

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HOLONOMİK OLMAYAN KISITLARA SAHİP
MOBİL ROBOT MODELLEMESİ, SİMÜLASYONU
VE TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Mustafa DAL**

**Anabilim Dalı: DİSİPLİNLERARASI
Programı: MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

HAZİRAN 2006

**HOLONOMİK OLMAYAN KISITLARA SAHİP
MOBİL ROBOT MODELLEMESİ, SİMÜLASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Mustafa DAL
(518031020)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hakan Temeltaş
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Müjde Güzelkaya
Doç.Dr. Ata Mugan**

Haziran 2006

ÖNSÖZ

Çalışmamda değerli bilgileri ile bana yol gösteren değerli hocalarım Doç. Dr. Hakan Temeltaş ve Arş.Gör.Murat Yeşiloğlu'na teşekkür ederim. KaleAltınay Genel Müdürü Syn Hakan Altınay ve çalışma amirim Atilla Üstün'e yardımları ve anlayışlarından dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Mayıs, 2006

Mustafa DAL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	iv
1. GİRİŞ	1
1.1 Mobil Robot	3
1.2 Holonomik ve Holonomik Olmayan Kısıtlar	8
2. MOBİL ROBOT TASARIM AŞAMALARI	10
2.1 Mekanik Yapı	10
2.1.1 Taşıyıcı Gövde Yapısı	10
2.1.2 Taşıyıcı Kol Yapısı	12
2.1.3 Tekerlek Yapısı	14
2.1.4 Tahrik Sistemi	16
2.1.5 Hesaplanan Atalet Momentleri	29
2.2 Sensör Yapısı	31
2.2.1 Ultrasonik Ölçüm Sistemi	32
2.2.2 Lazer Tarayıcı	33
2.2.3 Manyetik Pusula	34
2.2.4 Fiber Optik Jiroskop	35
2.2.5 Kamera Sistemi	36
2.3 Sürücüler ve Bilgisayar Donanımı	36
2.3.1 Motor Sürücüleri	37
2.3.2 Hareket Kontrol Kartı	39
2.3.3 Bilgisayar Donanımı	40
2.4 Elektrik Sistemi	43
3. MOBİL ROBOT KİNEMATİĞİ	45
3.1. Temel Kinematik Bileşenler	45
3.2. Mobil Robot Pozisyonu	46
3.3. Tekerlek Kinematığı	47
3.3.1 Genel Tekerlek Kinematığı	47
3.3.2 Mobil Robot Tekerlek Kinematığı	50
3.4. Mobil Robot Kinematığı	53
4. MOBİL ROBOT HAREKET TANIMLARI VE SİMÜLASYONU	57
4.1. Mobil Robot Hareket Tanımları	57
4.1.1 Ani Dönme Merkezi	57

4.1.2 Mobil Robot Hareket Kabiliyetleri	58
4.1.3 Mobil Robot Tümyönlü Hareketleri	61
4.2.Mobil Robot Simülasyonu	64
4.2.1 Sanal Gerçeklik Araç Kutusu Tanıtımı	64
4.2.2 Sanal Ortamda Model Oluşturma	65
4.2.3 Matlab Ortamında Simülasyon	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
5.1. Sonuçlar	70
5.2. Öneriler	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	74

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Mobil araçlar için iki tekerlekli konfigürasyonlar.....	4
Tablo 1.2. Mobil araçlar için üç tekerlekli konfigürasyonlar.....	5
Tablo 1.3. Mobil araçlar için dört tekerlekli konfigürasyonlar.....	6
Tablo 1.4. Mobil araçlar için dört ve altı tekerlekli konfigürasyonlar.....	7
Tablo 1.5. Mobil araçlar için tekerlek sembolleri	8
Tablo 2.1. Mobil robot kütle ve atalet değerleri	29

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Endüstriyel robot örnekleri	1
Şekil 1.2 : Mobil Robot	2
Şekil 1.3 : Yürüyen bazı canlılardaki ayak dağılımları.....	3
Şekil 1.4 : İnsansı robot örnekleri.....	3
Şekil 1.5 : Sürüngen ve böcek yapısındaki robot örnekleri.....	4
Şekil 1.6 : Holonomik kısıtlara sahip sistemler.....	8
Şekil 1.7 : Yuvarlanan disk geometrisi	9
Şekil 2.1 : Mobil robot mekanik yapısı	10
Şekil 2.2 : Taşıyıcı gövde yapısı	12
Şekil 2.3 : Taşıyıcı kol yapısı	13
Şekil 2.4 : Tekerlek yapısı	15
Şekil 2.5 : Tahrik sistemi.....	17
Şekil 2.6 : Tahrik sistemi detay.....	17
Şekil 2.7 : Tahrik motorları.....	22
Şekil 2.8 : Redüktör genel görünüşü ve detayı.....	23
Şekil 2.9 : Dalgalı dişli mekanizması.....	24
Şekil 2.10 : Dalgalı dişli mekanizması detay.....	25
Şekil 2.11 : Dalgalı dişli mekanizması çalışma görüntüsü.....	26
Şekil 2.12 : Mobil robot yapı gösterimi.....	28
Şekil 2.13 : Ideas 10 NX atalet hesap penceresi.....	30
Şekil 2.14 : Ultrasonik ölçüm sistemi.....	31
Şekil 2.15 : Lazer tarayıcı.....	32
Şekil 2.16 : Manyetik pusula.....	33
Şekil 2.17 : Fiber optik jiroskop.....	34
Şekil 2.18 : Kamera sistemi.....	35
Şekil 2.19 : BLU 200 – S sürücüsü.....	37
Şekil 2.20 : BLU 100 – S sürücüsü.....	37
Şekil 2.21 : Hareket kontrol kartı.....	38
Şekil 2.22 : Hareket kontrol kart bileşenleri.....	39
Şekil 2.23 : Bilgisayar donanımı.....	40
Şekil 2.24 : Bilgisayar donanımı; sensör ve sürücü bileşimi.....	41
Şekil 2.25 : Elektrik dağılım özet şeması.....	42
Şekil 3.1 : Yuvarlanan disk geometrisi.....	44
Şekil 3.2 : Mobil robot gösterimi.....	45
Şekil 3.3 : Tekerlek tanımlaması.....	47
Şekil 3.4 : Tekerlek tipleri ve parametreleri.....	48
Şekil 3.5 : Mobil robot tekerlek tanımlaması.....	49
Şekil 3.6 : Tekerlek ve hareket eksenleri.....	50

Şekil 3.7	: Mobil robot sabit ve değişken dağılımı.....	52
Şekil 4.1	: ADM tanımlaması.....	57
Şekil 4.2	: Mobil robot doğrusal yer değişimleri.....	58
Şekil 4.3	: Mobil robot tümyönlü yer değişimleri.....	59
Şekil 4.4	: Mobil robot hareket tipleri.....	60
Şekil 4.5	: Mobil robot tekerlekleri ADM takibi.....	61
Şekil 4.6	: Mobil robot tekerlek değişken indirgemesi	63
Şekil 4.7	: Kullanılan Matlab araçları.....	64
Şekil 4.8	: Kullanılan VRML araçları.....	65
Şekil 4.9	: Hareket değişkenleri.....	66
Şekil 4.10	: Hareket modeli Simulink gösterimi	67
Şekil 4.11	: Mobil Robot VRML gösterimi.....	68
Şekil 4.12	: Hareket değişkenleri girişi	68

KISALTMALAR

ADM	: Ani Dönme Merkezi
CCD	: Charge Coupled Device
LMS	: Laser Measurement Sensor
VRT	: Virtual Reality Toolbox
VRML	: Virtual Reality Modelling Language

HOLONOMİK OLMAYAN KISITLARA SAHİP MOBİL ROBOT MODELLEMESİ, SİMÜLASYONU VE TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada robot kolu taşımak amacıyla tasarlanan ve üretilen mobil robotun tasarım aşamaları, kinematik modeli ve simülasyonu verilmiştir. Bununla birlikte, üretilen mobil robot holonomik olmayan kısıtlara sahip bir sistem yapısındadır. Mobil robot dört ilerlemeli ve dört yöneltmeli bir hareket yapısına sahip olmakla birlikte tüm yönlü hareketleri gerçekleştirebilmektedir. Yüksek hareket kabiliyeti amacıyla diğer mobil robot tahrik sistemlerinden farklı olarak yeni bir mobil robot tekerlek tahrik sistemi gerçekleştirilmiştir. Olabildiğince hafif ve dayanıklı mekanik bir yapı tasarlanmış olup oluşan yapı sonlu elemanlar tekniği kullanılarak analiz edilmiştir. Mobil robot üzerine içinde bulunduğu çevreyle etkileşimi sağlaması ve düzlem üzerindeki yönelimini bulması amacıyla algılama sistemleri yerleştirilmiştir. Mobil robot veri giriş, değerlendirme ve çıkış işlemlerini kolayca yapabilecek uygun bilgisayar donanımı bir araya getirilmiştir. Üzerine yerleştirilmiş dört adet tekerleğin holonomik olmayan kısıtları düzenlenerek mobil robotun düzlem üzerindeki yer değiştirme ve yönelim değişkenleri çıkarılmıştır. Mobil robotun düzlemdeki hareketleri ifade edilmiş ve sanal ortamda gösterim yapılmıştır.

NONHOLONOMIC MOBILE ROBOT MODELLING, SIMULATION AND DESIGN

SUMMARY

In this study, it has been given design processes, kinematical model and simulation of a mobile robot that was designed and manufactured with the aim of carrying a robot manipulator. With this, the manufactured mobile robot is in a system structure that has non-holonomic constraints. Mobile robot has a four-wheel driven and four-wheel steered driving structure and can move omnidirectional. With the aim of high maneuverability, a new mobile robot actuating system generated that different from the other mobile robots have. As light as possible and strong mechanical structure has designed and analyzed with finite elements methods. The sensory system has mounted on the mobile robot for contacting the environment and planar orientation angle. The computer hardware has preferred by the ability of input, analyze and output the data easily. By combining the mounted wheels' non-holonomic constraints, the translational and rotational variables can be achieved. The maneuverability of the mobile robot has expressed and simulated in virtual reality world.

1. GİRİŞ

Endüstriyel anlamda verimlilik, üzerine yatırılmış sermayenin veya yatırımın gelir sağlayabilme olanağıdır. Endüstri kuruluşlarının devamlılığını sağlayabilmesi ve büyüebilmesi için sahip olduğu imkanları sonuna kadar en verimli şekilde kullanması gerekmektedir. Günümüz teknolojisinde endüstrideki yüksek verim, belirli bir amaç için bir araya getirilmiş imkanların en az kayıp ile kullanılması ile oluşmaktadır. Bu amaç doğrultusunda çalışma yapılan, çalışma sonucunda çıkan ürün için harcanacak zaman ve üretim sırasında açığa çıkan kayıp malzeme en aza indirilmelidir. Seri imalat yapan endüstrilerde ise aynı işin sürekli tekrarı insan tarafından gerçekleştirildiğinde öncelikle kendisine ve sonra da yaptığı işe zarar verme olasılığı çok yüksektir.

Bunun bir sonucu olarak seri imalat yapan endüstrilerde robot kolları, veya manipülatörler, hızla yükselen bir sermaye yapısına sahiptirler. Tabanından üretim hattının belirli bir yerine sabitlenmiş robot kolu kaynak, boya, delme, kesme, taşıma ve montaj işlemlerini yüksek hız ve doğrulukta sürekli olarak gerçekleştirebilmektedir (Şekil 1.1).



a



b

Şekil 1.1 : Endüstriyel robot örnekleri; a) Spot kaynağı robotu, b) Aktarma robotu

Tüm bu başarılarına rağmen ticari robotlar yer değiştirme yoksunluklarından dolayı temel bir dezavantaja sahiptirler.

Sabit bir robot kısıtlı bir hareket alanına sahipken mobil robot üretim alanı içerisinde yer değiştirebilecek ve sahip olduğu yetenekleri en verimli kullanmak amacıyla yönlenecek veya yönlendirilecektir.

Bu tez çalışmasında yedi serbestlik derecesine sahip Mitsubishi-PA-10 manipülatörünü taşıması amacıyla üretilen mobil robotun tasarım ve simülasyon aşamalarının aktarımının yanı sıra mobil robotun kinematik modeli de çıkarılmıştır.

Mobil robotun sahip olması gereken teknik özelliklerine İstanbul Teknik Üniversitesi (İ.T.Ü) ve KaleAltınay Robotik ve Otomasyon A.Ş. (KA) ile beraber karar verilmiş olup tasarım ve imalat aşamaları KA tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.2).



a

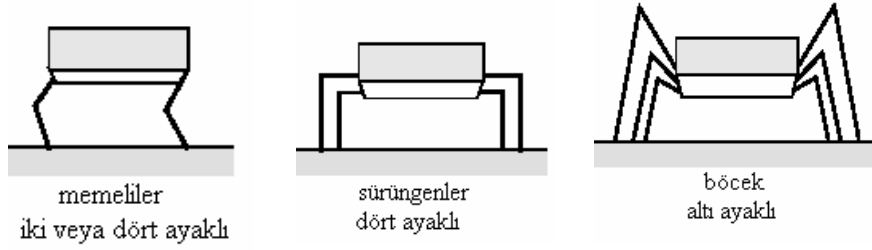


b

Şekil 1.2 : Mobil robot; a) Mobil robot önden görünüş, b) Mobil robot arkadan görünüş

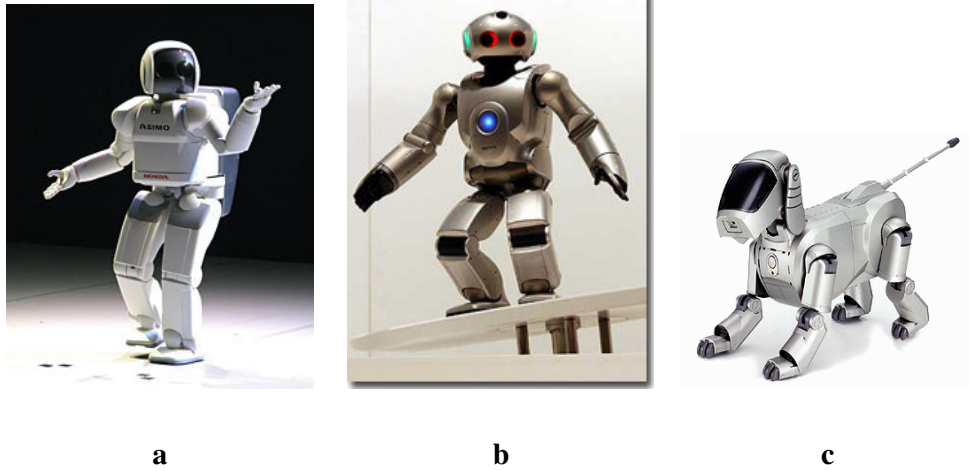
1.1 Mobil Robot

Otonom yani insan kontrolü olmadan kendi kendine hareket edebilen araçlara mobil robot denmektedir. Bir mobil robot kendisini bulunduğu ortamdan bir sınıra bağlı olmaksızın hareket ettirebilme yeteneğine ancak üzerindeki yer değiştirme mekanizmaları sayesinde hareket ettirebilir. Fakat bu aşamada hareketi sağlamanın birçok yolu vardır. Mobil robot tasarımında yürüyen, zıplayan, koşan, kayan, yüzen, uçan ve yuvarlanan birçok araştırma robotu mevcuttur [3]. Bu yer değiştirme mekanizmalarının çoğu biyolojik kopyasından esinlenerek yapılmıştır (Şekil 1.3).



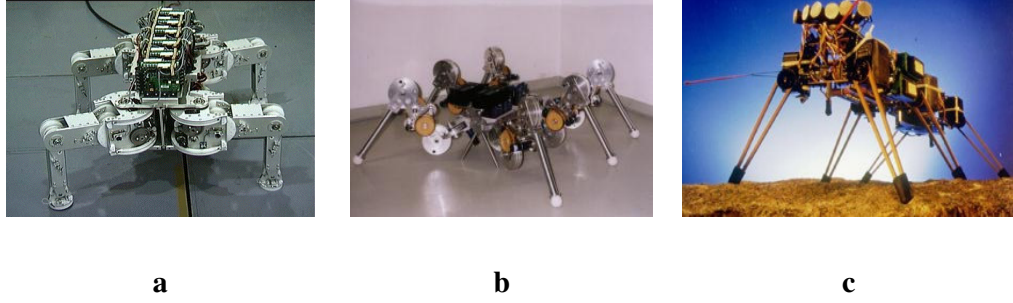
Şekil 1.3 : Yürüyen bazı canlılardaki ayak dağılımları

Yukarıda verilen ayak dağılımlarından esinlenerek iki ve dört ayaklı mobil robot örnekleri gün geçtikçe ilerlemektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 : İnsansı robot örnekleri; a) ASIMO (Honda), b) SDR 4X-R (Sony)
c) AIBO (Sony)

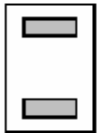
Sürünge ve böceklerin sahip olduğu ayak dağılımı zor koşullardaki yer değiştirme çözümleri etkili kaynak oluşumu sağlamıştır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 : Sürünge ve böcek yapısındaki robot örnekleri a)Titan VII, b) Lauron II
c) Genghis

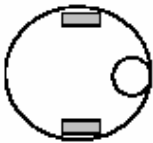
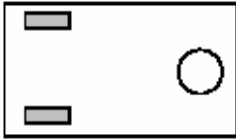
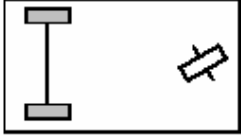
Bu şekilde oluşan sistemlerin yanı sıra tahrik edilen tekerlek insan icadı olup yer düzleminde yüksek verimli hareketler sağlayabilmektedir. Karada hareket eden tekerlekli mobil araçlar tekerlek sayısına ve yerleşimine göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 1.1 : Mobil araçlar için iki tekerlekli konfigürasyonlar

Tekerlek sayısı	Tekerlek Yerleşimi	Tanımlama	Tipik Örnekleri
2		Önde bir yönlendirme arkada tahrik tekerleği	 Bisiklet, motosiklet
		Ağırlık merkezi ortada iki ayrı tahrik	 Cye kişisel robot

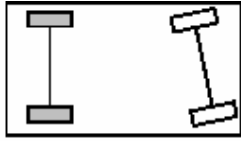
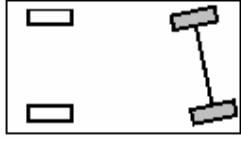
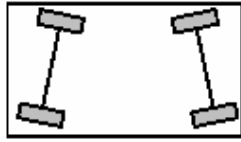
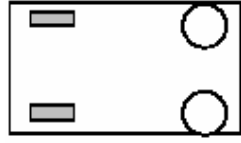
Çoğu robot uygulamaları olmak üzere üç tekerleğe sahip araçlar da mobil hareketler gerçekleştirilirken çeşitli yapılarda kullanılmaktadır.

Tablo 1.2 : Mobil araçlar için üç tekerlekli konfigürasyonlar

Tekerlek sayısı	Tekerlek Yerleşimi	Tanımlama	Tipik Örnekleri
3		Merkezden iki tekerlek tarafından tahrik edilen üçüncü bir noktadan temas eden	 Nomad Scout
		Önde veya arkada iki adet tahrik tekerleği önde veya arkada bir adet avare tekerlek	 Pygmalion
		Arkada bağlı iki adet tahrik tekerleği önde yönlendirici tekerlek	 Piaggi mini kamyonet
		Arkada iki adet tahriksiz tekerlek önde bir adet tahrikli yönlendirme tekerleği	

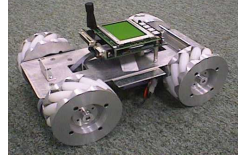
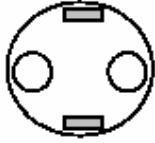
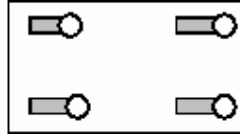
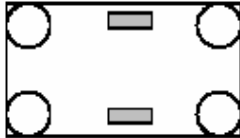
Son olarak uygulamalarda sıkça karşılaştığımız dört tekerlekli yapılar yer almaktadır. Bu tip tekerlek dağılımına sahip araçlar diğer araçlara göre daha stabil bir yapıda olup çeşitli yer değiştirme kabiliyetlerine sahiptirler.

Tablo 1.3 : Mobil araçlar için dört tekerlekli konfigürasyonlar

Tekerlek sayısı	Tekerlek Yerleşimi	Tanımlama	Tipik Örnekleri
4		Arkada iki adet tahrik tekerleği önde iki adet yönlendirici tekerlek	 Arkadan çekişli araba
		Önde iki adet yönlendirici tahrik tekerleği arkada iki adet avare tekerlek	 Önden çekişli araba
		Dört yönlendirici ve tahrik tekerleği	 Hyperion
		Arkada veya önde iki adet ayrınc tekerlek önde veya arkada tümyönlü tekerlek	 Elektrik motorlu tekerlekli sandalye

Geleneksel tekerlek tiplerinin yanı sıra değişik tipte tekerleklerin kullanılmasıyla oluşan dört ve altı tekerlekli yapılar aşağıda yer almaktadır.

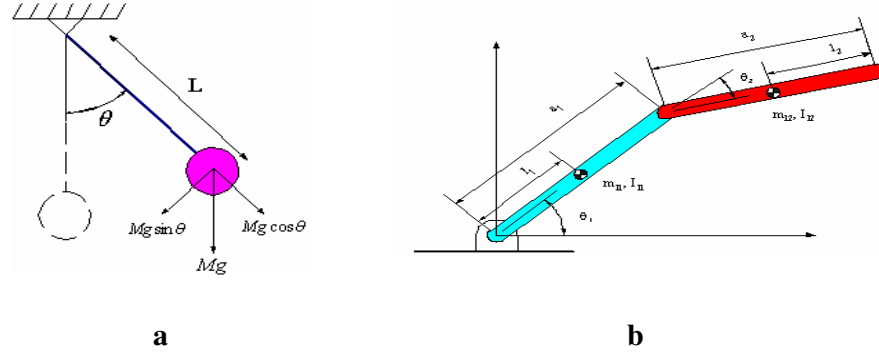
Tablo 1.4 : Mobil araçlar için dört ve altı tekerlekli konfigürasyonlar

Tekerlek Yerleşimi	Tanımlama	Tipik Örnekleri
	Dört adet tüm yönlü tekerlek	 Omni-1
	Ayrık iki tekerlekten tahrik ve ilave temas noktaları	 Hperbot
	Tahrikli ve yönlendirici dört adet castor tipi tekerlek	 Nomad XR400
	Merkezde ayrık iki adet tekerlek ve her bir köşede tüm yönlü tekerlek	 Terragator

Yukarıdaki tablolarda günümüzde halen kullanılmakta olan tekerlek tiplerine ve dizilimlerine göre oluşturulan yapılar verilmiştir. Bunların yanı sıra amaca yönelik tekerlek tasarımları ve yerleştirme işlemleri gerçekleştirilerek farklı kombinasyonlar oluşturulabilir.

1.2 Holonomik ve Holonomik Olmayan Kısıtlar

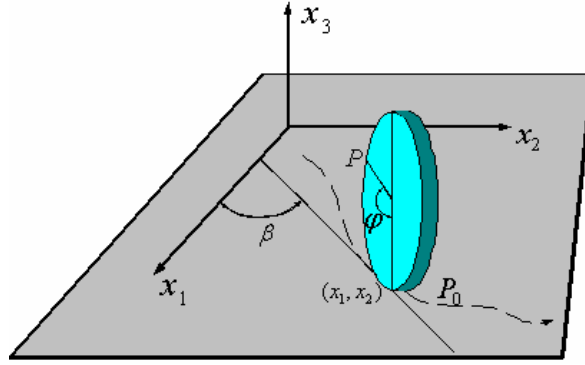
Holonomik sistemler olası durumlarını sınırlayan kısıtlara bağlı olan mekanik sistemlerdir. Bu terminoloji Hertz [1894]’de bulunabilir [2]. Hertz holonomik kelimesinin Yunanca “integral” (“veya tüm”) ve kısıt anlamında kullanılan “kural” kelimelerini kapsadığını ifade eder. Kısıtlar hız üzerine verildiğinde durum değişkenleri integre edilebilecek şekilde bulunabilir. Holonomik kısıtlara örnek olarak normal salınımdaki uzunluk kısıtları ve katı cisim hareketindeki rijitlik kısıtları gösterilebilmektedir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6 : Holonomik kısıtlara sahip sistemler; a) Sarkaç, b) Kol mekanizmaları

Hertz’in verdiği tanıma göre holonomik sistem; olası sürekli hareketlerin bütün muhtemel pozisyonları ile ifade edilebilir muhtemel hareketlerin oluşturduğu sistemdir. Burada önemli nokta ise holonomik olmayan kısıtlar hareketin yalnızca tipini kısıtlarken pozisyonunu sınırlamazlar.

