

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



**İNSANSIZ ROBOTİK BİR KARA ARACININ TASARIMI VE
PROTOTİPİ**

İrem MERTYÜZ

Yüksek Lisans Tezi

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ARALIK 2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

İNSANSIZ ROBOTİK BİR KARA ARACININ TASARIMI VE PROTOTİPİ

Tez Yazarı
İrem MERTYÜZ

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Beyda TAŞAR

ARALIK 2019
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: İnsansız Bir Robotik Kara Aracının Tasarımı Ve Prototipi
Yazarı: İREM MERTYÜZ
İlk Teslim Tarihi: 26.11.2019
Savunma Tarihi: 27.12.2019

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Beyda TAŞAR
Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

İmza

Onayladım

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz ATA
Altınbaş Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

Onayladım

Üye: Doç. Dr. Oğuz YAKUT
Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

Prof. Dr. Soner ÖZGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “İnsansız Robotik Bir Kara Aracının Tasarımı Ve Prototipi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

27/12/2019

İrem MERTYÜZ



ÖNSÖZ

Savunma sanayiye yönelik kullanılan insansız kara araçlarının değişken ortam şartlarına uygun tasarlanması önemli ve zor bir süreçtir. Engelleri aşabilme, hızlı ilerleyebilme ve bunların yanında keşif, gözlem gibi görevleri yerine getirebilmesi gerekmektedir. Bu unsurlar göz önüne alındığında araç boyutu, hareket mekanizması, kullanılan malzemesi, dayanımı vb. özellikleri tasarımcı tarafından özenle belirlenmelidir.

Mekanik tasarım yapmak birçok unsuru öngörmeyi gerektiren bir işlemdir. İnsansız robotik kara aracı tasarımı da bu durumda geniş araştırma gerektiren, hesaplamalar sonucu prototipler üreterek ve deneyerek geliştirilen bir sürece sahiptir. Bu tez çalışmasında aracın görev hedefi belirlenerek tasarımı da bu amaca yönelik gerçekleştirilmiştir. Solidworks programında tasarlanıp 3D yazıcıda parçalar üretilmiştir. Birçok deneme sürecinden geçerek parçaların boyutlarında, yapılarında ve malzemelerinde değişiklikler yapılarak son prototip ortaya konulmuştur.

Çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve görüşlerinden yararlandığım saygıdeğer hocalarım Doç. Dr. Oğuz Yakut'a ve Dr. Öğr. Üyesi Beyda TAŞAR'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmamın deneysel kısmının ortaya çıkmasında üstün çalışma azimleri ve heveslerinden dolayı görev yaptığım Mekatronik Mühendisliği Bölümü teknik personelleri başta İhsan Asutay olmak üzere Ali Rıza Dermanlı ve Veysel Ceylan' a teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarımın uzun uğraşlar gerektiren montaj sürecinde, sabırla ve büyük emekle bana destek olan kardeşim Bekir Berk Özcan'a çok teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan, dua ve desteklerini hep yanımda hissettiğim sevgili eşim Tolga Mertyüz 'e ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.18.64 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir.

İrem MERTYÜZ
ELAZIĞ, 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
EKLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	2
1.2. Motivasyon ve Hedefler	12
1.3. Tez Organizasyonu	12
2. İNSANSIZ ROBOTİK BİR KARA ARACININ TASARIMI VE İMALATI.....	13
2.1. Tasarım	13
2.1.1. Tekerlek Tasarımı	13
2.1.2. Dişli Sistemi	15
2.1.3. DC Motorlar	19
2.1.4. Slip Ring Motor.....	20
2.2. İmalat ve Montaj.....	22
2.2.1. Slip Ring İmalatı	24
3. İNSANSIZ ROBOTİK BİR KARA ARACININ KİNEMATİK VE DİNAMİK ANALİZİ	26
3.1. Kartezyen Referans Çerçevesinde Tekerlek Ayağı Kinematığı	26
3.2. Tekerlek Ayağın Genel Kinematığı	28
3.3. Tekerlek Ayağın Dinamik Modeli.....	30
3.4. Rika 'nın Kinematik Ve Dinamik Modellenmesi	32
3.4.1. RİKA Kinematik Hesaplamalar	33
3.4.2. RİKA Dinamik Hesaplamalar	38
4. İNSANSIZ ROBOTİK KARA ARACININ KONTROLÜ	43
4.1. Arduino.....	43
4.2. Anahtar	44
4.3. Lineer Potansiyometre.....	44
4.4. Kontrol Yöntemi.....	45
4.5. Grafikler	48
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	50
KAYNAKLAR	51
EKLER	54

ÖZET

İnsansız Robotik Bir Kara Aracının Tasarımı Ve Prototipi

İrem MERTYÜZ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2019, Sayfa: xi + 53

Günümüzde askeri alanda, keşif, gözetim, hedef imha, tespit gibi ve buna benzer uygulamalarda insansız robotik kara araçlarının kullanımı hızla artmaktadır. Özellikle insanların girmesinin tehlikeli olduğu ortamlarda kişilerin can güvenliğinin sağlanması ve görevlerin daha başarılı ve etkin bir şekilde yerine getirebilmesi için farklı araç tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla farklı özellik ve tasarımlara sahip insansız kara araçları araştırmacılarca geliştirilmektedir.

İnsansız kara araçlarının tekerlekli, paletli, ayaklı ve hibrit olmak üzere farklı tasarımları mevcuttur. Aracın görev yapacağı ortam şartlarına göre her bir sistemin birbirine karşı avantajları bulunmaktadır. Bu araştırma kapsamında tasarlanan insansız kara aracının düz bir yolda hızla ilerlerken aynı zamanda engelleri aşabilmesi, merdiven gibi basamaklı alanları tırmanabilmesi amaçlanmıştır. Bu tez kapsamında hibrit bir insansız kara aracı tasarımına yönelmiştir. Mobil aracın tekerlek yapısı “transformable wheel” yani dönüştürülebilir tekerlek sistemi şeklinde tasarlanmıştır. Tekerlek ve parmak sisteminin birleştirildiği bu tasarımda robot, düz arazi şartlarında sahip olduğu tekerlek yapısı sayesinde hızlı ve manevra yeteneği yüksek bir şekilde hareket edebilmektedir. Engembeli arazi şartlarında ise parçalı tekerlek yapısı açılarak, tekerlek yıldız şeklini almakta ve yüzeye uyum sağlayarak dengeli bir hareket sunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında altı parçalı dönüştürülebilir tekerlek yapısına sahip hibrit bir mobil aracın fiziksel modeli tasarlanmış ve prototipi üretilmiştir. Ayrıca aracın kinematik ve dinamik modelleri ortaya koyulmuş ve Matlab/Simulink ortamında hareket simülasyonu yapılmıştır. Son olarak, üretilen prototip aracın performansı düz zemin üzerinde ve merdiven yüzeyinde test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İKA, insansız kara aracı, robotik, dönüştürülebilir tekerlek, kontrol

ABSTRACT

Unmanned Robotics A Land Vehicle Design And Prototype

İrem MERTYÜZ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering

December 2019, Pages: xi + 53

The use in military applications such as identification, surveillance, target assassination, tracking and related applications of unmanned robotic ground vehicles is currently growing quickly. Different vehicle designs are necessary to ensure people's safety and to carry out tasks more productive and effectively, especially in areas where people are unsafe to reach. To that purpose, researchers are designing autonomous land vehicles with different characteristics and designs.

Unmanned ground vehicles, including wheeled, crawler, legged and hybrid are available in different configurations. In accordance with the environmental conditions of the vehicle, every system has advantages over one another. This research aimed to enable the autonomous road vehicle to be moved quickly along a straight road, overcoming obstacles and climbing staircases as stairs. This work focuses the concept of a robotic autonomous land vehicle. The mobile vehicle's wheel structure is designed as a transformable wheel shape. In this design, where the wheel and finger system are combined, due to its wheel structure in flat terrain conditions, the robot can move quickly and with high maneuverability. The transformable mechanism of the wheel is opened in rough ground environments. The wheel assumes a star shape which maintains a range of motion by adapting it to the floor.

In this research, a physical model is designed and a prototype is produced for a hybrid mobile vehicle with a six-piece transforming wheel structure. In the Matlab / Simulink environment kinematic and dynamic models of vehicles are also estimated and motion simulation is performed. Finally, the performance of the prototype vehicle was tested on the surface of the floor and on the stair.

Keywords: UGV, unmanned ground vehicle, transformable wheel, wheel-leg, control

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Kaplan İKA, Tartulla İKA, Boston Dynamics Spot [5-8], Whegs serisi [9-13], Loper [14], Asguard [15]	1
Şekil 1.2. Roller Walker	3
Şekil 1.3. PAW robot	3
Şekil 1.4. Hylos wheel-leg robot	4
Şekil 1.5. Chariot III.....	4
Şekil 1.6. Wheeleg robot	4
Şekil 1.7. Robot Octal Wheel	5
Şekil 1.8. Hanzo	5
Şekil 1.9. Space Rover robot	5
Şekil 1.10. Loper	6
Şekil 1.11. Epi.q-1 ve Epi.q-2 robotları ve tekerlek mekanizması	6
Şekil 1.12. Whegs , Asguard	7
Şekil 1.13. Whegs II , Whegs VP.....	7
Şekil 1.14. Impass Robot.....	8
Şekil 1.15. Armadillo-Inspired Wheel-Leg Robot	8
Şekil 1.16. TurboQuad	9
Şekil 1.17. Trasnformatör Robot.....	9
Şekil 1.18. Quattroped: a leg-wheel hybrid mobile platform	10
Şekil 1.19. Origami Wheel Robot	10
Şekil 1.20. Dönüştürülebilir Pençe Tekerleği Robot	11
Şekil 1.21. Transformable Wheel Robot	11
Şekil 1.22. Whег robot bacak modu ve tekerlek modu	11
Şekil 2.1. Transformable-wheel tekerlek yapısı. Parmakların kapalı olduğu konum görseli	13
Şekil 2.2. (a) Parmak tasarımı (b) Parmakların açık olduğu konum görseli	14
Şekil 2.3. Parmakların açıkken ön görünüş	14
Şekil 2.4. Açma Kapama Mekanizması.....	15
Şekil 2.5. (a) Dişli çifti , (b) Tekerlek Rulmanı Solidworks Tasarımı.....	16
Şekil 2.6. Tekerlek Modülü Solidworks Tasarımı.....	16
Şekil 2.7. Tekerlek Modülü Solidworks Tasarımı	17
Şekil 2.8. Motor Destek Parçası Solidworks Tasarımı	17

Şekil 2.9. RİKA Ön Düzen Solidworks Tasarımı.....	18
Şekil 2.10. RİKA Solidworks Tasarımı.....	18
Şekil 2.11. DC Motorlar	19
Şekil 2.12. Slip Ring Motor Örnekleri	20
Şekil 2.13. Rulman Örneği	21
Şekil 2.14. Slip ring rulman yatak parçası Solidworks çizimi	21
Şekil 2.15. Slip ring kablo kanalı parçası Solidworks çizimi	22
Şekil 2.16. Teker Modülü	22
Şekil 2.17. Motor Destek Parçası	23
Şekil 2.18. Metal Parça.....	23
Şekil 2.19. Slip Ring Montajı	24
Şekil 2.20. Slip Ring montajı	24
Şekil 2.21. RİKA Birinci Tasarım.....	25
Şekil 2.22. RİKA İkinci Tasarım.....	25
Şekil 2.23. RİKA İkinci Tasarım.....	25
Şekil 3.1. Altı parçalı tekerlek ayağın fiziksel ve matematiksel modeli.....	26
Şekil 3.2. Yarım altıgen modelinin rotasyonu	27
Şekil 3.3. Tekerlek parmağının dönmesi	28
Şekil 3.4. RİKA MATLAB Simulasyonu	42
Şekil 3.5. RİKA MATLAB Simulasyonu	42
Şekil 4.1. Arduino Mega 2560	43
Şekil 4.2. (a) Anahtar, (b) Lineer Potansiyometre	44
Şekil 4.3. Sol taraf ileri ve geri yön hız blok diyagramı	45
Şekil 4.4. Parmakların açılması için oluşturulan blok diyagram	46
Şekil 4.5. Birinci kontrol yöntemi blok diyagramı	46
Şekil 4.6. İkinci kontrol yöntemi blok diyagramı	47
Şekil 4.7. İleri Hareket	48
Şekil 4.8. Geri Hareket	48
Şekil 4.9. Sağa Dönüş Hareketi	49
Şekil 4.10. Sola Dönüş Hareketi.....	49
Şekil 4.11. Parmak açma kapama	49

EKLER LİSTESİ

	Sayfa
EK – 1 MATLAB KODLARI	54



SİMGELER VE KISALTMALAR

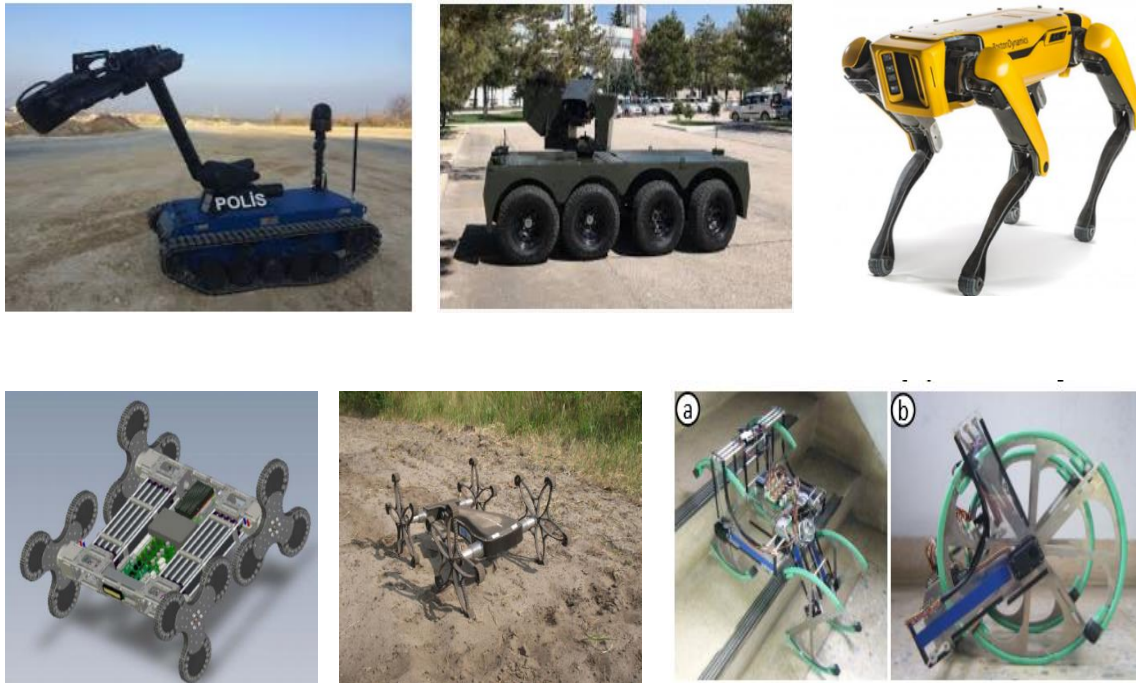
Kısaltmalar

İKA : İnsansız Kara Aracı
DOF : Degree of freedom (serbestlik derecesi)
Whegs : Wheel Legs



1. Giriş

Günümüzde askeri alanda, keşif, gözlem, hedef imha, tespit gibi ve buna benzer uygulamalarda insansız robotik kara araçlarının kullanımı hızla artmaktadır. İKA'ların insanların girmesinin riskli olabileceği bölgelerde, insan bilgi ve becerisinin gerektiği işlemlerde ve can kaybını önlemek amaçlanmaktadır[1]. Bu insansız robotik kara araçlarının, değişken ve zorlu ortam şartlarında yüksek manevra kabiliyetine sahip olması amaçlandığı için farklı mekanik tasarımlar geliştirilmektedir. [2-4] Tekerlekli robotlar, düz yollarda ilerlerken hızlı etkin ve yüksek performansa sahiptirler. Bununla birlikte, engebeli arazide robotun engelin üzerinden geçmesi vs gibi durumlarda tekerlek uygun bir çözüm değildir. Bu nedenle farklı türde çalışma prensibine sahip (tekerlekli, paletli, hibrit tasarımlı) engelin üstesinden gelmek veya engebeli arazide hareket etmek konusunda avantajlı tasarımlar araştırılmakta ve tasarlanmaktadır. Kurtarma robotlarının çalışma bölgesine hareketleri analiz edilecek olursa robotun nispeten uzun bir süre düz bir zeminde ilerleyeceği ancak merdiven, tümsek vs. gibi yüzeylere ulaştığı durumlarda tırmanma yapması gerektiği aşikârdır. Bu nedendir ki önceki yıllarda tekerlekli, paletli tasarımlarına çoğunlukla rastladığımız İKA'lar için son yıllarda ayaklı, hibrit tekerlek ayaklı şekilde farklı türde tasarımları vardır [5].



Şekil 1.1. Kaplan İKA, Tartulla İKA, Boston Dynamics Spot [5-8], Whegs serisi [9-13], Loper [14], Asguard [15]

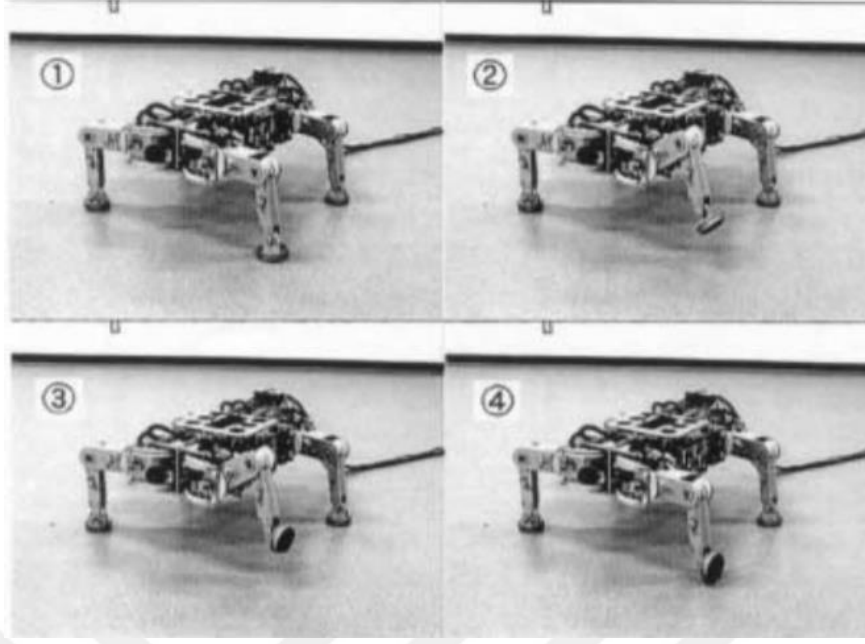
Şekil 1.1. de insansız kara araçlarının tekerlekli, paletli ve bacaklı yapılarına ait örnekleri bulunmaktadır.

1.1. Literatür Özeti

Hibrit ve bacaklı insansız kara araçları temelde biyomimetik (canlıların modellenmesi) alanında yapılan çalışmaların sonucunda geliştirilen robotik cihazlardır. Karada yaşayan canlıların anatomik ve fizyolojik özelliklerinden esinlenerek bu canlıların hareket mekanizmalarının incelenmesi ve benzetimsel olarak modellenmesi temeline dayanır. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar kara canlılarının evrimsel gelişim sürecinin incelenmesi çalışmalarına uzanmaktadır. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki çoğu kara hayvanında uzun bir evrimleşme sürecinden sonra bacaklar ortaya çıkmış ve bu çevik ve sağlam bacaklar hayvanların engebeli arazilerde rahatça ve hızla hareket etmesine imkân sağlamıştır. Bu bilginin robotik alana uygulanması ve ayaklı İKA'ların tasarım ve üretimi ise ancak çeşitli gelişmiş mekatronik bileşenlerin ortaya çıkması ve biyo-ısııl işlem görmüş robotların üretilme teknolojisine ulaşılması ile mümkün hale gelmiştir [16-18]. Son yıllarda bacaklı robotlar tasarımı alındaki çalışmalar artarak sürmektedir [19-21].

Ayaklı robotlar dış mekânda, engebeli arazilerde, kaldırım vs. gibi anlık yükseltili yüzeyleri aşma ve iç mekânda merdiven tırmanma görevlerinde tekerlekli robotlara nispeten oldukça avantajlı olmalarına karşılık, tekerli robotlar gibi düz zeminlerde çok yüksek hızda hareket etme ve etkin performansa sahip olma özelliklerinden yoksundurlar. Bu nedenle araştırmacılar bu iki hareket mekanizmasının avantajlarını birleştirecek hibrit tasarımlar (tekerlekli ayaklar, dönüştürülebilen tekerler) üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır. Hibrit tasarımlar temel olarak hem yerde (tekerlekler yoluyla) hem de engebeli arazide (bacaklar ile) büyük hareket kabiliyetine sahip robotlardır. İç mekân - dış mekân ve pürüzlü ortamlar için uygun bir hareket mekanizmasına sahiptir.

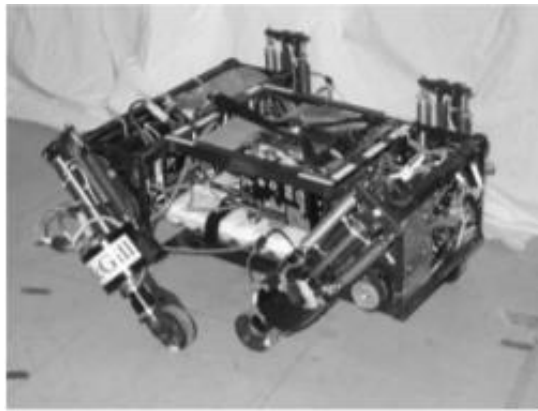
Hibrit mobil robot platformları genellikle morfolojilerine göre kategorize edilmektedirler[6]. Bunlar sırası ile eklemli ve tekerlekli robotlar, pasif parçalı tekerlek yapısına sahip robotlar ve şekil değiştiren tekerlek mekanizmalı robotlar sahip robotlardır. Roller Walker robot dört tekerlekli ve 3 derecelik serbestlik dereceli (DOF) dört bacağına sahip hibrit bir robottur. Tekerlekler bacağın en uç eklemine bağlıdır. Robot engebeli arazide tekerleği pasif hale getirilerek (pati gibi yere basacak şekilde) dört ayaklı bir robot gibi hareket etme ve düz zeminde tekerlekler aktif hale getirilerek dört tekerlekli mobil bir araç gibi hareket edebilme özelliğine sahiptir. [23].



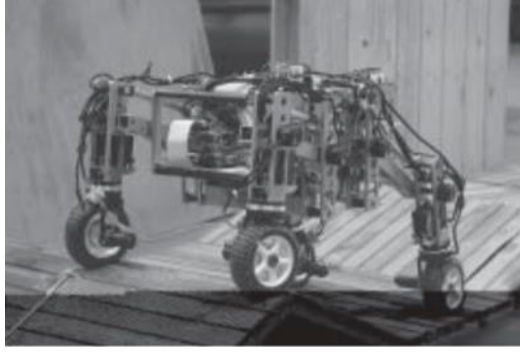
Şekil 1.2. Roller Walker

Şekil 1.2. deki görselde Roller Walker'ın yürüme modundan tekerlek moduna geçişi gösterilmektedir.

PAW robotu (Şekil 1.3), daha fazla hareketlilik sağlamak için bacaklı ve tekerlekli hareket sisteminin avantajlı yönlerini birleştirmiştir. PAW'ın gövdesi hafif ve kompakt bir yapıya sahip olup bacakları sınırlı devir kapasitesine sahiptir ve sabit ayak parmakları yerine, hareketli sert lastik tekerleklerle donatılmıştır. Tekerlekli çalışma modunda dört kalça motoru tekerlekleri robotun gövdesine göre yeniden konumlandırabilir ve tekerlek üzerinde hareket sağlanır. Bacaklı modda, tekerlekler kilitlenir pasif hale getirilir ve yürüme dinamik davranışı bacaklar ile gerçekleştirilir.



Şekil 1.3. PAW robot



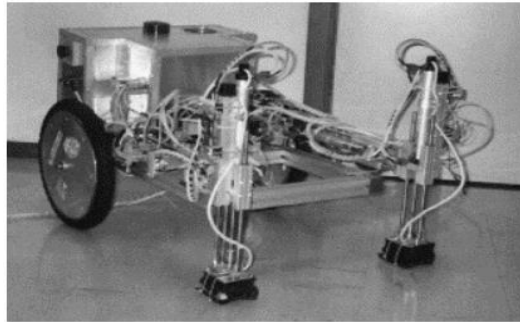
Şekil 1.4. Hylos wheel-leg robot

Benzer bir strateji Şekil 1.4. teki Hylos robotta da bulunmaktadır[25].



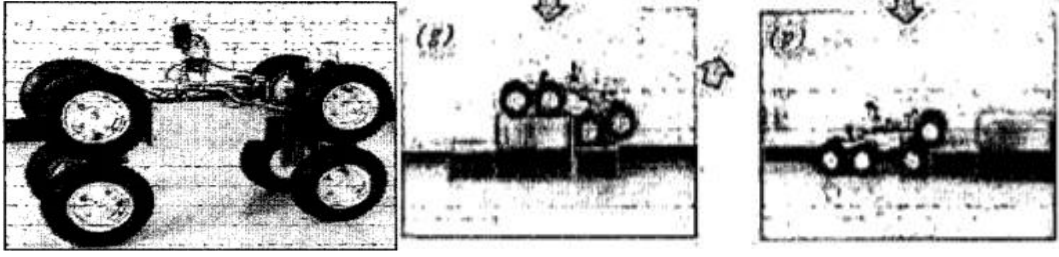
Şekil 1.5. Chariot III

Şekil 1.5. te gösterilen Chariot III robotu ise iki büyük tekerleğe ve dört adet 3 DOF bacağına sahiptir [26].



Şekil 1.6. Wheeleg robot

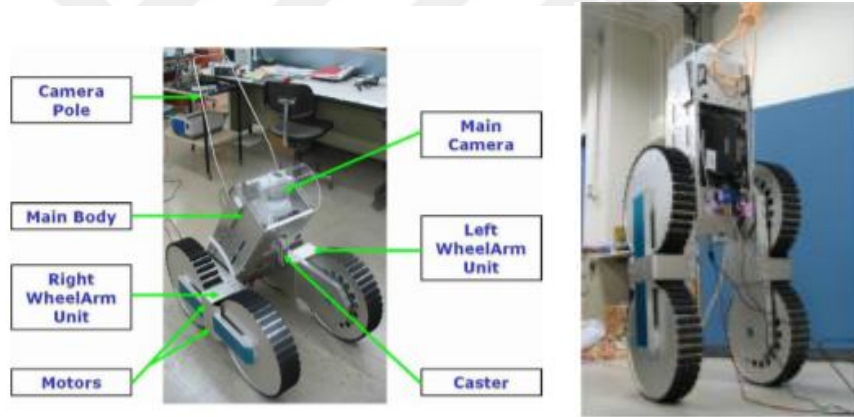
Şekil 1.6. de gösterilen Wheeleg robot ise iki pnömatik olarak çalıştırılan 3-DOF ön ayağı ve iki bağımsız tahrikli arka tekerleğe sahiptir [27].



Şekil 1.7. Robot Octal Wheel

Robot Octal Wheel robot (Şekil 1.7.) ise her iki tarafa monte edilmiş iki tekerleği olan bir koldan oluşan özel bir tekerlek-kol mekanizmasına sahiptir ve robot merdiven gibi engellerin üzerinden tırmanma yeteneğine sahiptir [28].

Benzer bir mekanizma, HANZO robotta (Şekil 1.8.) da benimsenmiştir [29]. Hanzo üç ana bölümden oluşmaktadır: ana gövde, sol ve sağ tekerlek kolu. Değişken yapı fonksiyonelliğine sahip bu yeni tekerlekli robot tasarımı sadece düz zeminlerde yüksek sürüş verimliliğine sahip değil, hareketli gövde ve tekerlek yapısı ile aynı zamanda yüksek engelleri aşma yeteneğine sahiptir.



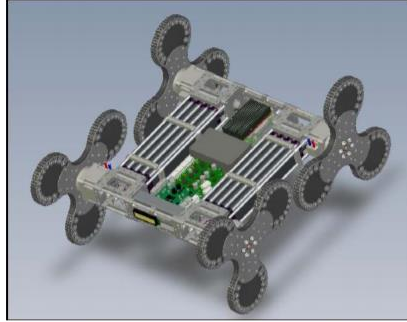
Şekil 1.8. Hanzo

Şekil 1.9. daki Space Rover robotu, uygun bir vücut duruşu sağlamak ve merdivenlerde ve engebeli arazilerde hareket kabiliyetini artırmak için tekerlekleri ve kendiliğinden ayarlanabilen bağlantıları birleştiren özel bir mekanizma tasarımına sahiptir [30].



