



**ENDÜSTRİYEL AMAÇLI BİR OTONOM ROBOTUN
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mehmet Tuğrul İSPİR
(141134112)

Anabilim Dalı: Mekatronik Mühendisliği
Programı: Elektronik Sistemler
Danışman: Doç. Dr. Ömür AYDOĞMUŞ

OCAK-2019

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL AMAÇLI BİR OTONOM ROBOTUN
TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Tuğrul İSPİR

(141134112)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2018
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Ocak 2019

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ömür AYDOĞMUŞ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Mehmet ÇAVAŞ (F.Ü)

Dr. Öğr. Üyesi Reşat ÇELİKEL (B.Ü)

OCAK-2019

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezinin tasarımında ve gerçekleştirilmesinde çalışmalarımı yönlendiren ve her aşamada gerek bilgi gerekse motivasyon desteğini eksik etmeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ömür AYDOĞMUŞ 'a, Sayın Arş. Gör. Mehmet Rıza SARAÇ'a, Sayın Arş. Gör. Mustafa Can BİNGÖL ve aileme teşekkür ederim.

Mehmet Tuğrul İSPİR
ELAZIĞ - 2019



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ	1
2. ROBOTİK SİSTEMLER	3
2.1. Robot	3
2.2. Robotik	4
2.3. Robotların Faydaları ve Zararları	5
2.4. Robotların ve Robotik Sistemlerin Tarihi	6
2.5. Robotların Sınıflandırılması	8
3. OTONOM ROBOTLAR	10
3.1. Endüstriyel Otonom Robotlar	11
4. DÖRT YÖN TEKERLEKLİ MOBİL ROBOT TASARIMI	16
4.1. Mekanik Tasarım	16
4.2. Kinematik Model	21
4.2.1. İleri Kinematik	27
4.3. Elektronik Tasarım	29
4.4. Yazılım	30
4.4.1. ROS	30
4.4.2. ROS mimarisi	31
4.4.3. ROS dosya sistemi	31
4.4.4. ROS işlevsel yapısı	32
4.4.5. ROS'un Kullanılma Amacı	33
4.5. Simulasyon Sonuçları	35
4.6. Deneysel Sonuçlar	37

5. SONUÇ	40
6. KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	44



ÖZET

Endüstriyel robotlar sabit konumda çalışabilecekleri gibi mobil olarak çalışabilme kabiliyetine de sahip olabilirler. Son zamanlarda fabrika içerisinde taşıma amaçlı standart programlı mobil robotlar kullanılmaya başlanmıştır. Ancak her geçen gün robotlar daha akıllı sistemler haline dönüşmektedir. Robotik uygulamalara otonom özelliğinin eklenmesi ile sistemlerin kullanım esnekliği önemli ölçüde artmaktadır. Bu seminerde, otonom bir mobil robotun istenilen komutu yerine getirerek kendi karar vermesi sayesinde gereken noktaya engellerden kaçınarak, nesnelere ve kendine zarar vermeden en kısa rotadan gitmesi hedeflenmektedir. Bu tezde tasarlanan robot; mikro denetleyici tabanlı bir platform ile haberleşen Robot İşletim Sistemi olarak bilinen (ROS) açık kaynak kodları kullanılmıştır. Bu sayede robot esnek programlama kabiliyetine sahip olarak kullanılabilir. Bu tezde tasarlanan robot omni-teker veya mecanum teker olarak bilinen her yöne dönebilen tekerlekleri sayesinde fabrika içerisinde yüksek manevra kabiliyetine sahip olması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Robotik, Robot İşletim Sistemi, Mobil Robot, Mecanum Teker

SUMMARY

Design and Implementation of an Autonomous Robot for Industrial Purpose

Industrial robots may also have the ability to work as mobile as they can operate in a fixed location. Recently standard programmed mobile robots began to be used for transport in factory. However, robots become more intelligent systems with each passing day. The flexibility of systems has been significantly increased by using autonomous feature in robotic applications. In this seminar, an autonomous mobile robot is purposed in order to carry out the desired command with avoiding the obstacles to the required shortest route without damaging the objects and self-thanks to its decision mechanism. The purposed robot will be use a microcontroller based platform with an open source system known as Robot Operating System (ROS). Thus, the robot will have flexible programming capability. The robot is aimed to have high maneuverability within the factory thanks to its wheels that can be turned every direction, known as omni-wheel or mecanum-wheel.

Keywords: Robotic, Robot Operating System, Mobile Robot, Mecanum Wheel

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Robotiği oluşturan mühendislikler	4
Şekil 2.2 Otomatik çalışan su makinesi	7
Şekil 2.3 Robot kullanım türleri robotları	9
Şekil 3.1 Omron mobil robot	12
Şekil 3.2 X80SV robotu	12
Şekil 3.3 Pioneer 3-DX robotu	13
Şekil 3.4 Youbot robotu	13
Şekil 3.5 Freight robotu	13
Şekil 3.6 PatrolBot robotu	14
Şekil 3.7 PowerBot robotu	14
Şekil 3.8 Mobile Industrial Robots firmasının MIR 200 modeli	15
Şekil 3.9 Vetex firmasının RoboMate modeli	15
Şekil 4.1 Tasarlanan robotun parçaları	16
Şekil 4.2 Dört temel tekerlek tipi	17
Şekil 4.3 Tekerlek tipi ve ikonu	17
Şekil 4.4 Tekerlekli taşıtlarda tekerlek konfigürasyonu örnekleri	18
Şekil 4.5 Prototip mobil robotun önden görünüşü	20
Şekil 4.6 Prototip mobil robotun alttan görünüşü	20
Şekil 4.7 Tekerlek dönüş yönlerine göre robotun hareketi	21
Şekil 4.8 Mecanum tekerlek tasarımı	22
Şekil 4.9 Tekerlekler yapılandırması ve Postür tanımı	23
Şekil 4.10 Tekerleğin i anı için robotun kordinatı	24
Şekil 4.11 Tekerleğin i anı hareket prensibi	24
Şekil 4.12 Robot Solidworks perspektif çizim ve ölçüler	28
Şekil 4.13 Robot Solidworks alttan çizim ve ölçüler	28
Şekil 4.14 Tasarlanan mobil robota ait bağlantı blok şeması	29
Şekil 4.15 ROS dosya sistemi	31

Şekil 4.16 ROS işlevsel yapısı	32
Şekil 4.17 ROS düğüm ve topik ilişkisi	33
Şekil 4.18 ROS servis yapısı	33
Şekil 4.19 Robot için hazırlanan kontrol blok diyagramı	35
Şekil 4.20 Robotun referans noktaları için izlediği yol	36
Şekil 4.21 Robot ve referans için x, y ve teta eğrileri	37
Şekil 4.22 Sistem bağlantı şeması	38
Şekil 4.23 Deneysel çalışmadan bir görüntü	39



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1 Robotun referans noktaları ve parametreler	36
Tablo 4.2 Deneyisel ve analitik sonuçlar	38



1. GİRİŞ

İnsanoğlu dünyada oldukları ilk andan itibaren ağır, yorucu, monoton veya tehlikeli işleri yapmak için hep bir arayış içinde olmuşlardır. Bu tarz işleri yapacak kendi iş yüklerini hafifletmek düşüncesinden hareketle robotlar yapmışlar ve bu işleri robotların yapmalarını sağlamışlardır. Sanayi devriminin sonrasında endüstrileşmenin hız kazandığı, yaşamakta olduğumuz dönem, teknoloji ve bilişim çağıdır. Gün geçtikçe yarı akıllı dediğimiz otomatik makinelerin insanların kendi işlerini yapacak ikame cihazlar olmuşlardır. Çevremize baktığımızda robotların hayatımızın her alanına girdiğini görmekteyiz.

Hızla büyüyen dünya nüfusuna ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan fazla üretim ihtiyacı bu otomatik üretim cihazları ile sağlanmaya başlamıştır. Dünya üzerinde hızla artan nüfus ile birlikte istihdam oranı da hızla doğru orantılı olarak artmasına karşın insanların yerini makineler almaya devam etmektedir, bu durum sosyal ve ekonomik olarak değerlendirilmesi gereken bir konu olup, bu çalışmanın kapsamı dışında yer almaktadır.

Endüstriyel robotların kullanılması süreyi, üretim maliyetini ve üretim hatalarının azalmasına yol açmıştır. Bununla birlikte insanlar için elverişsiz koşul bulunduran, fiziksel yetersizliğin olduğu ortamlarda da robotlar kullanılarak insanlara verilen zararlar ortadan kaldırılmıştır. Bunlarla birlikte bir ürünün fiyatının belirleyen faktörler; ona harcanan maliyet ve elde edilen kazancın toplamıdır. Ürünlerin satabilmek için üreticilerin dünya üzerindeki piyasadan kendilerine pay almaları gerekmektedir. Bunu yapabilmenin en önemli etkeni rekabet edebilecek koşullara güce sahip olabilmektir. Her firma kendi seviyesine yakın firmalarla rekabet edebilmesi için maliyeti düşürmesi gerekmektedir. Maliyeti düşürürken de kaliteden ödün vermemesi gerekmektedir bunu yapabilmenin yöntemi de robotik sistemleri kullanmakla mümkündür. Böylece parça sayısı azalmış ve işçi maliyetleri de minimize olmuş olacaktır.

Dünya ülkeleri endüstri ile gelişip güçlenmekte ve dünya üzerinde söz sahibi olmaktadır. Bu nedenle endüstrinin önemi bir kez daha ortaya çıkmış olmaktadır. Endüstrinin gelişmesi içinde robotlar ve robotik sistemlerin rolleri çok büyüktür.

Ülkemizin dünya piyasaları ile rekabet ederek dünya üzerinde daha fazla söz sahibi olabilmesi için endüstrimizde robotik sistemlerin kullanımını artırarak kaliteli ve az

maliyetli ürünler üretmesi gerekmektedir. Anlaşılacağı üzere her geçen gün insanların fiziksel güçlerinden yararlanmak yerine zihinsel yararlanmamız gerekecektir.

Bu tez çalışmasında; insan gücü gerektiren bir işi insanlardan bağımsız olarak yapıp iş gücü kaybını ortadan kaldırarak ve süre kayıplarını azaltılması amacı ile fabrika içinde kendi başına hareket edebilen bir mobil robot tasarlanmıştır.



2. ROBOTİK SİSTEMLER

2.1. Robot

Robot, genellikle önceden programlanmış görevleri yerine getirebilen elektriksel, mekaniksel ve yazılım desteği ile oluşturulmuş insan kullanımında veya yapay zekâ ile kendini kontrol edilebilen bir cihazdır [1]. Bir sistemin robot olarak adlandırılması için aynı zaman da dört temel kısmı içermesi gerekmektedir;

- Robotun çevresindeki verileri algılayabilmesi için sisteme uygun algılayıcılar
- Alınan verilerin toplanması ve elektronik verilere dönüşümünü sağlayan sisteme uygun elektronik devreler,
- Sensörlerden aldığı bilgileri anlamlandırarak bir algoritma yardımıyla karar verme mekanizmasına sahip olması
- İstenilen kararlara uygun şekilde eylemleri gerçekleştirecek mekanik bir sistem gerekmektedir [2].

Günümüzde robotlar çok fazla ilgi görmektedir. Bu ilginin dünyadaki artışı ile birlikte ülkemizde de bu konuda ilgiler artarak ön lisans, lisans düzeyinde eğitimler verilmeye başlamıştır. Ancak robotların tarihçesi çok öncelere dayanmaktadır. Wolfgang Von Kempelen'in satranç oynayan robot, 1800'lerde Marie Jacquard numerik olarak çalışan ilk makine, Maillardet yaylı bir sistem ile çalışan farklı dillerde yazabilen döngülerle resim yapabilen bir otomat yapmıştır. Örneklerde de görüldüğü üzere robot gelişimi geçmişten ilgi çekerek ve ihtiyaçlar doğrultusunda artarak günümüze gelmektedir [3].

Bilim kurgu yazarlarının en tanınmışlarından biri olan Isaac Asimov, robotlar bilimsel kavramların bir arada göz önüne alınmasını sağlamıştır. Asimov (1941) bugün bile modern robot tasarımcılarının ve kullanıcıların dikkate alması gereken “Robotların Üç Yasasını” tanımlamıştır [4].

- Robot olarak yapılan bir sistem insanların zararına neden olamaz veya zarar görmesine tepkisiz kalmaz.
- Yapılan robotlar ilk maddedeki şartlarla karşı karşıya kalmaksızın verilecek komutları yerine getirmek zorundadır.
- İlk iki maddenin gerekliliklerini göz ardı etmeyerek robot bütünlüğünü korumalıdır.

2.2. Robotik

```
graph TD; R((ROBOTİK)) --- M1((Mekatronik Mühendisliği)); R --- M2((Elektrik-Elektronik Mühendisliği)); R --- M3((Kontrol Mühendisliği)); R --- M4((Bilgisayar Mühendisliği)); R --- M5((Makine Mühendisliği));
```

Robotik alanda, biyolojik sistemleri inceleyerek canlı mekanizmalarına benzer çalışma sistemlerini oluşturmak için araştırma yapılmaktadır. Bundan dolayı organize olarak alınan kavram varlıkların davranışdır, organize sistem veya organize varlık terimleriyle belli bir denge durumu sağlamak amacı için işleyen ve denge durumunu bozmaya yönelik dış tesirler karşısında kendi iç dengesini koruyabilen çeşitli sistemlerin birliği anlaşılır. Bu genel kavram içinde canlı varlıkta bir çeşit makinedir ve robotik bir genel makineler teorisi olarak kabul edilebilir.

Robotik alanda çalışma yapan Norbert Wiener, 1948 yılındaki eserinde “Control and Communucation in the Animal and the Machine” (Hayvan ve Makinede Kontrol ve Haberleşme) robotik ile ilgili bir tarif yapmıştır [6].

- “Hayvan ve makinenin, yani canlı ve cansız sistemlerin aynı başlık altında incelendiğini, o halde bir bakıma müşterek tarafların bulunduğunu, aynı kanunlara tabi olduğunu; robotiğin ister canlı, ister cansız olsun, bütün “organize sistemlerin” haberleşme ve kontrol prensip mekanizmalarını, yani işleyiş tarzlarını kendisine mevzu edindiğini belirtmektedir”.

Her geçen gün yeni bir tasarımla gelişen robotlar görülmektedir. Günümüz için bunların en gelişmişleri yapay zekâ ile donatılarak kendi kararlarını kendileri veren robotik sistemlerdir. Bu sistemler gelecekte birçok alanda kullanılacaktır. Ama robotların kesinlikle insanların yaptıklarının tam manasıyla yapamayacakları ortadadır. Robotlar hakkında ilgili inceleme ve çalışma yapan Hans-Jörg Schneebeli’nin aşağıda verilen sözü bahsedilen konunun destekçisidir [7].