Bu tanım sonucunda yuvarlanan disk ve küre hızları üzerinde integre edilemeyen kısıtlara sahip orijinal holonomik olmayan sistemlere girmektedirler (Şekil 1.7).



a

Şekil 1.7 : Yuvarlanan disk geometrisi

Düşey yuvarlanan disk holonomik olmayan kısıtlara bağlı olan temel ve basit bir örnektir. Dik, yatay düzlemde kaymadan yuvarlanma hareketi yapan homojen bir yapıdadır. Yuvarlanan diskin x_1x_2 düzlemindeki temas noktasının konumu, rotasyon ve oryantasyon açıları genelleştirilmiş $q = (x_1, x_2, \beta, \varphi)$ koordinatları ile tanımlanır. Yuvarlanan disk için toplam enerji şu şekilde ifade edilir;

$$L(x_1, x_2, \beta, \varphi, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{\beta}, \dot{\varphi}) = \frac{1}{2}m(\dot{x}_1^2 + \dot{x}_2^2) + \frac{1}{2}I\dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2}J\dot{\beta}^2 \quad (1.1)$$

Burada m diskin kütlesini ifade ederken, I diskin kendi eksenine dik olan atalet momentini ve J de disk düzleminde yer alan atalet momentini ifade eder. Bu iki düzlem de disk merkezinden geçmektedir. Yarıçapı r olan diskin kayma hareketi olmadığı varsayılarak, yukarıdaki denklemin türevinden aşağıdaki holonomik olmayan kısıtları oluşmuştur;

$$\dot{x}_1 = r(\cos \beta)\dot{\varphi} \quad (1.2)$$

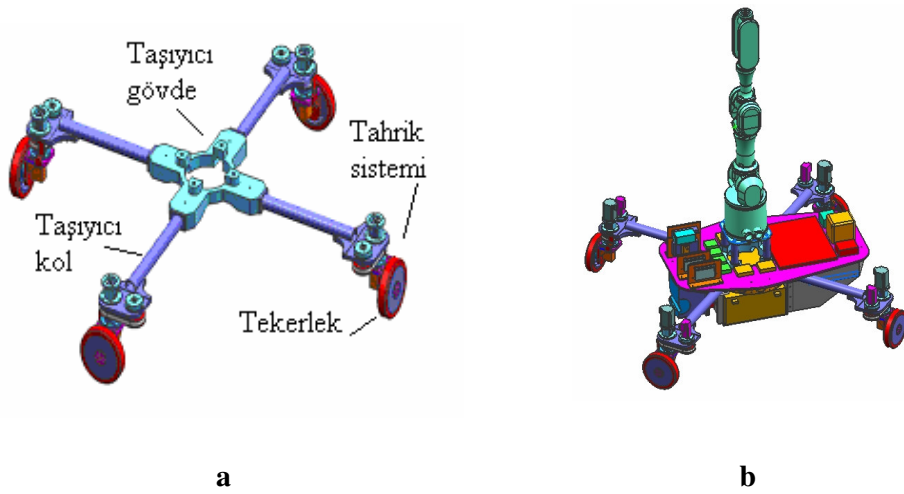
$$\dot{x}_2 = r(\sin \beta)\dot{\varphi} \quad (1.3)$$

2. MOBİL ROBOT TASARIM AŞAMALARI

2.1 Mekanik Yapı

Mobil robotun üzerinde taşıdığı Mitsubishi-PA-10'nun dinamik hareketlerinde güçlü ve kararlı bir yapıya sahip olması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda oluşan yapı ve içeriği aşağıda detaylandırılmıştır. Bunun yanında Mitsubishi-PA-10'nun hareket zenginliğini arttırmak amacıyla öngörülen öteleme ve dönme hareketlerini hassas bir şekilde gerçekleştirilmesine dikkat edilmiştir.

(Şekil 2.1) de verilen sabit ve hareketli yapılar aşağıda detayları ile birlikte yer almaktadır.



Şekil 2.1 : Mobil robot mekanik yapısı; a) Mekanik gruplar; b) Genel yerleşim

2.1.1 Taşıyıcı Gövde Yapısı

Laboratuvar ortamında ve düzlem üzerinde hareketine karar verilen mobil robotun, ana gövdesi yere paralel ve sabit yapıdadır. Statik ve dinamik haller göz önüne

alınarak yükün kararlı ve daha emniyetli taşınabilmesi amacıyla yükün dörde ayrıldığı bir yapı tercih edilmiştir.

Statik durumda yüklü olan ekipmanların ağırlığından dolayı oluşan kuvvet ve Mitsubishi-PA-10'nun hareketinden dolayı oluşan eğilme momentlerine dik yöndeki kesitlerin mümkün olduğunca artırıldığı bir yapı uygun görülmüştür.

Düşük enerji tüketimi için mobil robot üzerinde bulunan tüm bileşenlerde olması gerektiği gibi, taşıyıcı yapının uygulanabilirlik sınırları içerisinde olabildiğince hafif olması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda iki değişken önemli rol oynamaktadır. Taşıyıcı yapının ağırlığı birinci değişken olup, yüksek gerilmelerin oluşmadığı alanları kaldırıp en uygun yapıyı elde etmek ikinci değişken olarak karşımıza çıkar.

Taşıyıcı gövdeyi oluşturan yapı malzemesinden beklenen önemli özellikler yüksek eğilme mukavemetine sahip olması ve olabildiğince hafif olmasıdır.

Ayrıca yük taşıma açısından kritik bölgelerde kaynaklı birleştirmeler kullanılacağından, malzeme kaynak yapılabilir ve kaynak sırasında açığa çıkan yüksek ısıdan dolayı kolay deforme olmayan bir yapıda olmalıdır.

Korozif etki oluşturabilecek ortamlarda paslanma olayına karşı koyabilecek özellikte olması hem yapısal hem de görsel açıdan önem oluşturmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda yapılan araştırmalar sonucunda Al-7075 serisi sert alüminyumun kullanılmasına karar verilmiştir.

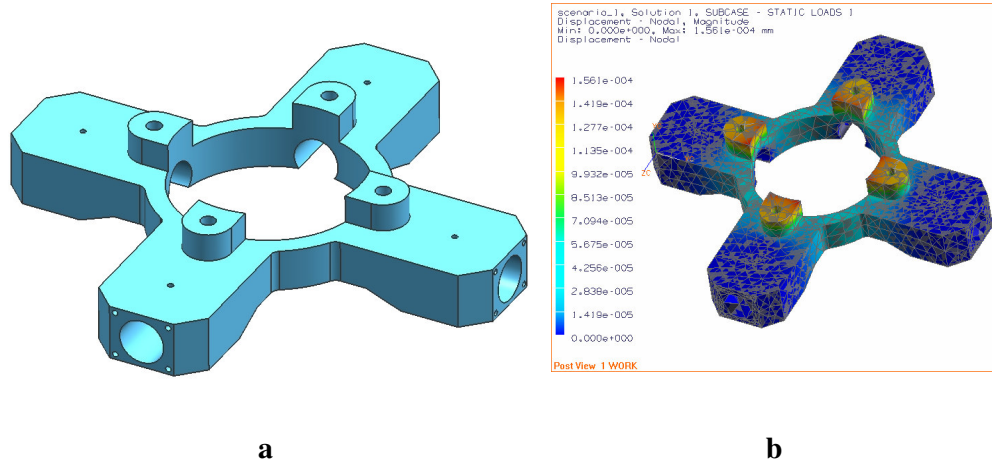
Bu malzeme genel olarak uçak ve diğer uzay gemisi ve teçhizatı uygulamalarında kullanılmaktadır.

Malzemenin birleştirilmesi sırasında esas olarak direnç kaynağı ile iyi sonuçlar alınırken ark kaynağı ile gerçekleştirilen uygulamalar malzemenin korozyona karşı direncini azaltabilmektedir.

Malzemenin standart işleme tezgahlarındaki işlenebilirliği iyi olup sıvı yağlayıcılar ile kullanılabilir.

Gövde ağırlığının azaltılması amacıyla parça üzerinde boşaltmalar gerçekleştirilmiştir. Boşaltma işlemleri gerçekleştirilirken kuvvetin aktarıldığı bölgelerin güçlü tutulup diğer alanların olabildiğince azaltılması amaçlanmıştır.

Yukarıda sayılan kriterle birlikte; pratikte parçanın imal açısından kolaylığının sağlanması, fonksiyonel ve görsel açıdan iyi sonuçlar alabilmek amacıyla gerekli iyileştirmeler sonucunda taşıma gövdesi son halini almıştır (Şekil 2.2.a).



Şekil 2.2 : Taşıyıcı gövde yapısı; a) Katı modeli, b) Yapı analizi

Mobil robot tasarlanan toplam kütlesinin 230kg kabulü ile Unigraphics NX 3.0 bilgisayar destekli tasarım programının yapısal analizlerinden elde edilen sonuç Şekil 2.2.b’de verilmiştir. Analiz sonucunda taşıyıcı gövde üzerindeki maksimum esneme miktarının $1.561e-4$ mm civarında olduğu gözlenmiştir. Mobil robot üzerindeki manipülatörün alt flanş bağlantısındaki oluşturduğu tork 180Nm kabulüyle esneme miktarının yaklaşık dört katına çıktığı analiz edilmiştir.

2.1.2 Taşıyıcı Kol Yapısı

Mobil robot taşıyıcı gövde tarafından karşılanan yüklerin zemine aktarılması amacıyla gövdenin dört yanından eşit uzunlukta kollar yer almaktadır.

Mukavemetin artırılması temel kriter alınıp aynı zamanda ölçüsel doğruluğun sağlanması amacıyla taşıyıcı kolların 80mm lik kısımları taşıyıcı gövdeye tatlı sıkı

toleransa geçmektedir. Kolların taşıyıcı gövdeye sabitlenmesi de cıvata bağlantısı ile gerçekleşmiştir.

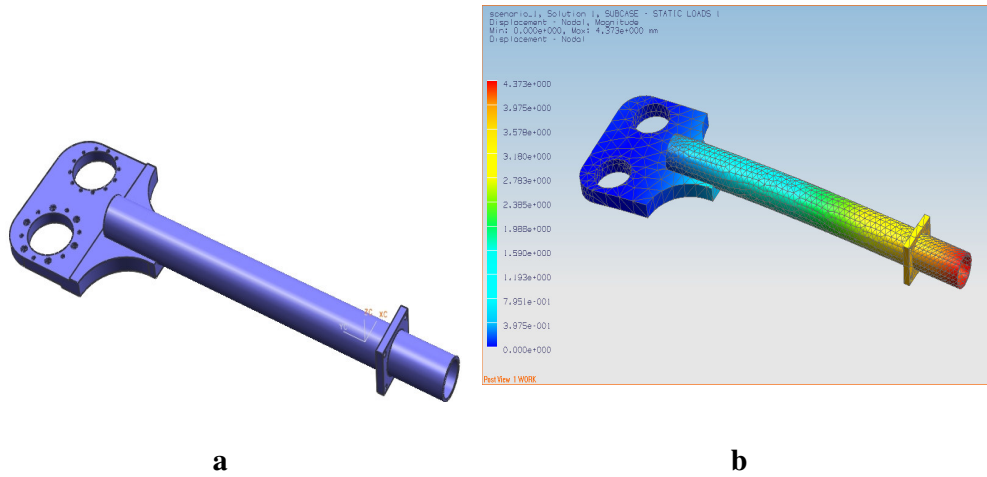
Taşıyıcı kolların tasarımında da taşıyıcı gövdedeki mukavemet, ağırlık, kolay işlenebilirlik ve görsellik kriterleri dikkate alınmıştır. Mitsubishi-PA-10 hareketi sırasında taşıyıcı kollara gelen yükleri incelediğimizde; kolların eğilme, burulma ve normal gerilmelere maruz kaldığını görebiliriz.

Bu amaç doğrultusunda yüksek mukavemet değeri elde etmek için eğilme yönündeki kesit alanını yüksek tutup kritik bağlantı noktalarındaki birleştirmeler kaynak ile gerçekleştirilmiştir.

Kullanılacak malzeme olarak da taşıyıcı gövdeye oluşturan Al 7075 serisi ser alüminyum kullanılmıştır. Taşıyıcı kol dış çapı 50 mm ve iç çapı 42mm olacak şekilde tasarlanarak hafif ve güçlü bir yapı oluşturulmuştur.

Mobil robotu harekete geçiren tahrik sistemi kolların uca doğru genişlemesiyle oluşturulan yüzeylere monte edilmektedir.

Görsellik açısından hoş bir görünüm sağlamak amacıyla yüzeyler oluşturulurken daha yuvarlak ve güçlü hatlara sahip olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 2.3 : Taşıyıcı kol yapısı; a) Katı modeli, b) Yapı analizi

Analiz sonucunda taşıyıcı gövde üzerindeki maksimum esneme miktarının 4.373mm civarında olduğu Şekil 2.3.b’de gösterilmiştir.

2.1.3 Tekerlek Yapısı

Mobil robotun laboratuvar ortamında öteleme, dönme ve bu iki hareketin bileşkesi hareketleri hassas bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla özel bir yapı ve sistem oluşturulmuştur.

Arzu edilen hareketlerin her yönde ve istenilen hızlarda, mobil robot pozisyonuna zorlayıcı bir kısıt getirmeden, simetrik olarak gerçekleştirilmesi amacıyla aracın dört tarafına da birebir eşit özelliklere sahip tekerlek yapısı gerçekleştirilmiştir.

Oluşan tahrik sistemi ile mobil robot amacı doğrultusunda düz bir yolu veya çeşitli eğrilik yarıçaplarına sahip eğrilerin oluşturduğu karmaşık bir yolu da izleyebilme özelliğine sahiptir.

Ayrıca tekerlek pozisyonları bir dönme merkezine dik bakacak pozisyona getirilebildiğinden mobil robot bu nokta etrafında istenilen dönme hareketlerini rahatça gerçekleştirecektir. Belirlenen bu dönme merkezi aracın, ağırlık merkezi de kabul edilen geometrik merkezi seçildiği takdirde herhangi bir öteleme hareketi yapmadan sadece dönme hareketini rahatlıkla gerçekleştirebilmektedir.

Yukarıda bahsedilen amaçlar doğrultusunda tekerleğin bir eksen etrafında 360° dönebildiği ve dönme hareketi sonucu pozisyon kaybının oluşmadığı bir yapı oluşmaktadır. Böylece teker dönme ve yönlendirme işlemleri ayrı ayrı yapılabileceği gibi enerjinin verimli kullanılması amacıyla birleşik hareketler de tavsiye edilir.

Birleşik hareketler şu şekilde açıklanabilir; örneğin tekerlek pozisyonunu düşey dönme eksenine göre saat yönünde değiştirmek isterse kendi eksenini etrafındaki dönüş saat yönüne ters yönde belirlenip tahrik edilir. İstenilen pozisyona ulaşıldığında yönlendirme motoru devreye girip pozisyon korunumu sağlanır.

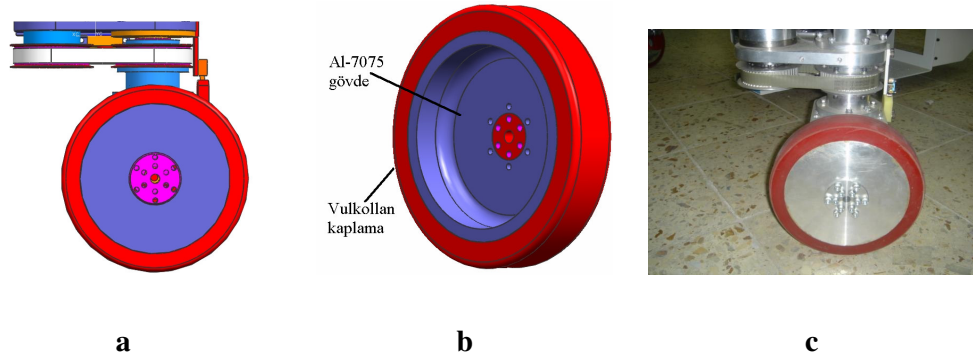
Tekerlek ana boyutlarının oluşturulmasında mobil robotun en alt yüzeyinin yerden belirli bir yükseklikte olması ve gereken tahrik momentinin olabildiğince düşük olması amaçları önemli rol oynamıştır. Sonuç olarak da tekerlek çapının 200mm olmasına karar verilmiştir. Düzlem üzerinde gerçekleştirilecek hareketlerde tekerleğin yapısal özelliklerinin başında üzerine düşen yükleri karşılaması ve

olabildiğince hafif bir yapıya sahip olması gelmektedir. Bu amaç doğrultusunda teker basma yüzeyi olabildiğince arttırılmıştır.

Hafif ve güçlü bir yapı oluşturmak amacıyla, taşıyıcı gövde ve taşıyıcı kollarda da kullanılan Al-7075 malzeme kodlu sert alüminyum tekerleğin esas yapı malzemesini oluşturmaktadır.

Tekerleğin sahip olması gereken bir başka önemli özellik ise temas ettiği yüzeye tam olarak basıp, hareket sırasında oluşabilecek kayma hareketlerinin önüne geçmektedir. Bu amaç doğrultusunda uygun bir sürtünme katsayısına ve sertliğe sahip olan kaplama malzemesi seçilmiştir.

Tekerlek üzerindeki elastik kaplamalar aşırı yüke maruz kaldıklarında dolayı yüksek dinamik özelliklere sahip olmalıdır. Mobil robot hareket halindeyken dönme ve kayma hareketleri uygulanacağından sürekli deformasyon olmayacak yüksek dayanıklı malzeme kullanımı gerekmektedir. Ayrıca hareket sırasında oluşacak eksenel yüklere karşı koymak amacıyla malzemenin sert alüminyum ile birleştirme işleminin döküm yöntemi kullanılarak yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Tekerlek yapısı; a) Katı modeli, b) Malzeme yapısı, c) Uygulaması

Vulkollan® teker kaplaması bu şartlardaki kullanımlar için idealdir. Düşük hızda yüksek deformasyon veya yüksek hızda düşük deformasyon sebepli yüksek dinamik taşımalar elastik kaplamada ısı oluşmasına neden olur. Bu da yük taşıma özelliğini bozar. Vulkollan® bir poliüretan elastomeri olduğundan ve elastomerlerin sahip olduğu sönümleme özelliğinden dolayı hareket sırasında oluşan ısı düşüktür.

Uzun süre sabit durma tekerleğin yüzeyinde düzleme oluşturabilir. Bu da katı tekerlerin dönme hareketini bozar. Vulkollan® teker kaplamasının çok düşük sürekli deformasyon özelliği vardır.

Uygulama alanları olarak ağır yük taşıma kapasitesine sahip forklift ve yük taşıma amacıyla üretilen birçok araç sayılabilir.

Vulkollan® bir poliüretan elastomeri olarak sertlik değeri 93 shoredur. Tekerlek üzerine kaplanmış malzemenin laboratuvar zeminindeki (seramik kaplama) harekete başlama sırasındaki ortalama yuvarlanma direnci $\mu_{byd} = 0.011 - 0.014$ iken hareket sırasındaki yuvarlanma direnci $\mu_{hyd} = 0.008 - 0.009$ değerlerini almaktadır. Yuvarlanma hareketlerinin dışında kayarak döndürme hareketlerinde ise sürtünme katsayısı $\mu_s = 0.5$ dir.

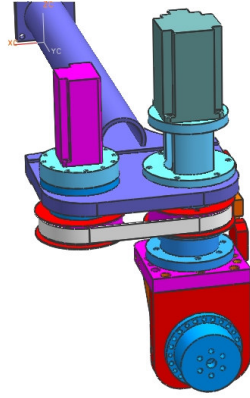
Yuvarlanan tekerleğin hareket sırasında üzerine etkiyen yuvarlanma direnci $F_d = \mu_{yd} . m . g$ dir.

2.1.4 Tahrik Sistemi

Mobil robotun düzlem üzerindeki yer değiştirme hareketlerini gerçekleştirmesi amacıyla oluşturulan tekerlek yapısının doğruluğu ve tekrar edilebilirliği yüksek olan bir sistemle tahrik edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda oluşturulan tahrik sisteminin döndürme ve yön değiştirme motorlarının mobil robot kolları üzerinde sabit yüzeylere yerleştirilmesi öngörülmüştür. Sabit yapı üzerine yerleştirilmesinin en önemli sebepleri; tekerleğin tam dönüşü yön değiştirme hareketleri sırasında motor enerji ve bilgi kablolarının tekerleğe dolanarak hareketi kısıtlaması ve yarı dönüşlü yön değiştirme hareketlerinde ise yorulma deformasyon risklerini taşımasıdır. Bu amaç doğrultusunda mobil robota özel bir tahrik sistemi oluşturulmuştur (Şekil 2.5).

Bu amaçla yapılan tasarımda mobil robotun çalışma hassasiyeti, kullanılan ekipman ve özel yapılar ile olabildiğince artırılmaya çalışılmıştır. Tekerlekleri harekete geçirecek olan motor momentleri ve bu momentin son noktalara aktarımı güçlü ve kullanımı kolay mekanik elemanlar ile gerçekleşmektedir.



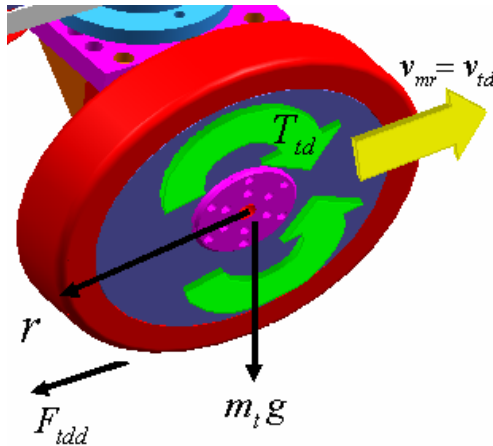
a



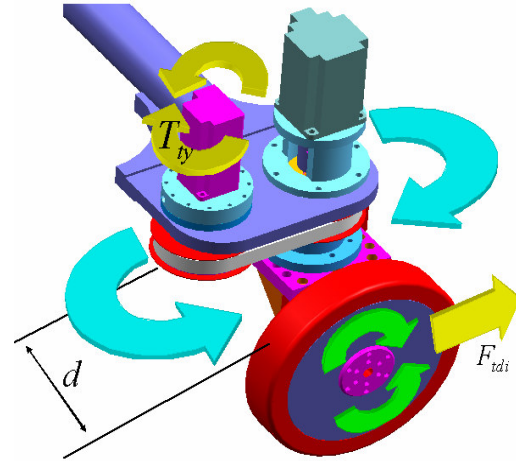
b

Şekil 2.5 : Tahrik sistemi; a) Katı modeli, b) Uygulaması

Tahrik sistemi tekerlek döndürme ve yönlendirme hareketlerini gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Bu amaç ile tasarlanan sistem yapısı ve serbestlik dereceleri Şekil 2.6'da verilmiştir. Şekil 2.6.a sistemin tekerleğe gelen sağladığı dönme serbestliğini verirken etkiyen kuvvetleri de ifade etmektedir. Şekil 2.6.b ise tekerleğin yönlendirilme serbestliğini ifade ederken yönlendirmede kullanılacak olan tekerleğin dönüş hareketleri de ifade edilmiştir.



a



b

Şekil 2.6 : Tahrik sistemi detay; a) Döndürme eksen, b) Yönlendirme eksen

Döndürme motoru aracı belirlenen yol üzerindeki ilerleme ve dönme hareketlerini gerçekleştirmektedir. Bu hareketleri gerçekleştirmek için gereken döndürme momenti (tork) tekerleğe kadar aktarılmaktadır.