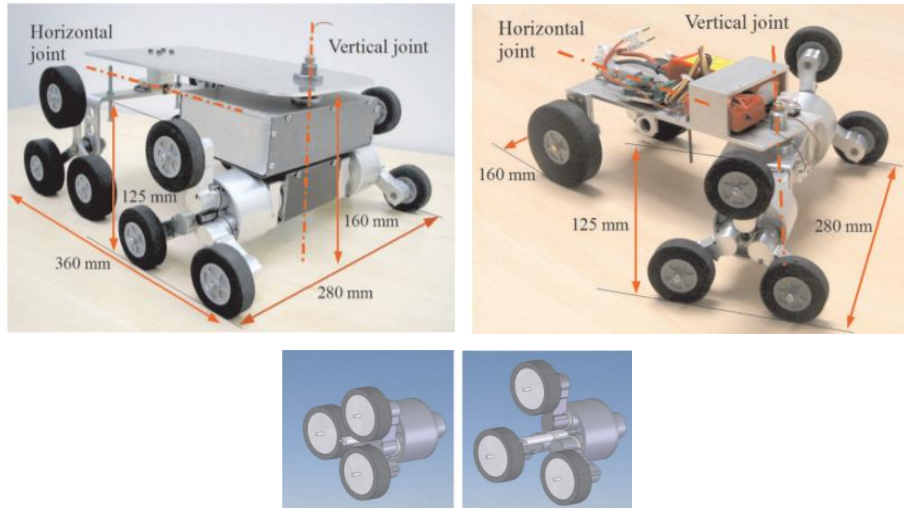
Şekil 1.9. Space Rover robot

Çeşitli ortamlarda çalışabilen çok yönlü bir robot platformu olan Loper (Şekil 1.10.) ; Tri-lob tekerleklerin benzersiz bir birleşimi ve oldukça uyumlu şasesi ile karmaşık doğal ve insan yapımı arazileri kolayca geçmesini sağlamaktadır. Dörtlü hibrit tasarım, bir şasi ve dört adet Tri-lob çarktan oluşur. Her Tri-lob tekerleği doğrudan yüksek torklu, oldukça hassas AC servo aktüatöre bağlıdır ve mekanik olarak basit ve sağlam bir yapıya sahiptir. Loper, dört Tri-lob tekerleği [31] döndürerek merdivenleri tırmanabilir.



Şekil 1.10. Loper

Şekil 1.11. deki Epi.q-1 ve Epi.q-2 robotları her bir bacağında döndürülebilir ve geri çekilebilir tekerlek kolu mekanizması vardır. Bu mekanizmanın da üzerine monte edilmiş üç tekerleğe sahiptir. Böylelikle engebeli araziye uyum sağlama ve hızlı hareket etme yeteneğini sahiptir [32].



Şekil 1.11. Epi.q-1 ve Epi.q-2 robotları ve tekerlek mekanizması

Hibrit robot tasarlamının morfolojik yollarından bir diğeri ise geleneksel tekerlekli robotlara benzer ancak gelişmiş özgün tekerlek yapısına sahip robotlardır. Gelişmiş tekerlek yapısı ile hibrit robot, tekerlekli robotlar tarafından aşılması zor olan engelleri aşabilmekte ve düz zeminde hızlı hareket edebilmektedir. Örneğin Şekil 1.12. de Whegs serisi [9-13] ve Asguard [15] bunlara iyi birer örnektir. Bu tür robotlar literatürde dönen bacaklı robot olarak da bilinir [33].



Şekil 1.12. Whegs , Asguard

Bu robotların tekerlekleri jantsızdır ve bu robotlar yalnızca bu tekerlek mekanizması ile hareket eder. Parçalı tekerlek yapısı bu robotların, bacaklı robotların yaptığı gibi engelleri aşmasına yardımcı olur. Karmaşık bacaklı ve tekerlekli robotların aksine, bu dönen bacaklı robotlarda tüm yapı ve kontrol sistemleri nispeten daha basitleşmiştir. Bununla birlikte, geleneksel tekerlekli robotların stabilitesini ve manevra kabiliyetine çok daha yakındırlar. Dönen bacaklı robotlar alanında araştırmacılar tarafından geliştirilmiş farklı tekerlek tasarım çalışmaları mevcuttur [34,35,36].



Şekil 1.13. Whegs II , Whegs VP

Şekil 1.13. teki Whegs II ve Whegs VP jantsız üç kollu tekerleklere sahiptir ve hem engebeli arazide hem de düz yüzeyde iyi bir hareket performansı gösterir [37]

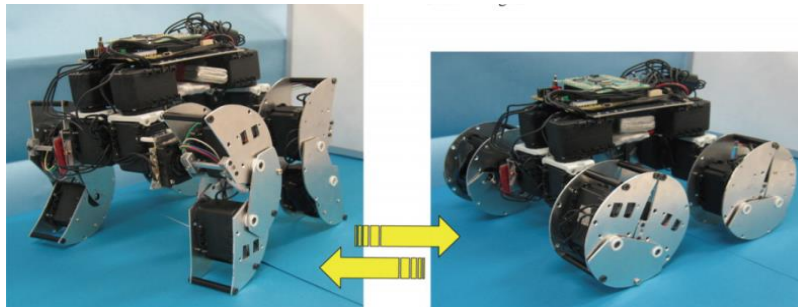
Şekil 1.14. teki Impass robot ise birbirlerine 90 derecelik açı ile yerleştirilen iki hareketli çubuk mekanizması ile oluşturulmuş tekerlek yapısına sahiptir. Engelleri tırmanırken duruş ve dengeyi korumak için aktif olarak uzunluklarını değiştirebilen çubuklar ile özgün “çerçevesiz” tekerleklere sahiptir [38].



Şekil 1.14. Impass Robot

Tüm bu robotlar özel olarak düzenlenmiş tekerlek yapısı veya ek mekanizma ile oluşturulmuştur. Bu dönen bacaklı robotlar kompakt tasarımları sebebi ile her türlü şarta uygun değildir. Bu sorunu çözmek için araştırmacılar üçüncü hibrit robot tasarım yöntemi olan dönüştürülebilir tekerlek ayaklı mobil robot tasarımını önermişlerdir.

Dönüştürülebilir mekanizma sayesinde robot yer zeminine uyum sağlayacak şekilde yapısını tekerlekli mod ve bacak mod olarak değiştirebilir. Düz arazilerde, tekerlekli mod açılır ve robotlar yumuşak, hızlı ve esnek hareketler yapabilir. Engeli arazide, bacaklı mod engelleri aşacak şekilde ayarlanmıştır. Klasik bir dönen bacaklı (parçalı tekerlekli) robotlarla karşılaştırıldığında, dönüştürülebilir tekerlekli ayaklı mobil robot, arazilere bağlı olarak daha iyi hareket durumları seçebilir. Bu nedenle, yüksek hız ve verimli tırmanma ile farklı ortamlara uyum sağlayabilirler. Dönüştürülebilir mekanizma bu tür robotlar için hayati öneme sahiptir. Son birkaç on yıldaki çalışmalar bu alanda yoğunlaşmıştır.



Şekil 1.15. Armadillo-Inspired Wheel-Leg Robot

Tadakuma isimli araştırmacı robotun her tekerleğini iki eklem ile birbirine bağlı üç s¼rekli parçaya b¼lm¼ř¼t¼r. Sonra her eklemine motor eklemiş ve şekil 1.15. teki Armadillo-Inspired Wheel-Leg Robot [39-41] adlı d¼n¼řt¼r¼lebilir tekerlekli bacak bacaklı robotu yapmıştır. Bu robotta tekerlek mekanizması parçalar, tahrik elemanları nedeniyle genişler.



şekil 1.16. TurboQuad

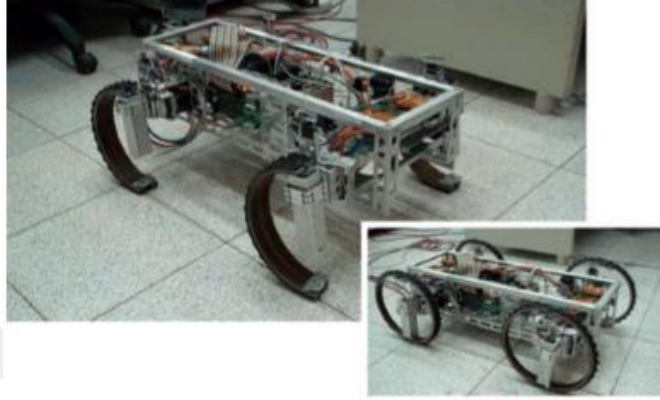
Benzer şekilde Chen isimli araştırmacı d¼n¼řt¼r¼lebilir d¼rt tekerlekli bir IKA tasarlamıştır. Tekerlek çarkını iki parçalı tasarlayan Chen, istenildiğinde tekerleğin bir bacak mekanizmasına d¼n¼ř¼m¼ sağlamıştır. (şekil 1.16.) Ona TurboQuad adını vermiştir [42]. Bu tasarımın en b¼y¼k dezavantajı tekerlek mekanizmasına ilave olarak akt¼at¼r¼leri yerleştirilmesi nedeni ile daha fazla enerji t¼ketimi yapılmasıdır.

Enerji t¼ketimini azaltmak i¼in Kim, motorsuz özel bir tetikleme cihazı ile tekerlekli mod ile tekerlek bacaklı mod arasında ge¼iři sağlamış ve bu tasarımına Transformat¼r Robot (şekil 1.17.) adını vermiştir [43,44].



şekil 1.17. Transformat¼r Robot

Yukarıda sözü edilen yarıçap genişlemesinden farklı olarak, diğer bazı araştırmacılar çalışma modları arasında dönüşümü sağlamak için aksenal itmeyi kullandılar. Shen ve Chen, Şekil 1.18. teki her daireyi tekerleği aksenal doğrultuda iki yarım daire olarak katlayan ve Qu-tipi [45,46] bir tekerleği C tipi bir bacağa dönüştüren bir mekanizma geliştirdiler.



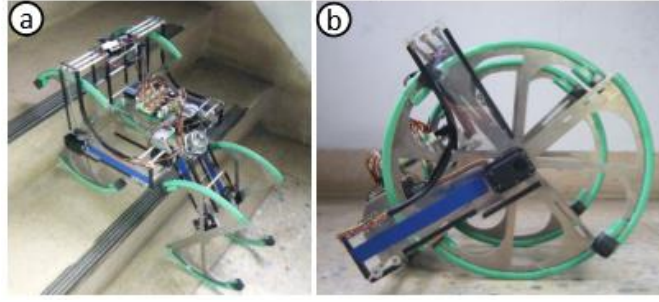
Şekil 1.18. Quattroped: a leg-wheel hybrid mobile platform

Lee isimli araştırmacı ise Şekil 1.19. daki bir origami tekerlek transformatörü robotu tasarladı [47].



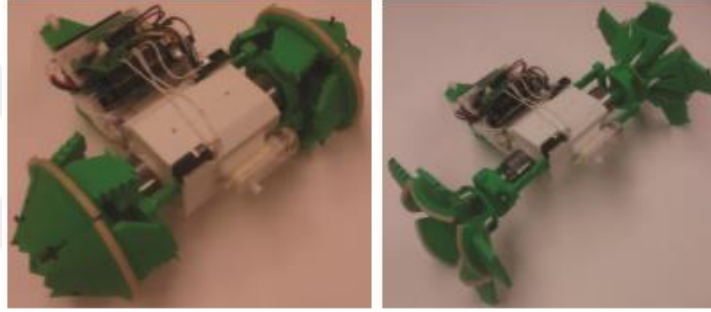
Şekil 1.19. Origami Wheel Robot

Çark yapılarını değiştirmek yerine, Chou dört çember şeklindeki bacağını çift çemberli tekerleklerden alarak bütün robot gövdesini dönüştürerek elde etti ve Şekil 1.20. de gösterilen Dönüştürülebilir Pençe Tekerleği Robot olarak adlandırdı [48].



Şekil 1.20. Dönüştürülebilir Pençe Tekerleği Robot

Dönüştürülebilir tekerlek yapısının en önemli faktörünün, dönüşümden sonra çalışma durumunun korunması yani teker stabilitesinin korunması olduğunu düşünen She ve arkadaşları çalışma modunu fiziksel temas yoluyla tutan dönüştürülebilir tekerlekli bir robot önerdi [49].



Şekil 1.21. Transformable Wheel Robot

Bu tez çalışmasındaki tasarıma da ilham veren ve araştırmacıları tarafından patent ile korunmaya alınan Whег (Şekil 1.22.) robot ise iki tekerlekli ve her bir tekerlek yıldız şeklinde açılan altı parçalı bir tekerlek yapısına sahiptir. Robot hareketlilik, manevra kabiliyeti ve yörünge kontrolü açısından oldukça güçlüdür. Düz ve engebeli arazi ve merdiven yüzeylerinde hareket yeteneğine sahiptir.



Şekil 1.22. Whег robot bacak modu ve tekerlek modu

1.2. Motivasyon ve Hedefler

Öncelikle askeri alanda olmak üzere gözlem, keşif yapma veya doğal afetlerin olduğu bölgelerde arama kurtarma gibi faaliyetlerde özellikle insanların görev yapacağı tehlikeli ortamlarda can güvenliğinin sağlanması için bir kara aracı tasarlanmak istenilmiştir.

Bu alanda yapılan çalışmalar da günümüzde gittikçe artmaktadır. Farklı tasarımlarla araçların kabiliyetleri artırılmak istenilmektedir.

Bu araştırma kapsamında da dönüştürülebilir tekerlek yapısına sahip dört tekerlekli bir insansız kara aracının tasarımı ve imalatı hedeflenmiştir. Tasarlanan İKA'nın düz bir yolda sahip olduğu tekerlek modu ile manevra kabiliyetinin ve yörünge kontrol yeteneğinin oldukça güçlü olması ve engebeli arazide ise altı parçalı tekerlek mekanizmasının açılarak merdiven ve engebeli arazide tutuş ve tırmanma yeteneğinin yüksek olması hedeflenmiştir.

1.3. Tez Organizasyonu

Bu tez çalışmasına ait bilgiler beş bölüm başlığı altında özetlenmiştir. Bölüm 2'de önerilen robotun mekanik tasarımını ve imalatı, Bölüm 3'de dönüştürülebilir tekerlek mekanizmasının kinematik ve dinamik modeli, Bölüm 4'de aracın kontrolü, Bölüm 5'de düz zeminde ve engebeli arazide aracın kaydedilen deneysel sonuçlar ve çalışmaya ilişkin genel yorumlar yer almaktadır.

Ekler kısmında ise aracın kinematik ve dinamik modeli ile MATLAB programı üzerinde simülasyonları bulunmaktadır.

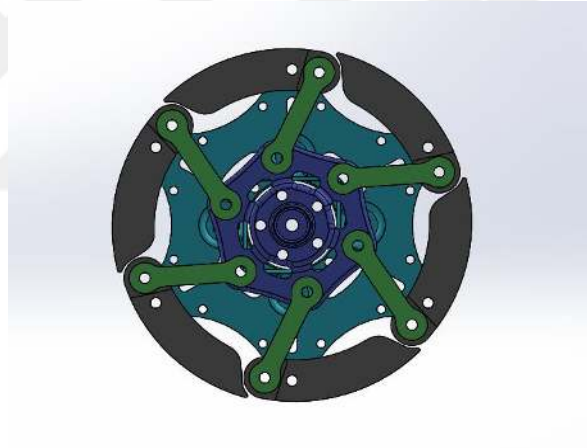
2. İNSANSIZ ROBOTİK BİR KARA ARACININ TASARIMI VE İMALATI

2.1. Tasarım

Tasarım çalışmaları SOLIDWORKS paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aracın tekerlek ve tutucu parmaklarının boyutu merdiven basamağını çıkabilecek şekilde referans alınarak tasarlanmıştır. Gövde iç hacmi ve uzunluğu da kullanılacak sensörler, motorlar, Li-Po bataryanın yerleştirilebileceği ölçülerde tasarlanmıştır. Tasarlanan bu araca RİKA ismi verilmiştir.

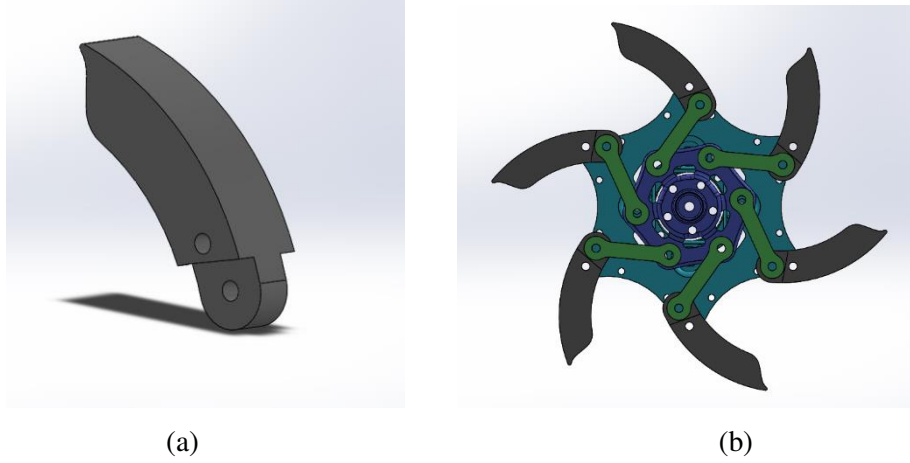
2.1.1. Tekerlek Tasarımı

RİKA için düz yolda ilerlerken engelleri aşması ve merdiven gibi yapılarda ilerleyebilmesi amacıyla dönüştürülebilir tekerlek sistemleri referans alınarak tasarım yapılmıştır. Tekerlekler açılan parmak sistemiyle iki farklı formda çalışan yapıya sahiptir.



Şekil 2.1. Transformable-wheel tekerlek yapısı. Parmakların kapalı olduğu konum görseli

Şekil 2.1. de gösterilen tekerlek sistemiyle parmaklar kapalı iken basit yuvarlak teker formunu alarak düz yolda daha hızlı ilerleyebilmektedir. Bu sayede keşif, gözlem, arama gibi görevleri daha seri şekilde yapabilmektedir.



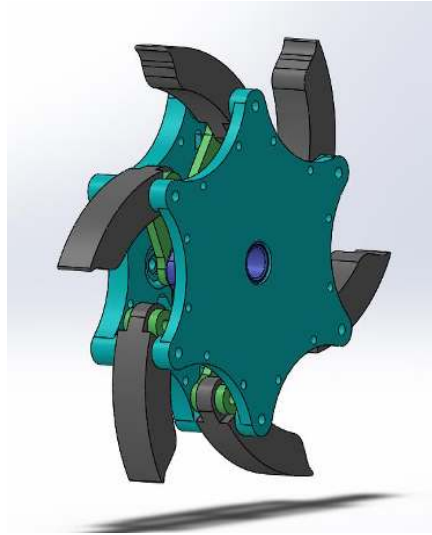
Şekil 2.2. (a) Parmak tasarımı (b) Parmakların açık olduğu konum görseli

Engelli yolda veya merdiven tırmanırken açılan parmaklar, araç gövdesinin yerden yüksekliğini de artırarak önündeki yükseltiye tutunma hareketini sağlamasıyla ilerler.

Aracın merdiveni çıkabilmesi için standart bir merdiven boyutu referans alınarak ölçülendirmeler yapılmıştır.

Ölçüler, parmaklar kapalı iken tekerlek çapı 170 mm , açık iken 265mm dir.

Şekil 2.2. (a) da gösterilen parmakların uç kısımları, tutuculuğu artırmak için sivrilendirilmiştir. Ayrıca iki disk kapağı arasındaki ara diske bağlantısı biyeller ile yapılmıştır.



Şekil 2.3. Parmakların açıkken ön görünüş

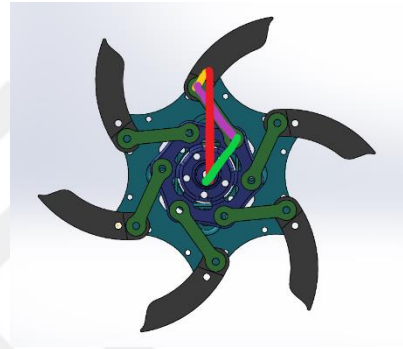
Parmakların açık konumda tutulduğu tekerlek modeli Şekil 2.2.(b) ve Şekil 2.3. te gösterilmiştir.

Transformable-wheel kapsamında tasarladığımız tekerlek modelimizde parmakların açılma ve kapanma mekanizması temelde dört kol mekanizmasıdır. Mekanizma, tekerlek içerisine yerleştirilen, mili ara diske bağlantılı olan bir motor tahriki ile çalışmaktadır.

Mekanizma çalışırken parmakların açılma hareketini sınırlandıran bir eleman tanımlanmıştır. Parmağın bağlı olduğu biyelin ön kısmında diskler arasından geçirilen bir civata bulunmaktadır. Motordan enerji verildiğinde biyel bu civataya dayanana kadar döner ve hareketi burada kısıtlanır. Bu şekilde parmakların ters açıda dönmesi engellenmiştir.

RİKA seyir halinde veya hareketsiz durumda iken bu motorlara enerji verilmesi durumunda mekanizma (Şekil 2.4) açılıp kapanabilmektedir.

- 1 No.lu uzuv (kırmızı) = 75.31mm
- 2 No.lu uzuv (yeşil) = 32.99mm
- 3 No.lu uzuv (mor) = 46mm
- 4 No.lu uzuv (sarı) = 13.07mm



Şekil 2.4. Açma Kapanma Mekanizması

2.1.2. Dişli Sistemi

RİKA'nın hareket halinde ihtiyaç duyduğu tork gücünü sağlayabilmesi için motorlara bağlı dişli sistemi kullanılmıştır

Dişliler, farklı diş sayıları ve devir sayıları olmasına rağmen birbirleriyle uyumlu olarak çalışır. Bu diş uyumu için her bir dişin, bölüm dairesi üzerinde kapladığı yay uzunluğunun, her iki dişlide de aynı olması gerekir. Bu hesaplama yöntemine de **modül değeri** denir.

Modül değerleri dişlilerde malzemenin çeşidine, diş sayısına, çevrim oranına vb. etmenlerden dolayı değişiklik gösterir. Modül değerinin hesaplanması tasarımda yapılacak ilk adımlardandır.

T : diş sayısı

d : bölüm dairesi çapıdır. Bu durumda;

$$\frac{\pi d}{T} = m \quad \text{eşitliği modül değerini verir.}$$

Birbirleriyle çalışan iki dişli için bu oranın aynı olması gerekir. Bu durumda;

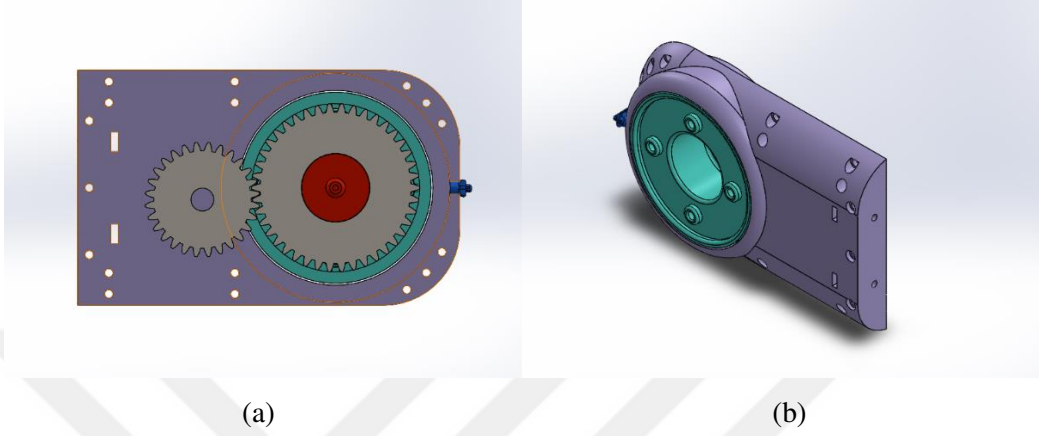
$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{T_2}{T_1} = R_{21} \quad \text{oranı sağlanmalıdır ve bu oran dişli oranıdır.}$$

Bu projede tekerleklerde kullanılan dişli çiftlerinin (Şekil 2.5.(a)) değerleri aşağıdaki gibidir;

$T_1 = 54$ adet , $d_1 = 108$ mm

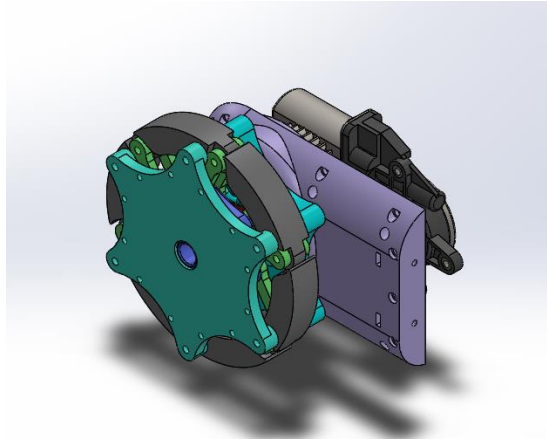
$T_2 = 16$ adet $d_2 = 32$ mm

$R_{12} = 54 / 16 = 3,375$ tir.



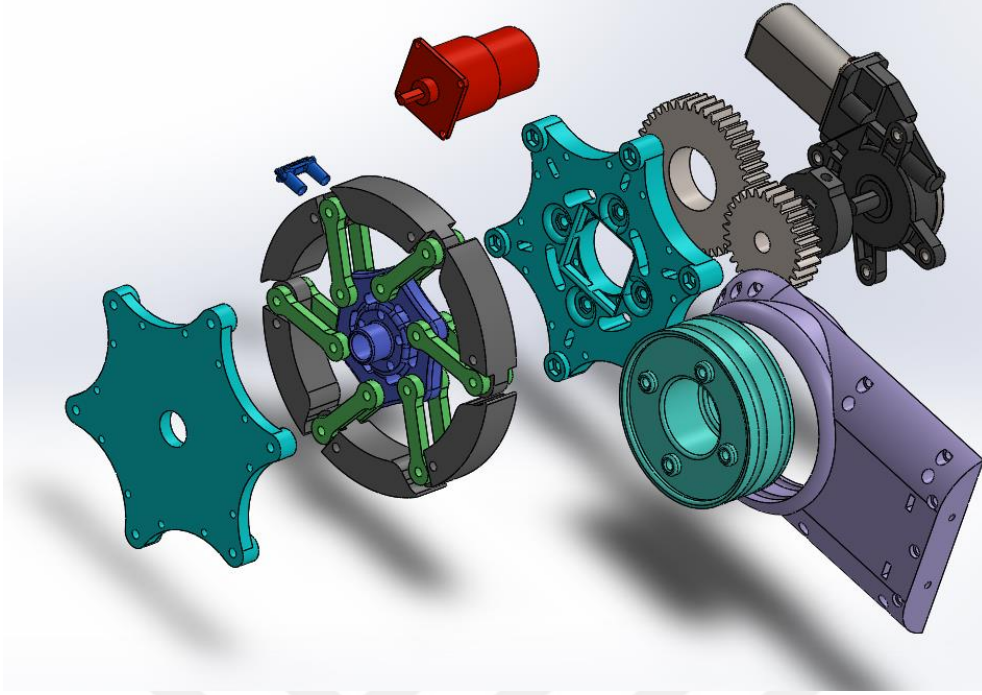
Şekil 2.5. (a) Dişli çifti , (b) Tekerlek Rulmanı Solidworks Tasarımı

Tekerin dönme hareketini kolaylaştırmak için rulman yatağı ve rulman çerçevesi parçaları Şekil 2.5.(b) deki gibi tasarlanmıştır.