- “Robot elleri üzerinde ne kadar çok çalışırsam, insanların sahip oldukları elle daha çok hayran oluyorum. Robot elinde, insan elinin yapabildiği işin bir kısmına bile ulaşabilmemiz için daha çok zamanın geçmesi gerekir.”

2.3. Robotların Faydaları ve Zararları

Robotlar teknolojinin gelişmesini, ülkelerin kalkınması, dünya piyasalarında yer bulmalarını sağlasa da faydaları olduğu kadar zararları da mevcuttur.

Faydaları;

- Eğlendirici ve eğitici olabilirler.
- Orduda insanların yerini alarak can ve uzuv kaybını önlerler.
- Uzaktan yönetilebilirler.
- Yorulmazlar.
- Birçok insanın bir araya gelerek yapabilecekleri işleri tek başlarına yapabilirler.
- Normalde çok zaman alabilecek işleri kısa sürede yapabilirler.
- Tehlikeli, zehirli veya elverişsiz koşullarda sorunsuz olarak çalışabilirler.

- Seri imalat açısından standart ürünü aynı kalitede üretebilirler.
- Mekanik olarak çalışarak sürekliliğini devam ettirebilirler.
- Maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen ucuz iş gücü oluştururlar.
- İnsanlarla mantıklı iletişim kurarak sosyalleşme açıklıklarını kapatabilirler.

Saymaya devam edersek birçok faydaları mevcuttur.

Zararlar;

- Sürekli verilen komutlar üzerinden rutin çalışmalar yaptıkları için sıkıcı olabilirler.
- İş gücü maliyetlerini düşürdükleri için insanların işsiz kalmalarına sebep olabilirler.
- Teknik donanımları çok fazla olduğundan kontrolleri için hepsine hâkim olmak gerekmektedir.
- Fazla bakım gerektirirler.
- Hatalı programlandıkları zaman rutin işlemlerde sürekli yanlış ürünü verirler.
- Bireysel sosyalleşme ihtiyacını sağlayarak toplumsal sosyalleşmeyi yok edebilirler.
- Askeri alandaki kullanımlarda kitle imha silahı olarak kullanılabilirler.

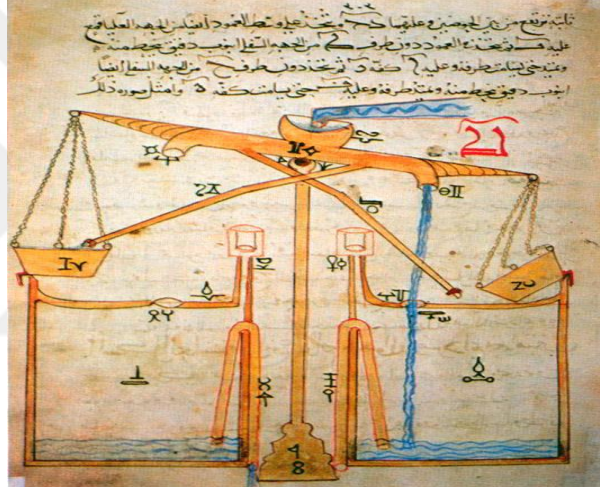
2.4. Robotların ve Robotik Sistemlerin Tarihi

Kelime anlamı olarak robot 1920 yılların da telaffuz edilmiş olmasına rağmen kelimenin tarihi M.Ö. 3000 yıllarına kadar dayanmaktadır. O tarihlerde Şekil 2.2’de gösterildiği gibi otonom su saatlerine benzeyen makineler üretilmiştir. Tarihin geçmiş dönemleri hakkında bize ışık tutan eserlere bakıldığında Homeros ait olan İlyada da insanlar tarafından üretilmiş olan bayan yardımcılardan söz edilmektedir. Milattan önce yüzüncü yıllarda yaşamış İskenderiyeli mühendis kendiliğinden açılan kapı sistemleri, su fişkırtıcı gibi düzenekleri buhar ve su basıncı yardımı kullanılarak çalışan uygulamalar yaptığı tarihi eserlerde yazılmıştır.

Robotik biliminin yapıtaşlarının en önde geleni Ktesibius’tur. Bulunduğu çağdan önde olmak üzere pek çok çalışmada bulunmuştur. Robotik ve sibernetik bilimin kurucularındandır. Ktesibius’tan sonra bu alanda adı duyulan en iyi uzmanlardan biride El-Cezeri olarak bilinmektedir. El-Cezeri kendi yaşadığı dönemin ötesinde robotik sistemler üretmiştir. Kendinden önce gelen meslektaşlarının eserlerini geliştirmiş ve kendine ait

birçok eser yapmıştır. Bunları topladığı kitabının gerçek adı “Kitab-ül Camii Beyn-el İlmi vel-amel En Nafi-i fi Sinaat-il hiyel” dir. Kitapta yer alan eserlerden bazıları şunlardır [8].

- Kesilip akan fiskiyeler (Duran ve tekrar akan su fiskiyeleri)
- Otomatik olarak saz ve düdük çalan makineler (çalgı aletlerini otomatik çalan sistemler)
- Su saatleri
- Otomatik kapılar
- Sarayda çeşitli hizmetlerde kullanılan makineler (saray hizmeti için üretilmiş robotik sistemler)
- Su akıtan makineler



Şekil 2.2 Otomatik çalışan su makinesi [9].

Tarih boyunca robot alanındaki gelişmeler sürekli devam etmiş ve şuan ki mevcut şekillerine kadar ulaşmışlardır. Robotların gelişmesindeki dönüm noktaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir [10];

- Programlanabilir bir dokuma tezgâhı (1801),
- Otomatik çıkırık makinası (1830),
- Ayaklı yürüyen araç (1893),
- Radyoaktif malzemeleri tutmayı sağlayan teleoperatör (1945),
- Servo kontrollü freze tezgâhı (1953),
- İlk programlanabilir endüstriyel robot (1954),
- İlk ticari robot (1959),
- Mini bilgisayar kullanan ilk ticari endüstriyel robot (1974).

2.5. Robotların Sınıflandırılması

Günümüzde kullanılan robotlar tiplerine göre, eksen takımlarına göre, kontrol tipine göre veya kullanım alanlarına göre birçok şekilde sınıflandırılabilir. Kullanım alanlarına göre robotlar; kişisel hizmet, tıp ve cerrahi operasyon, askeri ve su altı ve uzay gibi tehlikeli çevrelerde, endüstriyel alanlarda ayrıca bunların yanı sıra eğlence amaçlı ve oyuncak olarak da kullanılmaktadır [11].

Endüstriyel robotların genel amaçları insanın özelliklerine benzeyen onun yaptığı işi yapabilecek sanayi alanında çalışabilecek robotlardır. Endüstriyel robotların kapsamlı bir tanımı robot tiplerinin sınıflandırması ile ISO 8373 standardında belirtilmiştir. Bir robot bu standarda göre: "Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, sabit veya hareketli olabilen, üç veya daha fazla programlanabilir eksene sahip, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir çok amaçlı manipulatördür [12]. Amerika Robot Enstitüsü tarafından yapılan tanıma göre endüstriyel robot: Farklı amaçlar için önceden programlanmış hareket algoritmaları ile herhangi birçok işlevli yerine getirebilen ve tekrar programlanabilir sistem olarak tanımlanmıştır [13].

Sağlık robotları; cerrahi girişimler hastalarda tedavilerin hızlandırılması ve iyileşme sürelerinin kısaltılmasında önemli bir yer tutar. Cerrahi işlem yapılması sırasında robot kullanılması robotik cerrahi olarak adlandırılır. Günümüzde küçülen robot boyutları, kullanılabilirlik fonksiyonlarının artışları, üç boyutlu görüntü ile hassas işlemler yapılması ve açılan alanların daha küçülmesi robotik cerrahi kullanımını artırmaktadır [14].

Askeri robotlar; savunma sanayinde de diğer her alanda olduğu gibi robotlara ihtiyaç duyulmaktadır. İnsan gücünün azaltılarak maliyetlerin düşürülmesi ve savunma alanında insan kayıplarının azaltılması amaçlanarak kullanılmaktadır [15].

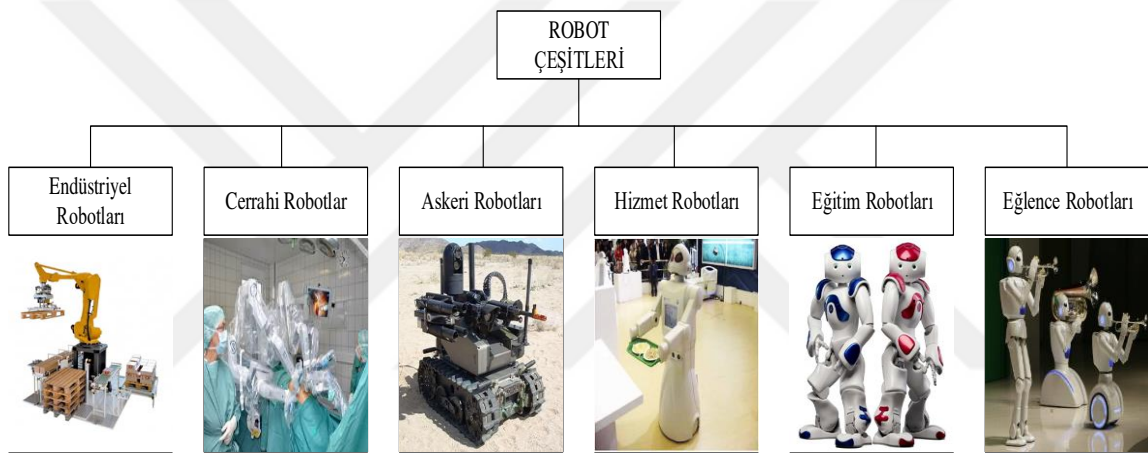
Hizmet robotları belirli bir amacı yerine getirmek için belirlenen sınırlar içerisinde belirli bir sınıra kadar karar verme algoritmasına sahip iki veya daha fazla eksenle programlanabilen o işleve uygun olarak tasarlanmış mekanizmadır. Hizmet robotları insanlar veya makineler için yararlı olan görevleri yerine getiren ve bunların aynı zamanda da o görev için güç enerji zaman kazancı sağlayan robotlardır [16]. Hizmet robotları gündelik yaşantımız sırasında birçok tekrarlayan işlerin olması ve bunların insan yaşamında ihtiyaç duyduğu rahatlıktan ortaya çıkmıştır. Sürekli tekrarlayan ev işlerinde; çim biçme,

havuz bakımı, ev süpürme veya bir işletme içerisinde insanların siparişlerini almak, malzeme getirip götürmek ya da yangın söndürme, kamuya açık alanlarda temizlik yapan robotlar gibi sürekli aynı tekrarlayan işleri yapan tam veya yarı otonom robotik sistemlerdir [17].

Eğitim ve araştırma robotları; eğitim sırasında öğrencilerin bir araya gelerek ihtiyaç duydukları doğrultuda tasarladıkları algoritması ve mekanizması bulunan istenilen sonuca doğru tepki verebilen robotik sistemlerdir [18].

Eğlence robotları; kişilerin isteklerine bağlı ve ihtiyaca yönelik değil eğlence maksatlı yapılan robotlardır.

Robotların genel olarak sınıflandırılması Şekil 2.3’de sunulmuştur.



Şekil 2.3 Robot kullanım türleri robotları

3. OTONOM ROBOTLAR

Robotiğin amaçlarından biri; insan müdahalesi olmadan veya daha az insan müdahalesi ile hareket edecek robotlar yapmaktır. Bir makine robot olması için algılayıcılarının da olması gerekmektedir. Otonom robotlar algılayıcıları sayesinde bulunduğu ortamdan gelen bilgiler doğrultusunda karar veren verilen görevi kendi kendine yapan robotlardır. Bu işi yerine getirmek için bulundukları konumdan aldıkları bilgiye göre kendi yönlerini bulabilirler ve karşısına çıkacak engellere takılmadan ve gideceği yere en asgari hata payı ile gidebilirler.

Bu araçlar çevreleri hakkında bilgi alarak tanımlama yapmak için; kamera, lazer, ultrasonik sensör, Global Positioning System (GPS) ve çeşitli diğer algılayıcılardan yardım alırlar. Otonom robotların içerisinde alınan verileri sentezleyebilmeleri için kontrol yazılımları mevcuttur, buraya gelen her veri sentezlenerek rota belirlenir ve çalışmaya başlar. Yoluna çıkabilecek her engelde rotayı her defasında arka planda güncellemeli ve gidilecek konuma sorunsuz bir şekilde gitmelidir. Otonom bir robotta olması istenilen özellikler [19];

- Çalıştığı ortamda çevresini algılayabilmesi,
- Kendi başına akıllı kararlar verebilmesi,
- Topladığı verileri bir ara yüz yardımı ile paylaşabilir özellikte olması.

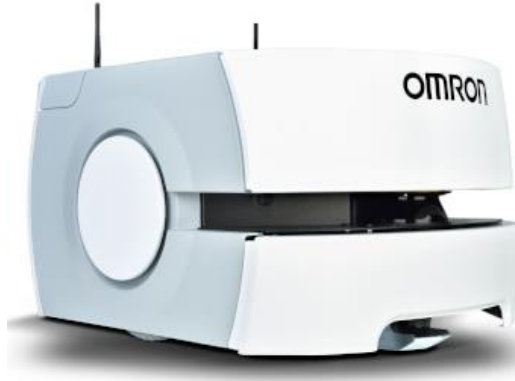
Günlük hayatımızda hemen hemen her alanda kullanılan otonom sistemler, 21. Yüzyıl için sanayinin dönüm noktası olarak adlandırılan Endüstri 4.0 içinde büyük bir yere sahiptir. Bu kapsamda robotların öğrenme kapasitesi, insanlarla ve çevresiyle etkileşme özelliği olacak şekilde kusursuz olacak şekilde otonom olmaları önem kazanmaktadır. Otonom bir kontrol sistemi sistemin güvenilirliği, kararlılığı, tepkilere göre değiştirilebilir bir yapıda olması, sistemin sonuçlarını kendi içinde sentezleyip çıktıları anlaşılabilir şekilde kullanıcıya bildirmesi gerekir. Tasarlanan robotun teknik özellikleri istenilen kontrol sistemini karşılamalı ve döngü içerisinde görevlerini yerine getirmelidir. İnsanlar günlük yapılan işler içerisinde öğrenme yetileri sayesinde tasvir edilen işi her gün aynı şekilde yapmazlar çünkü onda gördükleri eksiklikleri kendilerinin daha rahat çözümleyeceği şekilde yöntemler bulurlar bundan dolayıdır ki; otonom robotlardan da zaman içerisinde ilk verilen

parametrelerin değiştirerek daha etkin kontrol parametreleri elde etmesi beklenmektedir. Robotun kontrol yöntemi bulanık mantık denetleyicisi ile olmalı, kontrol ve hareketlerini kapalı döngü metodu ile sağlamalı ve konum kontörlü içerisinde bulunduğu belirsizlikler için bulanık mantık kullanmalıdır [20]. Otonom robotlar, gidilecek mesafe ve robot ile gidilecek konum arasındaki açığı bilmeleri hedeflenen konumu bulmaları için en temel iki parametredir. Otonom robotlar önceden belirlenmiş harita bilgilerine sahipler ise gidecekleri konumu mevcut sensörleriyle bulabilirler ancak yüklü bir harita bilgisi yoksa kullanıcıdan aldığı konumlar doğrultusunda konuma giderler. Otonom robotların görevlerini yerine getirebilmeleri için bulundukları konumları bilmeleri ve bu konuma göre mevcut haritayı çıkarmaları gerekmektedir. Eř zamanlı konumlandırma ve harita çıkarma adı verilen bu süreçte robotların daha önceden bilmedikleri bir ortamda bulunduğunda otonom olarak hareket edebilmesidir [21]. Sonuç olarak otonom robotlar bir kullanıcı tarafından komut alarak veya tamamen kendi kararını vererek tanımlanan işi yapabilen makinalardır.

