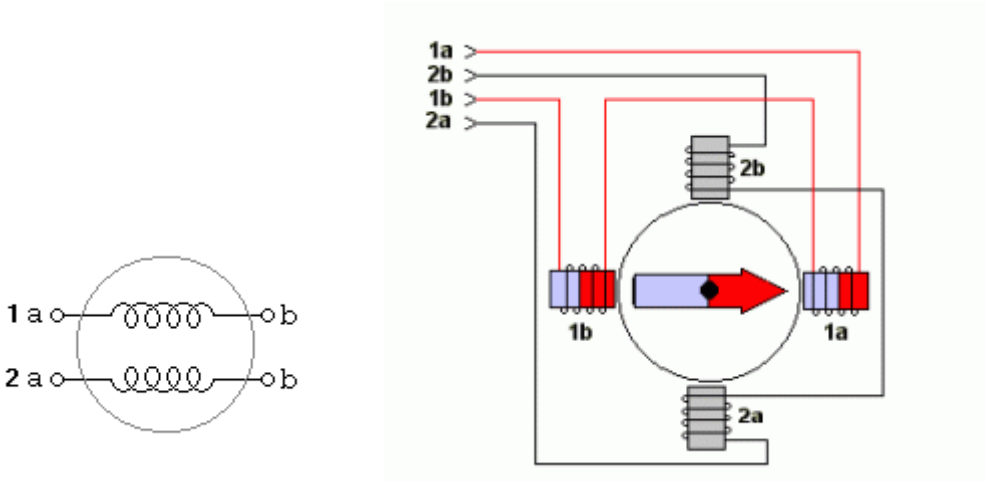
Şekil 3.59. B ekseni sıfırlama anahtarı

3.6. Step(Adım) Motor ve Sürücüleri



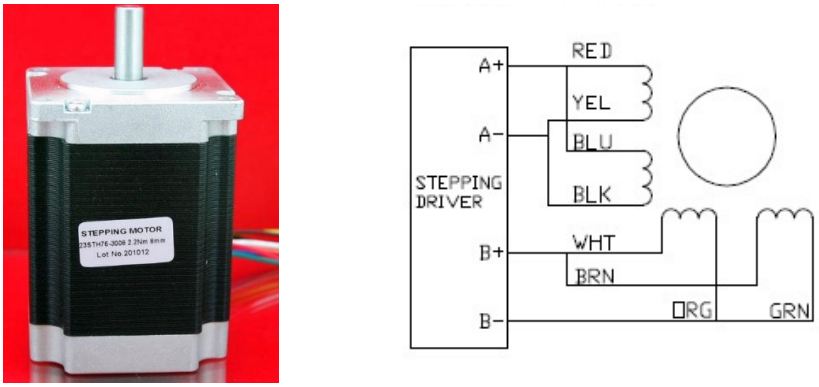
Şekil 3.60. Step motor iç görüntüsü

Açısal konumu adımlar halinde değiştirerek, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara step motorları denilmektedir. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilmektedir. Bir step motorunun içyapısı Şekil 3.60.'da gösterildiği gibi herhangi bir uyartımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90° , 45° , 18° , 7,5° , 1,8° veya daha değişik açılarda olabilmektedir. Bu adımlar kullanılarak bir step motorunun hızı belirlenmektedir.



Şekil 3.61. Step motorlarda sargıların bağlantısı

Bir step motorunun iç sargıları ve sargıların bağlantıları Şekil 3.61.'de gösterildiği gibi motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilmektedir. Step motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroişlemci veya bilgisayar ile kontrol edilerek step motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı step motorları çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde kullanılmaktadır (Bal, 1997). Bipolar step motor; bobinlerdeki akımı, ters yöne çeviren torka neden olan bir uyartım yaratarak aldığı sayısal darbelere bağlı olarak belirli bir açıda dönme hareketi yapmaktadır. Sadece tekil dönme adımları atarak lojik "0", lojik "1" prensibine göre çalıştırılmaktadır. Bu özelliğinden dolayı kullanım alanı oldukça geniştir. Step motorlarda stator sargılarına uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek dönüş yönü değiştirilmektedir. (Çayıroğlu ve Şimşir, 2008).



Şekil 3.62. Step Motor ve bipolar kablo bağlantısı

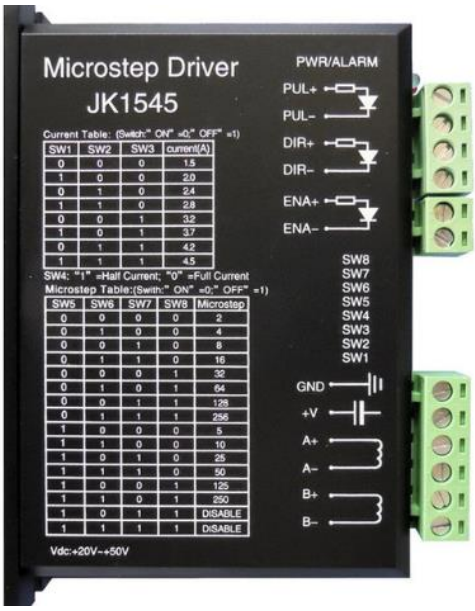
Bu tez çalışmasında kullanılan step motoru ve motorun uçlarının bağlantısı Şekil 3.62.'de gösterilmektedir. Motorun adım sayısı 200, döndürme torku 2.2 nm ve döndürme açısı 1.8^{o}, nema 23 ve 3 Amper akımda çalışmaktadır. Ayrıca step motora uygulanan gerilim 24 Volt DC gerilimi, motorun uzunluğu 76 mm ve flanş ölçüleri de 57x57 mm'dir.

Step motorlar doğrudan sürülebilir motorlar olmadığından birer sürücüyle çalıştırılmaktadır. Sürücü, karttan veya bilgisayardan gelen 5 voltluk sinyallerden beslenerek motora yol vermektedir.Robotun tahrik sisteminde Şekil 3.63.'de

gösterilen JK-1545 microstep driver sürücüsü kullanılarak motorun A+, A-, B+ ve B- uçları bu sürücü devresine bağlanarak çalıştırılmaktadır.

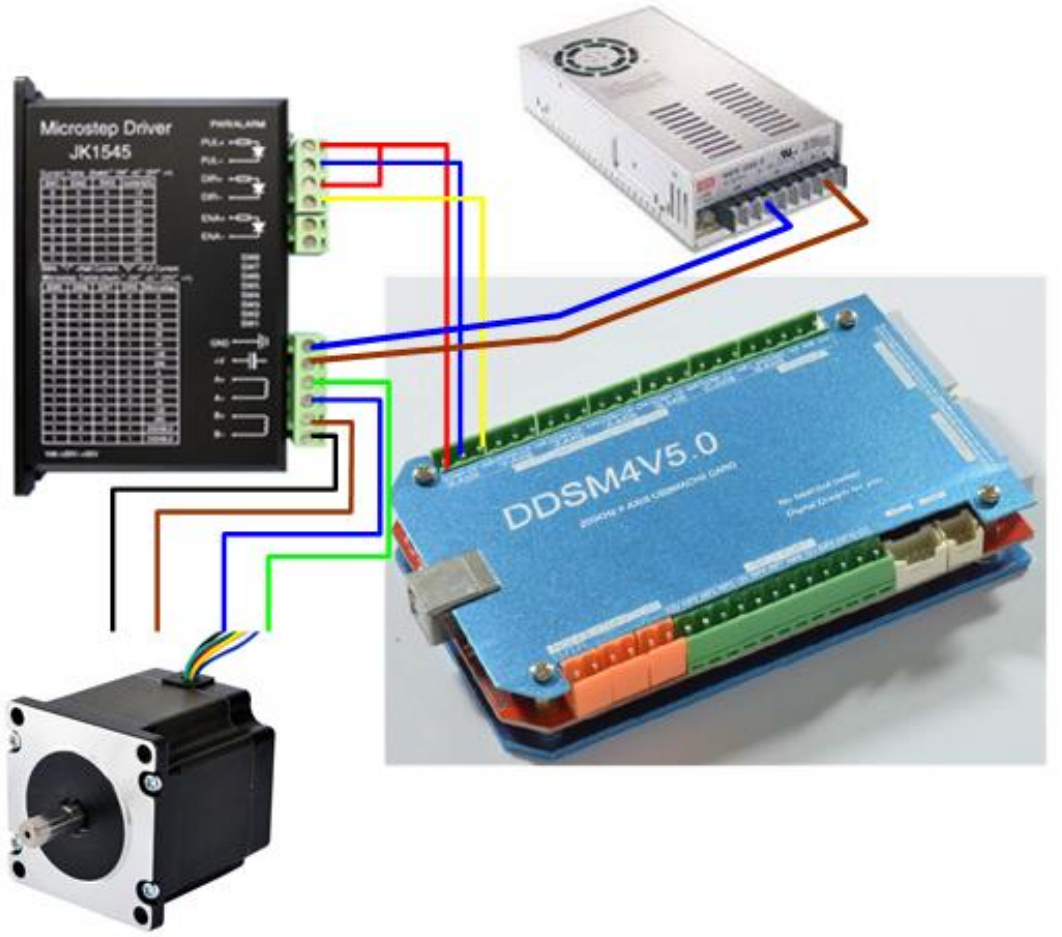
Motor sürücü devresinde, motor akımının ayarlandığı anahtarlama sistemi sürücü kartı üzerinde gösterilmektedir. Çalışma akımının değereleri 1.5-4.5 Amper arasında değişmektedir. Motora verilecek akım değeri sürücü üzerinde bulunan çizelgedeki anahtarların açık veya kapalı konumlarının ayarlanmasıyla belirlenmektedir. Çalışmada SW-1 ve SW-2 anahtarları açık SW-3 anahtarı da kapalı konumda kullanılmıştır.

Step motorlarda akım ayarının yapılmasıyla birlikte aynı şekilde sürücü devresinde mikro step ayarı da yapılarak her bir turda kaç adım döneceğini belirleyen ayarında sürücü üzerinde bulunan anahtarlar kullanılmaktadır. JK-1545 sürücü devresi anahtarlama sistemi sürücü devresi üzerinde SW-5, SW-6, SW-7 ve SW-8 olarak toplam dört anahtar bulunmaktadır. Mikro step değerleri iki sayısının üst katları şeklinde değişerek 2-256 arası, diğer anahtarlama şeklinde ise beş sayısı ve katları şeklinde değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan motorların mikro step değeri 8, SW-5, SW-7 ve SW-8 açık konumda iken SW-6 da kapalı konumda kullanılmaktadır.



Şekil 3.63. JK-1545 Step Motor Sürücüsü

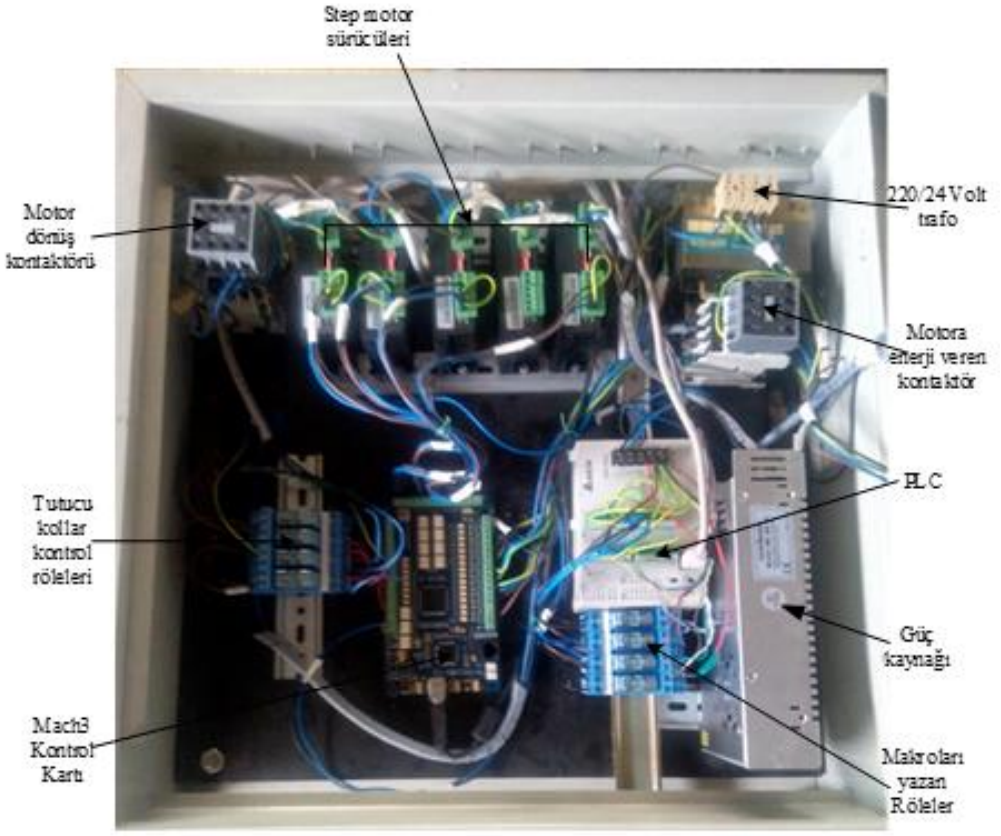
Motorun sürücüye ve kontrol kartına bağlantısı Şekil 3.64.'de gösterildiği gibi yapılarak kartın motor çıkışında + PUL ve + DIR uçları kartın 5 voltluk çıkış ucuna ve –PUL ucu kartın P- ucuna –DIR ucu da kartın D- ucuna bağlanmaktadır. Motorun A+ ve A- uçları ve B+ ve B- uçları sürücünün uçlarına bağlantısı yapılarak sürücüye enerji bağlantısı yapılarak çalıştırılmaktadır.



Şekil 3.64. Step motorun sürücü ve kontrol kartına bağlantısı

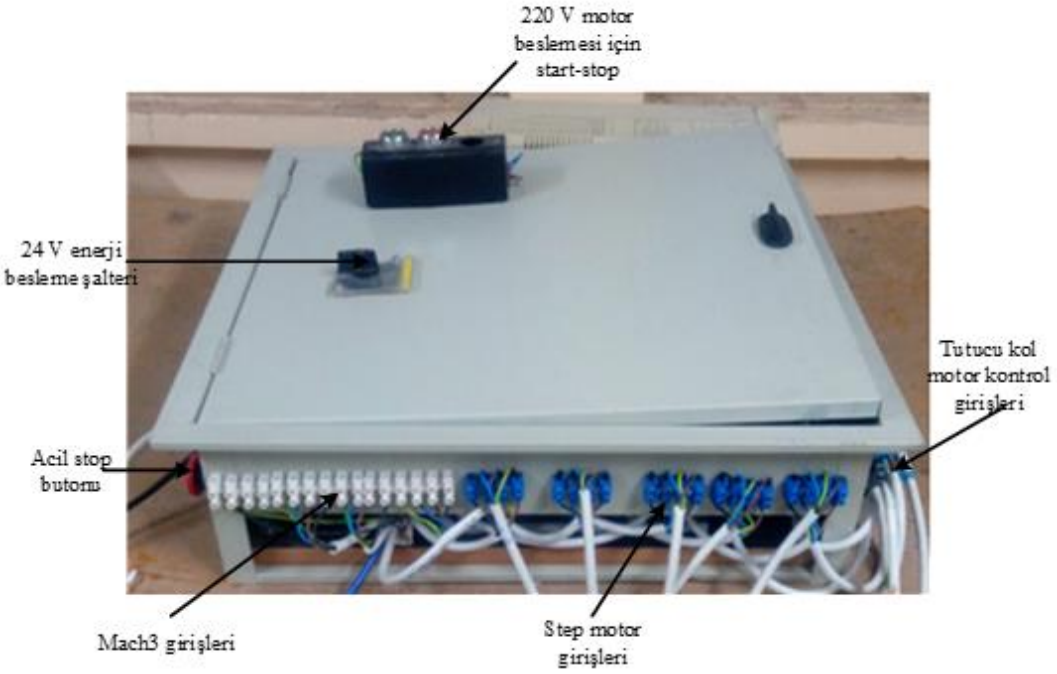
3.7. Kontrol Panosunun Oluşturulması ve Parçaların Yerleştirilmesi

Robot çalışmalarında en önemli kısımlarından biri de kontrol panolarıdır. Motorların yol verilmesinde kullanılan sürücüler ve hareket için gerekli olan parçalar yerleştirilmektedir. Şekil 3.65.'de gösterilen kontrol panosunu oluşturmak için 50x50 cm ebatlarında saçtan yapılmış bir pano kullanılmıştır. Devre elemanlarının montajının güvenli bir şekilde yapılması amacıyla panonun içerisine ahşap bir parça montaj edilmiştir. Motorların kontrolünü sağlamakta kullanılan step motor sürücüleri ve mach3 kontrol kartı monte edilmiştir. Kumanda devresi için 220/24 voltluk bir transformatör kullanılmıştır. Sürücüler için gerekli olan 24 Volt DC güç kaynağı panonun içerisine yerleştirilmiştir. Devre kumandasında devreye enerji verilmesi ve devrenin enerjisinin kesilmesi için kontaktör kullanılırken kumanda devresinde başlatma ve durdurma butonları dışarı alınmıştır. Motorun dönüş yönünü değiştirmek için de kontaktör kullanılırken bu elemanların tümü pano içerisine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.65. Kontrol panosu iç görüntüsü

Kontrol panosunun güvenli bir şekilde kullanılması ve devre bağlantılarında elemanların zorlanmalardan dolayı oluşabilecek etkilerden korunması için Şekil 3.66.'da gösterildiği gibi kontrol panosuna ait tüm giriş ve çıkışlar panonun dışına montaj edilen klemenslere bağlanmıştır. Robota ait tüm motor bağlantıları ve kontrol için gerekli olan anahtar, sensör veya diğer kontrol elemanlarına ait girişler bu klemenslere bağlanmıştır. Panoya enerji vermek ve kesmek amacıyla bir pako şalter, istenilmeyen bazı durumlarda programın durdurulması amacıyla kullanılan acil stop (estop) düğmesi de dışarı alınmıştır. Mach3 kontrol kartının input bağlantıları beyaz klemenslere, her bir motorun bağlantısı da birer mavi klemense yapılmıştır. Motorun dönme yönünü ayarlayan kontaktör bağlantı kabloları, hız kontrolünü yapan anahtarlama kabloları ve sınır anahtarlarının bağlantıları da panonun dışına montaj edilen klemenslere çıkarılmıştır.



Şekil 3.66. Kontrol panosunun çalıştırma durumu

3.8. Kinematik Hesaplamalar

Robot kontrolünde yörüngelerin belirlenmesinde ileri kinematik ve ters kinematik yöntemler kullanılmaktadır. Robot kolunun istenilen pozisyona gitmesi için ters kinematik yöntemi kullanılarak eklem açıları belirlenerek kontrol sistemine hareket komutları verilmektedir. Eklem açıları bilinen robotun, robot kolu uç işlevcisinin pozisyonlarının bulunması işlemine de ileri kinematik yöntemi denilmektedir. Bu nedenle robot kinematik hesaplamasında ileri kinematik ile ters kinematik olarak adlandırılan temel iki yol kullanılmaktadır.

