

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

106237

BÖCEK ROBOT

Makine Müh. Onur İsmail İLKORUR

F.B.E Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksyon Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı

: Prof. Dr. Faris KAYA

Prof. Neerati TAHRALI

Prof. Dr. Erdiğrul TAĞGIN

İSTANBUL, 2001

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

106237

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 BÖCEK ROBOTLAR.....	1
1.1 Problemin Tanımı.....	1
1.2 Tekerlekli ve Yürüyen Robot Sistemleri.....	2
1.3 Paletli Sistemler.....	6
2 BÖCEK ROBOTLARIN TASARIMI.....	8
2.1 Giriş.....	8
2.2 Gövde Tasarımı.....	8
2.3 Tahrik Mekanizmasının Tasarımı.....	10
A – Yer sürtünme kuvveti.....	12
B – Gerekli yüzey tırmanma.....	12
C – Dişli – yatak sürtünme kuvvetleri.....	12
2.3.1 Kardan Millerinin Burulma Kontrolü.....	16
2.3.2 Kardan Çatallarının Tasarımı.....	17
3 YÖNLENDİRME MEKANİZMASI.....	20
3.1 Orta Bölme Yerleşimi.....	20
3.2 Yönlendirme Mekanizması İçin Gerekli Motor Gücünün Hesabı.....	22
3.2.1 Y Düzleminde Manevra.....	23
3.2.2 X – Z Düzleminde Manevra.....	24
4 ROBOT KONUMUNUN BELİRLENMESİ.....	28
4.1 Giriş.....	28
4.2 Konum Belirleme.....	28
5 DENEYSEL ÇALIŞMA.....	32
5.1 Giriş.....	32
5.2 Mekanik Yapı.....	32

5.3	Elektronik Donanım	35
5.4	Kameralar.....	39
5.5	Kontrol Bilgisayarı.....	41
5.6	Pil.....	43
6	SONUÇ.....	44

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ



SİMGE LİSTESİ

Δs	Yer değiştirme [metre]
Δt	Zamandaki değişim [saniye]
v	Hız [metre/saniye]
F	Kuvvet [N]
M	Moment[Nm]
A	İvme[metre/saniye ²]
μ	Sürtünme katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi [metre/saniye ²]
β_0	Sonsuz vida eğim açısı [derece]
ρ	Sonsuz vida sürtünme açısı [derece]
η	Verim
P	Güç [Watt]
τ	Gerilme [N/mm ²]
ω	Açısal Hız [rad/saniye]

KISALTMA LİSTESİ

AM	Amplitude Modulation (Genlik Modilasyonu)
AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
FM	Frequency Modulation (Frekans Modilasyonu)
GHz	Giga Hertz
IR	Infra Red (Kıızıl Ötresi)
LED	Light Emmiting Diod
MHz	Mega Hertz
RF	Radyo Frekansı
TTL	Transistor Transistor Logic



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Bacak mekanizmaları.....	5
Şekil 1.2 Sürünge Robot (NASA).....	5
Şekil 1.3 Yaklaşma Açıları.....	6
Şekil 1.4 Paletlerin Böcek Robot Üzerine Yerleşim Planı.....	7
Şekil 2.1 Böcek Robotun Gövde Konstrüksiyonu.....	10
Şekil 2.2 Tek Tahrik Motoru İle Gerçekleştirilen Hareketin Dağılım Şaması.....	13
Şekil 2.3 a) Sağa ve Sola Dönüş b) Tırmanma ve inme.....	18
Şekil 2.4 22.5° Açılı Pozisyonda Kavramanın Görünüşü.....	18
Şekil 3.1 Yönlendirme Mekanizmasının Görünüşü.....	21
Şekil 3.2 Sürtünme Kuvvetinin Hesaplanması.....	22
Şekil 3.3 : X – Y Düzleminde Oluşan Kuvvetler.....	23
Şekil 3.4 X – Z Düzleminde Oluşan Kuvvetler.....	25
Şekil 4.1 Alıcıların Yerleşme Planı.....	29
Şekil 5.2 Tambur Yatağı.....	33
Şekil 5.3 Sonsuz Vida Yatağı ve 90° Konik Dişli Yerleşimi.....	34
Şekil 5.4 İç İçe Yerleştirilmiş Eş Eksenli Kardan Kavramaları.....	35
Şekil 5.5 PVM Motor Hız Kontrolü Sinyali.....	37
Şekil 5.6 Hız Enkoderi.....	38
Şekil 5.7 Üzerine İkili Sistemde Yarıklar Açılmış Enkoderin Görünümü.....	39

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Robotu Oluşturan Elemanların Kütleleri	11
Çizelge 2.2 Seçilen Motorun Kriterleri	15
Çizelge 2.3 Robotun Toplam Kütlesi	15
Çizelge 3.1 Ön (Arka) Bölmenin Kütlesinin Hesaplanması	23
Çizelge 5.1 Onluk Sistemdeki Açık Karşılıkları	40



ÖNSÖZ

21-06-01-01 numaralı araştırma projesi kapsamında yürütülen Böcek Robot (Yürüyen Robot) projesi ile insanın erişemeyeceği bölgelerde arama çalışmalarını gerçekleştirmek planlandı. Böcek Robot çalışacağı şartlara bağlı olarak boyutça en küçük, en az enerji harcayan, kıvrılabilen, her konum ve koşulda hareket kabiliyetini yitirmeden yol alabilen, ön ve arka kısmının görüntülerini gönderebilme özellikleri olan bir sistemdir. Ayrıca uzaktan kumanda edilebilmektedir. Görüntüyü kumanda edildiği ortama radyo frekansından nakledebilmektedir.

Bu projenin gerçekleşmesinde birçok kişi ve kuruluş yardımcı olmuştur.

En büyük desteği ve cesareti Prof Dr. Faris KAYA vererek bu projeyi tamamlamam için gerekli olan bilgi ve tecrübesini benimle paylaşmıştır.

1013 Askeri Ordu fabrikası çalışanları, imalatın önemli kısımlarındaki titiz çalışmaları ile projenin gerçekleşmesine yardımcı olmuşlardır.

Elektronik bilgisini paylaşması ve yazılım desteği ile Bülent Fidan projeye katkıda bulunmuştur.

Araştırma fonuna ve yukarıda saydığım herkese, özellikle hocama projeye sağladıkları destek için teşekkür ederim (Araştırma Fonu Proje Numarası 21 - 06 - 01 - 01)

ÖZET

Yer altında, insanın erişemediği bölgelerde araştırma yapabilmek amacı ile Böcek Robot tasarımı yapılmıştır. Böcek robot üç ana bölümden oluşturuldu. Her bölüm altıgen prizması geometrisine sahiptir. Altıgen prizmasının her yüzeyinde palet bulunmaktadır. Tüm yüzeylerdeki paletler tek bir DC servo tahrik motoru tarafından tahrik edilebilmektedir. Tahrik motorunun devri robot üzerindeki bir mikro-işlemci tarafından kontrol edilmektedir. Robot manevra için iki adet DC servo motor kullanılmaktadır. Manevra sırasında üç bölüm yarıçapı gerçekleştirilmesi arzu edilen manevra ile değişen bir yay geometrisi oluşturur. Böylelikle robot sağa, sola manevraları yapabilir, ayrıca engellere tırmanabilir ve engellerden inebilir. Robot iki adet kızıl ötesi ışığa duyarlı kamera ile çalışma yaptığı bölgeden görüntü aktarmaktadır. Robot, bulunduğu konumu ve kamera görüntülerini telsiz haberleşmesi sayesinde kumanda bilgisayarına iletir. Ayrıca, robotun hareketleri mikro-işlemci tarafından değerlendirilmekte ve kumanda bilgisayarına gönderilmektedir. Kumanda bilgisayarı proje kapsamında geliştirilen yazılım ile robotun kontrolü gerçekleştirilmektedir.

Anahtar Kelime: Böcek Robot, Altıgen, Palet, Kardan, Kamera



ABSTRACT

In order to be able to perform search under ruins or where mankind can't reach ,which has been named Snake Robot, is developed. Snake Robot is consist of three main modules. Each module has a hexagonal prism geometry. On the surface of each module lies tracks. All of the tracks on the sides of the modules can be actuated. by a single DC servo motor. The cycle of the motor is controlled by an on board micro-porcessor. For manuvvers, snake robot is equipted by two DC servo motors. In order to perform manuvvers, three modules take the arc geometry. By this way the robot can perform not only right and left turns, but also climbing and descenting manuvvers easily. Snake robot is equipted by two infra red cameras. These cameras enable the robot to transfer visual data from the search area. Visual data and robots' co-ordinates are transfered to control computer by raido waves. The robots' movements are validated by the on board micro-controller before they are sent to control computer. The control of robots' movemets is performed by the software which is specially designed for this project.

Keywords : Snake Robot, Tracks, Hexagon, Camera, Remote Control



1 BÖCEK ROBOTLAR

1.1 Problemin Tanımı

Robotların kendi aralarındaki sınıflandırılmalarına bakıldığında değişik disiplinlerde imal edildiklerini görülür. Farklı görevleri başarı ile gerçekleştirmeleri gerektiği için her disiplin için özel tasarım çözümleri geliştirilmiştir.

Farklı amaçlara yönelik olan robotlar için çözüm arayışları farklı dallarda gelişmeler göstermiştir. Engebeli zeminde ilerleyecek robotların karşılaştıkları yürüme sorunları göz önüne alındığında bu güne kadar geliştirilmiş olan mekanizmaların yetersiz kaldıkları görülür. Tekerlekli sistemler, bacak mekanizmaları, paletli sistemler tek başlarına belirli görevleri yerine getirmekte ancak her türlü görevi yerine getirmekte yetersiz kalmaktadırlar. Bu proje için belirlenen hedef, bütün sistemlerin olumlu yanlarını bir robotta birleştirmek ve yetersiz kalınacak şartları minimum seviyeye indirmektir.

Belirlenen hedefe ulaşılabilme amacı ile, bu güne kadar yapılmış olan mekanizmaların yetersiz kaldıkları koşullar incelendi Her disiplinin ne gibi iyileştirmeler amaçlanarak üretimine geçildiği belirlendi. Üretiminde ve uygulamasında ne gibi güçlüklerle karşılaşıldığı anlaşılmasına çalışıldı. Karşılaşılan problemlerin giderilebileceği ortaya çıkarılan güncel tasarımın geldiği son noktanın özellikleri incelendi.

Robotun engebeli arazide karşılaştacağı bazı temel problemler bulunmaktadır. Problemlerin zarfı, robotun boyutlarına ve yapısına göre değişiklikler göstermektedir. Tekerleklerinden tahrik edilen bir robota engel oluşturacak bir geometri, bacak mekanizmasına sahip bir robot için engel teşkil etmeyebilir. Sonuç olarak, robotun çalışacağı zemin ve koşullara göre işlem tanımı iyi belirlenmelidir. Tasarım, belirlenen tanımlara optimum düzeyde uyacak kriterler içinde tutulmalıdır. Bu bilgiler ışığında robottan istenilen görevlerin yerine getirilmesi için robotun işlev zarfının etüdü, çalışacağı yüzey geometrisi dizayn aşamasında göz önünde tutularak yapıldı. Böylece robotun hafifliği sağlanmış oldu. Ağırlık, robotun işleme zamanını belirleyen öncelikli bir parametredir. Robotun kendi ağırlığının azaltılması, robotun etkin çalışma zamanını uzatmaktadır. Araştırma yapacak bir robotun, çalışacağı bölgede uzun zaman geçirmesi istenir. Ağırlığın düşük tutulmaya çalışılması ile robot motorlarına gelecek kuvvetler azaltılmış olacaktır. Böylelikle robot pilinden daha düşük akım çekilmiş olacak ve robot pilinin ömrünün uzaması ile araştırma yapılacak alanda daha uzun zaman geçirebilecektir.

Engibeli arazide karşılaşılan diğer bir sorun, arazinin kararsız olmasından dolayı, zemin geometrisinin üzerine gelen robot ağırlığı ile değişmesidir. Sonuç, robotun dengesinin bozulması ile devrilmesi durumudur. Literatürde bu güne kadar seçilen yol, pahalı kontrol yöntemleri ile zemin etüdünün gerçek zamanlı gerçekleştirilmesidir. Robotun bir sonraki hareketini gerçekleştirmeden adımını atacağı ya da ilerleyeceği zemin hakkında bilgi edinmesini sağlanmışır. Çünkü robotların devrilmesi büyük sorunlara yol açacak bir problemdir. Robotların üzerinde bulunan alıcılar genellikle dış darbelere karşı korumasızdırlar. Robot gövdelerinin narin yapıları, hafiflik göz önüne alınarak yapılandırıldığından, farklı yönlerden gelecek kuvvetlere karşı savunmasızdır. İnsanın görev alamayacağı kadar tehlike içeren bölgelerde çalışması amaçlanan bir robotun devrilmesi sonucunda işlevini tamamen yitireceği açıktır. Tasarım aşamasında robotun belirlenen bu özel problemi için yerine çok farklı bir çözüm getirildi. Ekonomik açıdan pahalı kontrol yöntemleri, devrilebilen, fakat devrilse dahi işlevini kusursuz devam ettirmeye yetenekli bir robot imal edilme yoluna gidilmiştir.

Bu robotun geliştirilmesinde basitlik ön planda tutuldu. Bu nedenle problemi çözmek için daha kompleks başka bir yapı geliştirilmekten kaçınıldı. Robot, görevini yerine getirebilecek kadar yardımcı organlarla donatıldı, pile gelebilecek her türlü ek yükten kaçınıldı. Tasarımında, kolaylıkla tamir edilebilecek standart parçalar kullanıldı. Hasar görebilecek parçaların emniyet katsayıları yüksek tutuldu ve ömür hesapları dikkate alındı. Araştırma bölgesinde ek külfet oluşturmayacak kadar az bakıma ihtiyaç duyması gerekliliği göz önünde tutuldu. Robotu kullanacak kişinin tecrübeli olmasını gerektirmeyecek kumanda şekli benimsendi. Robottan, kullanıcıya geri beslenen bilgilerin açık, net, anlaşılabilir olması hedeflendi.