3.1. Endüstriyel Otonom Mobil Robotlar

Endüstri alanında kullanılan ve otonom yapıya sahip otonom mobil robotlar son zamanlarda özellikle büyük işletmelerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu robotlar özellikle parça taşıma işlerinde kullanılmaktadır. Fabrika içinde kullanılan otonom mobil robotlar verimliliği arttırır, makine besleme süresini azaltır, hataları ortadan kaldırır, malzeme izlenebilirliğini arttırır. Bu sistemlerde yolun önceden planlanmasına gerek kalmadan dâhili bilgisayar ile kendi kendine haritalama yapabilmektedirler. Aşağıda bazı endüstriyel otonom robot örnekleri verilmiştir.

şekil 3.1’de LD serisi otonom akıllı araç “Autonomous Intelligent Vehicles” (AIV) Omron firması tarafından üretilen en gelişmiş mobil robotlardan biri gösterilmiştir. Fabrika içi operasyonlar için tasarlanmıştır [22].



Şekil 3.1 Omron mobil robot [22].

X80SV modeli DrRobot tarafından geliştirilmiş bir görüntüleme ve otonom navigasyon uygulamalarında araştırma ve geliştirme platformu Şekil 3.2’de gösterilmiştir [23].



Şekil 3.2 X80SV robotu [23].

Pioneer 3-DX modeli Adept Mobile Robots tarafından geliştirilmiş dünyanın birçok araştırma merkezinde kullanılan robotik araştırma platformu Şekil 3.3’te verilmiştir [24].



Şekil 3.3 Pioneer 3-DX robotu [24].

Youbot modeli endüstriyel robot üreticisi olan Kuka firması tarafından eğitim ve araştırma amaçları için tasarlanmış bir platformu Şekil 3.4’te verilmiştir [25].



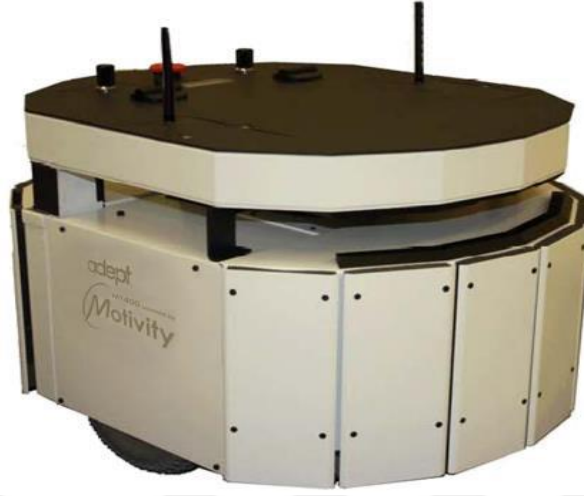
Şekil 3.4 Youbot robotu [25].

Freight modeli Fetch Robotics tarafından lojistik amaçlı uygulamalarda kullanılması için geliştirilmiş otonom bir robot Şekil 3.5’te verilmiştir [26].



Şekil 3.5 Freight robotu [26].

PatrolBot modeli Adept Mobile Robots firmasının geliştirdiği diferansiyel tekerlek sürme sistemi üzerine geliştirilmiş bir araştırma robotu şekil 3.6’da verilmiştir [27].



şekil 3.6 PatrolBot robotu [27].

PowerBot robotu Adept Mobile Robots firmasının geliştirdiği ağır yükler taşıyabilecek bir araştırma robot platformu şekil 3.7’de gösterilmiştir [28].



şekil 3.7 PowerBot robotu [28].

MIR-200(Mobile Industrial Robots) MIR firması tarafından geliştirilmiş olan ağır yükler taşıyabilecek otonom bir robot şekil 3.8’de sunulmuştur [29]. Bu firma 100 ile 500 kg arasında farklı taşıma kabiliyetine sahip mobil robotlarda üretmektedir.



Şekil 3.8 Mobile Industrial Robots firmasının MIR 200 modeli [29].

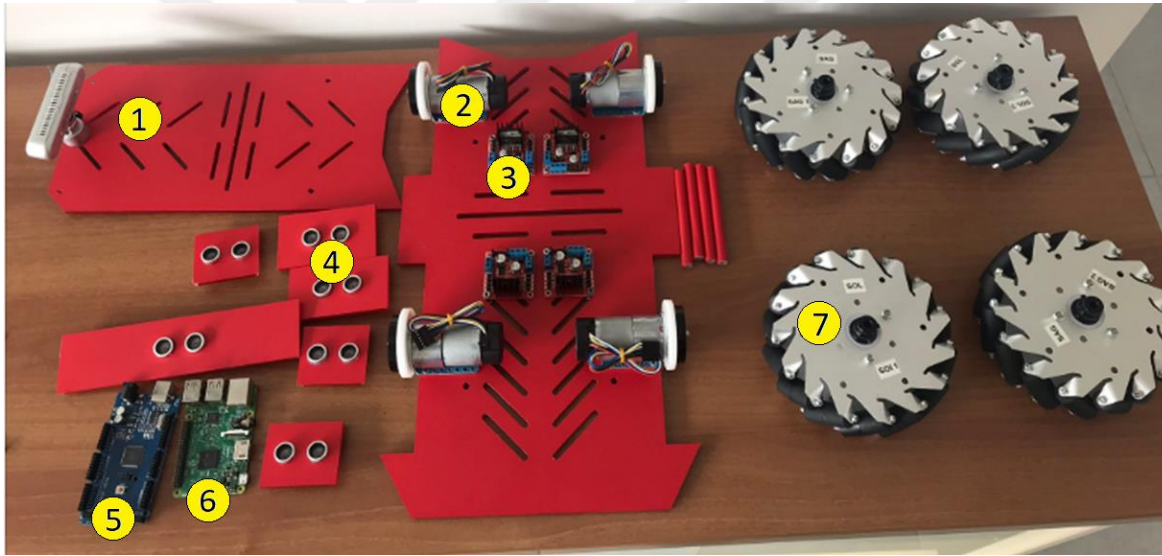
Vetex firması Omni-wheel mobil robot platformları geliştirmektedir. Bu robot platformlarından biri Şekil 3.9’da verilmiştir [30]. Standart yapının yansıra müşteriye özel tasarımlarda yapabilmektedirler. 400 kg ile 9000 kg arasında taşıma kapasitesine sahip platformlar geliştirebilmektedirler.



Şekil 3.9 Vetex firmasının RoboMate modeli [30].

4. DÖRT-YÖN TEKERLEKLİ MOBİL ROBOT TASARIMI

Otonom robotlar kendi kararlarını kendileri verebilen ve verilen işi hatasız yerine getirmesi gerekli olan cihazlar oldukları için tasarımları yapılmadan önce ortam şartları, çalışma alanları, yapacakları işin şekli, ortama ve işe uygun algılayıcılar ve tahrik sistemleri hesaplanarak en ergonomik şekilde tasarlanmaları gerekmektedir. Geliştirilecek robotun aynı zamanda modüler geliştirilebilir bir yapıya sahip olması gerekiyorken maliyetinin de fazla olmaması gerekmektedir. Bu tezde tasarlanan mobil robot; mekanik, elektronik ve yazılım kısmı olarak 3 ana başlıkta incelenmiştir. Tasarlanan robotun parçaları Şekil 4.1’de verilmiştir. (1) Robot üst gövdesi, (2) Motor-Encoder, (3) Motor sürücüsü, (4) Sonar sensörler, (5) Arduino Mega, (6) Raspberry pi, (7) Mecanum tekerlek

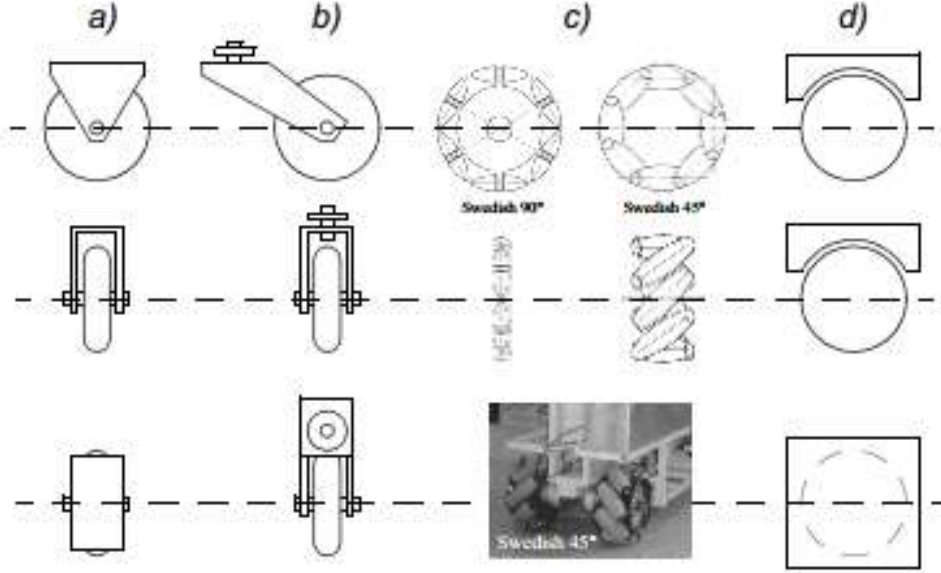


Şekil 4.1 Tasarlanan robotun parçaları

4.1. Mekanik Tasarım

Tasarlanan robot hareketli bir yapıya sahip olacağından dolayı bir hareket mekanizmasına ihtiyaç vardır. Hareketli olan mekanizmaların birçoğu hayvanlar veya insanlardan esinlenilerek yapılmaktadır. Ancak bu yapı gezgin robotlar için tam olarak böyle olmasa da enerji ile çalışan en büyük icatlardan biri tekerlekler kısmen yuvarlanma hareketi yaparak bir benzetim yapılabilir. Mekanik olarak tekerleğin uygulaması daha kolay olduğundan

dolayı gezgin robotlarda sıklıkla kullanılır. Mobil robotlarda Şekil 4.2’de gösterildiği gibi dört farklı tekerlek tipi tercih edilmektedir.



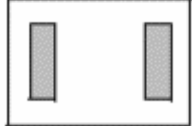
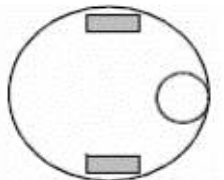
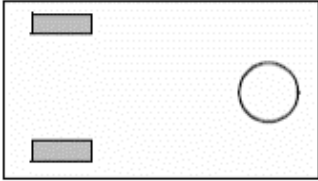
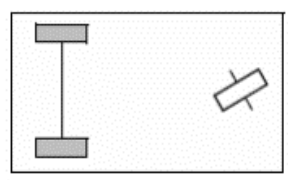
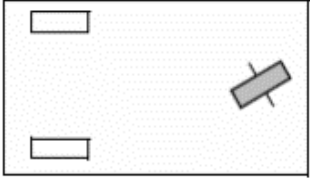
Şekil 4.2 Dört temel tekerlek tipi: (a) Standart tekerlek: serbestlik derecesi ikidir. (b) Nakliye tekerleği: serbestlik derecesi ikidir. (c) İsveç tekerleği: serbestlik derecesi üçtür. (d) Yuvarlak tekerlek: gerçekleştirme teknik açısından zordur.

Şekil 4.3’te verilen çizelgede gösterimi kullanılan her bir teker tipi ve ikonu gösterilmiştir.

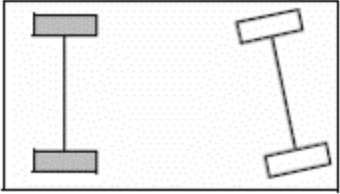
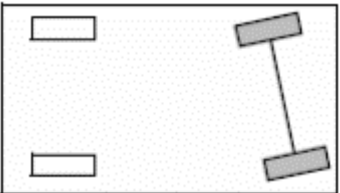
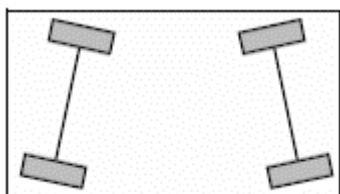
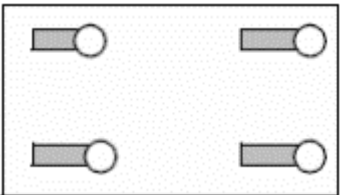
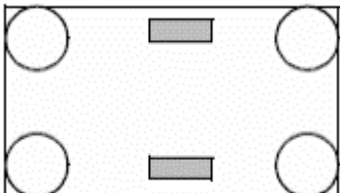
	Güç verilmemiş çok yönlü teker (Küresel, nakliye tekeri, İsveç tekeri)
	Motorlu İsveç tekeri (Stanford tekeri)
	Güç verilmemiş standart teker
	Motorlu standart teker
	Motorlu ve yön belirleyen tekeri
	Yön belirleyen standart teker
	Bağlı tekerler

Şekil 4.3 Tekerlek tipi ve ikonu

Bu tekerlek tipleri kullanılarak farklı mobil robot platformu geliştirebilir. Tekerlek düzeleri Şekil 4.4'te gösterildiği gibi farklı şekillerde kullanılabilir [31].