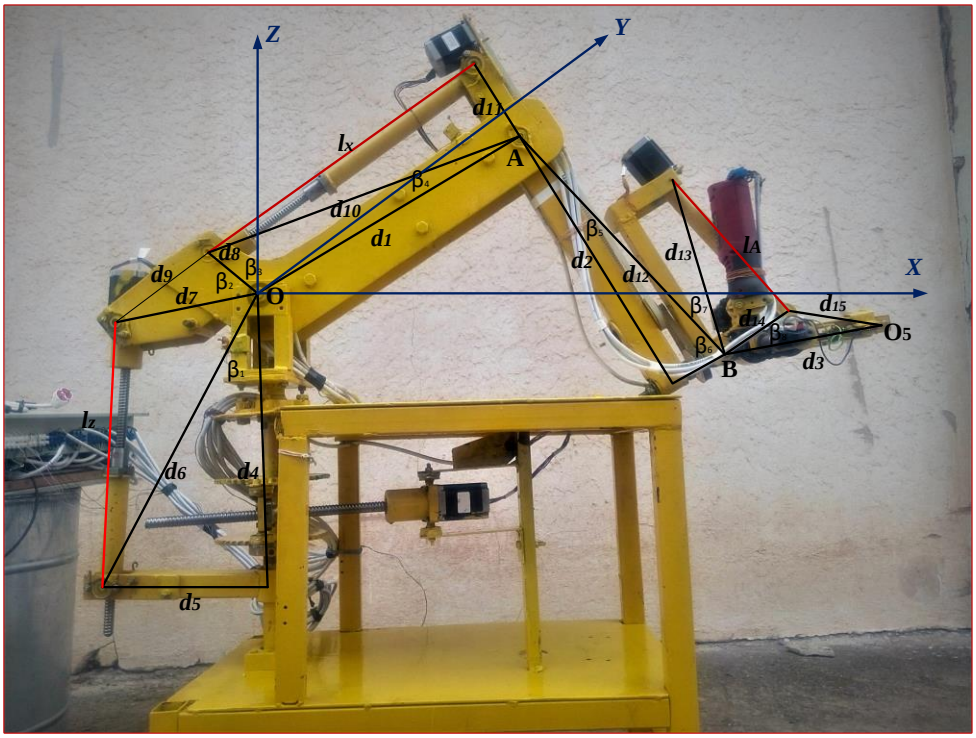
İleri kinematik hesaplamalar yöntemi olarak bilinen birinci yöntemde, robot aksamları dönüş merkezleri arasındaki mesafeler ile aksamlar arasındaki açıları kullanarak robot tutucusunun pozisyonlarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Ters kinematik hesaplama yöntemi olarak bilinen ikinci yöntemde ise robot tutucu kolu pozisyonları belirtilen bir pozisyon için robot aksamları arasındaki açılar belirlenmektedir (Niku, 2004).

Kinematik hesaplamalarda trigonometrik ve matematiksel hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Trigonometrik yöntemde eksenlerin boyutları ile arasındaki açıların trigonometrik fonksiyonları kullanılarak hesaplamalar yapılmaktadır. Matematiksel modelde ise elemanların dönüş noktalarına koordinatlar yerleştirilerek boyut ve dönme eksenleri arasında oluşturulan matrislerin çarpımları kullanılarak ileri ve ters kinematik hesapları yapılarak pozisyonlar bulunmaktadır.

Bu çalışmada robot tutucu kolu pozisyonu, ileri kinematik yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Tutucu kolun bir noktaya gitmesi için ise kolların uzunlukları ile aralarındaki açılar ters kinematik yöntem kullanılarak hesaplanmıştır. Robot kontrolünde sırayla ileri ve ters kinematik hesaplamalar yapılmıştır.

3.8.1. Robotun kinematik hesaplamaları

Robotun kinematik hesaplamalarında sabit ve değişken parametreler bulunmaktadır. Robot kinematik hesaplamalarında kullanılan sabit parametreler; kolların dönme merkezleri arası mesafeleri '*d*' ile kol ve aktüatör bağlantı merkezleri arası mesafeleri '*l*'. aktüatör uzunlukları '*l*' ise değişken parametrelerdir.



Şekil 3.67. Robot dönüş eksenlerine göre uzunlukların tanımlanması

Robotun Şekil 3.67.'deki perspektif görüntüsünde kinematik hesaplamalarda dönme merkezleri 'O, A, B' ile sabit dönme merkezleri arası ile kol dönme merkezleri arası mesafeler 'd_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}, d_{13}, d_{14} ve d_{15}' ve değişken aktüatör boyları 'l_x, l_y, l_z, l_A' ile gösterilmektedir.

İleri kinematik hesaplamalarında sabit dönme merkezleri arası mesafeler olan d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}, d_{13}, d_{14} ve d_{15} ile aktüatör boyları olan l_x, l_y, l_z ve l_A kullanarak, dönme merkezleri O, A ve B arasındaki açılar hesaplanarak, robot tutucusunun koordinatları hesaplanmaktadır.

Şekil 3.67.'de gösterilen boyutlar ileri ve ters kinematikte kullanılacak parametreler cinsinden; kol boyları d_1, d_2 *ve* d_3 ile dönme ekseni açıları θ_x , θ_y , θ_z , θ_A ve θ_B dönüştürebilmek için trigonometrik hesaplamalar yapılmaktadır.

İleri kinematik hesaplamalarında mach3 kontrol kartından alınan X, Y, Z, A ve B eksen değerleri ile aktüatör sabit uzunlukları k_x, k_y, k_z, ve k_a değerleri toplanarak aktüatörlerin l_x, l_y, l_z, ve l_A toplam boy uzunlukları belirlenmiştir.

Kinematik hesaplamalar sırasında dönme merkezleri açıları θ_x , θ_y , θ_z , θ_A ve θ_B olarak kullanılmıştır.

l_x değerinin hesaplanmasında, k_x değerine mach3 kartından alınan X eksen değeri eklenerek hesaplanır.

$$l_x = k_x + X \tag{3.3}$$

Bu şekilde l_y, l_z, ve l_A aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$l_y = k_y + Y \tag{3.4}$$

$$l_z = k_z + Z \tag{3.5}$$

$$l_A = k_A + A \tag{3.6}$$

İleri kinematik hesaplamalarında kullanmak üzere θ_y açısı;

$$\theta_y = k_y + Y\,\frac{60}{125} \tag{3.7}$$

Ters kinematik hesaplamalarında kullanmak üzere 1. eksen açısının hesaplanması da

$$\theta_y = tan^{-1}\left(\frac{P_y}{P_x}\right) \tag{3.8}$$

G kodunu oluştururken mach3 kontrol kartının Y eksen değeri de

$$Y = \theta_y\,\frac{125}{60} - k_y \tag{3.9}$$

θ_z açısı hesaplanmasında kol uzunlukları kullanılarak β_1, β_2 ve β_3 sabit açılarının hesabı;

$$\beta_1 = cos^{-1}\left(\frac{d_4^2+d_6^2-d_5^2}{2d_4d_6}\right) \tag{3.10}$$

$$\beta_2 = cos^{-1}\left(\frac{d_7^2+d_8^2-d_9^2}{2d_7d_8}\right) \tag{3.11}$$

$$\beta_3 = cos^{-1}\left(\frac{d_8^2+l_1^2-d_7^2}{2d_8d_1}\right) \quad (3.12)$$

l_z değerinin hesaplanmasında, k_z değerine mach3 kartından alınan Z eksen değeri eklenerek hesaplanır.

$$l_z = k_z + Z \quad (3.13)$$

l_z değeri kullanılarak θ_{z0} açısı;

$$\theta_{z0} = cos^{-1}\left(\frac{d_6^2+d_7^2-l_z^2}{2d_6d_7}\right) \quad (3.14)$$

İleri kinematik hesaplamalarında kullanmak için θ_z açısı;

$$\theta_z = 360 - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \theta_{z0}) \quad (3.15)$$

Aynı şekilde ters kinematik hesaplamalarında bulunan θ_{z0} açısı kullanılarak mach3 kartındaki Z eksen değeri hesabı

$$\theta_{z0} = 360 - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \theta_z) \quad (3.16)$$

Denklem 3.32 yerine yazılarak 2. Aktüatör boyu;

$$l_z = \sqrt{\left(d_6^2 + d_7^2 - (2d_6d_7\cos\theta_{z0})\right)} \quad (3.17)$$

2. aktüatör uzunluğundan yararlanarak Z eksen değerinin hesabı;

$$Z = l_z - k_z \quad (3.18)$$

θ_x ve θ_{x0} açılarını hesaplamak için β_4 sabit açısı;

$$\beta_4 = cos^{-1}\left(\frac{d_1^2+d_{10}^2-d_8^2}{2d_1d_{10}}\right) \quad (3.19)$$

3. aktüatörün boyu l_x değeri hesaplanırken k_x değerine mach3 kartından alınan X eksen değeri eklenerek hesaplanır.

$$l_x = k_x + X \quad (3.20)$$

l_x değeri kullanarak θ_{x0} açısı hesabı;

$$\theta_{x0} = cos^{-1}\left(\frac{d_{10}^2+d_{11}^2-l_x^2}{2d_{10}d_{11}}\right) \quad (3.21)$$

İleri kinematik hesaplamalarında θ_{x0} açıları;

$$\theta_x = 180 - (\beta_4 + \theta_{x0}) \quad (3.22)$$

θ_A ve θ_{A0} açılarını hesaplamak için öncelikle β_6, β_7 ve β_8 sabit açıları;

$$\beta_6 = cos^{-1}\left(\frac{d_{17}^2+d_{12}^2-d_2^2}{2d_{17}d_{12}}\right) \quad (3.23)$$

$$\beta_7 = cos^{-1}\left(\frac{d_{12}^2+d_{13}^2-d_{18}^2}{2d_{12}d_{14}}\right) \quad (3.24)$$

$$\beta_8 = cos^{-1}\left(\frac{d_{14}^2+d_3^2-d_{15}^2}{2d_{14}d_3}\right) \quad (3.25)$$

l_A değeri hesaplanırken k_A değerine mach3 kartından alınan A eksen değeri eklenerek hesaplanır.

$$l_A = k_A + A \quad (3.26)$$

l_A değeri kullanarak θ_{A0} açısı hesabı;

$$\theta_{A0} = cos^{-1}\left(\frac{d_{13}^2+d_{14}^2-l_A^2}{2d_{13}d_{14}}\right) \quad (3.27)$$

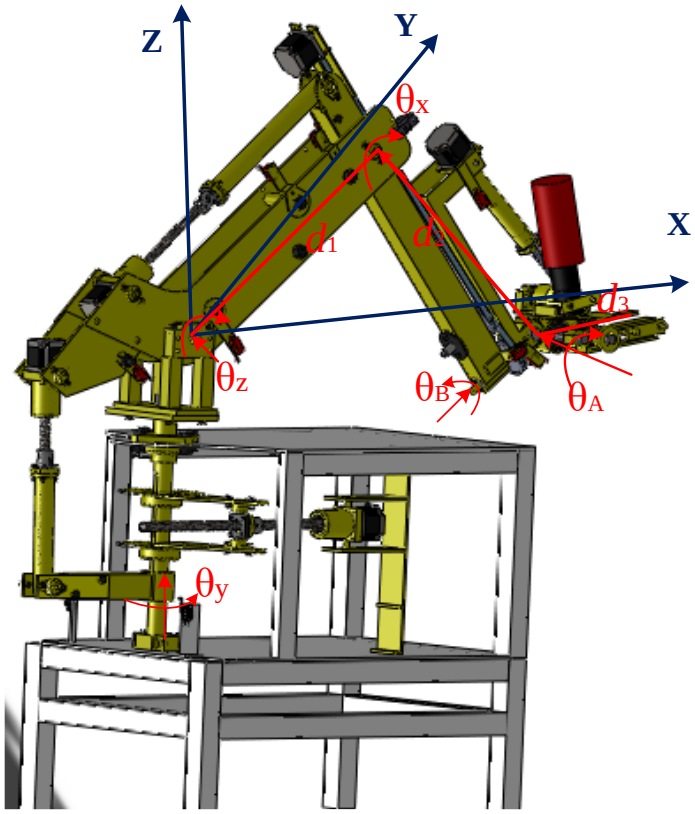
geometrik yöntemde $\theta_A$açısı;

$$\theta_A = 270 - (\beta_6 + \beta_7 + \theta_{A0} + \beta_8) \quad (3.28)$$

B eksenine ait olan açının değerini hesaplamak için mach3 kartından alınan B eksen değeri kullanılır.

$$\theta_B = B \quad (3.29)$$

Bu hesaplamalar sonucunda ileri ve ters kinematik yöntemlerde kullanacağımız parametreler Şekil 3.68.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.68. Robotta Kartezyen koordinat eksenleri ve parametreler

3.8.2. Robotun ters kinematik hesaplamaları

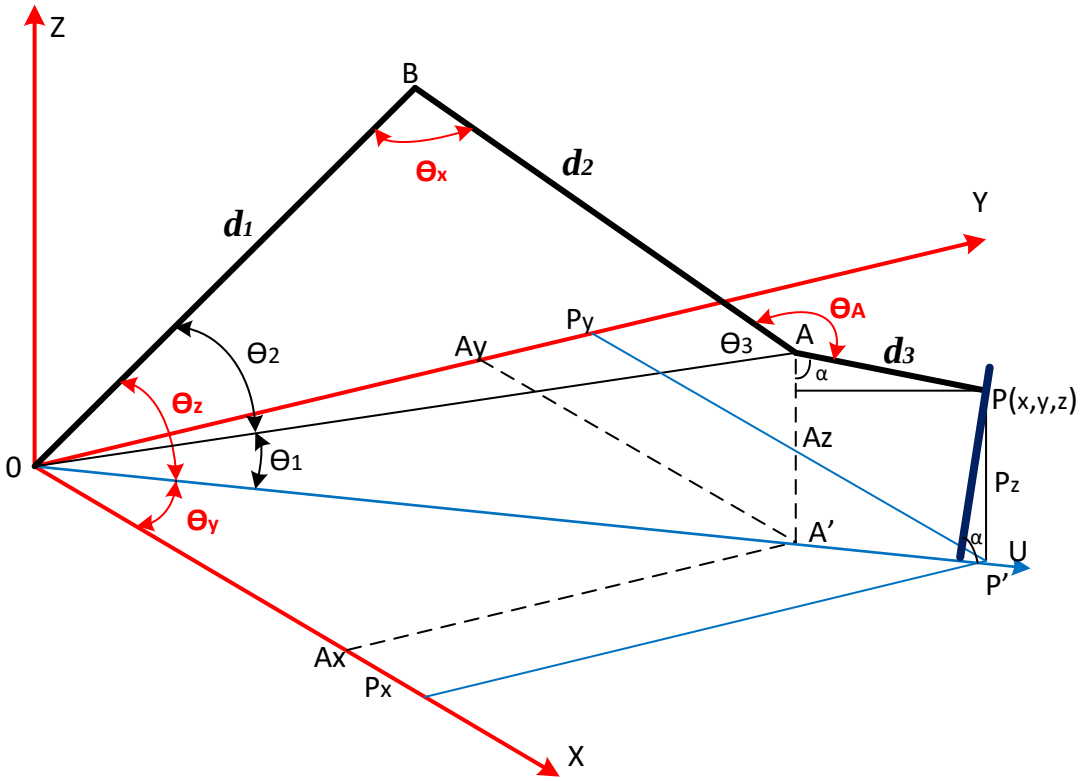
Robotun, koordinatları belirlenen noktalarda istenilen hızlarda hareket edebilmesi için gerekli parametreler; kollar arasındaki açılar ve aktüatör boyları hesaplanarak ters kinematik yöntemle robotun yörünge hareketinin G kodları hazırlanıp Mach3 kontrol kartına girişi sağlanarak robotun kontrollü olarak hareket etmesi sağlanmaktadır.

Ters kinematik hesaplamalarında Kartezyen koordinat eksenleri Şekil 3.69.'da görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Robotun hareketi için açıları ve kol uzunlukları kullanılarak, hareket yörüngesi için Matlab ara yüzü kullanılarak, hesaplanan aktüatörlerin boyları ve açılarla G kodları oluşturularak metin dosyasına yazdırılmaktadır. Ters kinematik hesaplamalarında parçanın duruş pozisyonu ile robot tutucu kollarının pozisyon açı ve uzunlukları ile robot hareket etmektedir.

Tasarlanarak imal edilen robotun gövde ve kolunun dönme eksenleri (θ_x , θ_z) yatay düzleme paralel olarak montaj edildiğinden dolayı robotun gövde ve kolu düşey düzlemde hareket etmektedir. Robotun gövdesinin alt bağlantı dönme merkezi, düşey Z ekseninde yataklanarak θ_y ekseninde dönen bir milin üst ucuna rulmanlarla montaj edildiğinden tasarlanan 5 eksenli robotun gövde ve kollarının hareket alanı, Z ekseninde dönen ve yatay düzleme dik bir düzlemde meydana gelmektedir. Şekil 3.30.'da görüldüğü gibi robotun hareket düzlemi, Z ekseni ile θ_y açısı yapan, Z-U düzlemini oluşturmaktadır.

5 Eksenli olarak tasarlanan robotun en aktif hareket alanı Z-U hareket düzlemi ile bu düzleme dik düzlemdeki parçaların taşınması ve rastgele pozisyonda taşımasının analizleri 2 ayrı durumda incelenmiştir.

3.8.2.1. Z-U düzleminde U ekseni ile eğimli parçaların taşınması



Şekil 3.69. Ters Kinematik hesabı için parametreler

5 Eksenli olarak tasarlanan robotun en aktif hareket alanı Z-U hareket düzlemi ile bu düzleme dik düzlemdeki parçaların taşınmasıdır. Şekil 3.69.'da görüldüğü gibi robot Z-U hareket düzleminin yatay U ekseninde α eğiminde duran parçaları tutarak hem aynı düzlemde farklı noktalara taşıyabilmekte hem de hareket düzlemini Z ekseninde farklı θ_y açısında döndürerek istenilen noktalara istenilen α eğimine bırakabilecek hareket kabiliyetine sahiptir. Robotun yörünge hareketini belirlemek için parçanın üzerinde robot tutucu kolunun tutacağı P noktası ile O-U eksenindeki R noktasının X-Y-Z koordinatları kullanılmaktadır.