1.2 Tekerlekli ve Yürüyen Robot Sistemleri

Tekerlekli sistemler ilerleme sırasında değişik problemlerle karşılaşmaktadırlar. Bu problemler řu şekilde özetlenebilir :

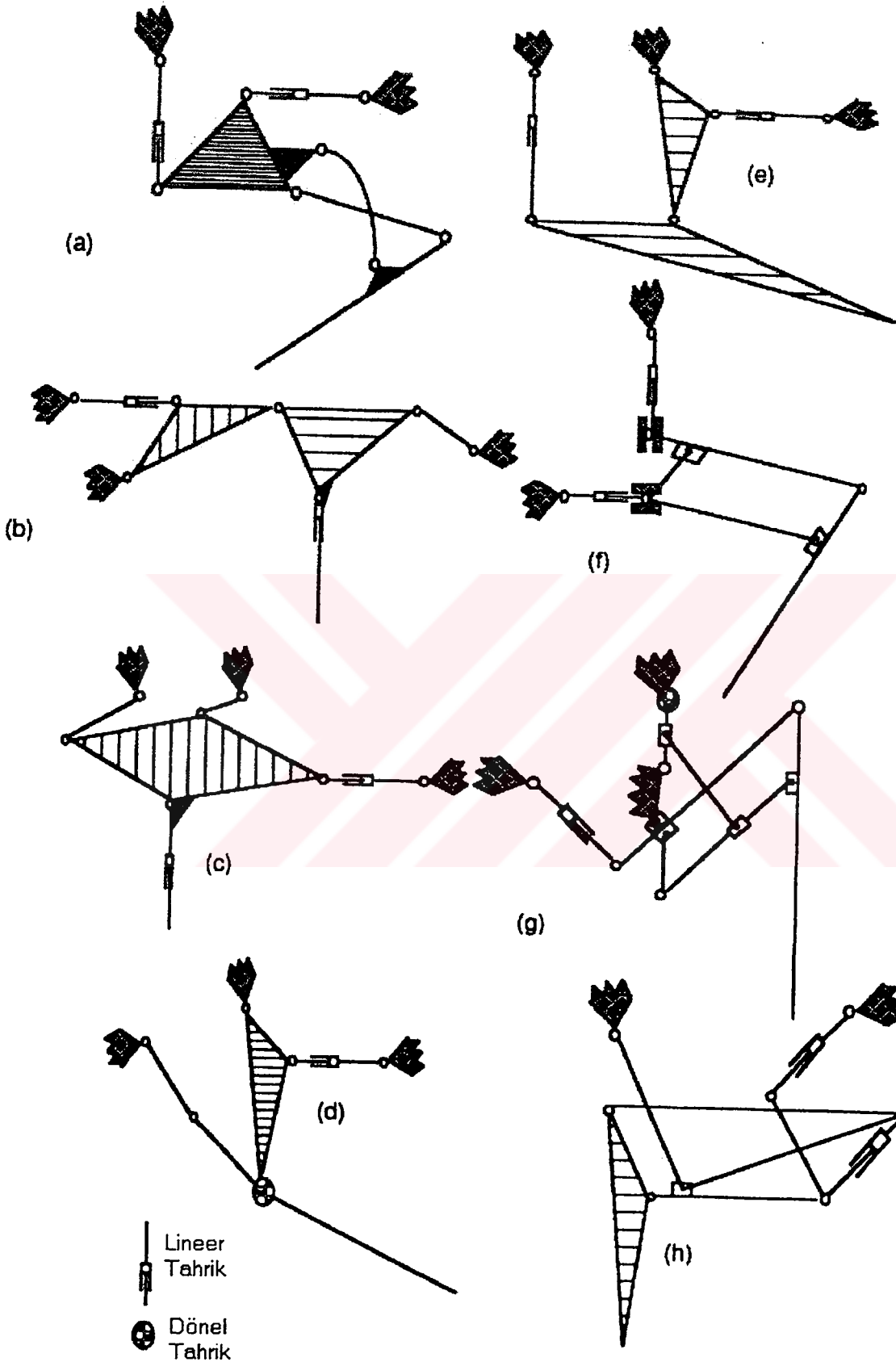
Gevşek zemin üzerinde hareket : Tekerlekli robotların gevşek zemin üzerinde de hareket etmesi beklenmektedir. Tüm tekerleklerin tahrik edildiği bir sistem dahi bu tür bir zeminde sırasında yetersiz kalabilmektedir (Tanaka, 1984). Tekerleklerin zemine uyguladığı kuvvetin, robot ağırlığının belirli oranının üzerinde bulunması halinde robot işlevsiz kalmaktadır (Larminie, 1988). Özellikle ağır robotlar bu tür zemin üzerinde hareket etmekte zorlanmaktadır (Moorhead, 1965).

Kum üzerinde hareket : Tekerlekli robotlar, tekerleklerindeki düşük basınç dağılımı ile hareketlerini gerçekleştirebilirler. Bu koşulun gerçekleşmemesi halinde tekerleklerin patinaja geçmesi ya da robot motor torku yetersiz kalabilir

Bacak mekanizmalarının ilerleme ve kontrol açısından gözlenen problemlerini aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz :

Tasarım ve kontrol : Bacak mekanizmalarının tasarımında enerji kayıplarını minimum seviyede tutacak yöntemler uygulandı. Bu sayede robotların daha uzun süre çalışmaları sağlanmaya çalışıldı. (Cavagna ve Kaneko, 1977), (Hirose ve Kunieda, 1991), (Song ve Lee, 1988). Bu tasarımlarda insan hareketi örnek alınarak potansiyel enerjinin korunumu yolu ile bir sonraki adıma hazırlık yapılmaya çalışıldı. Fakat bu tür yapılar narin ve kompleks yapılardır. Şekil 1.1 'de de görüleceği üzere tahrik mekanizmaları açısından ve bacak mekanizmasının yerleşimi açısından geniş yer tutmaktadır.

Devrilme : Devrilmeye karşı yatkınlıkları mekanizmaların yerleşmesi için geniş alana ve büyük strok mesafelerine ihtiyaç duyulmasından kaynaklanmaktadır. Devrilme; robotun ağırlık merkezinin ayaklarının uç noktaları ile tanımlanan yüzeyden yüksekliğinin kabul edilebilir sınırlar dışında olması durumunda gerçekleşir. Bu tür mekanizmaların ağırlıkları robotun yukarı kısımlarında yoğunluk göstermesi nedeni ile istenmeyen bu koşul gerçekleşir. Eğimli yüzeylerde yataydaki kuvvetin büyümesi, sistemin belirtilen kararsız konuma geçmesine neden olmaktadır.

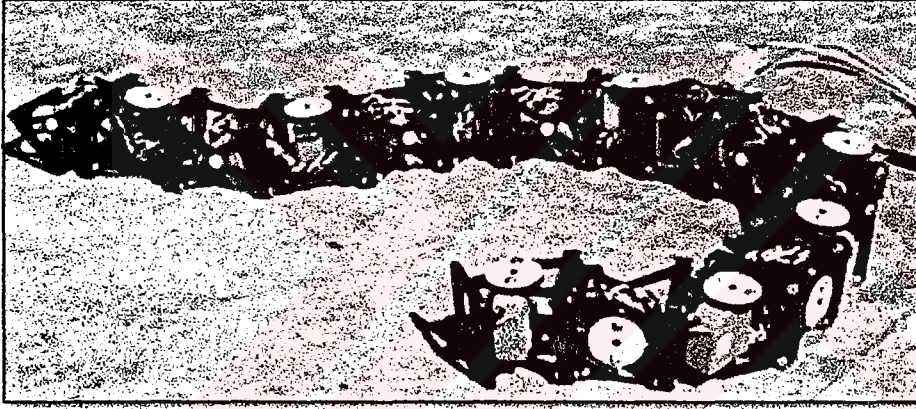


Şekil 1.1 Bacak Mekanizmaları

1.2.1 Yörünge ve gerekli alan :

Diğer bir olumsuzluk ise, bacak mekanizmasının işlemini gerçekleştirebilmesi için geniş bir uzay zarfına ihtiyaç duymasındır. Bacağın eski konumundan kalkması, uzayda yörüngesini gerçekleştirmesi ve nihai konumuna inmesi işlemi süresince, bacağın herhangi noktasının arazi engellerinden birine takılmayacak kadar yükselmesi gerekmektedir. Basık, dar alanlarda çalışması beklenen bir robotun uzay zarfının kontrol edilmesi robota ek külfet getirecek ve asıl işlevini gerçekleştirmesine engel oluşturacak kadar hareketlerini yavaşlatacaktır.

Yukarıda belirtilen olumsuzluklar, tasarımına geçilecek robotun ne gibi problemlerin üstesinden gelmesi gerektiği belirlemiş olmaktadır. Çözüm olarak sunulan, “Sürüngen Robot” sınıfına giren bir robottur. Sürüngen robot sınıfındaki robotlar gövdelerinin yardımı ile hareketlerini gerçekleştirirler (JPL Laboratuvarları) (Şekil 1.2).

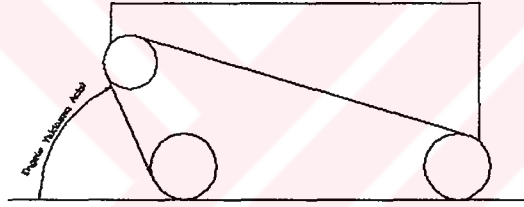
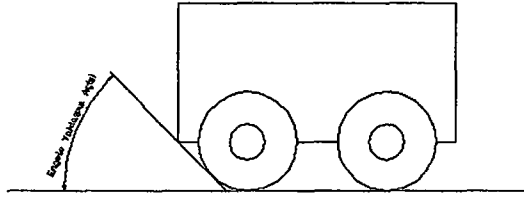


Şekil 1.2 Sürüngen Robot (NASA)

Şekil 1.2 'de görülen robotun gövdesi eklemlerden oluşmaktadır. Bu eklemlerin sıralı hareketi ile yüzey üzerinde sürtünerek ilerleme hareketini sağlar. Yılanların ilerleme hareketinin taklit edildiği bu robotun eklemleri birer DC servo motor tarafından kontrol edilmektedir. Robotun gitmesi istenilen yöne ve hıza göre bu eklemler sırası ile hareket ettirilir. Robot, herhangi bir engele sarılarak tırmanabilmektedir. Yuvarlanma sırasında dahi yön kavramını yitirmeyecek donanıma sahiptir. Fakat robotun ilerleme hızı çok düşüktür. Gerekli yardımcı elemanları taşıyabilmesi gerektiğinde robotun boyutları büyümektedir. Büyüyen boyutlarla beraber tahrik sorunları oluşmaktadır. (NASA, 2000)

1.3 Paletli Sistemler

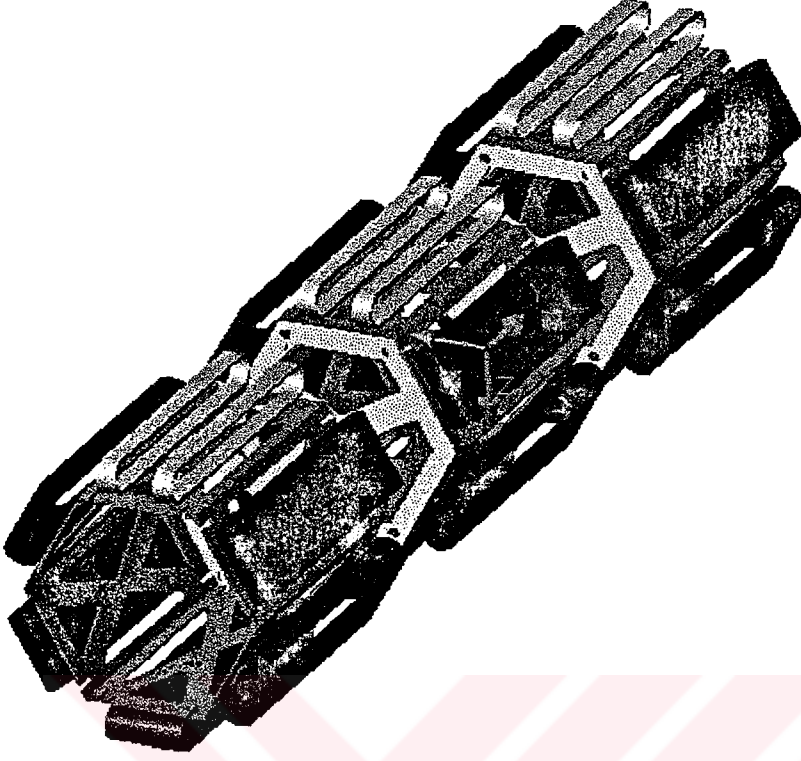
Paletli robotlar tekerlekli robotlara alternatif olarak geliştirilmişlerdir. Paletli robotlar, tekerlekli robotlara kıyasla engebeli arazi şartlarında daha başarılı olmaktadır. Engelleri aşmakta üstünlük sağlamaktadırlar. Ayrıca bacaklı robotlarla kıyaslandıklarında, manevra yetenekleri ve ilerleme hızları daha büyüktür. Engele yaklaşma açıları itibariyle tırmanma durumlarında yetersiz kalmamaktadırlar. En temel iki sistem için yaklaşma açıları karşılaştırılırsa (Şekil 1.3) paletli sistemlerin daha avantajlı olduğunu görebiliriz.



Şekil 1.3 Yaklaşma Açıları

Paletli sistemlerin yetersiz kaldıkları problem devrilmidir. Paletli robot, devrildiği halde işlevini yerine getiremez. Böcek robotun imalatında paletli sistemin avantajlarından yararlanıldı, fakat devrilme sorununa çözüm getirilmeye çalışıldı.

Böcek robotun tasarımında tek yüzeyinde iki palet bulunan robotlardan farklı olarak robotun her yüzeyine bir palet yerleştirildi. Böcek robotun 6 yüzeyinde bulunan paletler robotun gövdesine dahil edildi ve böylelikle daha rijit bir geometri elde edildi. Palet, robotun bir yüzeyini bütünüyle kaplamaktadır. Böylelikle diğer paletli robotlarda rastlanan, yumuşak zeminde gövde üzerine oturma ve hareket kabiliyetini kaybetme problemi aşılmış olmaktadır. Robot üç bölmeye ayrıldı. Robotun toplam ağırlığı üç palet üzerine dağıtılarak düşük basınç dağılımı elde edilerek, robotun yumuşak zeminde de hareket edebilmesine çalışıldı. Robot bölümlerinin geometrisi altıgen prizması olarak belirlenmesinin sebebi altıgen prizması geometrisinin yüzey alanına göre maksimum iç hacme sahip olmasıdır. Üç bölümdeki her altı yüzeyde palet bulunmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Paletlerin Böcek Robot Üzerine Yerleşim Planı

Bütün paletler merkezi bir servo motor ile tahrik edilmektedirler. Böylelikle üç bölmenin toplam 18 yüzeyinde bulunan paletler tahrik edebilme özelliğine sahip olmaktadır. Altıgen geometri simetrik bir yapıdır.

Simetrik yapının robota kazandırdığı özellik, devrilme durumlarında yine bir palet üçlüsünün üzerinde durabilme yeteneğidir. Böylelikle robot devrilme durumunda dahi işlevini kaybetmez.

2 BÖCEK ROBOTLARIN TASARIMI

2.1 Giriş

Böcek robot tasarımında imalat kolaylığı için olabildiğince basit ve standart parçaların kullanıldığı bir yaklaşım amaçlandı. Bununla beraber tasarımın sınır koşullarını belirleyen parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler aşağıdaki şekilde özetlenebilir :

- Hafiflik
- Çalışma sırasında oluşabilecek darbelere dayanıklı yapı
- Güvenirlik
- İşlevsellik ve manevra kabiliyeti

Yukarıda sayılan nedenler tasarım tipine ve seçilen malzeme cinsine bağlıdır. Robot imalatında malzeme seçimi oldukça önemlidir. Malzemenin robotun işlemlerini yerine getirebileceği kadar dayanıklı olması gerekmektedir. Diğer yandan yoğunluğunun düşük olması istenmektedir. Gelen kuvvetlere ve mukavemet şartlarına göre parçaların kesiti belirlenir. Malzeme seçiminden sonra, malzeme yoğunluğunun yüksek olmasına bağlı olarak, parçalarda malzeme boşaltma yoluyla hafifliğe gidilebilmektedir. Böcek robotun tasarımında, gerekli görülen parçalarda malzeme boşaltma yoluna gidildi. İmalat düşünülerek, bu konuda da basitlik göz önüne alındı.

2.2 Gövde Tasarımı

Böcek robotun gövdesi, parçalar arasında en büyük olanıdır. Gövde robotu dış etkenlerden korumaktadır. Robot yüzeylerinde bulunan paletler gövde üzerine yataklanmıştır. Bu sebeple gövdenin hem hafif hem de dayanıklı olması gerekmektedir.