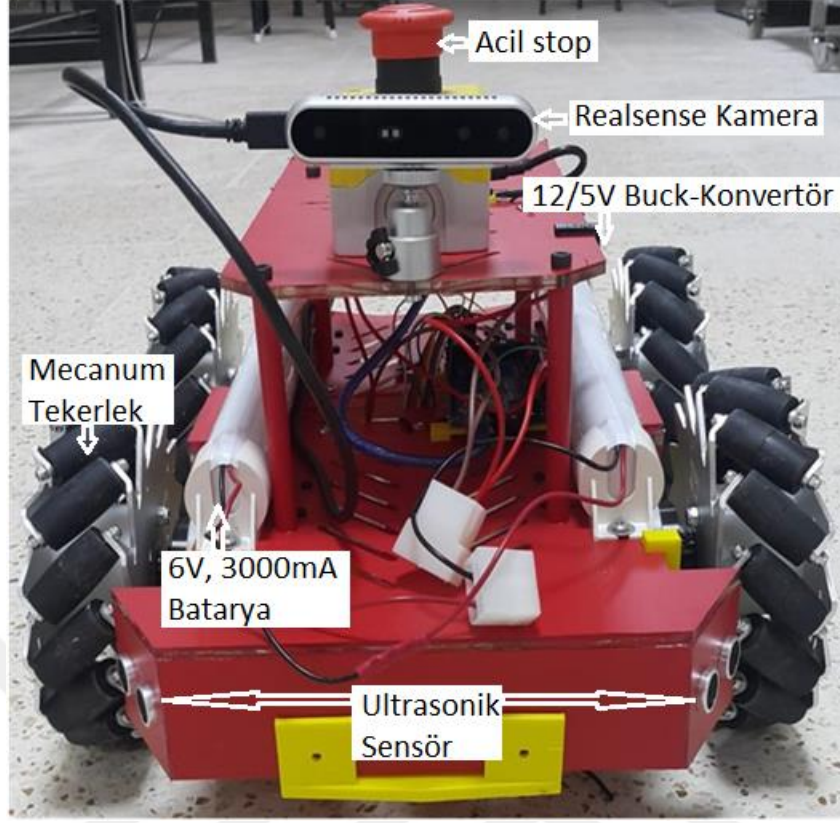
Teker sayısı	Teker düzeni	Açıklama	Örnek
2		Yön belirleyen bir ön teker, gövdeyi ön tekerin çektiği yöne sürükleyen bir arka teker var.	Bisiklet, Motorsiklet
		İki teker bir mile bağlıdır, ağırlık merkezi milin orta noktasındadır.	
3		Önde bir teker, arkada farklı sürüş merkezleri olan iki teker bulunmaktadır.	
		Önde çok yönlü bir teker, arkada iki bağımsız teker vardır.	Çoğu kapalı ortam robotları (Pygmalion ve Alice)
		Önde yön veren bir teker, arkada bir mille birbirine bağlı iki ayrı teker vardır.	
		Önde yön veren bir teker, arkada iki teker vardır.	Neptune (Carnegie Mellon Üniversitesi)
		Bir üçgen düzenine oturtulmuş üç adet çok yönlü İsveç tekeri veya küresel teker.	Tribolo EPFL, Palm Pilot Robot Kit (Carnegie Mellon Üniversitesi)

Şekil 4.4 Tekerlekli taşıtlarda tekerlek konfigürasyonu örnekleri (devam)

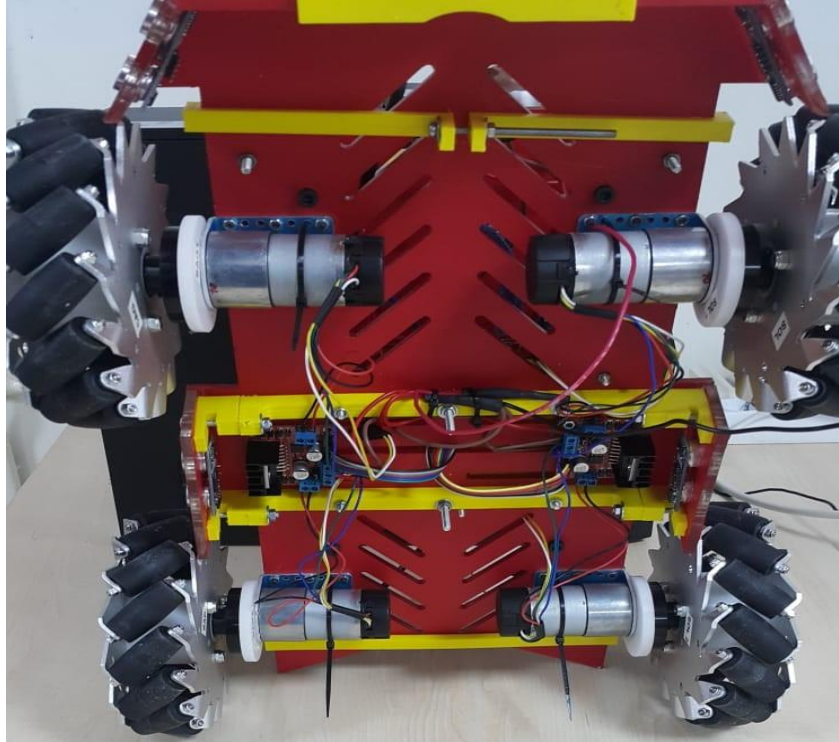
4		Önde yön veren iki teker, arkada motorlu iki teker bulunmaktadır.	Arkadan sürüşlü arabalar
		Önde iki motorlu ve yön veren teker, arkada iki serbest teker vardır.	Önden sürüşlü arabalar
		Dört adet yön belirleyen motorlu teker vardır.	Dört tekerli sürüşe sahip Hyperion (Carnegie Mellon Üniversitesi)
6		Dört adet motorlu ve yön belirleyen taşıyıcı tekerler vardır.	Nomad XR4000
		Merkezde iki adet çekici (sürükleyici) teker, her köşede birer tane çok yönlü teker vardır.	Terregator (Carnegie Mellon Üniversitesi)

Şekil 4.4 Tekerlekli taşıtlarda tekerlek konfigürasyonu örnekleri [31].

Bu tez çalışmasında 4 tekerlekli bir mecanum-tekerlek sistemi kullanılmıştır. Bu sayede robot istenilen her yöne direksiyon olmaksızın hareket edebilmektedir. Ayrıca minimum yüzey sürtünmesi sayesinde 0-360 derece arasında istenilen pozisyona yönlendirilebilir. Robot x yönünde veya y yönünde birbirinden bağımsız olarak hareket etme kabiliyetine sahip olmasından dolayı fabrika içerisinde dar alanda kolaylıkla dönebilecektir. 4 mecanum tekerlek kullanılarak yapılmıştır. Tekerleklerin yerleşimi Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterildiği gibidir.

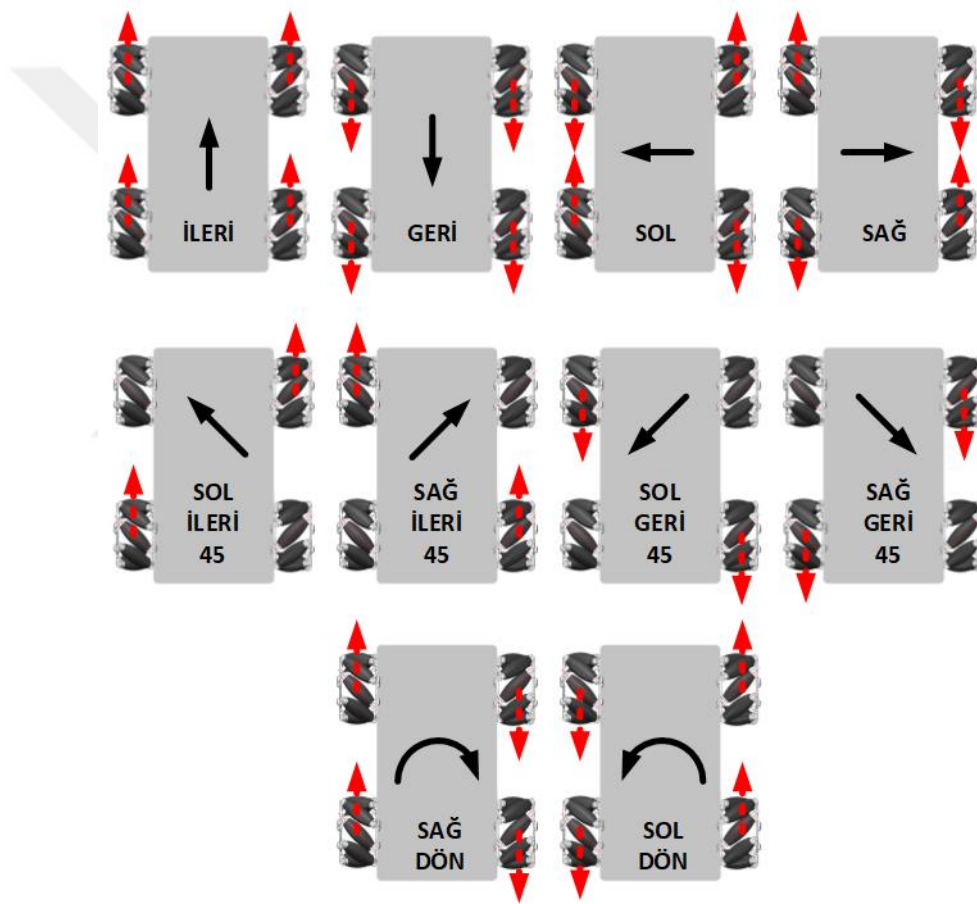


Şekil 4.5 Prototip mobil robotun önden görünüşü



Şekil 4.6 Prototip mobil robotun alttan görünüşü

Robotun 4 tekerleği bir birinden bağımsız hareket ettirilerek Şekil 4.7’de gösterildiği şekilde 10 farklı temel hareketi yapabilmektedir. Örneğin tüm tekerlekler aynı yönde döndüğünde robot tekerleklerle aynı yönde hareket etme eğiliminde olmaktadır. Ancak sağ ve sol tekerlekler birbirine karşılıklı olarak zıt yönde döndürüldüğünde iç tarafa dönen tekerlekler yönünde hareket ederek sağa veya sola kayarak hareket edebilmektedir. Bu robotun en önemli avantajlarından biri bu hareketi gerçekleştirebilmesidir. Ayrıca 45°’lik açılarla ileri sol-sağ veya geri sol-sağ hareketleri de yapabilmektedir. Diferansiyel robotların avantajı olan durduğu yerde z-ekseninde dönebilme özelliğine de sahiptir.



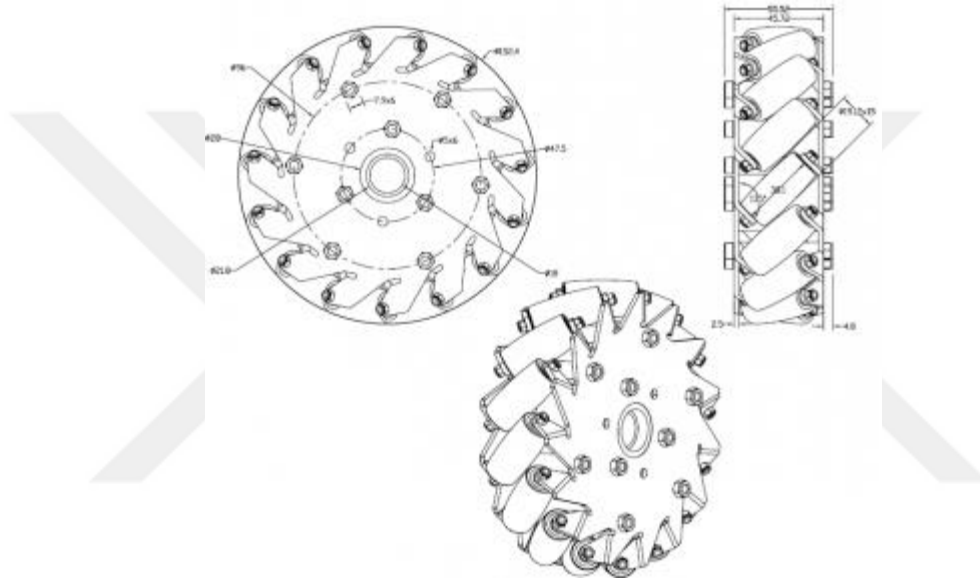
Şekil 4.7 Tekerlek dönüş yönlerine göre robotun hareketi

4.2. Kinematik Model

İlon çarkı ve İsveç çarkı olarak da adlandırılan mekanik çark, 1973 yılında İsveçli bir mühendis olan Bengt Ilon tarafından icat edilen daha yaygın birçok yönlü tekerlek tasarımlarıdır [32]. Bu tasarımda, Omni tekerleğine benzer şekilde, göbeğe bağlanan ancak göbeğin çevresi etrafında 45 derecelik bir açıya sahip olan yine de tekerleğin genel yan

profili dairesel olan bir dizi serbest hareketli silindir bulunmaktadır. Mecanum tekerlek dizaynı için Şekil 4.8’de gösterilmiştir [33].

Dört yönlü tabanın köşelerine dört Mecanum jant monte edilerek çok yönlü harekete ulaşılabilir. Açılı silindirler nedeniyle, mekanik tasarım çok daha zordur, ancak temas yüzeylerinin daha yumuşak bir şekilde taşınması nedeniyle daha yüksek yükler desteklenebilir [34].



Şekil 4.8 Mecanum tekerlek tasarımı

Burada anlatılan mecanum tekerlekler ve dört tekerle birlikte kullanılan platform kinematik denklemleri hesaplanmaktadır. Robotun yönü değişmeden 10 farklı yönde hareket ettirilebilmektedir. Esas olarak normal tekerlek kullanılarak yapılan sistemlerde karmaşılaştırılmış bir dönme düzenekleri kullanılmaktadır. Buda sistemin daha karmaşık bir hal alarak kontrolün ve mekanizmayı zorlaştırmaktadır. Mecanum tekerlerle bu işlem daha basit bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Her bir tekerleğin dönme kuvvetini normal tekerleklere benzer bir yöne uygulayarak çalışırlar. Mecanum diferansiyellenebilir sistemler istenilen bir yönde serbestçe kayabilme yetilerine sahiptirler bu tekerlek sistemlerin kullanılmasındaki en büyük avantaj gerçekte bir dönme olmamasına rağmen istenilen yönde en hızlı hareketin sağlanmasıdır [35].