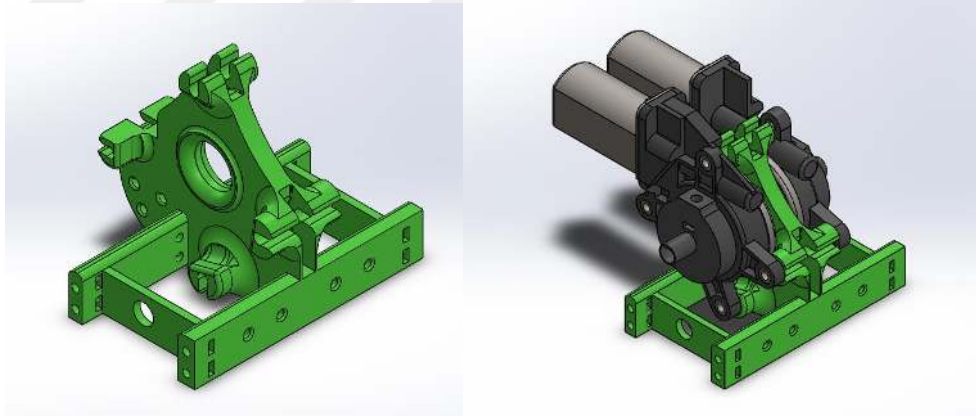
Şekil 2.6. Tekerlek Modülü Solidworks Tasarımı

Parçaların birleştirilmesiyle, bir tekerlek modülü Şekil 2.6. daki gibi oluşturulmuştur.



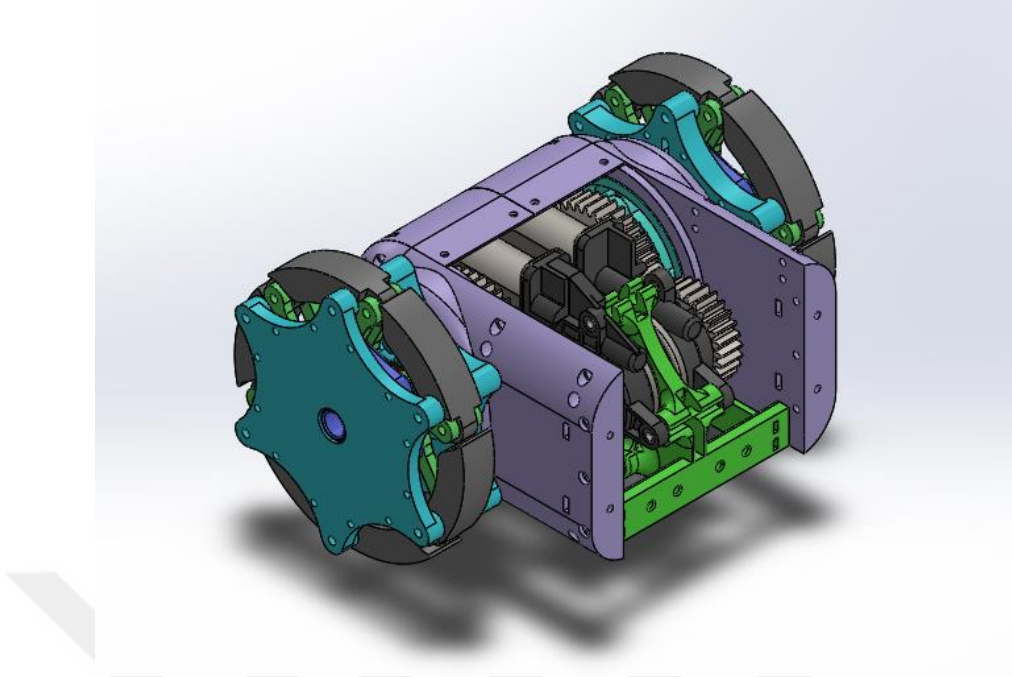
Şekil 2.7. Tekerlek Modülü Solidworks Tasarımı

Şekil 2.7. de tekerlek modülünün tüm parçalarının ayrıştırılmış şekli gösterilmektedir.



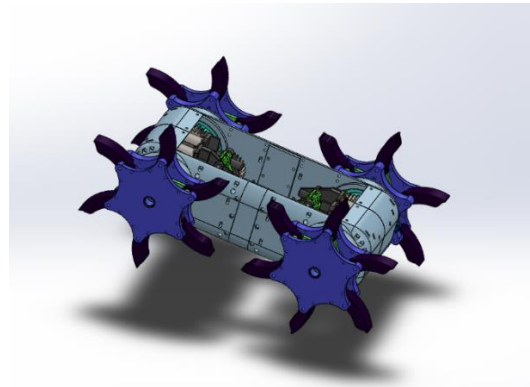
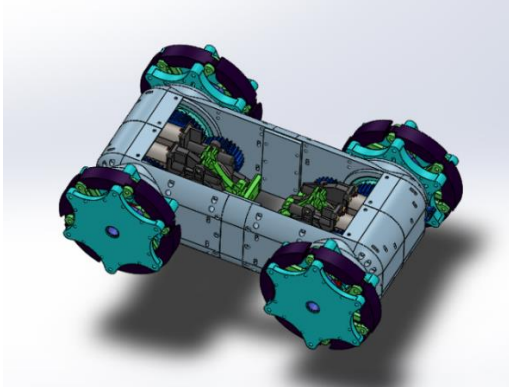
Şekil 2.8. Motor Destek Parçası Solidworks Tasarımı

Şekil 2.8. deki motor destek parçaları her bir tekerin dönmesini sağlayan motorların yerleştirilmesi için tasarlanmıştır. Ölçüler motor boyutuna göre alınıp uygun bağlantı yerleri tasarlanmıştır.



Şekil 2.9. RİKA Ön Düzen Solidworks Tasarımı

Şekil 2.9. da ön ve arka tekerlek gruplarının hem bütünlüğünü korumak hem de gövde yapısı oluşturmak için ön panel tasarımı yapılarak tekerlek modülleri birleştirilmiştir.



Şekil 2.10. RİKA Solidworks Tasarımı

Şekil 2.10. da RİKA'nın parmaklar kapalı ve parmaklar açık hali gösterilmektedir.

2.1.3. DC Motorlar

Tekerlek üzerindeki parmak açma mekanizması için gereken tork gücüne göre motor seçimi (Şekil 2.11.) yapıldı. Seçim yapılırken aracın boyutları ve ağırlığına göre hesaplamalar yapılarak karar verildi.



(a)



(b)

Şekil 2.11. DC Motorlar

Ürün Özellikleri:

(a)

- Çalışma voltaj aralığı: 12 V
- Güç: 20 W
- Boşta çektiği akım: 34 mA
- Durmada çektiği akım: 1.7 A
- Redüktör çapı: 42 mm
- Toplam uzunluk: 93 mm
- Motor çapı: 36 mm
- Mil çapı: 6 mm (D şaftlı)
- Mil uzunluğu: 17 mm
- Ağırlığı: 260 gr'dır.
- 10 rpm

(b)

- Çalışma voltaj aralığı :12 V
- Redüktör sola doğru gelicek şekilde tasarlanmıştır.
- Boşta çektiği akım:750 mA
- Toplam uzunluk: 17cm
- Mili çapı: 10mm
- Yüksek güç gerektiren projeler için uygundur.
- Arazi robotları için idealdir.

Tork Hesabı:

W= Motor hızı (rad/sn)

n= Motor devir sayısı (dev/dak)

T= Tork (Nm)

P=Güç(watt)

$$W = (2 \cdot \pi \cdot n) / 60 \quad W = (2 \cdot \pi \cdot 10) / 60 = 1.0471 \text{ rad/sn}$$

$$T = P / W \quad T = 20 \text{ (watt)} / 1.0471 \text{ (rad/sn)} = 19.1 \text{ Nm}$$

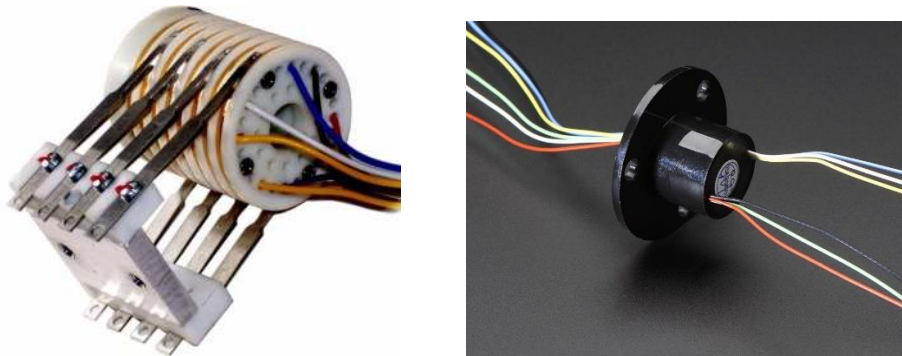
2.1.4. Slip Ring Motor

Elektromekanik bir ürün olan slip ring elektriksel gücü ve elektrik sinyallerini sabit bir yapıdan dönen bir yapıya iletimini sağlamak için kullanılan bir üründür.

Slip ring aralıklı, kesintili veya sürekli dönmesi istenen her elektromekanik sistemde güç veya veri iletimi için kullanılabilir. Bu ürünler mekanik performansı artırarak, çalışma esnasında dönen kısım ile sabit kısım arasında kablo bağlantılarının zarar görmesi engellenerek hareketli sisteme veri ve güç akışı sağlar.

Ayrıca özel olarak üretilen çok arayüzlü slip ring üniteleri de mevcuttur. Bu özel modeller elektriksel güç ve sinyallerin yanında tek ve çok kanallı fiberoptik bağlantılar, yüksek frekans ve pnömatik/ hidrolik sistemler için gaz ve akışkanların iletimi tek bir ürün üzerinden sağlanabilir.

Döner elektrik arayüzleri, akım toplayıcı iletişim bileziği, fırça tutuculu bilezik sistemi, iletişim-bileziği, dönen elektrik konnektörleri, kollektör, fırdöndü, döner mafsallı veya döner elektrik eklemleri olarak adlandırılır. En yaygın kullanımı sliring motorlar, elektrik generatörleri, paketleme makineleri, kablo tamburları, döner kameralar, rüzgar türbinleri, döner sistemlere, kontrol devrelerine güç transferi ve analog veya dijital sinyaller içeren dataları iletmek için her sistemde kullanılabilir (Şekil 2.12.) [50].



Şekil 2.12.Slip Ring Motor Örnekleri

Slip ringlerde dikkat edilmesi gereken temel özellikler vardır.

Birincisi, yalıtım özelliğidir. Bu yalıtım, teller ve dış katman arasında döngü olduğunda bile etkilenmemelidir. Tabi ki bu yalıtım ne kadar büyük olursa o kadar iyidir ancak bu slip ring'in içerisindeki yalıtkan malzemeye bağlıdır. Genelde gereken; >1000 megaohms olmalıdır.

İkincisi anti-parazit özelliğidir. Bir slip ring konnektör'ün yüksek frekanslı alternatif akım, yüksek voltajlı alternatif akım, yüksek akım AC ve DC küçük sinyaller gibi düzinelerce farklı sinyal türü iletimi gerekebilir. Halkaların arasındaki küçük mesafeden dolayı, sinyal iletimi sırasında kanallar, birbirlerine parazit etkisi yaparlar. Bu durum da alınan verilerde bozukluklara yol açar. Bu gibi problemlere önlem olarak manyetik parazitler için, elektromanyetik koruma, elektrik parazitleri için ise, elektrik alan koruması sağlanmaktadır.

Son husus ise temas direncidir. Temas direnci, fırça teli ile metal halka arasındaki dirençtir. Eğer direnç çok fazla ise yüksek akımlar slip ring'in yanmasına sebep olur. Ayrıca bilgi iletiminin etkisini etkiler. Temas malzemesinin doğru bir şekilde tanımlanması gerekir. Ayrıca metal halkanın yüzeyinin pürüzsüz ve zedelenmemiş olması gerekmektedir [51].

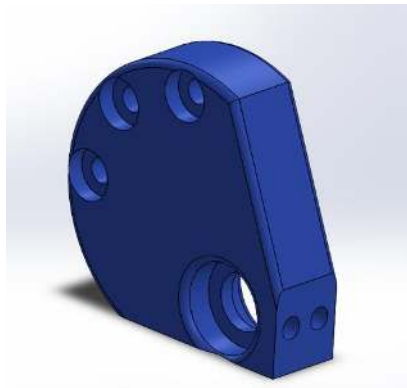
Bu projede kullandığımız slip ring motorun tamamen tasarım, üretim ve montaj kısmı özgün olarak yapılmıştır. Kayar bilezik yerine Şekil 2.13. deki bir çift iletken rulman kullanılmıştır.



Rulman; birbirine göre bağıl dönme hareketi yapan iki makine elemanının arasındaki sürtünmeyi azaltarak destekleyen makine elemanıdır. Rulmanların makinelerdeki görevi ise sorunsuz yük aktarımını sağlamaktır.

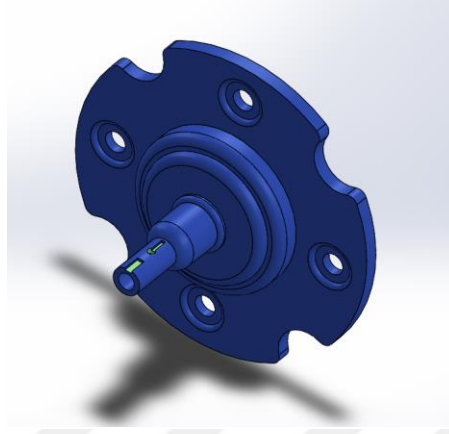
Şekil 2.13. Rulman Örneği

Slip ring tasarımında kullandığımız rulmanlar sayesinde, tekerlek içerisindeki motora, döner hareket yaparken elektriksel sinyal iletimi yapılmaktadır.



Şekil 2.14. Slip ring rulman yatak parçası Solidworks çizimi

Rulmanların yerleştirileceği Şekil 2.14. de gösterilen parçada, rulmanlar arasındaki yalıtımı sağlayabilmek için iki ayrı odacık tasarlanmıştır. Ön yüzeydeki iki delik, rulmanların dış halkasına temas ettirilen iletken tellerin çıkarılması için tasarlanmıştır.

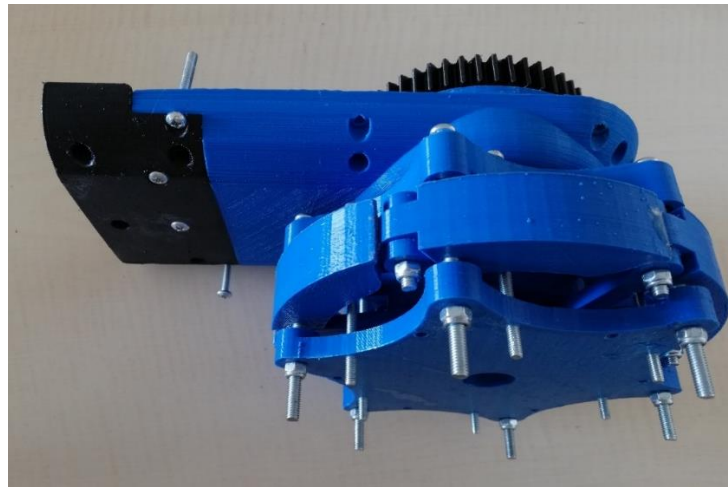


Şekil 2.15. Slip ring kablo kanalı parçası Solidworks çizimi

Şekil 2.15. teki parça hem motor uçlarındaki kabloları korumak için hem de rulmanların iç halkalarına temas sağlayabilmek için tasarlanmıştır. Yalıtımın sağlanması için kablo uçları iki ayrı uçtan çıkarılarak kanallara yerleştirilmektedir.

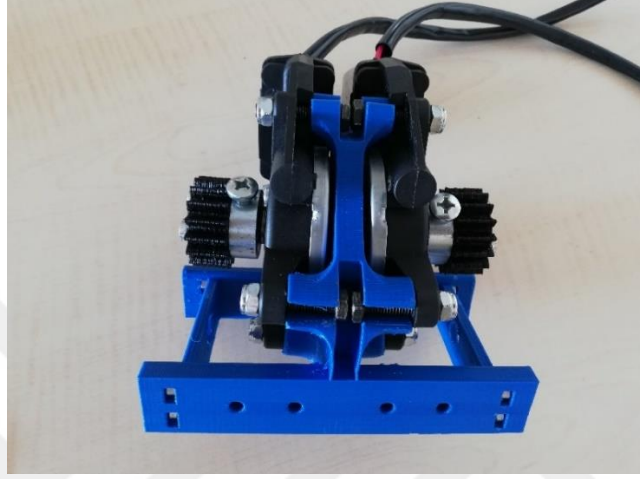
2.2. İmalat ve Montaj

Solidworks te tasarlanan tüm parçalar 3D printer da PLA filament kullanılarak üretilmiştir. Bağlantı yerleri için farklı boyutlarda M3, M4, M5 civatalar kullanılmıştır.



Şekil 2.16. Teker Modülü

Tasarlanan rulman yatak ve rulman çerçevesinin üretimi Şekil 2.16. daki gibi yapılmıştır. Rulman çerçeve olarak tanımlanan parçaya, gövde içine yerleştirilecek motorların montajı için bir uzunluk verilerek ve civata yuvaları açılmıştır. Birleşme yerlerine çift kanal açılan yatak ve çerçevesinin içerisine seramik bilyalar çift sıra şeklinde doldurulmuştur. Bilyaların doldurulduğu bölge kapakla kapatılmıştır.



Şekil 2.17. Motor Destek Parçası

Motor destek olarak tasarlanan parça Şekil 2.17. deki gibi üzerine sağ ve sol tekerleği tahrik edebilecek şekilde motorlar yerleştirilmiştir. Ön ve arka tekerlekler için araç üzerinde toplam iki adet kullanılmıştır.

Tekerin dönmesi için kullanılan motorun mili küçük dişliye bağlantılıdır. Mekanizmanın açılması için kullandığımız motorun mili ise teker içindeki ara diske bağlantılıdır. Motor milinin zamanla plastik üzerinde aşınma yapıp parçanın mukavemetini düşüreceği öngörüldüğü için motor miline uygun tasarımda metal parçalar üretilmiştir.

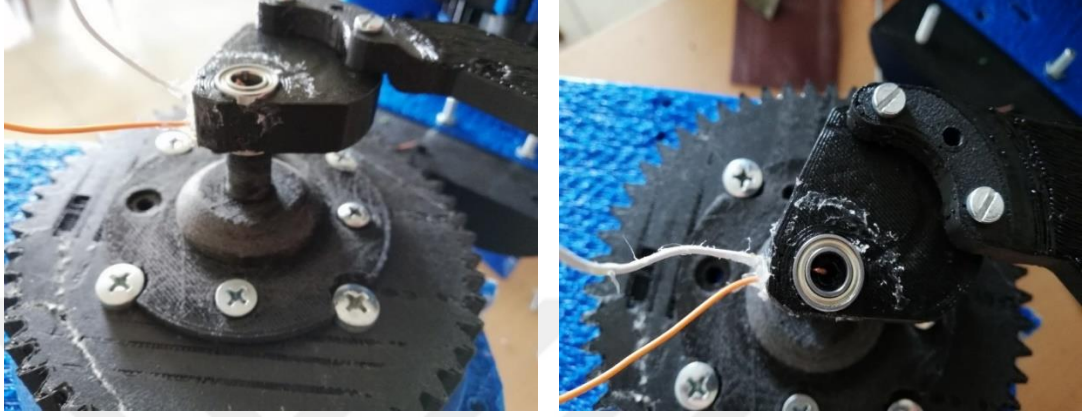


Şekil 2.18. Metal Parça

2.2.1. Slip Ring İmalatı

Slipring tasarımı kablo kanalı için ürettiğimiz parça tekerlek modülü üzerindeki büyük dişli üzerine monte edilmiştir (Şekil 2.19.) ve (Şekil 2.20). Motor uçları bu parça içinden geçirilip kanallara yerleştirilmiştir.

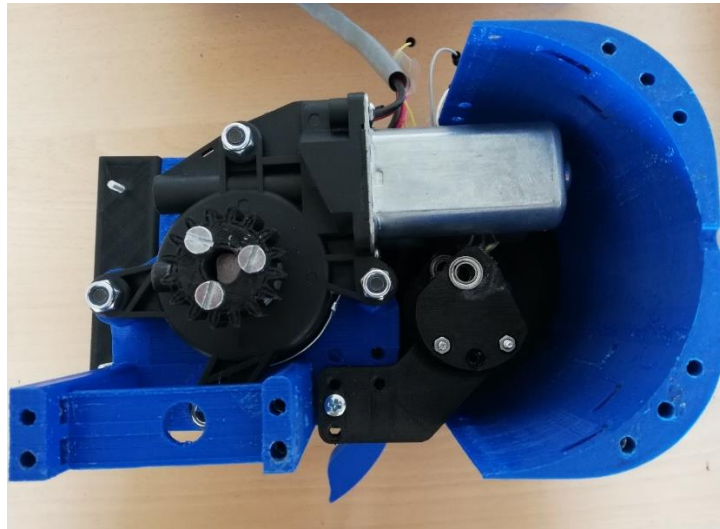
Rulmanların yatakladığı parça ise kanala oturtularak motor destek parçasına sabitlenmiştir.



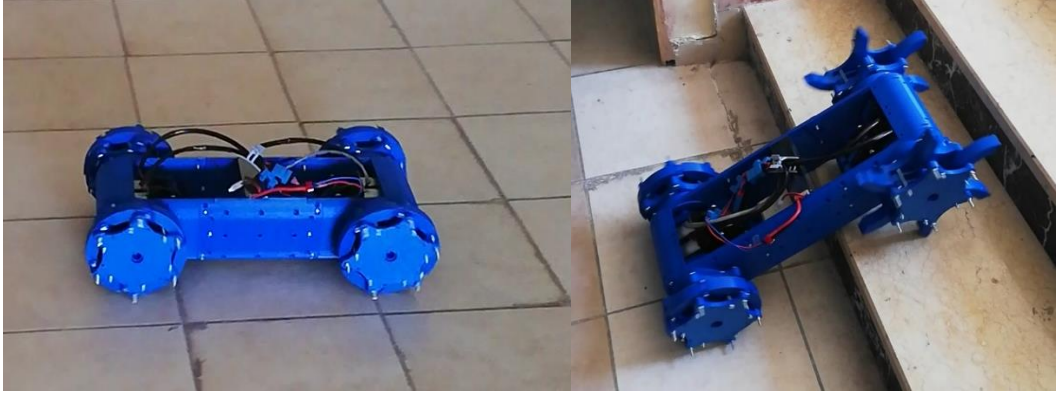
Şekil 2.19. Slip Ring Montajı

Bu şekilde tasarlanan slip ring sayesinde RİKA aracının hareket halinde iken duraksamadan, hareketten bağımsız olarak parmakları açması veya kapaması sağlanmıştır.

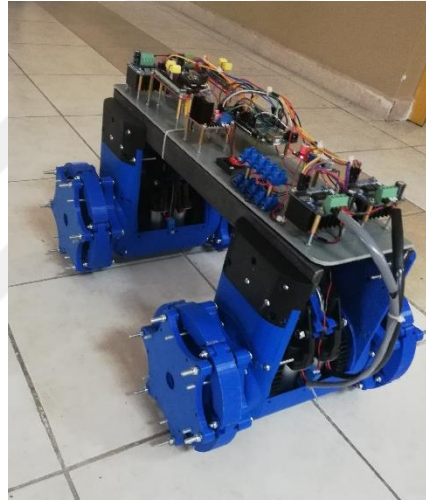
Araçtaki 4 teker için 4 tane slip ring kullanılmıştır.



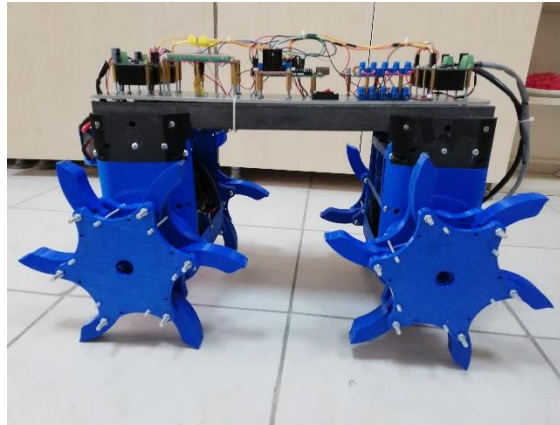
Şekil 2.20. Slip Ring montajı



Şekil 2.21. RİKA Birinci Tasarım



Şekil 2.22. RİKA İkinci Tasarım



Şekil 2.23. RİKA İkinci Tasarım

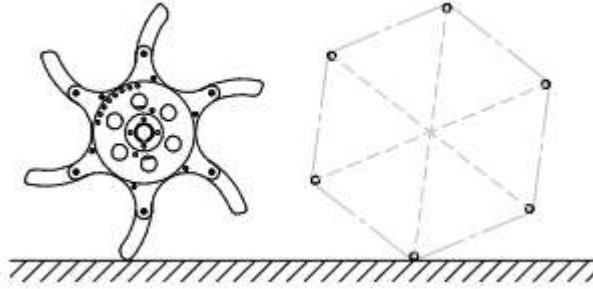
Şekil 2.21 , Şekil 2.22 ve Şekil 2.23 te RİKA nın görselleri bulunmaktadır.

3. İNSANSIZ ROBOTİK BİR KARA ARACININ KİNEMATİK VE DİNAMİK ANALİZİ

Bu bölümde düzlemsel kinematiklerin matematiksel formülasyonu ve tekerlek ayağının dinamiği türetilmiştir. Tekerlek ayağının kinematik özellikleri, sert gövde mekaniği yöntemi ve hareketli ve sabit merkezlerin Euler Savary formülasyonuna dayanan alternatif yöntem ile elde edildi. Euler-Savary yönteminin kullanılması, tekerlek bacağı uzayda kavisli veya diğer engebeli yüzey koşullarında hareketinin analiz edilmesi açısından avantajlıdır. Lagrange'in belirsiz çarpanları ile olan denklemi, maksimum uygulanan tork ve tekerlek ayağının sürtünme kuvveti arasında bir ilişki kurmak için kullanılmıştır. Tekerlek ayağının kinematik ve dinamik özelliklerinin incelenmesi, yatay düzlemde tekerlek ayağı hareketinin yalnızca temel teorik yönlerini kapsamaktadır.

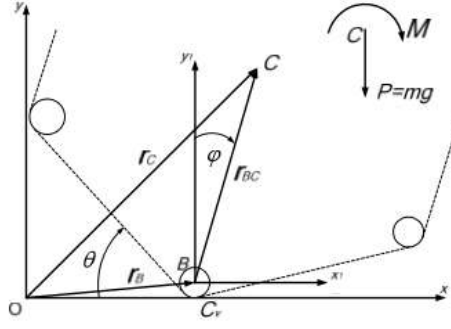
3.1. Kartezyen Referans Çerçevesinde Tekerlek Ayağı Kinematiki

Şekil 3.1'de sert bir zemin üzerinde yürümek için tasarlanmış değişken çaplı ve altı parçadan oluşan tekerleğin düzlemdeki fiziksel ve matematiksel modeli yer almaktadır. Bu altı parçalı tekerleğin her bir parçasının uç noktası referans alınır ve bu noktaların bir biri ile çizgiler ile birleştiği düşünülürse bir altıgen olarak modellenebilir. Altıgenin kenarları, sabit bir yarıçapa sahip fiziksel modelin yuvarlatılmış köşe noktalarına çizilen teğetlere karşılık gelir [52].



Şekil 3.1. Altı parçalı tekerlek ayağın fiziksel ve matematiksel modeli

Rijit cismin düzlemdeki pozisyonu, rijit cismin iki noktasının hareket esnasında herhangi bir anındaki pozisyonun tanımlanması ile belirlenebilir. Altı parçalı tekerlek ayağın merkezinin konumunu tanımlamak için, Şekil 3'teki gibi iki referans eksen tanımlanmıştır. Bunlar sabit referans eksen takımı Oxy ve sabit eksen takımına göre hareketi tanımlanan $Bx1y1$ hareketli eksen takımı [52].



Şekil 3.2. Yarımlı altıgen modelinin rotasyonu

Hareketin başlangıcında tekerlek ayağın konumu, tekerlek ayağının merkezi, zemin referans ekseninin y koordinat eksenine ile çakışmıştır ve tekerlek ayağının yuvarlatılmış köşelerine teğet açısının doğru ile x eksenine arasındaki θ açısı sıfır olacak şekilde kabul edilir[52].