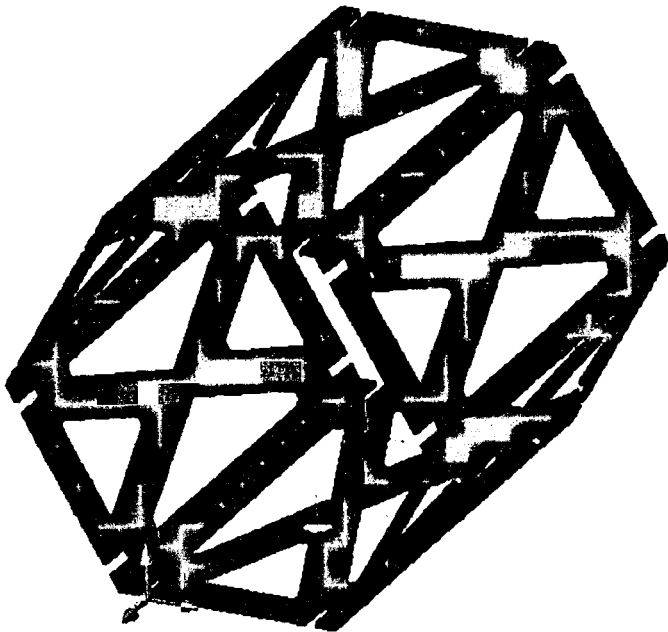
Gövde üzerine monte edilecek parçalar :

- Tahrik Motoru
- Yönlendirme Motorları
- Ön ve Arka Kameralar
- Haberleşme Devreleri
- Kontrol Devreleri
- Pil
- Paletler

- Palet Tahrik Dişli Yatakları

Robotun bütün ağırlığı gövde tarafından taşınmaktadır. Bu sebeple olabildiğince rijit bir yapıya gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca dişli yataklarının da gövde üzerinde bulunması, oluşabilecek yatak problemlerine ve şekil değiştirmeye karşı gövdenin yeterli mukavemete sahip olması gereklidir. Mechanical Desktop R4.0 kullanılarak gövde üzerine gelebilecek yükler belirlenmeye çalışıldı. Motorlardan ve yataklardan kaynaklanan kuvvetler ile ilerleme sırasında robotun karşılaşacağı engellerden doğabilecek kuvvetlerin robot gövdesi üzerine etkiye durumları simule edildi. Ortaya çıkan veriler değerlendirilerek, gövdenin minimum cidar kalınlığı hesaplandı. Elde edilen değer emniyet katsayısı 6 seçilerek büyütüldü. Böylelikle cidar kalınlığı 2 mm olarak bulundu. Gövde malzemesi olarak da Alüminyum 6351 (Akma Sınırı 80 N/mm^2 , Çekme Dayanımı 210 N/mm^2) seçildi. Bu malzeme Alüminyum malzemeler arasında yoğunluk olarak en düşük fakat buna karşı mukavemet değerleri en yüksek olma özelliğine sahiptir. Ayrıca herhangi bir ısı işlem gerektirmeden kullanılabilme imkanı sağlamaktadır.

Emniyet katsayısı büyük seçilerek gövdede malzeme boşaltma imkanı oluşturuldu. Gövdenin şekil değiştirmesi minimum düzeyde tutulması gereği göz önünde tutularak, gövdeye Şekil 2.1 'deki geometri kazandırıldı. Ortaya çıkan farklı boşaltma geometrilerinin şekil değiştirmeleri Mechanical Desktop yazılımı ile kontrol edildi. Tasarlanan ilk şekil boşaltma geometrisi geliştirilerek ve optimize edilerek, bu son geometrik şekil elde edildi.



Gövdenin her bir modülü 150 mm uzunluğundadır. Gövde boyutları içine yerleştirilecek pil, kamera, servo motor, dişliler gibi elemanlara göre tesbit edildi. Gereksiz yer kullanılmasından kaçınmaya dikkat edildi. Bu özellikte bir altıgen prizmasını içine alabilecek çemberin çapı 134 mm olmaktadır. Böylelikle altıgenin bir yüzeyinin genişliği 67 mm olmaktadır. Bu genişlik pil, DC servo motor, kamera gibi tarafımızdan imalatı mümkün olmayan diğer yardımcı elemanların gövde içine montajını mümkün kılmaktadır.

Gövde üzerinde malzeme boşaltılması uygulanmasından önce gerekli parçaların monte edilebilmesini sağlayacak bölgelerin yerleri belirlendi ve Bu bölgelerde malzeme boşaltılması gerçekleştirildi.

2.3 Tahrik Mekanizmasının Tasarımı

Yine hafiflik şartlarına uygun olarak böcek robotun tek bir motor tarafından tahrik edilmesi düşünüldü. Bu amaca uygun imal edilmiş DC servo motorların ağırlıkları 565 gr ile 360 gr arasında değişmektedir. Bu aralıkta hangi motorun kullanılacağını belirlemek için tahrik motoruna gelecek kuvvetlerin hesaplanması gerekmektedir. Bu işlemin ilk adımı olarak robotun ağırlığı en yakın ölçekte belirlenmelidir. (Çizelge 2.1)

Bu hesaplama yapılırken, hesapların buraya kadar olan kısmında belirsizlikler bulunmasından dolayı ortaya çıkan değerlerin %50 ~ %60 daha yüksek bir değer seçme yoluna gidildi. Böylece robotun toplam kütlesi 7800 gr olarak belirlendi.

Hesaplarda kullanılan diğer belirleyici ve sınırlayıcı kriter ise robotun operasyon sırasında ne kadar yol alacağı hususudur. Robotun ilerleyeceği mesafenin saptanması konusunda kısıtlayıcı unsur olarak telsiz haberleşmesinin özellikleri belirleyici olmaktadır. Kullanılacak radyo frekansının, robotun ilerleyeceği engebeli bölgede yayınının 50 metre yarıçaplı bir çember içinde etkili olacağı söz konusudur. Bu sebeple robotun hareket kabiliyeti değiştirmesi 100 metre ile sınırlıdır. Robot, işlevini yerine getirme sırasında toplamda 100 metre yol alacağı kabulü yapılmıştır.

Bu durumda robotun ortalama çizgisel hızı :

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{100m}{30 \times 60sn} = 0.056 \longrightarrow V \cong 0.06m/s \quad (2.1)$$

olmaktadır.

Çizelge 2.1 Robotu Oluşturan Elemanların Kütleleri ve Toplam Robot Kütlelerinin Hesaplanması

Parça Adı	Adedi	Malzeme	Kütle [gr]
Tambur Yatağı	24x3	Alüminyum	72x2.6
Tahrik Tamburu	2x3	Ç1040	6x68
Palet	6x3	Plastik	18x28
Tahrik Motoru	1		
Gövde	3	Alüminyum	3x200
Yönlendirme Motoru	2		
Pil	5	NiCd	2x200
Ara Bağlantı Elemanları	6	Ç1040	6x185
Ana Motor Taşıyıcıları	2	Alüminyum	2x24
Kardan Milleri	4	Ç1040	4x26
Sonsuz Dişliler ve Milleri	3	Ç1040	3x40
Sonsuz Dişli Yatakları	3	Alüminyum	3x13.3
Tahrik ve Yönlendirme Dişlileri	10	Ç1040	10x64
Kameralar	2	-	2x52
Tambur Dişlileri	3x24	Ç1040	72x18
Tamburlar	3x11	Alüminyum	33x5.1
Toplam Kütle			5226

Bu sonuca robotun yarım saatlik bir sürede ulaşacağı varsayılarak elde edildi. Bu çalışma süresinin belirlenmesinde robot pilinin değeri rol oynamaktadır.

Robotun 0.06 m/s hızına ulaşması için gerekli olan zaman 0.1 sn olarak seçildi. Böylelikle robotun hareket cevabının daha anlaşılır ölçüde belirgin olmasına çalışıldı. Hareketin daha uzun bir sürede gerçekleştirilmesi operatörün robotun engellendiği izlenimini uyandıracaktır.

Sonuç olarak robota etkiyen atalet kuvveti [F_{at}]:

$$F_{at} = m \times a = m \times \left(\frac{\Delta V}{\Delta t} \right) = 7.8 \text{ Kg} \times \left(\frac{0.06 \text{ m/s}}{0.1 \text{ s}} \right) \quad (2.2)$$

$$F_{at} = 4.68 \text{ N}$$

olmaktadır.

Buna göre robota etkiyen diğer kuvvetlerin ve mekanizmadaki kayıpların bulunması gerekmektedir.

A – Yer sürtünme kuvveti

Paletler ile zemin arasında sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Robot sürekli değişen koşullarda ilerleyeceği için kesin bir sürtünme katsayısının belirlenmesi mümkün değildir. Bu sebeple sürtünme katsayıları muhtemel en büyük değerde seçilerek karşılaşılabilecek en yüksek sürtünme değerinde dahi robotun işlevini yitirmemesi amaçlandı. Sürtünme katsayısı $\mu = 0.9$ olarak alındı. Bu durumda sürtünme kuvveti [F_s]:

$$F_s = \mu \times G = \mu \times m \times g = 0.9 \times 7.8 \text{Kg} \times 9.81 \text{m/s}^2 \quad (2.3)$$

$$F_s = 68.8 \text{ N}$$

olarak bulunur.

B – Gerekli yüzey tırmanma

Robotun eğimli bir yüzeye tırmanması durumunda robota ek kuvvetler etkiyecektir. Robotun maksimum 45° açı yapan bir yüzeyde ilerlemesi öngörüldü. Bu açı ayrıca robotun manevra mekanizmasının yapabileceği maksimum açı değeridir. 45° açı yapan yüzeyde robota etkileyen kuvvet aşağıdaki gibi hesaplandı [F_g] :

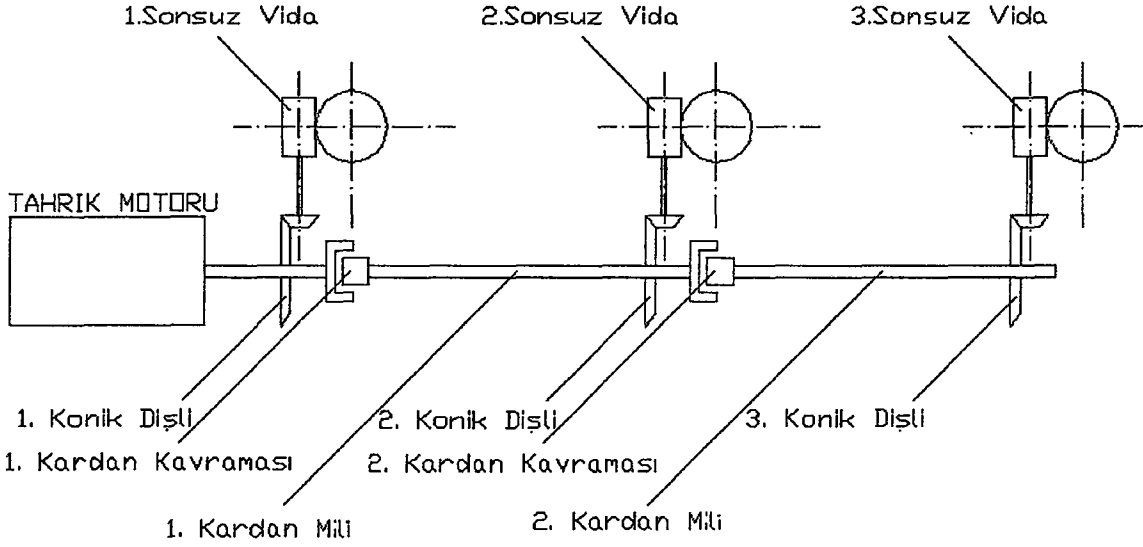
$$F_g = m \times g \times \text{Sin}(45) = 7.8 \text{Kg} \times 9.81 \text{m/s}^2 \times \text{Sin}(45) \quad (2.4)$$

$$F_g = 54.1 \text{ N}$$

C – Dişli – yatak sürtünme kuvvetleri

Dişlilerdeki ve yataklardaki sürtünmeler, motorların ve dişlilerin verimleri, kardan kavramalarındaki kayıplar robot tahrik motoruna daha fazla yük binmesine neden olacaktır. Tahrik motorundan kuvvet doğrudan robot hareketini sağlayan kardan miline aktarılmaktadır (Şekil 2.2).

Bu sistemdeki en verimsiz dişli sonsuz vida dişli çiftidir. Kardan milinden 90° konik dişli ile alınan hareket, sonsuz vida ile tamburlara dağıtılmaktadır. Robot elektronik donanımında 12 Volt kullanılmaktadır. Eğimli arazide robotu durdurabilmek için motor freni kullanılabilir. Motor frenleri 24 Volt ile çalışmaktadır bu sebeple sonsuz vidanın tasarımında otoblokaj şartının gerçekleştirilmesi düşünüldü. Frenleme gereksiniminin mekanik olarak çözülmesi, robot üzerindeki ağırlığı artırıcı ve yeri daraltıcı özelliğe sahip bir pilin kullanılması zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır.(K.L. Paap, M. Dehlwisch, B. Klassen 1996)



Şekil 2.2 Tek Tahrik Motoru İle Gerçekleştirilen Hareketin Dağılım Şeması

Bu sebeple sonsuz vidanın orta dairede helis eğim açısı $[\beta_0]$ ile sürtünme açısı $[\rho]$ arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde alındı :

$$\beta_0 \leq \rho \quad (2.5)$$

Bu tür sistemlerde verim $[\eta]$ denklemi aşağıdaki gibidir :

$$\eta = \frac{\tan(\beta_0 - \rho)}{\tan(\beta_0)} \quad (2.6)$$

Verimin maksimum olabilmesi için aşağıdaki eşitlikten yararlanılır :

$$\beta_0 = 45 - \rho/2 \quad (2.7)$$

Bu durumda dahi sonsuz vida dişlisinin verimi %60 kabul edildi. Diğer dişli çarkların verimleri, düşük bir değer olan %75 olarak kabul edildi. Yataklardaki sürtünme kayıpları, kardan kavramalarındaki kayıplar göz önüne alındığında toplam kayıp $[\varphi]$:

$$\varphi = \text{Sürtünme Kayıpları} \times \text{Dişli Kayıpları} \quad (2.8)$$

$$\varphi = 0.45$$

olarak alındı. Yukarıda hesaplanan bütün kuvvetlerin, hesaplamayı kolaylaştırmak için tek bir tahrik tamburuna etki ettiği düşünüldü. Bu durumda tahrik tamburunun sağlaması gereken moment:

$$M_t = (F_{at} + F_s + F_g) \times R_t \quad (2.9)$$

$$M_t = (4.68N + 68.8N + 54.1N) \times 0.0095 \text{ metre} \quad (2.10)$$

$$M_t = 1.21 \text{ Nm}$$

olmaktadır. Sistemin toplam verimi denkleme katıldığında gerekli motor mili momentini :

$$M_m = M_t \times \varphi^{-1} \quad (2.11)$$

$$M_m = 2.72 \text{ Nm}$$

olarak bulunur. Buradan, robotun çizgisel hızının 0.06 m/sn olması için tahrik tamburunun devir sayısı :

$$n_t = \frac{V_t \times 30}{\pi \times R_t} \quad (2.12)$$

$$n_t = \frac{0.06 \times 30}{\pi \times 0.0095} \quad (2.13)$$

$$n_t = 60.3 \text{ devir/dakika}$$

olmaktadır. Kullanılacak motorun yüksüz devir sayısı bu değerin çok üzerindedir. İstenilen kriterlerin uygunlaştırılması için motor torku değiştirilmeden devir sayısı kapalı çevrim ile kontrol edilecektir. Böylelikle DC servo motorun istenilen devirde çalıştırılması sağlanacaktır.

Hesaplanan moment değerinde robotu tahrik etmek için gereken motor gücü :

$$P_m = \frac{M_m \times n}{9550} \quad (2.14)$$

$$P_m = \frac{2.72 \text{ Nm} \times 60.3 \text{ devir / dakika}}{9550} \quad (2.15)$$

$$P_m = 12.36 \text{ watt}$$

olmaktadır. Standartlar arasında bu değere sahip bir DC servo motor bulunmamaktadır. Bu sebeple bu değerin üzerinde bir seçim yapılması söz konusudur. Bu nedenle aşağıdaki özelliklere sahip bir DC servo motorun seçimine gidildi (Çizelge 2.2).