Robot tutucusu ile U ekseninde duran parçanın üst noktası olan P noktasından tutmak için parçanın P(x,y,z) ve R(x,y,z) noktalarının koordinatlarından parçanın α eğimi;

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{P_z - R_z}{\sqrt{(P_x^2+R_x^2)}-\sqrt{(P_y^2+R_y^2)}}\right) \quad (3.30)$$

Robot kolunun uç noktası olan A noktasının koordinatlarını hesaplamak için;

l_3 uzunluğunda robot tutucu kolu yatay düzlemle ile α açısı yaptığı için A noktasının Z eksenindeki A_z noktası;

$$A_z = P_z + d_3 \sin\alpha \quad (3.31)$$

Tutucu kolun U eksenindeki izdüşümü olan A' ile P' noktaları arası uzunluk;

$$A'P' = d_3 \cos\alpha \quad (3.32)$$

A' noktasının X-Y koordinatları θ_y cinsinden bulunur.

$$\theta_y = \tan^{-1}\frac{P_y}{P_x} \quad (3.33)$$

$$A_x = P_x - A'P' \sin\theta_y \quad (3.34)$$

$$A_y = P_y - A'P' \cos\theta_y \quad (3.35)$$

OAB üçgen analizlerinden robot gövde ve kolundaki θ_x ve θ_z açıları;

$$OA = \sqrt{(A_x^2 + A_y^2 + A_z^2)} \quad (3.36)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{AA'}{OA'}\right) \quad (3.37)$$

$$d_2^2 = d_1^2 + (OA)^2 - 2d_1(OA)cos\theta_2 \quad (3.38)$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{d_1^2+(OA)^2-d_2^2}{2d_1(OA)}\right) \quad (3.39)$$

$$\theta_z = \theta_1 + \theta_2 \quad (3.40)$$

$$\theta_x = \cos^{-1}\left(\frac{d_1^2+d_2^2-(OA)^2}{2d_1d_2}\right) \quad (3.41)$$

Parçayı tutmak için robot gövde ve kol dönme açıları θ_x , θ_y ve θ_z ilave olarak $r$obot tutucusunun, robot kolu A ucunda θ_A ile θ_B hesaplanması gerekmektedir. Robot tutucusunu, UZ hareket düzleminde dönmesini sağlayarak robot kolunun A ucunda bulunan robot tutucusunun A B bağlantı noktalarına dik olarak montaj edilen θ_B dönme açısı;

$$\theta_B = 0 \quad (3.42)$$

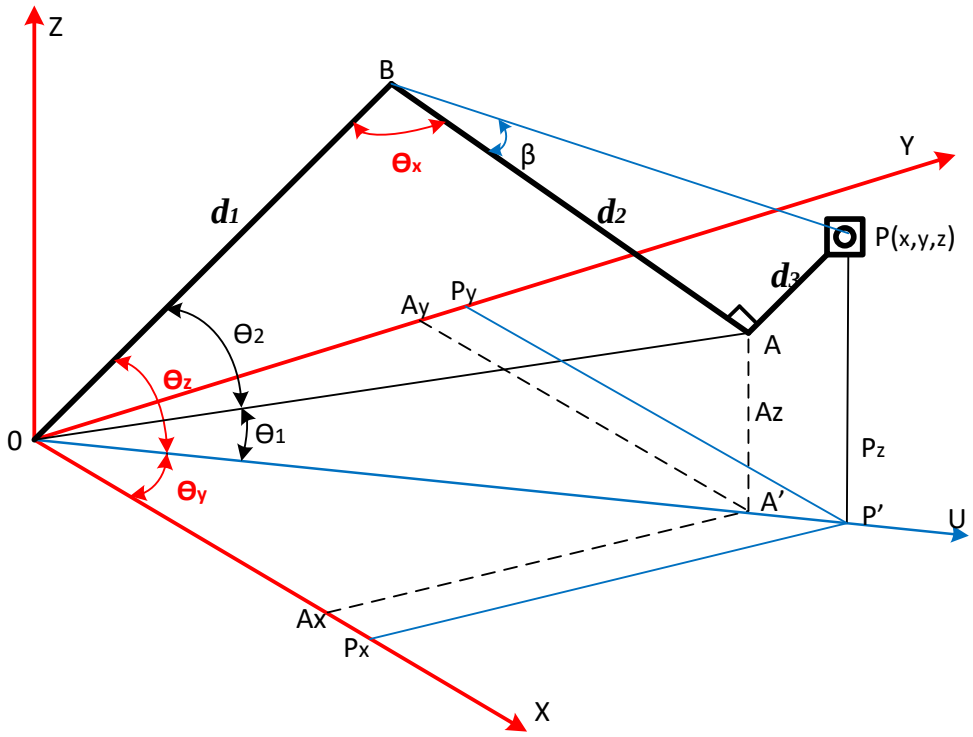
OBC üçgeninde iç açıların toplamından;

$$\theta_3 = 180 - \theta_x - \theta_z \quad (3.43)$$

Buradan θ_A açısı ise;

$$\theta_A = 270 + \theta_1 - \theta_3 - \alpha \quad (3.44)$$

3.8.2.2. Z-U düzlemine dik parçaların taşınması



Şekil 3.70. Θ_A açısı sıfırken robotun pozisyonunun belirlenmesi

5 Eksenli olarak tasarlanan robotun en aktif hareket alanı olan Z-U hareket düzlemine dik düzlemlerdeki taşıma sistemidir. Şekil 3.70.'de görüldüğü gibi robot Z-U hareket düzlemine dik olan ve yatay X-Y düzlemine paralel ve açılı pozisyonlarında duran parçaları tutarak yatay düzleme paralel olarak hareket ettirerek farklı noktalara taşıyabilmektedir. Robotun yörünge hareketini belirlemek için parçanın üzerinde robot tutucu kolunun tutacağı P noktasının X-Y-Z koordinatları kullanılmaktadır.

Şekil 3.70.'de görüldüğü gibi robotun en aktif hareket düzlemine dik doğrultuda duran parçanın P noktasından tutmak için parçanın P(x,y,z) koordinatları kullanılarak

robot gövde ve kol dönme açıları θ_x , θ_y, θ_z ilave olarak robot tutucusunun, robot kolu A ucunda θ_A ve θ_B hesaplanması gerekmektedir.

Koordinat merkezi ile robot tutucusu arası mesafe;

$$\text{OP} = \sqrt{\left(P_x^2 + P_y^2 + P_z^2\right)} \tag{3.45}$$

olarak bulunur. Robot kolu l_2 ile buna dik olan tutucu kol l_3 mesafesinden BP uzunluğu;

$$\text{BP}=\sqrt{(d_2^2 + d_3^2)} \tag{3.46}$$

$$\text{OP'} = \sqrt{\left(P_x^2 + P_y^2\right)} \tag{3.47}$$

OP ile yatay düzlemdeki U ekseni arasındaki θ_1 açısı;

$$\theta_1 = \tan^{-1}\frac{P_x}{OP'} \tag{3.48}$$

OPB üçgeninin θ_2 açısı;

$$\theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{d_1^2+(OP)^2-(BC)^2}{2d_1(OP)^2}\right) \tag{3.49}$$

ABP dik üçgeninde β açısı;

$$\beta = \tan^{-1}\frac{d_3}{d_2} \tag{3.50}$$

OBP üçgeninde;

$$\theta_x + \beta = \cos^{-1}\left(\frac{d_1^2+(BC)^2-(OP)^2}{2d_1(BC)}\right) \tag{3.51}$$

$$\theta_y = \tan^{-1}\frac{P_y}{P_x} \tag{3.52}$$

$$\theta_z = \theta_1 + \theta_2 \tag{3.53}$$

Robot tutucu kolun yatay düzleme paralel bir parçayı tutabilmesi için;

$$\theta_B = 90 \tag{3.54}$$

$$\theta_A = 0 \tag{3.55}$$

Olması gerekmektedir. Robot bu pozisyonda tuttuğu parçaları düşey düzleme dik eksenlerde farklı noktalara taşıyabilmektedir.

Birinci ve ikinci pozisyondaki işlemlerde A ve B açılarını çevirerek yatay ve düşey pozisyonlara parça taşıması yapılabilmektedir.

Parçayı tutmak için robot gövde ve kol dönme açıları θ_x , θ_y, θ_z ile robot tutucusunun θ_A ve θ_B açıları hesaplanarak Mach3 için G kodlu hareket yörüngesi programı hazırlanmaktadır.

θ_x, θ_y, θ_z, θ_A ve θ_B açıları hesaplandıktan sonra bu açılardan yararlanılarak tahrik kollarının uzunlukları belirlenir. Bu kol uzunluklarından X, Y, Z, A ve B mach3 eksen değerleri hesaplanır. Bu eksen değerlerini kullanarak G kodu yazılır.

Y eksen değerini hesaplamak için

$$l_y = \frac{125}{60}\theta_y = 2.083\ \theta_y \tag{3.56}$$

l_y değerinden k_y değeri çıkartılarak Y eksen değeri;

$$Y = 2.083\ \theta_y - k_y \tag{3.57}$$

Z eksen değerini hesaplamak için önceden hesaplanan β_1, β_2 ve β_3 sabit açılardan yararlanılır.

$$\theta_{z0} = 360 - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \theta_z) \tag{3.58}$$

Bu açının karşısında bulunan 2. kolun uzunluğu;

$$l_z = \sqrt{\left(d_6^2 + d_7^2 - (2d_6 d_7 \cos\theta_{z0})\right)} \tag{3.59}$$

l_z kol uzunluğundan 2. kolun sıfır anındaki uzunluğu çıkartılarak Y eksen değeri;

$$Z = l_z - k_z \tag{3.60}$$

X eksen değerini hesaplamak için önceden hesaplanan β_4 sabit açısından yararlanılır.

$$\theta_{x0} = 180 - \beta_4 - \theta_x \tag{3.61}$$

Bu açının karşısında bulunan 3. kol uzunluğu;

$$l_x = \sqrt{\left(d_{10}^2 + d_{11}^2 - (2d_{10} d_{11} \cos\theta_{x0})\right)} \tag{3.62}$$

l_x kol uzunluğundan 3. kolun sıfır anındaki uzunluğu çıkartılarak X eksen değeri;

$$X = l_x - k_x \tag{3.63}$$

A Eksen değerini hesaplamak için k_A ve l_A değerinden yararlanılır.

$$A = l_A - k_A \quad (3.64)$$

B Eksen değeri;

$$B = \theta_B \quad (3.65)$$

Eksen değerleri hesaplandıktan sonra bu eksen değerlerinden

G1 X(l_x - k_x) Y(2.083 $\theta_y - k_y$) Z(l_z - k_z) A(l_A - k_A) B(θ_B) f 1500

şeklinde G kodu oluşturulmaktadır.

3.8.3. Mach3 programı için G kodu ve makro programlarının oluşturulması

Bu çalışmada tasarlanarak imal edilen robotun istenilen pozisyona gitmesi için eklem açıları girilerek G kodlu hareket komutları ile eklem açıları bilinen robotun, robot kolu uç işlevcisinin pozisyonlarının bulunması için hesaplamalar yapılmaktadır. Elde edilen G kodlu hareket komutlarının Mach3 programına yüklenmesi gerekmektedir. G kodlarının oluşturulması için matematiksel ve trigonometrik hesaplamalar yapılmaktadır. Elde edilen G kodlu programlar makro programı ile Mach3 programına yüklenmektedir.

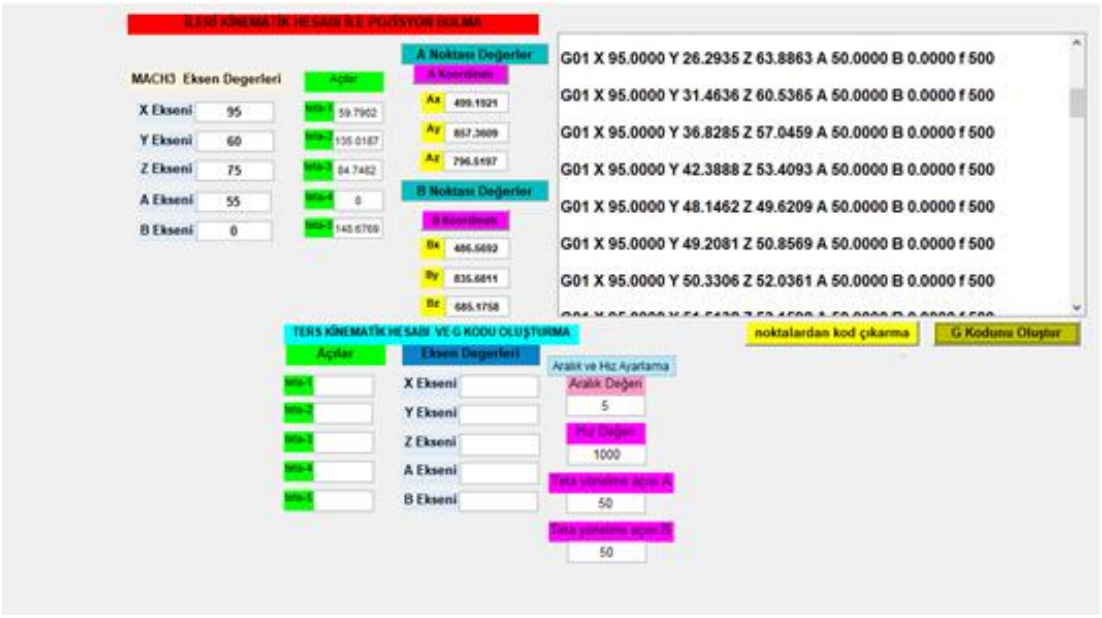
Operatörün Joystick kullanılarak online olarak robotu hareket ettirmesi sırasında hareket yörüngesindeki eksen değerleri makro kullanılarak Mach3 programından alınarak kaydedilmektedir. Kayıtlı hareket yörüngesi programların makro kullanılarak Mach3 programına yüklenmektedir. Tasarlanan joystick tablası üzerinde bulunan 10 adet buton ile aktif edilerek Mach3 programına yükleyerek çalıştıracak makrolar programları bulunmaktadır. Bu buton sayısı istenildiği takdirde artırılabilmektedir.

Robot kinematik hesaplamalarının yapılarak hareket yörüngesi programları belirlenerek G kodları oluşturulup Mach3 metin dosyasına girilmesi için matematiksel ve trigonometrik hesaplamalar yapılmaktadır. Makro programlarının hazırlanması Mach3 programında Visual Basic program komutları kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmada yapılan robotun ileri ve ters kinematik hesaplamalarında trigonometrik fonksiyonların bulunması nedeniyle Visual Basic programı ile birlikte trigonometrik fonksiyonları hesaplayan Fortran, C++ ve Matlab gibi programların birisi kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Visual Basic ile birlikte Matlab 2015 programı GUI ara yüzü kullanılarak girilen parametreler sonucunda hesaplanan ileri ve ters kinematik hesaplama sonuçlarının ekranda görülmesi sağlanmıştır.

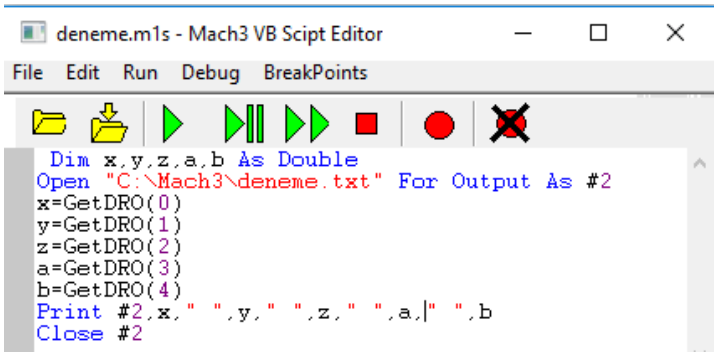
3.8.4. Kinematik hesaplamalarda Matlab/GUI kullanımı

Şekil 3.71.'de görüldüğü gibi oluşturulan ara yüz ekranı oluşturulmuştur. Matlab programıyla Mach3 programındaki X, Y, Z, A ve B eksen değerleri soldaki kutular içerisine yazılmakta ve bu parametreler kullanılarak da hesaplanan dönme merkezi θ_x, θ_y, θ_z, θ_A ve θ_B açıları yanındaki sütuna girilmiştir. 3. Sütuna da Robota taşıyacağı parçanın bulunduğu noktanın koordinatları girilmektedir. Bu sütunun çalıştırma butonuna basıldığında X, Y, Z, A ve B eksen değerleri birinci sütuna girilerek θ_x, θ_y, θ_z, θ_A ve θ_B açılar hesaplanarak 2. sütuna yazılmakta, 3. sütundaki parçanın bırakılacağı yerin koordinatları da 3. sütun orta satırına yazılmaktadır. Bu sütünün çalıştırma butonuna basıldığında ters kinematik hesabi ile G kodları oluşturarak alt sutun ile yandaki pencereye yazılmaktadır.



Şekil 3.71. Ara yüz elemanlarının yerleştirilmesi

Robootun parçayı istenilen noktaya taşıması sırasında doğrusal bir hareket yörüngesi yapması istenildiğinde başlangıç ve bitiş noktalar arası girilen değere bölünerek G kodları oluşturulmaktadır. Bu hareket sırasında robotun ilerleme hızı ile parçanın yönelme açısı girilmektedir. İstenilen hareketlerin oluşturulması için hesaplanan G kodları da sırayla sağ yandaki pencereye yazılmaktadır



Şekil 3.72. Eksenlerin okunması

Kinematik hesaplamalarda mach3 programından robotun bulunduğu pozisyondaki eksen değerlerini almak için Şekil 3.72.'de görüldüğü gibi makro oluşturulmuştur. Makro, robotun bulunduğu pozisyondaki eksen değerlerini açılan metin dosyasına yazdırmaktadır.



Şekil 3.73. Ters kinematik verilerinin girişi

Şekil 3.73.'de görüldüğü gibi robot kolun test edilme işlemlerinde kullanılması amacıyla daire çizme, çizgi çizme ve noktaya gitme için G kodu oluşturulmuştur.

A noktasında bulunan bir parçanın alınarak B noktasına bırakması için ters kinematik hesaplamalar kullanılarak, parçaya yaklaşma ve ayrılma mesafesi belirleyerek Şekil 3.74.'de görüldüğü gibi G kodları oluşturulmaktadır.

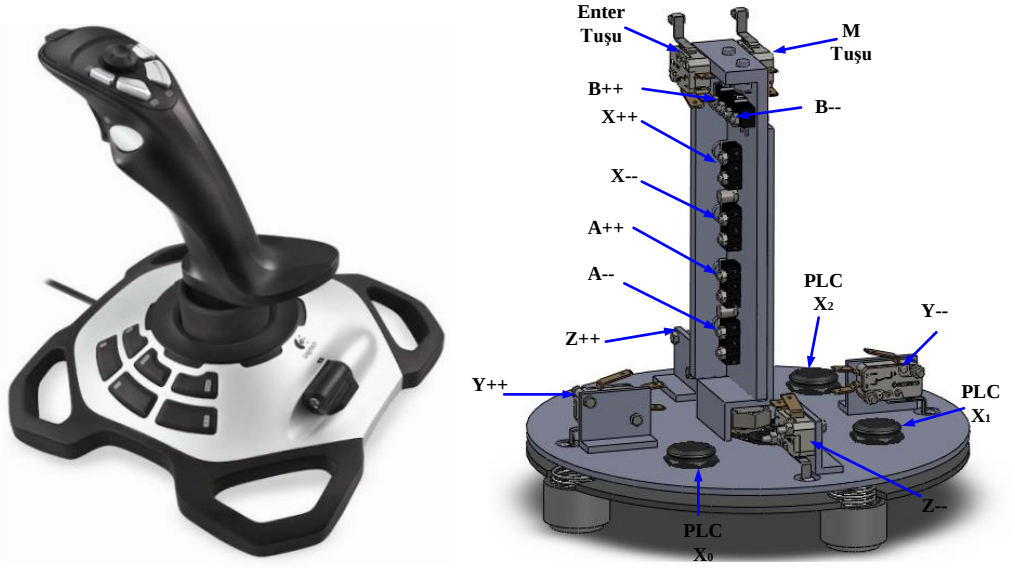


Şekil 3.74. G kodlarının yazıldığı pencere

Ara yüz üzerinde "G Kodunu Oluştur" ikonu tıklandığında ters kinematik hesabı sonucunda hareket yörüngesi üzerinde belirlenen noktalarda dolaşmasını sağlamak için G kodları hesaplanmaktadır. Yörünge hareketi için hesaplanan G kodları ara yüz üzerinde ayrılan kısma yazdırılmaktadır.