Mobil robot genel yapı itibariyle toplam kütlelerini ağırlık merkezinden eşit uzaklıklara dağıtılmış dört adet döndürme motoru sayesinde harekete geçirebilmektedir. Bu amaç doğrultusunda motor seçimi yapılırken çözüme tek bir tekerleğin taşıdığı yükten yola çıkılarak rahatça ulaşılabilir.

Döndürme hareketini sağlayacak motor seçimi araç kütlesi m_{top} , tekerlek yarıçapı r_t ve başlangıç yuvarlanma direnci μ_{bd} şeklindeki sabitler ile birlikte mobil robotun hızı v_{mr} ve hızlanma süresi t_i şeklindeki değişkenler kullanılarak aşağıda ifade edildiği şekilde yapılabilir.

$$m_{top} = 230kg \quad v_{mr} = v_{td} = 1m/s \quad t_i = 0.66s \quad (2.1)$$

$$\mu_{byd} = 0.014 \quad r_t = 100mm$$

değerleri göz önüne alınarak döndürme momenti hesabı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

Burada T_{td} , tekerlek döndürme torku, tekerleğin çizgisel hızı v_{td} 'nin mobil robot çizgisel hızıyla eşit olması kabul edilerek ve tekerleğin düzlemle temasta olan poliüretan malzemenin yuvarlanma direnci baz alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$T_{td} = F_{td} \times r_t \quad (2.2)$$

$$F_{td} = F_{tdi} + F_{idd} \quad (2.3)$$

$$F_{td} = m_t \times a_{mr} + m_t \times g \times \mu_{byd} \quad (2.4)$$

$$m_t = m_{top} / 4 \quad (2.5)$$

$$a_{mr} = 1.5m/s^2 \quad F_{td} = 122.9N \quad T_{td} = 9.415Nm \quad (2.6)$$

Tekerleğin bir tam turda aldığı yol s_{td} olarak ifade edilirse;

$$s_{td} = 2\pi r_t \quad (2.7)$$

$$s_{td} = 0.628m$$

İstenen hızın tekerlek dönüş devri cinsinden ifadesi aşağıdadır;

$$n_{td} = v_{mr} / s_{td} \quad (2.8)$$

$$n_{td} = 1.592r/s \quad n_{td} = 95.54d/dk \quad (2.9)$$

Yukarıda hesaplanan gerekli döndürme momenti ve devir sayısı göz önüne alınarak Applied Motion Products'a ait A200-104-4-000 ürün koduna sahip motor uygunluğu sürekli devir sayısı ve tork değerine göre incelendiğinde;

$$n_{dm} = 3000d/dk \quad T_{dm} = 0,64Nm \quad (2.10)$$

döndürme eksenin sahip olası gereken redüktör çevrim oranı i_d aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$i_{td} = n_{dm} / n_{td} \quad (2.11)$$

$$i_{td} = 31.54$$

Fakat uygulamada redüktör çevrim oranını sağlaması amacıyla ya özel bir tasarım yapılır yada bu çevrim oranına en yakın redüktör seçilip sisteme uygulanır. Redüktör çevrim oranını $i_{dr} = 30:1$ seçerek sürekli halde tekerleğe uygulanacak maksimum tork değeri ve devir sayısı şu şekilde hesaplanır;

$$T_{td\max} = T_{dm} \cdot i_{dr} \quad (2.12)$$

$$T_{td\max} = 19.2Nm \quad n_{td\max} = 100d/dk \quad (2.13)$$

Bu halde tekerleğe uygulanan kuvvet ve mobil robotun en yüksek ivmesi tekrar hesaplanırsa;

$$a_{td \max} = F_{tdi \max} / m_t \quad (2.14)$$

$$F_{tdi \max} = F_{td \max} - F_{idd} \quad (2.15)$$

$$F_{td \max} = T_{td \max} / r_t \quad (2.16)$$

$$F_{tdi \max} = 184.11N \quad a_{td \max} = 3.2m/s^2 \quad (2.17)$$

Bu da seçilen motorun uygun olduğunu göstermektedir. Fakat mobil robotun laboratuvar içi uygulamalarda sürekli ivme değerinin maksimum $a_{mr} = 2m/s^2$ sınırını aşmaması öngörülmüştür.

Tekerlek yönlendirme hareketi teker dönme hareketi ve oluşan bu hareketin kontrolü şeklinde yapılacaktır. Bu amaç doğrultusunda tekerleğin dönme eksenine dik yönde ve belirli bir uzaklıkta yönlendirme eksenini yerleştirilmiştir. Eğer tekerleğin yönlendirme eksenine göre saat yönünde hareket etmesi isteniyorsa tekerlek kendi dönme eksenine göre saat yönünün tersi istikametinde dönecektir. Aynı koşul tam tersi durum için de geçerlidir.

Yönlendirme eksenini boyunca tahrik de yine bu eksen boyunca monte edilmiş yönlendirme motoru tarafından gerçekleştirilmektedir. Buraya yerleştirilmiş motorun görevi tekerleğin doğrusal ve yön değiştirme hareketlerinde, istenilen açı değerinin yakalaması ve tekerlek pozisyonunu kaybetmesini önlemektir.

Yönlendirme hareketini sağlayacak motor seçimi döndürme motorunun uygulaması gereken torku değişken kuvvet olan ve (2.3)'den alınan F_{tdi} , bu kuvvetin yönlendirme eksenine olan sabit dik uzaklığı $d = 78.5mm$ kullanılarak aşağıda ifade edildiği gibi bulunabilir.

$$T_{ty} = F_{tdi} \times d \quad (2.18)$$

$$F_{tdi} = 86.25N \quad T_{ty \max} = 6.77Nm \quad (2.19)$$

Yukarıda hesaplanan gerekli döndürme momenti göz önüne alınarak Applied Motion Products'a ait A100-104-3-000 ürün koduna sahip motor uygunluğu sürekli devir sayısı ve tork değerine göre incelendiğinde;

$$n_{ym} = 3000d / dk \quad T_{ym} = 0,318Nm \quad (2.20)$$

döndürme eksenin sahip olası gereken redüktör çevrim oranı i_d aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$i_{ty} = T_{dm} / T_{ty \max} \quad (2.21)$$

$$i_{ty} = 21.28$$

Redüktör çevrim oranını $i_{yr} = 30 : 1$ seçerek sürekli halde tekerleğe uygulanacak maksimum tork değeri şu şekilde hesaplanır;

$$T_{ty \max} = T_{ym} \cdot i_{yr} \quad (2.22)$$

$$T_{ty \max} = 9.54Nm$$

$T_{ty \max} > T_{tdy \max}$ olduğundan seçilen yönlendirme motoru teker yön değişimini rahatlıkla kontrol edebilmektedir.

Kuvvet analizi yukarıdaki gibi yapılmasına karşın yönlendirme eksenindeki hız n_{ty} tekerin yönlendirme amacıyla kendi eksen etrafındaki dönme hızı v_{tdy} ve dönme eksenine dik uzaklık d kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur;

$$n_{ty} = v_{tdy} / d \quad (2.23)$$

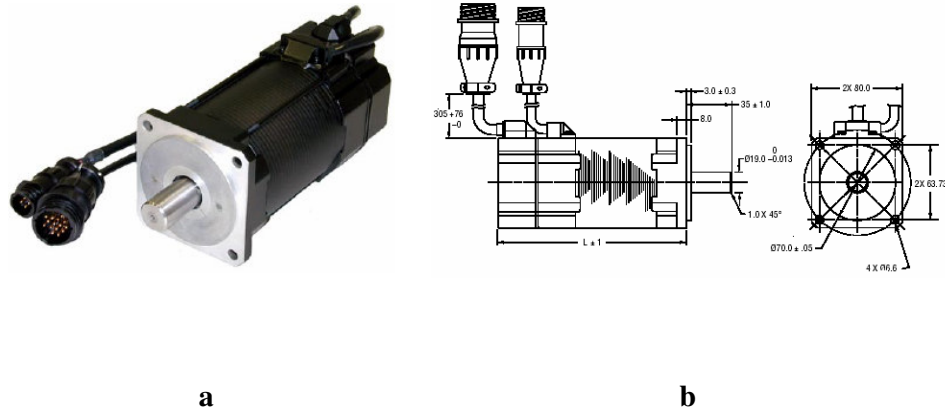
Teker döndürme hareketini sağlayan konstrüksiyon motorun mobil robot koluna bağlandığı motor ara flanşı ile pozisyonlanmıştır. Motor mili, hareketi alt konstrüksiyona aktaran uzatma miline rijit kaplin ile bağlanmıştır.

Uzatma mili St50 çelikten imal edilmiş olup rulman bağlantı gövdesine üstten yataklanarak tekerlek üst adaptörüne de alttan yataklanmıştır. Uzatma milinin

rulman bağlantı gövdesiyle teması sadece yataklandığı rulmandan gerçekleşir ve içi boş gövde rahatlıkla dönebilmektedir.

Tahrik sistemi için gerekli olan motor genel özellikleri yukarıda hesaplanmıştır. Bu amaç doğrultusunda mobil robot tahrik sistemi için Applied Motion Products'a ait A serisi iki tip motor uygun görülmüştür.

Tekerleği kendi ekseninde istenilen hızda çevirmek amacıyla kullanılan motor AO200-104-4-000 ürün kodlu fırçasız tip servo motor olarak seçilmiştir (Şekil 2.7). Kompakt bir yapıya sahip olan motorun sürekli devir sayısı 3000 d/dk olup sürekli işletme torku 0,64 Nm dir. 48 Volt işletme gerilimi ve 200 Watt 'lık çıkış gücüne sahip motorun sürekli çalışma akımı 6,7 Amperdir.



Şekil 2.7 : Tahrik motorları; a) Genel görünüş, b) AO200-104-4-000 detayı

Hareket bileşenleri belirlenirken tekerleği tahrik eden döndürme motor milinin açısal hızı integre edilerek tekerleğin düzlemde aldığı yol bulunacaktır. Bu amaç doğrultusunda motorun artımsal kodlayıcıya (incremental encoder) sahip olması gerektiğine karar verilmiştir. 2000 çizgili artımsal kodlayıcı motor üzerinde yer almakta olup çıkış bilgisi direkt olarak motor sürücüsüne gitmektedir.

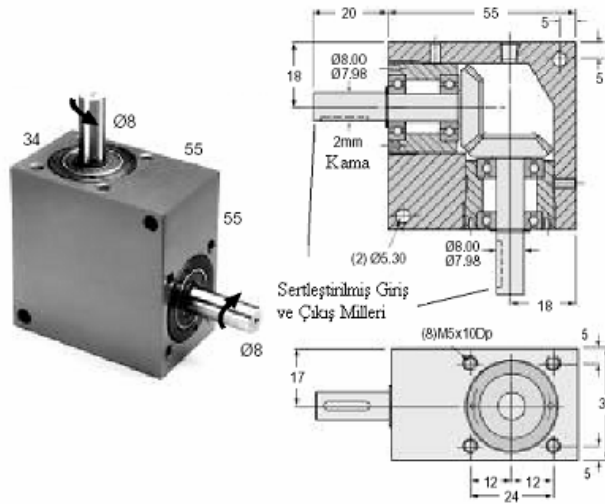
Tekerlek yönlendirme hareketini gerçekleştirmek amacıyla seçilen motor da yine Applied Motion Products'a ait fırçasız tip servo motordur. Fakat yönlendirme hareketinde döndürme hareketine göre daha az güce ihtiyaç duyulduğundan AO100-104-3-000 ürün kodlu motor seçilmiştir. 3000 d/dk'lık sürekli işletme devrine sahip

motorun sürekli işletme torku 0,318 Nm dir. 48 Volt işletme gerilimi ve 100 Watt'lık çıkış gücüne sahip motorun sürekli çalışma akımı 3 Amperdir.

Tekerleğin yönlendirme açısının belirlenmesi ise artımsal kodlayıcı ve mikro anahtarın (micro switch) birleşik kullanımı ile gerçekleşmektedir. Araç ağırlık merkezinden tekerlek dönme merkezine kadar oluşturulan doğru yönünü sıfır kabul edip yerleştirilen mikro anahtar araç üzerine yerleştirilen P(x1 , x2) eksen takımıyla 41,1° açı yapmaktadır. Bu şekilde birleşik çalışmalı bir yapıya gidilmesinin ana sebebi mobil robotun başlangıç hareketlerinde önceden belirlenmiş bir noktaya göre pozisyon bilgisinin sağlanmasıdır.

Genel olarak yönlendirme açısı sıfırlama işlemi yapılırken tekerleğin yönlendirme eksenini etrafında her zaman saat yönü tersi yönde dönecektir. Dönme işlemi hareketli yapıda yer alan tetikleyici parçanın mikro anahtarı tetiklenmesine kadar devam edecektir. Mikro anahtardan alınan tetikleme bilgisi ile AO100-104-3-000 kodlu yönlendirme motorunun üzerindeki artımsal kodlayıcı için sıfır pozisyonunun üzerine oluşturulmuş olacaktır.

Dönme hareketinin tekerlek dönme eksenini yönünde olması için motor mili doğrultusunda gelen hareketin 90° yön değiştirmesi gerekmektedir. Bu amaç ile Rino marka BLH30 ürün kodlu konik dişli kullanılmıştır. 90° dönüşlü ve $i_{rr} = 1:1$ olarak seçilen redüktörün diş boşluğu 1° olup maksimum giriş devri 4000d / dk dır.

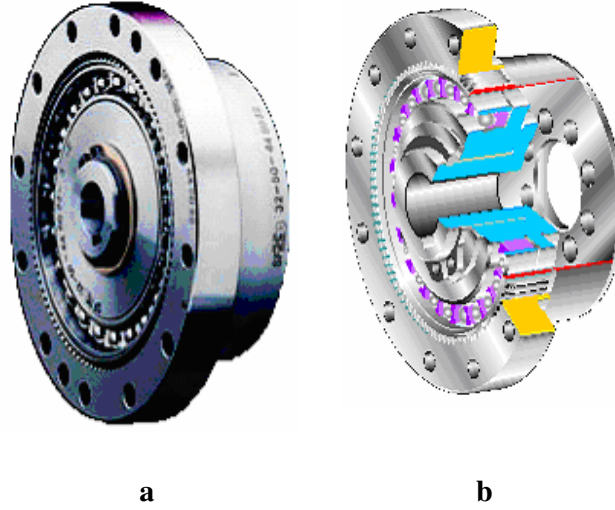


Şekil 2.8 : Redüktör genel görünüşü ve detayı

Uzatma milinden alınan hareket yukarıda tanıtılan redüktöre rijit bir kaplin ile aktarılmıştır.

Tekerlek tahriği için gerekli olan momente ve devir sayısına ulaşmak amacıyla dalgalı dişli mekanizması kullanılmıştır (Şekil 2.9). Mekanizma firma adıyla aynı isimle yani “Harmonic Drive” ismiyle patent alınmış olup üretimi yalnızca firmanın kendi fabrikalarında yapılmaktadır.

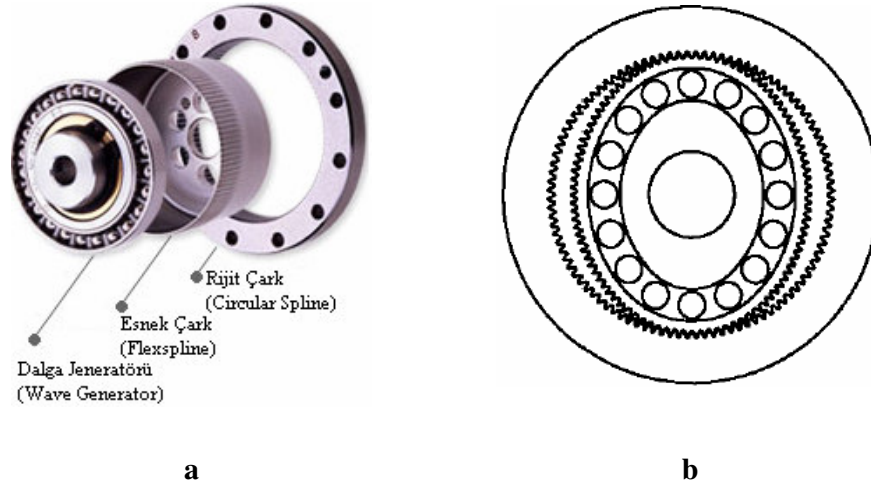
Yüksek hassasiyet ve sürekli tekrar edilebilirlik koşulları göz önünde bulundurulduğunda dişli boşluğu olmayan ve yüksek çevrim oranına çok küçük yapıda sahip olan Harmonic Drive markalı HFUC-17-30-2UH ürün koduna ve 30:1 çevrim oranına sahip redüktör kullanımına karar verilmiştir.



Şekil 2.9 : Dalgalı dişli mekanizması; a) Genel görünüş b) Kesit görünüşü

Dalgalı dişli mekanizmaları Dr.C. Walton Musser tarafından ABD’de 1955 yılında patent almıştır. Temel olarak metalin elastik dinamiğini avantaj olarak kullanma prensibine dayanır.

Genel olarak gövde dalga jeneratörü (Wave Generator), esnek çark (Flexspline) ve rijit çark (Circular Spline) olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.10).



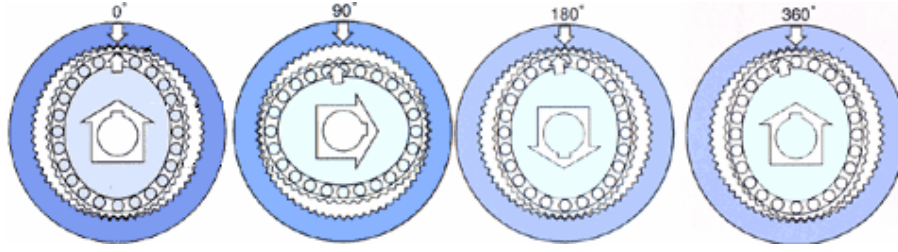
Şekil 2.10 : Dalgalı dişli mekanizması detay; a) Temel elemanları, b) Genel yerleşimi

Dalga jeneratörü (Wave Generator); küçük bilyelerin eliptik yapıdaki bir milin üzerine dizilimiyle oluşur. Elastik dış bilezik bilyelerle elastik deformasyon halindeyken iç bilezik mile sabitlenmiştir. Dalga jeneratörünün genelde giriş miline bağlanması ile tork hareket üreticiden alınmış olur.

Esnek çark (Flexspline); dış yüzeyinde dişleri olan esnek bir kap yapısında olan metal kaskak bileşendir. Kabın arka kısmı diyafram olarak da adlandırılır ve genellikle çıkış miline bağlanır.

Rijit çark (Circular Spline); iç yüzeyine diş açılmış rijit yapıda çelik bir halkadır. Rijit çark esnek çarkın diş sayısından iki diş fazla dişe sahip olup genelde bir çerçeveye sabitlenir.

Dalga jeneratörü hareket üretici motor tarafından tahrik edildiğinde esnek çarka eliptik yapıda veya dalga benzeri yapıda hareket oluşturmaktadır. Bu hareket esnek çarkın dış yüzeyindeki dişlerinin sabit çarkın iç yüzeyindeki dişlerine geçmesini sağlar. Bu temas mil merkezinden eşit uzaklıktaki iki noktanın dönme halindeyken sürekli hareketiyle sağlanır. Bu hareket aynı zamanda dalga jeneratörünün en küçük eksenindeki iki noktadaki dişlerin birbirinden tamamen ayrılmasına olanak sağlar (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Dalgalı dişli mekanizması çalışma görüntüsü

Esnek çarkın sahip olduğu diş sayısının sabit çarkındakinden iki adet eksik olması ve dalga jeneratörünün eliptik yapısının tam dişli ayrılmasına olanak sağlaması dalga jeneratörünün her bir tam turunda esnek çarkın sabit çarka göre iki diş yer değiştirmesine sebep olur. Bu yer değiştirme dalga jeneratörünün dönüş yönüne her zaman ters yönde gerçekleşmektedir.

Örneğin dalga jeneratörü saat yönünde dönmesine karşın esnek çark her turda iki diş ve saat yönüne ters yönde dönecektir.

Böylece, dalgalı dişli mekanizmasını oluşturan üç elemandan oluşan bu yapı, bir hız düşürücü yeteneğine sahip olur. Ana güç kaynağından dalga jeneratörüne girilen yüksek hızdaki giriş esnek çarkta yalnızca her dönüşte iki dişlik bir harekete sebep olacaktır. Bu hareket dalga jeneratörüne göre yavaş ve ters yönlü bir harekettir.

Dalgalı dişli mekanizmasının çevrim oranı esnek çarktaki diş sayısı ikiye bölünerek bulunur. Örneğin sabit çark 202 dişe sahip olduğunda esnek çark 200 dişe sahip olsun. Bunun sonucundaki çevrim oranı da $200/(202-200)=100:1$ olacaktır.

Kullanım alanları işleme tezgahları, yüksek hızlı baskı operasyonları, robotik uygulamalar, uzay ve askeri uygulamalardır.

Mobil robot tekerleğinin düzlem üzerindeki yönünü belirlemek amacıyla yönlendirme motorundan alınan hareket de Harmonic Drive markalı HFUC-17-30-2UH ürün koduna ve 30:1 çevrim oranına sahip redüktörde sisteme uygulanabilir hale getirilir.

Daha sonraki aşamada hareket farklı bir eksene aktarılmalıdır. Bunu sağlamak amacıyla dişli kayış sistemi kullanılmıştır.

T5 diş formuna sahip kayış, üzerine yine aynı formda diş açılmış iki dişli kasnak arasında güç iletimi sağlamaktadır. Bu dişli kayış sistemi sisteminde çevrim oranı $i_k = 1 : 1$ olup herhangi bir devir düşümü yaşanmamaktadır.

Tahrik eden dişli ön yüzeyden dalgalı dişli mekanizmasına bağlanmış olup, tahrik edilen ise kuvvet aktarım braketi sabitlenmiştir. Kuvvet aktarım braketi rulman bağlantı gövdesi etrafında iki adet konik rulman ile yataklanmıştır. Daha sonra ise hareketi tekerleğe aktarmak amacıyla tekerlek üst adaptöre bağlanmıştır.

Dişli kayış çalışmasından dolayı zamanla boyunda oluşacak uzamaları ve sonucunda doğacak boşluğu almak amacıyla ayarlanabilir kayış gergi konstrüksiyonu kullanılmıştır.

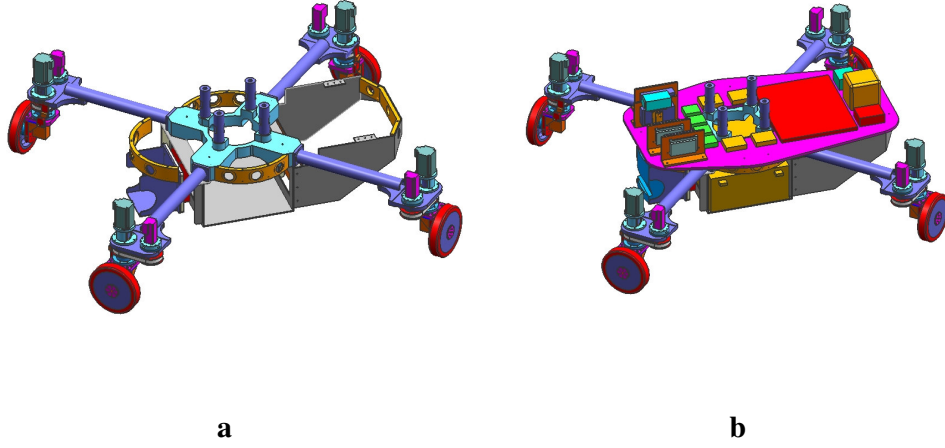
Mobil robot üzerinde yer alan diğer elektronik donanımı taşıması amacıyla özel bir şasi yapısı oluşturulmuştur. Taşıyıcı gövdenin hemen altında yer alan bölümde sistem için gerekli enerjiyi sağlayacak aküler yer almaktadır. Bir tanesi 29,6 kg olan iki adet akü robotun ağırlık merkezini belirleyici anlamda diğer ekipmanlara göre ciddi bir etkidir. Bu amaç doğrultusunda aküler çelik sacdan bir gövde üzerine ağırlık merkezine göre simetrik dağılmış bir yapıda yerleştirilmiştir.