Altıgen teker 1 / 6 'lık bir dönme hareketi yaptığında y koordinat eksenine göre ölçülen φ açısının $\pi - 6 / \pi / 6$ arasındaki açı değişimine bağlı olarak θ açısının değeri 0 dan $\pi / 3$ 'e kadar değişir. Altıgenin ortasındaki C merkez noktasının konum vektörü, eşitlik (1)'deki gibi ifade edilebilir[52].

$$r_c = \begin{pmatrix} x_0 + r\varphi + l\sin\varphi \\ r + l\cos\varphi \end{pmatrix} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de x_0 , r_B vektörünün O_x koordinat eksenine göre bileşenidir ve anlık dönme merkezinin başlangıç konumuna karşılık gelir; r , koordinat ekseninin O_y koordinatına göre, r_B vektörünün bileşenidir; l , r_{BC} vektörünün uzunluğu; φ $B_{x_1y_1}$ eksenine göre r_{BC} vektörünün dönüş açısıdır. Denklemin her iki tarafının bir kez türevi alınırsa aşağıdaki gibi hız ifadesi elde edilir[52].

$$\dot{r}_c = \begin{pmatrix} r\dot{\varphi} + \dot{\varphi}l\cos\varphi \\ -\dot{\varphi}l\sin\varphi \end{pmatrix} \quad (2)$$

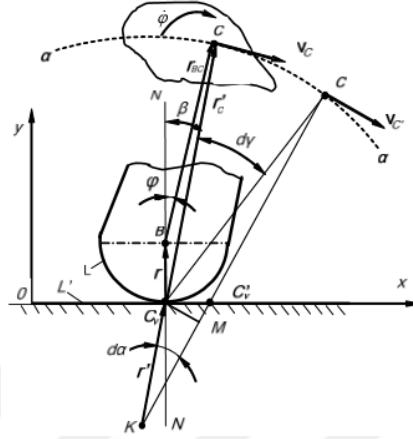
burada $\dot{\varphi}$, $B_{x_1y_1}$ referans eksenine göre r_{BC} vektörünün açısal hız vektörüdür. Denklemin her iki tarafının 2. Dereceden türevi alınırsa C merkezinin hızı eşitlik 3'deki gibi hesaplanır[52].

$$\ddot{r}_c = \begin{pmatrix} r\ddot{\varphi} + \ddot{\varphi}l\cos\varphi + -\dot{\varphi}^2l\sin\varphi \\ -\ddot{\varphi}l\sin\varphi - \dot{\varphi}^2l\cos\varphi \end{pmatrix} \quad (3)$$

Burada $\ddot{\varphi}$, r_{BC} vektörünün $B_{x_1y_1}$ referans eksenine göre açısal ivmelenmesini ifade etmektedir[52].

3.2. Tekerlek Ayağın Genel Kinematığı

Bu bölümde, tekerlek ayağın kinematik özelliklerini oluşturmanın alternatif bir yöntemi ele alınmıştır. Bu yöntem tekerlek ayağın hareketli ve sabit merkezlerinin Euler-Savary formülasyonuna dayanır. Bu yöntem, tekerlek ayağın uzayda eğimli veya düz olmayan herhangi bir yüzeylerde hareket etmesi durumunda bazı avantajlara sahiptir. Tekerlek ayağın kinematik özelliklerini elde etmek için Şekil 3.3. kullanılmıştır [52].



Şekil 3.3. Tekerlek parmağının dönmesi

Parmak L sert bir yüzey üzerinde yuvarlanırken α - α' 'nin tekerlek ayak merkezinin hareket yörüngesini göstermektedir. Bıçağın hareketi, hareketli merkezin sabit merkeze göre $\dot{\varphi}$ açısal hızı ile hareketini temsil eder. parmak sabit merkez ile temas ettiği zaman, r_{BC} vektörü dikey eksen NN'ye göre $\pi/6 \leq \varphi \leq \pi/6$ açısını oluşturur. Böylece, tekerlek bıçağının yuvarlanma süresi $0 \leq t \leq \pi/3\dot{\varphi}$ 'dir.

Tekerlek ayağın C merkezinin yörüngesinin ρ_a eğrisinin yarıçapını bulmak C noktasından ve C_v hızının anlık merkezinden bir çizgi çizilir. C noktasının yörüngesinin K eğriliğinin merkezi de bu çizgi üzerinde yer alır. Düz çizgiler CC_v ve NN arasındaki açı β dır. β ve φ açıları Eşitlik 4'deki sinüs teoremi ile ilişkilidir [52].

$$\sin\beta = \frac{l\sin\varphi}{\sqrt{l^2\sin^2\varphi + (l\cos\varphi + r)^2}} \quad (4)$$

Çok küçük zaman aralığı dt boyunca, parmak L yatay çizgi üzerinde yuvarlandığında, merkez C, C' konumuna ve ICR, C_v' konumuna döner. α - α' yörüngesine normal $C'K$, C_v' 'nin ICR'sini kesmek zorundadır. C_v noktasından CK' eğrisine bir normal çizilir ve CKC' açısını α olarak ifade edilir. $\Delta CKC'$ ve ΔKC_vM açısından eşitlik 5 yazılabilir [52].

$$\frac{CC'}{C_V M} = \frac{KC}{KC_V} = \frac{r' + r'_C}{r'} \quad (5)$$

$$CC' \approx CC_V d\gamma = r'_C d\gamma = r'_C \varphi dt \quad (6)$$

$$C_V M = C_V C'_V \cos\beta = \varphi r dt \cos\beta \quad (7)$$

Eşitlik 6-7, eşitlik 5’de yerine koyulursa Euler-Savary formülasyonu elde edilmektedir [52].

(Eşitlik 9-11)

$$\frac{r'_C}{r \cos\beta} = \frac{r' + r'_C}{r'} \quad (8)$$

Eşitlik 8’de r' değeri yalnız bırakılırsa;

$$r' = \frac{r'_C r \cos\beta}{(r'_C - r \cos\beta)} \quad (9)$$

Şekil 3.3’e göre merkez C yörüngesinin eğrilik yarıçapı Eşitlik 10’da ki gibi hesaplanır [52].

$$\rho_\alpha = r'_C + \frac{r'_C r \cos\beta}{r'_C - r \cos\beta} \quad (10)$$

Burada $\rho_\alpha = CK = r'_C + r$ olarak ifade edilir. r'_C vektörünün uzunluğu Eşitlik (11) ‘deki gibi hesaplanır[52].

$$r'_C = r + r_{BC} \quad (11)$$

r'_C vektörünün sabit referans eksene göre uzunluğu Eşitlik (12)’deki gibi yazılabilir.

$$r'_C = \sqrt{l^2 \sin^2 \varphi + (r + l \cos \varphi)^2} \quad (12)$$

Burada $\varphi = \varphi t - \pi/6$ ya eşittir. C merkezinin parametrik olarak ifadesi Eşitlik (12)’de yerine yazılırsa;

$$x_c = x_0 + \sqrt{l^2 \sin^2 \varphi + R^2 \sin \beta} \quad (13)$$

$$y_c = \sqrt{l^2 \sin^2 \varphi + R^2 \cos \beta} \quad (14)$$

$$R = r + l \cos \varphi$$

Burada x_0 , C_V ’nn ICR ’sinin başlangıç pozisyonudur. C merkezinin hızı Eşitlik (12) dikkate alınarak yazılacak olursa ;

$$v_c = \dot{\varphi} C C_V = \dot{\varphi} \sqrt{l^2 \sin^2 \varphi + R^2} \quad (15)$$

Eşitlik (15)'in zamana göre türevi alındığında, teğetsel ivme ifadesi Eşitlik (16)'daki gibi elde edilir[52].

$$a_c^r = \dot{\varphi}^2 \frac{rl \sin \varphi}{\sqrt{l^2 \sin^2 \varphi + R^2}} \quad (16)$$

burada φ = sabittir. C noktasının normal ivmelenmesi, denklem (10)ve (15) dikkate alınarak yazılırsa;

$$a_c^n = \frac{\dot{\varphi}^2 (l^2 \sin^2 \varphi + R^2)}{r_c' + \frac{r_c' r \cos \beta}{r_c - r \cos \beta}} \quad (17)$$

Burada β 'e göre tanımlanırsa;

$$\beta = \arcsin \frac{l \sin \varphi}{l^2 \sin^2 \varphi + R^2} \quad (18)$$

Eşitlik (16) ve (17) yardımıyla mutlak ivmelenme ifadesi yazılacak olursa;

$$a_c = \sqrt{(a_c^r)^2 + (a_c^n)^2} \quad (19)$$

3.3. Tekerlek Ayağın Dinamik Modeli

Sert yüzeyde hareket halindeyken tekerlek ayağa uygulanabilecek maksimum torku değerlendirmek için belirsiz katsayılar cinsinden Lagrange denklemi yazılırsa;

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\delta T}{\delta \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = Q + \lambda \frac{\partial f}{\partial q} \quad (20)$$

Eşitlik (20)'de yer alan T tekerlek ayağın kinematik enerjisi, Q genelleştirilmiş kuvvet, q ve $\dot{q}$ sırası ile genelleştirilmiş koordinatlar ve onun zaman göre türevidir, Lagrangian tarafından belirlenmemiş çarpanlar ve f, kısıtlamanın denklemdir. Genelleştirilmiş koordinatlar olarak, bıçağın yuvarlatılmış ucunun B merkezinin ortasının x koordinat eksen yönünde çevrilmesi ve bu merkez etrafında φ açısı boyunca dönmesi seçilmektedir. Seçilen genelleştirilmiş koordinatlara göre, C merkezinin konumu Eşitlik(21)'deki gibi yazılabilir [52].

$$r_c = (x + l \sin \varphi, r + l \cos \varphi)^T \quad (21)$$

Burada r , C noktasının y koordinat eksenine göre $-\pi / 6$ ile $\pi / 6$ açıları arasında dönmesi nedeni ile sabittir. Eşitlik (21)'in zamana göre türevi alındığında kinetik enerji ifadesi Eşitlik (22)'deki gibi yazılır [52].

$$T = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + 2\dot{x}\dot{\varphi}l\cos\varphi + \dot{\varphi}^2l^2) + \frac{I_r\dot{\varphi}^2}{2} \quad (22)$$

Burada I_z , tekerlek ayağının atalet momentidir. Genelleştirilmiş koordinatlara uygun f kısaltma eşitliği ise;

$$x - r\varphi - x_0 = 0 \quad (23)$$

Burada $x = r\varphi + x_0$ ve x_0 - ICR'nin başlangıç konumunu belirler. Şekil 3'e göre tekerlek ayağın P ağırlığı olarak iş yapan aktif kuvvetler ve tork tekerlek ayağın merkezine uygulanır. Sanal iş yöntemini uygulayarak, genelleştirilmiş koordinatların sanal yer değiştirmesine karşılık gelen genelleştirilmiş kuvvetleri yazılırsa;

$$Q_x = 0; Q_\varphi = M + Pl\sin\varphi \quad (24)$$

Eşitlik (22) ve. (23)'ün zamana karşılık kısmı türevleri alınırsa, Lagrange denklemleri Eşitlik(25)'de elde edilir [52].

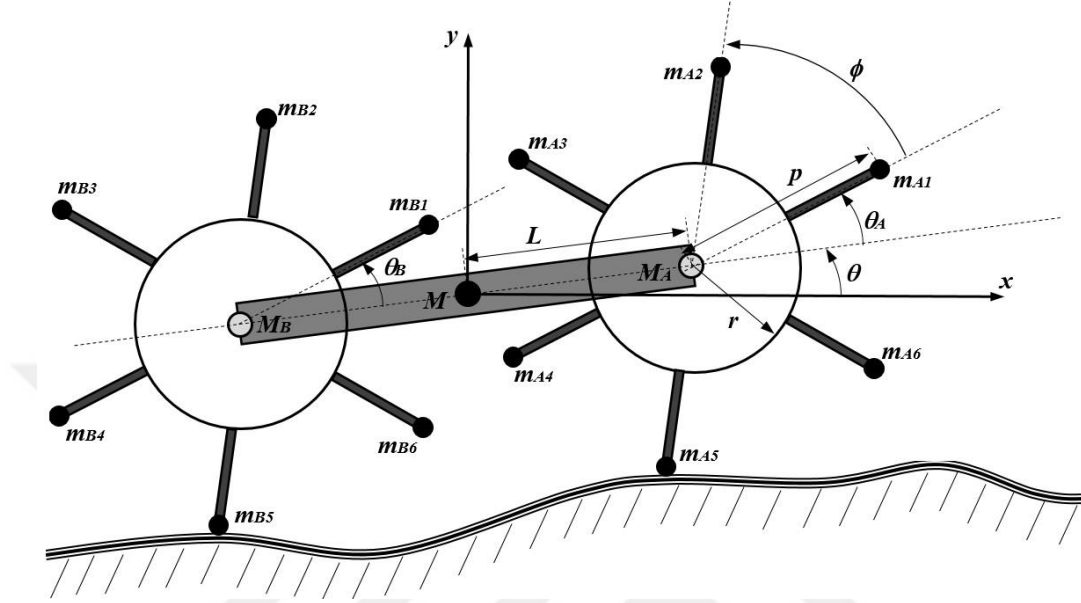
$$\begin{aligned} m(\ddot{x} + \ddot{\varphi}l\cos\varphi - \dot{\varphi}^2l\sin\varphi) &= \lambda \\ m\ddot{x}l\cos\varphi + \ddot{\varphi}(ml^2 + I_c) &= M + Pl\sin\varphi - \lambda r \end{aligned} \quad (25)$$

Eşitlik (25)'in ilk denklemi yüzey ve tekerlek ayak bıçağı arasındaki maksimum sürtünme kuvvetini ifade etmektedir. Eşitlik (25)'in ikinci denklemi ise tekerlek ayağa uygulanabilecek maksimum tork ifadesidir. Eşit (21) deki genelleştirilmiş koordinatlar birleştirilir. ICR'nin başlangıç konumunu temsil eden x_0 terimini çıkarılarak eşitlik tekrar düzenlenirse,

$$\begin{aligned} m\ddot{\varphi}(r + l\cos\varphi) - m\dot{\varphi}^2l\sin\varphi &= \lambda \\ \ddot{\varphi}(mrl\cos\varphi + ml^2 + I_c) &= M + Pl\sin\varphi - r \end{aligned} \quad (26)$$

Eşitlik (26)'da yer alan her iki denklem nümerik olarak çözülürse hem sürtünme kuvveti hem de uygulanan tork hesaplanabilir[52].

3.4. Rika 'nın Kinematik Ve Dinamik Modellenmesi



Şekil E.1.1. RİKA Fiziksel Modelleme

$$J_S = M \cdot \frac{L^2}{4} + (M_A + M_B) \cdot L^2 \quad (1)$$

$$J_A = M_A \cdot \frac{r^2}{2} \quad J_B = M_B \cdot \frac{r^2}{2} \quad (2)$$

$$\Phi_1 = 0^\circ, \quad \Phi_2 = 60^\circ, \quad \Phi_3 = 120^\circ, \quad \Phi_4 = 180^\circ, \quad \Phi_5 = 240^\circ, \quad \Phi_6 = 300^\circ \quad (3)$$

$$I_M = \frac{M}{3} L^2, \quad I_A^G = \frac{1}{2} M_A \cdot P^2, \quad I_B^G = \frac{1}{2} M_B \cdot P^2, \quad I_A = M_A \cdot L^2, \quad I_B = M_B \cdot L^2 \quad (4)$$

3.4.1. RİKA Kinematik Hesaplamalar

Konum İfadeleri:

$$XA_1 = X + L \cdot \cos\theta + P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) \quad (5)$$

$$YA_1 = Y + L \cdot \sin\theta + P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) \quad (6)$$

$$XB_1 = X - L \cdot \cos\theta + P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) \quad (7)$$

$$YB_1 = Y - L \cdot \sin\theta + P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) \quad (8)$$

Hız İfadeleri :

$$\dot{X}A_1 = \dot{X} - L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin\theta - P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) \quad (9)$$

$$\dot{Y}A_1 = \dot{Y} + L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos\theta + P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) \quad (10)$$

$$\dot{X}B_1 = \dot{X} + L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin\theta - P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) \quad (11)$$

$$\dot{Y}B_1 = \dot{Y} - L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos\theta + P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) \quad (12)$$

K.E = Kinetik Enerji

P.E = Potansiyel Enerji

$$\begin{aligned} \mathbf{K.E} = & \frac{1}{2} M \cdot \dot{X}^2 + \frac{1}{2} M \cdot \dot{Y}^2 + \frac{1}{2} I_M \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} M_A \cdot \dot{X}^2 + \frac{1}{2} M_B \cdot \dot{X}^2 + \frac{1}{2} M_A \cdot \dot{Y}^2 + \frac{1}{2} M_B \cdot \dot{Y}^2 \\ & + \frac{1}{2} I_A \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} I_B \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} I_A^G \cdot \dot{\theta}_A^2 + \frac{1}{2} I_B^G \cdot \dot{\theta}_B^2 + \frac{1}{2} M_{A1} \cdot V_{A1}^2 + \frac{1}{2} M_{B1} \cdot V_{B1}^2 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} K.E = & \frac{1}{2} (M + M_A + M_B) (\dot{X}^2 + \dot{Y}^2) + \frac{1}{2} \left(\frac{M}{3} + M_A + M_B \right) \cdot L^2 \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} I_A^G \cdot \dot{\theta}_A^2 \\ & + \frac{1}{2} I_B^G \cdot \dot{\theta}_B^2 + \frac{1}{2} M_{A1} \cdot V_{A1}^2 + \frac{1}{2} M_{B1} \cdot V_{B1}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\mathbf{P.E} = (M + M_A + M_B + \sum M_{A1} + \sum M_{B1}) \cdot G \cdot Y \quad (15)$$

Hız Bileşenlerinin Kareleri :

$$\begin{aligned}\dot{X}A_1^2 &= \dot{X}^2 + L^2 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin^2\theta + P^2 (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot \sin^2(\theta + \theta_A + \Phi_1) - 2 \cdot \dot{X} \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin\theta \\ &- 2 \cdot \dot{X} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) + 2 \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \sin\theta \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1)\end{aligned}\quad (16)$$

$$\begin{aligned}\dot{Y}A_1^2 &= \dot{Y}^2 + L^2 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos^2\theta + P^2 (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot \cos^2(\theta + \theta_A + \Phi_1) + 2 \cdot \dot{Y} \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos\theta \\ &+ 2 \cdot \dot{Y} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) + 2 \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \cos\theta \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1)\end{aligned}\quad (17)$$

$$V_{A1}^2 = \dot{X}A_1^2 + \dot{Y}A_1^2 \quad (18)$$

$$\begin{aligned}V_{A1}^2 &= \dot{X}^2 + \dot{Y}^2 + L^2 \cdot \dot{\theta}^2 + P^2 (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 - 2 \cdot \dot{X} \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin\theta \\ &- 2 \cdot \dot{X} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) + 2 \cdot \dot{Y} \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos\theta \\ &+ 2 \cdot \dot{Y} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) + 2 \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \cos(\theta_A + \Phi_1)\end{aligned}\quad (19)$$

$$\begin{aligned}\dot{X}B_1^2 &= \dot{X}^2 + L^2 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \sin^2\theta + P^2 (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot \sin^2(\theta + \theta_B + \Phi_1) + 2 \cdot \dot{X} \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin\theta \\ &- 2 \cdot \dot{X} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) + 2 \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \sin\theta \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)\end{aligned}\quad (20)$$

$$\begin{aligned}\dot{Y}B_1^2 &= \dot{Y}^2 + L^2 \cdot \dot{\theta}^2 \cdot \cos^2\theta + P^2 (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot \cos^2(\theta + \theta_B + \Phi_1) - 2 \cdot \dot{Y} \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos\theta \\ &+ 2 \cdot \dot{Y} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) - 2 \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \cos\theta \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1)\end{aligned}\quad (21)$$

$$V_{B1}^2 = \dot{X}B_1^2 + \dot{Y}B_1^2 \quad (22)$$

$$\begin{aligned}V_{B1}^2 &= \dot{X}^2 + \dot{Y}^2 + L^2 \cdot \dot{\theta}^2 + P^2 (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 + 2 \cdot \dot{X} \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot \sin\theta - 2 \cdot \dot{X} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) \\ &- 2 \cdot \dot{Y} \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot \cos\theta + 2 \cdot \dot{Y} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) - 2 \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \cos(\theta_B + \Phi_1)\end{aligned}\quad (23)$$

LAGRANGE YÖNTEMİ

$$L = \sum K.E - \sum P.E$$

$$\begin{aligned}L &= \frac{1}{2} M \cdot \dot{X}^2 + \frac{1}{2} M \cdot \dot{Y}^2 + \frac{1}{2} M \cdot \frac{L^2}{3} \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} M_A \cdot \dot{X}^2 + \frac{1}{2} M_B \cdot \dot{X}^2 + \frac{1}{2} M_A \cdot \dot{Y}^2 + \frac{1}{2} M_B \cdot \dot{Y}^2 \\ &+ \frac{1}{2} M_A \cdot L^2 \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} M_B \cdot L^2 \cdot \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{2} M_A \cdot P^2 \cdot \dot{\theta}_A^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{2} M_B \cdot P^2 \cdot \dot{\theta}_B^2 + \frac{1}{2} M_{A1} \cdot V_{A1}^2 \\ &+ \frac{1}{2} M_{B1} \cdot V_{B1}^2 - (M + M_A + M_B + \sum M_{A1} + \sum M_{B1}) \cdot G \cdot Y\end{aligned}\quad (24)$$

$$1) \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{X}} \right) - \frac{\partial L}{\partial X} = \sum F_X \quad (25)$$

$$2) \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{Y}} \right) - \frac{\partial L}{\partial Y} = \sum F_Y \quad (26)$$

$$3) \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \sum M_\theta \quad (27)$$

$$4) \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_A} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_A} = \sum M_{\theta_A} \quad (28)$$

$$5) \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_B} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_B} = \sum M_{\theta_B} \quad (29)$$

$$1. \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{X}} \right) = (M + M_A + M_B). \dot{X} + M_{A1} [\dot{X} - P.(\dot{\theta} + \dot{\theta}_A). \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1)] \\ + M_{B1} [\dot{X} - P.(\dot{\theta} + \dot{\theta}_B). \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \quad (30)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{X}} \right) = (M + M_A + M_B). \ddot{X} + M_{A1} [\ddot{X} - P.(\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_A). \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) \\ - P.(\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2. \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1)] + M_{B1} [\ddot{X} + P.(\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_B). \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) \\ + P.(\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2. \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \quad (31)$$

$$\frac{\partial L}{\partial X} = 0 \quad (32)$$

$$2. \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{Y}} \right) = (M + M_A + M_B). \dot{Y} + M_{A1} [\dot{Y} - P.(\dot{\theta} + \dot{\theta}_A). \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) \\ + M_{B1} [\dot{Y} + P.(\dot{\theta} + \dot{\theta}_B). \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \quad (33)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{Y}} \right) = (M + M_A + M_B). \ddot{Y} + M_{A1} [\ddot{Y} + P.(\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_A). \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) \\ - P.(\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1)] \\ + M_{B1} [\ddot{Y} + P.(\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_B). \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) \\ - P.(\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \quad (34)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Y} = 0 \quad (35)$$

$$\begin{aligned}
3. \quad \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = & \left(\frac{M}{3} + M_A + M_B \right) \cdot L^2 \cdot \dot{\theta} + M_{A1} [L^2 \cdot \dot{\theta} + P^2 \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) + L \cdot P (2\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \cos(\theta_A + \Phi_1) \\
& - \dot{X} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) + \dot{Y} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1)] \\
& + M_{B1} [L^2 \cdot \dot{\theta} + P^2 \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) - L \cdot P (2\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \cos(\theta_B + \Phi_1) - \dot{X} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) \\
& + \dot{Y} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \quad (36)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) = & \left(\frac{M}{3} + M_A + M_B \right) \cdot L^2 \cdot \ddot{\theta} + M_{A1} [L^2 \ddot{\theta} + P^2 \cdot (\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_A) + L \cdot P \cdot (2\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_A) \cdot \cos(\theta_A + \Phi_1) \\
& - L \cdot P \cdot \dot{\theta}_A \cdot (2\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \sin(\theta_A + \Phi_1) + \ddot{X} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) + \ddot{Y} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) \\
& - \dot{X} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) - \dot{Y} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) \\
& + M_{B1} [L^2 \ddot{\theta} + P^2 \cdot (\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_B) - L \cdot P \cdot (2\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_B) \cdot \cos(\theta_B + \Phi_1) \\
& - L \cdot P \cdot \dot{\theta}_B \cdot (2\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \sin(\theta_B + \Phi_1) - \ddot{X} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) + \ddot{Y} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) \\
& - \dot{X} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) - \dot{Y} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \quad (37)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial L}{\partial \theta} = & \frac{1}{2} M_{A1} [-2 \cdot \dot{X} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) - 2 \cdot P \cdot \dot{Y} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1)] \\
& + \frac{1}{2} M_{B1} [-2 \cdot \dot{X} \cdot P \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) - 2 \cdot P \cdot \dot{Y} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \quad (38)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
4. \quad \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_A} \right) = & I_A^G \cdot \dot{\theta}_A + M_{A1} [P^2 \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) + L \cdot P \cdot \dot{\theta} \cdot \cos(\theta_A + \Phi_1) - \dot{X} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) \\
& + \dot{Y} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1)] \quad (39)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_A} \right) = & I_A^G \cdot \ddot{\theta}_A + M_{A1} [P^2 \cdot (\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_A) + \ddot{\theta} \cdot L \cdot P \cdot \cos(\theta_A + \Phi_1) - \dot{\theta} \cdot \dot{\theta}_A \cdot L \cdot P \cdot \sin(\theta_A + \Phi_1) \\
& - \ddot{X} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) - \dot{X} \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) - \dot{X} \cdot \dot{\theta}_A \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) \\
& + \ddot{Y} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) - \dot{Y} \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) - \dot{Y} \cdot \dot{\theta}_A \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1)] \quad (39)
\end{aligned}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_A} = \frac{1}{2} M_{A1} [-2 P \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \sin(\theta_A + \Phi_1) - 2 \cdot P \cdot \dot{X} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A) \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1)] \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_B}\right) = & I_B^G \cdot \dot{\theta}_B + M_{B1} [P^2 \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) + L \cdot P \cdot \dot{\theta} \cdot \cos(\theta_B + \Phi_1) - \dot{X} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) \\ & + \dot{Y} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1)] \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_B}\right) = & I_B^G \cdot \ddot{\theta}_B + M_{B1} [P^2 \cdot (\ddot{\theta} + \ddot{\theta}_B) - \ddot{\theta} \cdot L \cdot P \cdot \cos(\theta_B + \Phi_1) + \dot{\theta} \cdot \dot{\theta}_B \cdot L \cdot P \cdot \sin(\theta_B + \Phi_1) \\ & - \ddot{X} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) - \dot{X} \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) - \dot{X} \cdot \dot{\theta}_B \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) \\ & + \ddot{Y} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) - \dot{Y} \cdot \dot{\theta} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) - \dot{Y} \cdot \dot{\theta}_B \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \end{aligned} \quad (42)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \theta_B} = \frac{1}{2} M_{B1} [2P \cdot L \cdot \dot{\theta} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \sin(\theta_B + \Phi_1) - 2P \cdot \dot{X} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B) \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \quad (43)$$

$$\begin{aligned} [T] &= [J]^T \cdot [F] \\ JA &= \begin{bmatrix} \frac{\partial X_{A1}}{\partial X} & \frac{\partial X_{A1}}{\partial Y} & \frac{\partial X_{A1}}{\partial \theta} & \frac{\partial X_{A1}}{\partial \theta_A} & \frac{\partial X_{A1}}{\partial \theta_B} \\ \frac{\partial Y_{A1}}{\partial X} & \frac{\partial Y_{A1}}{\partial Y} & \frac{\partial Y_{A1}}{\partial \theta} & \frac{\partial Y_{A1}}{\partial \theta_A} & \frac{\partial Y_{A1}}{\partial \theta_B} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (44)$$

$$JA = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -(L \sin \theta + P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1)) & -(P \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1)) & 0 \\ 0 & 1 & (L \cos \theta + P \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1)) & P \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) & 0 \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial X_{B1}}{\partial X} & \frac{\partial X_{B1}}{\partial Y} & \frac{\partial X_{B1}}{\partial \theta} & \frac{\partial X_{B1}}{\partial \theta_A} & \frac{\partial X_{B1}}{\partial \theta_B} \\ \frac{\partial Y_{B1}}{\partial X} & \frac{\partial Y_{B1}}{\partial Y} & \frac{\partial Y_{B1}}{\partial \theta} & \frac{\partial Y_{B1}}{\partial \theta_A} & \frac{\partial Y_{B1}}{\partial \theta_B} \end{bmatrix} \quad (45)$$

$$JB = \begin{bmatrix} 1 & 0 & (L \sin \theta - P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)) & 0 & -(P \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)) \\ 0 & 1 & -(L \cos \theta + P \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1)) & 0 & P \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) \end{bmatrix}$$

3.4.2. RİKA Dinamik Hesaplamalar

$$[M].[q] + [V] = [T]$$

$$[q] = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \\ \theta_A \\ \theta_B \end{bmatrix} \quad [\dot{q}] = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\theta}_A \\ \dot{\theta}_B \end{bmatrix}$$