3.9. Joystick Tasarımı ve İmalatı

Robot kolun hareketlerinin operatör tarafından yaptırılarak sisteme kaydedilmesi için bir joystick tasarlanarak imal edilmiştir. 6 eksenli Mach3 kartında her ekseni ileri geri hareket ettirmek için toplam 12 adet mekanik sınır anahtarları kullanılmıştır. Şekil 3.75.'de görülen şekilde çalışan Joypad tipi bir joystick tasarlanıp imal edilerek robotun online olarak hareket etmesi sağlanmıştır.

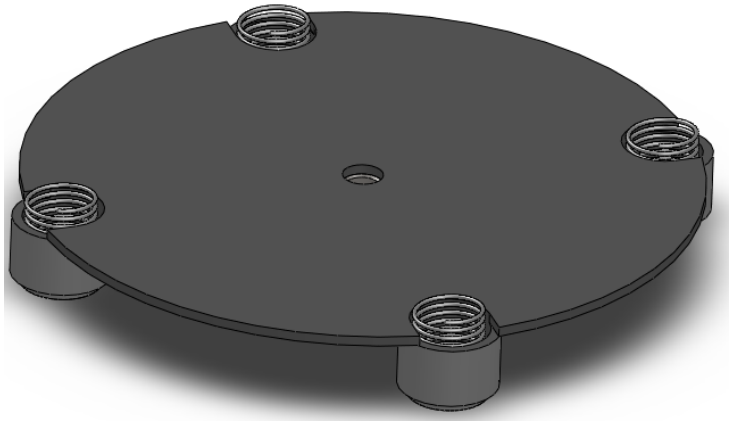


Şekil 3. 75. Joystick

Joystick kolu yatay iki eksende hareket eden dairesel bir disk üzerine montaj edilmiştir. Joystickin tablasına yerleştirilen dört adet mekanik anahtar ile joystick kolu ileri itildiğinde robot gövdesi Z ekseni doğrultusunda, geriye çekildiğinde ise geriye doğru hareket etmektedir. Joystick sağ yana yaslandığında robot gövdesi Y ekseni doğrultusunda saat yönünde, sol yana yaslandığında ise saat yönünün tersi istikamette hareket etmektedir.

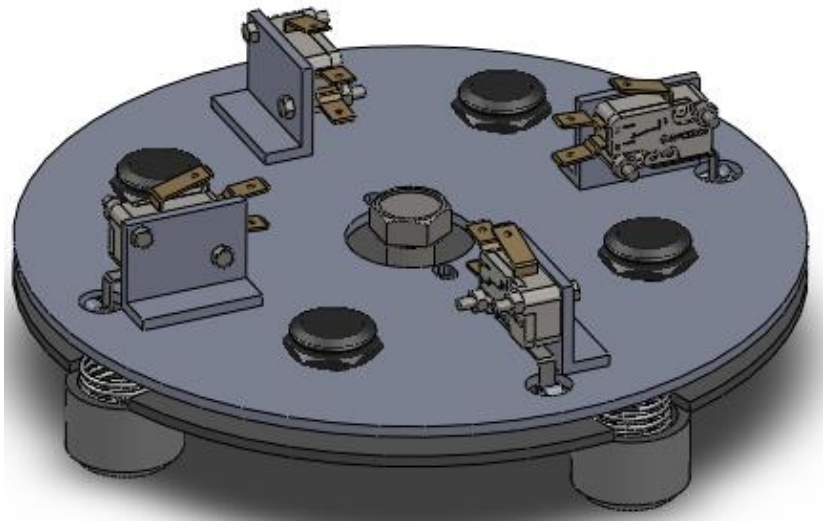
Kullanım kolaylığı nedeniyle kolun üst kısmındaki 1 nolu düğmeye basıldığında robot kolunu saat yönünün tersi istikamette bir altı olan 2 nolu düğmeye basıldığında saat yönünde hareket etmektedir. Joystick kolunun 3. Düğmesine basıldığında tutucu kolu θ_A saat yönünde 4. Düğmeye basıldığında ise saat yönü tersi istikametinde

döndürülmektedir. En üstteki 1 nolu düğmeye basıldığı zaman θ_B ekseni saat yönünde 2 nolu düğmeye basıldığında ise saat yönünün tersi istikametinde dönmektedir.



Şekil 3. 76. Joystick tabanı

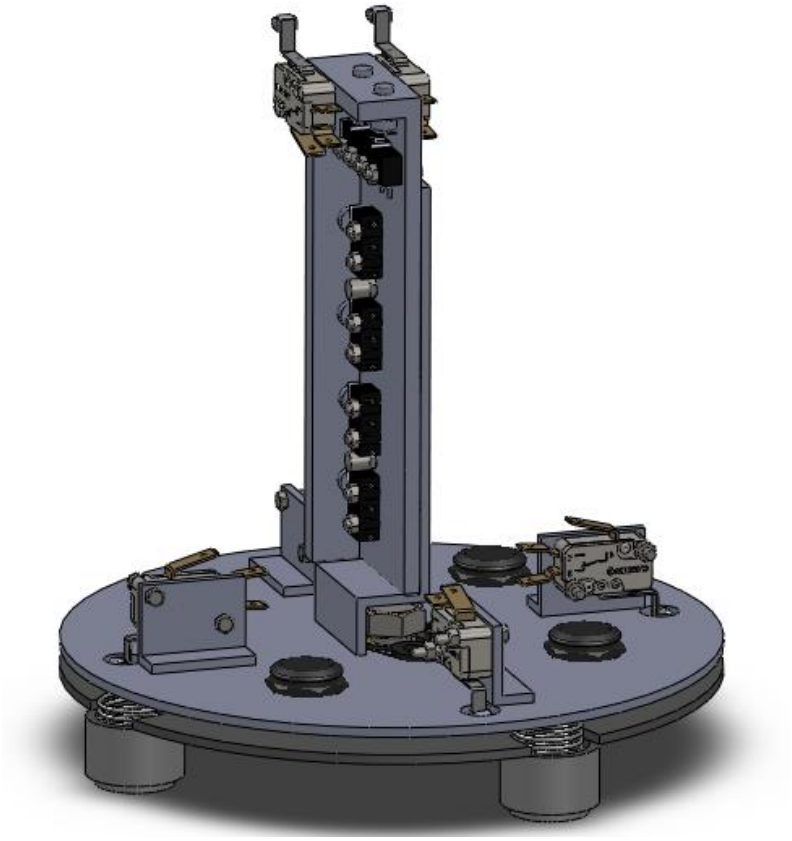
Joystick tasarımında en alt kısımda Şekil 3.76.'da gösterildiği gibi daire biçiminde oluşturulan bir parçanın dört tarafından içe doğru yarım ay şeklinde oyuklar açılmıştır. Bu oyukların alt kısmına borudan kesilmiş küçük parçalar kaynakla birleştirilerek, boru parçasının içerisine birer yay yerleştirebilmek için boru parçalarının alt kısımları kapatılmıştır. Oyukların içerisine yerleştirilen yaylar joystick ileri-geri veya sağ-sol hareketlerde üstteki parçanın geri itilmesini sağlamak için kullanılmıştır.



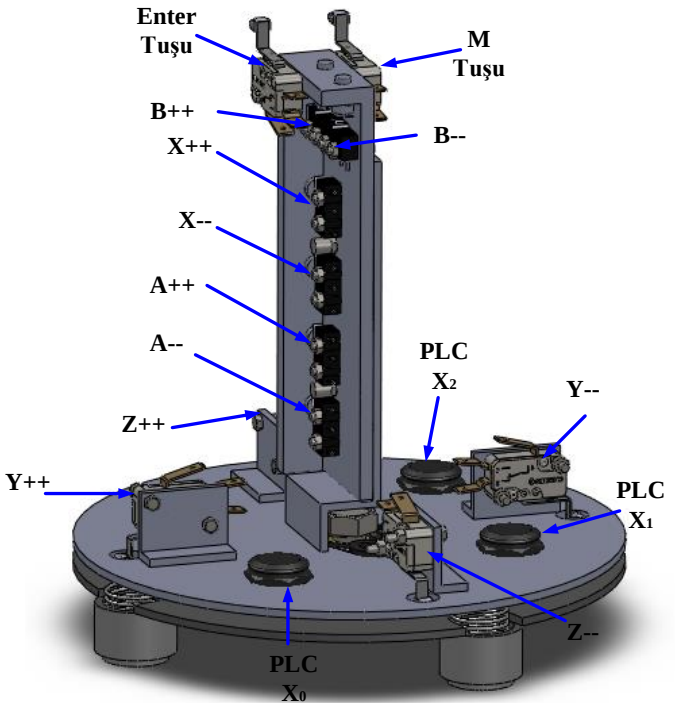
Şekil 3.77. Joystick tablası

Sınır anahtarlarının parça üzerinde montajını yapmak için Şekil 3.77.'de gösterildiği gibi dört tarafına birer L şeklinde parçalar kullanılmıştır. Sınır anahtarlarının temas kısımları 90 derece bükülerek ve tabla üzerinde açılan dairelere yerleştirilerek basma hareketini yapmaktadır. Sağa-sola ve ileri-geri hareketlerini yapabilmek için tablanın ortasına rulmanlı yatak montaj edilmiştir. İleri geri hareketlerde Z ekseni hareketini yaparken sağ ve sol hareketlerde de Y ekseni hareketini yapmaktadır.

Joystick üzerinde diğer üç eksen hareketini yaptırmak için mikro anahtarlar, Şekil 3.78.'de görüldüğü gibi polimer malzeme üzerine yerleştirilmiştir. Anahtarların temas kısımlarına denk gelecek şekilde küçük pimler yerleştirilmiştir. Parça üzerine yerleştirilen dört anahtar başparmak hariç diğer dört parmaklara denk gelecek şekilde yerleştirilerek, X ekseni ve A ekseni hareketleri kontrol edilmektedir. Üste yerleştirilen iki mikro anahtar ise B ekseni kontrolünde kullanılmaktadır.

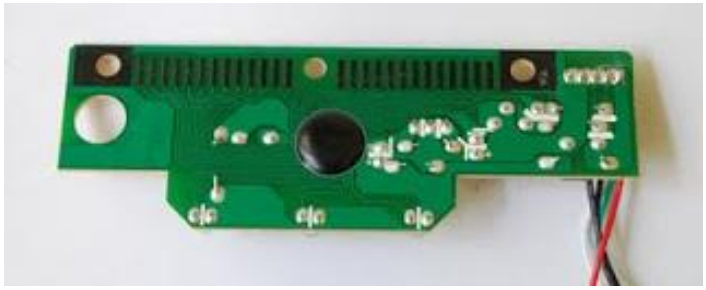


Şekil 3. 78. Joystick montajı



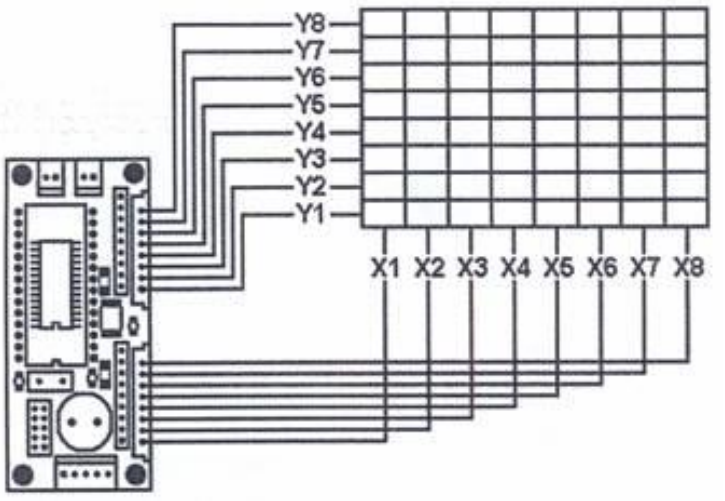
Şekil 3. 79. Joystick ayarları

Joystick kolu üzerine montaj edilen anahtarların eksenleri kontrol etmek için Şekil 3.79.'da görüldüğü gibi ayarlanmıştır. Joystick kolunun çalışması için Şekil 3.80.'de gösterilen klavye kartından yararlanılmıştır.



Şekil 3.80. Klavye devre kartı (Monk, 2017)

Klavye üzerinde bulunan tuşlardan herhangi birine basıldığında Şekil 3.81.'de görüldüğü gibi tuş matrisinde bulunan satır ve sütun arasında temas sağlanmaktadır. Tuş matrisindeki her bir satır ve sütun toplam akımın yarısını kullanmaktadır. Matris üzerindeki satır ve sütunlar birleştirildiğinde akımın tamamı oluşarak klavye işlemcisinin tetiklenmesi sağlamaktadır. İşlemci, tuş matrisindeki konumu okuyarak ASCII kodlarına çevirmektedir (CANDAŞ, 2017).



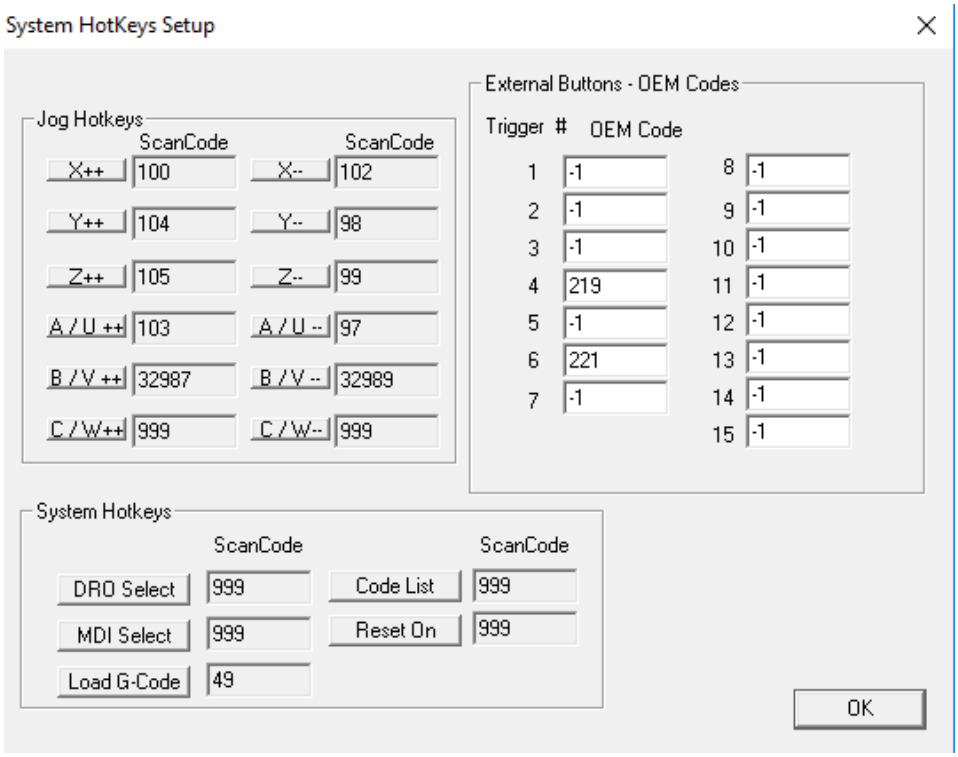
Şekil 3.81. Klavye tuş matrisi ile devre bağlantısının prensip şeması (CANDAŞ, 2017)

Klavye üzerinde bulunan tuş takımlarından rakamları, m harfi ve enter tuşu tespiti için uçlar sırasıyla kısa devre edilmiştir. Rakamı yazmak için gerekli olan kısa devre, kartta tespit edilen uçlardan anahtarlara birer kablo kullanılarak sağlanmaktadır. Anahtar basıldığında kısa devre edilerek rakam yazılmaktadır. Çizelge 3.1.'de gösterildiği gibi anahtarların kontrol ettiği eksenlerde rakamların kodları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Joystickte kullanılan tuşlar ve özellikleri

Mach3 deki Tanımı	Joystickteki değer	ASCII Kodu
X++	4	100
X--	6	102
Y++	8	104
Y--	2	98
Z++	5	101
Z--	0	96
A++	1	97
A--	3	99
B++	ğ	219
B--	ü	221
OK	Enter	13
M	m	77

Mach3 programında Şekil 3.82.'de gösterilen "system hotkeys" penceresinden tuşlara atama yapılarak joystick kullanılmaktadır. System hotkeys penceresinde X++ olarak yazılan yere tıklandığında bu değeri ileri yönde kontrol etmek için bir kısa yol tuşu atanmasını istemektedir. Aynı şekilde X-- yazılan yere de bu değeri geri yönde kontrol etmek için bir kısa yol tuşu kullanılmaktadır. Aynı işlemi Y, Z, A ve B eksenleri içinde yaparak bu eksenlerin çalıştırılması sağlanmaktadır. Bu tuşlar aynı şekilde joystick üzerinde de ayarlanarak kontrol sağlanmaktadır.



Şekil 3.82. Eksen değerlerine klavye kısa yol tuşunun atanması işlemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Robot Kontrolünde Kullanılan Makrolar

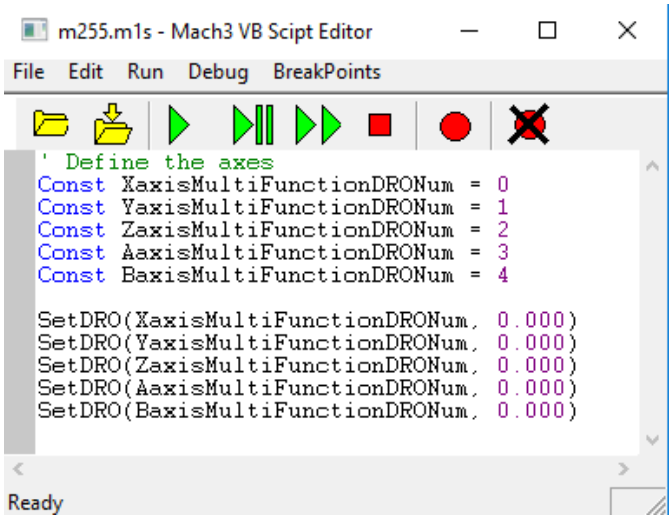
Makroların yazılması ile ilgili kurallar kullanılan Mach3 programı kullanım kılavuzunda verilmektedir. Makrolar Mach3 programının editör menüsünde VB Script Editör menüsünden açılan pencerede yazılmaktadır.

Bir makro programı Mach3 programından adını girerek editör menüsünden VB Script Editör penceresinden çalıştırma butonuna veya klavyeden F5 tuşuna basılarak çalıştırılmaktadır.

Mach3 programında G kodları ile robot hareket yörünge programı hazırlanmaktadır. Bu program makro dosyaları içerisinde yazılarak da Mach3 programıyla birlikte çalıştırılmaktadır. Bu çalışmada robotun programlanması için makrolar hazırlanmıştır.