Robotun ön tarafında ise lazer tarayıcıyı yerleştirmek amacıyla yine sac malzemeden koruyucu kutu yer almaktadır. Mobil robotun arka tarafına doğru ise DC - DC çeviricilerin ve hareket kontrol kartı klemenslerinin monte edildiği arka şasi yer almaktadır. Ayrıca tüm ultrasonik sensörler kestamit malzemeden imal edilmiş parçalar üzerine yerleştirilmiştir.

Mobil robotun tüm sürücü, sensör ve bilgisayar donanımı taşımak amacıyla oluşturulan üst şasi ise sert alüminyumdan imal edilmiştir.

Mitsubishi-PA-10'nun hareketleri sırasında çalışma yüzeyinin elektronik donanımından uzaklaştırılması amacıyla 120mm boyunda dört adet yükseltme ayağı taşıyıcı gövde üzerine monte edilmiştir.

Sonuç olarak oluşturulan yapı aşağıda verilmiştir.

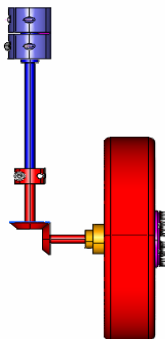
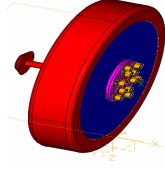
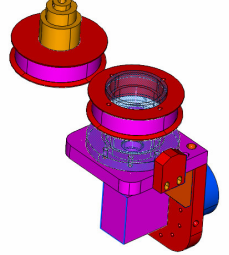
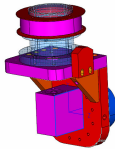
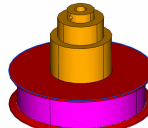
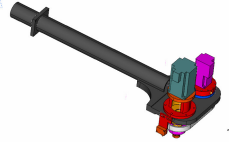
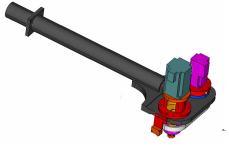
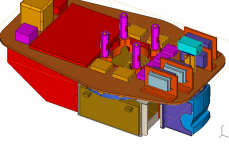
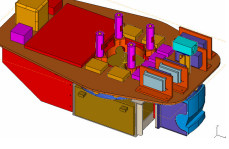


Şekil 2.12: Mobil robot yapı gösterimi; a) Mekanik yapı, b) Tüm yapı

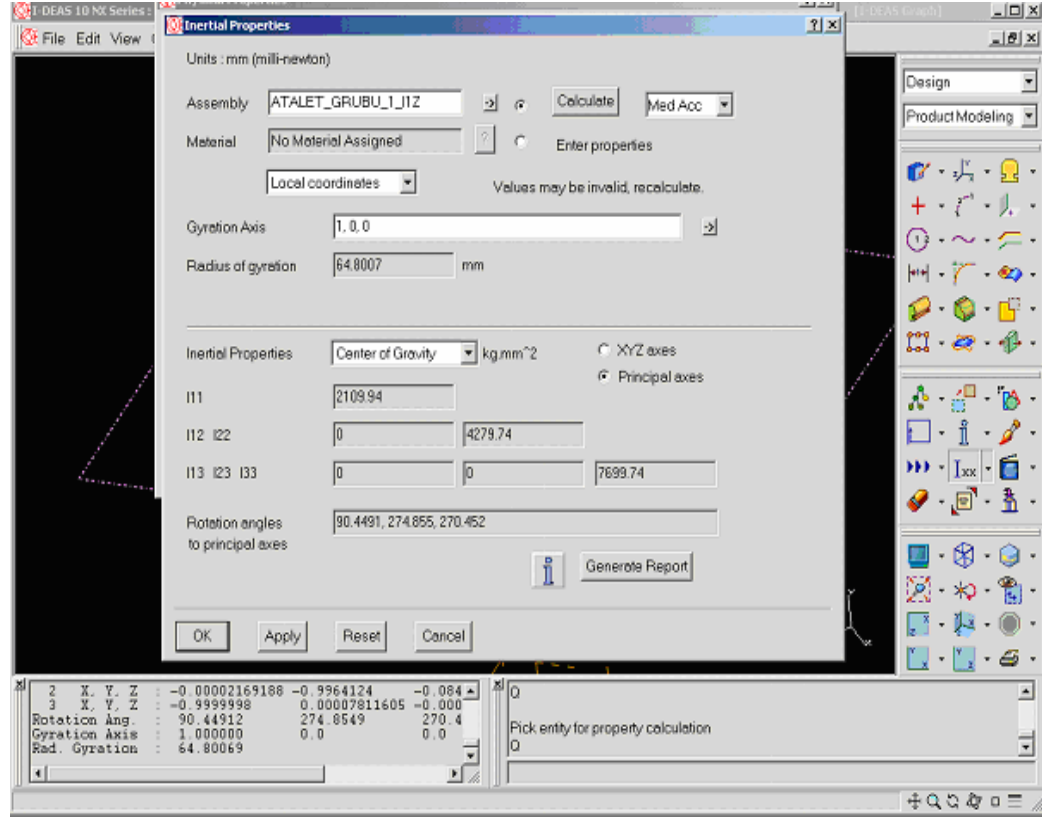
2.1.5 Hesaplanan Atalet Momentleri

Mobil robot tasarım aşamasının tümü üç boyutlu bilgisayar destekli tasarım programları ile gerçekleşmiştir. Tasarım Ideas9.0 ile sonlandırılmış olup Unigraphics NX 3.0 ile sanal dünya modellemesinde kullanılmak üzere dosya aktarım işlemleri gerçekleşmiştir. Mobil robot tasarımının sona erdirilmesi sonucunda oluşan katı model için her bir parçanın imalat malzemesine ve yapısına göre oluşan kütle atalet momentleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 : Mobil robot kütle ve atalet değerleri

Birleşik Atalet Grupları		Ayrık Atalet Grupları	Kütle (Kg)	Kütle Atalet Momentleri (Kg.mm ²)
1			0,25	$I_{11}=23,26$
				$I_{22}=1322,84$
				$I_{33}=1323,50$
			1,83	$I_{11}=2109,94$
				$I_{22}=4279,74$
				$I_{33}=7699,74$
2			2,49	$I_{11}=2771,47$
				$I_{22}=8744,35$
				$I_{33}=8794,92$
			0,69	$I_{11}=2771,47$
				$I_{22}=8744,35$
				$I_{33}=8794,92$
3			5,84	$I_{11}=31215,20$
				$I_{22}=121898,00$
				$I_{33}=124155,00$
4			139,40	$I_{11}=3,365E+06$
				$I_{22}=9,075E+06$
				$I_{33}=1,037E+07$

Bu aşamada hesaplar Ideas10 NX kullanılarak bulunmuştur



Şekil 2.13: Ideas 10NX atalet hesap penceresi

2.2 Sensör Yapısı

Planlanan gerçek zamanlı uygulamalarda mobil robot, hareketlerini gerçekleştirdiği ortamda doğrudan ilişki halindedir. Gezinim (navigasyon) hareketlerinin gerçekleştirilmesi sırasında haritalama ve engellerden sakınma şeklinde gerçekleştirilebilecek yeteneklerin kazanılması amacıyla mobil robot üzerinde birkaç tip algılayıcıdan oluşan sensör yapısı yer almaktadır. Kullanılan sensörler ve kullanım amaçları aşağıda ifade edilmiştir.

Yakın çevredeki çevrenin ve ortamın algılanması amacıyla ultrasonik sensörler kullanılmıştır. Sürekli kullanım yönünde karşılaşılabilecek engellerin çok daha önceden algılanıp enerji korunumu veya görev tamamlama tabanlı uygulamalarda bilgiyi sağlamak amacıyla lazer tarayıcı kullanılmıştır. Mobil robotun düzlem

üzerindeki pozisyon bilgisi aracın düzlemdeki açı değişimlerinden faydalanarak elde edilecektir. Bu amaç doğrultusunda fiber optik jiroskop ve manyetik pusula kullanımına karar verilmiştir.

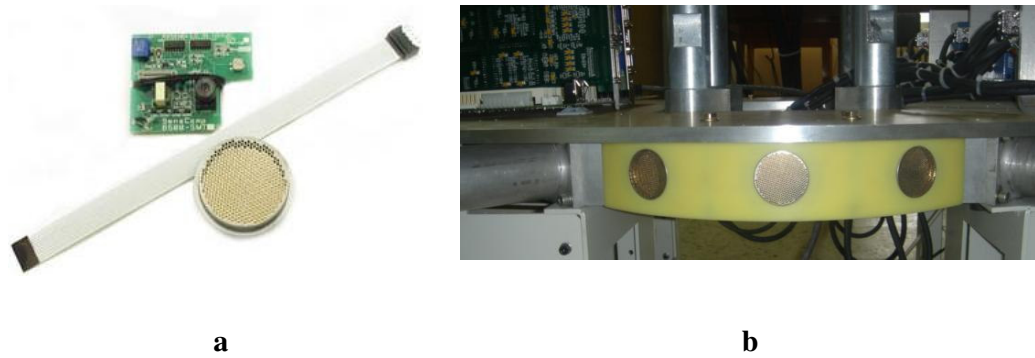
Çevre algılamasında hızla gelişmekte olan görüntü işleme tekniğinin aracın hareket öncesi karar verme aşamasına destek sağlaması amacıyla kamera sistemi kullanılmıştır. Kameranın bağlı olduğu mekanizma ayarlanabilir olduğundan Mitsubishi PA-10'nun çevreyle bütünleşik hareketlerine direkt olarak imkan sağlamaktadır.

Mobil robot üzerine amaca uygun olacak şekilde yerleştirilen tüm bu algılama sistemi aynı anda veya parçalı olarak kullanılabilir. Bunun sonucunda oluşacak veri çeşitliliği amaca uygun olarak önem sırası kazanacak ve harekete karar verme aşamasında bu önem sırası dikkate alınacaktır.

2.2.1 Ultrasonik Ölçüm Sistemi

Ortama gönderilen ses dalgasının bir yüzeyden yansıyıp geri dönmesi için geçen sürenin belirlenmesi temeline dayanır. Oluşturulan sesin frekansı 50kHz 'tır ve insanın duyabildiği frekans aralığı 20Hz ile 20kHz aralığında olduğundan ultrasonik sinyali duymamız imkansızdır.

Laboratuar ortamında mobil robotun çevresindeki objeleri algılaması ve onlara çarpmadan hareket edebilmesi amacıyla bu tip bir sensöre gereksinim duyulmuştur. 15cm ile 1000cm sınırlandırılmış bir ölçme mesafesi ve 15° 'lik saçılım açısı ölçüm için temel sınırları oluşturmaktadır (Şekil2.14).



Şekil 2.14: Ultrasonik ölçüm sistemi; a) Sensör modülü ve algılayıcısı, b) Yerleşimi

Bu amaca uygun olarak Acronome Robotics üzerinden R-135-Sanar4 koduyla bir araya getirilmesi bir ölçme sistemi alınmıştır. Bu sistemin içinde Sanscomp firmasına ait 600 serisi güç çeviriciler (transducer) ve yine aynı firmaya ait 6500 serisi ölçme modülü yer almaktadır. Yukarıda sayılan ölçüm karakterine sahip bu sistem ilave bir ara yüze gereksinim duymadan ölçtüğü mesafenin $\pm 1\%$ doğruluğunda 4,5 V ile 6,8 V aralığındaki gerilimle ölçüm yapılabilmektedir.

2.2.2 Lazer Tarayıcı

Lazer ölçüm sistemi ortama gönderilen lazer ışınının objeden yansıyıp geri dönüş süresiyle doğrudan ilişkilidir. Lazer kaynağından üretilen sinyal karşısında bir reflektöre gereksinim duymadan herhangi bir yüzeyden yansıyarak tarayıcının alıcısı tarafından emilir. Farklı uzaklıklarda bulunan ölçüm yüzeyleri farklı farklı geri dönüş zamanları oluşmasına sebep olacaktır. Sonuç olarak da taranan alanın ışının geri dönüş zamanını baz alarak oluşmuş bir alan tarama yöntemi gelişmiştir.

Mobil robotun düzlemsel hareketlerinde oluşturacak iz takibi uygulamalarında sürekli hareketin öngörüldüğü yere yerleştirilmiş lazer tarayıcı engel belirlemede yardımcı olarak kullanılacaktır. Uzakta durağan veya hareketli engellerin belirlenmesinin yanı sıra aniden karşısına çıkabilecek herhangi bir engelin hızlıca belirlenmesi lazer tarayıcının temel görevleridir (Şekil 2.15).



a



b

Şekil 2.15: Lazer tarayıcı; a) Algılama sembolik gösterimi b) Yerleşimi

Bu amaç doğrultusunda endüstriyel tarama uygulamalarında da sıklıkla görebileceğimiz SICK marka LMS 200 ürün koduna sahip lazer ölçüm sistemi lazer ortamda bulunan objelerin ışığı yansıtma kapasitesine bağlı olarak tarama mesafesi 10m – 60m arasındadır (Şekil2.15 a).

2.2.3 Manyetik Pusula

Mikro işlemci kontrollü manyetik alan detektörü pusulalar ayrılabilir bir toroidsel yapıdaki detektör ve küçük bir elektronik karttan oluşur. İçerisinde hareketsiz akışkan bulunan silindir içerisine iki adet sensör bobini yerleştirilmiştir.

Silindir çevresine sarılı sarmal elektriksel olarak sensör bobinlerini sürmekte olup aynı zamanda dünyanın manyetik alanına bağlı olan darbe genliğini ölçmektedir. Bu çizgi daha sonra ölçüm platformunun sert veya yumuşak demir manyetik parazitini kompoze etmek amacıyla mikro işlemciye gönderilir.

Sonuçlandırılan bilgi de gerçek yönlenme bilgisine çevrilir.

Bu amaç doğrultusunda RVH firmasına ait C100 nolu ürün tercih edilmiştir. Dijital ve analog olarak ayarlanabilen sinyal çıkışına sahip olan ürün otomatik kompozisyona sahiptir. Uygulama alanları arasında gezinim ve askeri uygulamalar sayılabilir.



a



b

Şekil 2.16: Manyetik pusula; a) Sensör gösterimi b) Yerleşimi

2.2.4 Fiber Optik Jiroskop

Kapalı bir optik nüve üzerine sarılmış fiber optik kablolar içinde ters yönde yol izleyen ışının özelliğinin zamanla değişmesi üzerine kurulmuştur. Kabloların sarılı olduğu nüvenin hareket sırasında yer değiştirmesinden dolayı foto algılayıcılardaki dalga değişiminin oranlanmasıyla dönüş yönü ve açısı belirlenmektedir.

Mobil robotun hareketleri düzlem üzerinde gerçekleşeceğinden yalnızca düzleme dik doğrultudaki eksene göre belirlenen dönüş yönü ve açısı yeterli olacaktır.

Doğru bir ölçüm sonucu alabilmek amacıyla ölçüm eksenine dik olan düzleme paralel monte edilmesi zorunludur.

Bu amaca uygun olarak KVH firmasına ait DSP-3000 serisi fiber optik jiroskop kullanılmasına karar verilmiştir. Genellikle radar, gezinim, pozisyonlama, uzay ve robotik uygulamalarında kullanılmaktadır.

Dijital ve analog çıkış verebilme özelliğine sahip olup saniyede $\pm 375^\circ$ değişimini verebilmektedir. 5 Voltluk doğru akımla çalışan sensör elektrik verildikten 5 saniye sonra çalışmaya hazır olmaktadır.



a



b

Şekil 2.17: Fiber optik jiroskop; a) Sensör gösterimi, b) Yerleşimi

2.2.5 Kamera Sistemi

Bir tabakanın üzerine dizilmiş ışığa duyarlı foto diyotların kullanıldığı yüklenme iliştirilmiş araç (Charge Coupled Device) çip teknolojisi ile çalışmaktadır. Diyotların üzerine düşen ışın elektrik gerilimin ışık şiddetiyle doğru orantılı şekilde çevrilir. Matris gerilim bir analog dijital çevirici ve işlemci ile resme çevrilir.

CCD teknoloji kullanılarak dijital sinyal işleme (DSP) mantığıyla çalışan Jar firmasına ait CV- S – 3200 ürün koduna sahip kamera kullanılmıştır.

Yüksek hassasiyete ayarlanabilir bu renkli kamera, PAL’ de 752(h) X 582(v) çözünürlüğünde görüntü alınabilmektedir.

Görüntü işleme kartı olarak da Euresys firmasına ait Domino Harmony model isimli ürün kullanılmıştır.



a



b

Şekil 2.18: Kamera sistemi; a) Kamera gösterimi, b) Yerleşimi

2.3 Sürücüler ve Bilgisayar Donanımı

Mobil robot üzerinde yerleştirilmiş olan motorların ve çevresel algılayıcıların belirli kurallar çerçevesinde yönetilmesi gerekir.

Döndürme ve yönlendirme işlemlerini yapan motorlar kendilerine ait sürücüler tarafından sürülmekte ve yine aynı sürücüler motor hız bilgilerini kendilerinde toplamaktadır. Motor kontrol bilgisinin oluşturulması ve oluşan bilginin sürücülere

aktarılması işlemi hareket kontrol kartı sayesinde olmaktadır. Mobil robotun ayrık veya bütünleşik tüm işlemlerinin gerçekleştirilmesi bilgi oluşumu veya bilgi alış verişini sağlamak amacıyla bilgisayar donanımı kullanılmıştır.

2.3.1 Motor Sürücüleri

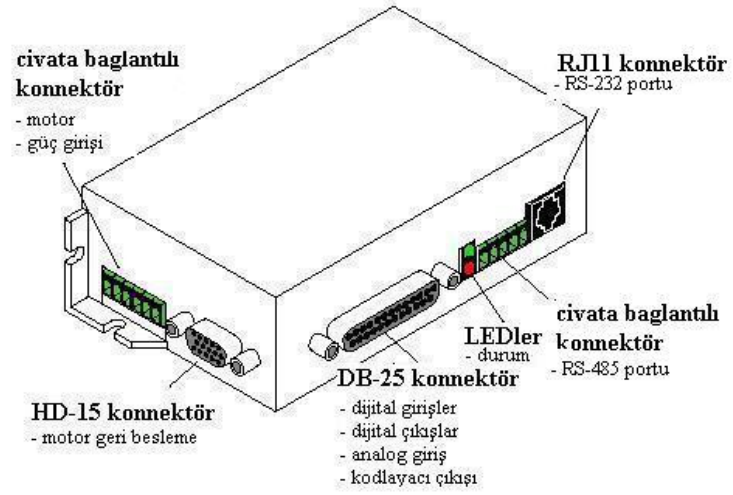
Mobil robot üzerinde dördü dondurma ve dördü yönlendirme olmak üzere toplamda sekiz adet motor bulunmaktadır. Döndürme motorları Applied Motion Products firmasına ait A-200-104-4-000 nolu motor olup, buna uygun sürücü olarak BLU200–S nolu ürün seçilmiştir.

BLU 200 – S nolu sürücü ± 10 VDC analog sinyal veya darbe genişliği modülasyonu (Pulse Width Modulation) ile motoru hız veya tork modunda kontrol edebilmektedir (Şekil 2.19). Sürücü ayrı zamanda sürekli kullanımlarda Windows tabanlı yazılım ile kontrol edilebilmektedir. Gerçek zamanlı uygulamalarda ise bir kişisel bilgisayar (PC) veya programlanabilir mantık kontrolcüsü (PLC) komut sistemiyle RS 232 ve RS 485 dan bağlantı yapılarak kullanılabilir. Ayrıca motor üzerinden alınan kodlayıcı bilgisi de sürücü tarafından takip edilmektedir.

24 - 48 V'lik doğru akım kaynağına gereksinim duymaktadırlar. Sürekli çalışma akımı 9 Amper iken en yüksek çalışma akımı 18 Amperdir.



a



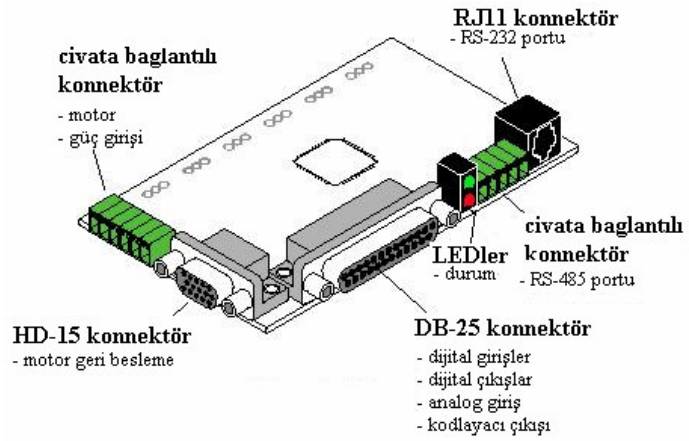
b

Şekil 2.19: BLU 200 – S sürücüsü a)Genel görünüşü, b) Giriş ve çıkışları

Mobil robotun yönlendirme eksenlerini harekete geçiren motorlar A-100-104-3-000 no.lu olup BLU 100 – S sürücüsü ile sürülmektedir. Genel olarak BLU 200-S ile aynı özellikleri taşımakla beraber, sürekli işletme akımı 4,5 Amper ve en yüksek çalışma akımı ise 13,5 Amperdir (Şekil 2.20).



a



b

Şekil 2.20: BLU 100 – S sürücüsü a)Genel görünüşü, b) Giriş ve çıkışları

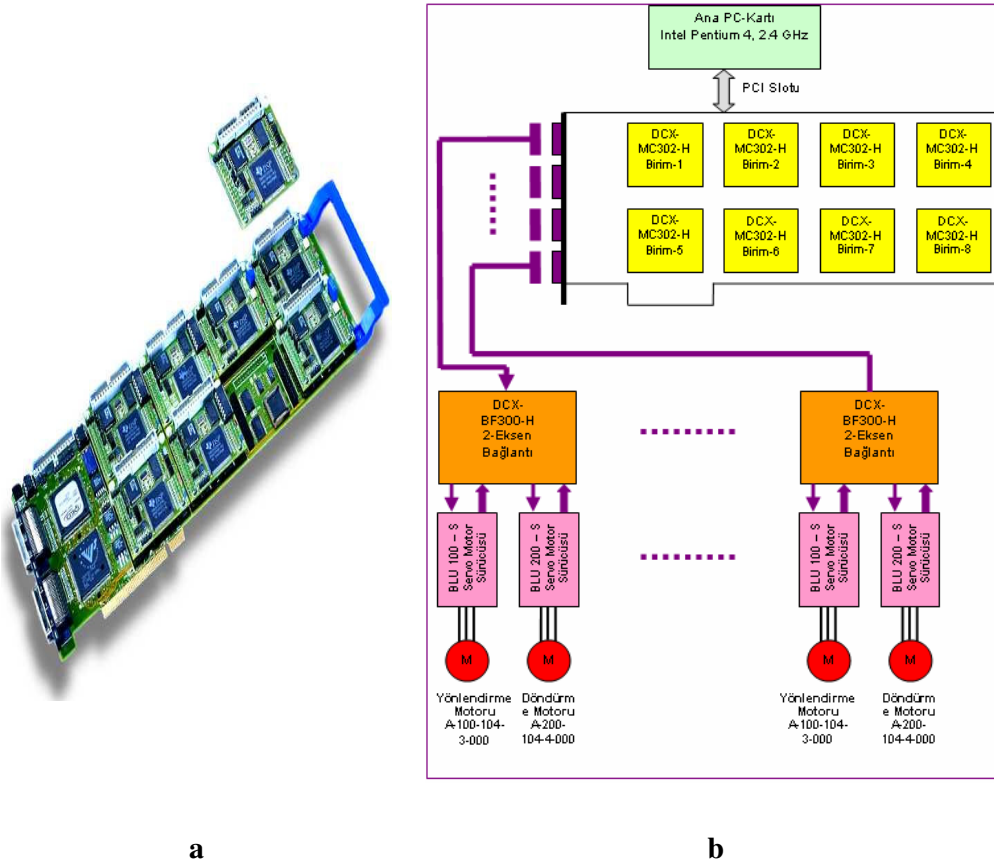
2.3.2 Hareket Kontrol Kartı

Mobil robotun düzlem üzerindeki hareketlerini gerçekleştirirken tekerlek dönme ve yönlendirme işlemlerinin hesabı sistem için ciddi bir görev yığılması oluşturmaktadır. Yığılımı azaltarak sistemi hızlandırmak amacıyla mobil robot hareketleri anakart üzerine takılmış harici bir hareket kontrol kartı sayesinde gerçekleştirilecektir.