Motor seçimi ile Çizelge 2.1 'de motorların ağırlığından kaynaklanan belirsizlikler giderildi. Böylelikle Çizelge 2.1 'in tamamlanmış hali Çizelge 2.3 'deki gibidir.

Sonuçta motorların eklenmesi ile ortaya çıkan ağırlık, hesaplamalarda kullanılan değer in altında olup seçilen motor uygundur.

Çizelge 2.2 Seçilen Motorun Kriterleri

Motorun Karakteristikleri	Değerler
Çalışma Gerilimi	6 – 12 Volt
Gerekli NiCd Pil Adedi	16
Maksimum Yük Çektiği Akım	26 Amper
Maksimum Verim	%77
Motorun Yüksüz Devri	10100 dev/ dak
Serbest Motor Mili Uzunluğu	24 mm
Motor Mili Çapı	5 mm
Ağırlığı	460 gr
İkincil Mil Uzunluğu	5 mm
İkincil Mil Çapı	5 mm

Çizelge 2.3 Robotun Toplam Kütlesi

Parça Adı	Adedi	Malzeme	Kütle [gr]
Tambur Yatağı	24x3	Alüminyum	72x2.6
Tahrik Tamburu	2x3	Ç1040	6x68
Palet	6x3	Plastik	18x28
Tahrik Motoru	1		1x460
Gövde	3	Alüminyum	3x200
Yönlendirme Motoru	2		2x460
Pil	5	NiCd	2x200
Ara Bağlantı Elemanları	6	Ç1040	6x185
Ana Motor Taşıyıcıları	2	Alüminyum	2x24
Kardan Milleri	4	Ç1040	4x26
Sonsuz Dişliler ve Milleri	3	Ç1040	3x40
Sonsuz Dişli Yatakları	3	Alüminyum	3x13.3
Tahrik ve Yönlendirme Dişlileri	10	Ç1040	10x64
Kameralar	2	-	2x52
Tambur Dişlileri	3x24	Ç1040	72x18
Tamburlar	3x11	Alüminyum	33x5.1
Toplam Kütle			6606

2.3.1 Kardan Millerinin Burulma Kontrolü

Robotun üç modülüne de hareket kardan milleri ile iletilir. Milin burulma mukavemet kontrolü, robotun işlevselliği açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle 60.3 devir/dakika ve motorun maksimum gücünde (20 watt için) burulma mukavemetleri kontrol edildi.

Mil çapı, yaklaşık olarak, emniyet katsayısı büyük seçilerek aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir (Bozacı, 1995) :

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times M_d}{\pi \times \tau_{em}}} \quad (2.16)$$

öyle ki;

$$\tau = \frac{M_{burulma} = M_{döndürme}}{W_b} \leq \tau_{emniyet} \quad (2.17)$$

olmalıdır. Bu durumda $\tau = \tau_{emniyet}$ alınarak ve burulma direnç momenti :

$$W_b = \frac{\pi \times d^3}{16} \quad (2.18)$$

olduğundan. Döndürme momenti :

$$M_d = 9550 \times \frac{P}{n} = 9550 \times \frac{0.02}{60.3} \quad (2.19)$$

$$M_d = 3.16 \text{ Nm} = 3167.49 \text{ Nmm}$$

bulunur. Seçilen malzeme için $\tau_{ak} = 320 \text{ N/mm}^2$ ve seçilen emniyet katsayısı $k = 4$ 'dür.

$$\tau_{em} = \frac{\tau_{ak}}{k} = \frac{320}{4} = 80 \text{ N/mm}^2 \quad (2.20)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times 3167.49}{\pi \times 80}} \quad (2.21)$$

$$d = 5.86 \text{ mm}$$

bulunur. Buradan mil çapı 6 mm olarak bulunur.

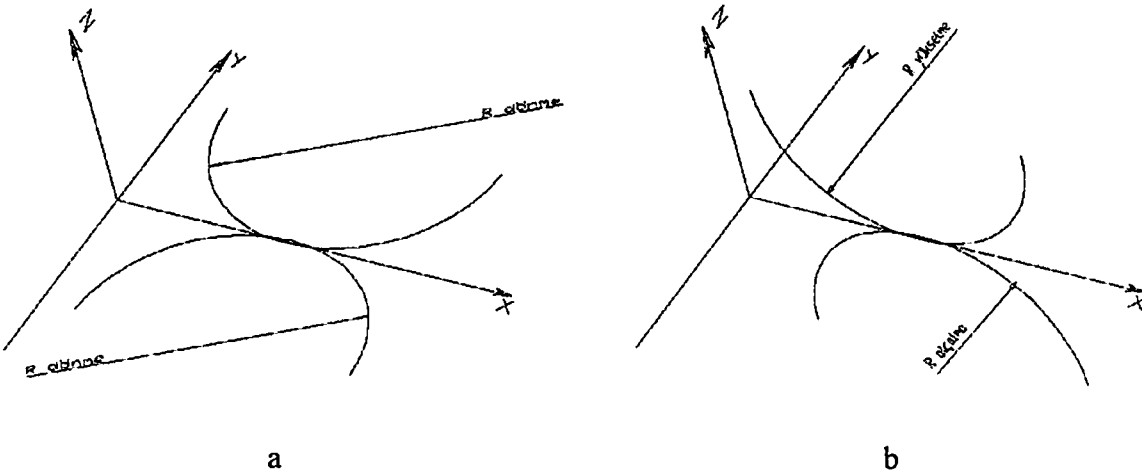
2.3.2 Kardan Çatallarının Tasarımı

Robotun ileri ve geri yönlerdeki hareketleri tahrik motoru tarafından gerçekleştirilmektedir. Tahrik motoru robotun yönüne göre en arkadaki ya da en öndeki bölümde bulunmaktadır. Hareket diğer iki bölüme kardan kavraması ile iletilmektedir. Sonuç olarak iki adet kardan kavraması kullanılmaktadır.

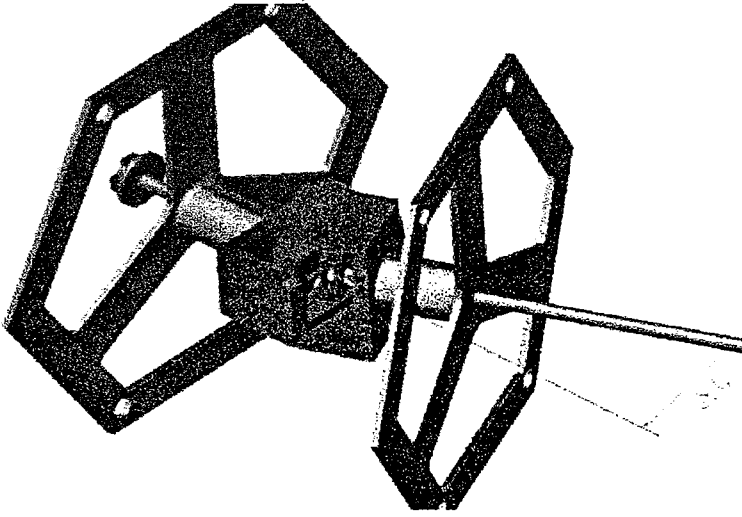
Robotun ileri ya da geri bir çizgi üzerinde ilerlemesi durumunda kardan milleri arasında açı bulunmamaktadır. Yönlendirme motorlarının çalışması ile üç modül, yarıçapı sonsuzdan giderek küçülen bir yay şeklini alır. Yay x – y düzleminde olabileceği gibi z – x düzleminde de oluşturulabilir (Şekil 2.3).

Böylelikle robotun sağa – sola dönmesi gerçekleştirilmiş olup, ayrıca robot bu manevra ile engellere tırmanabilir ya da güvenli bir şekilde engellerden inebilir.

Robotun bu manevraları da paletler, dolayısıyla kardan milince sağlanır. Bu sebeple robota bir yönde maksimum 22.5° hareket serbestliği uygundu (Şekil 2.4).



Şekil 2.3 a) Sağa ve Sola Dönüş b) Tırmanma ve inme



Şekil 2.4 22.5° Açılı Pozisyonda Kavramanın Görünüşü

Bunun sebebi, kardan kavramasında hızın sabit kalmamasıdır. Kardan kavramasının Konum – Hız denkleminde :

$$\tan \theta = \frac{a}{x} \quad (2.22)$$

$$(x + y) \times \cos \alpha = x \quad (2.23)$$

$$\tan \Psi = \frac{a}{x + y} \quad (2.24)$$

$$\frac{\tan \theta}{\tan \Psi} = \frac{x + y}{x} = \frac{1}{\cos \alpha} \quad (2.25)$$

$$\tan(\theta) \times \cos(\alpha) = \tan(\Psi) \quad (2.26)$$

$$\frac{d\theta}{dt} (1 + \tan^2 \theta) \times (\cos \alpha) = \frac{d\Psi}{dt} (1 + \tan^2 \Psi) \quad (2.27)$$

bu denklemde $\frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta} = \omega$ ve $\frac{d\Psi}{dt} = \dot{\Psi} = v$

yerlerine yazılırsa ;

$$\frac{\dot{\theta}}{\dot{\Psi}} = \frac{1 + \tan^2 \Psi}{\cos(\alpha) + (1 + \tan^2 \theta)} \quad (2.28)$$

$$\frac{\dot{\theta}}{\dot{\Psi}} = \frac{1 - \sin^2(\alpha) \times \sin^2(\theta)}{\cos(\alpha)} = \frac{M_{II}}{M_I \times \eta} \quad (2.29)$$

elde edilir. Bu denklemde “ η ” verim olup sistemin ivme denklemi :

$$\ddot{\Psi} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin^2(\alpha) \times \sin^2(\theta)} \ddot{\theta} - \frac{\sin^2(\alpha) \times \cos(\alpha) \times \sin(2\theta)}{(1 - \sin^2(\alpha) \times \sin^2(\theta))^2} \dot{\theta} \quad (2.30)$$

Kardan kavramalarının simetri eksenleri arasındaki açı maksimum 25° olmalıdır. Bu sınır koşulundan ötürü robotun yapacağı maksimum manevra açısı 22.5° olabilir. Böylelikle robot manevra sırasında da ilerleme işlevini yerine getirebilecektir.



3 YÖNLENDİRME MEKANİZMASI

3.1 Orta Bölme Yerleşimi

Yönlendirme mekanizması robotun orta bölümüne yerleştirildi. Orta bölümün uygun görülmesinin sebebi, bu bölümün diğer robot bölümlerinden daha ağır olmasının gerekliliğidir. Orta bölümün daha ağır olması, robot parçalarının bu kısma yerleştirilmesi ile sağlandı. Orta bölüme yerleştirilecek parçalar şunlardır :

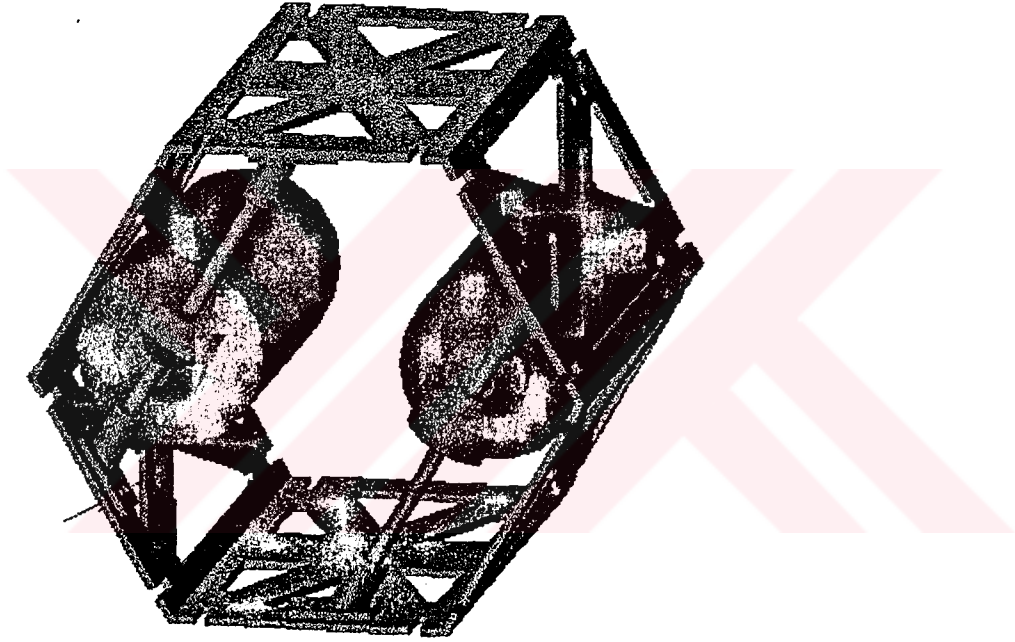
- Robot Pilleri
- Yönlendirme Mekanizması DC Servo Motorları
- Yönlendirme Mekanizması Halat Sarma – Boşaltma Tamburları
- Mikro – Kontrolör
- Uzaktan Kumanda Alıcısı
- Uzaktan Kumanda Vericisi
- Robot Yer Bildirme Vericisi

Hareket iki DC servo motorla yönlendirme mekanizmasını iletildi. DC servo motorlardan biri x – y düzleminde hareketi sağlarken, diğeri x – z düzleminde robotun hareket etmesini sağlar. Motorlar 90° konik dişli ile halat sarma – boşaltma tamburlarına hareket iletirler.

Orta bölümün ağırlığının arttırılması ile aşağıdaki yararlar hedeflendi :

- Yönlendirmede çalışan, x – z düzlemine kumanda eden motora daha az kuvvet etki etmesi.
- X – y düzleminde yapılan manevralarda (tırmanma ve inme) robotun birinci ve üçüncü bölümlerinin dönmesinin sağlanması.
- Robotun engelleri tırmanırken ya da engellerden inerken daha kararlı bir yapı sergilemesi.
- Manevralarda, robota kumanda edecek kullanıcı için kolaylık sağlanması.

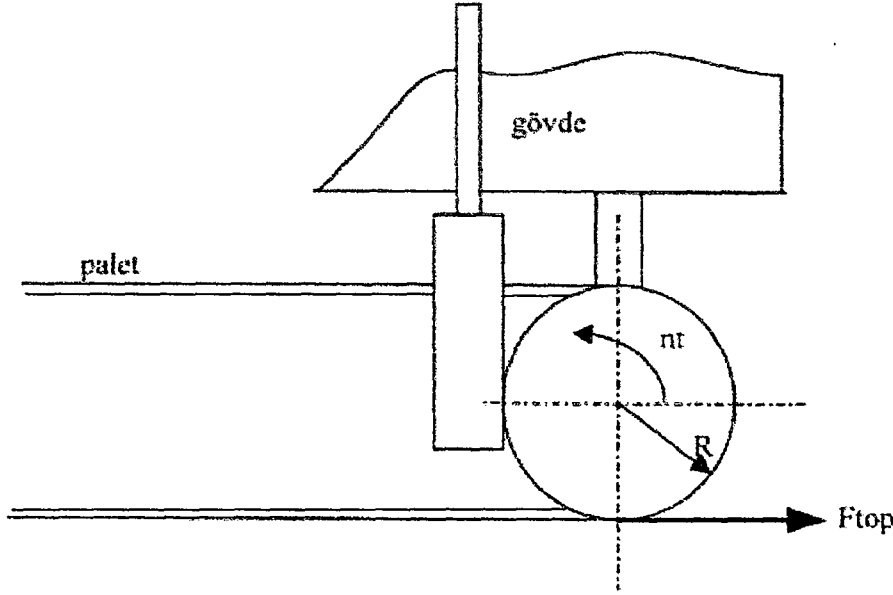
Böylelikle yönlendirme motorları daha az enerji sarfiyatı ile robotun manevralarını gerçekleştirebileceklerdir. Robotun eksenine göre simetrik yük dağılımı göz önüne alındı. Bunun sebebi, robot düz zeminde ilerlerken, herhangi bir dış etki olmaksızın devrilmesini engellemektir. Aynı yük dağılımı, robot boyuna elemanlarının yerleşiminin orta bölüme göre simetrik olması için de gereklidir. Robotun tırmanma ve inme durumlarında öndeki ya da arkadaki bölümün diğer bölümlerle eşit ağırlıkta ya da daha ağır olması istenmeyen bir durumdur. Bu olumsuzluk ile imal edilmiş bir robot inmesi istenmeyen bir eğimde çalışmayı güçleştirir ve kullanıcının manevra ihtimallerini daraltır. Sonuç olarak yönlendirme mekanizmasının tasarımı Şekil 3.1 'deki gibi düşünüldü.