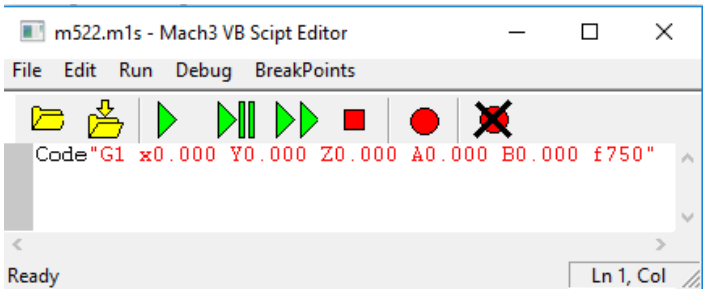
Robot eksen değerlerini sıfırlamak için Mach3 makro programları kullanılmıştır. Robot için sıfır noktasının belirlenmesi amacıyla Şekil 4.1.'deki m255 Makrosu oluşturulmuştur. Bu makroda ilk bölümde X ekseni için XaxisMultiFunctionDRONum=0 ile X ekseni atanmıştır. Bu şekilde Y, Z, A ve B eksenleri 1, 2, 3 ve 4 olarak tanımlanmıştır. Bu satırdan sonra X, Y, Z, A ve B eksenleri için SetDRO(XaxisMultiFunctionDRONum, 0.00) ile X değeri sıfır yapılmaktadır. Aynı satır Y, Z, A ve B eksenleri içinde yazılmaktadır.

Robot eksenlerinde bulunan sıfırlama anahtar makaralarının karşısına küresel parça getirilerek m255 Makrosu çalıştırılarak, robotun X, Y, Z, A ve B eksenleri sıfırlanmaktadır. Robot her çalıştırma başlangıcında m255 Makrosu çalıştırılarak sıfırlama aktif hale getirilerek daha önceden hazırlanmış olan programlar sisteme yüklenerek robotun kısa sürede çalıştırılması sağlanmaktadır



Şekil 4.1. M255 makrosu

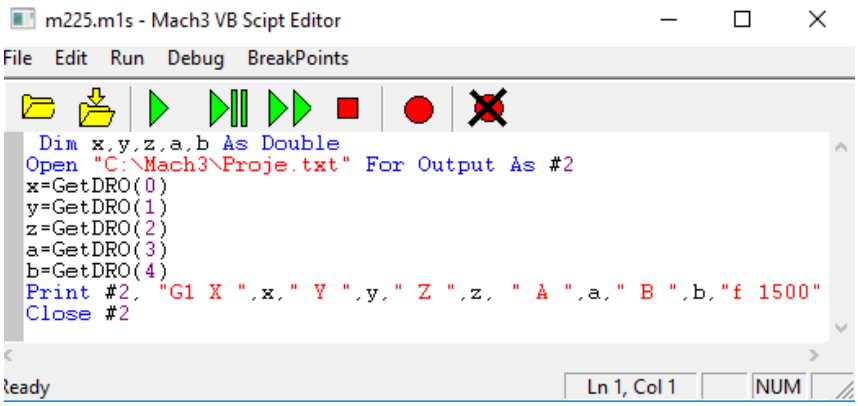
Robotu çalışması sona erdiğinde robotun sıfır noktasına götürülerek kapatılırsa robotun çalışma başlangıcında sıfır noktasından hareket etmesi ile robot resetlenmektedir. Robotu sıfırlamak için Code“G1x0.000 y0.000 z0.000 A0.000 B0.000 f750” koduyla Şekil 4.2.’deki m522 Makrosu oluşturulmuştur. Bu makroyu çalıştırılınca robot bulunduğu pozisyondan sıfır noktasına gitmektedir.



Şekil 4.2. M522 makrosu

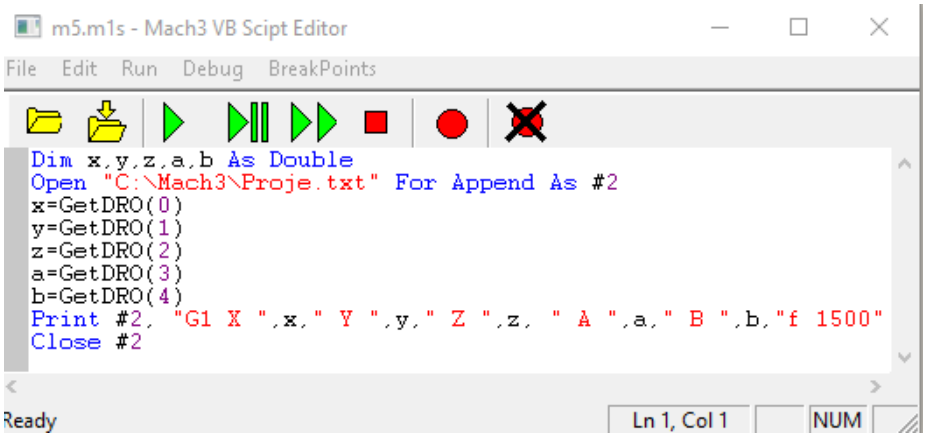
Mach3 klasöründe bulunan bir metin dosyası açarak içindeki programı silerek yeni program yazmak için Şekil 4.3.’de gösterilen m225 makrosu oluşturulmuştur. Bu dosyada ilk satırda “Dim x, y, z, a, b As Double” x, y, z, a, b değişkenlerine değer atamak için tanımlama yapılmaktadır. Yeni bir metin dosyası açmak için Open “C:\Mach3\Proje.txt” For Output As #2 komut satırı kullanılmaktadır. x=GetDRO(0) ile devam eden 5 satırlarda Mach3 ara yüzünde görünen X, Y, Z, A ve B eksen

değerlerini tanımlanan değişkenlere atamaktadır. Print #2, "G1 X ",x,"Y",y,"Z",z,"A",a,"B",b,"f 1500" komutuyla eksen değerleri alınan noktanın başına G1 kodu ekleyerek metin dosyasına yazdırılmaktadır.



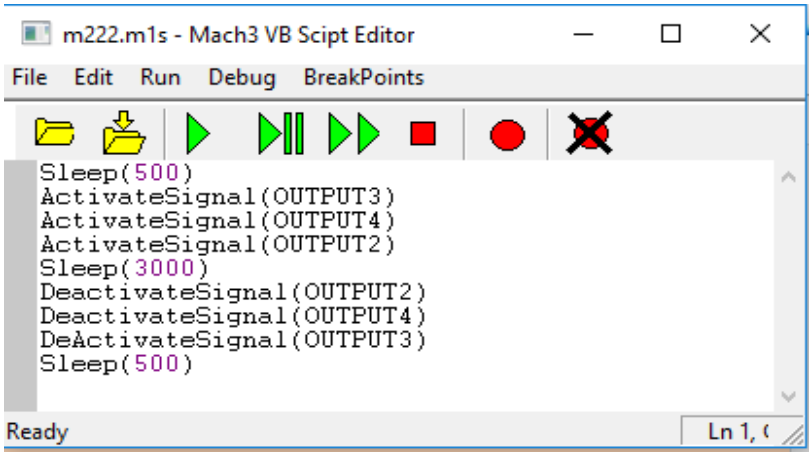
Şekil 4.3. M225 makrosu

Aynı şekilde dosyayı silmeden mevcut programa ilave komutlar yazılması için Şekil 4.4.'deki m5 makrosu oluşturulmuştur. Bu işlem için ikinci satır olan Open "C:\Mach3\Proje.txt" For Append As #2 komut satırı kullanılmaktadır.



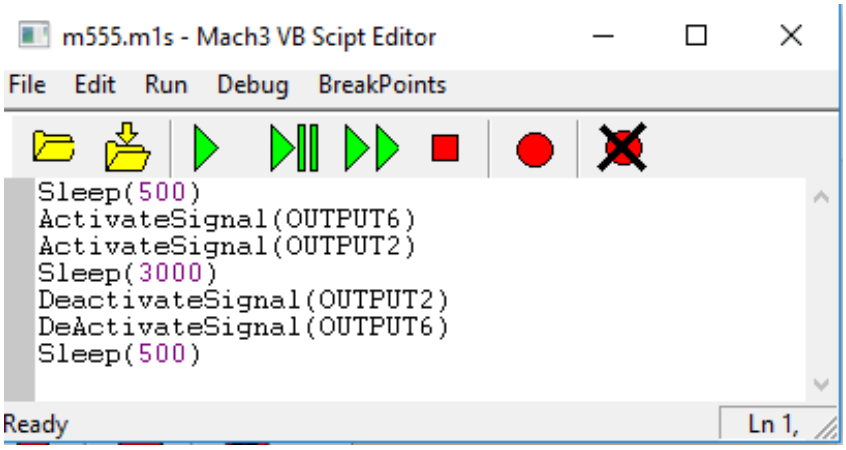
Şekil 4.4. M5 makrosu

Şekil 4.5.'de gösterilen m222 makrosu ile robot tutucu kolların kapatılması sağlanmaktadır. Tutucu kol parçaya yaklaştıktan 0.5 saniye sonra tutucu kolları kapatmakta 3 saniye bekledikten sonra aktif olan çıkışları açarak 0.5 saniye sonra çalışmasına devam etmektedir.



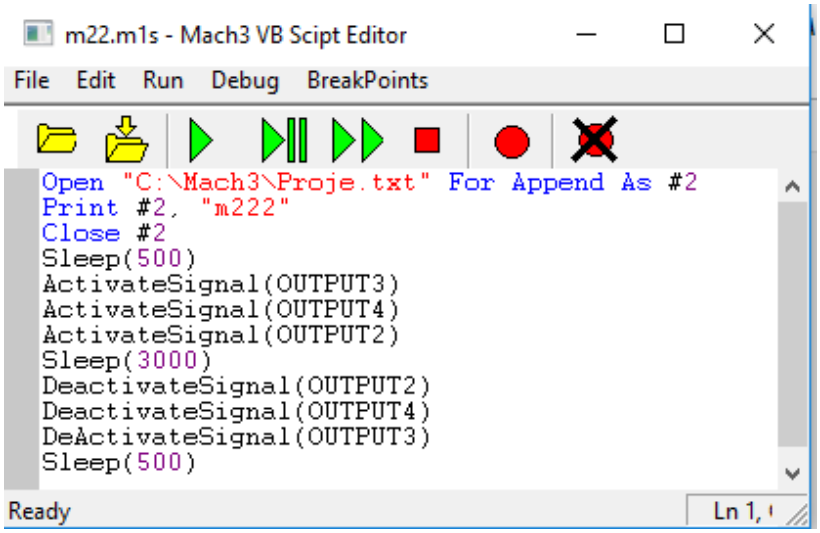
Şekil 4.5. M222 makrosu

Tutucu kol parçayı bırakmak için Şekil 4.6.'da gösterilen m555 makrosunu çalıştırmaktadır. Robot durduktan 0.5 saniye sonra tutucu kolları açmakta 3 saniye bekledikten sonra aktif olan çıkışları pasif yaparak tutucu kol motorunun enerjisi keserek 0.5 saniye sonra çalışmasına devam etmektedir.

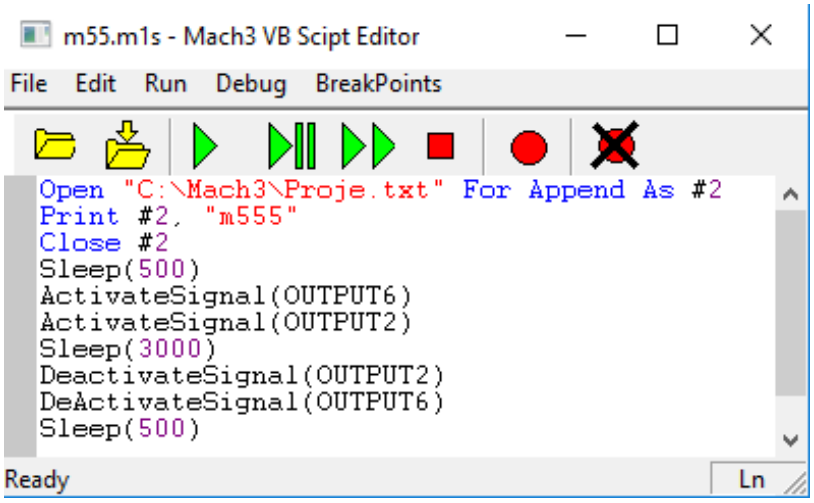


Şekil 4.6. M555 makrosu

Makro programlarla parçayı tutma ve tutulan parçayı bırakma programlarını Mach3 programına eklemek için Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'deki m22 ve m55 makroları oluşturulmuştur. Bu işlemler için makrolara Open "C:\Mach3\Proje.txt" For Append As #2 ile Print #2, "m222" komutu yazdırılarak kullanılmaktadır.

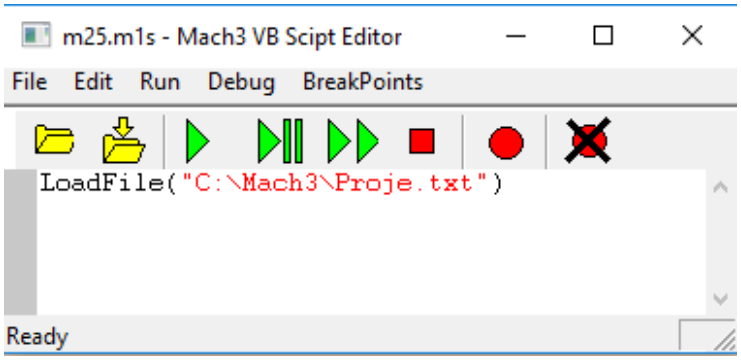


Şekil 4.7. M555 makrosu



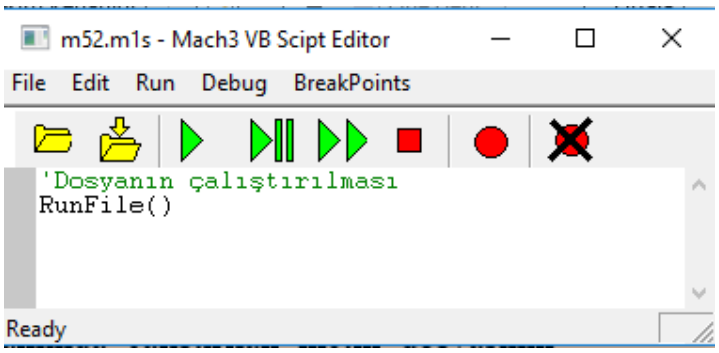
Şekil 4.8. M55 makrosu

Metin dosyasını programa yüklemek için birinci yöntem, mach3 Program Run penceresinde load G-Code sekmesi tıklayarak, İkinci yöntem ise Şekil 4.9.'da gösterildiği gibi m25 makrosunda LoadFile komutu kullanılarak yapılabilmektedir.



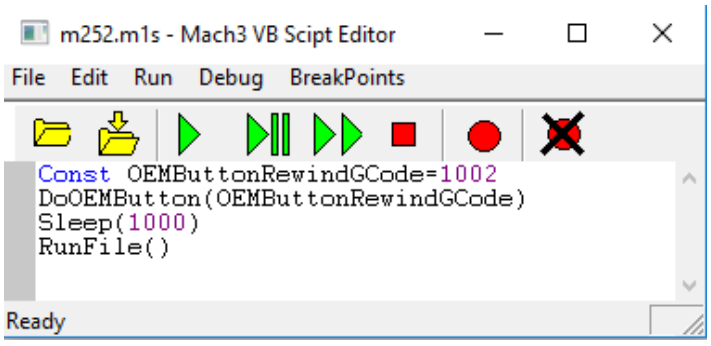
Şekil 4.9. M25 makrosu

Şekil 4.10.'da gösterilen m52 makrosu, mach3 programında çalıştırılmaya hazır halde bulunan dosyanın çalıştırılması işlemini yapmaktadır.



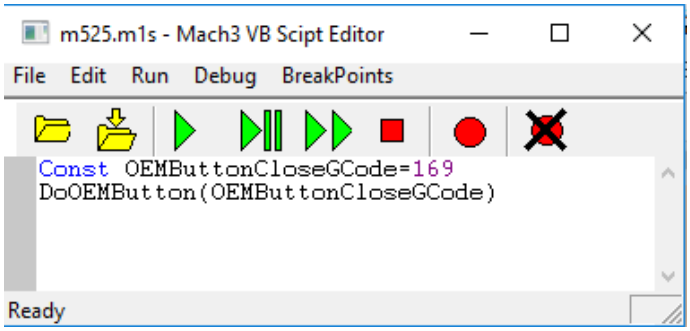
Şekil 4.10. M52 makrosu

Çalıştırılan dosyanın tekrardan çalıştırmak istendiğinde Şekil 4.11.'de gösterilen m252 makrosu kullanılmaktadır.



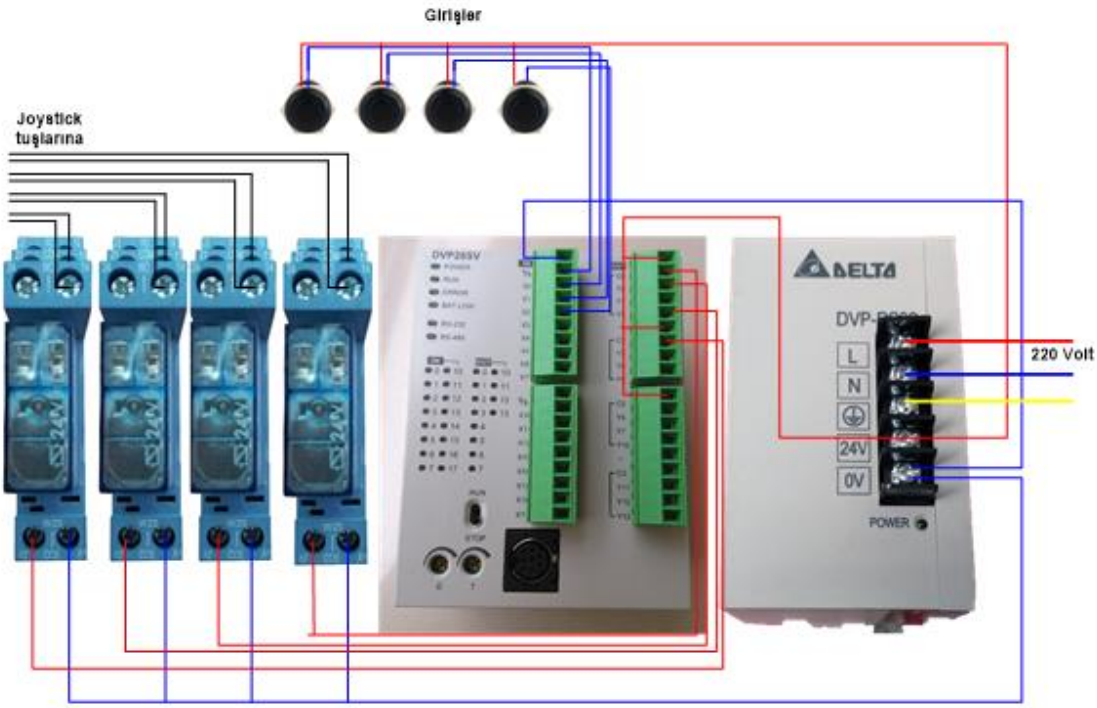
Şekil 4.11. M252 makrosu

Mach3 programında yüklü olan program dosyasının kaldırılmadan içerisine yeni program yazılamamaktadır. Bu programı kaldırmadan yeni program yüklemek istenildiğinde hata vermektedir. Şekil 4.12.'de gösterilen m525 makrosu ile mach3 programında yüklü olan dosya kaldırılmaktadır. Bu m525 makrosu kullanılarak dosya kullanımdan kaldırılarak yeni programın yüklenmesi imkanı sağlamaktadır.