Bu amaç doğrultusunda PMC firmasına ait DCX – PCI 300 nolu hareket kontrol kartı uygun görülmüştür (Şekil 2.21.a).

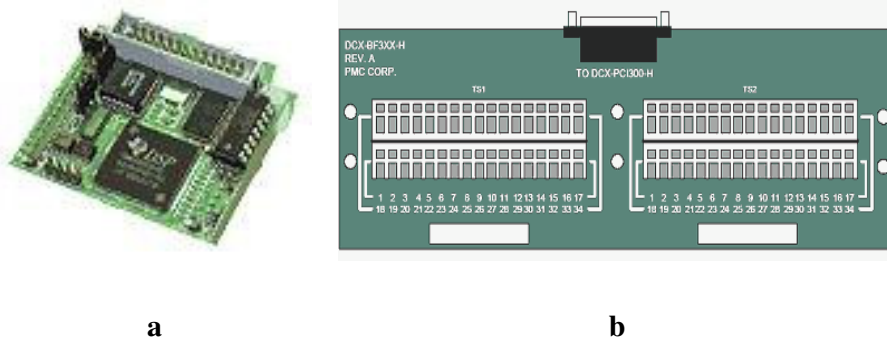
Kişisel bilgisayar (PC) tabanlı hareket kontrolü yapan makine üreticileri tarafından yüksek performans sağladığı ve ekonomik olduğu için tercih edilmektedir.

Kart giriş ve çıkışları Şekil 2.21.b’de verilmiştir.



Şekil 2.21: Hareket kontrol kartı a)Genel görünüşü, b) Giriş ve çıkışları

Sabit hareket mimarisi üzerine kurulmuş kartların aksine paralel çalışan modüllerden oluşan çoklu işlemcili bir yapı yer almaktadır. Hareket kontrol kartı üzerine tekli servo ve açılım motor modülleri ile iki sürücünün tek bir modüle bağlanabildiği modüllerde yer almaktadır. Mobil robot için iki servo motoru kontrol edebilme yeteneğine sahip DCX – MC 302 nolu modül tercih edilmiştir (Şekil 2.20.a). Toplamda sekiz adet motor olduğundan ve iki motorun tek bir modülden kontrol edilebilmesinden dolayı dört adet modül hareket kontrol kartı üzerinde yer almaktadır. Ayrıca servo sürücüleri karta bağlayan DCX- BF 300- H nolu iki eksen birleştirici kart mobil robotun ön kısmında yer almaktadır(Şekil 2.22.b).



Şekil 2.22: Hareket kontrol kart bileşenleri a)Modül, b) Bağlantı kartı

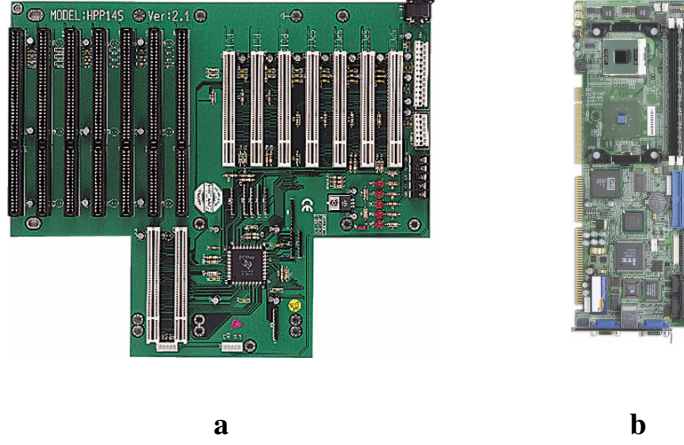
2.3.3 Bilgisayar Donanımı

Mobil robot üzerine yerleştirilmiş tüm sürücü, sensör ve kontrol kartı bilgilerinin derlenmesi, işlenmesi ve ilgili adreslere gönderilmesi işleri tek bir merkezde yapılmıştır. Araç üzerine yerleştirilmiş olan bu bilgisayar donanımı ileride Mitsubishi – PA- 10’nun da hareket kontrol kartının da takılması ile bütünleşik bir yapıya sahip olacaktır.

Anakart olarak Bosar Technology Co.’nun üretmiş olduğu HPP – 14 S ver 2.2 nolu PCI köprülü PICMG Bus Backplane kullanılmıştır. Üzerinde 2 PICMG, 7 PCI ve 5 ISA genişleme yuvası (slot) bulunan kart AT / ATX güç bağlantısına uygundur.

Ana işlemci olarak Intel Pentium 4-M işlemcili, tekli merkezi işletim birimine (CPU) tipine sahip CPPA P4M- 2400 ürün kodlu işlemci tercih edilmiştir.

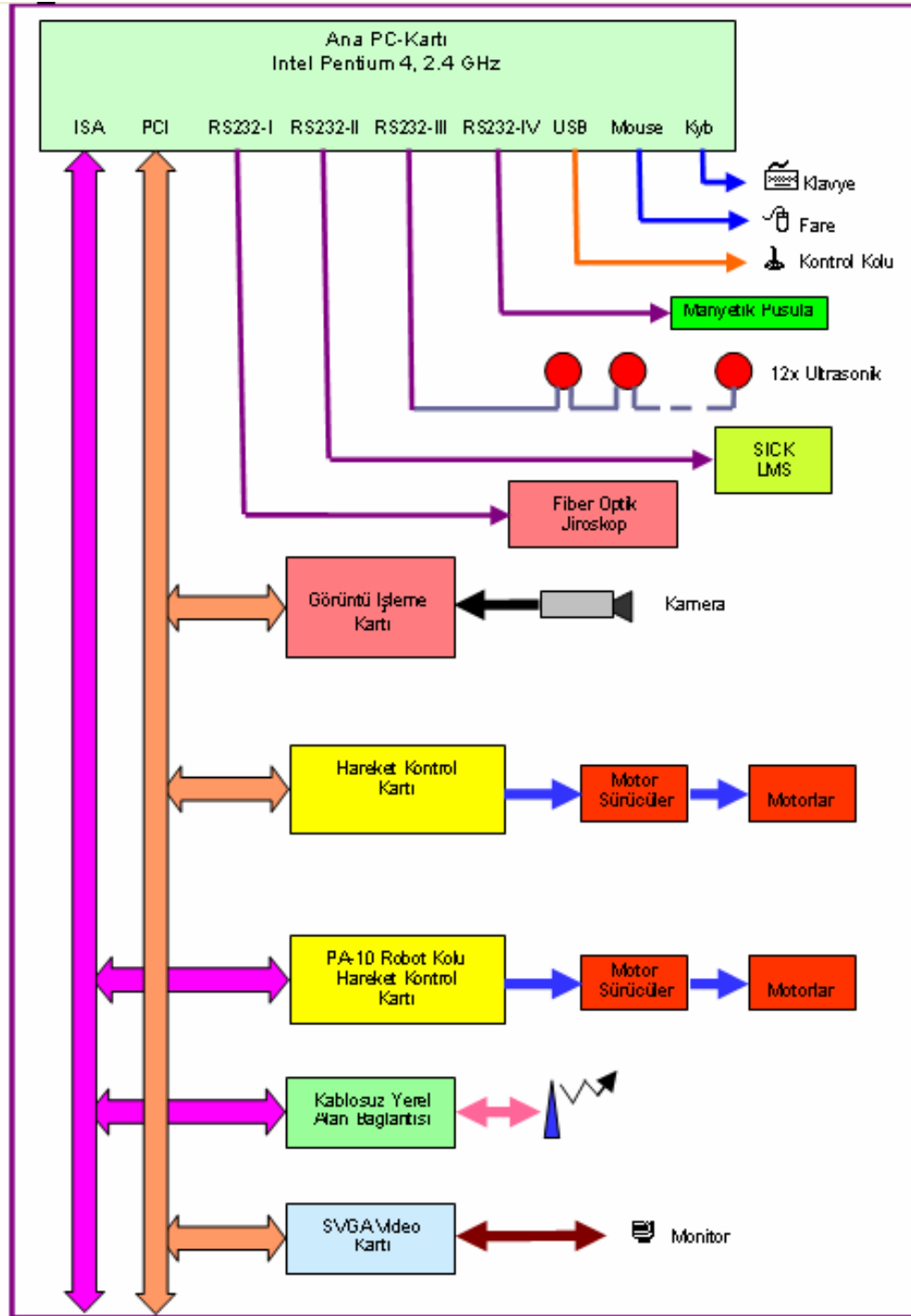
2,4 GHz işlemci hızına sahip işlemci üzerinde 16MB DDR görüntü RAM'ı yer almaktadır. Anakart üzerine montajı da PICMG slotuna rahatlıkla yapılabilir.



Şekil 2.23: Bilgisayar donanımı; a)Anakart, b) İşlemci

Ayrıca sistem üzerine 2 GB DDR RAM, 80GB'lık bir adet yerel sürücü ve bir adet CD-ROM yer almaktadır. Mobil robotun sunucu bilgisayarı ile bağlantısı DWL – G 520 ürün kodlu PCI ethernet kartı ve DI – 824 VUP kablosuz yönlendirici ile yapılmaktadır.

Oluşturulan bilgisayar donanımı, sürücü ve sensör bileşenleri sisteme Şekil 2.22'de gösterilen öngörü ile dahil edilecektir.



Şekil 2.24: Bilgisayar donanımı; sensör ve sürücü bileşimi

2.4 Elektrik Sistemi

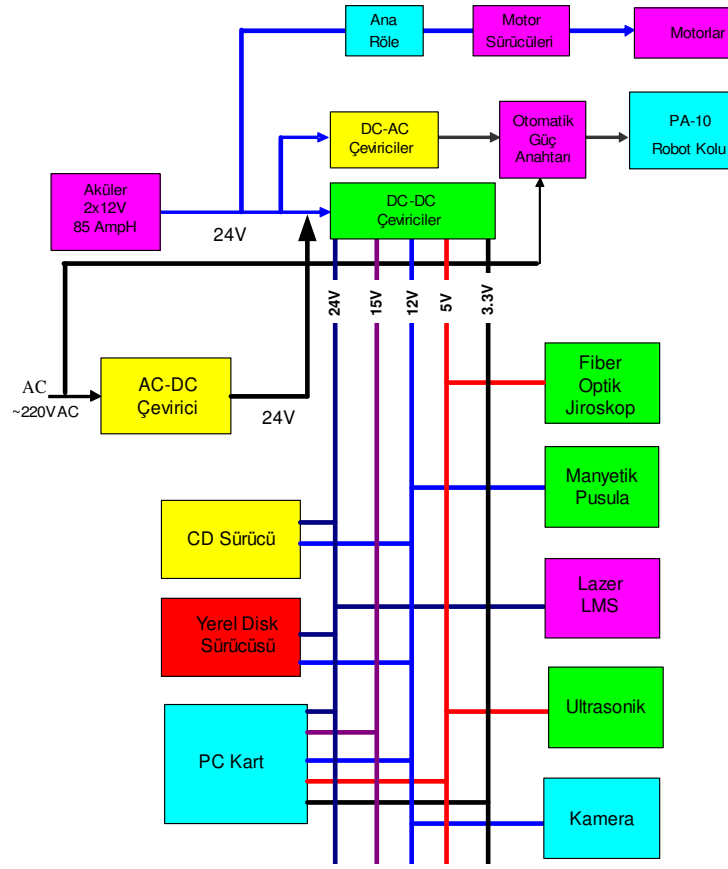
Mobil robot üzerinde gerek tahrik sistemi için, gerekse sensör sistemi ve bilgisayar donanımı için gerilimi 24V ile 3,3V arasında değişen doğru akıma sahip elektrik gücüne ihtiyaç vardır.

Mobil robotun hareket kabiliyetini arttırmak amacıyla sinyal bilgisinin yanı sıra elektrik ihtiyacı da kendi üzerinden sağlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda mobil robot üzerinde taşınabilir güç kaynakları olan aküler tercih edilmiştir.

Mobil robotun en yüksek çalışma durumundaki elektrik ihtiyacı ve ağırlık göz önüne alınarak BB – Battery firmasına ait BPL – 85 12 kodlu 85 amper saat ve 12 Voltluk iki adet akü uygun görülmüştür. Aküler asitli tip olup kısa devre olmaksızın her yönde kullanılabilirler.

Sistem için gerekli en yüksek voltaj değeri 24V olduğundan aküler seri tip bağlantı ile gereken gücü sağlamaktadırlar. 24V motor sürücülerine direkt olarak verilebilirken diğer donanımlar için özel gerilim değerleri verilmektedir.

Şekil 2.23'teki değerlerin elde edilmesi işlemi DC-DC çeviriciler kullanılarak rahatlıkla yapılabilir. Çeşitli yazılım yüklemeleri ve sensör ayarları yapılırken sistemin elektrik ihtiyacının dışarıdan sağlanması amacıyla bir AC –DC çevirici kullanılmıştır.



Şekil 2.25: Elektrik dağılım özet şeması

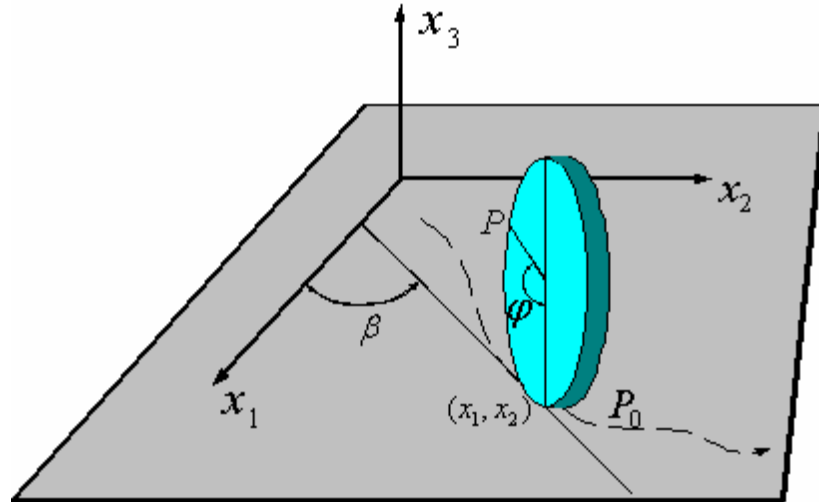
Mobil robot yer değiştirme hareketini yaparken yük altında yavaşlama ivmesi altında servo motorlarda oluşacak güç sınırlandırılmalıdır. Bu olay DC motorların tahrik yükler tarafından sürüldüğü zaman oluşmaktadır ve rejenerasyon diye adlandırılır. Rejenerasyon işlemi sırasında sistem giriş voltajından daha yüksek bir gerilim oluşturabilir. Yükselticinin zarar görmemesi ve patlamaması için bu gerilimin bir bölümünün kısılması gerekir. Bu amaçla mobil robot üzerine Applied Motion Products'a ait RC-050 ürün kodlu bir rejenerasyon klempli yerleştirilmiştir.

3. MOBİL ROBOT KİNEMATİĞİ

3.1 Temel Kinematik Bileşenler

Mobil robot hareket yapısı holonomik sistemlere ait olan, kısıtların hız üzerinden verilen ve durum değişkenlerinin de bu kısıtların integrali şeklinde ifade edilebilen bir yapıda değildir. Sahip olduğu bu holonomik olmayan kısıtlar ile hareketinin yalnızca tipini sınırlandırırken pozisyonunu sınırlayamamaktadır.

Hareketin analizinde düşey yuvarlanan bir diskin sahip olduğu kısıtlardan yola çıkılarak mobil robotun düzlemdeki hareketleri elde edilecektir. Düşey yuvarlanan disk holonomik olmayan kısıtlara bağlı olan temel ve basit bir örnektir. Disk yatay düzlemde kayma hareketi yapmadan yuvarlanma hareketi yapan, r yarıçapa sahip homojen bir yapıdadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Yuvarlanan disk geometrisi

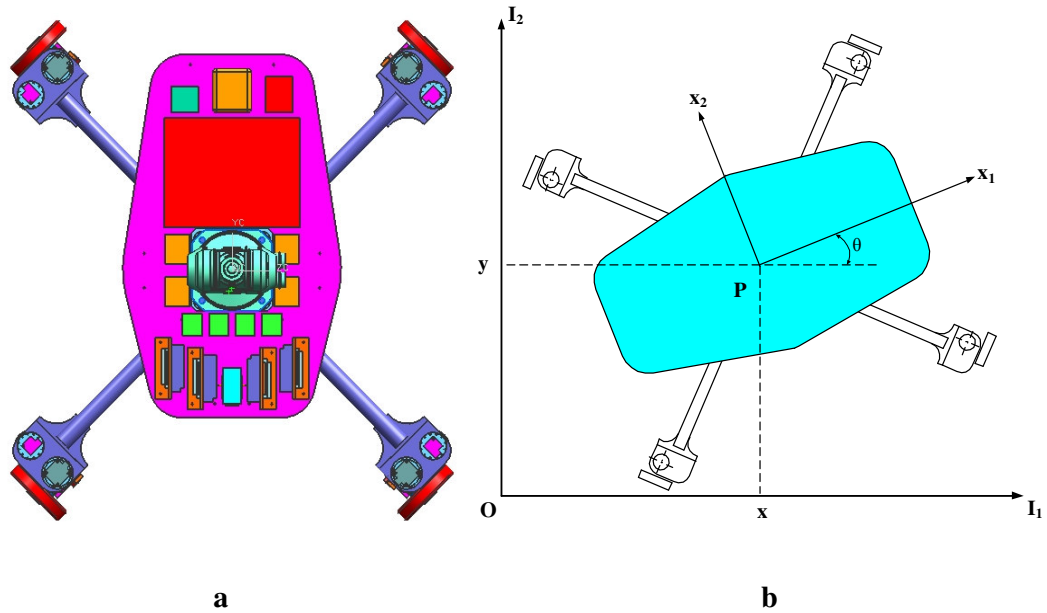
3.2 Mobil Robot Pozisyonu

Tekerlekli mobil robotlar kinematik kısıtları integre edilemeyen ve model eşitliklerinden yok edilemeyen yapıya sahip mekanik sistemlerin bir sınıfını oluştururlar. Sonuç olarak da robot manipülatörleri için geliştirilmiş standart takip ve kontrol algoritmaları bu yapıdaki sistemler için uygulanamaz.

Tekerlekli mobil robot hareketini ve pozisyonunu tanımlamak amacıyla aşağıda yer alan kabuller ve bu kabulleri temel alarak oluşturulmuş sonuçlar kullanılmıştır.

Tekerlekli mobil robot üzerinde hareket ettiği düzleme her zaman dik olan ve deformasyona uğramayan tekerleklerden oluşmuş rijit bir çerçeve olarak kabul edilecektir (Şekil 3.2).

Hareket düzlemi içerisinde tanımlanmış birim uzunluktaki eylemsizlik eksenleri $\{O, \bar{I}_1, \bar{I}_2\}$ ile ifade edilmektedir. Robot çerçevesi üzerinde P noktası üzerinde keyfi bir $\{\bar{x}_1, \bar{x}_2\}$ eksen takımı tanımlanmıştır. Robotun tüm pozisyonu x, y, θ olmak üzere üç değişkenle ifade edilebilir.



Şekil 3.2: Mobil robot gösterimi; a) Model gösterimi b) Basit geometrik gösterim

- x, y P noktasının referans koordinatlarıdır,

$$O\vec{P} = x\vec{I}_1 + y\vec{I}_2 \quad (3.1)$$

- θ ise $\{\vec{x}_1 \ \vec{x}_2\}$ eksen takımının $\{\vec{I}_1, \ \vec{I}_2\}$ eylemsizlik eksenine göre dönme açısını vermektedir.

Robot duruşunu tanımlamak için aşağıdaki üç vektörü tanımlayabiliriz:

$$\xi \triangleq \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Ayrıca birim dönme matrisi de şu şekilde tanımlanır:

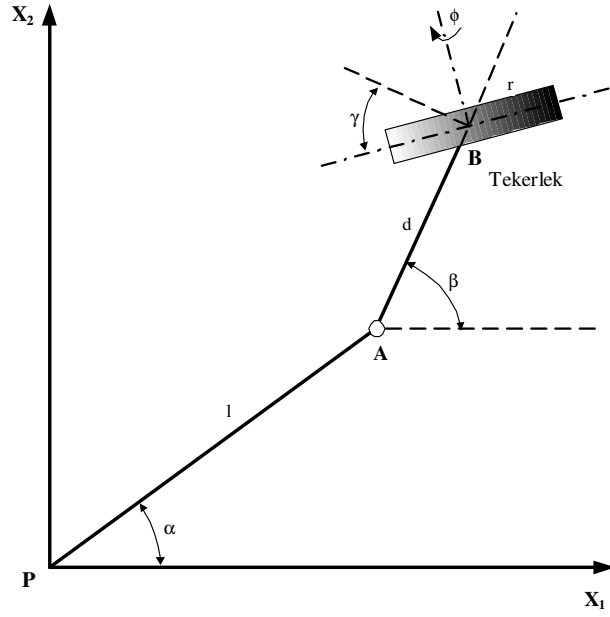
$$R(\theta) \triangleq \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

3.3 Tekerlek Kinematığı

Mobil robotun kinematik modeli mobil robot üzerine yerleştirilmiş tekerleklerden başlayarak oluşturulacaktır. Bu aşamada öncelikle genel tekerlek gösterimi ve ifadeleri verilecek ardından da tekerlek tipleri sıralanarak açıklanacaktır.

3.3.1 Genel Tekerlek Kinematığı

Bu aşamada genel olarak kabul görmüş tekerlek tiplerinin sahip olduğu kısıtları daha rahat açıklayabilmek amacıyla bir gövdeye sabitlenmiş tekerleğin basit gösterimi Şekil 3.3'te yapılmıştır. Burada tekerleğin düzlem üzerindeki hareketini analiz etmede kullanılacak sabitler ve değişkenler verilirken bu parametrelerin farklı kombinasyonlarıyla oluşmuş tekerlek tipleri de sıralanmıştır [4].



Şekil 3.3: Tekerlek tanımlaması

Mobil robota ait hareketli çerçeve $\{P, x_1, x_2\}$ aracın ağırlık merkezine yerleştirilmiş kabul edilsin. Tekerlek merkezinde yer alan B noktası araç gövdesine d uzunluğa sahip AB rijit çubuğu ile bağlanmıştır. Bu şekilde bir yapıyla A noktasından geçen düşey eksen etrafında dönebilen bir yapı oluşturulmuştur. A noktasının pozisyonu araç gövdesini baz alan iki sabit ile ifade edilir: merkeze olan uzaklık l ve α açısı.

AB'nin OA'ya göre dönme açısı β ile ifade edilmektedir. Tekerlek düzleminin oryantasyonu ise AB'ye sabit bir γ açısı yapacak şekilde belirlenmiştir. Tekerleğin kendi yatay eksen etrafındaki dönüş açısı da ϕ olarak ifade edilmiştir.