Kısaltmalar:

$$\begin{aligned} K1 &= M_{A1} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) + M_{A2} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_2) \\ &+ M_{A3} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_3) + M_{A4} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_4) \\ &+ M_{A5} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_5) + M_{A6} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_6) \end{aligned} \quad (46)$$

$$\begin{aligned} K2 &= M_{B1} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)] + M_{B2} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_2)] \\ &+ M_{B3} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_3)] + M_{B4} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_4)] \\ &+ M_{B5} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_5)] + M_{B6} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_6)] \end{aligned} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} K3 &= M_{A1} .P. \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) + M_{A2} .P. \cos(\theta + \theta_A + \Phi_2) \\ &+ M_{A3} .P. \cos(\theta + \theta_A + \Phi_3) + M_{A4} .P. \cos(\theta + \theta_A + \Phi_4) \\ &+ M_{A5} .P. \cos(\theta + \theta_A + \Phi_5) + M_{A6} .P. \cos(\theta + \theta_A + \Phi_6) \end{aligned} \quad (48)$$

$$\begin{aligned} K4 &= M_{B1} .P. \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1)] + M_{B2} .P. \cos(\theta + \theta_B + \Phi_2)] \\ &+ M_{B3} .P. \cos(\theta + \theta_B + \Phi_3)] + M_{B4} .P. \cos(\theta + \theta_B + \Phi_4)] \\ &+ M_{B5} .P. \cos(\theta + \theta_B + \Phi_5)] + M_{B6} .P. \cos(\theta + \theta_B + \Phi_6)] \end{aligned} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} K5 &= M_{A1} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) + M_{A2} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_2) + M_{A3} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_3) \\ &+ M_{A4} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_4) + M_{A5} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_5) \\ &+ M_{A6} .P. \sin(\theta + \theta_A + \Phi_6) + M_{B1} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1)] \\ &+ M_{B2} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_2)] + M_{B3} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_3)] \\ &+ M_{B4} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_4)] + M_{B5} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_5)] \\ &+ M_{B6} .P. \sin(\theta + \theta_B + \Phi_6)] \end{aligned} \quad (50)$$

$$\begin{aligned}
K6 = & M_{A1} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) + M_{A2} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_2) \\
& + M_{A3} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_3) + M_{A4} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_4) \\
& + M_{A5} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_5) + M_{A6} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_6) \\
& + M_{B1} . P . \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) + M_{B2} . P . \cos(\theta + \theta_B + \Phi_2) \\
& + M_{B3} . P . \cos(\theta + \theta_B + \Phi_3) + M_{B4} . P . \cos(\theta + \theta_B + \Phi_4) \\
& + M_{B5} . P . \cos(\theta + \theta_B + \Phi_5) + M_{B6} . P . \cos(\theta + \theta_B + \Phi_6)
\end{aligned} \tag{51}$$

$$\begin{aligned}
K7 = & M_{A1} . (L^2 . P^2 + L . P . 2 . \cos(\theta_A + \Phi_1)) + M_{A2} . (L^2 . P^2 + L . P . 2 . \cos(\theta_A + \Phi_2)) \\
& + M_{A3} . (L^2 . P^2 + L . P . 2 . \cos(\theta_A + \Phi_3)) + M_{A4} . (L^2 . P^2 + L . P . 2 . \cos(\theta_A + \Phi_4)) \\
& + M_{A5} . (L^2 . P^2 + L . P . 2 . \cos(\theta_A + \Phi_5)) + M_{A6} . (L^2 . P^2 + L . P . 2 . \cos(\theta_A + \Phi_6)) \\
& + M_{B1} . (L^2 . P^2 - L . P . 2 . \cos(\theta_B + \Phi_1)) + M_{B2} . (L^2 . P^2 - L . P . 2 . \cos(\theta_B + \Phi_2)) \\
& + M_{B3} . (L^2 . P^2 - L . P . 2 . \cos(\theta_B + \Phi_3)) + M_{B4} . (L^2 . P^2 - L . P . 2 . \cos(\theta_B + \Phi_4)) \\
& + M_{B5} . (L^2 . P^2 - L . P . 2 . \cos(\theta_B + \Phi_5)) + M_{B6} . (L^2 . P^2 - L . P . 2 . \cos(\theta_B + \Phi_6))
\end{aligned} \tag{52}$$

$$\begin{aligned}
K8 = & M_{A1} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_1)) + M_{A2} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_2)) \\
& + M_{A3} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_3)) + M_{A4} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_4)) \\
& + M_{A5} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_5)) + M_{A6} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_6))
\end{aligned} \tag{53}$$

$$\begin{aligned}
K9 = & M_{B1} . (P^2 - L . P . \cos(\theta_B + \Phi_1)) + M_{B2} . (P^2 - L . P . \cos(\theta_B + \Phi_2)) \\
& + M_{B3} . (P^2 - L . P . \cos(\theta_B + \Phi_3)) + M_{B4} . (P^2 - L . P . \cos(\theta_B + \Phi_4)) \\
& + M_{B5} . (P^2 - L . P . \cos(\theta_B + \Phi_5)) + M_{B6} . (P^2 - L . P . \cos(\theta_B + \Phi_6))
\end{aligned} \tag{54}$$

$$\begin{aligned}
K10 = & M_{A1} . P . \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) + M_{A2} . P . \sin(\theta + \theta_A + \Phi_2) + M_{A3} . P . \sin(\theta + \theta_A + \Phi_3) \\
& + M_{A4} . P . \sin(\theta + \theta_A + \Phi_4) + M_{A5} . P . \sin(\theta + \theta_A + \Phi_5) + M_{A6} . P . \sin(\theta + \theta_A + \Phi_6)
\end{aligned} \tag{55}$$

$$\begin{aligned}
K11 = & M_{A1} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) + M_{A2} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_2) + M_{A3} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_3) \\
& + M_{A4} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_4) + M_{A5} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_5) + M_{A6} . P . \cos(\theta + \theta_A + \Phi_6)
\end{aligned} \tag{56}$$

$$\begin{aligned}
K12 = & M_{A1} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_1)) + M_{A2} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_2)) \\
& + M_{A3} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_3)) + M_{A4} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_4)) \\
& + M_{A5} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_5)) + M_{A6} . (P^2 + L . P . \cos(\theta_A + \Phi_6))
\end{aligned} \tag{57}$$

$$K13 = M_{A1} . P^2 + M_{A1} . P^2 + M_{A3} . P^2 + M_{A4} . P^2 + M_{A5} . P^2 + M_{A6} . P^2 \tag{58}$$

$$K14 = M_{B1} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) + M_{B2} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_2) + M_{B3} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_3) \\ + M_{B4} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_4) + M_{B5} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_5) + M_{B6} \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_6) \quad (59)$$

$$K15 = M_{B1} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) + M_{B2} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_2) + M_{B3} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_3) \\ + M_{B4} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_4) + M_{B5} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_5) + M_{B6} \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_6) \quad (60)$$

$$K16 = M_{B1} \cdot (P^2 - L \cdot P \cdot \cos(\theta_B + \Phi_1)) + M_{B2} \cdot (P^2 - L \cdot P \cdot \cos(\theta_B + \Phi_2)) \\ + M_{B3} \cdot (P^2 - L \cdot P \cdot \cos(\theta_B + \Phi_3)) + M_{B4} \cdot (P^2 - L \cdot P \cdot \cos(\theta_B + \Phi_4)) \\ + M_{B5} \cdot (P^2 - L \cdot P \cdot \cos(\theta_B + \Phi_5)) + M_{B6} \cdot (P^2 - L \cdot P \cdot \cos(\theta_B + \Phi_6)) \quad (61)$$

$$K17 = M_{B1} \cdot P^2 + M_{B1} \cdot P^2 + M_{B3} \cdot P^2 + M_{B4} \cdot P^2 + M_{B5} \cdot P^2 + M_{B6} \cdot P^2 \quad (62)$$

$$M = \begin{bmatrix} \sum M & 0 & -(K1 + K2) & -K1 & -K2 \\ 0 & \sum M & (K3 + K4) & K3 & K4 \\ -K5 & K6 & (Js + K7) & K8 & K9 \\ -K10 & K11 & (JA + K12) & K13 & 0 \\ -K14 & K15 & (JB + K16) & 0 & K17 \end{bmatrix} \quad (63)$$

$$V_{S_x} = M_{A1} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_1) + M_{A2} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_2) \\ + M_{A3} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_3) + M_{A4} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_4) \\ + M_{A5} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_5) + M_{A6} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_A + \Phi_6) \\ + M_{B1} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_1) + M_{B2} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_2) \\ + M_{B3} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_3) + M_{B4} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_4) \\ + M_{B5} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_5) + M_{B6} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \cos(\theta + \theta_B + \Phi_6) \quad (64)$$

$$V_{S_y} = M_{A1} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_1) + M_{A2} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_2) \\ + M_{A3} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_3) + M_{A4} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_4) \\ + M_{A5} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_5) + M_{A6} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_A)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_A + \Phi_6) \\ + M_{B1} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_1) + M_{B2} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_2) \\ + M_{B3} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_3) + M_{B4} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_4) \\ + M_{B5} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_5) + M_{B6} \cdot (\dot{\theta} + \dot{\theta}_B)^2 \cdot P \cdot \sin(\theta + \theta_B + \Phi_6) \\ - \sum M \cdot g \quad (65)$$

$$\begin{aligned}
V_{S_ \theta} = & M_{A1} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_A.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_A).\text{Sin}(\theta_A + \Phi_1)) \\
& + M_{A2} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_A.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_A).\text{Sin}(\theta_A + \Phi_2)) \\
& + M_{A3} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_A.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_A).\text{Sin}(\theta_A + \Phi_3)) \\
& + M_{A4} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_A.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_A).\text{Sin}(\theta_A + \Phi_4)) \\
& + M_{A5} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_A.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_A).\text{Sin}(\theta_A + \Phi_5)) \\
& + M_{A6} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_A.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_A).\text{Sin}(\theta_A + \Phi_6)) \\
& + M_{B1} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_B.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_B).\text{Sin}(\theta_B + \Phi_1)) \\
& + M_{B2} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_B.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_B).\text{Sin}(\theta_B + \Phi_2)) \\
& + M_{B3} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_B.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_B).\text{Sin}(\theta_B + \Phi_3)) \\
& + M_{B4} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_B.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_B).\text{Sin}(\theta_B + \Phi_4)) \\
& + M_{B5} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_B.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_B).\text{Sin}(\theta_B + \Phi_5)) \\
& + M_{B6} \cdot (-L.P. \dot{\theta}_B.(2.\dot{\theta} + \dot{\theta}_B).\text{Sin}(\theta_B + \Phi_6))
\end{aligned} \tag{66}$$

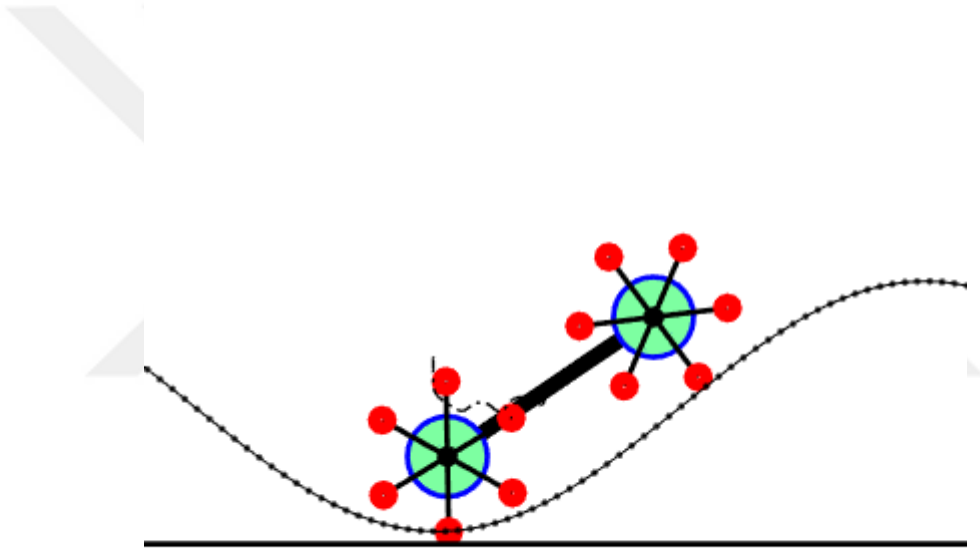
$$\begin{aligned}
V_{S_ \theta_A} = & M_{A1} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_A + \Phi_1)) + M_{A2} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_A + \Phi_2)) \\
& + M_{A3} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_A + \Phi_3)) + M_{A4} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_A + \Phi_4)) \\
& + M_{A5} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_A + \Phi_5)) + M_{A6} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_A + \Phi_6))
\end{aligned} \tag{67}$$

$$\begin{aligned}
V_{S_ \theta_B} = & M_{B1} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_B + \Phi_1)) + M_{B2} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_B + \Phi_2)) \\
& + M_{B3} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_B + \Phi_3)) + M_{B4} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_B + \Phi_4)) \\
& + M_{B5} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_B + \Phi_5)) + M_{B6} \cdot \dot{\theta}^2 \cdot L.P.\text{Sin}(\theta_B + \Phi_6))
\end{aligned} \tag{68}$$

$$V = \begin{bmatrix} -V_{S_x} \\ -V_{S_y} \\ V_{S_ \theta} \\ V_{S_ \theta_A} \\ V_{S_ \theta_B} \end{bmatrix} \tag{69}$$



Şekil 3.4. RİKA MATLAB Simulasyonu



Şekil 3.5. RİKA MATLAB Simulasyonu

Şekil 3.4. te Hesaplanan dinamik denklemler ile EK-1 de verilen RİKA nın MATLAB programı üzerinde simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Merdiven zemini üzerinde çıkarken ve inerken hareketleri simule edilerek aracın tepkileri gözlenmiştir.

Şekil 3.5. te ise merdiven zemin yerine engebeli bir zemin tasarlanarak aracın tepkileri gözlenmiştir.

4. İNSANSIZ ROBOTİK KARA ARACININ KONTROLÜ

Bu projede aracın kontrolü için Arduino Kart, MATLAB , lineer potansiyometre ve switch kullanılmıştır.

4.1. Arduino

Arduino temel olarak açık kaynaklı donanıma dayalı bir fiziki programlama platformudur. Aynı zamanda gömülü sistemler geliştirmeye olanak sağlar.

Arduino'nun DUE, Leonardo, Mega 2560, Uno, Nano, Pro gibi çeşitli modelleri vardır. Bu modeller arasında giriş/çıkış pinleri ve dahili modüllerin sayısı , boyut , çalışma gerilimleri gibi farklılıklar vardır [53] .



Şekil 4.1. Arduino Mega 2560

Projede Şekil 4.1. deki Arduino Mega 2560 kullanıldı. Arduino Mega 2560, üzerinde Atmega 2560 . mikrodenetleyicisi bulunmaktadır. 54 dijital giriş-çıkış pinine , 16 analog girişe , 4 donanımsal seri porta ve 16 mhz kristal osilatöre sahiptir. Hem USB üzerinden hem de DC adaptör üzerinden beslenebilmektedir. Genel olarak Arduno UNO ile aynı özelliklere sahip olan kart daha fazla pine sahip olmasından dolayı daha büyük projelerde tercih edilmektedir [54].

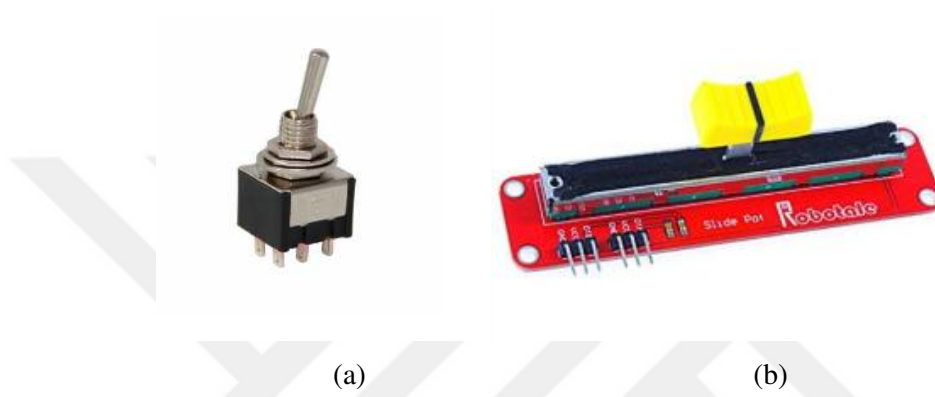
Teknik Özellikleri:

- Mikrodenetleyici : ATmega2560
- Saat Frekansı :16 MHz
- EEPROM : 4 KB
- SRAM : 8 KB
- Flash Hafıza : 256 KB (8 KB bootloader için)
- Dijital giriş / çıkış pinleri : 54 adet (Bunların 15 tanesi PWM olarak kullanılabilir)
- Analog Giriş : 16 tane
- Çalışma Gerilimi : +5V DC
- Tavsiye edilen besleme gerilimi : 7 – 12 V DC
- Besleme Gerilimi Limitleri : 6-20 V
- Giriş ve Çıkış pin başına düşen DC akım : 40 mA
- 3.3 V pini için akım : 50 mA

4.2. Anahtar

İngilizcesi “toggle switch” olarak geçen 6'lı olan anahtar hem iki yönlüdür hem de bağımsız iki anahtarlardır. Anahtarın ucunu yukarı kaldırdığınızda anahtarların orta bacağı ile diğer bacak kısa devredir aşağı indirildiğinde orta bacak ile diğer bacaklar kısa devre olur uç ortada bırakıldığında hiç bir bölüm kısa devre olmaz.

Projede Şekil 4.2. (a) daki anahtar, aracın parmaklarının açma kapama mekanizması için kullanılmıştır.



Şekil 4.2. (a) Anahtar, (b) Lineer Potansiyometre

4.3. Lineer Potansiyometre

10K Sürgülü Potansiyometre (Şekil 4.2. (b)) , üzerindeki düğme ileri-geri gittikçe değeri değişen ayarlı direnç çeşitlerindendir.

- Maksimum Direnç Değeri: 10K
- Gerilim: 3.3V-5V
- Boyut: 90*20mm
- Ağırlık: 20g
- Port: Analog

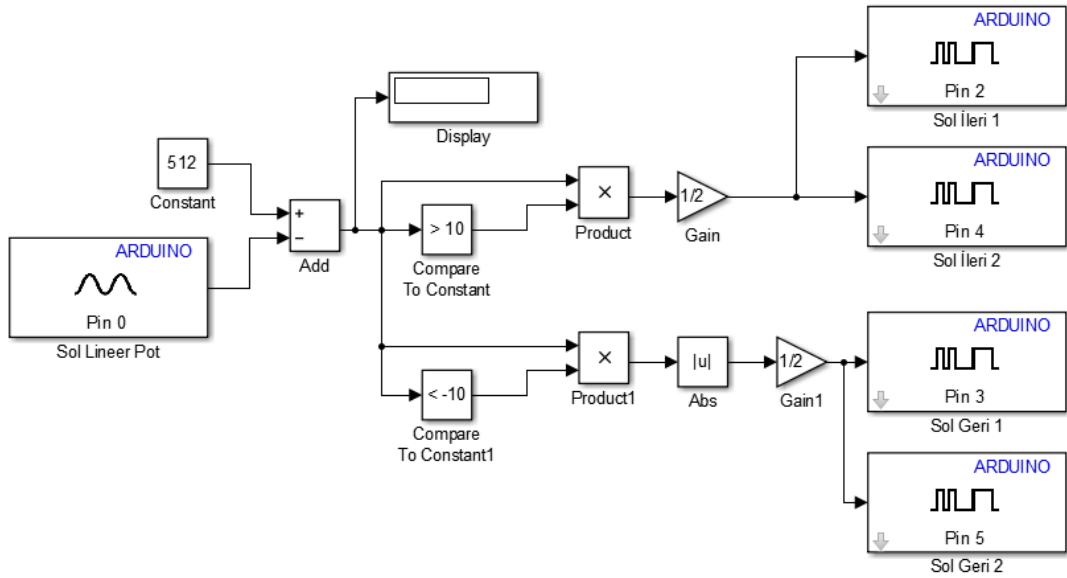
Lineer potansiyometre ile aracın hızı ve dönüş yönü kontrol edilmektedir. İki tane kullanılan potansiyometrenin bir tanesi ile üzerindeki düğme ortadaki iken araç durmakta, düğme ileri yönlü hareket ettikçe araçta ileri yönde hızlanmakta, düğmenin geri yönlü hareketinde ise araç geri yön hareketi yapmaktadır.

Programlama MATLAB Simulink üzerinde blok diyagramlar ile yapıldı.

4.4. Kontrol Yöntemi

RİKA aracın kontrolü için iki farklı sistem uygulanmıştır. İlk kontrol yönteminde iki lineer potansiyometreden biri sağ ön ve arka tekerleği, diğeri sol ön ve arka tekerleği kontrol etmek için kullanılmıştır. Potansiyometrelerin düğmesi ileri sürüldüğünde araç ileri yönde hızlanmakta, düğmeler ortada iken araç durmakta ve düğme geriye doğru itildiğinde araç geri yönde hızlanmaktadır.

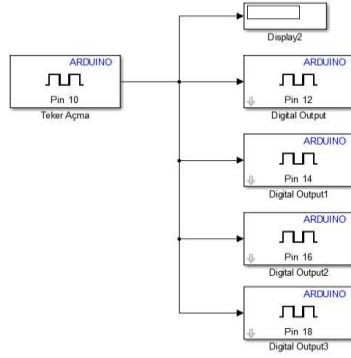
Sağ ve sol tekerlek düzenleri için ayrı potansiyometreler kullanılmaktaki amaç, aracın dönüş yönünü kontrol edebilmektir.



Şekil 4.3. Sol taraf ileri ve geri yön hız blok diyagramı

Şekil 4.3. teki blok şemada aracın sağ tarafındaki tekerleklerinin ileri yön ve geri yön hızlanıp yavaşlaması için oluşturulan program vardır.

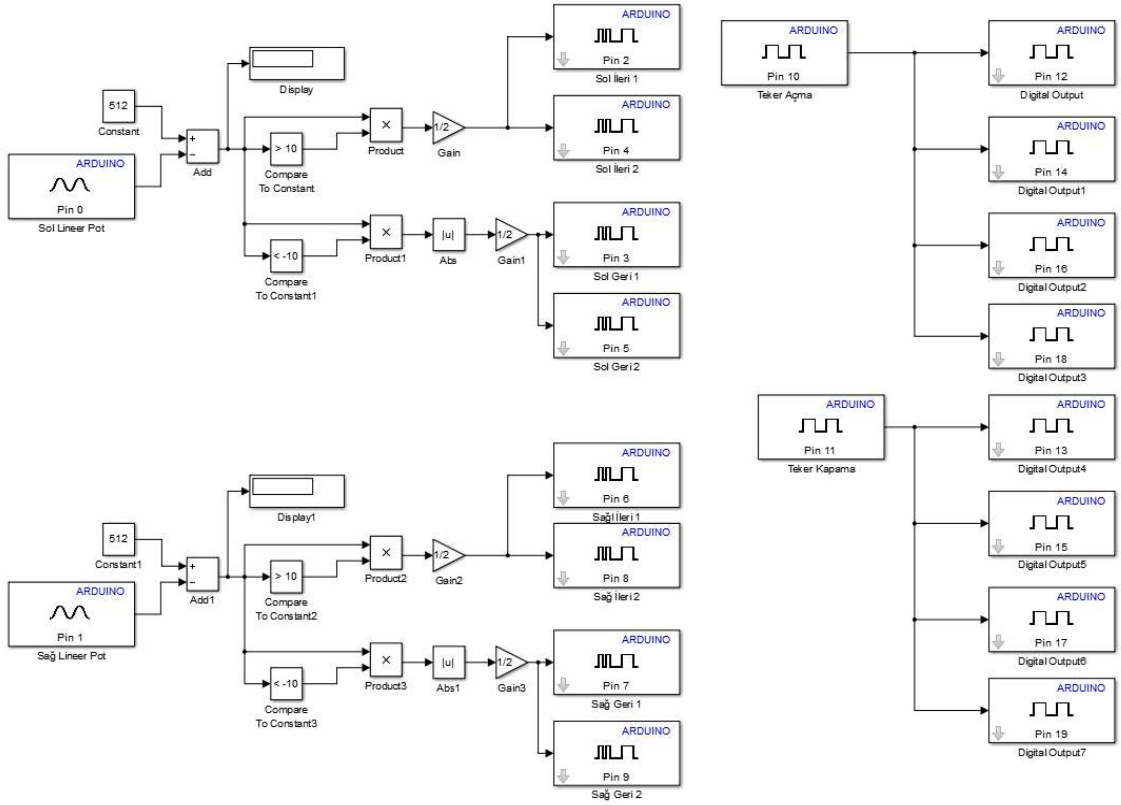
Lineer potansiyometre 0-1023 pulse aralığında çalışır. Bu programda potansiyometreden alınan analog değer, 512 değerinden çıkarılıp karşılaştırma yapılır. Çıkan değerler 1 / 2 ile çarpılarak 0 - 255 aralığında bir değer oluşmasını sağlar. Bu şekilde bağlantılı olan pinin çıkış voltajı 0- 255 PWM değeri arasında 0- 5 volt arası değişir. Değerin +10 dan büyük bir değer çıktığında sol ön ve arka tekerlek ileri yönde hareket eder. Değerin -10 dan küçük bir değer çıkması durumunda ise tekerlekler geri yönde hareket eder.



Şekil 4.4. Parmakların açılması için oluşturulan blok diyagram

Şekil 4.4. deki parmakların açma kapama mekanizmasının açma fonksiyonu için oluşturulan blok diyagramı bulunmaktadır.

4 teker için kullanılan 4 motora göre dijital input verilerek program oluşturmuştur.

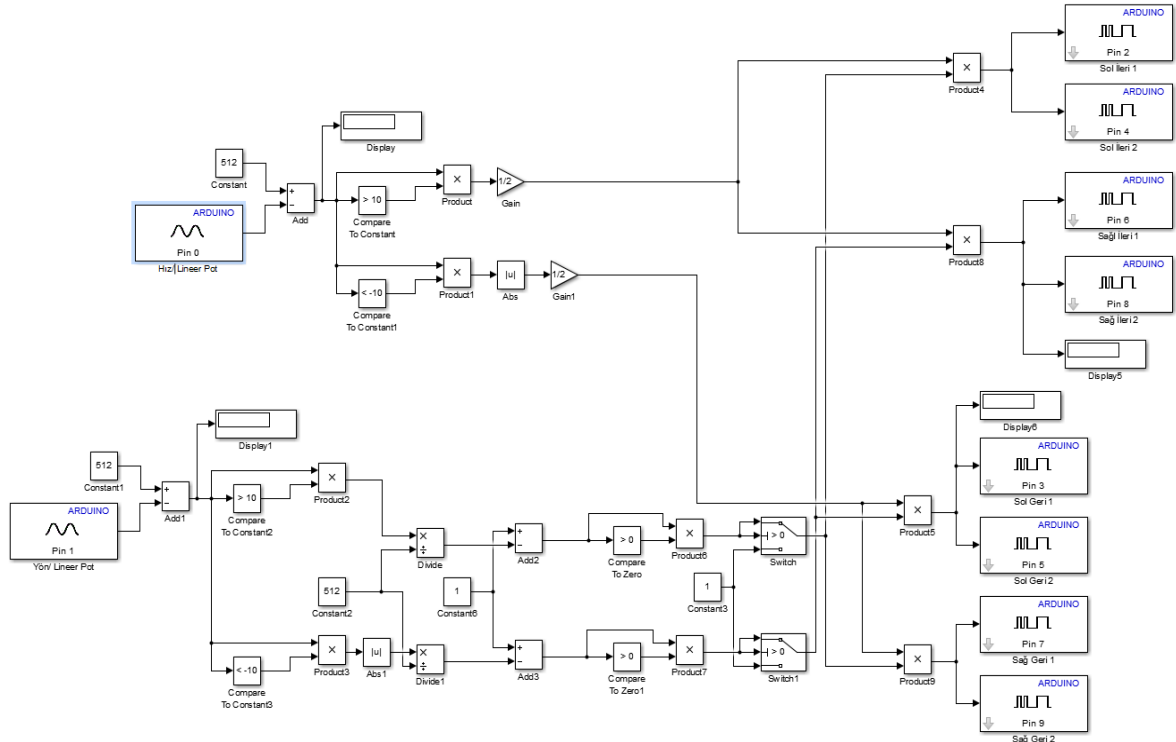


Şekil 4.5. Birinci kontrol yöntemi blok diyagramı

Şekil 4.5. te birinci kontrol yöntemi için oluşturulan tüm blok diyagramlar gösterilmektedir.