Şekil 3.1 Yönlendirme Mekanizmasının Görünüşü

Halatlar birinci ve üçüncü bölümlere bağlandı. Halatların sarılı olduğu tambura hareket konik dişli ile yönlendirme motorlarından iletildi. Tamburlar, motorların dönüş yönüne göre halatları sarma ve boşaltma işlemini yerine getirmektedirler. Böylece robot, istenilen bölgede, "R" yarı çaplı bir yay geometrisini alarak manevra yapabilmektedir. Tırmanma koşullarında, orta bölme, ön ve arka bölmelerin hafif ve aynı zamanda dengeli yüklenmiş olması, orta bölmenin ağır olması sebepleri ile zeminde kalmaktadır. Robot bu şekilde ilerlemesine devam edebilecek şekilde tasarlandı. Bu geometride ilerlemesi, robotun yüksek engellere tırmanabilmesini sağlar. Robot, ön bölmesindeki paletlerden biri tırmanacağı zemine yerleştirdiği zaman, o zemine tırmanabilmesi için gerekli sürtünmeyi sağlayabilmektedir

(Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Sürtünme Kuvvetinin Hesaplanması

Kullanılan halatlar, robot gövdesi üzerine uygun şekilde yataklanan makaralar sayesinde sarma ve boşalma işlevlerini yerine getirmeleri düşünüldü.

3.2 Yönlendirme Mekanizması İçin Gerekli Motor Gücünün Hesabı

Yönlendirme mekanizması için gerekli motor gücünün hesaplanabilmesi için, bu mekanizmaya etkiyen kuvvetlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma yapılırken, mekanizmaya gelebilecek en büyük kuvvetlerin yol açacağı manevralar incelendi. Bu durumda, ön ve arka bölmelerin ya da orta bölmenin kaldırıldığı $x - z$ düzleminde tanımlanabilen tırmanma ve inme manevraları öncelikli incelenmeye alındı. $X - y$ düzleminde yapılan manevralar sırasında sürtünme kuvvetlerinden doğacak olan kuvvetlerin kontrolüne gidilmesi, robotun hareketleri sırasında beklenmedik koşulların da göz önünde bulundurulması açısından önemlidir.

Manevra sırasında ön ve arka bölmeler, bağlantı elemanlarının eksenleri etrafında dönerek robotun manevrasını gerçekleştirmektedirler.

Ön ve arka bölmelerin düşeyde yaptıkları hareket sırasında ortaya çıkan kuvvetler; bu bölmelerin atalet kuvvetleri ve bölmelerin ağırlığından kaynaklanan kuvvetler olmaktadır. Bu nedenle, ön ve arka bölmelerin ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir (Çizelge 3.1).

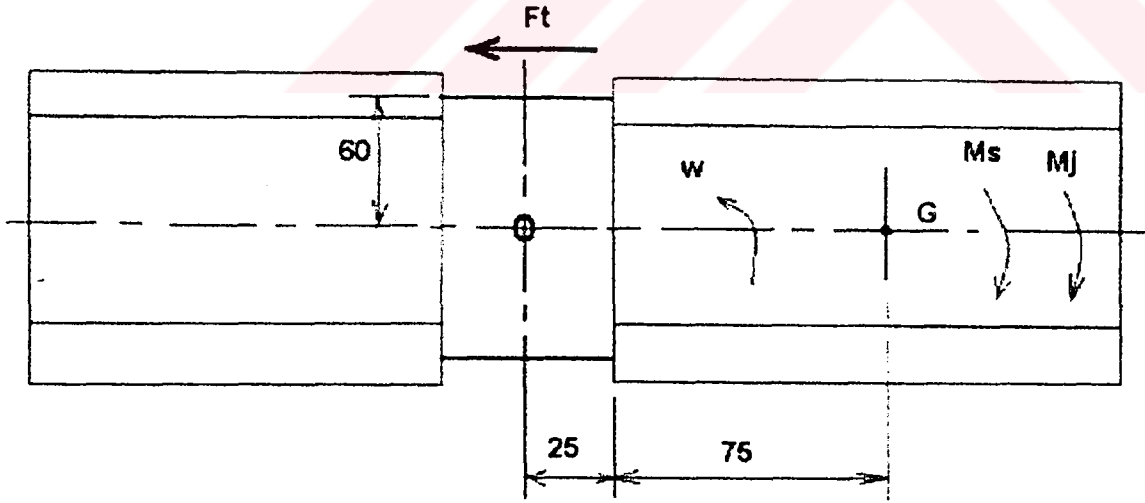
Çizelge 3.1 Ön (Arka) Bölmenin Kütlesinin Hesaplanması

Bölmeye ait Eleman sayısı	Malzemesi	Eleman Kütlesi (gr)
Gövde	Alüminyum	200
Ara Bağlantı Elemanı	Ç1040	2x185
Tambur Dişlisi	Ç1040	24x18
Tahrik Tamburu	Alüminyum	12x5.4
Palet	Plastik	6x28
Kardan Mili	Ç1040	26
Sonsuz Dişli Yatağı	Alüminyum	13.3
Sonsuz Dişli ve Mili	Ç1040	40
Tahrik ve Yönlendirme Dişlisi	Ç1040	2x64
Tambur Yatağı	Alüminyum	24x2.6
Kamera		50
Toplam Kütle		2280

Yönlendirme yapacak motor hem ön hem de arka bölgeyi tahrik etmektedir. Gerekli gücün hesaplanmasında iki bölme için de hesapların yürütülmesi gerekmektedir.

3.2.1 Y Düzleminde Manevra

X – y düzleminde oluşan kuvvetler Şekil 3.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : X – Y Düzleminde Oluşan Kuvvetler

Sürtünme momenti :

$$M_s = \mu \times G \times l = 0.9 \times 2.28 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.1 \text{ m} \quad (3.1)$$

$$M_s = 2.01 \text{ Nm}$$

olarak bulunur. Sürtünme momenti hesaplanırken sürtünme katsayısı $\mu = 0.9$ kabul edildi.

Atalet momentlerinden kaynaklanacak kuvvetlerin belirlenmesi için arka bölmenin dönerken oluşturacağı açısal hız ve açısal ivme değerlerinin belirlenmesi yoluna gidildi. Arka bölmenin simetri eksenini ile orta bölmenin simetri eksenini arasındaki açı saat akrebinin + ve - yönünde 20° olduğu hesaplandı. Hareketini 1 saniyede tamamlaması öngörüldü. Böylelikle hareketin açısal hızı :

$$\omega = \frac{20 \times \pi}{180} \times \frac{1}{1} = 0.35 \text{ radyan / saniye} \quad (3.2)$$

olmaktadır. Hareket kontrolünün kolay olabilmesi amacı ile belirlenen hıza 0.1 saniyede çıkılması uygun görüldü. Böylelikle açısal ivme :

$$\alpha = \frac{0.35 \text{ rad / sn}}{0.1 \text{ sn}} = 3.5 \text{ m / s}^2 \quad (3.3)$$

olmaktadır. Bu durumda kütleli atalet momenti :

$$J = m \times l^2 = 2.28 \text{ kg} \times (0.1 \text{ m})^2 = 0.0228 \text{ kg.m}^2 \quad (3.4)$$

olmaktadır. Bulunan bu değer ile atalet momenti :

$$M_J = J \times \alpha = 0.0228 \text{ kg.m}^2 \times 3.5 \text{ rad/sn}^2 = 0.0798 \text{ Nm} \quad (3.5)$$

olmaktadır. Yatayda hareket için gereken toplam moment :

$$M_t = M_s + M_J \quad (3.6)$$

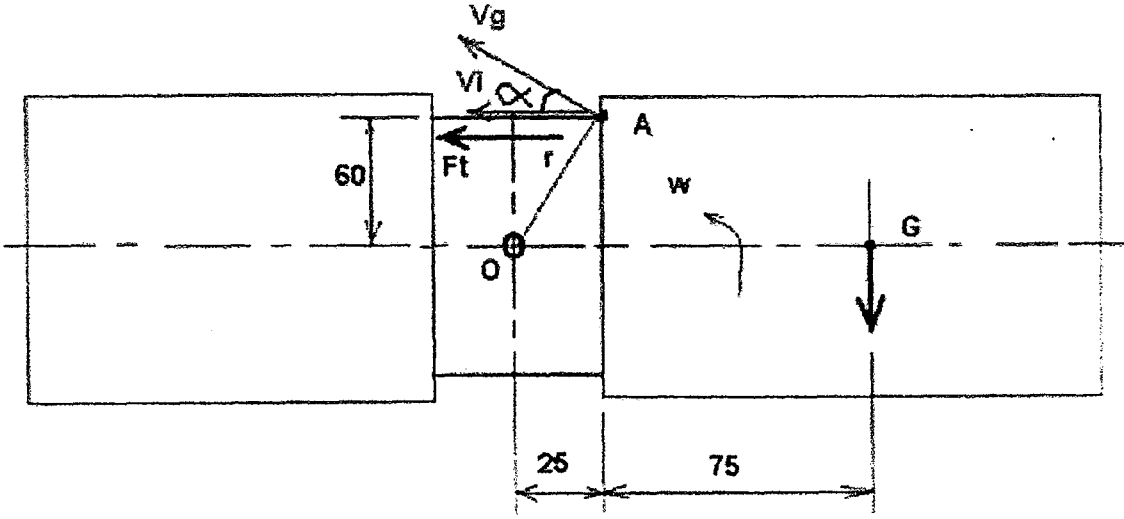
$$M_t = 2.01 \text{ Nm} + 0.0798 \text{ Nm} \quad (3.7)$$

$$M_t = 2.0898 \text{ Nm}$$

olmaktadır.

3.2.2 X – Z Düzleminde Manevra

X – z düzleminde oluşan kuvvetler Şekil 3.4 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 X – Z Düzleminde Oluşan Kuvvetler

X – z düzleminde hareket gerçekleştirilirken atalet kuvvetleri ve bölümlerin ağırlıklarından dolayı oluşacak kuvvetler yönlendirme motoruna etkimektedir. Ağırlıktan oluşacak momentler aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$M_G = G \times l = 2.28 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.1 \text{ m} \quad (3.8)$$

$$M_G = 2.23 \text{ Nm}$$

X – z düzleminde de x – y düzleminde geçerli olan açısal hız ve ivmelerin geçerliliği uygun görüldü. Böylelikle atalet momenti değişmemektedir. Sonuç olarak x – z düzleminde manevrayı gerçekleştirebilmek için gereken toplam moment :

$$M_t = M_G + M_J \quad (3.9)$$

$$M_t = 2.23 \text{ Nm} + 0.0798 \text{ Nm} \quad (3.10)$$

$$M_t = 2.3098 \text{ Nm}$$

olarak bulunur. Daha önce de belirlendiği üzere en yüksek moment değeri x – z düzlemindeki manevra sırasında ortaya çıkmaktadır. Yönlendirme mekanizması için gerekli motor gücü belirlenirken bu değer göz önüne alındı.

Bu momentin oluşturulabilmesi için yönlendirme mekanizmasının tamburuna sarılan halatın uygulaması gereken kuvvet (Şekil 3.4) :

$$F_t = \frac{M_t}{L} = \frac{2.3098Nm}{0.06m} \quad (3.11)$$

$$F_t = 38.496 \text{ N}$$

olarak bulunur. Merkezin "O" noktası olma durumunda "A" noktasının çizgisel hızı :

$$V_a = \omega \times r \quad (3.12)$$

olmaktadır.

$$r = \sqrt{25^2 + 60^2} = 65mm \quad (3.13)$$

olmak üzere;

$$V_a = 0.35 \text{ rad/sn} \times 0.065 \text{ m} \quad (3.14)$$

$$V_a = 0.0228 \text{ m/sn}$$

olmaktadır. Bu hızı sağlayabilecek halatın hızı :

$$V_h = V_a \times \text{Cos}(\alpha) \quad (3.15)$$

$$V_h = 0.0228 \text{ m/s} \times \text{Cos}(22.6) \quad (3.16)$$

$$V_h = 0.021 \text{ m/s}$$

olmalıdır. Halatın bu hızda hareket edebilmesi için sarıldığı yönlendirme tamburunun devir sayısı (Tamburun yarı çapının 2.5 mm) :

$$n_t = \frac{V_h \times 30}{\pi \times R_{tambur}} \quad (3.17)$$

$$n_t = \frac{0.021m/s \times 30}{\pi \times 0.0025m} \quad (3.18)$$

$$n_t = 80.2 \text{ devir / dakika}$$

olmalıdır. Yönlendirme tamburundaki moment :

$$M_d = F_t \times R_t = 38.5 \text{ N} \times 0.025 \text{ m} = 0.12 \text{ Nm} \quad (3.19)$$

$$M_{motor} = M_d \times \frac{1}{\eta} = 0.12 \times \frac{1}{0.45} = 0.061 \text{ Nm} \quad (3.20)$$

olmaktadır. Bulunan bu değerle gerekli motor gücü :

$$P_m = \frac{M_m \times n_m}{9550} \quad (3.21)$$

$$P_m = \frac{0.061 Nm \times 80.2 dev/dak}{9550} \quad (3.22)$$

$$P_m = 2.3 \text{ watt}$$

Bulunan değer sadece bir bölmenin hareket ettirilebilmesi için gerekli olan güçtür. Bu değer in iki katını alarak iki bölmenin hareketi için gerekli güç bulunur. Gerekli toplam güç $P_m = 4.6$ watt'tır.

Görüldüğü üzere daha önce tahrik motoru olarak seçilen motor gücü yeterlidir. Aynı motorun yönlendirme motoru olarak kullanılabilmesi uygundur.



4 ROBOT KONUMUNUN BELİRLENMESİ

4.1 Giriş

Bu bölümde böcek robotun çalıştığı alanda konumunun belirlenmesi için düşünülmüş yöntem ve hesaplamaları bulunmaktadır. Operasyon sırasında, böcek robotu kumanda eden kişi, robot ile görsel temas kuramamaktadır. Robot, belirli bir miktar enkaz dışında ilerledikten sonra araştırmayı gerçekleştireceği, daha önceden saptanmış bölgeye doğru yönlendirilecektir. Bu andan itibaren robot, üzerinde taşıdığı iki kızıl ötesi ışığa duyarlı kamera sayesinde kullanıcıya bilgi göndermektedir. Kullanıcı gelen bilgileri değerlendirerek, robotun ne türlü engellerle karşılaştığını algılamakta ve robota bir sonraki hareketinin kumandasını vermektedir. Fakat, robotun üzerinde bulunan kameralara rağmen robotun konumunu belirlemek imkansızdır. Özellikle robot, belirsiz açılarda gerçekleşebilecek devrilmeler düşünülerek imal edilmiştir. Bu türlü istem dışı hareketlerden sonra robotun enkaz altındaki konumu belirsizlik kazanır. Kullanıcının geldiği yerleri geri dönüşte tanımama ihtimali de her zaman bulunmayabilir. Ayrıca, ortam sürekli değişken kabul edilirse, VCR yardımı ile ilerleme sırasında kaydı tutulan verilerin dönüş sırasında geçerliliğini kaybetmesi ihtimal dahilindedir.