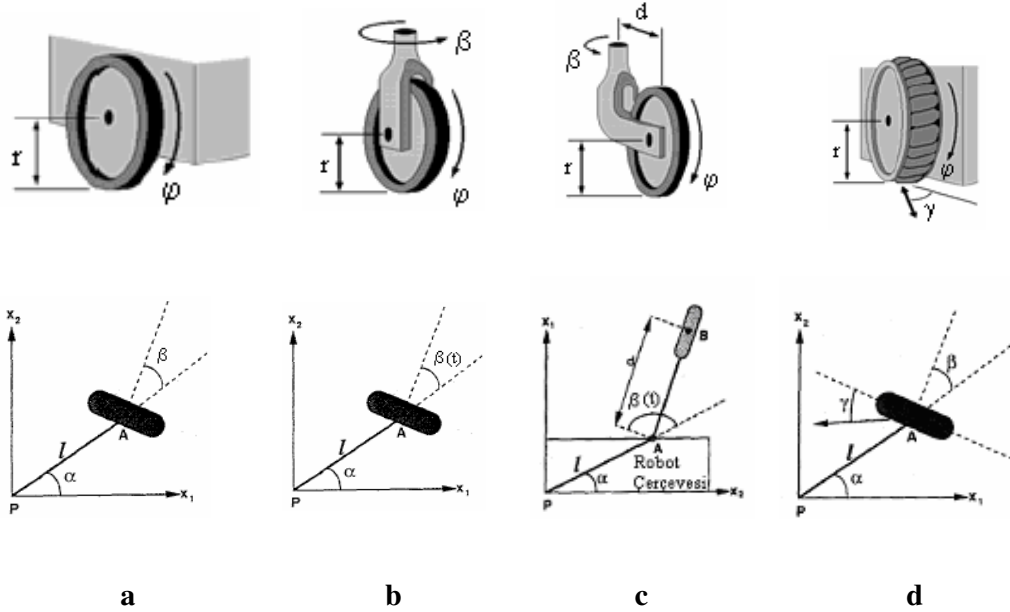
Yukarıda yapılan genel tekerlek tanımından yola çıkarak geleneksel ve İsveç tipi (swedish) olmak üzere iki temel tekerlek sınıfı oluşmuştur.

Geleneksel tekerlek tipi için tekerlek ve yüzey arasındaki temas kaymadan ve tam yuvarlanma durumu geçerlidir. Bu tekerleğin yer ile temas noktasındaki hızının sıfır olması anlamına gelmektedir. Bunun sonucunda da hızın tekerlek düzlemine paralel ve dik yöndeki bileşenleri sıfıra eşit olduğu ifade edilir. Geleneksel tekerlek tipi

genel olarak sabit tekerlekler (fixed wheels) merkezi dönebilir tekerlekler (centered orientable wheels) ve merkezden kaçık dönebilir tekerlekler ((off-centered orientable wheels), (castor wheels)) olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir.

İsveç tipi (swedish type) tipi tekerlekler için ise temas noktasındaki hızın yalnızca bir bileşeni hareket yönündeki hızın sıfır olmasını sağlamaktadır. Bu sıfır hız bileşenin yönü öncelikli olarak keyfidir fakat tekerleğin oryantasyonuna sabitlenmiştir.

Sabit tekerlekte l, α ve β sabit olup merkezi dönebilir tekerlekte l ve α sabit kalmasına karşın β değişkendir. Merkezden kaçık tekerlek l ve α sabitken dönme hareketi ise tekerlek temas noktasından d kadar uzaklıkta olan bir eksen etrafında β açısı kadar olmaktadır. İsveç (Swedish) tipinde ise l ve α 'nın yanı sıra β 'da sabittir. Fakat hareket yönünü tanımlamak amacıyla ilave bir parametreye ihtiyaç vardır. Tekerlek düzlemi baz alınarak temas noktasındaki hızın bu sıfır bileşeni γ açısıyla ifade edilmektedir.



Şekil 3.4: Tekerlek tipleri ve parametreleri; a) Sabit tekerlek b) Merkezi dönebilir tekerlek c) Merkezden kaçık tekerlek d) İsveç tipi tekerlek

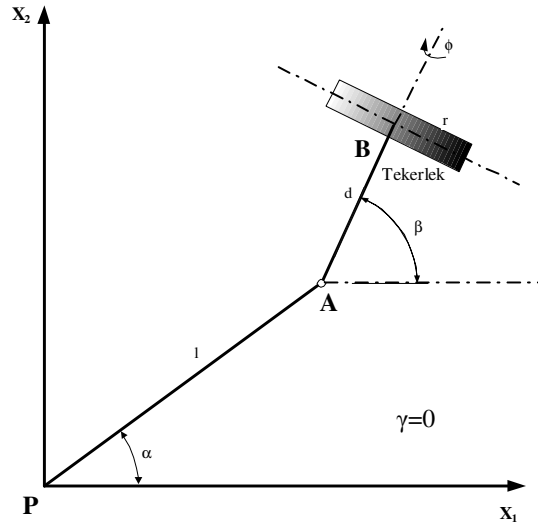
Tüm tekerlek tipleri içinse φ değeri ise hareketi belirleyen ortak değişkendir.

Her bir tekerleğin yarıçapı da r olarak belirlenmiştir. Sonuçta tekerleğin pozisyonu $\{r, l, d, \alpha, \gamma\}$ şeklindeki sabitlerden oluşurken hareketi ise $\beta(t)$ (AB çubuğunun dönüşü) ve $\varphi(t)$ (dönüş açısı) ile ifade edilir.

3.3.2 Mobil Robot Tekerlek Kinematığı

Mobil robotun tekerleğinin döndürme ve yönlendirme işlemleri gerçekleştiren motorların sabit bir yapıya yerleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaca uygun bir tahrik sistemi oluşturulurken geleneksel tekerlek tiplerinde yer almayan yeni bir tekerlek çeşidi oluşmuştur (Şekil3.5).

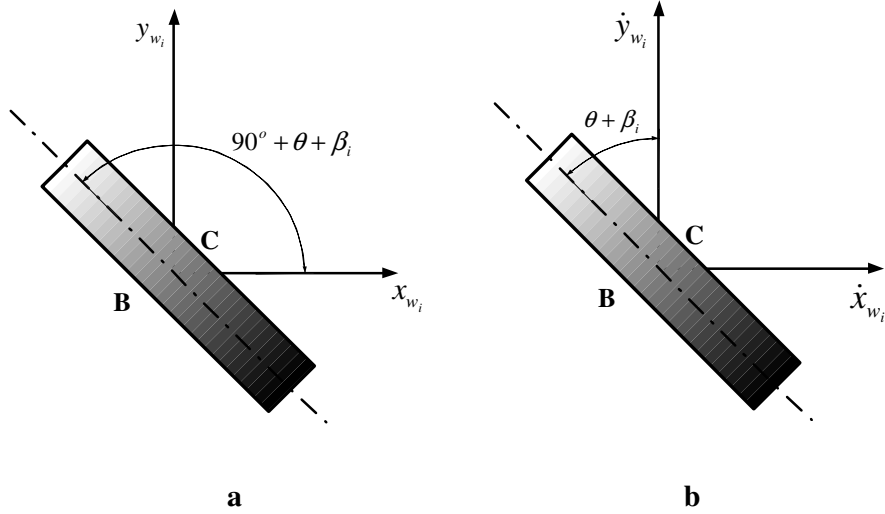
Oluşan tekerlek yapısında A noktası etrafında d kadar mesafede dönme işlemi AB'ye dik olacak şekilde yani $\gamma = 0$ ve sabittir.



Şekil 3.5: Mobil robot tekerlek tanımlaması

Sonuç olarak da P noktasına sabitlenmiş l uzunluğundaki ve β açı değişkeniyle ifade edilebilen AB'ye her zaman dik ($\gamma = 0$) bir tekerlek yapısı elde edilmiştir. Mobil robot üzerindeki tekerleklerin her biri r yarıçaplı olup farklı farklı φ dönme açılarıyla dönebilmektedir.

Mobil robot tekerlek kinematiği oluşturulurken B dönme eksenine dik ve r mesafede oluşan temas noktasındaki tekerlek bileşenleri C noktası temas noktası kabul edilerek oluşturulmuştur (Şekil 3.6). Tekerleğin oryantasyonunu ve hızını belirlemede $\{C, x_{w1}, x_{w2}\}$ eksen takımı kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Tekerlek ve hareket eksen; a) Genel hali b) Düzenlenmiş hali

$$x_{wi} = x + l_i \cos(\theta + \alpha_i) + d_i \cos(\theta + \alpha_i + \beta_i) \quad (3.4)$$

$$y_{wi} = y + l_i \sin(\theta + \alpha_i) + d_i \sin(\theta + \alpha_i + \beta_i) \quad (3.5)$$

$$\dot{x}_{wi} = \dot{x} - l_i \dot{\theta} \sin(\theta + \alpha_i) - d_i (\dot{\theta} + \dot{\beta}_i) \sin(\theta + \alpha_i + \beta_i) \quad (3.6)$$

$$\dot{y}_{wi} = \dot{y} + l_i \dot{\theta} \cos(\theta + \alpha_i) + d_i (\dot{\theta} + \dot{\beta}_i) \cos(\theta + \alpha_i + \beta_i) \quad (3.7)$$

Mobil robot tekerlek kinematiği oluşturulurken tekerlek düzlemi boyunca ve tekerlek düzlemine dik yöndeki kısıtlar kullanılmıştır. İleride araç kinematiğinde kullanılacak tekerlek kısıtları sırasıyla verilmiştir.

Tekerlek yönündeki kısıt:

$$-\dot{x}_{wi} \sin(\theta + \beta_i) + \dot{y}_{wi} \cos(\theta + \beta_i) + r \dot{\phi}_i = 0 \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned}
& (\dot{x} - l_i \dot{\theta} \sin(\theta + \alpha_i) - d_i (\dot{\theta} + \dot{\beta}_i) \sin(\theta + \alpha_i + \beta_i)) \sin(\alpha_i + \beta_i) + \\
& (\dot{y} + l_i \dot{\theta} \cos(\theta + \alpha_i) + d_i (\dot{\theta} + \dot{\beta}_i) \cos(\theta + \alpha_i + \beta_i)) \cos(\alpha_i + \beta_i) + r \dot{\phi}_i = 0
\end{aligned} \tag{3.9}$$

$$\begin{aligned}
& (-\dot{x} \sin(\theta + \beta_i) + \dot{y} \cos(\theta + \beta_i) + l_i \dot{\theta} \cos(\alpha_i - \beta_i) + \\
& d_i (\dot{\theta} + \dot{\beta}_i) \cos(\alpha_i) + r \dot{\phi}_i = 0
\end{aligned} \tag{3.10}$$

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} -\sin(\beta_i) & \cos(\beta_i) & l_i \dot{\theta} \cos(\alpha_i - \beta_i) + d_i \cos(\alpha_i) \end{bmatrix} \cdot \\
& \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + d_i \dot{\beta}_i \cos(\alpha_i) + r \dot{\phi}_i = 0
\end{aligned} \tag{3.11}$$

$$J_1 = \begin{bmatrix} -\sin(\beta_i) & \cos(\beta_i) & l_i \dot{\theta} \cos(\alpha_i - \beta_i) + d_i \cos(\alpha_i) \end{bmatrix} \tag{3.12}$$

$$\xi = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} \quad J_2 = [r] \quad J_i = [d] \tag{3.13}$$

$$J_1(\beta) R(\theta) \xi + d_i \dot{\beta}_i \cos(\alpha_i) + J_2 \dot{\phi}_i = 0 \tag{3.14}$$

Tekerleğe dik yöndeki kısıt:

$$\dot{x}_{wi} \cos(\theta + \beta_i) + \dot{y}_{wi} \sin(\theta + \beta_i) = 0 \tag{3.15}$$

$$(\dot{x} \cos(\theta + \beta_i) + \dot{y} \sin(\theta + \beta_i) + l_i \dot{\theta} \sin(\beta_i - \alpha_i) + d_i (\dot{\theta} + \dot{\beta}_i) \sin(-\alpha_i) = 0 \tag{3.16}$$

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \cos(\beta_i) & \sin(\beta_i) & l_i \dot{\theta} \sin(\beta_i - \alpha_i) + d_i \sin(-\alpha_i) \end{bmatrix} \cdot \\
& \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + d_i \dot{\beta}_i \sin(-\alpha_i) = 0
\end{aligned} \tag{3.17}$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} \cos(\beta_i) & \sin(\beta_i) & l_i \dot{\theta} \sin(\beta_i - \alpha_i) + d_i \sin(-\alpha_i) \end{bmatrix} \tag{3.18}$$

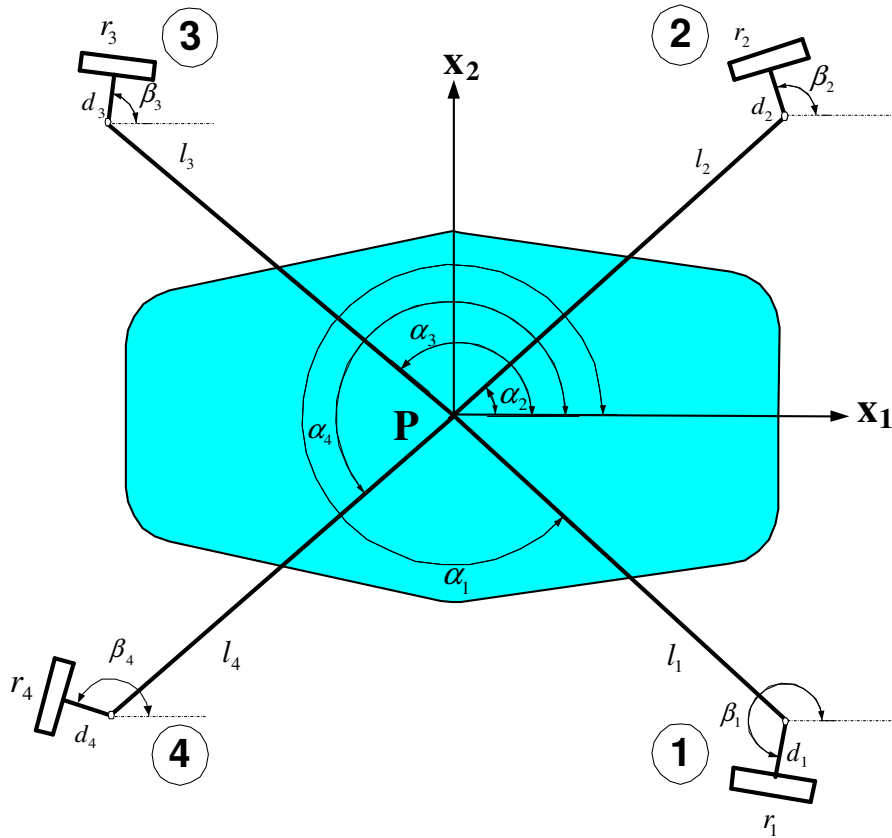
$$C_2 = [d_i] \tag{3.19}$$

$$C_1(\beta) R(\theta) \xi + C_2 \dot{\beta}_i \sin(-\alpha_i) = 0 \tag{3.20}$$

3.4 Mobil Robot Kinematığı

Mobil robot kendi ağırlık merkezine göre eşit uzaklıklarda dağıtılmış yönlendirme eksenlerine sahip dört adet tahrik sisteminden oluşmaktadır. Mobil robot kinematik modeli ifade edilirken Bölüm 3.2 ve Bölüm 3.3.2’de verilen ifadeler bu bölümde sabit $\{O, I_1, I_2\}$ ve hareketli $\{P, x_1, x_2\}$ eksen takımları baz alınarak kullanılacaktır [1].

Tahrik sistemi numaralandırılması tamamen keyfi olup aracın ön tarafı referans alındığında sıralama kolaylığı sağlaması amaçlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Mobil robot sabit ve değişken dağılımı

Bir adet tekerleğin sahip olduğu holonomik olmayan kısıtlar kullanılarak tekerleklerin ve mobil robot gövdesinin bir araya gelerek oluşturmuş olduğu yapı için denklem düzenlemeleri aşağıda verilmiştir.

Mobil robot hareket doğrultusundaki kısıtlar;

$$J_1(\beta)R(\theta)\dot{\xi} + d_i\dot{\beta}_i \cos(\alpha_i) + J_2\dot{\phi}_i = 0 \quad (3.21)$$

$$J_1 = \begin{bmatrix} -\sin(\beta_1) & \cos(\beta_1) & l_1\dot{\theta}\cos(\alpha_1 - \beta_1) + d_1\cos(\alpha_1) \\ -\sin(\beta_2) & \cos(\beta_2) & l_2\dot{\theta}\cos(\alpha_2 - \beta_2) + d_2\cos(\alpha_2) \\ -\sin(\beta_3) & \cos(\beta_3) & l_3\dot{\theta}\cos(\alpha_3 - \beta_3) + d_3\cos(\alpha_3) \\ -\sin(\beta_4) & \cos(\beta_4) & l_4\dot{\theta}\cos(\alpha_4 - \beta_4) + d_4\cos(\alpha_4) \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

$$J_2 = \begin{bmatrix} r_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r_4 \end{bmatrix} \quad d_i = \begin{bmatrix} d_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_4 \end{bmatrix} \quad \dot{\beta}_i = \begin{bmatrix} \dot{\beta}_1 \\ \dot{\beta}_2 \\ \dot{\beta}_3 \\ \dot{\beta}_4 \end{bmatrix} \quad \dot{\phi}_i = \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \\ \dot{\phi}_4 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Tekerleklerin mobil robot üzerine yerleşim pozisyonlarından oluşan sistem sabitleri ve değişkenleri aşağıda verilmiştir.

1 nolu tekerlek için:

$$l_1 = l, \quad d_1 = d, \quad \alpha_1 = -\alpha, \quad \beta_1 = \beta_1 \quad (3.24)$$

2 nolu tekerlek için:

$$l_2 = l, \quad d_2 = d, \quad \alpha_2 = \alpha, \quad \beta_2 = \beta_2 \quad (3.25)$$

3 nolu tekerlek için:

$$l_3 = l, \quad d_3 = d, \quad \alpha_3 = \pi - \alpha, \quad \beta_3 = \beta_3 \quad (3.26)$$

4 nolu tekerlek için:

$$l_4 = l, \quad d_4 = d, \quad \alpha_4 = \pi + \alpha, \quad \beta_4 = \beta_4 \quad (3.27)$$

3.21 nolu eşitlikteki işlemler aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} -\sin(\beta_1) & \cos(\beta_1) & l\dot{\theta}\cos(-\alpha - \beta_1) + d_1\cos(-\alpha) \\ -\sin(\beta_2) & \cos(\beta_2) & l\dot{\theta}\cos(\alpha - \beta_2) + d_2\cos(\alpha) \\ -\sin(\beta_3) & \cos(\beta_3) & l\dot{\theta}\cos(\pi - \alpha - \beta_3) + d_3\cos(\pi - \alpha) \\ -\sin(\beta_4) & \cos(\beta_4) & l\dot{\theta}\cos(\pi + \alpha - \beta_4) + d_4\cos(\pi + \alpha) \end{bmatrix} \\ & \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \\ & \begin{bmatrix} d & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\beta}_1 \\ \dot{\beta}_2 \\ \dot{\beta}_3 \\ \dot{\beta}_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(-\alpha) \\ \cos(\alpha) \\ \cos(180 - \alpha) \\ \cos(180 + \alpha) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_1 \\ \dot{\phi}_2 \\ \dot{\phi}_3 \\ \dot{\phi}_4 \end{bmatrix} = 0 \end{aligned} \quad (3.28)$$

Yukarıdaki eşitlikte yerine konmak üzere sistem sabitleri sayısal değerleri aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = 41.1 \quad d = 78.5 \quad l = 784.5 \quad r = 100 \quad (3.29)$$

Sistem sabitlerinin sayısal değerlerinin yerine konması ve işlemlerin düzenlenmesi ile aşağıdaki eşitlikler oluşur.

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} -\dot{x}\sin(\beta_1 + \theta) + \dot{y}\cos(\beta_1 + \theta) + 863\dot{\theta}\cos(137/600\pi + \beta_1) + 59.15\dot{\beta}_1 + 100\dot{\phi}_1 \\ -\dot{x}\sin(\beta_2 + \theta) + \dot{y}\cos(\beta_2 + \theta) + 863\dot{\theta}\sin(163/600\pi + \beta_2) + 59.15\dot{\beta}_2 + 100\dot{\phi}_2 \\ -\dot{x}\sin(\beta_3 + \theta) + \dot{y}\cos(\beta_3 + \theta) - 863\dot{\theta}\cos(137/600\pi + \beta_3) + 59.15\dot{\beta}_3 + 100\dot{\phi}_3 \\ -\dot{x}\sin(\beta_4 + \theta) + \dot{y}\cos(\beta_4 + \theta) - 863\dot{\theta}\sin(163/600\pi + \beta_2) + 59.15\dot{\beta}_4 + 100\dot{\phi}_4 \end{bmatrix} \\ & = 0 \end{aligned} \quad (3.30)$$

Mobil robot hareket doğrultusuna dik yöndeki kısıtlar:

$$C_1(\beta)R(\theta)\dot{\xi} + C_2\dot{\beta}_i \sin(-\alpha_i) = 0 \quad (3.31)$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} \cos(\beta_1) & \sin(\beta_1) & l_1\dot{\theta}\sin(\beta_1 - \alpha_1) + d_1\sin(\alpha_1) \\ \cos(\beta_2) & \sin(\beta_2) & l_2\dot{\theta}\sin(\beta_2 - \alpha_2) + d_2\sin(\alpha_2) \\ \cos(\beta_3) & \sin(\beta_3) & l_3\dot{\theta}\sin(\beta_3 - \alpha_3) + d_3\sin(\alpha_3) \\ \cos(\beta_4) & \sin(\beta_4) & l_4\dot{\theta}\cos(\beta_4 - \alpha_4) + d_4\sin(\alpha_4) \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} d_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_4 \end{bmatrix} \quad \dot{\beta}_i = \begin{bmatrix} \dot{\beta}_1 \\ \dot{\beta}_2 \\ \dot{\beta}_3 \\ \dot{\beta}_4 \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

3.21 nolu eşitlikteki işlemler aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\begin{bmatrix} \cos(\beta_1) & \sin(\beta_1) & l\dot{\theta}\sin(\beta_1 + \alpha) + d\sin(-\alpha) \\ \cos(\beta_2) & \sin(\beta_2) & l\dot{\theta}\sin(\beta_2 - \alpha) + d\sin(\alpha) \\ \cos(\beta_3) & \sin(\beta_3) & l\dot{\theta}\sin(\beta_3 - \pi + \alpha) + d\sin(\pi - \alpha) \\ \cos(\beta_4) & \sin(\beta_4) & l\dot{\theta}\cos(\beta_4 - \pi - \alpha) + d\sin(\pi + \alpha) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 0 \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\beta}_1 \\ \dot{\beta}_2 \\ \dot{\beta}_3 \\ \dot{\beta}_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin(\alpha) \\ \sin(-\alpha) \\ \sin(-180 + \alpha) \\ \sin(-180 - \alpha) \end{bmatrix} = 0 \quad (3.34)$$

Sistem sabitlerinin sayısal değerlerinin yerine konması ve işlemlerin düzenlenmesi ile aşağıdaki eşitlikler oluşur;

$$\begin{bmatrix} \dot{x}\cos(\beta_1 + \theta) + \dot{y}\sin(\beta_1 + \theta) + 784.5\dot{\theta}\sin(137/600\pi + \beta_1) - 51.6\dot{\theta} + 51.6\dot{\beta}_1 \\ \dot{x}\cos(\beta_2 + \theta) + \dot{y}\sin(\beta_2 + \theta) - 784.5\dot{\theta}\cos(163/600\pi + \beta_2) - 51.6\dot{\theta} - 51.6\dot{\beta}_2 \\ \dot{x}\cos(\beta_3 + \theta) + \dot{y}\sin(\beta_3 + \theta) - 784.5\dot{\theta}\sin(137/600\pi + \beta_3) - 51.6\dot{\theta} - 51.6\dot{\beta}_3 \\ \dot{x}\cos(\beta_4 + \theta) + \dot{y}\sin(\beta_4 + \theta) + 784.5\dot{\theta}\sin(137/600\pi + \beta_4) + 51.6\dot{\theta} + 51.6\dot{\beta}_4 \end{bmatrix} = 0 \quad (3.35)$$

Sonuç olarak mobil robot hareket doğrultusundaki ve ona dik doğrultudaki kısıtlar düzenlenirse tekerlek döndürme ve yönlendirme hızları aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\dot{\phi}_i = -J_2^{-1} [J_1(\beta)R(\theta)\dot{\xi} + d_i\dot{\beta}_i \cos(\alpha_i)] \quad (3.36)$$

$$\dot{\beta}_i = -[C_2\dot{\beta}_i \sin(-\alpha_i)]^{-1} C_1(\beta)R(\theta)\dot{\xi} \quad (3.37)$$

4. MOBİL ROBOT HAREKET TANIMLARI VE SİMÜLASYONU

4.1 Mobil Robot Hareket Tanımları

Mobil robot sahip olduğu tahrik sistemi itibariyle düzlem üzerinde öteleme, dönme ve bu iki hareketin bileşimi hareketleri gerçekleştirebilme kabiliyetine sahiptir.