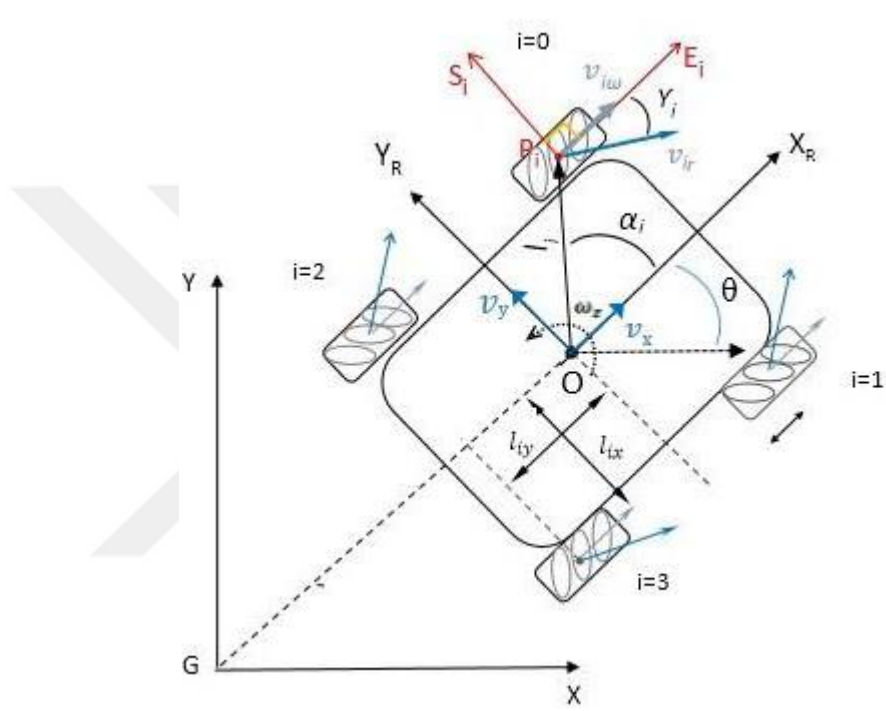
Giriş

- Tekerlek hızı $[\omega_1; \omega_2; \dots; \omega_N]$ rad/s cinsinden

Çıkışlar

- Lineer vektör v_x ve v_y , m/s cinsinden
- Açısal vektör ω , rad/s cinsinden

Dört yönlü tekerleğe sahip bir robotun konfigürasyonunu Şekil 4.9'da göstermektedir.

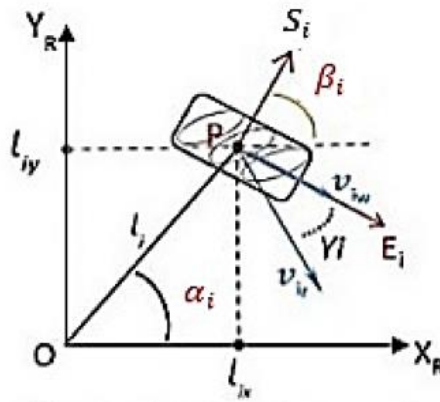


Şekil 4.9 Tekerleklerin yapılandırılması ve Postür tanımı

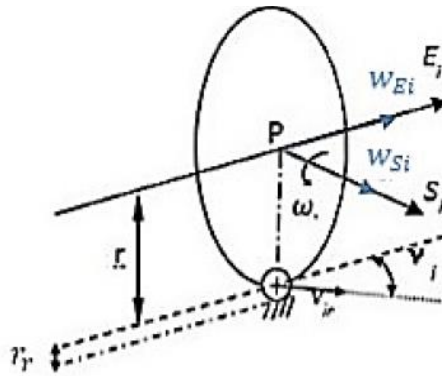
Konfigürasyon parametreleri ve sistem hızları aşağıdaki gibi tanımlanır:

- x, y, θ , robotun konumu (x, y) ve yön açısı θ (X ve X_R arasındaki açı);
- X, Y , atalet çerçevesi; x, y , atalet temelinde referans noktasının O koordinatlarıdır;
- Robotun taban çerçevesi; gövdenin merkezinin hareketi ile ilişkili kartezyen koordinat sistemi;
- $S_i P_i E_i$, tekerleğin tekerlek merkezindeki koordinat sistemini P_i ;
- Robotun çerçevesindeki atalet temelini O, P_i , ve $\text{wheel} = \{X P_i, Y P_i\}$ tekerleğin dönme ekseninin ortası i ;
- Robot, Robot'un merkezi ile tekerleğin merkezi arasındaki mesafeyi gösteren bir vektördür;

- l_{ix} , l_{iy} , l_{ix} , ön tekerlekler arasındaki mesafenin yarısı ve ön tekerlek ile arka tekerlekler arasındaki mesafenin yarısı.
- l_i , tekerlekler ve taban arasındaki mesafe (robotun O merkezi);
- r_i , tekerleğin yarıçapını gösterir i (tekerleğin ortasına merdane merkezinin uzaklığı)
- rr , tekerlekler üzerindeki silindirlerin yarıçapını gösterir.
- P_i , $O P_i$ ve X_R arasındaki açı;



Şekil 4.10 Tekerleğin i anı için robotun koordinatı



Şekil 4.11 Tekerleğin i . an hareketi prensibi

Şekil 4.11'e göre, tekerleğin hızını ve tekerleğe bağlı serbest silindirin teğet hızını zemine temas ederek hesaplayabiliriz:

$$v_{ir} = \frac{1}{\cos 45} r_r \omega_i, \quad w_{Ei} = r_i \omega_i \quad [36], \quad i = 0,1,2,3 \quad (4.1)$$

Şekil 4.11'e göre ve Denklem 4.1 dikkate alarak, $S_i P_i E_i$ çerçevesindeki çarkın vektörel hızı aşağıdakilerden türetilerek Denklem 4.2'deki gibidir.

$$v_{S_i} = v_{ir} \sin \Upsilon_i,$$

$$v_{E_i} = \omega_i r_i + v_{ir} \cos \Upsilon_i$$

$$\begin{bmatrix} v_{S_i} \\ v_{E_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \sin \Upsilon_i \\ r_i & \cos \Upsilon_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_i \\ v_{ir} \end{bmatrix} = w_{iT_{P_i}} \begin{bmatrix} \omega_i \\ v_{ir} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

i . tekerleğin hızlarından merkeze dönüşüm matrisi Denklem 4.3'te gösterilmiştir.

$$w_{iT_{P_i}} = \begin{bmatrix} 0 & \sin \Upsilon_i \\ r_i & \cos \Upsilon_i \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'a göre, hızın XROYR koordinat sistemine çevrilen tekerlek merkezi Denklem 4.7 ile elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} v_{iX_R} \\ v_{iY_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta_i & -\sin \beta_i \\ \sin \beta_i & \cos \beta_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{S_i} \\ v_{E_i} \end{bmatrix} = w_{iT_{P_i}} P_{iT_R} \begin{bmatrix} \omega_i \\ v_{ir} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Daha sonra, i . tekerleğinin merkezinden robot koordinatının sistemine dönüştürme matrisi, Denklem 4.5'den elde edilebilir.

$$P_{iT_R} = \begin{bmatrix} \cos \beta_i & -\sin \beta_i \\ \sin \beta_i & \cos \beta_i \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Robotun hareketi düz olduğundan;

$$\begin{bmatrix} v_{iX_R} \\ v_{iY_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -l_{iy} \\ 0 & 1 & l_{ix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ \omega \end{bmatrix} = T' \begin{bmatrix} v_{X_R} \\ v_{Y_R} \\ \omega_R \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Buradan:

$$T' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -l_{iy} \\ 0 & 1 & l_{ix} \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Denklem 4.3 ve Denklem 4.5'ten, Denklem 4.8'deki ters kinematik model elde edilebilir:

$$w_{iT_{P_i}} P_{iT_R} \begin{bmatrix} \omega_i \\ v_{ir} \end{bmatrix} = T' \begin{bmatrix} v_{X_R} \\ v_{Y_R} \\ \omega_R \end{bmatrix}, i = 0,1,2,3 \quad (4.8)$$

$$A_{Sri} \neq 0, 0 < |\Upsilon_i| < \pi/2, \det(P_{iT_R}) \neq 0, \det(w_{iT_{P_i}}) \neq 0$$

Bu nedenle, Denklem 4.4 ve Denklem 4.6 birleştirilirse robotun taban hızı (O noktasında) tekerleğin dönme hızı Denklem 4.9 ile elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \omega_i \\ v_{ir} \end{bmatrix} = w_{iT_{P_i}}^{-1} \cdot P_{iT_R}^{-1} \cdot T' \begin{bmatrix} v_{X_R} \\ v_{Y_R} \\ \omega_Z \end{bmatrix}, i = 0,1,2,3 \quad (4.9)$$

Denklem 4.3 ve Denklem 4.4'e göre, her bir robotun tekerlek çerçevelerindeki ve merkezi arasındaki değişkenler arasındaki Denklem 4.10 ve Denklem 4.11'de elde edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} v_{X_R} \\ v_{Y_R} \\ \omega_Z \end{bmatrix} = T^+ \begin{bmatrix} \omega_i \\ v_{ir} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$\begin{bmatrix} \omega_i \\ v_{ir} \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} v_{X_R} \\ v_{Y_R} \\ \omega_Z \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Nerede $T = w_{iT_{P_i}}^{-1} \cdot P_{iT_R}^{-1} \cdot T'$, $T^+ = (T^T T)^{-1} T^T$

$$T = \begin{bmatrix} \cos \beta_i & -\sin \beta_i \\ \sin \beta_i & \cos \beta_i \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 & \sin Y_i \\ r_i & \cos Y_i \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & -l_{iy} \\ 0 & 1 & l_{ix} \end{bmatrix}$$

$l_{ix} = l_{icosai}$ ve $l_{iy} = l_{i sinai}$ değerlerini dikkate alarak ve tekerleklerin aynı boyutta olduğunu varsayarak, dönüşüm matrisi Denklem 4.12 ve Denklem 4.13'teki gibi elde edilir.

$$T = \frac{1}{-r} \begin{bmatrix} \frac{\cos(\beta_i - y_i)}{\sin(y_i)} & \frac{\sin(\beta_i - y_i)}{\sin(y_i)} & \frac{l_i \sin(-\alpha_i + \beta_i - y_i)}{\sin(y_i)} \\ -\frac{r \cos(\beta_i)}{\sin(y_i)} & -\frac{r \sin(\beta_i)}{\sin(y_i)} & -\frac{l_i \sin(-\alpha_i + \beta_i) r}{\sin(y_i)} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

$$T^+ = \frac{1}{l_i^2 + 1} \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} (l_i^2 \sin(\beta_i) - l_i^2 \sin(-\beta_i + 2\alpha_i) + 2 \sin(\beta_i)) r \\ \frac{1}{2} (l_i^2 \cos(\beta_i) - l_i^2 \cos(-\beta_i + 2\alpha_i) + 2 \cos(\beta_i)) \\ \cos(\alpha_i - \beta_i) l_i r \\ \dots\dots\dots \\ \frac{1}{2} l_i^2 \sin(y_i - \beta_i + 2\alpha_i) - \frac{1}{2} \sin(-y_i + \beta_i) l_i^2 - \sin(-y_i + \beta_i) \\ -\frac{1}{2} l_i^2 \cos(y_i - \beta_i + 2\alpha_i) + \frac{1}{2} \cos(-y_i + \beta_i) l_i^2 + \cos(-y_i + \beta_i) \\ \cos(\alpha_i - \beta_i + y_i) l_i \\ \dots\dots\dots \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Her bir eklemden bağımsız değişkenler ile sistem açısal ve doğrusal hızları arasında bir ilişki

olduğu için, zeminde tekerlek kayması olmadığı varsayıldığında, sistem ters kinematığı Denklem 4.14 ile elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} = \frac{-1}{r} \begin{bmatrix} \frac{\cos(\beta_1 - \gamma_1)}{\sin \gamma_1} & \frac{\sin(\beta_1 - \gamma_1)}{\sin \gamma_1} & \frac{l_1 \sin(\beta_1 - \gamma_1 - \alpha_1)}{\sin \gamma_1} \\ \frac{\cos(\beta_2 - \gamma_2)}{\sin \gamma_2} & \frac{\sin(\beta_2 - \gamma_2)}{\sin \gamma_2} & \frac{l_2 \sin(\beta_2 - \gamma_2 - \alpha_2)}{\sin \gamma_2} \\ \frac{\cos(\beta_3 - \gamma_3)}{\sin \gamma_3} & \frac{\sin(\beta_3 - \gamma_3)}{\sin \gamma_3} & \frac{l_3 \sin(\beta_3 - \gamma_3 - \alpha_3)}{\sin \gamma_3} \\ \frac{\cos(\beta_4 - \gamma_4)}{\sin \gamma_4} & \frac{\sin(\beta_4 - \gamma_4)}{\sin \gamma_4} & \frac{l_4 \sin(\beta_4 - \gamma_4 - \alpha_4)}{\sin \gamma_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ \omega_Z \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

Denklem 4.15, sistemin ters kinematik için Jacobian matrisini gösterir.

$$T = \frac{-1}{r} \begin{bmatrix} \frac{\cos(\beta_1 - \gamma_1)}{\sin \gamma_1} & \frac{\sin(\beta_1 - \gamma_1)}{\sin \gamma_1} & \frac{l_1 \sin(\beta_1 - \gamma_1 - \alpha_1)}{\sin \gamma_1} \\ \frac{\cos(\beta_2 - \gamma_2)}{\sin \gamma_2} & \frac{\sin(\beta_2 - \gamma_2)}{\sin \gamma_2} & \frac{l_2 \sin(\beta_2 - \gamma_2 - \alpha_2)}{\sin \gamma_2} \\ \frac{\cos(\beta_3 - \gamma_3)}{\sin \gamma_3} & \frac{\sin(\beta_3 - \gamma_3)}{\sin \gamma_3} & \frac{l_3 \sin(\beta_3 - \gamma_3 - \alpha_3)}{\sin \gamma_3} \\ \frac{\cos(\beta_4 - \gamma_4)}{\sin \gamma_4} & \frac{\sin(\beta_4 - \gamma_4)}{\sin \gamma_4} & \frac{l_4 \sin(\beta_4 - \gamma_4 - \alpha_4)}{\sin \gamma_4} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

Denklem 4.10'a göre ileri kinematik denklemi Denklem 4.16'da gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} v_{X_R} \\ v_{Y_R} \\ \omega_Z \end{bmatrix} = T^+ \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