Şekil 4. 12. M525 makrosu

4.2. Makroların Yazdırılması ve Çalıştırılmasında PLC Kullanımı



Şekil 4.13. PLC ve rölelerin bağlantısı

Robotun programlanmasında eksen değerlerinin mach3 programı ara yüzüne yazdırılması için oluşturulan makroların dosya isimleri elle girilerek yazdırılmaktadır. Bunların yazdırılmasında kullanıcının işlem sırasını karıştırması, yanlış kodların yazılması veya dosya isimlerini oluşturan makro değerlerinin yanlış girilmesi gibi hataları engellemek için Şekil 4.13.'de görüldüğü gibi bir PLC cihazı ve röleler kullanılmıştır. PLC cihazı üzerinde, 16 giriş, 12 çıkış ve kendi hafızasında zaman rölesi ve sayıcılar bulunmaktadır.

Makroların yazdırılmasında joystick üzerinde kullanılan klavye kartının uçları kullanılmıştır. Joystick üzerinde bulunan enter, m, 2 ve 5 tuşları kullanılarak programlanmaktadır. Makrolarda, dosya isimleri m, 2 ve 5 rakamları seçilmiştir. Sistemde kullanılan 4 adet 24 voltluk DC rölelerden; Y0 çıkışlı röle enter tuşunu, Y1 çıkışlı röle m tuşunu, Y3 çıkışlı röle 2 tuşunu ve Y4 çıkışlı röle ise 5 tuşunu yazacak şekilde bağlantı yapılmıştır.

Giriş olarak kullanılan X0, eksen değerlerini kaydetmek için metin dosyasının açılmasında ve eksen değerlerinin dosyaya yazdırılmasında kullanılmaktadır. X0 giriş butonuna basıldığında dosya açma makrosu olan m225 ekrana yazdırarak çalıştırmaktadır. X1 giriş butonuna basıldığında m5 makrosu çalıştırılarak eksen değerleri metin dosyasında en son satırdan sonra yazdırılmaktadır

X2 giriş butonuna basıldığında m22 makrosu çalıştırılarak, tutucu kolların kapanmasını sağlayarak, m222 makrosu dosyaya yazdırılmaktadır. X3 giriş butonuna basıldığında m55 makrosu kullanılarak, çenelerin açılmasını sağlayarak, m555 makrosu dosyaya yazdırılmaktadır.

X4 giriş butonuna basıldığında, m25 makrosu çalıştırılarak, dosya yüklenmektedir. X5 giriş butonuna basıldığında m52 makrosu yazdırılarak dosya çalıştırılmaktadır. X6 girişine basıldığında m252 makrosu yazdırılarak son yapılan çalışma tekrarlanmaktadır. X7 girişi kullanılarak yüklü olan dosya kaldırılmaktadır. X10 girişi de robot kolun sıfır noktasına hareket etmesi için kullanılan m522 makrosunu çalıştırmaktadır.

4.3. Robotun Hareket Yörüngesinin Programlanması

Robotun belirli bir ivme ve hızla kontrollü olarak bir hareket yapması için pasif ve aktif programlama olmak üzere iki ayrı programlama yöntemi kullanılmaktadır.

Pasif programlama işlemi elle ve taklit yoluyla programlama olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Elle programlamanın temel mantığı, robot operatör tarafından elle hareket ettirilerek, işlemlerin kayıt altına alarak, bu işlemi tekrar olarak yapabilme işlemidir. Taklit yoluyla programlamada ise robotla aynı uzunluk ölçülerine sahip yapılan bir düzeneğin operatör tarafından hareket ettirilmesi ile yapılan işlemler kaydedilerek aynı işleminin robot tarafından tekrar edilmesi sağlanmaktadır.

Aktif programlama işlemi de kendi içerisinde on-line ve off-line programlama olarak ayrılmaktadır. On-line programlama işlemi, gerçek bir robotun joystick benzeri bir kumanda sistemi ile operatör kontrollü olarak hareket ettirilerek hareket yörüngesinin robot kontrol programı ile kaydedilerek aynı işlemlerin otomatik olarak yaptırılmasıdır. Off-line programlama ise operatör tarafından hareket yörünge planlanması hazırlanarak robot kontrol sistemine yüklenerek robotun çalıştırılmasıdır. Bu çalışmada hem on-line hem de off-line olarak programlanması sağlanmıştır.

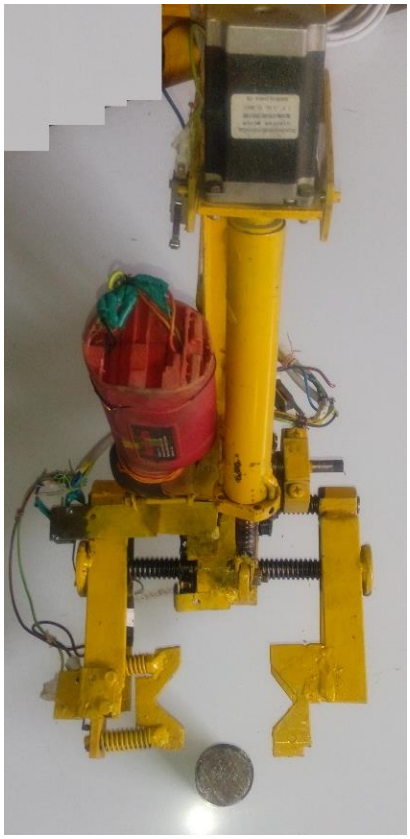
Robotun on-line olarak çalıştırılması için bir joystick tasarlanarak imal edilmiştir. Tasarlanan joystickte beş eksenli robotun X,Y, Z ve A eksenlerinin aktüatör step motorlarının ileri geri çevirmek için ikişer adet anahtar kullanılmıştır. Robot kolunun B ekseninde döndürmek içinde 2 adet anahtar mevcuttur. Çenenin açılıp kapanması için de joystickte iki adet anahtar kullanılmıştır. Joystick kullanılarak operatör kontrollü olarak parçaya yaklaştırılıp tutup kaldırılarak beş eksende hareket ettirilerek belirli pozisyonlarda yerleştirilmesi sağlanmaktadır. Bu işlem sırasında robotun hareket programı kaydedilerek robotun otomatik olarak hareket etmesi sağlanmaktadır.

Operatör tarafından hazırlanan hareket yörüngesi programının robot kontrol sistemine kaydedilmesi ile robotun çalışması sağlanmaktadır. Robota yerleştirilen

eksenel çalışan anahtarlar ile robotun X-Y-Z eksenlerinde çalışmasında her eksen için sıfır noktaları belirlenmektedir. Bu eksenlere yerleştirilen bir parçanın iki noktasının koordinatları girilerek robot tutucusunun tutma noktası belirlenerek robot hareket yörünge programı girilmektedir. Tutulan parçanın hareket yörünge programları girilerek robotun istenilen pozisyonda hareket etmesi sağlanmaktadır.

4.3.1. Robotun bir işi yapmak üzere programlanması

Robotun eksen değerlerinin yazdırılması için mach3 programının kendi klasörü içinde bir metin dosyası açılmaktadır. Robotun bir noktada iken mach3 eksen değerlerinin yazılması, tutma aparatının parçayı kavraması, parçayı bırakması ve metin dosyasının kayıt edilmesi işlemlerini yapacak makrolar oluşturulmuştur.



Şekil 4.14. Robotun parçaya yaklaşması

Robotun parçayı alması için kendi ekseni etrafında dönerek parça hizasına getirilmektedir. Şekil 4.14.'de görüldüğü gibi robot parçanın bulunduğu noktaya yaklaşarak eksen değerleri m225 makrosu çalıştırılarak metin dosyasına G kodu şeklinde yazdırılmaktadır. Bu yazdırma işlemi için PLC cihazına bağlı X0 düğmesi kullanılmaktadır. Robot tekrardan joystick ile hareket ettirilerek parçaya yaklaşma pozisyonuna geldiğinde m5 makrosu çalıştırılarak eksen değerleri G kodu şeklinde metin dosyasında alt satıra yazdırılmaktadır.



Şekil 4.15. Robotun parçayı kavraması

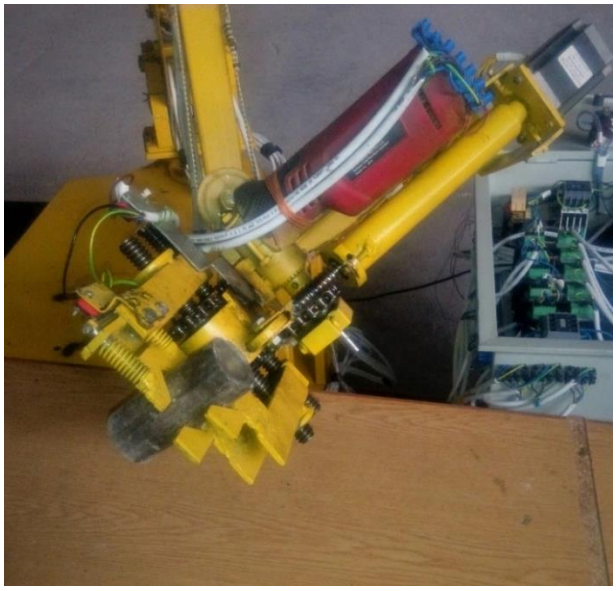
Robot, Şekil 4.15.'de gösterildiği gibi parçayı alma pozisyonuna getirilerek m5 makrosuyla eksen değerleri kayıt edilmektedir. X2 girişi kullanılarak parçayı kavraması ve m222 makro kodunu dosyaya yazdırmak için m22 makrosu çalıştırılmaktadır.



Şekil 4.16. Robotun orta pozisyonu

Robot parçanın alma noktasından biraz yükseltilerek ve uzaklaştırılarak noktaların eksen değerleri m5 makrosuyla dosyaya yazdırılmaktadır. Robotun Y ekseni hareket ettirilerek Şekil 4.16.'de gösterildiği gibi orta pozisyonuna getirilmektedir. Robot parçayı bırakma noktası hizasına gelmeden önce orta noktadaki eksen değeri de m5 makrosu kullanılarak kayıt edilmektedir.

Robotun programlanmasında, istenilen hareketlerin sadece yere paralel parçalar üzerinde yapılmayabilir. Tutucu kollar tarafından alınan parçanın yatay düzleme paralel olarak yerleştirilmesi veya parçanın yere bırakılması yerine parçanın bir yere yerleştirilmesi gibi işlemlerde kullanılabilir. Bu tür işlemlerin yapılmasında beşinci eksen kullanılarak Şekil 4.17.'de gösterildiği gibi çene kendi ekseni etrafında döndürme işlemi yapılarak m5 makrosuyla eksen değerleri yazdırılmaktadır.



Şekil 4.17. Robotun döndürme pozisyonu

Bu noktadan hareket ettirilerek parçanın bırakılacağı noktanın tam hizasına getirilerek, yaklaştırılarak ve parçanın bırakılacağı noktaya götürülerek bu noktaların eksen değerleri m5 makrosuyla yazdırılmaktadır. X3 giriş butonuna basılarak m55 makrosu çalıştırılarak Şekil 4.18.'de gösterildiği gibi tutucu kollar açılarak m555 kodu dosyaya yazdırılmaktadır.



Şekil 4.18. Robotun parçayı bırakması

Bu işlemden sonra robotun bıraktığı parçayı devirmesini veya parçaya çarpmasını engellemek amacıyla parça üzerinden parçaya dik bir hareketle yukarı kaldırılarak ve uzaklaştırılarak eksen değerleri m5 makrosuyla yazdırılmaktadır. Bu noktadaki eksen değerleri yazdırıldıktan sonra X10 giriş butonuna basılarak, m522 makrosu çalıştırılarak, Şekil 4.19.'da gösterildiği gibi sıfırlama pozisyona götürülerek, m5 makrosuyla sıfır değeri dosyaya yazdırılmaktadır.



Şekil 4.19. Sıfırlama noktası pozisyonu

Dosya Düzen Biçım Görünüm Yardım

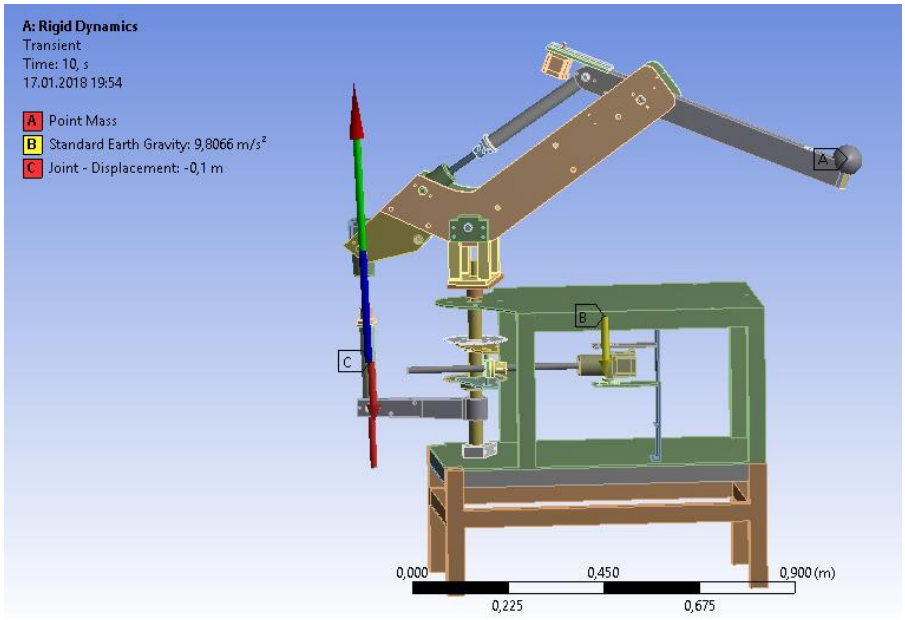
```
G01 X 100.5190 Y 50.6273 Z 64.3685 A 50 f 1000
G01 X 99.8964 Y 63.0628 Z 24.2007  A 50 f 1000
G01 X 95.0000 Y 68.2902 Z 12.1112  A 50 f 1000
G01 X 95.0000 Y 80.0000 Z 55.0000  A 50 f 1000
m43
G01 X 88.2201 Y 71.7716 Z 65.3869  A 50 f 1000
G01 X 73.5679 Y 61.9462 Z 79.2464  A 50 f 1000
G01 X 71.0162 Y 61.1190 Z 80.6409  A 50 f 1000
m44
G01 X 63.2457 Y 59.9765 Z 83.2368  A 60 f 1000
G01 X 60.6312 Y 60.0372 Z 83.5713  A 60  f 1000
G01 X 58.0119 Y 60.3171 Z 83.6400  A 60  f 1000
G01 X 55.3922 Y 60.8158 Z 83.4428  A 60  f 1000
```

Şekil 4.20. G kodu dosyası

Şekil 4.20.'de gösterildiği gibi bir metin dosyası oluşturarak, metin dosyasına yazdırılan G kodunun çalıştırılması için m25 makrosu kullanılarak G kodu mach3 programına yüklenmektedir. M52 makrosu da elde edilen G kodu ve makro değerleri çalıştırarak robot kolun planlanan yörüngede hareketi sağlanmaktadır.

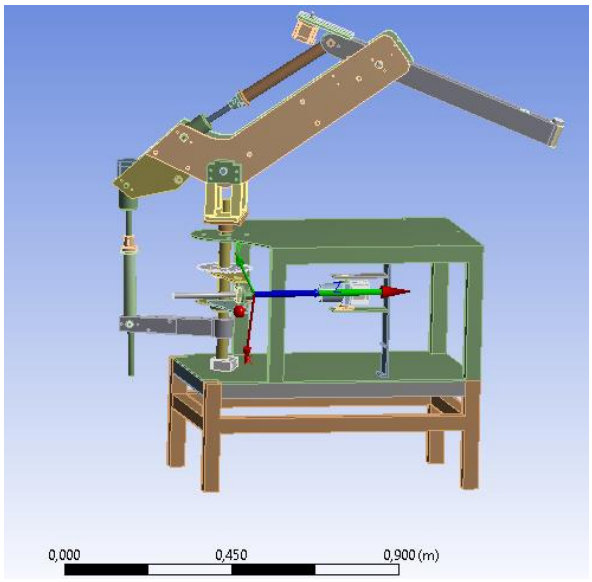
4.4. Robot Kuvvet Analizi

Robotun çalışma esnasında her bir motorun üzerine gelen kuvvetlerin bulunması amacıyla kuvvet analizi yapılmaktadır. Bu çalışmada kuvvet analizini yapmak için ANSYS programı kullanılmıştır. Analiz programının çalıştırılması amacıyla robot solidworks programında katı modellemesi oluşturulmuştur. Karmaşıklığı ortadan kaldırmak ve programın çalışmasını sağlamak amacıyla solidworks programında oluşturulan model ANSYS programına taşınarak bazı indirgemeler yapılmıştır. Çenenin karmaşıklığından kaynaklı hataların ve analiz şartlarının zorluğunu ortadan kaldırmak amacıyla çenenin ağırlığına eşdeğer ağırlık robotun uç kısmına yerleştirilmiştir. Şekil 4.21.'de A noktasına yerleştirilen ağırlık 10 kg olarak ayarlanmıştır. B noktasında ise gerçek yerçekimi kuvveti gösterilmiştir. Bu değerler ayarlandıktan sonra kuvvet analizi yapılacak noktaya kuvvet yönü uygulanarak analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları 10 saniye için gerçekleştirilerek sonuçlar hem tablo şeklinde hem de grafiksel olarak elde edilmiştir. Tablodaki değerler, belli satırlar seçilerek yerleştirilmiştir.



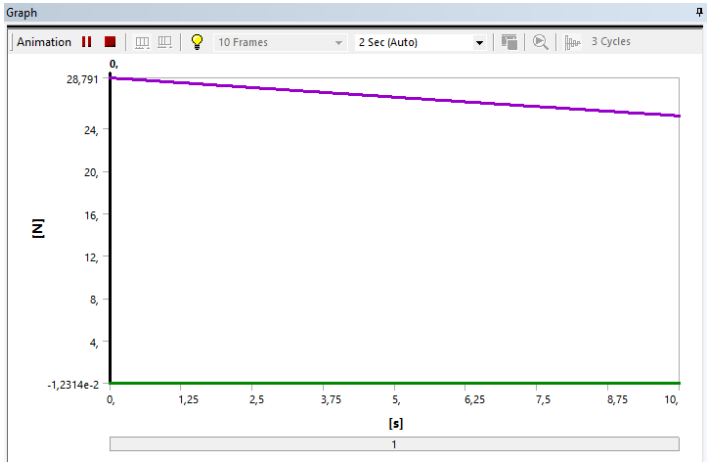
Şekil 4.21. ANSYS programında robot analizi

4.4.1. Y Ekseni analizi ve sonuçları



Şekil 4.22. Y ekseni üzerine gelen kuvvetlerin analizi

Analiz işlemi Şekil 4.22.'de görüldüğü gibi başlattıktan sonra analiz değerlerinin bulunduğu veriler kayıt edilmiştir. 10 sn süre içerisinde 100 mm ilerleme olacak şekilde analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerden 10 adet veri alınarak tabloya yerleştirilmiştir. Çizelge 4.1.'de görüldüğü gibi kuvvetler sadece z yönünde oluşmaktadır. Diğer yönde oluşan kuvvetler çok düşük olarak kaydedilmiştir. Bu kuvvetlerin kullanılmasıyla Şekil 4.23.'de görüldüğü gibi bir grafik elde edilmiştir.