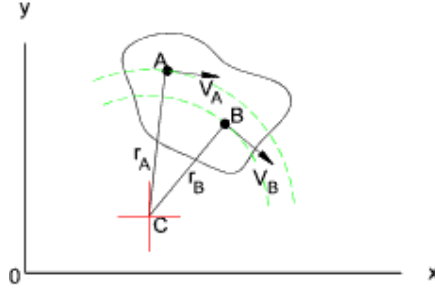
Mobil robotun gerçekleştirdiği öteleme hareketi ve düzlem üzerindeki doğrusal yer değiştirmeler olarak tanımlanacaktır.

Yalnızca dönme hareketi ve dönme hareketlerinin doğrusal yer değiştirme hareketleri ile birlikte oluşturdukları hareketler ise ani dönme merkezi (ADM) kavramı kullanılarak ifade edilecektir.

4.1.1 Ani Dönme Merkezi

Uzayda hareket halinde olan tüm katı cisimlerin pozisyonları, hızları ve ivmeleri cisim üzerinde yer alan herhangi bir noktanın açısal hızı ve ivmesi ile tanımlanabilir. Bu katı cisim öteleme hızının sıfır olduğu bir nokta vardır ve bu nokta da ani dönme merkezi olarak adlandırılır. Ani dönme merkezinin konumu cismin doğrusal ve açısal hızlarına bağlıdır. Açısal hızın sıfıra yaklaştığı durumlarda ani dönme merkezi sonsuza yakın bir uzaklıkta olduğundan yalnızca öteleme hareketi oluşmaktadır.

Ani dönme merkezinin konumlandırılması eğer cisim üzerindeki bir noktanın çizgisel ve açısal hızı biliniyorsa aşağıdaki gibi ifade edilebilir.



Şekil 4.1: ADM tanımlaması

Cisim üzerinde yer alan A gibi bir noktanın çizgisel hızının açısal hıza oranı bu noktanın ani dönme merkezine olan uzaklığını vermektedir ve bu da eğrilik yarı yarıçapı olarak adlandırılır.

Eğrilik yarıçapı r_e ' de şu şekilde bulunabilir;

$$r_e = V_A / \omega \quad (4.1)$$

A noktasının o andaki hız doğrultusuna dik yönde r kadar uzaklıkta bulunan C noktası ani dönme merkezidir.

Eğer cisim üzerinde iki noktanın çizgisel hızları biliniyorsa bu iki hız doğrultusuna dik olan normallerin kesiştiği nokta da ani dönme merkezi olmaktadır. Oluşan bu C noktasının A noktasına uzaklığı yani eğrilik yarıçapı aşağıdaki gibidir;

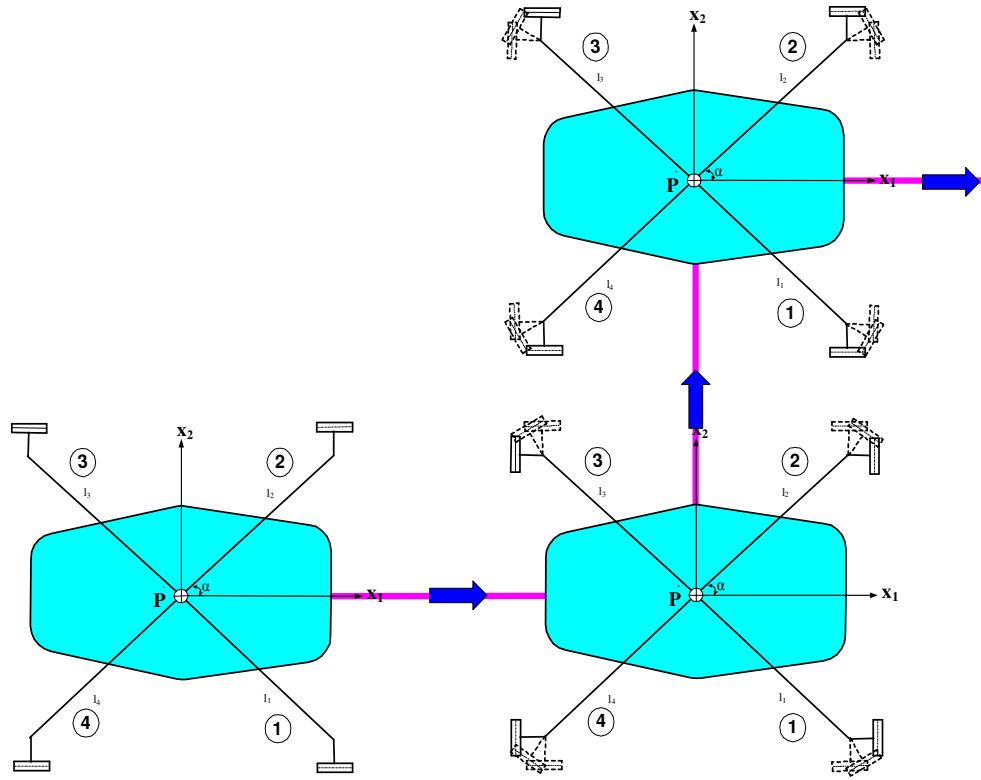
$$AC = AB(V_B)/(V_A - V_B) \quad (4.2)$$

4.1.2 Mobil Robot Hareket Kabiliyetleri

Mobil robot tahrik sisteminde her bir tekerleğin yönlendirme ve döndürme kontrollerinin ayrı ayrı yapılabilmesi mobil robotun hareket kabiliyetinin yüksek tutulmasına olanak sağlamıştır.

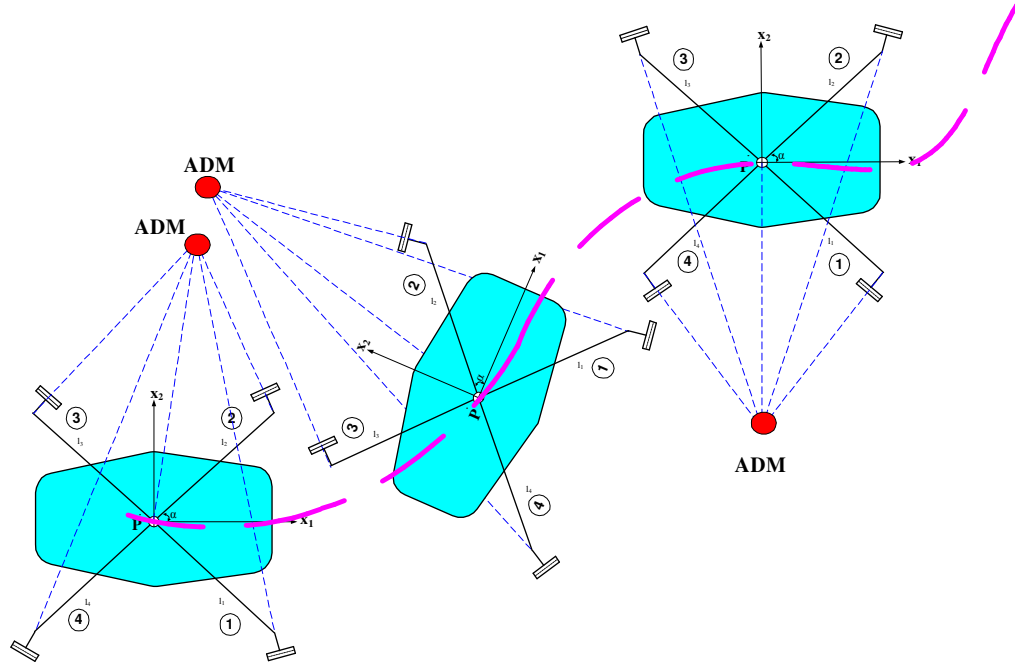
Tekerleklerle farklı yönlendirme ve döndürme kombinasyonları uygulanarak gerçekleştirdiği hareket çeşitleri öteleme hareketleri, tümyönlü hareketler, önden yönlendirilebilir ve arkadan yönlendirilebilir şeklindedir.

Öteleme yani doğrusal yer değiştirme hareketi mobil robot üzerinde yer alan tekerlek doğrultularının mobil robot hareket doğrultusuna paralel olacak şekilde yönlendirilmesi ile gerçekleşir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Mobil robot doğrusal yer değişimleri

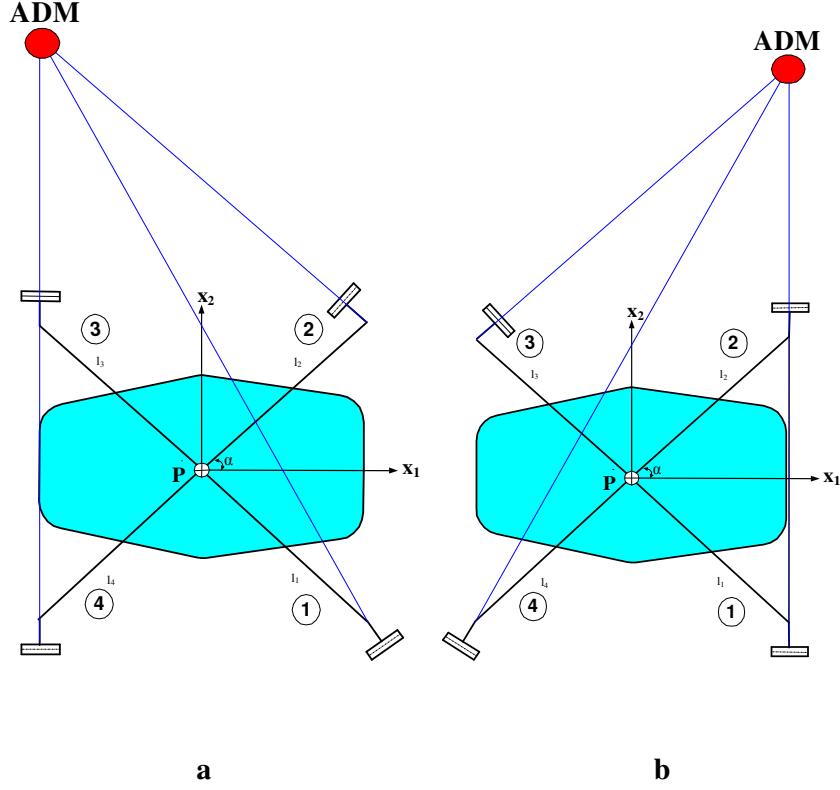
Tümyönlü hareket ise tekerlek hareket doğrultularının her zaman ani dönme merkezine dik olacak şekilde yönlendirilmesi ile gerçekleşir (Şekil 4.3) . Aşağıdaki şekilde mobil robotun üzerindeki bir noktayı izleyecek yol üzerinde tutması gösterilmiştir. Bu tip harekette nokta yine yol üzerinde kalıp araç o nokta etrafında da dönebilmektedir.



Şekil 4.3: Mobil robot tümyönlü yer değişimleri

Önden yönlendirilebilir hareket tipinde ön tekerlekler ADM'ye dik doğrultuda hareket ederek mobil robotu yönlendirebilmektedir. Bu sırada arka tekerlekler araç gövdesine paralel doğrultuda olacak şekilde sabit tutulmaktadır (Şekil 4.4.a). Araç tipi yönlendirme çeşidi olarak geçen bu tip sürüş ADM'nin sabit olduğu Ackerman Prensipli'ne dayanır. Bu hareket tipi gerçekleştirilirken mobil robot önden tahrik, arkan tahrik ve dört tekerlekten tahrik ile hareket edebilme kabiliyetine sahiptir. Arkadan yönlendirilebilir hareket tipinde arka tekerlekler ADM'ye dik doğrultuda hareket ederek mobil robotu yönlendirebilmektedir(Şekil 4.4.b).

Bu sırada mobil robot ön tarafında yer alan tekerlekler araç gövdesine paralel olarak sabit tutulmaktadır. Bu hareket tipi genellikle fork-lift tipi araç uygulamalarında kullanılırken önde tahrik, arkadan tahrik ve dört tekerlekten tahrik seçenekleri burada da geçerlidir.



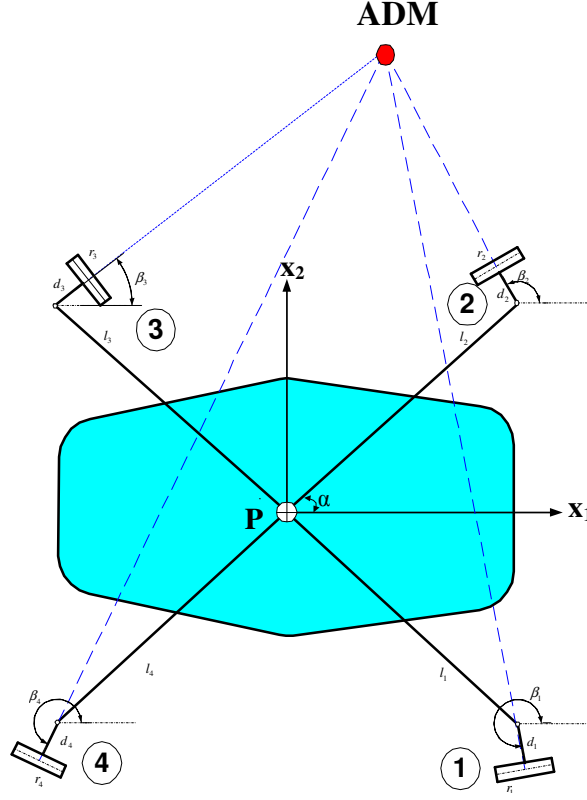
Şekil 4.4: Mobil robot hareket tipleri; a) Araba tipi b) Forklift tipi

Tanımlanan bu hareket tipleri mobil robotun görevlerini yerine getirirken ayrı ayrı kullanıldığı gibi bu hareketlerin bileşimleri de rahatlıkla kullanılabilir.

4.1.3 Mobil Robot Tümyönlü Hareketi

Mobil robot simülasyon bölümü içerisinde robotun tümyönlü hareketlerinin incelenmesi temel alınacağından izlenecek yöntem ve değişkenler bu bölümde ifade edilecektir. Mobil robot simülasyon bölümü bir yol üzerinde yer değiştirmesi istendiğinde ADM'lerinin bulunabilmesi amacıyla takip edilecek yol belirli bir zaman aralığı için $y = P(x)$ şeklinde ifade edilmektedir.

Araç ağırlık merkez noktasının veya araç üzerindeki bir başka noktayı yol üzerinde tutabilmek için yolun o noktalardaki eğrilik yarıçapları kullanılmaktadır. Bulunan bu eğrilik yarıçapları noktanın hız bileşenine dik olacak şekilde yer değiştirdiğinde ani dönme merkezleri oluşacaktır (Şekil 4.5).



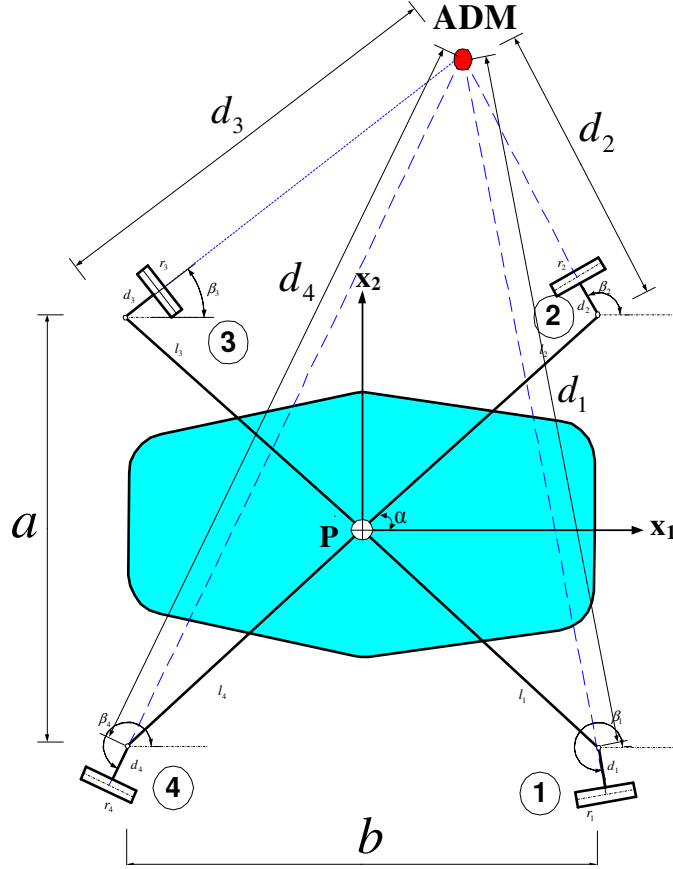
Şekil 4.5: Mobil robot tekerlekleri ADM takibi

Mobil robot üzerine yerleştirilmiş tekerlekler hareket doğrultularına dik yöndeki eksenlerini ani dönme merkezine yönlendirdiğinde o nokta etrafında dönme hareketi gerçekleştirilecektir.

Bu amaç doğrultusunda kullanılacak eğrilik yarıçapı formülü aşağıda verilmiştir;

$$r_e = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}}{\frac{d^2 y}{dx^2}} \quad (4.3)$$

Ani dönme merkezine dik yönlendirilmiş tekerlekler yönlendirme açıları birbiri cinsinde ifade edilebilmektedir.



Şekil 4.6: Mobil robot tekerlek değişken indirgemesi

Bu aşamada tekerlek yönlendirme eksenlerinin ADM'ye dik uzaklığı kullanılarak β_1 ve β_4 diğer iki değişken β_2 ve β_3 cinsinden ifade edilebilmektedir.

$$d_1 \cos(180 - \beta_1) = d_2 \cos(180 - \beta_2) \quad (4.4)$$

$$\frac{d_2}{\sin \beta_3} = \frac{b}{\sin(\beta_2 - \beta_3)} \quad (4.5)$$

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{-a \sin(\beta_2 - \beta_3) + b \sin \beta_3 \sin \beta_2}{b \sin \beta_3 \cos \beta_2}\right) \quad (4.6)$$

$$d_3 \cos \beta_3 = d_4 \cos \beta_4 \quad (4.7)$$

$$\frac{d_3}{\sin(180 - \beta_2)} = \frac{b}{\sin(\beta_2 - \beta_3)} \quad (4.8)$$

$$\beta_4 = \arctan\left(\frac{a \sin(\beta_2 - \beta_3) - b \sin \beta_2 \sin \beta_3}{-b \sin \beta_2 \cos \beta_3}\right) \quad (4.9)$$

4.2 Mobil Robot Simülasyonu

Mobil robotun düzlem üzerindeki hareketleri incelenmesi aşamasında Matlab 6.5 Release 13 kullanılmıştır. ADM tabanlı mobil robot hareketleri gerçekleştirilirken mobil robot kinematik modelinden çıkarılmış olan kısıtlar kullanılacaktır.

Bu aşamada Matlab'ın içersinde yer alan M-File formatındaki komut sistemi, mobil robota veri girişlerinin düzenlenmesi ve harekete sanal gerçeklik verilmesi amacıyla Matlab Simulink'in altında yer alan Virtual Reality Toolbox (VRT) kullanılmıştır. VRT simülasyon aşamasında kaynak dosya formatı olarak VRML (Virtual Reality Modelling Language) 'de oluşturulmuş .wrl uzantılı dosyaları kullanmaktadır.

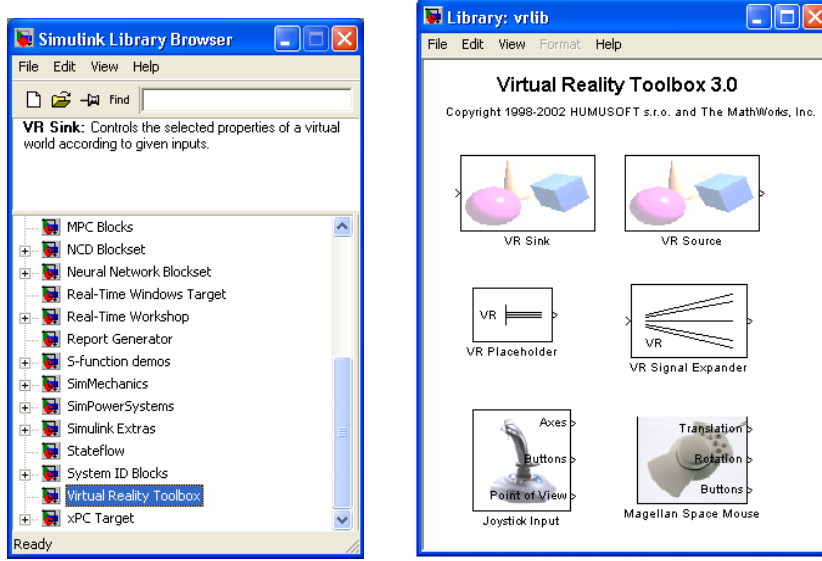
4.2.1 Sanal Gerçeklik Araç Kutusu Tanıtımı

Mobil robot dinamik modelinin oluşturulması ve görselleştirilmesi amacıyla VRT yazılım ailesi kullanılacaktır. Bu aşamada Matlab, Simulink, VML düzenleyicisi ve göstericisi gerek duyulan programlardır (Şekil 4.7).

Simulink kütüphanesi altında yer alan VRT kendi içinde kullandığı VR Sink, VR Source, VR Placeholder, VR Signal Expander, Joystick Input ve Magellan Space Mouse gibi araçlara sahiptir. Bu araçların görevleri kısaca aşağıda verilmiştir.

VR Sink bloğu kendi portlarından aldığı veri girişlerini Block Parameter'daki sanal ortama işler. VR Source bloğu Block Parameter diyalog kutusunda yer alan sanal dünya girdi ve bilgilerini okur. VR Placeholder bloğu VR Sink bloğu tarafından tanımlanmamış özel bir değer gönderir. VR Signal Expander bloğu giriş portlarından

alınan değerler ve geri kalanı da sinyal değer değişkenlerinden tamamlamış önceden belirlenmiş uzunlukta bir vektör üretir. Joystick Input bloğu Simulink modeli ile sanal dünya arasında uygun etkileşimi sağlamaktadır. Magellan Space Mouse kontrol çubuğu özelliklerine benzer özelliklere sahip fakat ayrıca altı serbestlik derecesine olanak sağlayan kontrol bloğudur.