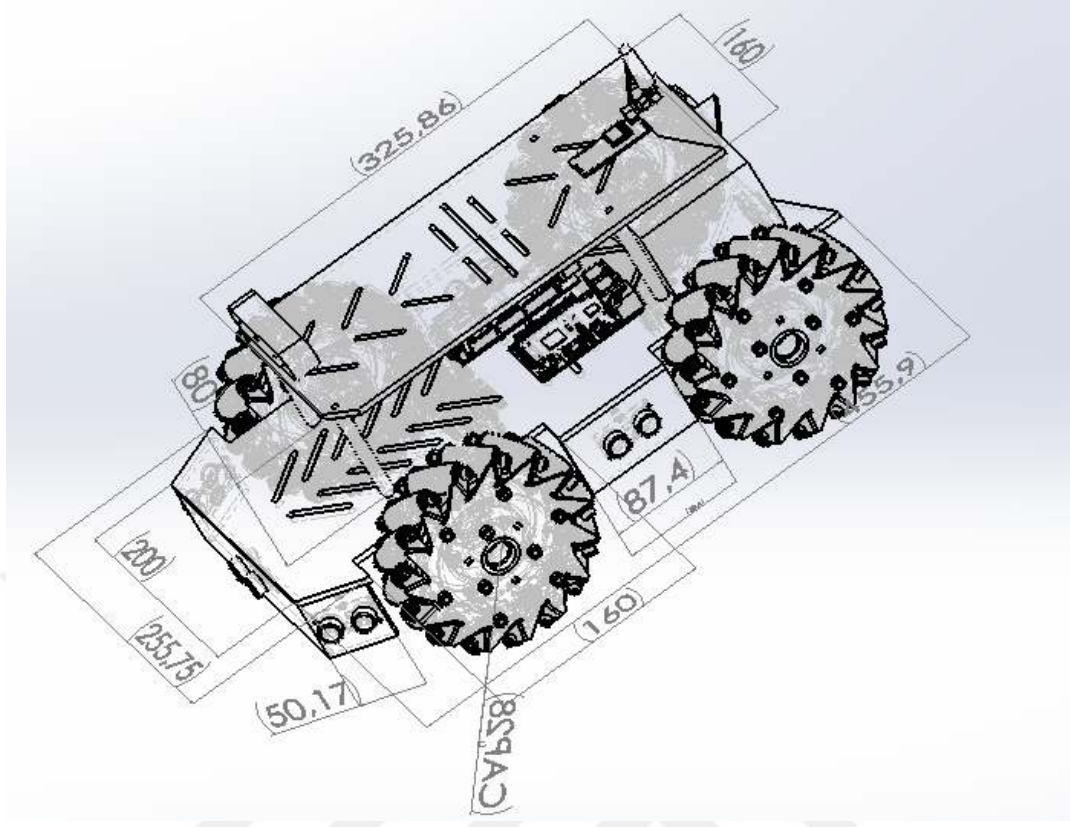
4.2.1. İleri Kinematik

İleri kinematik denklemi Denklem 4.17'deki gibi matris formunda ifade edilebilir.

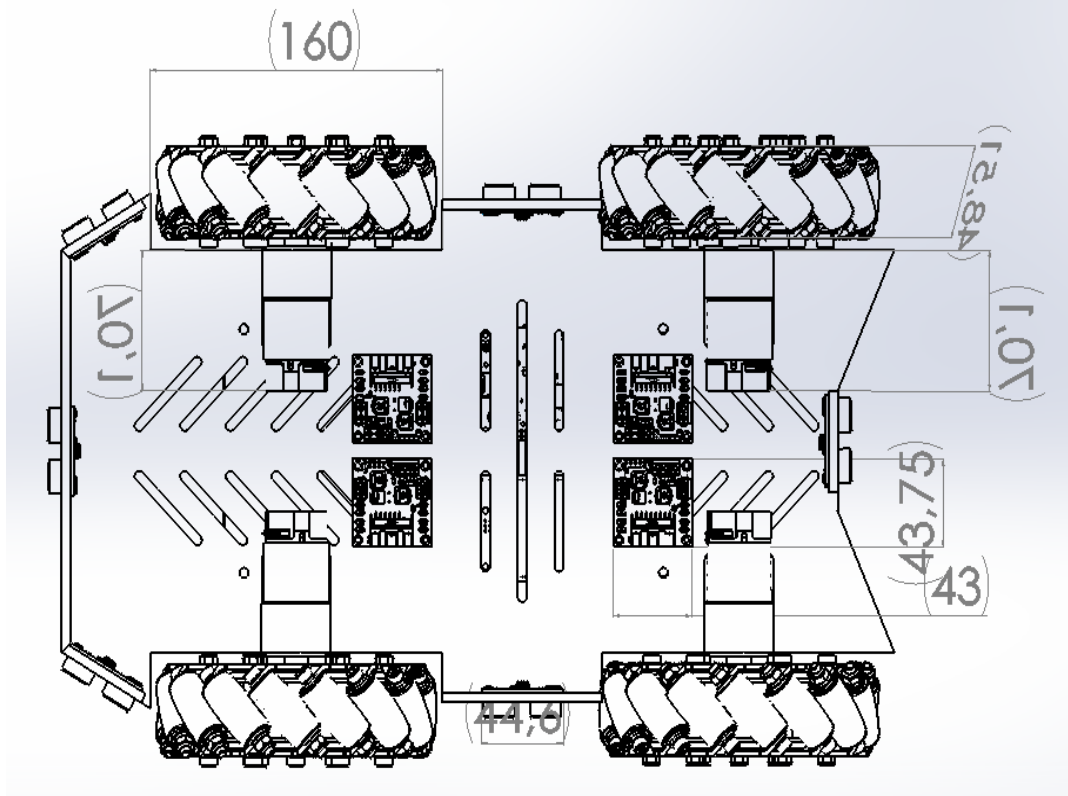
$$\begin{bmatrix} v_X \\ v_Y \\ \omega \end{bmatrix} = \frac{R}{N} \begin{bmatrix} \cos(\alpha_1) & \cos(\alpha_2) & \cdots & \cos(\alpha_N) \\ \sin(\alpha_1) & \sin(\alpha_2) & \cdots & \sin(\alpha_N) \\ \frac{1}{D_1} & \frac{1}{D_2} & \cdots & \frac{1}{D_N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_N \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_N \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

D_i tekerlek çevirme eksenine göre dik mesafedir.

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te tasarlanan robotun Solidworks çizimleri ve ölçüleri bulunmaktadır.



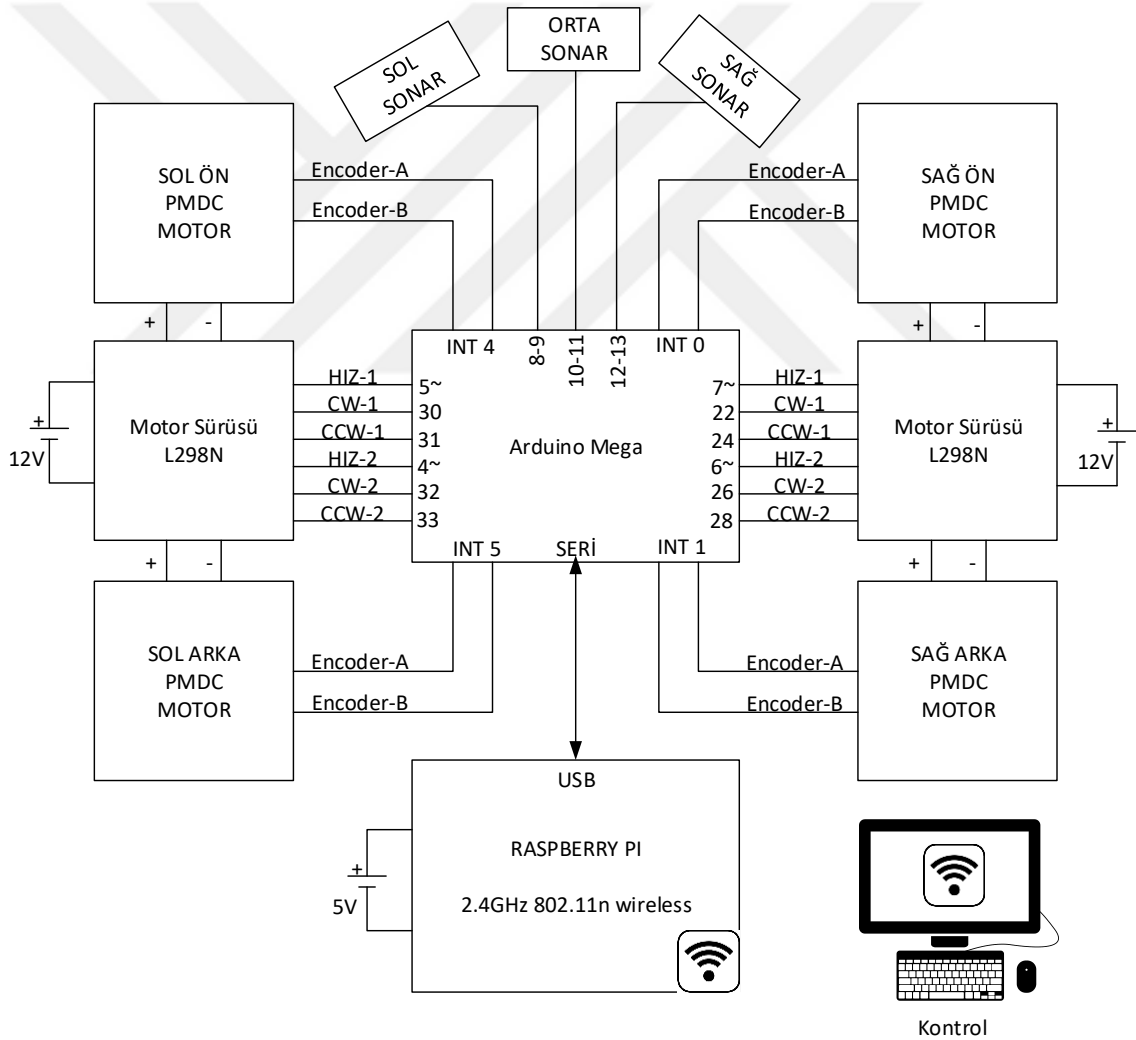
Şekil 4.12 Robotun Solidworks perspektif görünümü ve ölçüleri



Şekil 4.13 Robotun Solidworks alttan görünümü ve ölçüleri

4.3. Elektronik Tasarım

Tasarlanan Mobil Robota ait bağlantı blok şeması Şekil 4.14'te verilmiştir. L298N motor sürücü iki adet motoru sürebildiğinden dolayı 4 motor 2 sürücü ile sürülebilmektedir. Motor sürücüsü 12V ile beslenmiştir. Ancak sürücü 46V, 2A maksimum değerlere sahiptir. Hız ve yön ayarları uçları Şekilde gösterildiği Arduino pinlerine bağlanmıştır. Burada hız ayarının PWM çıkışlarına bağlanması gerekmektedir. Yön pinleri ise herhangi bir dijital çıkışa bağlanabilir. Ayrıca motor yönlerini ölçmek için motor millerine bağlı olan encoderler kullanılmıştır. Encoder palslarını sayabilmek için Arduino kesme girişleri kullanılmıştır.



Şekil 4.14 Tasarlanan mobil robota ait bağlantı blok şeması

4.4. Yazılım

Yazılım tasarlanan sistemlerin algılayıcılarından gelen ham bilgilerin işlenmesiyle tahrik sistemlerine hareket verilmesini sağlayana sistemin algoritmalar bütünüdür. Yapılması planlanan projede açık kaynak kotlarının kullanılması öngörüldüğü için ROS kullanılması düşünülmektedir.

4.4.1. ROS

ROS robotların yazılımları için; yazılım geliştiricilere robot uygulamaları oluşturmaya yardımcı olmak için kütüphaneleri ve araçları sağlar. Robotlar için tam bir yazılım omurgasıdır. ROS kullanıcıya değişim özüllüğü tanıyan yazılımdır. ROS'u kullanabilmemiz için Linux tabanlı bir işletim sistemine ihtiyaç olacak ve bunu Raspberry Pi sağlayacaktır. ROS'un ilk çalışmaları 2007'de Standford AI Robot desteğinde Standford Üniversitesi'nde başlamış, sonrasında tasarım Willow Garage firması tarafında devam edilmiştir. ROS işletim sistemi gibi bir görev üstlenirken diğer yandan paket yönetimi, başka bilgisayar işlemleri arasında mesaj alış-verişi ve aşağı seviye aygıt kontrolü gibi görevleri de sağlamaktadır [37]. ROS'un haberleşme topolojisi peer-to-peer ağ yapısını içermektedir. Peer-to-peer ağ yapısının ihtiyaç duyduğu eşlerin ve birbirleriyle ilişkilerinin tutulduğu tablo için ROS'ta XML-RPC'i içeren master olarak isimlendirilen yapı kullanılmaktadır. ROS sisteminin bazı uygulama alanları aşağıdaki gibidir;

- Robot ağıları
- Nesne tanıma
- Hareket takibi
- Stereo görüntü sağlama
- Yer saptama ve haritalama
- Bulut robotik
- Hareket tanıma

ROS sisteminin bazı ana üstünlükleri aşağıdaki gibidir;

- Noktadan noktaya topoloji uygulaması
- Bilgisayar hafızasından fazla yer kaplamaması
- İşletim sistemini yormayarak diğer programlarında çalışmasına izin vermesi
- Açık kod ve ücretsiz olması
- Herhangi bir grafik ara yüze ihtiyaç duymaz

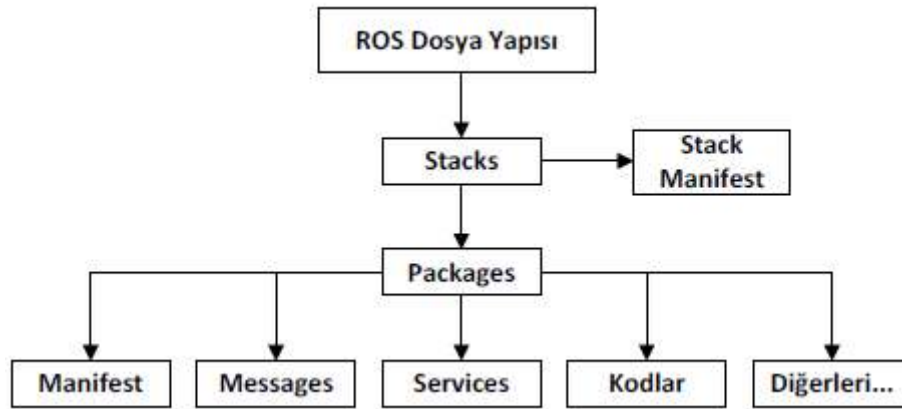
ROS mimarisi dört ana başlıktan oluşur bunlar; mesaj, servis, topik ve düğüm olmak üzere dört ana başlıktan oluşmaktadır. Düğümler arasındaki haberleşme mesajlar üzerinden, mesajlar topikler üzerinden, topikler publish/subscribe yapısından haberleşmektedirler. Topikler bu sebepten asenkron dolayı haberleşme sağlamaktadırlar. Topikler değil de servisler kullanılsaydı eşzamanlı bir haberleşme olurdu.