Sol teker için oluşturulan blokların aynısı sağ teker için de oluşturulmuştur. Ayrıca parmak açma kapama mekanizmasının kapama fonksiyonu için oluşturulan blok diyagram da şekilde gösterilmektedir.,

Aracın kontrolü için uygulanan 2. yöntemde ilk yöntemden farklı olarak bir lineer potansiyometre ile ileri ve geri yönde hızlanma ayarı sağlandı. Diğer potansiyometre ile de aracın sağa ve sola dönüş yönlerinin kontrolü sağlandı. Parmakların açma kapama mekanizması için oluşturan bloklar aynı şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 4.6. İkinci kontrol yöntemi blok diyagramı

Şekil 4.6. daki kontrol diyagramıyla aracın dönüş yönünün kontrolü, sağ ve sol düzenlere farklı hız ayarı verilmesi ile sağlanmıştır. Yön potansiyometresinden alınan analog giriş değeri önce orta nokta olarak ayarlanan 512 değerinden çıkarılır ve aracın sağ yöne ya da sol yöne dönmesi için karşılaştırılması yapılır. 0 ile 502 arasındaki değerlerde araç sola döner ; 522 ile 1023 arasındaki değerlerde ise araç sağa döner. Karşılaştırmadan sonra elde edilen değer 512 ile oranlanarak 1 değerinden çıkarılır. Burada amaç potansiyometredeki değişim oranına ters orantılı olarak tekerleklerin çıkış hızı vermektir. Bu şekilde potansiyometreden alınan değer 512 değeri ile arasındaki fark arttıkça tekerleklerin hızı düşmektedir. Bu da daha erken dönüş sağlamaktadır.

Potansiyometreden alınan değer 400 ise;

Önce $(512 - 400 = 112)$ işlemi yapılır. $112 > 10$ olduğu için sol tekerleklerin hızını değiştirecek işlem yapılır.

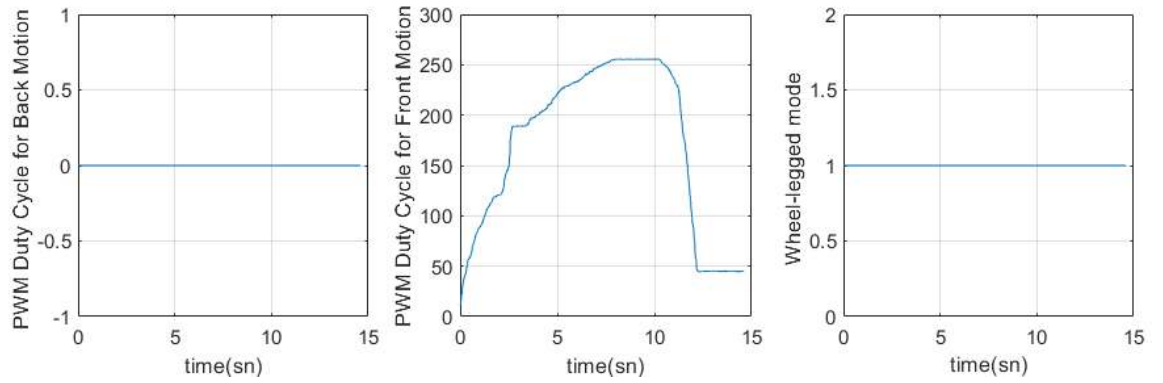
Potansiyometredeki değişim oranı hesaplanır. $(112 / 512 = 0.2188)$

Aradaki fark arttıkça tekerlek hızı düşürüleceği için $(1 - 0.2188 = 0.7813)$ işlemi yapılır.

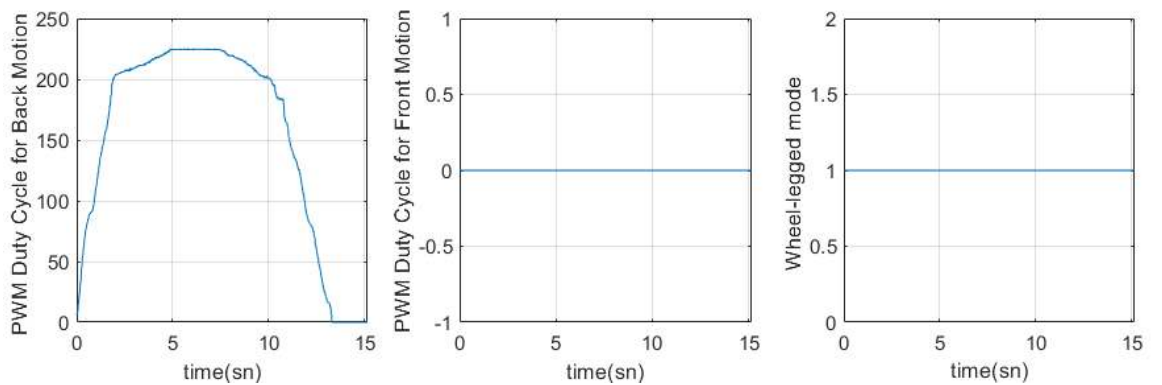
Son olarak sol tekerleklere $0.7813 * 5 \text{ V} = 3,9 \text{ V}$ değerinde çıkış verilmesi sağlanır.

4.5. Grafikler

Projedeki araç çalıştırılırken aracın ileri hızlanma, durgun, geri hızlanma ve parmakların açılıp kapanma verileri MATLAB programı üzerinde kaydedilip grafikleri çıkarılmıştır.

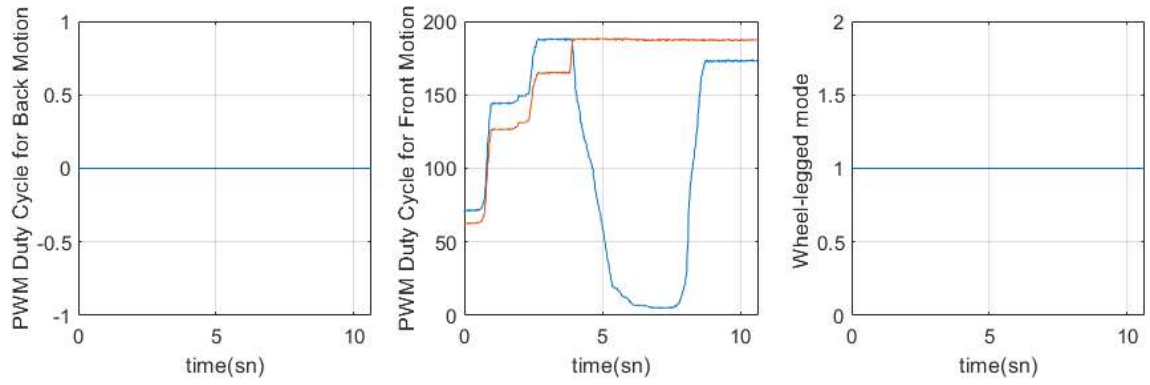


Şekil 4.7. İleri Hareket

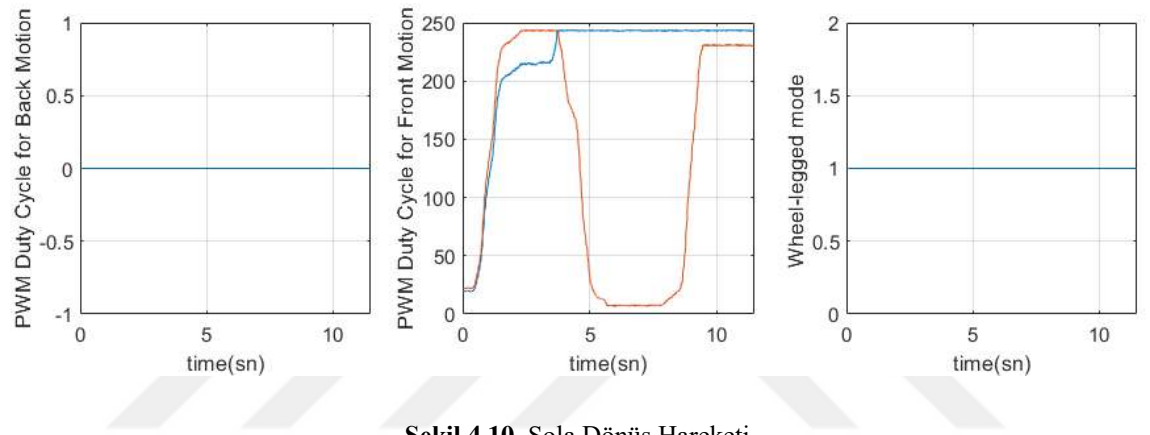


Şekil 4.8. Geri Hareket

Şekil 4.7. de aracın ileri hareketi yaparken, Şekil 4.8. de ise geri hareket yaparken lineer potansiyometreden alınan girişe göre motorlardaki PWM görev oranı gösterilmektedir.

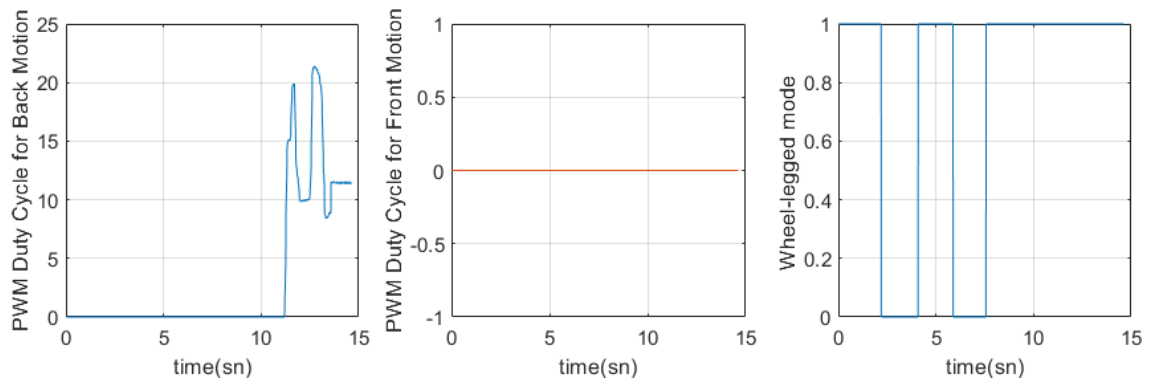


Şekil 4.9. Sağa Dönüş Hareketi



Şekil 4.10. Sola Dönüş Hareketi

Şekil 4.9. da aracın sağa dönüş hareketi yaparken, Şekil 4.10. da ise sola dönüş hareket yaparken lineer potansiyometreden alınan girişe göre motorlardaki PWM görev oranı gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Parmak açma kapama

Şekil 4.11. de Parmakların açılıp kapanmasıyla alınan sonuçlar verilmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

RİKA isminde yeni bir şekil değiştirebilir tekerlek tapısına sahip dört ayaklı hibrit bir insansız kara aracının tasarımı, imalatı ve performans değerlendirmesi bu tez çalışması kapsamında sunulmuştur. RİKA düz zeminde ilerlerken her bir tekerleğe bağlı birer adet (toplamda dört adet) tahrik motoru ile robotun ileri geri sağa ve sola yönelim hareketleri sağlanmaktadır. RİKA robot eğimli zeminde veya merdiven gibi tırmanma yüzeyi ile karşılaştığında her bir tekerleğe bağlı olan transformasyon motoru ile altı parçalı tekerlek yapısı dişli yapısı sayesinde açılmakta ve yıldız şeklini almaktadır. Böylece yüzeye tutunma ve tırmanma kabiliyeti bacaklı robotlar gibi artmaktadır. Robot, dört tekerlekten çekişli bir araç (tekerlekli mod) ve dört bacaklı (bacaklı mod) robot gibi davranabilmektedir.

RİKA robotunun tasarımı özgün olup özellikle dönüşüm mekanizması, ayrıntılı olarak açıklanmıştır. 4 DOF bağımsız tahrik sistemi tasarımı sayesinde, motor gücü her iki modda da etkili bir şekilde kullanılabilir. Bu tez çalışması mekanik tasarım (yapısal), kontrol ve yazılım altyapısını birlikte barındırmaktadır. Robotun analiz edilen dinamik modeli ile birlikte robot davranışı ve motor çalışma durumu analiz edilmiştir. Robotun hem tekerlekli hem de bacaklı modlardaki davranış performansı deneysel olarak analiz edilmiş ve sonuçlar grafikler ile sunulmuştur. Beklendiği gibi, tekerlekli modda robot daha yumuşak bir sürüş ve daha iyi güç verimliliği sağlamaktadır. Öte yandan, bacaklı modda robot engelleri veya engebeli araziye aşmak için yüksek bir mobiliteye sahiptir. Hem tekerlekli hem de bacaklı robot özelliklerini bünyesinde birleştiren robot çevreye daha iyi bir uyum sağlayabilmektedir.

Gelecek çalışmalarda robota otonom özellik kazandırabilmek ve robotun algılama yeteneğini geliştirmek için GPS, görüntü ve bir lidar gibi çeşitli sensörler kullanılması hedeflenmektedir. Algılama kabiliyetinin artması ve farklı bölgeler için bir davranış eğitiminin kazandırılması ile robota gelecekte otonom davranış geliştirme özelliğinin kazandırılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] BAI, Long, et al. An optional passive/active transformable wheel-legged mobility concept for search and rescue robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 2018, 107: 145-155.
- [2] SUN, Tao, et al. A transformable wheel-legged mobile robot: Design, analysis and experiment. *Robotics and Autonomous Systems*, 2017, 98: 30-41.
- [3] SHE, Yu; HURD, Carter J.; SU, Hai-Jun. A transformable wheel robot with a passive leg. In: *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE, 2015. p. 4165-4170.
- [4] XIE, Xiaolin, et al. Design and development of a new transformable wheel used in amphibious all-terrain vehicles (A-ATV). *Journal of Terramechanics*, 2017, 69: 45-61.
- [5] Aksoy R, Kurnaz S. İnsansız Kara Araçları Ve Muharebe Gereksinimleri. *Journal of Aeronautics & Space Technologies / Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*. 2009;4(1):1-10.
- [6] <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/insansiz-sistemler/insansiz-araclar/kaplan-insansiz-kara-araci-ailesi>
- [7] Milli Savunma Bakanlığı, Tarantula İnsansız Kara Aracı (İKA), 5 Nisan 2018 , <http://www.millisavunma.com/tarantula-insansiz-kara-araci-ika/>
- [8] Boston Dynamics, Spot, <https://www.bostondynamics.com/spot>
- [9] T.J. Allen, R.D. Quinn, R.J. Bachmann, et al., Abstracted biological principles applied with reduced actuation improve mobility of legged vehicles, in: *Intelligent Robots and Systems*, 2003. (IROS 2003) Proceedings. 2003 IEEE/RSJ International Conference on, Vol.2, IEEE, 2003, pp.1370–1375.
- [10] R.T. Schroer, M.J. Boggess, R.J. Bachmann, et al., Comparing cockroach and whegs robot body motions, in: *Robotics and Automation*, 2004 Proceedings. ICRA'04 2004 IEEE International Conference on, Vol. 4, IEEE, 2004, pp.3288–3293.
- [11] W.A.Lewinger, C.M.Harley, R.E.Ritzmann, et al., Insect-like antennal sensing for climbing and tunneling behavior in a biologically-inspired mobile robot, in: *Robotics and Automation*, 2005 ICRA 2005. Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on, IEEE, 2005, pp.4176–4181.
- [12] K.A. Daltorio, T.E. Wei, S.N. Gorb, et al., Passive foot design and contact area analysis for climbing mini-whegs, in: *Robotics and Automation*, 2007 IEEE International Conference on, IEEE, 2007, pp.1274–1279.
- [13] R.D.Quinn, J.T.Offi, D.A.Kingsley, et al., Improved mobility through abstracted biological principles, in: *Intelligent Robots and Systems*, 2002 IEEE/RSJ International Conference on, Vol.3, IEEE, 2002, pp.2652–2657.
- [14] S.D.Herbert, A.Drenner, N.Papanikolopoulos, Loper: a quadruped-hybrid stair climbing robot, in: *Robotics and Automation*, 2008 ICRA 2008 IEEE International Conference on, IEEE, 2008, pp.799–804.
- [15] M.Eich, F.Grimminger, F.Kirchner, A versatile stair-climbing robot for search and rescue applications, in: *Safety, Security and Rescue Robotics*, 2008 SSRR. 2008 IEEE International Workshop on, IEEE, 2008, pp.35–40.
- [16] Shen-Chiang Chen, Ke-Jung Huang, Wei-Hsi Chen, Shuan-Yu Shen, Cheng-Hsin Li, Quattroped: A Leg–Wheel Transformable Robot, *Ieee/Asme Transactions On Mechatronics*, Vol. 19, No. 2, April 2014
- [17] P. Liljebäck, K. Y. Pettersen, O. Stavdahl, and J. T. Gravdahl, “Snake robot locomotion in environments with obstacles,” *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 17, no. 6, pp. 1158–1169, Dec. 2012.
- [18] N. O. Perez-Arancibia, J. P. Whitney, and R. J. Wood, “Lift force control of flapping-wing microrobots using adaptive feedforward schemes,” *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, vol. 18, no. 1, pp. 155–168, Feb. 2013.

- [19] S. Lohmeier, T. Buschmann, and H. Ulbrich, "System design and control of anthropomorphic walking robot LOLA," *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, vol. 14, no. 6, pp. 658–666, Dec. 2009.
- [20] Y. D. Hong and J. H. Kim, "3-D command state-based modifiable bipedal walking on uneven terrain," *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, vol. 18, no. 2, pp. 657–663, Apr. 2013.
- [21] D. J. Braun, J. E. Mitchell, and M. Goldfarb, "Actuated dynamic walking in a seven-link biped robot," *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, vol. 17, no. 1, pp. 147–156, Feb. 2012.
- [22] F. Michaud, D. L'etourneau, M. Arsenault, Y. Bergeron, R. Cadrin, F. Gagnon, M.-A. Legault, M. Millette, J.-F. Paré, M.-C. Tremblay, P. Lepage, Y. Morin, J. Bisson, and S. Caron, "Multi-modal locomotion robotic platform using leg-track-wheel articulations," *Auton. Robots*, vol. 18, pp. 137–156, 2005.
- [23] S. Hirose, "Variable constraint mechanism and its application for design of mobile robots," *Int. J. Robot. Res.*, vol. 19, pp. 1126–1138, 2000.
- [24] J. A. Smith, I. Sharf, and M. Trentini, "PAW: A hybrid wheeled-leg robot," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2006, pp. 4043–4048.
- [25] C. Grand, F. Benamar, F. Plumet, and P. Bidaud, "Stability and traction optimization of a reconfigurable wheel-legged robot," *Int. J. Robot. Res.*, vol. 23, pp. 1041–1058, 2004.
- [26] S. Nakajima, E. Nakano, and T. Takahashi, "Motion control technique for practical use of a leg-wheel robot on unknown outdoor rough terrains," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, 2004, pp. 1353–1358.
- [27] M. Lacagnina, G. Muscato, and R. Sinatra, "Kinematics, dynamics and control of a hybrid robot Wheleg," *Robot. Auton. Syst.*, vol. 45, pp. 161–180, 2003.
- [28] Y. Takita, N. Shimoi, and H. Date, "Development of a wheeled mobile robot 'octal wheel' realized climbing up and down stairs," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, 2004, pp. 2440–2445.
- [29] N. Shiroma, Y.-H. Chiu, Z. Min, I. Kawabuchi, and F. Matsuno, "Development and control of a high maneuverability wheeled robot with variable structure functionality," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, 2006, pp. 4000–4005.
- [30] T. Estier, Y. Crausaz, B. Merminod, M. Lauria, R. Piguet, and R. Siegwart, "An innovative space rover with extended climbing abilities," in *Proc. Robotics 2000*, pp. 333–339.
- [31] S. D. Herbert, A. Drenner, and N. Papanikolopoulos, "Loper: A quadruped-hybrid stair climbing robot," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2008, pp. 799–804.
- [32] G. Quaglia, D. Maffiodo, W. Franco, S. Appendino, and R. Oderio, "The Epi.q-1 hybrid mobile robot," *Int. J. Robot. Res.*, vol. 29, pp. 81–91, 2010.
- [33] L. Bruzzone, G. Quaglia, "Locomotion systems for ground mobile robots in unstructured environments," *Mech. Sci.* 3(2)(2012)49–62.
- [34] R. Siegwart, M. Lauria, P. A. Mäusli, et al., "Design and implementation of an innovative micro-rover," in *Robotics 98*, 1998, pp. 181–187.
- [35] G. Quaglia, L. Bruzzone, R. Oderio, et al., "Epi.Q Mobile robots family," in *Proc. of the ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress & Exposition IMECE2011*, November 2011, pp. 11–17.
- [36] L. Bruzzone, P. Fanghella, "Mantis: hybrid leg-wheel ground mobile robot," *Ind. Robot: Int. J.* 41(1)(2014)26–36.
- [37] R. T. Schroer, M. J. Boggess, R. J. Bachmann, R. D. Quinn, and R. E. Ritzmann, "Comparing cockroach and whegs robot body motions," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2004, pp. 3288–3293.
- [38] J. B. Jeans and D. Hong, "IMPASS: Intelligent mobility platform with active spoke system," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, 2009, pp. 1605–1606.
- [39] Tao Suna, Weihua Sub, Hang Wub, Yimin Songa, "A transformable wheel-legged mobile robot: Design, analysis and experiment," *Robotics and Autonomous Systems*, 98(2017), 30–41.

- [40] K.Tadakuma,R.Tadakuma,A.Maruyama,etal.,Armadillo-inspiredwheel-leg retractable module, in:Robotics and Biomimetics, ROBIO, 2009 IEEE InternationalConferenceon,IEEE,2009,pp.610–615.
- [41] R. Tadakuma, A. Maruyama, E. Rohmer, K. Nagatani, Y. Kazuya, M. Aigo, M. Shimojo, M. Higashimori, and M. Kaneko, “Mechanical design of the wheel-leg hybrid mobile robot to realize a large wheel diameter,” in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst., 2010, pp. 3358– 3365.
- [42] W.H.Chen,H.S.Lin,P.C.Lin,Turboquad:aleg-wheeltransformablerobotusing bio-inspired control, in:Robotics and Automation, ICRA, 2014 IEEE InternationalConferenceon,IEEE,20142090–2090.
- [43] Y.S. Kim, G.P. Jung, H. Kim, et al., Wheel transformer: a wheel-leg hybrid robot with passive transformable wheels, IEEE Trans. Robot. 30 (6) (2014) 1487–1498.
- [44] Y.S. Kim, G.P. Jung, H. Kim, et al., Wheel transformer: a miniaturized terrain adaptive robot with passively transformed wheels, in:Robotics and Automation,ICRA,2013IEEEInternationalConferenceon,IEEE,2013,pp.5625–5630.
- [45] S.Y. Shen, C.H. Li, C.C. Cheng, et al., Design of a leg-wheel hybrid mobile platform,in:IntelligentRobotsandSystems,2009.IROS2009.IEEE/RSJInternationalConferenceon,IEEE,2009,pp.4682–4687.
- [46]S.C.Chen,K.J.Huang,W.H.Chen,etal.,Quattrope: Aleg–wheeltransformable robot,IEEE/ASMETrans.Mechatronics19(2)(2014)730–742.
- [47] D.Y. Lee, J.S. Kim, J.J. Park, et al., Fabrication of origami wheel using pattern embeddedfabricanditsapplicationtoadeformablemobilerobot,in:Robotics and Automation, ICRA, 2014 IEEE International Conference on, IEEE, 2014 2565–2565.
- [48] J.J. Chou, L.S. Yang, Innovative design of a claw-wheel transformable robot, in:Robotics and Automation, ICRA, 2013 IEEE International Conference on, IEEE,2013,pp.1337–1342.
- [49] Y. She, C.J. Hurd, H.J. Su, A transformable wheel robot with a passive leg, in:Intelligent Robots and Systems, IROS, 2015 IEEE/RSJ International Conferenceon,IEEE,2015,pp.4165–4170.
- [50] <https://www.sliprings.com.tr/tr/kategori/slip-ring/>
- [51] <http://www.sliprings.net/>
- [52] Sell, R; Aryassov, G; Petritshenko, A; Kaeeli, M, Kinematics And Dynamics Of Configurable Wheel-Leg, 8th International DAAAM Baltic Conference " Industrial Engineering 19-21 April 2012, Tallinn, Estonia
- [53] <https://www.projehocam.com/arduino-cesitleri-ve-programlama/>
- [54] TAŞDEMİR, Coşkun. *Arduino*. Dikeyksen Yayın Dağıtım, 2011.