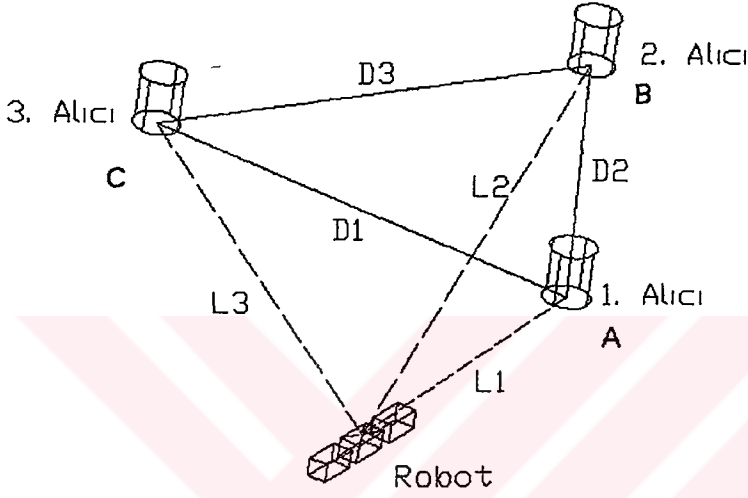
Bu gibi olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacı ile robot üzerine Radyo Frekansında (RF) yayın yapan verici yerleştirilmiştir. Verici her saniyede 1 sinyal üretecek şekilde tasarlanmıştır. Vericinin yaymış olduğu sinyal, robot enkaz altına gönderilmeden araştırma yapılacak bölgeye yerleştirilmiş alıcılar tarafından alınması düşünüldü.

4.2 Konum Belirleme

Robotun enkaz altındaki konumunu belirlemek amacı ile üç adet alıcı kullanılması düşünüldü. Uzayda bir düzlem oluşturulabilmesi için en az 3 adet noktanın bulunması gerekir. Noktalar bir üçgen oluşturacak şekilde yerleştirilirler. Noktalardan biri referans nokta olarak seçilir. Referans noktanın x – ekseninde, y – ekseninde, z – eksenindeki değerlerinin sırası ile (0 , 0 , 0) olduğu kabulü yapılır. Diğer iki nokta ile referans nokta arasındaki dik uzaklığın bilinmesi gerekmektedir. Noktalar arası dik uzaklığın alınmasının sebebi, bütün noktaların aynı düzlemde olduğu kabulü ile bağdaşır (Şekil 4.1).

Şekilde görülen “D_n” sembolleri dik uzaklıkları ifade etmektedir. “B” noktasının koordinat değerlerinin (m , 0 , 0) olması, noktanın bulunduğu eksenin x – ekseni olarak kabul edildiği

anlamına gelir. “R” noktası robotun bulunduğu konumu belirler ve koordinatları (x , y , z) olarak ifade edildi. Bu koordinat değerleri bulunacak olursa robotun enkaz altındaki derinliği ve referans nokrasına göre konumu belirlenir. İki ölçüm arasındaki fark robotun yön vektörünü ve hızını belirlemektedir. Şekilde görülen “L_n” sembolleri ile ifade edilen uzunluklar, algılayıcılardan gelen tetikleme sinyaline göre bilgisayarın hesapladığı mesafelerdir.



Şekil 4.1 Alıcıların Yerleşme Planı

Bilgisayar mesafeleri saat fonksiyonuna bağlı olarak hesaplar. Robot üzerinde de bir saat bulunmaktadır ve bu saat, bilgisayarın saati ile senkron çalışmaktadır. Bu sebeple bilgisayar robottan her saniyede 1 adet sinyal bekler. Bilgisayarın hassasiyeti 1/1000 saniyedir. Bilgisayar saniyede 1000 adet kontrolü gerçekleştirebilir. Böylelikle alıcılara sinyalin ulaşmasındaki zaman radyo frekanslarının havadaki yayılma hızı (~300Km/sn) ile çarpıldığında bize L₁ , L₂ , L₃ mesafelerini vermektedir. Yaklaşık 100 MHz frekansında yayın yapıldığı düşünülürse karşılaşılabilecek sapma 3 mm olacaktır.

Bilinen L₁ , L₂ , L₃ mesafeleri ve yerleştirilen alıcıların koordinatlarından robotun bulunduğu konumdaki (x , y , z) koordinatlarını bulmak mümkündür.

L₁ , L₂ , L₃ mesafelerinin ifadeleri :

$$L_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (4.1)$$

$$L_2 = \sqrt{(x - m)^2 + y^2 + z^2} \quad (4.2)$$

$$L_3 = \sqrt{(x-k)^2 + (y-q)^2 + z^2} \quad (4.3)$$

Şeklinde olup denklemler düzenlenirse :

$$L_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (4.4)$$

$$L_2^2 = (x-m)^2 + y^2 + z^2 \quad (4.5)$$

$$L_3^2 = (x-k)^2 + (y-q)^2 + z^2 \quad (4.6)$$

olarak ifade edilirler. Buradan x değişkeninin hesabına geçilebilir.

$$L_2^2 = x^2 - 2mx + m^2 + y^2 + z^2 \quad (4.7)$$

$$L_2^2 = -2mx + m^2 + x^2 + y^2 + z^2 \quad (4.8)$$

$$L_2^2 = -2mx + m^2 + L_1^2 \quad (4.9)$$

Bu denklemde x yalnız bırakılırsa :

$$x = \frac{L_2^2 - L_1^2 - m^2}{-2m} \quad (4.10)$$

olarak bulunur. Y koordinatının hesaplanması için :

$$L_3^2 - L_2^2 = (x-k)^2 + (y-q)^2 + z^2 - (x-m)^2 - y^2 - z^2 \quad (4.11)$$

$$L_3^2 - L_2^2 = x^2 - 2kx + k^2 + y^2 - 2qy + q^2 + z^2 - x^2 + 2mx - m^2 - y^2 - z^2 \quad (4.12)$$

$$L_3^2 - L_2^2 = -2kx + k^2 - 2qy + q^2 + 2mx - m^2 \quad (4.13)$$

$$L_3^2 - L_2^2 = 2x(m-k) + k^2 + q^2 - m^2 - 2qy \quad (4.14)$$

$$L_3^2 - L_2^2 = \frac{-L_2^2 + L_1^2 + m^2}{m} (m-k) + k^2 + q^2 - m^2 - 2qy \quad (4.15)$$

Bu denklemde gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra y değişkeni eşitliğin bir tarafında yalnız bırakılırsa :

$$y = \frac{m(L_3^2 - L_2^2) + (m-k)(-L_2^2 + L_1^2 + m^2) + m(k^2 + q^2 + m^2)}{2mq} \quad (4.16)$$

olarak bulunur. Hesaplanan x ve y değişkenleri ;

$$L_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 \quad (4.17)$$

denkleminde yerine konulduğunda z değişkeni de hesaplanmaktadır. Böylelikle robotun bulunduğu konumun (x , y , z) koordinatları bulunmuş olmaktadır. Bilgisayar bu işlemleri çok hızlı gerçekleştireceği için robota kumanda eden, robotun konumunu kesintisiz gözlemlene imkanına sahip olmaktadır. Konum bilgileri ile beraber yön vektörü ve hız bilgileri de kullanıcıya iletilmektedir. Böylelikle kullanıcı, robot manevra için yay geometrisine girmesi durumunda dahi, kameradan anlaşılması mümkün olmayan verilere sahip olabilecektir.

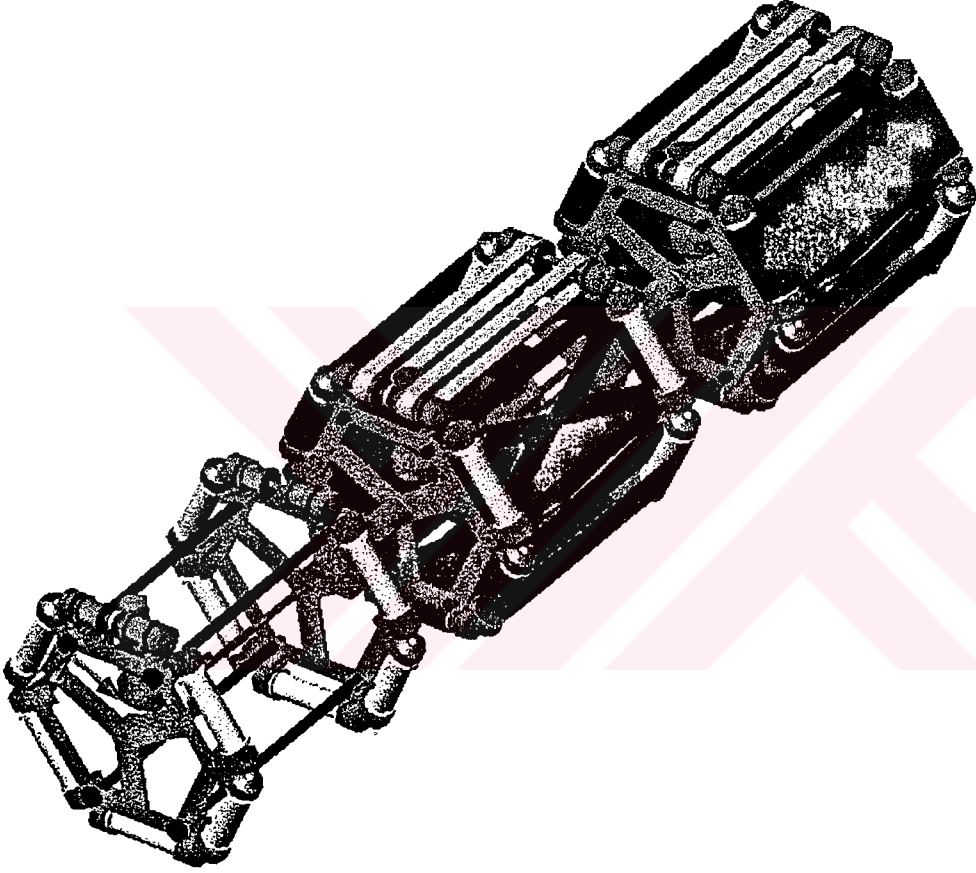


5 DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1 Giriş

Bu bölümde, böcek robotun imalatı yapılmış parçalarının montajı ve modelin çalışması incelenecektir. Bu sebeple önce böcek robotu oluşturan parçaları tanımak gerekmektedir.

Robotun genel görünümü Şekil 5.1 'deki gibidir.



Şekil 5.1 Böcek Robotun Genel Görünümü

Robot üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm ile üçüncü bölüm içerik olarak aynı parçaları taşırlar. Fakat, üçüncü bölümde tahrik motoru bulunmaktadır. Motorun ağırlığını dengeleyebilmek için birinci bölüme pil yerleştirildi.

5.2 Mekanik Yapı

Motorlar, pil, kameralar ve benzeri parçalar imal edilebilecek elemanlar değildir. Bu sebeple dış ölçüleri değiştirilemez. Robotun diğer parçalarının dış ölçüleri, boyutları değiştirilemeyen

parçalara göre belirlendi.

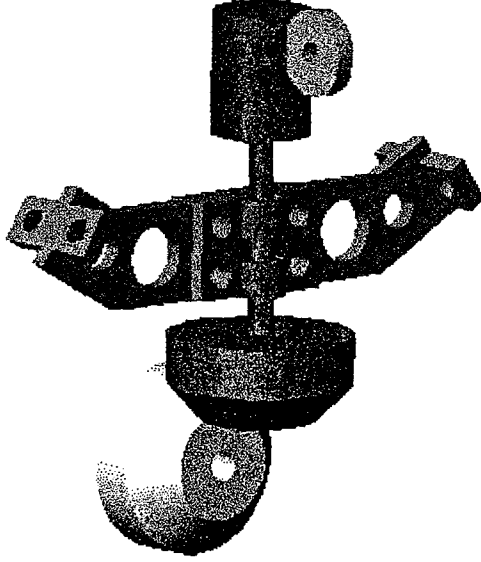
Robotun parçalarının dış yüzeyden başlanarak tanıtılması yapılırsa öncelikle robotun paletleri ve onları robota bağlayan tamburları ele alınmalıdır. Paletler standart ölçülerde imal edilmiş triger kayışlarından oluşmaktadır. İki çeşit palet bulunmaktadır. Birinci tip paletler 55 mm genişliğe sahip olan paletlerdir. Bunlar robotun 15 yüzeyini kaplarlar. İkinci tip paletler 20 mm genişliğe sahiptirler ve robotun sadece 3 yüzeyinde bulunurlar. 20 mm genişliğe sahip paletler ayrıca tahrik paletleri olarak adlandırılırlar. Altı yüzeyde bulunan paletlerden sadece tahrik paletlerine güç aktarılır. Dişliler ile kuvvet diğer paletlere dağıtılır. Böylelikle yüzeydeki bütün paletlere hareket iletilmiş olmaktadır.

Paletleri taşıyan tamburlar gövde üzerine yataklanmıştır. Bu yataklar alüminyum malzemeden imal edildi (Şekil 5.2). Gövde üzerine geçmesi planlanan yataklar paletlerin değiştirilmesi sırasında kolayca çıkabilecek şekilde tasarlandı. Yatakları gövde kapakları ile sabitlenmiştir.



Şekil 5.2 Tambur Yatağı

Tahrik paletlerine hareket tahrik tamburunun üzerine yerleştirilen sonsuz vida mekanizması ile aktarılır. Sonsuz vida robot gövdesi üzerine monte edilen kaymalı yatak ile yataklanmaktadır. Sonsuz vidanın mili diğer taraftan 90° konik dişli ile hareketi kardan milinden almaktadır (Şekil 5.3).

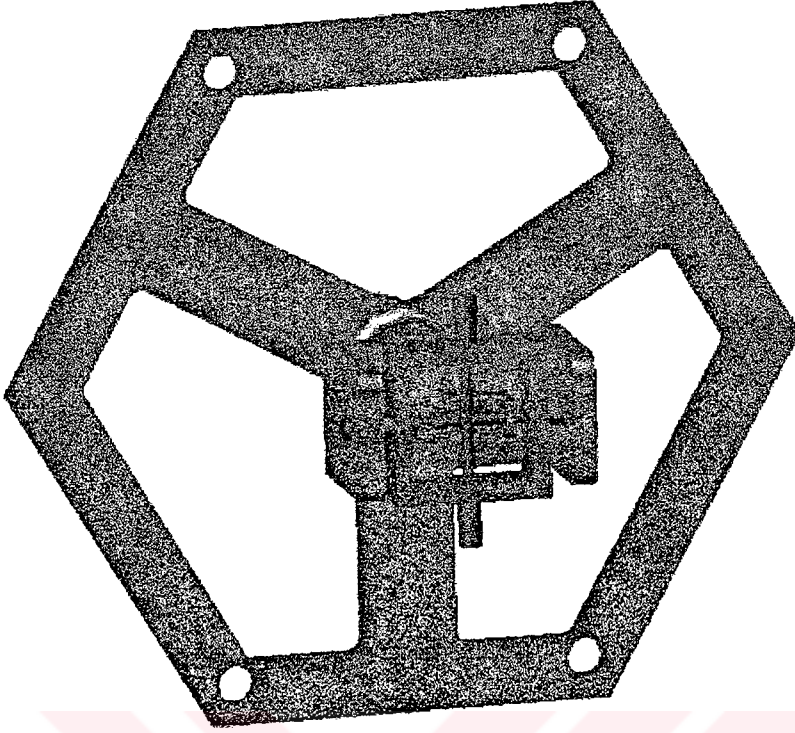


Şekil 5.3 Sonsuz Vida Yatağı ve 90° Konik Dişli Yerleşimi

Yatağın boyutlandırılması iki kritere göre yapılmıştır. Birinci kriter yatağa gelecek kuvvetlerdir. Seçilen malzeme Alüminyum 6351'dir. Bu malzemenin mukavemet değerleri göz önüne alınarak emniyet katsayısı $k=8$ olacak şekilde boyutlar belirlenmiştir. Diğer bir kriter ise devir sayısına bağlı olan titreşimlerdir.