4.4.2. ROS mimarisi

ROS ile çalışan proseslerin haberleşmesinden daha öncede bahsedildiği gibi peer-to-peer yapısında gerçekleşir. Prosesler arasında haberleşme ise eşzamanlı ve asenkron olarak iki farklı tipte önümüze çıkmaktadır. ROS mimarisi dosya sistemi ve işlevsel yapı olarak ikiye ayrılır [38-46].

4.4.3. ROS dosya sistemi

ROS yapısını paketler oluşturmaktadır. Paketlerde kendi içlerinde alt gruplara ayrılmaktadırlar. Paketler birleşerek yığınları oluştururlar. Şekil 4.15’de verilen dosya sistemi anlaşılmaktadır.



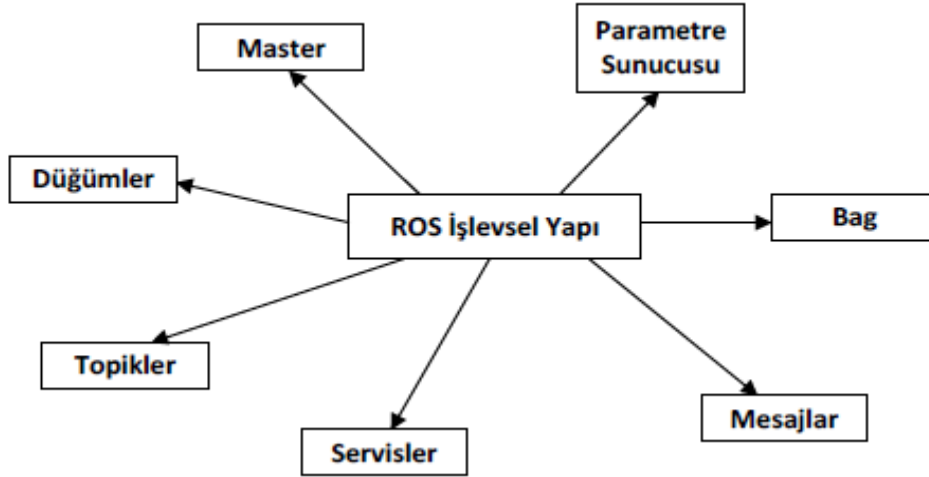
Şekil 4.15 ROS dosya sistemi

- **Paketler (Packager):** ROS’un ana mimarisini oluştururlar.
- **Manifesto (Manifest):** ROS’u oluşturan paketlerin lisans bilgilerini, bağımlılıklar derleyici bayrakları gibi bilgiler içerir.
- **Mesaj (Messages):** Çok sayıda tanımlanmış mesaj tipleri vardır. Daha öncede bahsedildiği üzere düğümler arasındaki haberleşmeyi mesajlar sağlamaktadırlar.

- **Servis (Services):** ROS üzerindeki servislerin haberleşmesini sağlarlar.
- **Yığınlar (Stacks):** Amaçlarını aynı olan paketler bir araya gelerek yığınları oluştururlar.
- **Yığın Manifestoları (Stack Manifest):** paketler için manifestolar ne anlama gelmekte ise yığınlar içinde yığın manifestosu aynı görevi üstlenmektedir. Yığınların lisans, bağımlılık gibi bilgilerini içermektedir.

4.4.4. ROS işlevsel yapısı

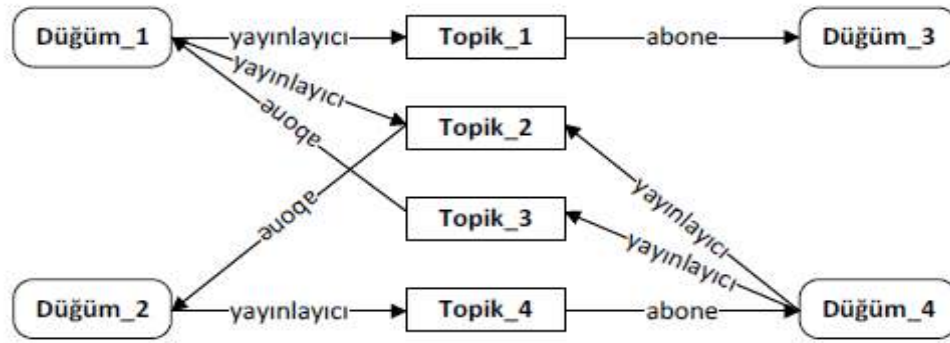
ROS bütün birimleri arasında gerçekleşen haberleşme işlevsel yapısını oluşturmaktadır. Şekil 4.16'da bu yapı görülmektedir.



Şekil 4.16 ROS işlevsel yapısı

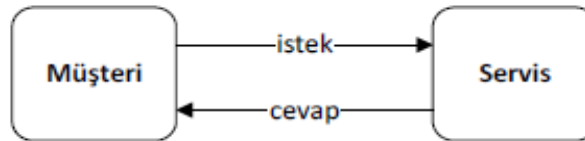
- **Düğüm (Nodes):** Hesaplamaların gerçekleştirildiği proseslerdir. Modüler bir yazım mimarisi elde etmek için düğümler kullanılır. Düğümler arasındaki haberleşme ROS ağı kullanılarak yapılır.
- **Master:** ROS için isim ve kayıt servsidir. ROS ortamındaki düğümlerin port bilgileri, haberleşmedeki mesaj bilgileri gibi bilgiler bünyesinde barındırmaktadır. Master olmazsa düğümler birbirini bulamamakta, mesaj alışverişi yapamamakta ya da servisleri çağıraramamaktadır.
- **Parametre Sunucusu (Parameter Server):** Parametre Sunucusu düğüm parametrelerinin merkezi bir ortamda tutan ROS servsidir. ROS Master içerisinde çalışmakta, düğümler çalışırken parametre değişikliği yapılması da parametre sunucu sayesinde gerçekleşir.

- **Mesajlar:** Düğümlerin haberleşmelerinin mesajlar üzerinden olduğunu daha önceden söylenmişti. Bir mesaj diğer düğüme gönderilecek bilgileri içerir. Standart olarak tanımlanmış mesaj tipleri bulunmaktadır. Bunların dışında özel mesaj tipleri de tanımlanabilir.
- **Topikler:** Düğümler arasındaki haberleşmeler mesajlar yayımla/ abone ol yapısında gerçekleşmektedir. Topik mesajın içeriğini tanımlamak için kullanılan isimdir. Şekil 4.17’de gösterildiği gibi bir düğüm mesaj göndereceği zaman topiğe mesaj yayımlamakta, okuyacağı zamanda topiğe abone olmaktadır.



Şekil 4.17 ROS düğüm ve topik ilişkisi

- **Servisler:** Yayımla/abone ol modeli esnek bir haberleşme paradigmasıdır ve dağıtık sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.18’de verildiği gibi iki düğüm arasında istek/cevap şeklinde senkron bir yapı kurulmak istenildiğinde servisler kullanılmıştır. Servis modelinde bir istek ve bu isteğe karşılık sadece bir cevap bulunmaktadır.



Şekil 4.18 ROS servis yapısı

- **Bags:** bilgilerin kaydedilmesini sağlayan, gerek duyulması halinde tekrardan oynatılması sağlayan birimdir.

4.4.5. ROS'un Kullanılma Amacı

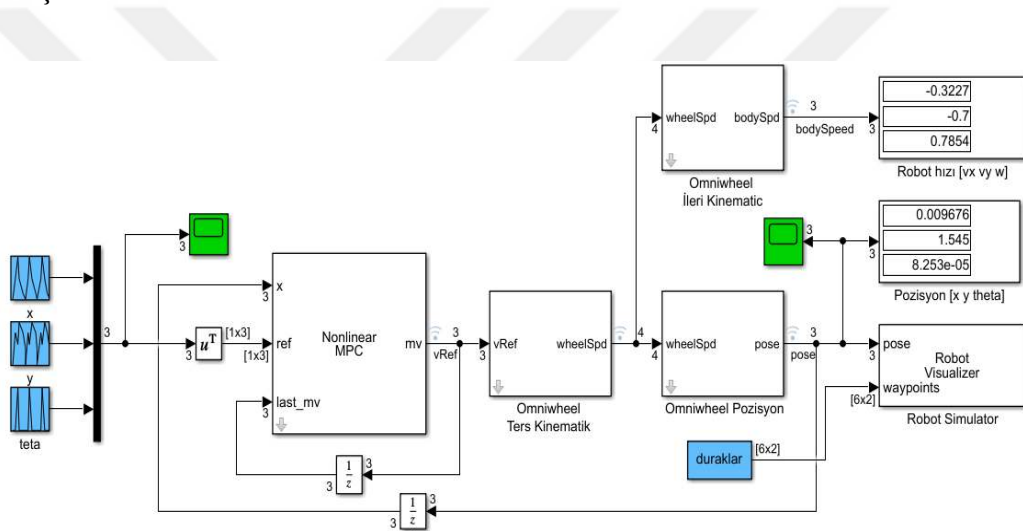
ROS içinde barındırdığı standart kütüphanelerin ve desteklediği cihazların dışında, geliştiriciler tarafından yazılmış kütüphanelere ve sürücülere de destek verdiği için her geçen

gün kapsamını arttırmakta ve robot dünyasında standart konumunu almaktadır. ROS'un sunduğu avantaj; yazılan kodlar her robota ayrı olarak yazılmasının yerine bir kere yazılan kodun desteklenen bütün cihazlarda çalıştırılabilmesidir. Yapılan bu işlemlerde yazılmış olan bu kolar yükle çalıştır şeklinde bütün cihazlarda çalışır olacaktır. ROS sisteminin bunların dışında kalan diğer avantajları aşağıdaki gibidir.

- ROS sürekli kullanım için önemlidir çünkü bulunduğu sistemi desteklemek ve sürekliliği artırır. Bir uygulamadan başka bir uygulamaya geçildiği zaman sil baştanbaşa dönmenize gerek yoktur.
- İki işletim sistemi arasında çalışabilir. Örneğin; robot üzerinden oluşturduğunuz ROS Master'a Windows üzerinde kurulu olan MATLAB'tan robota kod gönderebilir ve robottan geriye veri döndürebilirsiniz. Bu sadece ROS sizi sadece Linux kullanmaya zorlamaz ve diğer işletim sistemlerinin sunduğu kolaylıklardan da yararlanabilirsiniz.
- Kendine özgü bir programlama dili yoktur. Bu nedenle birçok programlama dili kullanılabilir ve yeni bir dil öğrenmek zorunluluğumuz yoktur.
- Kodların açık olması ve deposunda bulunan araçları istediğimiz gibi düzenlememize izin vermektedir. Görselleştirme, benzetim yapma ve hata çözümleri bunların en önemlileri arasındadır.
- Gün geçtikçe desteklenen algılayıcı sayısı artmıştır.
- Platformlar arası çalışabilir. Oluşturduğumuz düğümleri farklı programlama dillerinde yazabiliriz. Bir düğüm C++ iken diğer düğüm java ya da python olabilir.
- ROS sistemi diğer sistemlere göre farklılıklar gösterir en başta düğümlerden oluşmaktadır ve herhangi bir düğümde arız olması diğer düğümlerin çalışmalarına engel değildir. ROS sistemi aynı zamanda modüler bir sistemdir. ROS çalışması bu şekilde ilerlerken diğer robotik sistemlerde bir arıza olduğunda bütün sistemin durmasına sebep olur.
- Yapılan her işlem farklı farklı olduğundan dolayı karmaşıklık olmaz ve bir hata çıkarsa hatanın bulunması kolay olacaktır.
- Paylaşımların yapıldığı ve güncel bir gruba sahiptir. ROS konusunda aradığımız ve ihtiyaç duyduğumuz verilere buradan ulaşabiliriz.
- İndigo versiyonu 2014 de yayınlanmış olup 2019'a, Kinetic Kame versiyonu 2016 d yayınlanarak 2021 e kadar desteklenecektir.
- ROS FastSLAM 2.0 algoritmasını GMapping eklentisi ile desteklenmiştir.

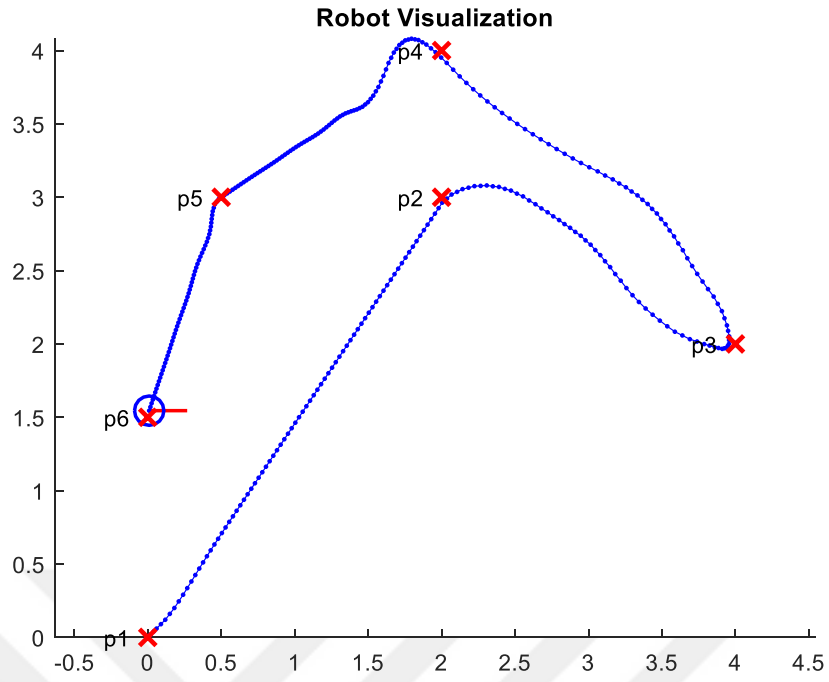
4.5. Simülasyon Sonuçları

Bu çalışmada lineer olmayan MPC (Model Predictive Controller) kullanılarak robot farklı referans noktalarına yönlendirilmiştir. Şekil 4.19’da görüldüğü gibi x,y ve teta referans değerleri giriş olarak verilmiştir. Robot istenilen noktaya arzu edilen açıda yönlendirilmesi mümkündür. Böylece fabrikalarda dar alanlarda da istenilen pozisyonda robota iş yaptırılması mümkün olacaktır. Blok diyagramlarında robotun ileri ve ters kinematik denklemleri kullanılmıştır. Robotun ters kinematiği ile robotun o andaki konum bilgisi elde edilmekte ve MPC’ye gönderilmektedir. MPC kontrol parametreleri ekte sunulmuştur. MPC robot motorlarının hangi hızda dönmesine karar vererek yönlendirme işlemini gerçekleştirmektedir.