EKLER

EK-1 : MATLAB KODLARI

```
function RiKA_Model_Merdiven_Zemin
clear all, clc
%Sistem Parametreleri
fi_1=0;    fi_2=pi/3;    fi_3=2*pi/3;    fi_4=3*pi/3;    fi_5=4*pi/3;
fi_6=5*pi/3;
M=5; MA=2; MB=2; m=.1; L=.1; P=.06; r=.06; g=9.81;
mA1=m; mA2=m; mA3=m; mA4=m; mA5=m; mA6=m;
mB1=m; mB2=m; mB3=m; mB4=m; mB5=m; mB6=m;
prm_=[M MA MB m L P r];

% Zemin Parametreleri
kzemin=100000; C_zemin=200; C_yuzey=200; nu_surtme=0;
genligi_=.00001; sabiti_=genligi_+0.000001;
frekans_=8;                                     P_X=-50:.01:50;
cnt_=genligi_*sin(frekans_*P_X)+sabiti_;

% Merdiven Parametreleri
a=.15; b=0.05;
a1=.05; b1=b;
a2=a1+a; b2=b1+b;
a3=a2+a; b3=b2+b;
a4=a3+a; b4=b3-b;
a5=a4+a; b5=b4-b;
a6=a5+a; b6=b5-b;
tol_=0.005;

%Simülasyon Parametreleri
qo=[-.20 .15 [10 0 0]*pi/180 0 0 0 0 0]; to=0; hs=.001;
for i=1:3000,    t(i,:)=to; q(i,:)=qo;    % Simülasyonun başlangıcı

% Kinematiklerin hesaplanması (Topukların konum ve hız ifadeleri)
xA1 = q(i,1) + L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_1);
xA2 = q(i,1) + L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_2);
xA3 = q(i,1) + L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_3);
xA4 = q(i,1) + L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_4);
xA5 = q(i,1) + L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_5);
xA6 = q(i,1) + L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_6);
xB1 = q(i,1) - L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_1);
xB2 = q(i,1) - L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_2);
xB3 = q(i,1) - L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_3);
xB4 = q(i,1) - L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_4);
xB5 = q(i,1) - L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_5);
xB6 = q(i,1) - L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_6);

yA1 = q(i,2) + L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_1);
yA2 = q(i,2) + L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_2);
yA3 = q(i,2) + L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_3);
yA4 = q(i,2) + L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_4);
yA5 = q(i,2) + L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_5);
yA6 = q(i,2) + L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_6);
yB1 = q(i,2) - L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_1);
yB2 = q(i,2) - L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_2);
yB3 = q(i,2) - L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_3);
```

```

yB4 = q(i,2) - L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_4);
yB5 = q(i,2) - L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_5);
yB6 = q(i,2) - L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_6);

dxA1 = q(i,6) - L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,9))*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_1);
dxA2 = q(i,6) - L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,9))*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_2);
dxA3 = q(i,6) - L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,9))*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_3);
dxA4 = q(i,6) - L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,9))*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_4);
dxA5 = q(i,6) - L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,9))*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_5);
dxA6 = q(i,6) - L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,9))*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_6);
dxB1 = q(i,6) + L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,10))*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_1);
dxB2 = q(i,6) + L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,10))*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_2);
dxB3 = q(i,6) + L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,10))*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_3);
dxB4 = q(i,6) + L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,10))*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_4);
dxB5 = q(i,6) + L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,10))*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_5);
dxB6 = q(i,6) + L*q(i,8)*sin(q(i,3)) -
P*(q(i,8)+q(i,10))*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_6);

dyA1 = q(i,7) + L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,9))*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_1);
dyA2 = q(i,7) + L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,9))*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_2);
dyA3 = q(i,7) + L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,9))*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_3);
dyA4 = q(i,7) + L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,9))*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_4);
dyA5 = q(i,7) + L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,9))*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_5);
dyA6 = q(i,7) + L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,9))*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_6);
dyB1 = q(i,7) - L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,10))*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_1);
dyB2 = q(i,7) - L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,10))*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_2);
dyB3 = q(i,7) - L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,10))*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_3);
dyB4 = q(i,7) - L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,10))*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_4);
dyB5 = q(i,7) - L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,10))*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_5);
dyB6 = q(i,7) - L*q(i,8)*cos(q(i,3)) +
P*(q(i,8)+q(i,10))*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_6);

% Jakobiyenlerin Hesaplanması
JA1=[1 0 -(L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_1)) -
P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_1) 0
0 1 (L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_1))
P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_1) 0];

```

```

JA2=[1 0 -(L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_2)) -
P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_2) 0
0 1 (L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_2))
P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_2) 0];
JA3=[1 0 -(L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_3)) -
P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_3) 0
0 1 (L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_3))
P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_3) 0];
JA4=[1 0 -(L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_4)) -
P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_4) 0
0 1 (L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_4))
P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_4) 0];
JA5=[1 0 -(L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_5)) -
P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_5) 0
0 1 (L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_5))
P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_5) 0];
JA6=[1 0 -(L*sin(q(i,3)) + P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_6)) -
P*sin(q(i,3)+q(i,4)+fi_6) 0
0 1 (L*cos(q(i,3)) + P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_6))
P*cos(q(i,3)+q(i,4)+fi_6) 0];

JB1=[1 0 (L*sin(q(i,3)) - P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_1)) 0 -
P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_1)
0 1 -(L*cos(q(i,3)) - P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_1)) 0
P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_1)];
JB2=[1 0 (L*sin(q(i,3)) - P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_2)) 0 -
P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_2)
0 1 -(L*cos(q(i,3)) - P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_2)) 0
P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_2)];
JB3=[1 0 (L*sin(q(i,3)) - P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_3)) 0 -
P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_3)
0 1 -(L*cos(q(i,3)) - P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_3)) 0
P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_3)];
JB4=[1 0 (L*sin(q(i,3)) - P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_4)) 0 -
P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_4)
0 1 -(L*cos(q(i,3)) - P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_4)) 0
P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_4)];
JB5=[1 0 (L*sin(q(i,3)) - P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_5)) 0 -
P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_5)
0 1 -(L*cos(q(i,3)) - P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_5)) 0
P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_5)];
JB6=[1 0 (L*sin(q(i,3)) - P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_6)) 0 -
P*sin(q(i,3)+q(i,5)+fi_6)
0 1 -(L*cos(q(i,3)) - P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_6)) 0
P*cos(q(i,3)+q(i,5)+fi_6)];

```

```

% Zemin Temas Şartlarının sağlanması Zemin kuvvetlerinin
hesaplanması

```

```

FdxA1=0; FdyA1=0; FsxA1=0; FsyA1=0;
if yA1<0, refyA1=0; FdyA1=-kzemin*(yA1-refyA1)-C_zemin*(dyA1);
FsxA1=-C_yuzey*(dxA1); end
if xA1>=a1 && xA1<a2 && yA1<(b1-tol_), refxA1=a1; FdxA1=-
kzemin*(xA1-refxA1)-C_zemin*(dxA1); FsyA1=-C_yuzey*(dyA1); end
if xA1>=(a1+tol_) && xA1<(a2+tol_) && yA1<b1, refyA1=b1; FdyA1=-
kzemin*(yA1-refyA1)-C_zemin*(dyA1); FsxA1=-C_yuzey*(dxA1); end

if xA1>=a2 && xA1<a3 && yA1<(b2-tol_), refxA1=a2; FdxA1=-
kzemin*(xA1-refxA1)-C_zemin*(dxA1); FsyA1=-C_yuzey*(dyA1); end

```

```

        if xA1>=(a2+tol_) && xA1<(a3+tol_) && yA1<b2, refyA1=b2; FdyA1=-
kzemin*(yA1-refyA1)-C_zemin*(dyA1); FsxA1=-C_yuzey*(dxA1); end

        if xA1>=a3 && xA1<(a3+2*tol_) && yA1<(b3-tol_), refxA1=a3;
FdxA1=-kzemin*(xA1-refxA1)-C_zemin*(dxA1); FsyA1=-C_yuzey*(dyA1); end
        if xA1<=a4 && xA1>(a4-2*tol_) && yA1<(b3-tol_), refxA1=a4;
FdxA1=-kzemin*(xA1-refxA1)-C_zemin*(dxA1); FsyA1=-C_yuzey*(dyA1); end
        if xA1>=(a3-tol_) && xA1<=(a4-tol_) && yA1<b3, refyA1=b3;
FdyA1=-kzemin*(yA1-refyA1)-C_zemin*(dyA1); FsxA1=-C_yuzey*(dxA1); end

        if xA1<=a5 && xA1>(a5-2*tol_) && yA1<(b4-tol_), refxA1=a5;
FdxA1=-kzemin*(xA1-refxA1)-C_zemin*(dxA1); FsyA1=-C_yuzey*(dyA1); end
        if xA1<=(a5-tol_) && xA1>(a4-tol_) && yA1<b4, refyA1=b4;
FdyA1=-kzemin*(yA1-refyA1)-C_zemin*(dyA1); FsxA1=-C_yuzey*(dxA1); end

        if xA1<=a6 && xA1>(a6-2*tol_) && yA1<(b5-tol_), refxA1=a6;
FdxA1=-kzemin*(xA1-refxA1)-C_zemin*(dxA1); FsyA1=-C_yuzey*(dyA1); end
        if xA1<=(a6-tol_) && xA1>(a5-tol_) && yA1<b5, refyA1=b5;
FdyA1=-kzemin*(yA1-refyA1)-C_zemin*(dyA1); FsxA1=-C_yuzey*(dxA1); end

        if xA1>a6 && xA1<5 && yA1<b6, refyA1=b6; FdyA1=-kzemin*(yA1-
refyA1)-C_zemin*(dyA1); FsxA1=-C_yuzey*(dxA1); end
        FA1x=FdxA1+FsxA1; FA1y=FdyA1+FsyA1;
        FA1=[FA1x;FA1y];

        FdxA2=0; FdyA2=0; FsxA2=0; FsyA2=0;
        if yA2<0, refyA2=0; FdyA2=-kzemin*(yA2-refyA2)-C_zemin*(dyA2);
FsxA2=-C_yuzey*(dxA2); end
        if xA2>=a1 && xA2<a2 && yA2<(b1-tol_), refxA2=a1; FdxA2=-
kzemin*(xA2-refxA2)-C_zemin*(dxA2); FsyA2=-C_yuzey*(dyA2); end
        if xA2>=(a1+tol_) && xA2<(a2+tol_) && yA2<b1, refyA2=b1; FdyA2=-
kzemin*(yA2-refyA2)-C_zemin*(dyA2); FsxA2=-C_yuzey*(dxA2); end

        if xA2>=a2 && xA2<a3 && yA2<(b2-tol_), refxA2=a2; FdxA2=-
kzemin*(xA2-refxA2)-C_zemin*(dxA2); FsyA2=-C_yuzey*(dyA2); end
        if xA2>=(a2+tol_) && xA2<(a3+tol_) && yA2<b2, refyA2=b2; FdyA2=-
kzemin*(yA2-refyA2)-C_zemin*(dyA2); FsxA2=-C_yuzey*(dxA2); end

        if xA2>=a3 && xA2<(a3+2*tol_) && yA2<(b3-tol_), refxA2=a3;
FdxA2=-kzemin*(xA2-refxA2)-C_zemin*(dxA2); FsyA2=-C_yuzey*(dyA2); end
        if xA2<=a4 && xA2>(a4-2*tol_) && yA2<(b3-tol_), refxA2=a4;
FdxA2=-kzemin*(xA2-refxA2)-C_zemin*(dxA2); FsyA2=-C_yuzey*(dyA2); end
        if xA2>=(a3-tol_) && xA2<=(a4-tol_) && yA2<b3, refyA2=b3;
FdyA2=-kzemin*(yA2-refyA2)-C_zemin*(dyA2); FsxA2=-C_yuzey*(dxA2); end

        if xA2<=a5 && xA2>(a5-2*tol_) && yA2<(b4-tol_), refxA2=a5;
FdxA2=-kzemin*(xA2-refxA2)-C_zemin*(dxA2); FsyA2=-C_yuzey*(dyA2); end
        if xA2<=(a5-tol_) && xA2>(a4-tol_) && yA2<b4, refyA2=b4;
FdyA2=-kzemin*(yA2-refyA2)-C_zemin*(dyA2); FsxA2=-C_yuzey*(dxA2); end

        if xA2<=a6 && xA2>(a6-2*tol_) && yA2<(b5-tol_), refxA2=a6;
FdxA2=-kzemin*(xA2-refxA2)-C_zemin*(dxA2); FsyA2=-C_yuzey*(dyA2); end
        if xA2<=(a6-tol_) && xA2>(a5-tol_) && yA2<b5, refyA2=b5;
FdyA2=-kzemin*(yA2-refyA2)-C_zemin*(dyA2); FsxA2=-C_yuzey*(dxA2); end

```

```

        if xA2>a6 && xA2<5 && yA2<b6, refyA2=b6; FdyA2=-kzemin*(yA2-
refyA2)-C_zemin*(dyA2); FsxA2=-C_yuzey*(dxA2); end
        FA2x=FdxA2+FsxA2; FA2y=FdyA2+FsyA2;
        FA2=[FA2x;FA2y];

        FdxA3=0; FdyA3=0; FsxA3=0; FsyA3=0;
        if yA3<0, refyA3=0; FdyA3=-kzemin*(yA3-refyA3)-C_zemin*(dyA3);
FsxA3=-C_yuzey*(dxA3); end
        if xA3>=a1 && xA3<a2 && yA3<(b1-tol_), refxA3=a1; FdxA3=-
kzemin*(xA3-refxA3)-C_zemin*(dxA3); FsyA3=-C_yuzey*(dyA3); end
        if xA3>=(a1+tol_) && xA3<(a2+tol_) && yA3<b1, refyA3=b1; FdyA3=-
kzemin*(yA3-refyA3)-C_zemin*(dyA3); FsxA3=-C_yuzey*(dxA3); end

        if xA3>=a2 && xA3<a3 && yA3<(b2-tol_), refxA3=a2; FdxA3=-
kzemin*(xA3-refxA3)-C_zemin*(dxA3); FsyA3=-C_yuzey*(dyA3); end
        if xA3>=(a2+tol_) && xA3<(a3+tol_) && yA3<b2, refyA3=b2; FdyA3=-
kzemin*(yA3-refyA3)-C_zemin*(dyA3); FsxA3=-C_yuzey*(dxA3); end

        if xA3>=a3 && xA3<(a3+2*tol_) && yA3<(b3-tol_), refxA3=a3;
FdxA3=-kzemin*(xA3-refxA3)-C_zemin*(dxA3); FsyA3=-C_yuzey*(dyA3); end
        if xA3<=a4 && xA3>(a4-2*tol_) && yA3<(b3-tol_), refxA3=a4;
FdxA3=-kzemin*(xA3-refxA3)-C_zemin*(dxA3); FsyA3=-C_yuzey*(dyA3); end
        if xA3>=(a3-tol_) && xA3<=(a4-tol_) && yA3<b3, refyA3=b3;
FdyA3=-kzemin*(yA3-refyA3)-C_zemin*(dyA3); FsxA3=-C_yuzey*(dxA3); end

        if xA3<=a5 && xA3>(a5-2*tol_) && yA3<(b4-tol_), refxA3=a5;
FdxA3=-kzemin*(xA3-refxA3)-C_zemin*(dxA3); FsyA3=-C_yuzey*(dyA3); end
        if xA3<=(a5-tol_) && xA3>(a4-tol_) && yA3<b4, refyA3=b4;
FdyA3=-kzemin*(yA3-refyA3)-C_zemin*(dyA3); FsxA3=-C_yuzey*(dxA3); end

        if xA3<=a6 && xA3>(a6-2*tol_) && yA3<(b5-tol_), refxA3=a6;
FdxA3=-kzemin*(xA3-refxA3)-C_zemin*(dxA3); FsyA3=-C_yuzey*(dyA3); end
        if xA3<=(a6-tol_) && xA3>(a5-tol_) && yA3<b5, refyA3=b5;
FdyA3=-kzemin*(yA3-refyA3)-C_zemin*(dyA3); FsxA3=-C_yuzey*(dxA3); end

        if xA3>a6 && xA3<5 && yA3<b6, refyA3=b6; FdyA3=-kzemin*(yA3-
refyA3)-C_zemin*(dyA3); FsxA3=-C_yuzey*(dxA3); end
        FA3x=FdxA3+FsxA3; FA3y=FdyA3+FsyA3;
        FA3=[FA3x;FA3y];

        FdxA4=0; FdyA4=0; FsxA4=0; FsyA4=0;
        if yA4<0, refyA4=0; FdyA4=-kzemin*(yA4-refyA4)-C_zemin*(dyA4);
FsxA4=-C_yuzey*(dxA4); end
        if xA4>=a1 && xA4<a2 && yA4<(b1-tol_), refxA4=a1; FdxA4=-
kzemin*(xA4-refxA4)-C_zemin*(dxA4); FsyA4=-C_yuzey*(dyA4); end
        if xA4>=(a1+tol_) && xA4<(a2+tol_) && yA4<b1, refyA4=b1; FdyA4=-
kzemin*(yA4-refyA4)-C_zemin*(dyA4); FsxA4=-C_yuzey*(dxA4); end

        if xA4>=a2 && xA4<a3 && yA4<(b2-tol_), refxA4=a2; FdxA4=-
kzemin*(xA4-refxA4)-C_zemin*(dxA4); FsyA4=-C_yuzey*(dyA4); end
        if xA4>=(a2+tol_) && xA4<(a3+tol_) && yA4<b2, refyA4=b2; FdyA4=-
kzemin*(yA4-refyA4)-C_zemin*(dyA4); FsxA4=-C_yuzey*(dxA4); end

        if xA4>=a3 && xA4<(a3+2*tol_) && yA4<(b3-tol_), refxA4=a3;
FdxA4=-kzemin*(xA4-refxA4)-C_zemin*(dxA4); FsyA4=-C_yuzey*(dyA4); end

```

```

        if xA4<=a4 && xA4>(a4-2*tol_) && yA4<(b3-tol_), refxA4=a4;
FdxA4=-kzemin*(xA4-refxA4)-C_zemin*(dxA4); FsyA4=-C_yuzey*(dyA4); end
        if xA4>=(a3-tol_) && xA4<=(a4-tol_) && yA4<b3, refyA4=b3;
FdyA4=-kzemin*(yA4-refyA4)-C_zemin*(dyA4); FsxA4=-C_yuzey*(dxA4); end

        if xA4<=a5 && xA4>(a5-2*tol_) && yA4<(b4-tol_), refxA4=a5;
FdxA4=-kzemin*(xA4-refxA4)-C_zemin*(dxA4); FsyA4=-C_yuzey*(dyA4); end
        if xA4<=(a5-tol_) && xA4>(a4-tol_) && yA4<b4, refyA4=b4;
FdyA4=-kzemin*(yA4-refyA4)-C_zemin*(dyA4); FsxA4=-C_yuzey*(dxA4); end

        if xA4<=a6 && xA4>(a6-2*tol_) && yA4<(b5-tol_), refxA4=a6;
FdxA4=-kzemin*(xA4-refxA4)-C_zemin*(dxA4); FsyA4=-C_yuzey*(dyA4); end
        if xA4<=(a6-tol_) && xA4>(a5-tol_) && yA4<b5, refyA4=b5;
FdyA4=-kzemin*(yA4-refyA4)-C_zemin*(dyA4); FsxA4=-C_yuzey*(dxA4); end

        if xA4>a6 && xA4<5 && yA4<b6, refyA4=b6; FdyA4=-kzemin*(yA4-
refyA4)-C_zemin*(dyA4); FsxA4=-C_yuzey*(dxA4); end
        FA4x=FdxA4+FsxA4; FA4y=FdyA4+FsyA4;
        FA4=[FA4x;FA4y];

        FdxA5=0; FdyA5=0; FsxA5=0; FsyA5=0;
        if yA5<0, refyA5=0; FdyA5=-kzemin*(yA5-refyA5)-C_zemin*(dyA5);
FsxA5=-C_yuzey*(dxA5); end
        if xA5>=a1 && xA5<a2 && yA5<(b1-tol_), refxA5=a1; FdxA5=-
kzemin*(xA5-refxA5)-C_zemin*(dxA5); FsyA5=-C_yuzey*(dyA5); end
        if xA5>=(a1+tol_) && xA5<(a2+tol_) && yA5<b1, refyA5=b1; FdyA5=-
kzemin*(yA5-refyA5)-C_zemin*(dyA5); FsxA5=-C_yuzey*(dxA5); end

        if xA5>=a2 && xA5<a3 && yA5<(b2-tol_), refxA5=a2; FdxA5=-
kzemin*(xA5-refxA5)-C_zemin*(dxA5); FsyA5=-C_yuzey*(dyA5); end
        if xA5>=(a2+tol_) && xA5<(a3+tol_) && yA5<b2, refyA5=b2; FdyA5=-
kzemin*(yA5-refyA5)-C_zemin*(dyA5); FsxA5=-C_yuzey*(dxA5); end

        if xA5>=a3 && xA5<(a3+2*tol_) && yA5<(b3-tol_), refxA5=a3;
FdxA5=-kzemin*(xA5-refxA5)-C_zemin*(dxA5); FsyA5=-C_yuzey*(dyA5); end
        if xA5<=a4 && xA5>(a4-2*tol_) && yA5<(b3-tol_), refxA5=a4;
FdxA5=-kzemin*(xA5-refxA5)-C_zemin*(dxA5); FsyA5=-C_yuzey*(dyA5); end
        if xA5>=(a3-tol_) && xA5<=(a4-tol_) && yA5<b3, refyA5=b3;
FdyA5=-kzemin*(yA5-refyA5)-C_zemin*(dyA5); FsxA5=-C_yuzey*(dxA5); end

        if xA5<=a5 && xA5>(a5-2*tol_) && yA5<(b4-tol_), refxA5=a5;
FdxA5=-kzemin*(xA5-refxA5)-C_zemin*(dxA5); FsyA5=-C_yuzey*(dyA5); end
        if xA5<=(a5-tol_) && xA5>(a4-tol_) && yA5<b4, refyA5=b4;
FdyA5=-kzemin*(yA5-refyA5)-C_zemin*(dyA5); FsxA5=-C_yuzey*(dxA5); end

        if xA5<=a6 && xA5>(a6-2*tol_) && yA5<(b5-tol_), refxA5=a6;
FdxA5=-kzemin*(xA5-refxA5)-C_zemin*(dxA5); FsyA5=-C_yuzey*(dyA5); end
        if xA5<=(a6-tol_) && xA5>(a5-tol_) && yA5<b5, refyA5=b5;
FdyA5=-kzemin*(yA5-refyA5)-C_zemin*(dyA5); FsxA5=-C_yuzey*(dxA5); end

        if xA5>a6 && xA5<5 && yA5<b6, refyA5=b6; FdyA5=-kzemin*(yA5-
refyA5)-C_zemin*(dyA5); FsxA5=-C_yuzey*(dxA5); end
        FA5x=FdxA5+FsxA5; FA5y=FdyA5+FsyA5;
        FA5=[FA5x;FA5y];

```

```

FdxA6=0; FdyA6=0; FsxA6=0; FsyA6=0;
if yA6<0, refyA6=0; FdyA6=-kzemina*(yA6-refyA6)-C_zemina*(dyA6);
FsxA6=-C_yuzey*(dxA6); end
if xA6>=a1 && xA6<a2 && yA6<(b1-tol_), refxA6=a1; FdxA6=-
kzemina*(xA6-refxA6)-C_zemina*(dxA6); FsyA6=-C_yuzey*(dyA6); end
if xA6>=(a1+tol_) && xA6<(a2+tol_) && yA6<b1, refyA6=b1; FdyA6=-
kzemina*(yA6-refyA6)-C_zemina*(dyA6); FsxA6=-C_yuzey*(dxA6); end

if xA6>=a2 && xA6<a3 && yA6<(b2-tol_), refxA6=a2; FdxA6=-
kzemina*(xA6-refxA6)-C_zemina*(dxA6); FsyA6=-C_yuzey*(dyA6); end
if xA6>=(a2+tol_) && xA6<(a3+tol_) && yA6<b2, refyA6=b2; FdyA6=-
kzemina*(yA6-refyA6)-C_zemina*(dyA6); FsxA6=-C_yuzey*(dxA6); end

if xA6>=a3 && xA6<(a3+2*tol_) && yA6<(b3-tol_), refxA6=a3;
FdxA6=-kzemina*(xA6-refxA6)-C_zemina*(dxA6); FsyA6=-C_yuzey*(dyA6); end
if xA6<=a4 && xA6>(a4-2*tol_) && yA6<(b3-tol_), refxA6=a4;
FdxA6=-kzemina*(xA6-refxA6)-C_zemina*(dxA6); FsyA6=-C_yuzey*(dyA6); end
if xA6>=(a3-tol_) && xA6<=(a4-tol_) && yA6<b3, refyA6=b3;
FdyA6=-kzemina*(yA6-refyA6)-C_zemina*(dyA6); FsxA6=-C_yuzey*(dxA6); end

if xA6<=a5 && xA6>(a5-2*tol_) && yA6<(b4-tol_), refxA6=a5;
FdxA6=-kzemina*(xA6-refxA6)-C_zemina*(dxA6); FsyA6=-C_yuzey*(dyA6); end
if xA6<=(a5-tol_) && xA6>(a4-tol_) && yA6<b4, refyA6=b4;
FdyA6=-kzemina*(yA6-refyA6)-C_zemina*(dyA6); FsxA6=-C_yuzey*(dxA6); end

if xA6<=a6 && xA6>(a6-2*tol_) && yA6<(b5-tol_), refxA6=a6;
FdxA6=-kzemina*(xA6-refxA6)-C_zemina*(dxA6); FsyA6=-C_yuzey*(dyA6); end
if xA6<=(a6-tol_) && xA6>(a5-tol_) && yA6<b5, refyA6=b5;
FdyA6=-kzemina*(yA6-refyA6)-C_zemina*(dyA6); FsxA6=-C_yuzey*(dxA6); end

if xA6>a6 && xA6<5 && yA6<b6, refyA6=b6; FdyA6=-kzemina*(yA6-
refyA6)-C_zemina*(dyA6); FsxA6=-C_yuzey*(dxA6); end
FA6x=FdxA6+FsxA6; FA6y=FdyA6+FsyA6;
FA6=[FA6x;FA6y];

```

```

FdxB1=0; FdyB1=0; FsxB1=0; FsyB1=0;
if yB1<0, refyB1=0; FdyB1=-kzemina*(yB1-refyB1)-C_zemina*(dyB1);
FsxB1=-C_yuzey*(dxB1); end
if xB1>=a1 && xB1<a2 && yB1<(b1-tol_), refxB1=a1; FdxB1=-
kzemina*(xB1-refxB1)-C_zemina*(dxB1); FsyB1=-C_yuzey*(dyB1); end
if xB1>=(a1+tol_) && xB1<(a2+tol_) && yB1<b1, refyB1=b1; FdyB1=-
kzemina*(yB1-refyB1)-C_zemina*(dyB1); FsxB1=-C_yuzey*(dxB1); end

if xB1>=a2 && xB1<a3 && yB1<(b2-tol_), refxB1=a2; FdxB1=-
kzemina*(xB1-refxB1)-C_zemina*(dxB1); FsyB1=-C_yuzey*(dyB1); end
if xB1>=(a2+tol_) && xB1<(a3+tol_) && yB1<b2, refyB1=b2; FdyB1=-
kzemina*(yB1-refyB1)-C_zemina*(dyB1); FsxB1=-C_yuzey*(dxB1); end

if xB1>=a3 && xB1<(a3+2*tol_) && yB1<(b3-tol_), refxB1=a3;
FdxB1=-kzemina*(xB1-refxB1)-C_zemina*(dxB1); FsyB1=-C_yuzey*(dyB1); end
if xB1<=a4 && xB1>(a4-2*tol_) && yB1<(b3-tol_), refxB1=a4;
FdxB1=-kzemina*(xB1-refxB1)-C_zemina*(dxB1); FsyB1=-C_yuzey*(dyB1); end
if xB1>=(a3-tol_) && xB1<=(a4-tol_) && yB1<b3, refyB1=b3;
FdyB1=-kzemina*(yB1-refyB1)-C_zemina*(dyB1); FsxB1=-C_yuzey*(dxB1); end

```



```

        if xB1<=a5 && xB1>(a5-2*tol_) && yB1<(b4-tol_), refxB1=a5;
FdxB1=-kzemin*(xB1-refxB1)-C_zemin*(dxB1); FsyB1=-C_yuzey*(dyB1); end
        if xB1<=(a5-tol_) && xB1>(a4-tol_) && yB1<b4, refyB1=b4;
FdyB1=-kzemin*(yB1-refyB1)-C_zemin*(dyB1); FsxB1=-C_yuzey*(dxB1); end

        if xB1<=a6 && xB1>(a6-2*tol_) && yB1<(b5-tol_), refxB1=a6;
FdxB1=-kzemin*(xB1-refxB1)-C_zemin*(dxB1); FsyB1=-C_yuzey*(dyB1); end
        if xB1<=(a6-tol_) && xB1>(a5-tol_) && yB1<b5, refyB1=b5;
FdyB1=-kzemin*(yB1-refyB1)-C_zemin*(dyB1); FsxB1=-C_yuzey*(dxB1); end

        if xB1>a6 && xB1<5 && yB1<b6, refyB1=b6; FdyB1=-kzemin*(yB1-
refyB1)-C_zemin*(dyB1); FsxB1=-C_yuzey*(dxB1); end
        FB1x=FdxB1+FsxB1; FB1y=FdyB1+FsyB1;
        FB1=[FB1x;FB1y];

        FdxB2=0; FdyB2=0; FsxB2=0; FsyB2=0;
        if yB2<0, refyB2=0; FdyB2=-kzemin*(yB2-refyB2)-C_zemin*(dyB2);
FsxB2=-C_yuzey*(dxB2); end
        if xB2>=a1 && xB2<a2 && yB2<(b1-tol_), refxB2=a1; FdxB2=-
kzemin*(xB2-refxB2)-C_zemin*(dxB2); FsyB2=-C_yuzey*(dyB2); end
        if xB2>=(a1+tol_) && xB2<(a2+tol_) && yB2<b1, refyB2=b1; FdyB2=-
kzemin*(yB2-refyB2)-C_zemin*(dyB2); FsxB2=-C_yuzey*(dxB2); end

        if xB2>=a2 && xB2<a3 && yB2<(b2-tol_), refxB2=a2; FdxB2=-
kzemin*(xB2-refxB2)-C_zemin*(dxB2); FsyB2=-C_yuzey*(dyB2); end
        if xB2>=(a2+tol_) && xB2<(a3+tol_) && yB2<b2, refyB2=b2; FdyB2=-
kzemin*(yB2-refyB2)-C_zemin*(dyB2); FsxB2=-C_yuzey*(dxB2); end

        if xB2>=a3 && xB2<(a3+2*tol_) && yB2<(b3-tol_), refxB2=a3;
FdxB2=-kzemin*(xB2-refxB2)-C_zemin*(dxB2); FsyB2=-C_yuzey*(dyB2); end
        if xB2<=a4 && xB2>(a4-2*tol_) && yB2<(b3-tol_), refxB2=a4;
FdxB2=-kzemin*(xB2-refxB2)-C_zemin*(dxB2); FsyB2=-C_yuzey*(dyB2); end
        if xB2>=(a3-tol_) && xB2<=(a4-tol_) && yB2<b3, refyB2=b3;
FdyB2=-kzemin*(yB2-refyB2)-C_zemin*(dyB2); FsxB2=-C_yuzey*(dxB2); end

        if xB2<=a5 && xB2>(a5-2*tol_) && yB2<(b4-tol_), refxB2=a5;
FdxB2=-kzemin*(xB2-refxB2)-C_zemin*(dxB2); FsyB2=-C_yuzey*(dyB2); end
        if xB2<=(a5-tol_) && xB2>(a4-tol_) && yB2<b4, refyB2=b4;
FdyB2=-kzemin*(yB2-refyB2)-C_zemin*(dyB2); FsxB2=-C_yuzey*(dxB2); end

        if xB2<=a6 && xB2>(a6-2*tol_) && yB2<(b5-tol_), refxB2=a6;
FdxB2=-kzemin*(xB2-refxB2)-C_zemin*(dxB2); FsyB2=-C_yuzey*(dyB2); end
        if xB2<=(a6-tol_) && xB2>(a5-tol_) && yB2<b5, refyB2=b5;
FdyB2=-kzemin*(yB2-refyB2)-C_zemin*(dyB2); FsxB2=-C_yuzey*(dxB2); end

        if xB2>a6 && xB2<5 && yB2<b6, refyB2=b6; FdyB2=-kzemin*(yB2-
refyB2)-C_zemin*(dyB2); FsxB2=-C_yuzey*(dxB2); end
        FB2x=FdxB2+FsxB2; FB2y=FdyB2+FsyB2;
        FB2=[FB2x;FB2y];

        FdxB3=0; FdyB3=0; FsxB3=0; FsyB3=0;
        if yB3<0, refyB3=0; FdyB3=-kzemin*(yB3-refyB3)-C_zemin*(dyB3);
FsxB3=-C_yuzey*(dxB3); end
        if xB3>=a1 && xB3<a2 && yB3<(b1-tol_), refxB3=a1; FdxB3=-
kzemin*(xB3-refxB3)-C_zemin*(dxB3); FsyB3=-C_yuzey*(dyB3); end