Sonsuz vida mekanizmasına tahrik kardan milinden aktarılmaktadır. Kardan mili bir kaplin ile tahrik motoruna bağlıdır. Böcek robotta üç adet kardan mili bulunmaktadır. Her bölümde bir adet kardan mili yer almaktadır. Her bölümdeki kardan mili, o bölümdeki sonsuz vida mekanizmasına hareketi iletmektedir.

Bölümler arası bağlantıda iki kardan kavraması eş eksenli ve iç içe çalışmaktadır (Şekil 5.4). Dıştaki kardan kavraması, böcek robotun bölümlerini birbirine bağlamakta ve hareket esnekliği sağlamaktadır. İçteki kardan kavraması hareketin bir bölümden diğerine iletilmesi görevini yerine getirir. Bu çözüm ile, böcek robotun tek tahrik motoru ile ileri ve geri hareketinin sağlanmasını mümkün olmaktadır. Böylelikle her bölüm için farklı bir DC servo motor kullanımı giderilmiş oldu ve bu konfigrasyonun getireceği ek kontrol ve enerji bulma problemlerinden uzaklaşmıştır. Robotun çalışma süresi, aynı pil ile, 3 katından daha fazla olacak şekilde uzatılmıştır.



Şekil 5.4 İç İçe Yerleştirilmiş Eş Eksenli Kardan Kavramaları

Şekil 5.4 'de böcek robot kapağının görünümü bulunmaktadır. Bu kapaklar tambur yataklarını gövde üzerine sabitlemekte ve kardan millerine yatak görevi yapmaktadır. Kapağın üzerine açılmış 4 adet delik ile merkezleme görevi yapılmaktadır. Bu delikler her kapak üzerinde simetrik olarak bulunmaktadır. Bu deliklerden geçecek M4 vida gövdeyi boydan boya geçmekte ve gövdenin diğer tarafındaki kapağın karşılık delikleri ile buluşmaktadır. M4 vidanın iki ucuna somun monte edilir ve sıkılır. Böylelikle kapak gövde üzerine eksenlenerek monte edilmiş olmaktadır. Yapı, Şekil 5.1 'de siyah renkle gösterilmiştir.

5.3 Elektronik Donanım

Böcek robot üzerinde, mekanik kısmın çalışmalarını düzenleyecek ve kontrol edecek elektronik elemanlar bulunmaktadır. Bu elemanlar üç grupta incelenebilir.

- Sürücü Devreler
- Kontrol Devreleri
- Haberleşme Devreleri

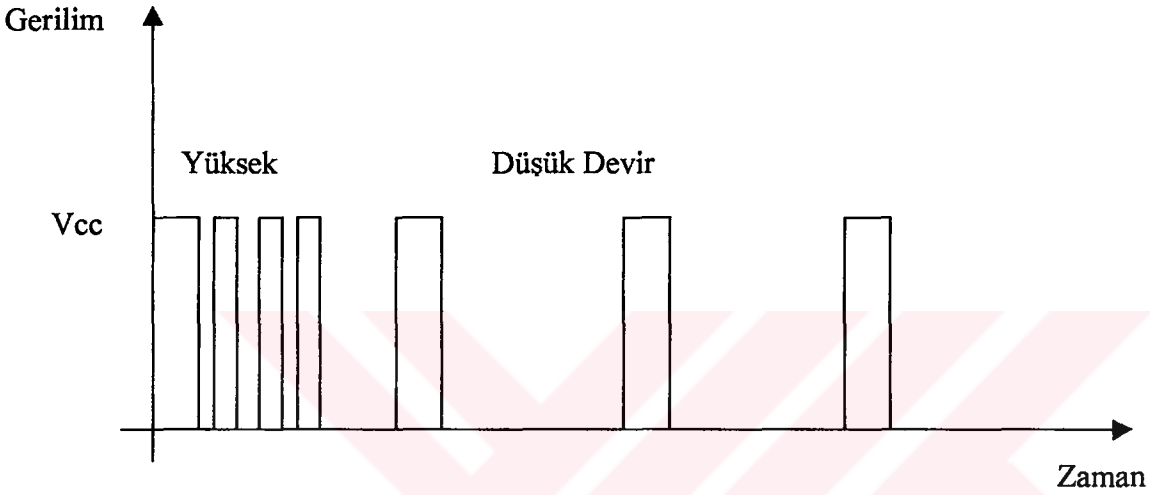
Sürücü devreler; robot motorlarının dönüş yönünü, dönüş hızını motorlara ileten devrelerdir. Hız, yön bilgilerini mikro-işlemciden alırlar. Mikro-işlemci 8312 seçilmiştir. TTL standartlarında seçilen bu işlemci kendi üzerinde, çevre elemanlar ile haberleşme portları taşıması açısından bu proje için uygun görülmüştür. Bu portlar yardımı ile sürücü devrelerine, arada başka elemanlara ihtiyaç duyulmadan veri aktarabilmek mümkün olmaktadır. Aynı şekilde, yapılan geri beslemelerde de arada hiçbir dönüştürücü olmadan, mekanik sistem üzerinden okunan değerler doğrudan işlemciye iletebilmektedir. Ek komponentlere ihtiyaç duyulmayan bu işlemci sayesinde robot pilinin ömrü uzatılmış oldu.

Kontrol devreleri haberleşme devrelerinden okunan değerlerin, sürücü devreler tarafından gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğini denetlerler. Kontrol devrelerine bilgi mekanik sistem üzerinden okunarak iletilir. Basit bir enkoder tarafından robotun hızı, ya da tahrik motorunun devir sayısı, okunarak işlemciye iletilir. Burada basit bir elektronik eleman, enkoder ile mikro-işlemci arasındaki uyumu sağlamaktadır. Enkoderin çıkışı analogdur. Mikro-işlemcinin analog girişi bulunmaktadır. Bu sebeple analog – dijital dönüştürücüye ihtiyaç yoktur. Fakat robot pilinin 12 Volt olması nedeni ile enkoder sadece 12 voltta sinyal üretebilmektedir. Bu sinyal seviyesini 5 volt mertebesine düşürmek amacı ile 7805 dönüştürücüsü kullanılmıştır. 5 Volt mertebesi TTL tipi sistemlerin standart gerilim seviyesidir. Bu sebeple bu dönüşüm mikro-işlemci, enkoder uyumu açısından önemlidir.

Enkoder bir delikli disk ve bir adet anahtardan oluşmaktadır. Diskin üzerine 60° açı ile delikler delinmiştir (Şekil 5.6). Kardan mili üzerine yerleştirilen disk motor ile aynı devirde dönmektedir ve motorun bulunduğu bölümde yer almaktadır. Anahtarın önünden deliğin geçmesi sırasında anahtar tetiklenir ve mikro-işlemciye bir kare dalga sinyal üretilir. Mikro işlemcinin yazılımı, her tetiklenmesinde bir sayaç başlatır. Sayaç, zaman ile senkron çalışmaktadır. Diğer tetiklenme zamanına kadar geçen süreyi karşılaştırmak için hafızasında saklar. Böylelikle iki ardışık süre için karşılaştırma yapma imkanı bulur. İki ardışık tetiklenme süresi birbiri ile aynı ise motorun devri değişmiyor demektir. Bu sürede artım olursa motor devrinin düştüğü anlaşılır. Ters bir durum söz konusu olduğunda motorun devir sayısının arttığı anlaşılmaktadır.

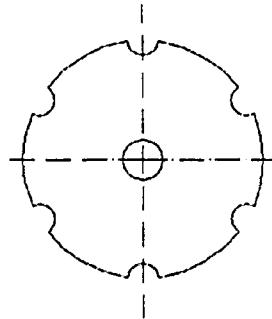
DC motorların devri sayıları, üzerilerine uygulanan gerilim ile değişmektedir. Fakat değişen gerilim ile motorun torkunun da değişmesi söz konusudur. Bu sebeple böcek robotun tahrik motorunun devrinin kontrolünde PVM metodu kullanıldı. Bu metotta motor devri belirli frekansta üretilen kare dalgalı sinyal ile kontrol edilmektedir (Şekil 5.5).

Motorun sürüleceği gerilim belirlenir. Bu gerilimin tepe değeri olan kare dalga üretilir. Kare dalganın tetikleme aralığı ve tetikleme süresi ile motorun hızı kontrol edilebilmektedir. Kare dalganın tetiklenme süresi ve tetiklenme aralığı değişmesi ile motora uygulanan ortalama gerilim değiştirilmektedir. Sonuç olarak enkoderden gelen bilgiye göre iki tetikleme arasında geçen süre uzuyorsa, motorun devrinin düşmekte olduğu anlaşılmaktadır. Buna göre alınacak tedbir tetikleme süresinin arttırılması ya da tetikleme aralığının düşürülmesidir.



Şekil 5.5 PVM Motor Hız Kontrolü Sinyali

Haberleşme devreleri; kumanda bilgisayarı ile robot arasında iletişimi 2.3 GHz frekansı üzerinden Frekans Modilasyonu (FM) ile gerçekleştirir. Haberleşme devrelerinin diğer bir işlevi robotun bulunduğu konumu belirtmeleridir. Saniyede bir üretilen sinyal, çevredeki alıcılar tarafından alınarak gerekli hesaplamaların yapılması için kumanda bilgisayarına iletilir. Kumanda bilgisayarında yazılım bu değerleri okuyarak böcek robotun çalışma alanındaki koordinatlarını belirler ve robotu kumanda eden kullanıcıya iletir.



Şekil 5.6 Hız Enkoderi

Kumanda bilgisayarı ile robot arasındaki haberleşme iki yönlüdür. Kumanda bilgisayarından robota gerçekleştirmesi istenilen komutlar iletilmektedir. Robottan kumanda bilgisayarına, yer belirleme sinyali, video sinyali iletilmektedir. Robot, hızı ile ilgili kontrolü kendi üzerinde gerçekleştirmektedir. Bunun için 8312 için yazılımından faydalanılır.

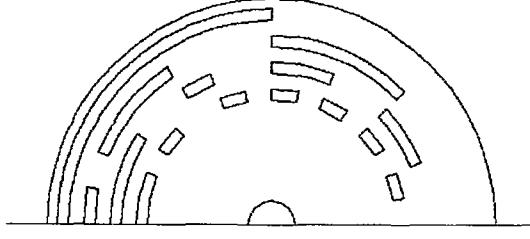
Yayının 2.3 GHz üzerinden yapılmasının sebebi bu frekansın Halk Bandına tahsis edilmiş olmasıdır. Amatör Telsizciler için ayrılmış bu bölge her ülkenin yasalarına göre farklılıklar göstermektedir. Amatör Telsizciler için ayrılmış olan diğer bir aralık 27 MHz – 28 MHz arasındadır. Bu aralığın seçilmemesinin sebebi, kullanılacak frekansın düşük olması nedeni ile haberleşmede doğabilecek olumsuzluklardır. 2.3 GHz 'de yayın yapılmasının diğer bir kolaylığı, vericinin güçlü olmasının gerekmemesidir. Radyo dalgalarının frekansları yükseldikçe engellerin içlerinden geçebilme kabiliyetleri artmaktadır. Bu neden ile 0.25 Watt gücüne sahip vericinin 300 metre çapında engelli arazide çalışabilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca insan sağlığı açısından düşük güçlü bu sinyalin herhangi olumsuz etkisi bulunmamaktadır. (Suomela, J., Suurpää, K., Visentin, G., Ylikorpi T 2000)

Robot üzerinden okunan bir diğer değer ise robotun referans konumuna göre kendi simetri eksenini etrafında yaptığı açıdır. Robotun tahrik paletlerinin yukarıda olduğu konumu referans konum olarak kabul edilmiştir ve 0^0 olarak alınmıştır. Çalışma sırasında robotun serbestçe devrilmesi kabulü ile bu süreç sırasındaki hareketleri kontrol edilmemektedir. Fakat, robotun nihai konumu, robotun yön kavramının kaybolmaması için büyük önem taşımaktadır. / 15

Robotun referans konumundan herhangi bir açı değerinde dönmesi durumunda artık robotun referans konumundaki alt, üst, sağ, sol kavramlarından söz edilemez. Robotun yaptığı açı oranında bu kavramlarda sapma oluşmuştur. Son durumun, referans konumuna göre açı değişimi geri beslenmeli ve gerekli düzeltmeler yapılmalıdır. Düzeltmelerin gerçekleştirilmesi amacı ile robot üzerine gerekli parçaların yerleştirilmesi uygun görülmemiştir. Mikro-işlemci bu işlemler için yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple robotun üzerine, açı belirleyen bir enkoder ve enkoderden okunan veriyi kumanda bilgisayarına ileten bir verici yerleştirilmesi düşünülmüştür.

Düşünülen enkoderin sadece tur sayması, robotun son konumu hakkında yeterli bilgiyi sağlamaz. Ayrıca, devrilme sırasındaki olası elektrik kesiklikleri sonucunda robot kaç defa tur attığının bilgisini yitirebilir. Robotun acil durumlarda (Doğal Gaz Kaçağı) elektrikliğin kesilebilmesi düşünülmüştür. Devrilme sırasındaki elektrik kesilme olayına benzer şekilde, bu durumda da bilginin kaybı söz konusudur. Bu sebeple 10^0 hassasiyete sahip 2^5 bitlik (32

adet konum) bir enkoder tasarlanmıştır (Şekil 5.7). (Larminie, J.C. 1988)



Şekil 5.7 Üzerine İkili Sistemde Yarıklar Açılmış Enkoderin Görünümü

Bu enkoder sayesinde elektrik kesilmesinden sonra robot, enkoderden gelecek ikili düzendeki sayıyı kumanda bilgisayarına yollar. Kumanda bilgisayarına gelen bu değer, onluk düzene çevrilir. Çizelgeden (Çizelge 5.1), robotun gönderdiği sayı değerine karşılık gelen açı bulunarak, robotun referans düzlemine göre yaptığı açı belirlenir.

Bu açının belirlenmesi ile yazılım, yeni alt, üst, sağ, sol kavramlarını belirler. Yeni kavramlar, robot üzerine yerleştirilmiş ko-ordinat sistemini x – ekseni etrafında belirlenen açı kadar çevirmek ile tanımlanır. Sonuçta, kumanda bilgisayarında kullanıcının algıladığı ko-ordinat sistemi ile robotun ko-ordinat sistemi birbirlerinden maksimum 5^0 sapma göstermiş olur. 5^0 robotun kumandasının üzerinde olumsuz etki yaratacak değer altındadır.

Enkoderin üzerinde sıfıra karşılık gelen açığa dengesiz kütle yerleştirilmiştir. Bu sayede referans konumunda enkoder “ 00000000 ” ikili düzende sinyal üretir.

5.4 Kameralar

Böcek robot üzerinde iki adet sadece Kızıl Ötesi ışığa duyarlı kamera taşımaktadır. Kameralardan biri robotun birinci bölümünde, diğeri ise üçüncü bölümünde yer almaktadır. İki kamera bulunmasının sebebi, robotun dar alanlarda manevra yaptırmadan kullanabilme kolaylığı sağlamaktır. Böylelikle ileri ilerlerken birinci bölümdeki kamera kullanılabilmekte, geri gitme durumu ortaya çıktığında üçüncü bölümdeki kamera devreye sokulmaktadır. Böylelikle robot, kullanıcıya sürekli etrafı hakkında görüntü iletebilmektedir.