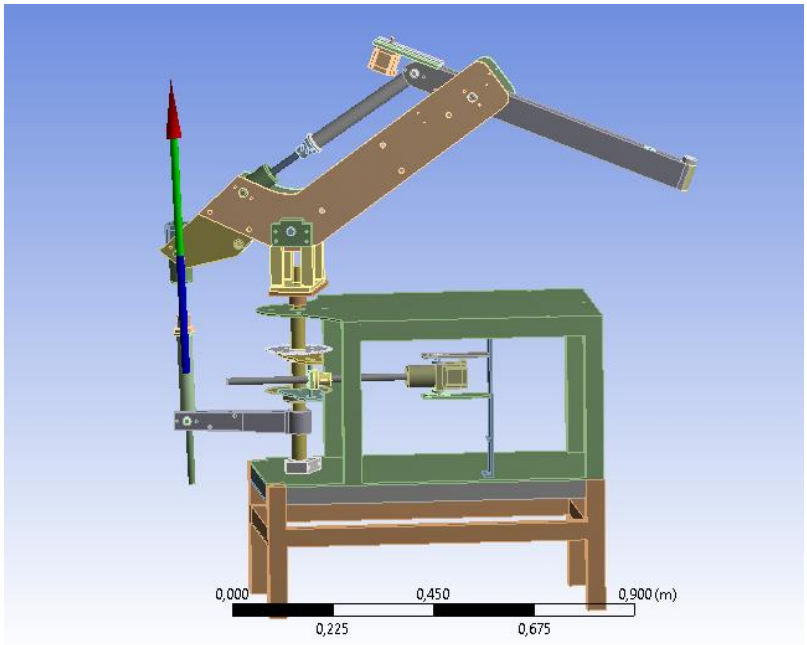


Şekil 4.23. Y ekseni kuvvet-zaman grafiği

Çizelge 4.1. Y ekseni kuvvet-zaman grafiği

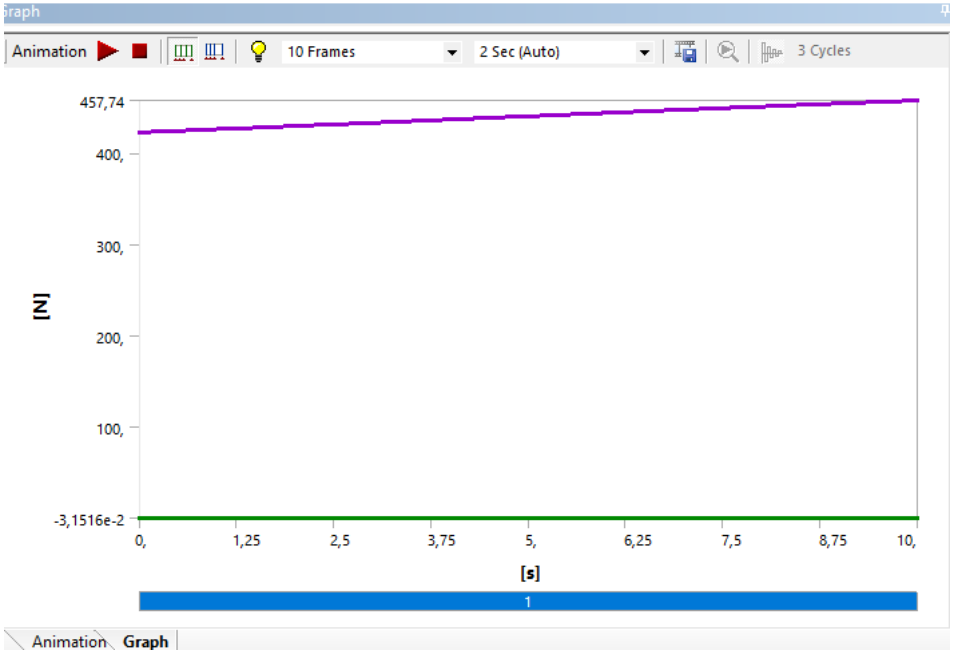
Times (s)	X Yönünde Toplam Kuvvet(N)	Y Yönünde Toplam Kuvvet(N)	Z Yönünde Toplam Kuvvet(N)	Toplam Kuvvet(N)
0,000	-4,6574e-003	-1,2314e-002	28,791	28,791
1,0116	-4,5794e-003	-1,2107e-002	28,418	28,418
2,0116	-4,5032e-003	-1,1906e-002	28,051	28,051
3,0116	-4,428e-003	-1,1707e-002	27,688	27,688
4,0116	-4,3537e-003	-1,1511e-002	27,327	27,327
5,0116	-4,2804e-003	-1,1317e-002	26,968	26,968
6,0116	-4,2079e-003	-1,1125e-002	26,612	26,612
7,0116	-4,1363e-003	-1,0936e-002	26,258	26,258
8,0116	-4,0656e-003	-1,0749e-002	25,905	25,905
9,0116	-3,9957e-003	-1,0564e-002	25,555	25,555
10,00	-3,9274e-003	-1,0384e-002	25,211	25,211

4.4.2. Z Ekseni analizi ve sonuçları



Şekil 4.24. Z ekseni üzerine gelen kuvvetlerin analizi

Z ekseni için yapılan analizde Şekil 4.24.'de gösterilen model kullanılmıştır. Z ekseni boyunca bir kuvvet uygulanacak şekilde tasarlanarak, süre 10 saniye seçilerek ve hareket alanı da 100 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 4.25. Z ekseni kuvvet- zaman grafiği

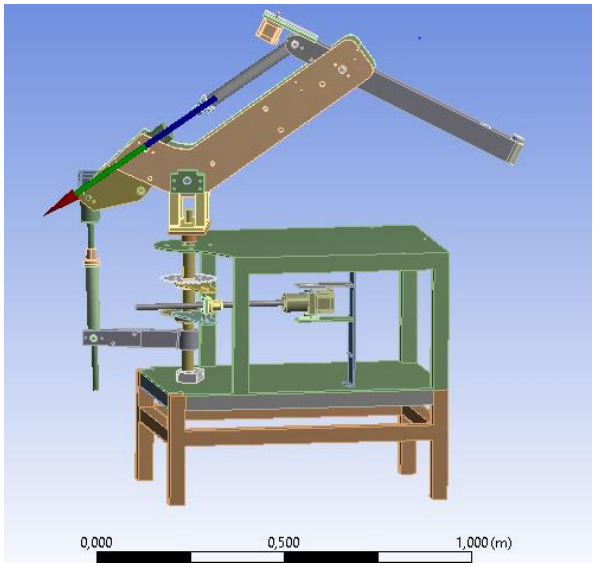
Analiz, diğer eksenleri program üzerinde sabitleyerek, yerçekimi uygulayarak ve ağırlık belirleyerek gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen verilerin bir kısmı Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir.

Kuvvetin z yönünde oluştuğu elde edilerek hareket boyunca eksen motoru üzerine düşen kuvvetin çok fazla farklılık göstermediği tespit edilmiştir. Hareket boyunca elde edilen kuvvet değişimi de Şekil 4.25.'de gösterilen grafik üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Z ekseninde oluşan kuvvetler

Times (s)	X Yönünde Toplam Kuvvet(N)	Y Yönünde Toplam Kuvvet(N)	Z Yönünde Toplam Kuvvet(N)	Toplam Kuvvet(N)
0,00	0,10003	-2,8363e-002	422,80	422,80
1,02	0,10662	-3,0233e-002	426,24	426,24
2,02	0,11013	-3,1228e-002	429,73	429,73
3,02	0,11114	-3,1515e-002	433,30	433,30
4,02	0,11002	-3,1196e-002	436,90	436,90
5,02	0,10705	-3,0354e-002	440,51	440,51
6,02	0,10248	-2,9059e-002	444,10	444,10
7,02	9,6533e-002	-2,7372e-002	447,65	447,65
8,02	8,9376e-002	-2,5343e-002	451,13	451,13
9,02	8,1162e-002	-2,3014e-002	454,52	454,52
10,0	7,2209e-002	-2,0475e-002	457,74	457,74

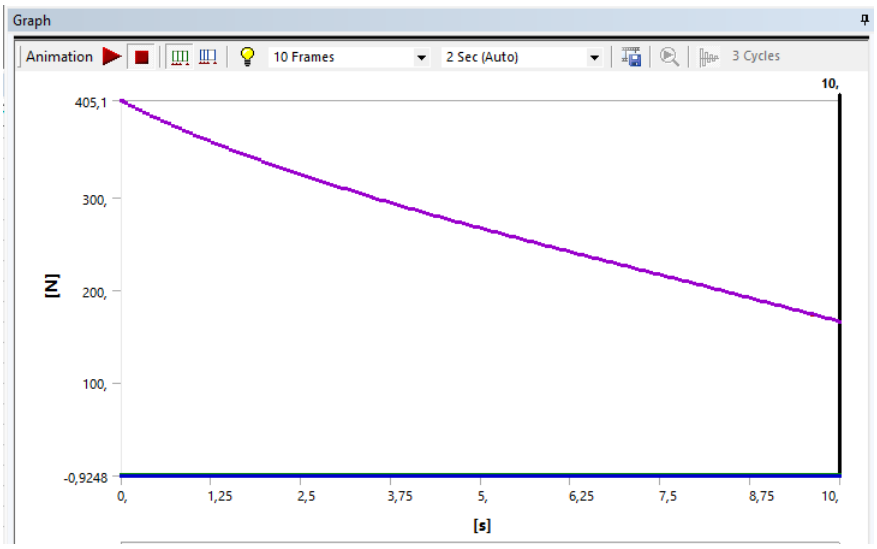
4.4.3. X Ekseni analizi ve sonuçları



Şekil 4.26. X ekseni kuvvet analizi

X ekseninde çalışan motorun üzerine düşen kuvvetlerin analizi için Şekil 4.26.'da gösterilen model kullanılmıştır. Analiz, Tahrik kolu boyunca uygulanacak kuvvet kolu oluşturularak, eksen boyunca hareket 100 mm alınarak ve süre 10 saniye seçilerek gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonucu incelendiğinde robotun bu ekseninde kolun uç kısmı aşağıya doğru hareketlendiğinde motor üzerine düşen kuvvetin azaldığı gözlemlenmiştir. Çene, yukarıya doğru kaldırıldığında uygulanan kuvvetin 400 N ve aşağıya doğru gittiğinde ise160 N olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen verilerin bir kısmı Çizelge 4.3.'de gösterilmiştir. Bu kuvvetlerin sonucunda oluşan kuvvet-zaman grafiği de Şekil 4.27.'de gösterilmiştir.



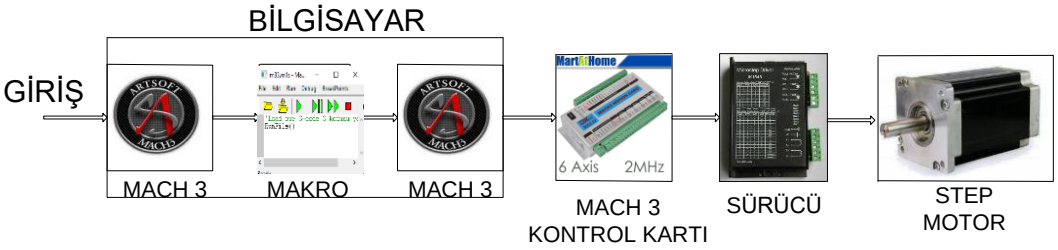
Şekil 4.27. X ekseni kuvvet-zaman grafiği

Çizelge 4.3. X ekseninde oluşan kuvvetler

Times (s)	X Yönünde Toplam Kuvvet(N)	Y Yönünde Toplam Kuvvet(N)	Z Yönünde Toplam Kuvvet(N)	Toplam Kuvvet(N)
0,00	405,10	8,7605e-002	-0,92479	405,10
1,02	368,00	8,4958e-002	-0,89686	368,01
2,02	337,97	8,2624e-002	-0,87222	337,97
3,02	311,92	8,051e-0020	-0,84991	311,93
4,02	288,51	7,859e-0020	-0,82964	288,51
5,02	266,82	7,6842e-002	-0,81118	266,82
6,02	246,21	7,5247e-002	-0,79435	246,21
7,02	226,18	7,379e-0020	-0,77897	226,18
8,02	206,34	7,2459e-002	-0,76492	206,34
9,02	186,33	7,1244e-002	-0,75210	186,33
10,00	166,24	7,0156e-002	-0,74062	166,24

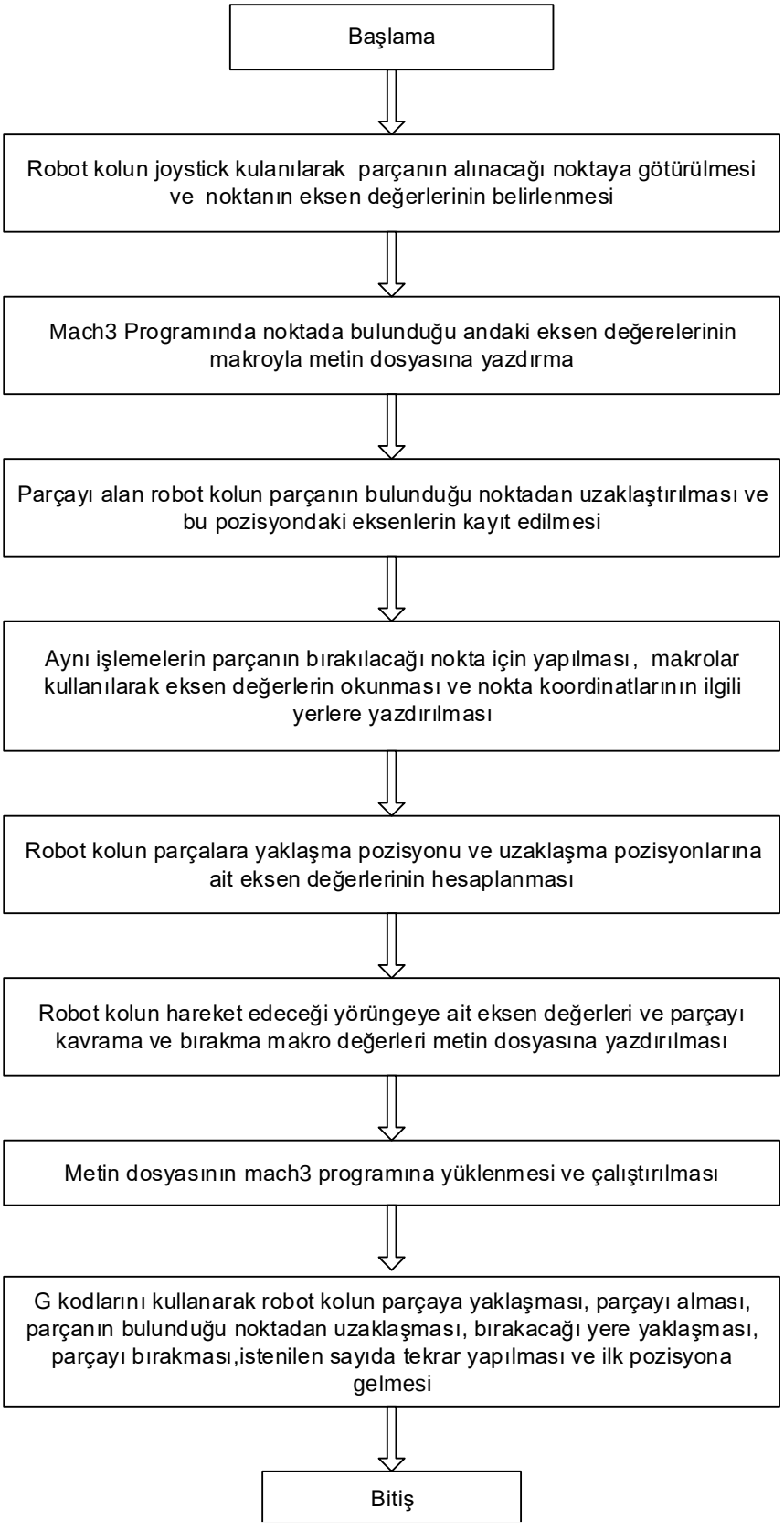
4.5. Robot Kolun Kontrolünde İşlem Basamakları ve Akış Diyagramı

Robot kolun kontrol edilmesi için öncelikle yörüngede nasıl hareket edeceğini ve hangi işlem basamaklarından geçeceğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Şekil 4.28.'de gösterildiği gibi öncelikle mach3 kullanılarak robotun hareketi joystick ile kontrol edilmektedir. Parçanın hangi pozisyonda ve noktada alınacağını belirlemek için robotun mach3 programındaki manuel hareketlerini joystick ile belirlenen noktaların bulunduğu yerlere getirilmektedir Robot geldiği her noktadaki eksen değerleri oluşturulan makrolar yardımıyla bir metin dosyasına kaydedilerek ve parçanın bulunduğu noktada iken parçayı alacak makro çalıştırılarak makronun değeri metin dosyasına yazdırılmaktadır. Parçayı kavrayan kol parçanın bulunduğu noktadan uzaklaştırılarak her bir pozisyona ait eksen değerleri metin dosyasına sırasıyla kayıt edilmektedir. Aynı şekilde parçanın bırakılacağı yerin pozisyonuna getirilerek parçanın bırakılması sağlayan makrolar çalıştırılarak eksen değerleri kayıt edilmektedir. Metin dosyası mach3 programına yüklenerek, ve çalıştırılarak Mach3 kontrol kartından step motor sürücüsüne ve sürücüden de motorlara sinyaller gönderilerek motorlar çalıştırılmaktadır.



Şekil 4.28. Robot kolun kontrolünde işlem basamakları

Robotun bir hareketi gerçekleştirmek için yapması gereken işlemlerin sırası Şekil 4.29.'da gösterilen akış diyagramında verilmiştir. Bu işlem akışına göre hareket belirlenerek, yazdırılan G kodları kullanılarak hareket ettirilir. Çene uçları parçayı kavrayacağı pozisyonuna getirilerek noktadaki eksen değerleri okunarak programa kaydedilmektedir. Aynı şekilde parçanın bırakılacağı pozisyona getirilerek, parçanın alınması ve bırakılmasında, çene uçlarının yaklaşma, alma ve bırakma pozisyonlarına göre hareket noktalarının eksen değerleri belirlenerek kaydedilmektedir.