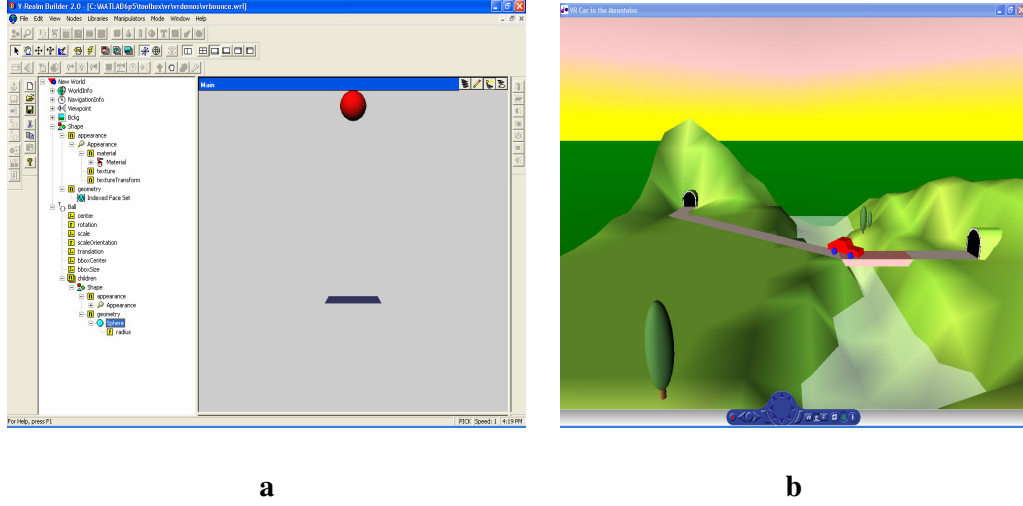
Şekil 4.7: Kullanılan Matlab araçları; a)Simulink; b)VRT

4.2.2 Sanal Ortamda Model Oluşturma

Bilgisayar destekli tasarım programı Unigraphics NX 3.0 ile tasarımı sonlandırılan mobil robot katı modeli simülasyon uygulamalarında kullanılmak üzere VRML formatına dönüştürülmüştür.

VRML, ilk ciddi Web3D teknolojisidir ve 1994 yılından bu yana yoğun olarak kullanılmıştır. ISO (International Standards Organization) tarafından uluslararası standart olarak kabul edilmiştir. VRML, etkileşimli üç boyutlu nesne ve ortamları tanımlamayı sağlayan basit metinsel bir dildir. VRML dosyalarının uzantısı .wrl'dir. VRML-NG yani X3D, 1999 yılında, üç boyutu her ortama taşıma çabaları sonucunda ortaya çıkmıştır.

Dönüşen model dosyası üzerinde V-Realm Builder (Ver 2.0) yazılımı kullanılarak mobil robotun sahip olduğu hareket eksenleri düzenlemesi ve gruplandırılması yapılmıştır (Şekil4.8.a).



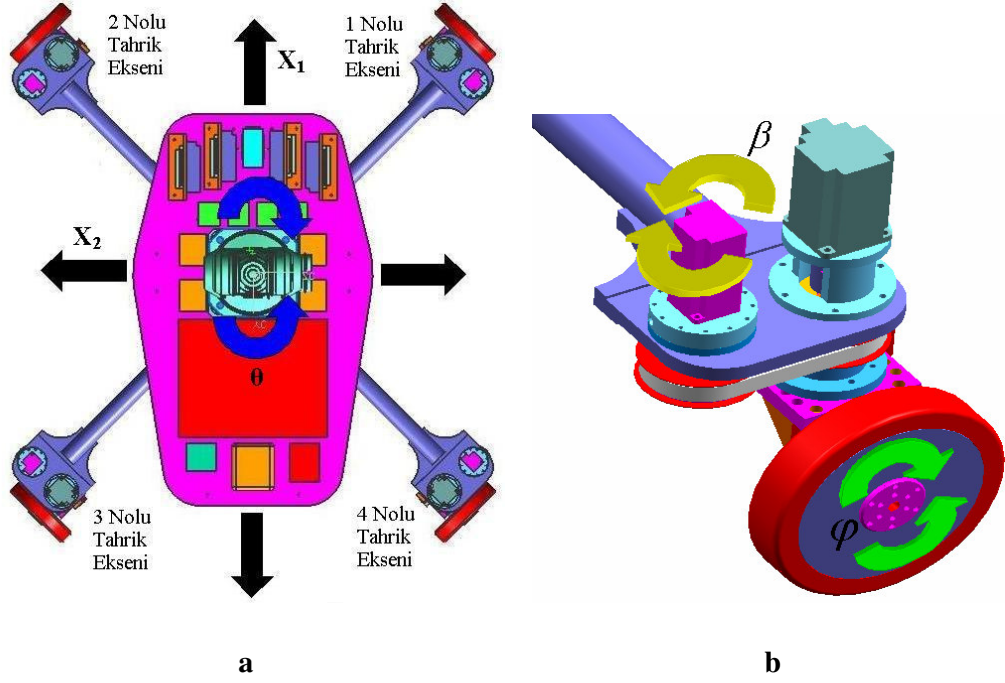
Şekil 4.8: Kullanılan VRML araçları; a)Editör; b)Gösterimci

Dosya aktarımı ile model elde edilmesinin yanı sıra yazılım içerisindeki editör sayesinde obje yaratılması, çoğaltılması, gruplandırılması mümkündür. Ayrıca yaratılan objelerin içinde yer aldığı bir ortam, ortam ışıklandırılması ve kamera ile takip araçları da eklenebilmektedir. Yukarıda sanal ortam oluştururken kullandığımız VRML düzenleyicisi ve simülasyon sırasında hareketlerin gözlenebilmesi için kullanılan VRML gösterimcisi verilmiştir (Şekil4.8.b).

4.2.3 Matlab Ortamında Simülasyon

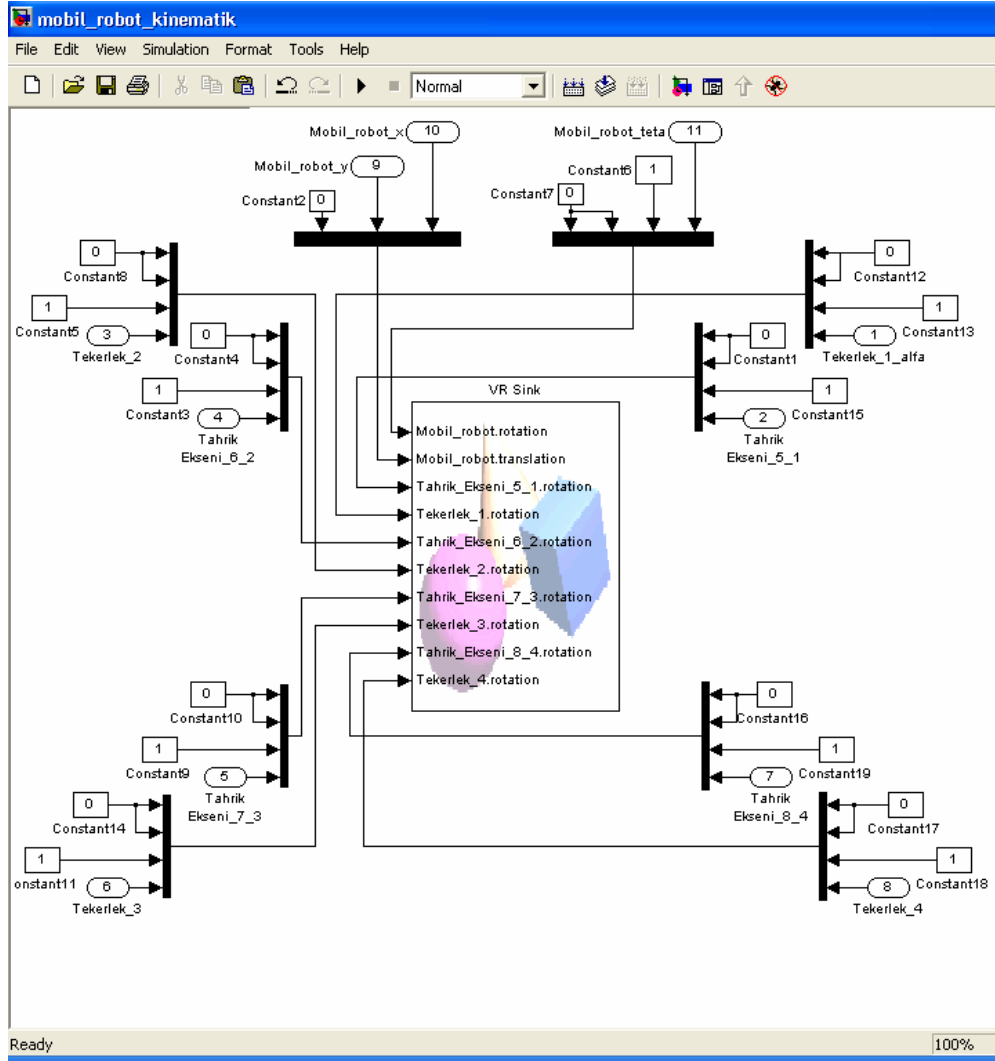
Mobil robot ortam içerisinde hareket edebilen bir yapıda olduğundan kendisine, üzerinde taşıdığı Mitsubishi-PA-10'na ve birbirinden bağımsız hareket eden tahrik eksenlerine hareket edebilme kabiliyeti verilmiştir.

Bu doğrultuda mobil robot dönme ve öteleme hareketleri yapabilirken tekerleğin yönlendirilmesi ve döndürülmesi yalnızca belirlenen eksenler etrafında dönme serbestliği verilerek mobil robota bağlanmıştır. Buradan oluşan serbestlik dereceleri hareket değişkenlerini vermektedir. Bu değişkenleri mobil robot için Şekil 4.9.a ve tekerlek içinse Şekil 4.9.b de olduğu gibi ifade etmek mümkündür .



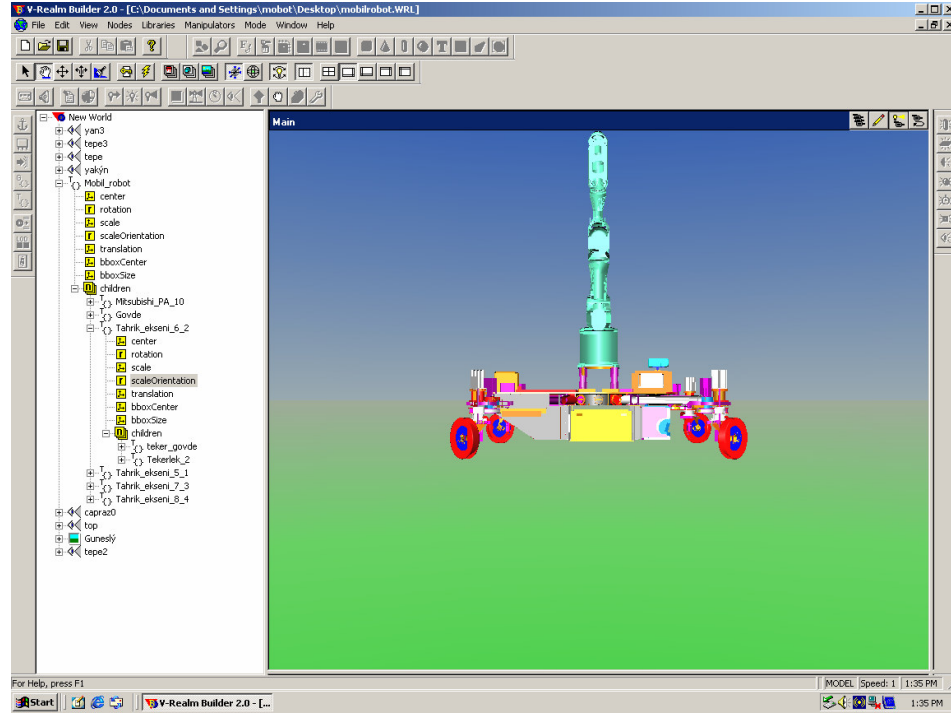
Şekil 4.9: Hareket değişkenleri; a) Mobil robot için, b) Tekerlek için

Yukarıdaki verilen değişkenler Simulink ortamına aktarılıp düzenlenmiştir Şekil 4.10. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta Matlab eksen takımı ile VRML eksen takımlarının birbirlerine dik olmalarıdır.



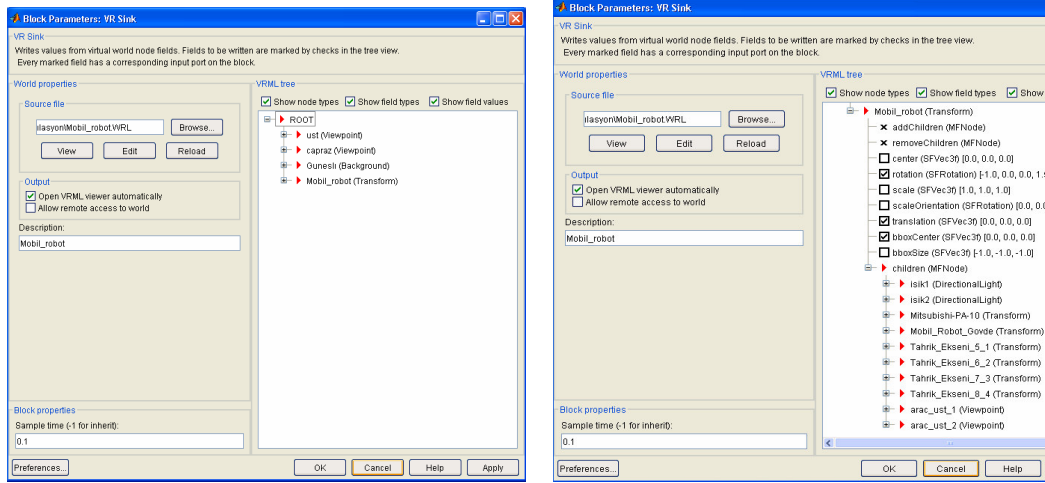
Şekil 4.10: Hareket modeli Simulink gösterimi

Mobil robot sanal dünyadaki katı modeline simülasyon sırasında müdahale etmek mümkündür. Fakat değişikliklerin geçerli olabilmesi için dosyanın kaydedilip blok kutusundan tekrar tanıtılması gerekmektedir (Şekil 4.11) .



Şekil 4.11: Mobil Robot VRML gösterimi

Eksen gösterimi ve parametre bloğunun içinde yer alan uygulamaları Şekil 4.12 de verilmiştir. Parametre bloğunda hareketli veya hareketsiz tüm objeler için Simulink ile kontrol edilebilen parametreleri aktif veya pasif hale getirebilirliği gösterilmiştir.



a

b

Şekil 4.12: Hareket değişkenleri girişi; a) Kapalı gösterim, b)Genişletilmiş gösterim

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında holonomik olmayan kısıtlara sahip mobil bir robotun tasarım, modelleme ve simülasyon aşamaları aktarılmıştır. Yapması gereken işleri tanımlanmış ve bir düzlem üzerine sabitlenmiş endüstride kullanılan manipülatörlere yer değiştirme yeteneğinin kazandırılması bu projenin oluşmasında motivasyon kaynağıdır.

Bu amaç doğrultusunda yola çıkılarak düzlem üzerinde yüksek manevra kabiliyetine yüksek doğruluk ve kararlılığa sahip olan bir sistem hedeflenmiştir.

Mobil robot genel şeklinin oluşmasından ve standart ürün seçimine kadar dikkatli ve özenli bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma aynı zamanda üniversite ve endüstri işbirliği sonucu oluşan uygulanabilir yüksek nitelikli bilginin sonuçlandırılmış güzel bir örneğidir.

Mobil robot tasarım aşamasında mobil robotun yüksek yer değiştirme kabiliyetlerine içinde bulunduğu çevre ile gerçek zamanlı etkileşimi girerek verilen görevlerin tamamlanabilmesi amaçlanmıştır. Buradan yola çıkılarak üzerinde taşıdığı Mitsubishi-PA-10'nun hareketleri sırasında kararlılığı ve dayanımı yüksek olan bir mekanik yapı oluşturulmuştur. Ayrıca oluşturulan yapının dayanımı sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Yer değiştirme sırasında harcanacak gücü azaltmak için hafif ve dayanıklı özel bir imalat malzemeleri seçilmiştir. Hareket sırasında dönen yapıların dönme eksenleri yönündeki atalet momentleri, yapının görevi birinci eken kabul edilip, olabildiğince düşük tutulmuştur. Sonuçta oluşan hareketli yapıların kütle atalet momentleri de bilgisayar destekli tasarım programı ile hesaplanıp tablolastırılmıştır. Oluşturulan mobil robotun yüksek yetenek gerektiren yer değiştirme hareketlerinde en önemli avantajı tahrik sisteminin tekerleğin sürekli

tam dönüşlerinde imkan sağlamasıdır. Buradaki önemli nokta tekerleğin dönüşü sırasında kendisini tahrik eden motorun güç ve bilgi kablolarına tam dönüşlerde dolanması tamamlanmamış fakat sürekli dönüş hareketlerinde ise kablonun deforme olmasıdır.

Bu problem mobil robotta tahrik motorunun sabit yapı üzerine alınması amacıyla yapılan özel bir tahrik sistemiyle çözülmüştür.

Bu problemin çözümü için daha önceden gerçekleştirilmiş tekerleğin kendi eksenı etrafında dönüşü ve kablosuz güç ve bilgi iletimi gibi uygulamalar mevcuttur. Tekerleğin kendi eksenı etrafında dönüş mantığına dayanan çözüm maliyetinin yüksek olması ayrıca tekerleğin yönlendirme hareketleri sırasında sürtünmeden dolayı yüksek enerji kayıplarına sebep olmasından dolayı tercih edilmemiştir.

Mobil robot üzerine yerleştirilen çevre algılayıcı ve yön belirleyici sensör sistemi ile hareket sırasında gerekecek olan araç pozisyonu ve ortamla temas bilgilerini elde etmesi amaçlanmıştır. Ortam algılayıcı sensör dağılımı aracın tüm yönünü algılaması ve öne doğru hareketlerinde ön kestirim sağlamak amacıyla ultrasonik sensörler ve lazer tarayıcı mobil robot üzerine uygun şekilde konumlandırılmıştır. Yönelim ve sonucundaki pozisyon bilgileri temini için fiber optik jiroskop ve manyetik pusula mobil robot üzerine düz bir yüzeye monte edilmiştir. Mobil robot hareketi sırasında çevre sınırlarının algılanması ve manipülatör hareketlerine yardımcı olmak amacıyla da bir adet kamera sistemi yer almaktadır.

Amaca uygun motor seçimi sonucu oluşan motor seçimi yüksek sürüş ve algılama kabiliyetine sahip sürücü ihtiyacını doğurmuştur. Bu amaç doğrultusunda seçilen sürücülerin kendi sayılarını yanında ihtiyaç duydukları ve sahip oldukları bilginde yüksek olmasından dolayı harici bir hareket kontrol kartına ihtiyaç duyulmuştur. Yerleştirilen bu kontrol kartı ile kablo trafiği azaltılmış olup mobil robot ana işlemcinin motor sürme işlemini yüksek oranda azaltmış olmaktadır.

Mobil robot üzerine yerleştirilen ana kartın çok sayıda ve çeşitte kart girişlerine sahip olması amacıyla köprülü tip bir anakart seçilmiştir. Hızlı değerlendirme ve karar verme ihtiyacı sonucu olarak da yüksek işlem kabiliyetine sahip tek kartlı bir ana

işlemci tercih edilmiştir. İşletim sistemi ve diğer programların depolanması ve koşturulması amacıyla bir sıradan bir yerel disk, yüksek depolama kabiliyetlerine sahip geçici bellek okuyucular ve kablosuz iletişim sağlamak amacıyla uygun modeminde içerisinde yer aldığı bilgisayar donanımı mobil robot üzerine yerleştirilmiştir.

Mobil robot tahrik sistemi temel alınarak oluşturulan tekerlek kinematiği birleştirilerek mobil robot için oluşan kısıtları meydan getirmektedir. Oluşan tekerlek ve araç kinematiği daha önceki mobil robot tekerlek yapılarından farklı olduğu için kullanılan tekerlek yapısına özgün holonomik olmayan kısıtlar kullanılarak mobil robot açısı ve pozisyon değişimleri çıkarılmıştır.

Mobil robot hareket çeşitleri kısaca tanıtılıp çoğunlukla kullanılacak hareket çeşidi belirlenmiştir.

Bilgisayar destekli tasarım programı yardımı ile tasarlanan mobil robotun katı cisim bilgileri simülasyonda görsellik sağlaması amacıyla VRML formatına dönüştürülerek Matlab içerisinde kullanılmıştır.

5.2 Öneriler

Mobil robotun tasarım, kinematik modelleme ve simülasyonunun yer aldığı bu çalışma en yakın zamanda hareket kazandırılıp sahip olduğu veya olacağı yetenekleri en kısa zamanda sergilemesinde kaynak olarak kullanılabilir.

Mobil robot tasarım aşamasının, belirli bir kısmında ve tasarımın gerçeğe aktarılmasının tamamında yer alırken edindiğim, ortak olduğum ve tavsiye edebileceğim önerilerin bazıları aşağıda yer almaktadır.

Öncelikle, mobil robot için özel tasarlanmış olan tahrik konstrüksiyonunun öngörülemeyen avantaj ve dezavantajlarının araştırılmasını ve çıkan sonuçlar doğrultusunda en düşük harcanacak enerji prensibini ortaya çıkaran tahrik sistemi kontrolünün oluşturulmasını öneriyorum.

Mobil robot hareketi sırasında üzerinde taşıdığı algılama sistemlerini en etkin biçimde kullanıp haritalama, engelden sakınma, durağan ve hareketli yapıdaki görevleri yerine getirebilir.

Üzerinde taşıdığı manipülatör ile eş zamanlı ve ayırık zamanlı hareketleri gerçekleştirebilir. Gerçekleştirilecek bu hareketler dokunma ve görme algılayıcılarının yanı sıra koku, tat ve duyma teknolojisinde gelişmeler de kullanılarak zenginleştirilebilir.

Yer değiştirme hareketliliğinin çeşitlendirdiği bir diğer yetenek olan beraber çalışma zenginliği farklı robot tipleriyle iletişim kurarak ortak amaçları gerçekleştirme amacıyla kullanılabilir.

Tüm bu sayılan teknik önerilere ek olarak naçizane kişisel önerim; özverili bir çalışma sonucu fikirden gerçeğe dönüşen mobil robotun öncelikle insanlığa fayda sağlayacak ve insanı yüceltecek amaçlarda kullanılması, geliştirmesi ve sonuçlar doğurmasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Campion, G., Bastin, G., D'Andréa-Novel, B.,** “Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots.” IEEE Transactions on Robotics and Automation, 12, No. 1, 47–62, 1996.
- [2] **A.M. Bloch,** “Nonholonomic Mechanics and Control”, Volume 24, Sayfa 1-21,ISBN 0-387-95535-6
- [3] **Roland Siegwart and Illah R.** “Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots”, ISBN 0-262-19502-X (hc : alk. paper)1. Mobile robots. 2. Autonomous robots. Sayfa 13-36
- [4] **Campion, G., Bastin, G., D'Andréa-Novel, B.,** 1991, “Modelling and Control of Non Holonomic Wheeled Mobile Robots”,International Conference on Robotics and Automation Sacramento, California - April
- [5] http://ranier.hq.nasa.gov/telerobotics_page/coolrobots.html
- [6] <http://www.activrobots.com/>
- [7] <http://www-robotics.cs.umass.edu/robotics.html>
- [8] <http://www.ai.mit.edu/projects/mobile-robots/>
- [9] <http://www.eventscope.org/Eventscope/main.htm>
- [10] <http://mars.graham.com/wits/>
- [11] <http://www.cs.cmu.edu/~personalrover/>
- [12] www.personalrobots.com.
- [13] www.newtonlabs.com.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Bursa Karacabey’de doğdum. 1999-2003 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi’nde Makina Mühendisliği eğitimi aldım. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimime devam etmekte olup Kale Altınay Robotik ve Otomasyon San.ve Tic. A.Ş.’de 2,5 yıldır Tasarım ve Uygulama Mühendisi olarak çalışmaktayım.