Robot pil ömrü düşünülerek kullanılmayan kamere, kontrol bilgisayarından gönderilecek sinyal ile kapatılabilmektedir.

Kameralar sadece kızıl ötesi ışığa duyarlıdır. Bu tür kameraların seçilmesinin sebepleri :

- Daha düşük lüks seviyelerinde görüntü iletebilme imkanları vardır
- Tungsten flamanlı lambalara ihtiyaç duymazlar
- Kıızıl Ötesi ışık yayabilen LED ile ilettikleri görüntü tatmin edicidir.

Çizelge 5.1 Onluk Sistemdeki Açık Karşılıkları

İkili	ONDALIK	AÇI KARŞILIĞI
00000000	0	0
00000001	1	10
00000010	2	20
00000011	3	30
00000100	4	40
00000101	5	50
00000110	6	60
00000111	7	70
00001000	8	80
00001001	9	90
00001010	10	100
00001011	11	110
00001100	12	120
00001101	13	130
00001110	14	140
00001111	15	150
00010000	16	160
00010001	17	170
00010010	18	180
00010011	19	190
00010100	20	200
00010101	21	210
00010111	22	220
00011000	23	230
00011001	24	240
00011010	25	250
00011011	26	260
00011100	27	270
00011101	28	280
00011110	29	290
00011111	30	300
00011000	31	310
00011001	32	320
00011011	33	330
00011100	34	340
00011101	35	350

Tungsten flamanlı lambalar, LED 'lere göre çok daha yüksek akım çekerler. Bu sebeple pilin ömrü kısalmaktadır. I – LED (infra-red LED) çektiği düşük akımla geniş bir bölgeyi

aydınlatabilmektedir. Robot üzerine bu LED 'lerden bölüm başına dört adet kullanılması düşünülmüştür. Böylelikle, olası bir problem karşısında kaybedilecek LED 'lerin yerini dolduracak yedekleri olması sağlanmış, ayrıca tatminkar bir görüş sağlanmaya çalışılmıştır.

5.5 Kontrol Bilgisayarı

Robota kontrol bilgisayarından komutlar bir yazılım üzerinden gönderilir. Bu yazılım robotun arayüzü olarak adlandırılabilir. Programın ekranında robotun bütün kontrolleri bulunmaktadır. Bunlara ek olarak robottan gelecek görüntüler de bu ekrandan gözlemlenebilmektedir. (K.B. Kenny, K.-J. Lin 1991)Robotun her hareketine karşılık gelecek şekilde bir tuş kombinasyonu belirlenmiştir.

Tuşlar ve açıklamaları :

8 : İleri

2 : Geri

4 : Sola Dönme¹

6 : Sağa Dönme¹

9 : Yukarı Kıvrılma¹

3 : Aşağı Kıvrılma¹

7 : Hızlanma

1 : Yavaşlama

5 : Kamera Seçimi (Sıra ile)

A : Motorun gücünü kısa bir süre için maksimumda kullanma

E : Robotun, alıcı harici tüm elektiriğini kesme

¹ Robotun referans konumu ile yaptığı açığa göre değişmektedir.

Kameralar robottan bağımsız olarak dönebilmektedirler. Kameralara bu özelliği kazandıran yataklar robot gövdesi üzerine monte edildi. Robot, referans konumuna göre herhangi bir açı değerinde durabilir. Kamara her konumda yere paralel kalabilecek yapıdadır. Bu özellikleri kullanıcıya kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Görüntünün hiçbir zaman yatayla yaptığı açı değişmez. Bu durum robotun açı geri beslemesini daha da önemli hale getirmektedir. Eğer robot referans düzlemi ile kaç derece açılı çalıştığını bilmezse, kullanıcı robotu sağa döndürmek yerine yukarı ya da aşağıya doğru yönlendirebilir. Ama yazılıma geri beslenen açı değeri ile yön kavramı kameranın gördüğü eksen takımına eşleştirilmektedir. (Y. Ishikawa, H. Tokuda, C.W. Mercer 1990)

Hızlanma –Yavaşlama komutları bilgisayarın seri portundan böcek robot üzerindeki mikro – işlemciye veri aktarırlar. Arzu edilen devir sayısı dijital olarak mikro-işlemciye iletilir. Robot maksimum 70 devir / dakika yapacağından 2^8 bit kullanmak yeterli olmaktadır. 2^8 bit bir sayı ile 0 – 255 arası bütün ondalık sayıları ifade edebilmek mümkündür.

Mikro-işlemci bu değeri alır ve robot motorunun o anki değeri ile karşılaştırır. (H. Streich 1995) Hata² mikro-işlemciye geri beslenir. Yazılıma göre işlemci fark (+) ise motor devirini düşürür ya da (-) ise motor devrini arttırır. İleri – Geri komutları ile, belirlenen hızda, istenilen yöne hareket sağlanmaktadır.

Kamera seçimi “5” tuşuna basılarak yapılmaktadır. Böcek robot üzerinde sürekli bir kamera çalışır durumdadır. Bu tuş, iki kamera arasında geçiş yapmayı sağlamaktadır.

Robotun istenmeyen şekilde sıkışması durumunda robot motorunun maksimum güce çıkartılması ile bu olumsuzluktan kurtulmak düşünülmüştür. “A” tuşu ile anlık maksimum güç motora iletilir. Bu sayede sıkışık durumda robotun kendi imkanlarını kullanarak kurtulması hedeflenmiştir.

“E” tuşu, alıcı haricinde robotun tüm elektrik donanımına giden hattı keser. Alıcı, izoleli bir yapıya sahiptir. Bu nedenle ark oluşturmaz. Fakat, robotun üzerinde bulunan diğer elemanlar, özellikle motorlar, çalışırken elektrik arklarına neden olurlar. Binaların altında araştırma

² Hata : (Error) İstenilen devir ile robotun o andaki devri arasındaki fark

yapacak robotun, herhangi bir gaz kaçağı tespit etmesi durumunda elektrik donanımının devre dışı bırakılması gerekmektedir. Doğal Gaz havadan ağır olduğundan aşağıya çökecektir. Bu durum çalışmayı tehlikeli kılmaktadır. Doğal gazın dağılması sürecinde robotun kapalı beklemesi en uygunudur. Alıcının açık bırakılması robotu tekrar harekete geçirebilmeyi sağlar. Araştırmaya böylelikle ara verildiği yerden devam edebileceği düşünülmüştür.(Lee, T., Ohm, T. 1994)

5.6 Pili

Böcek Robot enerjisini iki adet 3.8 Amper Saatlik 12 Volt pilden alır. Bu piller birbirlerine paralel bağlanarak 12 volt, 5.6 Amper saate çıkartılmıştır. Robotun motorları, maksimum güçte 4 Ah akım çekmektedir. Diğer elektronik elemanın eklenmesi ile 5Ah 'lik harcama değerine ulaşılır. Bu durumda robotun pili 1 saat çalışmayı mümkün kılmaktadır.





TC. YERLEKLEME VE FİNALE KURULU
KORDUANLASHON MARKAZI

6 SONUÇ

Böcek robotun tasarımı, imalat aşaması düşünülerek yapıldı. Basitlik ve işlevselliğin ön planda tutuldu. Az eleman sayısı ile fonksiyonel olması düşünüldü. Hareketlerinin bilgisayar destekli bir arayüz tarafından yaptırılması, üzerinde bulunan konum ve hız geri beslemeleri, böcek robotu kullanılması kolay, hemen adapte olunabilen bir robot haline getirir. Kameralarının Kızıl Ötesi ışığa duyarlı olması, normal kameraların yakalayamayacağı detayları kontrol bilgisayarına iletmesine imkan tanır.

Böcek Robotu diğer robotlardan ayıracak özelliği devrilebilir yapısıdır. Bacaklı robotlarda devrilme durumuna karşı tedbir olarak bacakların diğer tarafa dönme özelliği bulunmasına karşın, bacak mekanizmalarının bulunduğu tarafta yatması koşulunda robot tüm işlevlerini yitirmektedir. Tasarlanan böcek robotun ilerlemesini engelleyebilecek devrilme koşulu bulunmamaktadır. Bununla beraber, robotun eksikleri, araştırma bölgelerinde edinilecek tecrübelerle giderilebilir. Böcek robot gelişmeyi mümkün kılan bir temele sahiptir.

Robot, çapı 140 mm olan bir boru içine rahatlıkla girebilecek ölçülere sahiptir. Bacak mekanizmalarında olduğu gibi sürekli değişken çalışma uzayı problemi böcek robotta aşılmıştır. Böylelikle kullanıcı robotu ilerletme sırasında çevre girinti ve çıkıntılarını büyük ölçüde dikkate alması gerekmemektedir.

Böcek robot, sürüngen robotlar sınıfında ayrı bir disiplin oluşturmaktadır. Sürüngen yapıya sahip olmasına karşın 0.6 metre/dakika hızı ile diğer robotlara göre avantajlıdır. Bu hız, kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlı olarak geliştirilebilir. Teflon malzemedan imal edilen dişliler, daha hafif ama mukavim malzemelerle değiştirildiğinde, daha yüksek momentleri rahatlıkla iletebilecek özelliklere sahip olabilirler ve robotun hızı artabilir.

Robot, daha farklı ölçümlerin yapılabilmesi için ek sensörler ile donatılabilir. Gövde yapısı buna müsaade eder. Araştırma yapılacak bölgeden ısı, ses ölçümleri yapılabilir, havada bulunan gazların değerleri hesaplanabilir. Bu sensörlerden alınan değerler kumanda bilgisayarına iletilmesi ile araştırma yapılan bölge hakkında daha fazla bilgi sahibi olmak mümkündür.

Böcek robotun bölümlerinin çoğaltılması sayesinde tırmanabilme özelliği eklenebilir. Tırmanacağı cisimlerin dış yüzeylerine sarılabilmesi, böcek robot için çok rahatlıkla gerçekleştirebileceği bir manevradır. Sonuçta, yılanın hareketlerini simule edebilen bir robot olması ve bütün yüzeylerinde tahrik edilen palet bulunması ona bu özelliği kazandırır. Böcek

robotun geliştirilmesi ile farklı kullanım alanları ortaya çıkmaktadır.

Robot parçaları, Mechanical Desktop R 5.0 yazılımı ile mukavemet ve titreşim kontrollerinden geçirildi. Parçaların imal edildikleri malzemelere göre kontrolleri sonlu elemanlar yöntemi ile yapıldı. Parçaların üzerlerine gelen kuvvetler incelenerek Mechanical Desktop yazılımına girildi. Programın optimizasyon yapabilme özelliğinden faydalandı ve parçalar üzerindeki gerekli malzeme boşaltmaları gerçekleştirildi. Böylelikle rijit ve hafif bir yapı elde edildi.

Mechanical Destop yazılımı ile çalışma koşulları altında doğabilecek zorlanmış titreşimlerin robot çalışması üzerinde ne türlü etkileri olabileceği imalat öncesi belirlenmeye çalışıldı. Programdan alınan bilgiler doğrultusunda parçaların geometrileri ve ağırlıkları belirlenmiştir.



KAYNAKLAR

Bozacı, A., Kosif, İ., Çolak, Ö., (1995) "Makine Elemanlarının Projelendirilmesi" Seç Yayın Dağıtım. İstanbul

Bozacı, A., (1997) "Kontrüksiyon Geometrisi", YTÜ Lisans Ders Notları, İstanbul (yayımlanmamış)

Branislav, Z Suomela, J. Shico - The short range navigation, positioning and obstacle avoidance system. International conference SURV V Surveillance, Pilot and Rescue Craft, Southampton, 11.-12.5.2000

Cavanga, G.A, Kaneko E.A 1977 "Mechanical Work and Efficiency in Level Walking and Running" Journal of Physiology. No 268 pp 467-481

Klingerman, E. Stoyenko, A.(1986): "Real-time Euclid: A language for reliable real-time systems", IEEE Transactions on Software Engineering, Vol SE

Nett, E. Streich, H. Bizarri, P. Bondavalli, A. Tarini F. (1996): "Adaptive Software Fault Tolerance Policies with Dynamic Real-Time Guarantees", Proc. of the WORDS96, Laguna Beach, California, IEEE Society Press,

Streich. H.: "TaskPair-Scheduling (1995): An Approach for Dynamic Real-Time Systems", Int. Journal of Mini & Microcomputers, Vol. 17, No. 2, pp 77-83,

Hirose, S. H. (1984) "Titan III : A Quadruped Walking Vehicle" 2nd International Symposium of Robotics Research Kyoto, Japan, Ağustos 20 – 23

Kenny, K.B. Lin K.-J.(1991): "Buiding Flexible Real-Time Systems Using the Flex Language", IEEE Computer

Paap, K.L. Dehlwisch, M. Klassen, B.(1996): "GMD-Snake: A Semi-Autonomous Snake-like Robot", 3rd International Symposium on Distributed Autonomous Robotik Systems (DARS '96),

Larminie, J.C. (1988) " Standards for the Mobility Requirements of Military Vehicles" Journal of Terramechanics, vol 125 no.3 pp 171-189

Lee, T., Ohm, T., and Hayati, S., (1994):" A Highly Redundant Robot System for Inspection," Proceedings of the Conference on Intelligent Robotics in the Field, Factory, Service, and Space (CIRFFSS '94), Houston, Texas, Mart 21-24, 1994, pp. 142-149.

M. Gergeleit, H. Streich: TaskPair-Scheduling with Optimistic Case Execution Times - An Example for an Adaptive Real-Time System, Proc. of the WORDS96, Laguna Beach, California, IEEE Soc. Press, Şubat 1996

Gergeleit M. (1994): "Automatic Instrumentation of Object-Oriented Programs", Arbeitspapiere der GMD, No. 826

Moorehead, A. (1965) " The Desert War. The North African Campaign 1940-1943" pp 196 – 197, Sphere Books Ltd. G.B.

Gehani, N. Ramamritham K.(1991): "Real-Time Concurrent C: A Language for Programming Dynamic Real-Time Systems"

Prautsch, P, Iwasaki, T. Trans. IEE of Japan, Vol. 120-D, No. 3, Mart 2000

Song, S.M., Lee, J.K. (1988) :“The Mechanical Efficiency and Kinematics of Pantograph Type Manipulators” IEEE International Conference on Robotics and Automotion, vol.1 pp.414-420,Pennsylvania

Suomela, J., Suurpää, K., Visentin, G., Ylikorpi T. & Zelikman, M. (2000):"A robotic rover - based deep driller for mars exploration." Espoo: VTT Automaatio, 2000. (Automation Technology Review 2000).

Tanaka, T. (1984) “Operation in Paddy Fields” Journal of Terramechanics,vol.21 no.2 pp 153-179

Wolfe, V. Davidson, S. Lee I.(1991): "RTC: Language Support For Real-Time Concurrency", IEEE Computer


Ishikawa, Y. Tokuda, H. Mercer C.W.(1990): "Object-Oriented Real-Time Language Design: Constructs for Timing Constraints", ECO0OP/OOPSLA '90 Proceedings

<http://labweb.mech.nwu.edu>, 2001

<http://labweb.mech.nwu.edu>, 2001

<http://www.frc.ri.cmu.edu>, 2001

<http://www.nasa.gov>, 2001



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	02.03.1974	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1990-1993	Özel Eyüboğlu Lisesi
Lisans	1993-1998	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Programı

Çalıştığı kurumlar

1995-1996	Megateknik Aparat İmalat Sanayi
1996-1997	Nemsan Elektronik
1998-Devam ediyor	YTÜ Makine Fakültesi Araştırma Görevlisi