Şekil 4.29. Robot kolun hareketini belirleyen akış diyagramı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi ve akıllı sistemlerin veya yapay zekâ çalışmalarının ilerlemesiyle canlıların hareketlerini taklit eden makinalardaki gelişmelerde hızlıca artmaktadır. İnsan hareketlerini taklit eden makinaların başında da robotlar gelmektedir. İnsanın omuz, kol, dirsek ve bilek hareketlerini taklit ederek çalışan makinalardır. Günümüzde kullanılan robot kol tasarımlarından farklı olarak bir robot kol tasarımı geliştirilmiştir. Mevcut tasarımlar incelendiğinde robotlarda kullanılan tahrik sistemlerinin başında kolların hareketini sağlayan elektrikli servo motorlardır. Bu motorların dönme hareketlerini düşürmek amacıyla redüktörler kullanılır. Bu çalışmada, redüktörlü servo motorların yerine itme çekme kuvvetiyle hareketi sağlayan vidalı miller kullanılmıştır. Vidalı millerin verdiği en önemli avantajlardan birisi de döndürme kuvvetini daha az sürtünme kuvveti altında doğrusal kuvvete çevirerek daha fazla güç kullanımını sunmaktadır. Redüktörlerin ve servo motorların atalet momentlerinden ötürü oluşan kuvvetlerin etkisini minimum düzeyde azaltarak çalışmalarda kolaylıklar sağlamaktadır. Robotun çalışmadığı durumlarda ise motorların sargı uçlarında kalan akımlardan yararlanılarak frenleme sistemlerindeki gibi bir etkiyle hareketler engellenmektedir. Esas yükü taşıyan kollarda vidalı millerin kullanılmasıyla robotun taşıdığı yük miktarı artmaktadır. Robotun ileri ve ters kinematik hesaplamalarında trigonometrik yöntem kullanılarak hesaplamalar geliştirilmiştir. Yatay düzlemde düzlemle eğimli ve yatay düzleme paralel parçaların taşınması için yörünge hesapları trigonometrik denklemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Motorların hareketlenmesi için Mach3 programıyla uyumlu Mach3 kontrol kartı kullanılmıştır. Robotun programlanmasında ve kontrolünde kullanılmak üzere Mach3 programında editör penceresi kullanılarak makrolar oluşturulmuştur. Bu makrolar kullanılarak robotun hareket yörüngesi belirlenmektedir. Robotun elle hareket ettirilmesi için joystick tasarlanarak imal edilmiştir. Makroların Mach3 komut satırına yazdırılması ve çalıştırılması için PLC cihazı sisteme eklenmiştir. PLC girişine konulan butonlar kullanılarak makrolar

çalıştırılmaktadır. PLC girişlerinde kullanılan butonlar joystick üzerine yerleştirilerek robotun tek elle hareket ettirilmesi ve kontrolü sağlanmaktadır. Yeni bir robotu tasarlama ve diğer işlemlerin yapılması için gereken maliyetin neredeyse %5'i harcanarak robotun imalatı yapılabileceği gösterilmektedir. Bu da robot kollar için harcanan paraların büyük bir kısmı imalat fabrikalarında kalarak avantaj sağlamaktadır.

5.2. Öneriler

Ülkemizde pek çok alanda robot kolların kullanılması yaygın olmasına karşın robot kolların tasarımında yok denecek kadar az çalışmalar geliştirilmekte ve robot montajı yapılmamaktadır. Endüstrideki insan gücünün azalmasıyla birlikte yapay zekâ ve akıllı sistemlere olan talep artmaktadır. Bu talepleri ülke içerisindeki ar-ge çalışmalarla karşılamak gerekmektedir. Teknolojideki hızlı gelişen çalışmalara ayak uydurmak amacıyla bu tür sistemlerin tasarlanması ve montajlarının yapılmasına önem verilmelidir. Araştırmacıların bu alanlara yönelmesine yardımcı olunmalıdır. Yerli tasarımcıların bu alanlara yönelmesi içinde üniversitelerin akademik çalışmalarının bu alana yönelmesi, maddi ve manevi olarak desteklenmesi önem arz etmektedir. Yapılan bu tasarım ve montajdan yola çıkılarak yeni robot kol tasarımları geliştirilebilir. Robotu tahrik eden aktüatörlerde step motor yerine servo motor kullanılarak kontrolün daha hassas olması sağlanabilir. Ayrıca servo motor kullanımıyla birlikte robotun bulunduğu pozisyon belirlenerek kapalı devre kontrol sağlanabilir. Yapılan bu çalışmalardan yola çıkılarak bir robot kolun kontrol edilmesi ve montaj işlemlerinin yapılması amacıyla gereken maliyetin yurt dışından gelen robot sistemlerinin maliyetine oranla çok az olduğu görülerek bu alanlarda yapılan çalışmalar zaman kaybetmeden devam ettirilmelidir. Bu alanda geliştirilecek çalışmalarla birlikte robot kolların yüksek fiyatlarla yurt dışından ithal edilmesinin önüne geçilebilir. Böylece yurt dışına giden dövizlerin imalatçı firmalarda kalarak onların avantajlı duruma geçilmesi sağlanır. Ülke ekonomisi de gelişerek toplumun refah düzeyi artmaktadır.

KAYNAKLAR

ABBE, R., and BAKER , D., 1990. Rotary to linear motion robot arm. Newton/Mass. United States Patent No. 4,897,015.

ABUT, T., SOYGÜDER, S., ve ALLİ, H., 2015. Gerçek zamanlı altı serbestlik dereceli haptik bir robot ile sanal robotun teleoperasyonu. Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu İzmir s.1-6.

AL-FAHED, A., STAVROULAKIS, G., and PANAGIOTOPOULOS, P. 1991. Hard and soft fingered robot grippers. The linear complementarity approach. ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 71: 257-265.

AYDIN, S., & TEMELTAŞ, H. 2005. Planning optimal trajectories for mobile robots using an evolutionary method with fuzzy components. Advances in Natural Computation Lecture Notes in Computer Science, 703-712.

AYTEPE, B., 2011. Bilgisyarlı nümerik kontrol (CNC) robotların seramik ve grafik eğitiminde tasarım aracı olarak kullanımı. NEÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 239-253.

BALTA, C., ÖZTÜRK, S. ve BİNGÜL, Z., 2011. RPR Robot mekanizması için ileri kinematik hesaplarının simulink ortamında parametrik olarak gerçekleşmesi. Endüstriyel Otomasyonu Sempozyumu ve Sergisi, Kocaeli.

BANCON, G., 1987. Tool holder for industrial robot. Vandoeuvre/France. United States Patent No. 4,636,135.

BDIWI, M., PFEIFER, M., and STERZING, A., 2017. A New strategy for ensuring human safety during various levels of interaction with industrial robots. CIRP Annals, 66: 453-456.

BİNGÜL, Z. ve KÜÇÜK, S., 2005. Robot tekniği. İstanbul: Birsen Yayınevi.

BOMFİM, M., GONTİJO, R., COELHO, F., LİMA II, E. and BRACARENSE., 2014. A low cost methodology applied to remanufacturing of robotic manipulators. Belo Horizonte: Anais do XX Congresso Brasilerio de Automatica, 1506-1513

BOZDEMİR, M. ve ADIGÜZEL, E., 1999. Puma tipi robot ile insan kolu haeketlerinin karşılaştırılması, alternatif bir robot kol omuz tasarımı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1057-1061.

CAMPA, R., KELLY, R. and SANTİBANEZ, V., 2004. Windows-based real-time control of direct-drive mechanism: platform description and experiments. Mechatronics, 14: 1021-1036.

CANDAŞ, S., 2017. PC sistem. PC Sistem Web Sitesi: http://pcsistem.net/klavye/ adresinden alındı

CHIAVERINI, S., SICILIANO, B. and EGELAND, O., 1994. Review of the damped least squares ınverse kinematics with experiments on an industrial robot manipulator. Transactions on Control Systems Technology, 2: 123-134.

CORWIN, M., HOHN, R. and TARVIN, R., 1975. Method and apparatus for programming a computer operated robot arm. United States/ Ohio Patent No. 3920972.

ÇAKIR, A. ve AYATA, F., 2016. FPGA tabanlı üç eksenli robot kol kontrolü. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21: 92-99.

ÇENGELCİ, B. ve ÇİMEN, H., 2005. Endüstriyel robotlar. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2: 69-78.

ÇENGELCİ, B. ve ÇİMEN, H., 2010. Mozaik sıralama işleminin robot kol ile gerçekleştirilmesi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7: 77-85.

ÇENGELCI, B. and ÇIMEN, H., 2011. Robotic education for electrical engineering students at the University Afyon Kocatepe. e-Journal of New Word Sciences Akademy Tecgnological Applied Sciences, 6(1): 13-23.

ÇIRAK, B., 2014. İki eklemli bir scara robot manipülatörünün hesaplanmış tork yöntemi ile yörünge kontrolü. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7(1): 77-91.

ÇIRAK, B. ve YÖRÜK, A., 2015. Mekatronik biliminin öncüsü İsmail El - Cezeri. Siirt Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi (3): 152-172.

DAHLSTROM, L. and NILSSON, B., 1978. Industrial robot. Vasteras/Sweden, United States Patent No. 4076130.

DURMUŞOĞLU, S. ve KÖKER, M., 1999. Türkiye'de endüstriyel robot kullanımı. Otomasyon Dergisi, 78-82.

ERBAŞ, S., 2014. Temel robotik uygulamalar ve bilgisayar destekli tasarım eğitimindeki yeri. Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi, 3(3): 304-312.

GADALETA, M., BERSELLI, G. and PELLICCIARI, M., 2017. Energy-optimal layout design of robotic work cell:potential assessment on an industrial case study. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 47: 102-111.

GONZALES, R. and LEE, C., 1987. Robotics; control, sensing, vision and intelligence. New York: McGraw-Hill Company.

GORAN, L., 1974. "Industrial robot grippers". Industrial robot: An International Journal, 1(2): 72-82.

GÖREL, G. ve ALTAŞ, İ., 2011. Bulanık mantık kontrollü çift eklemli robot kolu. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ Fırat Üniversitesi.

HASEGAWA, J., ANDO, M. and NAKAMURA, H., 1985. Method of producing an industrial robot arm. Aichi/Japan. United States Patent No. 4,529,460.

İNAL, E. ve ORAL, A., 2006. Dört serbestlik dereceli robot ile mozaik dizme otomasyonu. TİMAK-Tasarım imalat Analiz Kongresi, 538-548. Balıkesir: TİMAK.

JONES, S., 1987. Washington D.C. U.S. Patent and Trademark Office Patent No. U.S. Patent No. 4,699,414.

KATO, H., 1988. Industrial robot. Tokyo/Japan. United States Patent No. 4,767,257.

KATO, H., 1990. Industrial robot. Inazawa/Japan. United States Patent No. 4,947,702.

KAZEROONI, H., 1988. Statically-balanced direct-drive robot arm. Mineapolis/Minn. United States Patent No. 4,775,289.

KERVANCIOĞLU, E., ADIYAN, A., ÇETİN, L. ve UYAR, E., 2008. Görüntü işlemeye dayalı elektro-pnömatik parça tasnif robotu. V. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi 397-404. İzmir: MAkine Mühendisleri odası (MMO).

KILIÇ, A. ve KAPUCU, S., 2016. Moduler yeniden yapılandırılabilir robot modülü OMNIMO'nun tasarımı ve üretimi. Gazi Üniversitesi Mühendislik mimarlık Fakültesi Dergisi, 521-530.

KİZİR, S., BİNGÜL, Z. ve AKYÜZ, İ., 2009. Tek eklemli esnek robot kolunun modellenmesi, tasarımı ve bulanık mantık ile kontrolü. Otomatik Kontrol Ulusal Konferansı(TOK09). İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi.

KOYUNCU, A. ve UYAR, E., 2008. İki eksenli elektro-pnömatik manipülatör tasarımı, imalatı ve kontrolü. V.Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, 409-419. İzmir.

KRENICH, S., 2004. Multicriteria design optimization of robot gripper mechanisms. IUTAM Symposium on Evolutionary Methods in Mechanics. 117:207-218.

KUMAR, S., SHUKLAY, A., DUTTAZ, A. and BEHERAX, L., 2007. Technique for visual motor coordination of a 6 dof robot manipulators. Intelligent Control Part of IEEE Multi Conference on Systemsand Control, 544-549.

KUNT, E., KHALIL, I., NASKALI, A., FIDAN, K. ve SABANOVIC, A., 2010. Yüksek hassasiyetli montaj işlemleri için minyatür delta robot tasarımı, en iyilemesi ve denetimi. otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı(TOK'2010), Kocaeli.

KYRIAKOPOULOS, K. and LOIZOU, S., 2006. Robotics: fundamentals and procpect. CIGR-The International Commissions of agricultural Engineering, 93-107.

LARSON, O. and DAVIDSON, C., 1983. Flexible arm, particulary a robot. Gotenburg/Sweden. Unites States Patent No. 4,393,728.

LARSSON, O., 1990. Robot arm for an industrial robot. Gothenburg/Sweden. United States Patent No. 4,904,148.

LIU, G., GOLDENBERG, A. and ZHANG, Y., 2004. Precise slow motion control a direct-drive robot arm velocity estimation and friction compensation. Mechatronics,14: 821-834.

MAEDA, T. and SATO, M., 1986. Industrial robot. Tokyo/Japan. United States Patent No. 4,566,847.

MARIN, R., SANZ, P., NEBOT, P. and WIRZ, R., 2005. A multimodal interface to control a robot arm via web: A case study on remote programing. Transactions on Industrial electronics, 52(6): 1506-1520.

MATSUMOTO, K., HASHIMOTO, M. and IWATA, M., 1987. Robot arm drive apparatus of industrial robot. Osaka/Japan. United States Patent No. 4,690,010.

MONK, S., 2017. Dr Monk's DIY electronics blog. Doctormonk: http://www.doctormonk.com/2011/08/hack-usb-computer-keyboard-to-make.html

MONKMAN, G., HESSE, S., STEINMAN, R. and SCHUNK, H., 2007. Robot grippers. California:

NAKAGIRI, H. and MIYAHARA, H., 2007. Cable arrangement for robot arm, and industrial robot utilizing the same. Osaka/Japan. United States Patent No. 7,202,442 B2.

NIEMUELLER, T., LAKEMEYERS, G., REUTER, S., JESCHKE, S. and FERREIN, A., 2017. Chapter 13 – Benchmarking of cyber-physical systems in industrial robotics: The RoboCup logistics league as a CPS benchmark blueprint. Cyber-Physical Systems, 193-207.

NIHEI, R., HAMURA, M. and MIYAWAKI, M., 1994. Cable laying arrangement for the robot arm unit of an industrial robot. Yamanashi/Japan. United States Patent No. 5,375,480.

NIKU, S., 2004. Introduction to robotics analysis, systems and applications. House of Electrical Industry.

ÖZDEMIR, D. ve KÖSE, C., 2009. Gezgin robotların çiftliklerde ürün yeri belirleme ve taşıma işlemlerinde kullanımı. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(1):

PELLEGRINELLI, S., ORLANDINI, A., PEDROCCHI, N., UMBRICO, A. and TOLLIO, T., 2017. Motion planning and scheduling for human and industrial-robot collaboration. CIRP Annals, 66(1): 1-4.

PILTAN, F., YARMAHMOUDI, M., SHAMSODINI, M., MAZLOMIAN, E. and HOSAINPOUR, A., 2012. PUMA-560 robot manipulator position computed torque control methods using MATLAB/SIMULINK and their integration into graduate nonlinear control and MATLAB courses. International Journal of Robotics and Automation (IJRA), 167-191.

POIGNET, P. and GAUTIER, M., 2000. Nonlinear model predictive control of a robot manipulator. Advanced Motion Control,

REYES, F. and KELLY, R., 2001. Experimental evaluation of model-based controllers on a direct-drive robot arm. Mechatronics,12: 267-282.

REYES, F. and ROSADO, A., 2005. Polynomial family of PD type controllers for robot manipulators. Control Engineering Practice,13: 441-450.

SARAVANAN, R., RAMABALAN, S. and DINESH BABU, P., 2008. Optimum static balancing of an endustrial robot mechanism. Engineering Aplications of Artificial İntelligence, 21: 824-834.

SIMIONESCU, I. and CIUPITU, L., 2000. The static balancing of the endustrial robot arms part II: Continuous balancing. Mechanism and Machine Theory, 35: 1299-1311.

SIMIONESCU, I. and CIUPITU, L., 2000. The Static balancing of the industrial robot arms Part I: Discrete balancing. Mechanism and Machine Theory, 35:1287-1298.

ŞENEL, F. and ÇETİŞLİ, B., 2015. Görüntü işleme ve beş eksenli robot kol ile üretim bandında nesne denetimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(5): 158-161.

TANG, W. C. and DONG, L., 2013. Hybrid modeling and analysis of structural dynamic of a ball screw feed drive system. MECHANİCA, 316-323.

TIAN, L. and COLLINS, C., 2004. An effective robot trajectory planning method using a genetic algorithm. Mechatronics, 455-470.

TONBUL, T. ve SARITAŞ, M., 2003. Beş eksenli bir edubot robot kolunda ters kinematik hesaplamalar ve yörünge planlanması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1): 145-167.

TORII, N., MIZUNO, H. and MIYAWAKI, M., 1992. Multi-articulated industrial robot with an offset robot arm. Minamitsuru/Japan. United States Patent No. 5,115,690.

TÜREDİ, A. ve BİRCAN, D., 2016. Endüstriyel robotik otomasyon sistemlerinde görülen hataların ve sistem güvenilirliğinin hata türleri ve etkileri yöntemi İle analizi. Mühendis ve Makina, 57(672): 56-61.

VALENTE, A., BARALDO, S. and CARPANZANO, E., 2017. Smooth rajectory generation for industrial robots performing high precision assembly processes. CIRP Annals, 66(1): 17-20.

WALTER, J. and SCHULTEN, K., 1993. Implementation of self-organizing neural networks for visio-motor control of an industrial robot. IEEE Transactions on Neural Networks, 4(1): 86-95.

YIN, X. and PAN, L., 2018. Direct adaptive robust tracking control for 6 DOF industrial robot with enhanced accuracy. ISA Transactions, 72: 178-184.

ZAREMSKY, M., WEISS, L. and MUTSCHLER, T., 1986. Washington D.C., U.S. Patent and Trademark Office Patent No. U.S. Patent No. 4579380.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Savaş KOÇ

Uyruğu : T.C

Doğum Yeri ve Tarihi : Kozluk / 01.01.1977

Telefon : 0 505 944 46 22

Faks : -

E-mail : savaskoc72@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:Fatih Lisesi, Merkez, Batman	1993
Önlisans	: Dicle Üniversitesi Batman MYO, Batman	1998
Lisans	: Dicle Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Batman	2003
Yüksek Lisans	: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü	2008
Doktora	:	

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Kurum	Görevi
2003-2008	Dicle Üniversitesi Batman Tek. Eğt. Fak.	Ücretli Öğr. Gör.
2009-…..	Harran Üniversitesi Teknik Bilimler MYO	Öğr. Gör.

UZMANLIK ALANI

Elektrik Güç Sistemleri, Bilgisayar Destekli Elektrik Projesi

YABANCI DİLLER

İngilizce (ÜDS : 67.5)

YAYINLAR

KOÇ, S. ve DOĞAN, C., 2017. Beş eksenli bilyalı vidalı mil tahrikli robot kolun tasarımı ve Mach3 kartıyla kontrolü. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 7(1/2): 37-47 (Doktora tezinden yapılmıştır.)

KOÇ, S., & DOĞAN, C. 2017. Design and Manufacture of a Mechanical Gripper Used in Industrial Robots. 3th International Conference on Science Ecology and Technology (ICONSETE'2017) . (14-16 August 2017). Roma. (Doktora tezinden yapılmıştır.)

KOÇ, S. and AYDOĞMUŞ, Z., 2009. A MATLAB/GUI based fault simulation tool for power system education. Mathematical and Computational Applications. 14(3):207-217 (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır.)

KOÇ, S. ve AYDOĞMUŞ, Z., 2009. Simetrili bilşenler metodu kullanılarak MATLAB/GUI tabanlı bir arıza hesabı arayüzü geliştirme. 5. Uluslararası İleri Teknolojileri Sempozyumu. 13-15 Mayıs 2009, Karabük, (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır.)