Şekil 4.19 Robot için hazırlanan kontrol blok diyagramı

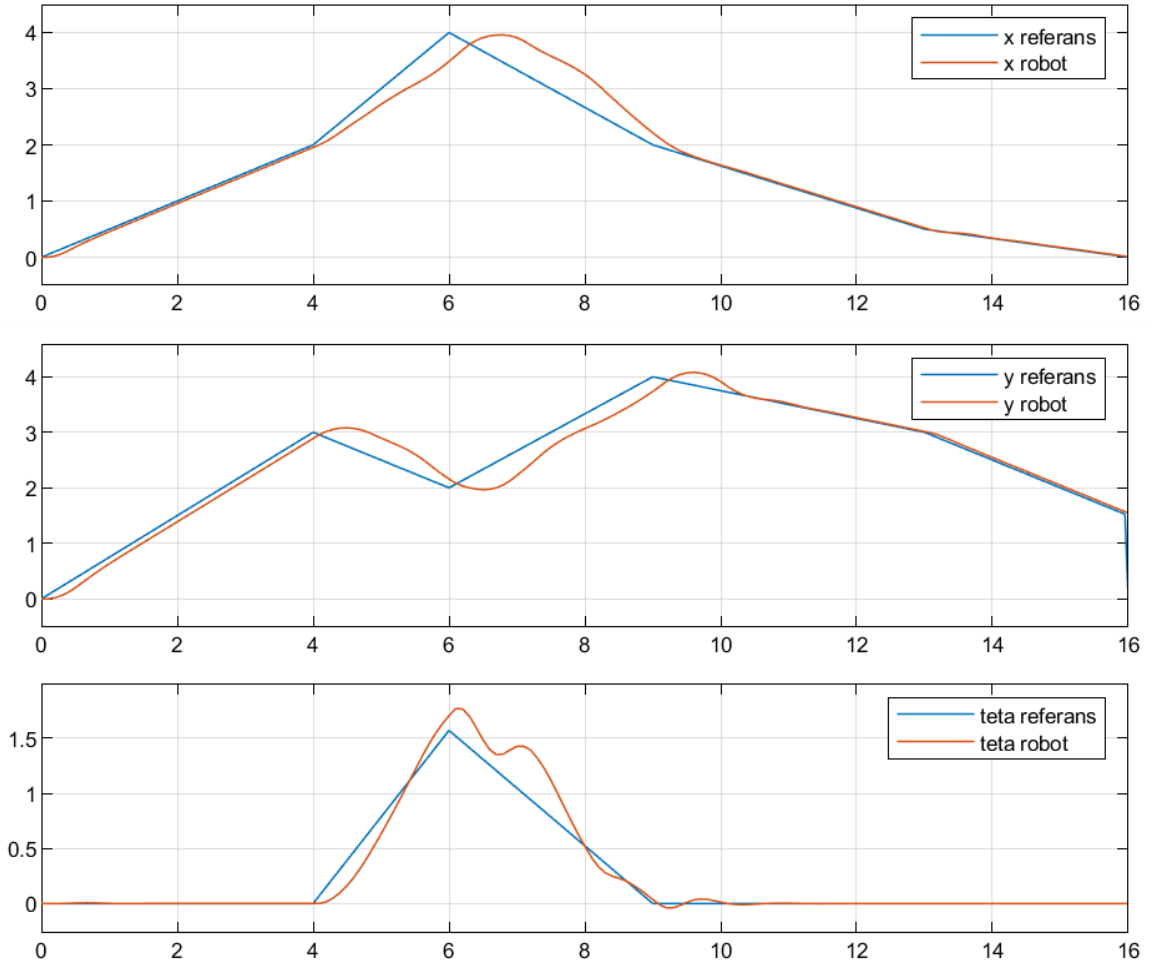
Robot Şekil 4.20’de gösterildiği gibi toplam 6 farklı noktaya yönlendirilmiştir. Ayrıca yönlendirme sırasında robotun bir noktadan diğerine giderken ne kadar sürede gideceği de ayarlanabilmektedir. Örneğin; robot p1-p2 noktaları arasını 4 saniyede ve p2-p3 noktaları arasını 2 saniyede gidecek şekilde ayarlanmıştır. Referans değerleri Tablo 4.1.’ de verilmiştir.



Şekil 4.20 Robotun referans noktaları için izlediği yol

Tablo 4.1 Robotun referans noktaları ve parametreler

Noktalar	Zaman [sn]	Duraklar (x – y) [m]	Açılar [rad]
p1	0	0 – 0	0
p2	4	2 – 3	0
p3	6	4 – 2	$\pi/2$
p4	9	2 – 4	0
p5	13	0.5 – 3	0
p6	16	0 – 1.5	0



Şekil 4.21 Robot ve referans için x, y ve theta eğrileri

4.6. DeneySEL SonuÇlar

Testimizde tekerlek uykusu olmadığını ve robotu sola çevirerek saniyede 0.046 radyana ulaştığımızı ve her bir tekerleğin hızıyla çarptığını varsaydık. Tablo 4.2 yönlendirmeyi değiştirmeden robotun 8 farklı yöne sürülmesi sonuçlarını göstermektedir. Diyagonal yönlerde aynı hızı elde etmek için, diğer iki tekerlekteki hız 0 olduğundan, tekerleklerin ikisinin hızları diğer vakalardan daha büyüktür.

Tablo 4.2 Deneyisel ve analitik sonuçlar

Yön	v_x	v_y	ω_z	Teker-1	Teker-2	Teker-3	Teker-4
İleri	5	0	0	4.87	4.87	4.87	4.87
Geri	-5	0	0	-4.87	-4.87	-4.87	-4.87
Sol	0	5	0	-4.87	4.87	4.87	-4.87
Sağ	0	-5	0	4.87	-4.87	-4.87	4.87
Sol diyagonal ileri	5	5	0	0	9.74	9.74	0
Sol diyagonal geri	-5	5	0	-9.74	0	0	-9.74
Sağ diyagonal ileri	5	-5	0	9.74	0	0	9.74
Sağ diyagonal geri	-5	-5	0	0	-9.74	-9.74	0



Şekil 4.22’de sistemin bağlantı şeması verilmiştir. Buradan görüleceği üzere Raspberry Pi ile Arduino arasında seri bir bilgi alışverişi gerçekleşmektedir. Bu sayede Arduino gelen

komutları motor sürücülere göndererek motorların hareketini sağlar. Ayrıca erişim noktası aracılığı ile cihazlar birbirleri ile kablosuz veri alışverişi sağlamaktadır. Bu sayede Raspberry Pi den gelen bilgi bilgisayarda Matlab üzerinde işlenerek tekrar Raspberry Pi'ye gönderilir ve buradan da Arduino'ya veri gönderilerek hareket sağlanmış olur. Deneysel olarak elde edilen sonuçlarda robotun arzu edildiği şekilde çalışabildiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.23'te robotun otonom olarak çalışırken çekilmiş bir fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 4.23 Deneysel çalışmadan bir görüntü

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında endüstriyel otonom robotlar için gerekli ön çalışma yapılmıştır. Özellikle fabrika içinde otonom olarak dolaşabilecek mobil robotlar üzerine araştırma yapılarak benzer yapıya sahip bir mobil robot tasarlanmıştır. Fabrikalarda kısıtlı yol hatlarının bulunmasından dolayı yüksek manevra kabiliyetine sahip mecanum tekerlekler tercih edilmiştir. Bu tekerlekler sayesinde robot x ve y eksenlerinde doğrusal hareket edebilmektedir. Standart tekerleğe sahip robotlar ise sadece x ekseninde doğrusal hareket yapabilmektedir. Mecanum tekerlek sayesinde robot z ekseninde dönme hareketini zeminle düşük sürtünme katsayısı ile gerçekleştirebilmektedir. Deneysel sonuçlar bu tekerleğin fabrikalarda kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca dünya genelinde birkaç firma tarafından yüksek ağırlık taşıyabilen endüstriyel amaçlı mecanum tekerlekler üretilmesi ise tezde çalışılan konunun gelecekte daha popüler olduğunu göstermektedir.

Bu tezde uygun fiyata ve internette geniş bir desteğe sahip olan Raspberry Pi ve Arduino prototip geliştirme kartları kullanılmıştır. Arduino kart 4 adet motoru kontrol eden 12 adet sinyali üretmektedir. Ayrıca her motorun hızını ölçen enkoderlerden gelen bilgileri kullanarak 4 motorun senkronizasyonunu sağlamaktadır. Arduino programı içerisinde ROS Kütüphanesi kullanılarak Raspberry Pi içinde çalışan ROS programı ile haberleşmesi sağlanmıştır. Robot uzaktan insan tarafından kontrol edilebildiği gibi aynı zamanda otonom olarak engellerden kaçabilmektedir.

Sonuç olarak; mecanum tekerleğe sahip bir mobil robotun otonom olarak endüstriyel uygulamalar için kullanılabileceği deneysel çalışmalar ile gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [2] http://www.robotiksisitem.com/robot_nedir_robot_tasarimi_yapimi.html
- [3] **Baturçuoğlu, E.I.**, “Robotların Tarihçesi”, 2 July 2001.
- [4] **Ernest L.hall, Bettie C. Hall.**, “Robotics A User-Friendly Introduction” , HoltSounders Internaional Edions, New York, 29 (1985).
- [5] **Kyriakopoulos, K.J. ve Loizou , S. G.**, “Robotiğin Temeli ve Robotların Geleceği”.
- [6] **Mc Cloy O., Haris d. M.J.**, “Robotics and Introduction” , Open University, P.Milton Kensey, 23 (1986).
- [7] **Masterson, J.W. ve Robert I.**, “Robotics Technology”, The Good Heard Willcox Company, Incor. Tinley Park, Illions, USA, 83-119 (1999).
- [8] **Tok G.**, “Asya’da Rönesans”, Bilim ve Teknik, Ankara, Ekim Sayısı :92 (2001).
- [9] <https://www.beyaztarih.com/resimlerle-tarih/detay/islam-dunyasinin-dahisi-el-cezeri>
- [10] **Doç.Dr.M.A. Arıkan, S.**, “Endüstriyel Robotlar ve Üretimde Uygulama Alanları”, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, s. 2.
- [11] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Robotik>
- [12] **Öğretim Gör. Geliş, K.**, “Endüstriyel Robotlar”.
- [13] **Todd J.**, “Fundamentals of Robot Technology”,kogan Page, London, 138 (1986).
- [14] **Buçin I.**, “Ameliyathanelerde Robotik Teknolojiler ve Hemşirenin Rolü”, Ütopya Ordu Üniversitesi Sağlık Yüksekokulu Bülteni, s.17, Mayıs 2016.
- [15] **Güzel, M.S.**, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı,Şubat2006-Haziran 2008.
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/Service_robot
- [17] <http://www.ifr.org/service-robots/>
- [18] **Şabanoviç, A., ve Yannier, S.**, “Robotlar: Sosyal Etkileşimli Makineler”, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Sabancı Üniversitesi.
- [19] **Tozan, A.**, “Otonom Mobil Robot”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği, s.1. (2007).
- [20] **Çetinkaya, A.**, “Otonom Bir Robotun Bulanık Kontrolör Yaklaşımı İle Konum Kontrolü”, KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, s.2 (2017).

- [21] **Taşdemir C.**, “Gezgin Robotlarda Otonom Devriye Sistemi ve Algılayıcı Füzyonu”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2012).
- [22] <https://industrial.omron.com.tr/tr/products/mobile-robot>
- [23] http://www.drrobot.com/products_item.asp?itemNumber=X80SV
- [24] <https://www.generationrobots.com/en/402395-robot-mobile-pioneer-3-dx.html>
- [25] <http://www.youbot-store.com/>
- [26] <https://fetchrobotics.com/>
- [27] <https://yenra.com/security-robot/>
- [28] <https://www.generationrobots.com/en/402403-robot-mobile-powerbot.html>
- [29] <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/>
- [30] <http://www.vetexinc.com/vehicles/robomate.html>
- [31] **Kavak, D.**, “İnsansız Kara Araçları Navigasyonunda Genişletilmiş Kalman (GKF) ve Sıkıştırılmış Kalman Filtre (GKF) Tabanlı Slam Yöntemlerin Geliştirilmesi ve Karşılaştırılması”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği, (2008).
- [32] **Diegel, O., Badve, A., Bright, G., Potgieter, J., ve Tlale, S.**, “Improved Mecanum Wheel Design for Omni-directional Robots,” no. November, pp. 27–29, 2002.
- [33] **Doroftei, I., Grosu, V., ve Spinu, V.**, Omnidirectional Mobile Robot - Design and Implementation, Bioinspiration and Robotics Walking and Climbing Robots, no. September. I-Tech, 2007.
- [34] **R. P. A. van Haendel**, “Design of an omnidirectional universal mobile platform,” National University of Singapore, 2005.
- [35] **Li, X. ve Zell, A.**, “Motion control of an omnidirectional mobile robot,” 2006.
- [36] **Baede, T. A.**, “Motion control of an omnidirectional mobile robot,” 2006.
- [37] <http://www.orocos.org>
- [38] **Akçakoca, M.**, “Eğitim ve Araştırma Amaçlı Gezgin Robot Geliştirilmesi”, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, s.17-29 (2017).
- [39] **Çakmak, F.**, “Arama Kurtarma Amaçlı Diferansiyel Sürürlü Tekerlekli Robot Tasarımı ve Gerçeklenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, s.21-35 (2014).

- [40] **Sarı, A.Ç.**, “Bir Servis Robotunda Temel Veri İletişimi ve Kontrol Altyapısının Tasarımı”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, s.10-18 (2013).
- [41] **Fatihoğlu, Y.S.**, “Simulink Kullanılarak ROS Tabanlı Gezgin Robot Kontrol Benzetimi”, Kocaeli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilişim Sistemleri Mühendisliği, Akademik Platform Antalya (3-5 November 2016).
- [42] <https://www.generationrobots.com/blog/en/2016/03/ros-robot-operating-system-2>
- [43] <http://aylincsknn.blogspot.com.tr/2013/08/ros-nedir.html>
- [44] <https://yapayzeka.ai/robot-isletim-sistemi-ros/>
- [45] **Cebe, O.**, “İnsansı Bir Robot Kolunun Ters Dinamik Kontrolü”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, s.21-22 (2017).
- [46] <http://yapbenzet.kocaeli.edu.tr/ros-nedir-robot-operating-system/>

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Tuğrul İSPİR

mtispir@gmail.com

- 1987** Kahramanmaraş / Elbistan’da doğdu.
- 2010-2014** Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliğinden mezun oldu.
- 2012-2014** Çift anadal programı kapsamında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliğinden mezun oldu.
- 2014-2015** Sanica Isı Sanayi A.Ş. firmasında yardımcı işletmeler mühendisi olarak görev yaptı.
- 2015-devam** Form Sünger Yatak Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasında yardımcı işletmeler uzmanı olarak çalışmaya devam etmektedir.