```

```

        if xB3>=(a1+tol_) && xB3<(a2+tol_) && yB3<b1, refyB3=b1; FdyB3=-
kzemin*(yB3-refyB3)-C_zemin*(dyB3); FsxB3=-C_yuzey*(dxB3); end

        if xB3>=a2 && xB3<a3 && yB3<(b2-tol_), refxB3=a2; FdxB3=-
kzemin*(xB3-refxB3)-C_zemin*(dxB3); FsyB2=-C_yuzey*(dyB3); end
        if xB3>=(a2+tol_) && xB3<(a3+tol_) && yB3<b2, refyB3=b2; FdyB3=-
kzemin*(yB3-refyB3)-C_zemin*(dyB3); FsxB2=-C_yuzey*(dxB3); end

        if xB3>=a3 && xB3<(a3+2*tol_) && yB3<(b3-tol_), refxB3=a3;
FdxB3=-kzemin*(xB3-refxB3)-C_zemin*(dxB3); FsyB2=-C_yuzey*(dyB3); end
        if xB3<=a4 && xB3>(a4-2*tol_) && yB3<(b3-tol_), refxB3=a4;
FdxB3=-kzemin*(xB3-refxB3)-C_zemin*(dxB3); FsyB2=-C_yuzey*(dyB3); end
        if xB3>=(a3-tol_) && xB3<=(a4-tol_) && yB3<b3, refyB3=b3;
FdyB3=-kzemin*(yB3-refyB3)-C_zemin*(dyB3); FsxB2=-C_yuzey*(dxB3); end

        if xB3<=a5 && xB3>(a5-2*tol_) && yB3<(b4-tol_), refxB3=a5;
FdxB3=-kzemin*(xB3-refxB3)-C_zemin*(dxB3); FsyB2=-C_yuzey*(dyB3); end
        if xB3<=(a5-tol_) && xB3>(a4-tol_) && yB3<b4, refyB3=b4;
FdyB3=-kzemin*(yB3-refyB3)-C_zemin*(dyB3); FsxB2=-C_yuzey*(dxB3); end

        if xB3<=a6 && xB3>(a6-2*tol_) && yB3<(b5-tol_), refxB3=a6;
FdxB3=-kzemin*(xB3-refxB3)-C_zemin*(dxB3); FsyB2=-C_yuzey*(dyB3); end
        if xB3<=(a6-tol_) && xB3>(a5-tol_) && yB3<b5, refyB3=b5;
FdyB3=-kzemin*(yB3-refyB3)-C_zemin*(dyB3); FsxB2=-C_yuzey*(dxB3); end

        if xB3>a6 && xB3<5 && yB3<b6, refyB3=b6; FdyB3=-kzemin*(yB3-
refyB3)-C_zemin*(dyB3); FsxB3=-C_yuzey*(dxB3); end
        FB3x=FdxB3+FsxB3; FB3y=FdyB3+FsyB3;
        FB3=[FB3x;FB3y];

FdxB4=0; FdyB4=0; FsxB4=0; FsyB4=0;
        if yB4<0, refyB4=0; FdyB4=-kzemin*(yB4-refyB4)-C_zemin*(dyB4);
FsxB4=-C_yuzey*(dxB4); end
        if xB4>=a1 && xB4<a2 && yB4<(b1-tol_), refxB4=a1; FdxB4=-
kzemin*(xB4-refxB4)-C_zemin*(dxB4); FsyB4=-C_yuzey*(dyB4); end
        if xB4>=(a1+tol_) && xB4<(a2+tol_) && yB4<b1, refyB4=b1; FdyB4=-
kzemin*(yB4-refyB4)-C_zemin*(dyB4); FsxB4=-C_yuzey*(dxB4); end

        if xB4>=a2 && xB4<a3 && yB4<(b2-tol_), refxB4=a2; FdxB4=-
kzemin*(xB4-refxB4)-C_zemin*(dxB4); FsyB4=-C_yuzey*(dyB4); end
        if xB4>=(a2+tol_) && xB4<(a3+tol_) && yB4<b2, refyB4=b2; FdyB4=-
kzemin*(yB4-refyB4)-C_zemin*(dyB4); FsxB4=-C_yuzey*(dxB4); end

        if xB4>=a3 && xB4<(a3+2*tol_) && yB4<(b3-tol_), refxB4=a3;
FdxB4=-kzemin*(xB4-refxB4)-C_zemin*(dxB4); FsyB4=-C_yuzey*(dyB4); end
        if xB4<=a4 && xB4>(a4-2*tol_) && yB4<(b3-tol_), refxB4=a4;
FdxB4=-kzemin*(xB4-refxB4)-C_zemin*(dxB4); FsyB4=-C_yuzey*(dyB4); end
        if xB4>=(a3-tol_) && xB4<=(a4-tol_) && yB4<b3, refyB4=b3;
FdyB4=-kzemin*(yB4-refyB4)-C_zemin*(dyB4); FsxB4=-C_yuzey*(dxB4); end

        if xB4<=a5 && xB4>(a5-2*tol_) && yB4<(b4-tol_), refxB4=a5;
FdxB4=-kzemin*(xB4-refxB4)-C_zemin*(dxB4); FsyB4=-C_yuzey*(dyB4); end
        if xB4<=(a5-tol_) && xB4>(a4-tol_) && yB4<b4, refyB4=b4;
FdyB4=-kzemin*(yB4-refyB4)-C_zemin*(dyB4); FsxB4=-C_yuzey*(dxB4); end

        if xB4<=a6 && xB4>(a6-2*tol_) && yB4<(b5-tol_), refxB4=a6;
FdxB4=-kzemin*(xB4-refxB4)-C_zemin*(dxB4); FsyB4=-C_yuzey*(dyB4); end

```

```

        if xB4<=(a6-tol_) && xB4>(a5-tol_) && yB4<b5, refyB4=b5;
FdyB4=-kzemina*(yB4-refyB4)-C_zemina*(dyB4); FsxB4=-C_yuzey*(dxB4); end

        if xB4>a6 && xB4<5 && yB4<b6, refyB4=b6; FdyB4=-kzemina*(yB4-
refyB4)-C_zemina*(dyB4); FsxB4=-C_yuzey*(dxB4); end
        FB4x=FdxB4+FsxB4; FB4y=FdyB4+FsyB4;
        FB4=[FB4x;FB4y];

        FdxB5=0; FdyB5=0; FsxB5=0; FsyB5=0;
        if yB5<0, refyB5=0; FdyB5=-kzemina*(yB5-refyB5)-C_zemina*(dyB5);
FsxB5=-C_yuzey*(dxB5); end
        if xB5>=a1 && xB5<a2 && yB5<(b1-tol_), refxB5=a1; FdxB5=-
kzemina*(xB5-refxB5)-C_zemina*(dxB5); FsyB5=-C_yuzey*(dyB5); end
        if xB5>=(a1+tol_) && xB5<(a2+tol_) && yB5<b1, refyB5=b1; FdyB5=-
kzemina*(yB5-refyB5)-C_zemina*(dyB5); FsxB5=-C_yuzey*(dxB5); end

        if xB5>=a2 && xB5<a3 && yB5<(b2-tol_), refxB5=a2; FdxB5=-
kzemina*(xB5-refxB5)-C_zemina*(dxB5); FsyB5=-C_yuzey*(dyB5); end
        if xB5>=(a2+tol_) && xB5<(a3+tol_) && yB5<b2, refyB5=b2; FdyB5=-
kzemina*(yB5-refyB5)-C_zemina*(dyB5); FsxB5=-C_yuzey*(dxB5); end

        if xB5>=a3 && xB5<(a3+2*tol_) && yB5<(b3-tol_), refxB5=a3;
FdxB5=-kzemina*(xB5-refxB5)-C_zemina*(dxB5); FsyB5=-C_yuzey*(dyB5); end
        if xB5<=a4 && xB5>(a4-2*tol_) && yB5<(b3-tol_), refxB5=a4;
FdxB5=-kzemina*(xB5-refxB5)-C_zemina*(dxB5); FsyB5=-C_yuzey*(dyB5); end
        if xB5>=(a3-tol_) && xB5<=(a4-tol_) && yB5<b3, refyB5=b3;
FdyB5=-kzemina*(yB5-refyB5)-C_zemina*(dyB5); FsxB5=-C_yuzey*(dxB5); end

        if xB5<=a5 && xB5>(a5-2*tol_) && yB5<(b4-tol_), refxB5=a5;
FdxB5=-kzemina*(xB5-refxB5)-C_zemina*(dxB5); FsyB5=-C_yuzey*(dyB5); end
        if xB5<=(a5-tol_) && xB5>(a4-tol_) && yB5<b4, refyB5=b4;
FdyB5=-kzemina*(yB5-refyB5)-C_zemina*(dyB5); FsxB5=-C_yuzey*(dxB5); end

        if xB5<=a6 && xB5>(a6-2*tol_) && yB5<(b5-tol_), refxB5=a6;
FdxB5=-kzemina*(xB5-refxB5)-C_zemina*(dxB5); FsyB5=-C_yuzey*(dyB5); end
        if xB5<=(a6-tol_) && xB5>(a5-tol_) && yB5<b5, refyB5=b5;
FdyB5=-kzemina*(yB5-refyB5)-C_zemina*(dyB5); FsxB5=-C_yuzey*(dxB5); end

        if xB5>a6 && xB5<5 && yB5<b6, refyB5=b6; FdyB5=-kzemina*(yB5-
refyB5)-C_zemina*(dyB5); FsxB5=-C_yuzey*(dxB5); end
        FB5x=FdxB5+FsxB5; FB5y=FdyB5+FsyB5;
        FB5=[FB5x;FB5y];

        FdxB6=0; FdyB6=0; FsxB6=0; FsyB6=0;
        if yB6<0, refyB6=0; FdyB6=-kzemina*(yB6-refyB6)-C_zemina*(dyB6);
FsxB6=-C_yuzey*(dxB6); end
        if xB6>=a1 && xB6<a2 && yB6<(b1-tol_), refxB6=a1; FdxB6=-
kzemina*(xB6-refxB6)-C_zemina*(dxB6); FsyB6=-C_yuzey*(dyB6); end
        if xB6>=(a1+tol_) && xB6<(a2+tol_) && yB6<b1, refyB6=b1; FdyB6=-
kzemina*(yB6-refyB6)-C_zemina*(dyB6); FsxB6=-C_yuzey*(dxB6); end

        if xB6>=a2 && xB6<a3 && yB6<(b2-tol_), refxB6=a2; FdxB6=-
kzemina*(xB6-refxB6)-C_zemina*(dxB6); FsyB6=-C_yuzey*(dyB6); end
        if xB6>=(a2+tol_) && xB6<(a3+tol_) && yB6<b2, refyB6=b2; FdyB6=-
kzemina*(yB6-refyB6)-C_zemina*(dyB6); FsxB6=-C_yuzey*(dxB6); end

```

```

        if xB6>=a3 && xB6<(a3+2*tol_) && yB6<(b3-tol_), refxB6=a3;
FdxB6=-kzemin*(xB6-refxB6)-C_zemin*(dxB6); FsyB6=-C_yuzey*(dyB6); end
        if xB6<=a4 && xB6>(a4-2*tol_) && yB6<(b3-tol_), refxB6=a4;
FdxB6=-kzemin*(xB6-refxB6)-C_zemin*(dxB6); FsyB6=-C_yuzey*(dyB6); end
        if xB6>=(a3-tol_) && xB6<=(a4-tol_) && yB6<b3, refyB6=b3;
FdyB6=-kzemin*(yB6-refyB6)-C_zemin*(dyB6); FsxB6=-C_yuzey*(dxB6); end

        if xB6<=a5 && xB6>(a5-2*tol_) && yB6<(b4-tol_), refxB6=a5;
FdxB6=-kzemin*(xB6-refxB6)-C_zemin*(dxB6); FsyB6=-C_yuzey*(dyB6); end
        if xB6<=(a5-tol_) && xB6>(a4-tol_) && yB6<b4, refyB6=b4;
FdyB6=-kzemin*(yB6-refyB6)-C_zemin*(dyB6); FsxB6=-C_yuzey*(dxB6); end

        if xB6<=a6 && xB6>(a6-2*tol_) && yB6<(b5-tol_), refxB6=a6;
FdxB6=-kzemin*(xB6-refxB6)-C_zemin*(dxB6); FsyB6=-C_yuzey*(dyB6); end
        if xB6<=(a6-tol_) && xB6>(a5-tol_) && yB6<b5, refyB6=b5;
FdyB6=-kzemin*(yB6-refyB6)-C_zemin*(dyB6); FsxB6=-C_yuzey*(dxB6); end

        if xB6>a6 && xB6<5 && yB6<b6, refyB6=b6; FdyB6=-kzemin*(yB6-
refyB6)-C_zemin*(dyB6); FsxB6=-C_yuzey*(dxB6); end
        FB6x=FdxB6+FsxB6; FB6y=FdyB6+FsyB6;
        FB6=[FB6x;FB6y];

% Zemin kuvvetlerinin sistem üzerindeki reaksiyonlarının
hesaplanması
        TLA1=JA1'*FA1; TLA2=JA2'*FA2; TLA3=JA3'*FA3; TLA4=JA4'*FA4;
        TLA5=JA5'*FA5; TLA6=JA6'*FA6;
        TLB1=JB1'*FB1; TLB2=JB2'*FB2; TLB3=JB3'*FB3; TLB4=JB4'*FB4;
        TLB5=JB5'*FB5; TLB6=JB6'*FB6;

TLoad=TLA1_+TLA2_+TLA3_+TLA4_+TLA5_+TLA6_+TLB1_+TLB2_+TLB3_+TLB4_+TLB5_+
TLB6_;

% Tekerlerin oransal hız kontrol ifadeleri
        uA_ =2*(-10-q(i,9));
        uB_ =2*(-10-q(i,10));
        uc=[0;0;0;uA_;uB_];
%*****
% RUNGE KUTTA ***
        k_1=rika_s(to,qo,TLoad,uc,prm_); %
        k_2=rika_s(to+hs/2,qo+(hs/2).*k_1,TLoad,uc,prm_); %
        k_3=rika_s(to+hs/2,qo+(hs/2).*k_2,TLoad,uc,prm_); %
        k_4=rika_s(to+hs,qo+hs.*k_3,TLoad,uc,prm_); %
        qo=qo+(hs/6)*(k_1+2*k_2+2*k_3+k_4); %
        to=to+hs; %
%*****
        uA(i)=uA_; uB(i)=uB_;
end % Simülasyonun sonu

% Sonuçların Grafiksel gösterimi
% figure(1),
% subplot(2,1,1), plot(t,uA)
% subplot(2,1,2), plot(t,uB)

```

```

% Sonuçların Animasyon olarak gösterimi
for ij=1:2:size(q,1) % Animasyoun başlangıcı
xA1 = q(ij,1) + L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_1);
xA2 = q(ij,1) + L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_2);
xA3 = q(ij,1) + L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_3);
xA4 = q(ij,1) + L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_4);
xA5 = q(ij,1) + L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_5);
xA6 = q(ij,1) + L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_6);
xB1 = q(ij,1) - L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_1);
xB2 = q(ij,1) - L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_2);
xB3 = q(ij,1) - L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_3);
xB4 = q(ij,1) - L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_4);
xB5 = q(ij,1) - L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_5);
xB6 = q(ij,1) - L*cos(q(ij,3)) + P*cos(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_6);

yA1 = q(ij,2) + L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_1);
yA2 = q(ij,2) + L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_2);
yA3 = q(ij,2) + L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_3);
yA4 = q(ij,2) + L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_4);
yA5 = q(ij,2) + L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_5);
yA6 = q(ij,2) + L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,4)+fi_6);
yB1 = q(ij,2) - L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_1);
yB2 = q(ij,2) - L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_2);
yB3 = q(ij,2) - L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_3);
yB4 = q(ij,2) - L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_4);
yB5 = q(ij,2) - L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_5);
yB6 = q(ij,2) - L*sin(q(ij,3)) + P*sin(q(ij,3)+q(ij,5)+fi_6);

xAo = q(ij,1) + L*cos(q(ij,3)); yAo = q(ij,2) + L*sin(q(ij,3));
xB0 = q(ij,1) - L*cos(q(ij,3)); yBo = q(ij,2) - L*sin(q(ij,3));

figure(3), hold off
plot([xAo xBo],[yAo yBo],'o-k','LineWidth',6), hold on, %
Gövdenin çizimi

plot(xAo,yAo,'ob','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor',
[.49 1 .63],'MarkerSize',30), % Ön teker çizimi

plot(xBo,yBo,'ob','LineWidth',2,'MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor',
[.49 1 .63],'MarkerSize',30), % Arka teker çizimi

plot([xAo xA1],[yAo yA1],'o-k','LineWidth',2), % Ön teker
cubukların çizimi
plot([xAo xA2],[yAo yA2],'o-k','LineWidth',2)
plot([xAo xA3],[yAo yA3],'o-k','LineWidth',2)
plot([xAo xA4],[yAo yA4],'o-k','LineWidth',2)
plot([xAo xA5],[yAo yA5],'o-k','LineWidth',2)
plot([xAo xA6],[yAo yA6],'o-k','LineWidth',2)

plot([xBo xB1],[yBo yB1],'o-k','LineWidth',2) % Arka teker
cubukların çizimi
plot([xBo xB2],[yBo yB2],'o-k','LineWidth',2)
plot([xBo xB3],[yBo yB3],'o-k','LineWidth',2)
plot([xBo xB4],[yBo yB4],'o-k','LineWidth',2)
plot([xBo xB5],[yBo yB5],'o-k','LineWidth',2)
plot([xBo xB6],[yBo yB6],'o-k','LineWidth',2)

plot(xA1,yA1,'o-r','LineWidth',2), % Ön teker topukların çizimi
plot(xA2,yA2,'o-r','LineWidth',2)

```

```

plot(xA3,yA3,'o-r','LineWidth',2)
plot(xA4,yA4,'o-r','LineWidth',2)
plot(xA5,yA5,'o-r','LineWidth',2)
plot(xA6,yA6,'o-r','LineWidth',2)

plot(xB1,yB1,'o-r','LineWidth',2), % Arka teker topuklarının
cizimi
plot(xB2,yB2,'o-r','LineWidth',2)
plot(xB3,yB3,'o-r','LineWidth',2)
plot(xB4,yB4,'o-r','LineWidth',2)
plot(xB5,yB5,'o-r','LineWidth',2)
plot(xB6,yB6,'o-r','LineWidth',2)

plot(q(1:ij,1),q(1:ij,2),'-k','LineWidth',1) % gövdenin
İzlediği yorungenin cizimi
plot(P_X,cnt_,'-k') % Zemin yüzey eğrisinin cizimi
plot([a1 a1 a2],[b1 b1 b2],'-k')
plot([a2 a2 a3],[b2 b2 b3],'-k')
plot([a3 a3 a4],[b3 b3 b4],'-k')
plot([a4 a4 a5],[b4 b4 b5],'-k')
plot([a5 a5 a6],[b5 b5 b6],'-k')
plot([a6 a6 a6],[b6 b6 b6],'-k')
% Zemin temasının gösterimi *****
LG_Lx=[xB1 xB2 xB3 xB4 xB5 xB6]; LG_Rx=[xA1 xA2 xA3 xA4 xA5 xA6];
LG_Ly=[yB1 yB2 yB3 yB4 yB5 yB6]; LG_Ry=[yA1 yA2 yA3 yA4 yA5 yA6];

[msd_L,sd_L]=min(LG_Ly); [msd_R,sd_R]=min(LG_Ry);
gor_=.35;
[msd_,sd_]=min([LG_Ly LG_Ry]);
if msd_>0,
    datax_=[ q(ij,1)-gor_ q(ij,1)+gor_]; datay_=[0 0];
else
    datax_=[ q(ij,1)-gor_ LG_Lx(sd_L) LG_Rx(sd_R)
q(ij,1)+gor_];
    datay_=[0 -satlin(-LG_Ly(sd_L)) -satlin(-LG_Ry(sd_R)) 0];
end
plot(datax_,datay_,'k','LineWidth',2)
%*****
xlim([q(ij,1)-gor_ q(ij,1)+gor_]), ylim([q(ij,2)-.2
q(ij,2)+gor_]) % Limitler
pause(.001)
end % Animasyonun bitimi

% Sistem dinamiği ifadeleri
function dq=rika_s(t,q,TLoad,uc,prm_)
fi_1=0; fi_2=pi/3; fi_3=2*pi/3; fi_4=3*pi/3; fi_5=4*pi/3;
fi_6=5*pi/3;
M=prm_(1); MA=prm_(2); MB=prm_(3); m=prm_(4); L=prm_(5); P=prm_(6);
r=prm_(7); g=9.81;
mA1=m; mA2=m; mA3=m; mA4=m; mA5=m; mA6=m;
mB1=m; mB2=m; mB3=m; mB4=m; mB5=m; mB6=m;

Teta=q(3); Teta_A=q(4); Teta_B=q(5);
dx=q(6); dy=q(7); dTeta=q(8); dTeta_A=q(9); dTeta_B=q(10);

Js=M*L^2/4+(MA+MB)*L^2; JA=MA*r^2/2; JB=MB*r^2/2;
TopM_ = M+MA+MB + mA1+mA2+mA3+mA4+mA5+mA6 + mB1+mB2+mB3+mB4+mB5+mB6;

```

```

        Kisaltma_1=mA1*P*sin(Teta+Teta_A+fi_1)+mA2*P*sin(Teta+Teta_A+fi_2) .
    ..

+mA3*P*sin(Teta+Teta_A+fi_3)+mA4*P*sin(Teta+Teta_A+fi_4) ...
        +mA5*P*sin(Teta+Teta_A+fi_5)+mA6*P*sin(Teta+Teta_A+fi_6) ;
        Kisaltma_2=mB1*P*sin(Teta+Teta_B+fi_1)+mB2*P*sin(Teta+Teta_B+fi_2) .
    ..

+mB3*P*sin(Teta+Teta_B+fi_3)+mB4*P*sin(Teta+Teta_B+fi_4) ...
        +mB5*P*sin(Teta+Teta_B+fi_5)+mB6*P*sin(Teta+Teta_B+fi_6) ;
        Kisaltma_3=mA1*P*cos(Teta+Teta_A+fi_1)+mA2*P*cos(Teta+Teta_A+fi_2) .
    ..

+mA3*P*cos(Teta+Teta_A+fi_3)+mA4*P*cos(Teta+Teta_A+fi_4) ...
        +mA5*P*cos(Teta+Teta_A+fi_5)+mA6*P*cos(Teta+Teta_A+fi_6) ;
        Kisaltma_4=mB1*P*cos(Teta+Teta_B+fi_1)+mB2*P*cos(Teta+Teta_B+fi_2) .
    ..

+mB3*P*cos(Teta+Teta_B+fi_3)+mB4*P*cos(Teta+Teta_B+fi_4) ...
        +mB5*P*cos(Teta+Teta_B+fi_5)+mB6*P*cos(Teta+Teta_B+fi_6) ;
        Kisaltma_5=mA1*P*sin(Teta+Teta_A+fi_1)+mA2*P*sin(Teta+Teta_A+fi_2) .
    ..

+mA3*P*sin(Teta+Teta_A+fi_3)+mA4*P*sin(Teta+Teta_A+fi_4) ...

+mA5*P*sin(Teta+Teta_A+fi_5)+mA6*P*sin(Teta+Teta_A+fi_6) ...

+mB1*P*sin(Teta+Teta_B+fi_1)+mB2*P*sin(Teta+Teta_B+fi_2) ...

+mB3*P*sin(Teta+Teta_B+fi_3)+mB4*P*sin(Teta+Teta_B+fi_4) ...
        +mB5*P*sin(Teta+Teta_B+fi_5)+mB6*P*sin(Teta+Teta_B+fi_6) ;
        Kisaltma_6=mA1*P*cos(Teta+Teta_A+fi_1)+mA2*P*cos(Teta+Teta_A+fi_2) .
    ..

+mA3*P*cos(Teta+Teta_A+fi_3)+mA4*P*cos(Teta+Teta_A+fi_4) ...

+mA5*P*cos(Teta+Teta_A+fi_5)+mA6*P*cos(Teta+Teta_A+fi_6) ...

+mB1*P*cos(Teta+Teta_B+fi_1)+mB2*P*cos(Teta+Teta_B+fi_2) ...

+mB3*P*cos(Teta+Teta_B+fi_3)+mB4*P*cos(Teta+Teta_B+fi_4) ...
        +mB5*P*cos(Teta+Teta_B+fi_5)+mB6*P*cos(Teta+Teta_B+fi_6) ;

        Kisaltma_7=mA1*(L^2+P^2+L*P^2*cos(Teta_A+fi_1))+mA2*(L^2+P^2+L*P^2*
cos(Teta_A+fi_2)) ...

+mA3*(L^2+P^2+L*P^2*cos(Teta_A+fi_3))+mA4*(L^2+P^2+L*P^2*cos(Teta_A+fi_4
)) ...

+mA5*(L^2+P^2+L*P^2*cos(Teta_A+fi_5))+mA6*(L^2+P^2+L*P^2*cos(Teta_A+fi_6
)) ...
        +mB1*(L^2+P^2-L*P^2*cos(Teta_B+fi_1))+mB2*(L^2+P^2-
L*P^2*cos(Teta_B+fi_2)) ...
        +mB3*(L^2+P^2-L*P^2*cos(Teta_B+fi_3))+mB4*(L^2+P^2-
L*P^2*cos(Teta_B+fi_4)) ...
        +mB5*(L^2+P^2-L*P^2*cos(Teta_B+fi_5))+mB6*(L^2+P^2-
L*P^2*cos(Teta_B+fi_6)) ;

```

```

        Kisaltma_8=mA1*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_1))+mA2*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_2))...
+mA3*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_3))+mA4*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_4))...
+mA5*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_5))+mA6*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_6));
        Kisaltma_9=mB1*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_1))+mB2*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_2))...
+mB3*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_3))+mB4*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_4))...
+mB5*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_5))+mB6*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_6));

        Kisaltma_10=mA1*P*sin(Teta+Teta_A+fi_1)+mA2*P*sin(Teta+Teta_A+fi_2)
...
+mA3*P*sin(Teta+Teta_A+fi_3)+mA4*P*sin(Teta+Teta_A+fi_4)...
+mA5*P*sin(Teta+Teta_A+fi_5)+mA6*P*sin(Teta+Teta_A+fi_6);
        Kisaltma_11=mA1*P*cos(Teta+Teta_A+fi_1)+mA2*P*cos(Teta+Teta_A+fi_2)
...
+mA3*P*cos(Teta+Teta_A+fi_3)+mA4*P*cos(Teta+Teta_A+fi_4)...
+mA5*P*cos(Teta+Teta_A+fi_5)+mA6*P*cos(Teta+Teta_A+fi_6);

        Kisaltma_12=mA1*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_1))+mA2*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_2))...
+mA3*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_3))+mA4*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_4))...
+mA5*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_5))+mA6*(P^2+L*P*cos(Teta_A+fi_6));

        Kisaltma_13=mA1*(P^2)+mA2*(P^2)+mA3*(P^2)+mA4*(P^2)+mA5*(P^2)+mA6*(P^2);

        Kisaltma_14=mB1*P*sin(Teta+Teta_B+fi_1)+mB2*P*sin(Teta+Teta_B+fi_2)
...
+mB3*P*sin(Teta+Teta_B+fi_3)+mB4*P*sin(Teta+Teta_B+fi_4)...
+mB5*P*sin(Teta+Teta_B+fi_5)+mB6*P*sin(Teta+Teta_B+fi_6);
        Kisaltma_15=mB1*P*cos(Teta+Teta_B+fi_1)+mB2*P*cos(Teta+Teta_B+fi_2)
...
+mB3*P*cos(Teta+Teta_B+fi_3)+mB4*P*cos(Teta+Teta_B+fi_4)...
+mB5*P*cos(Teta+Teta_B+fi_5)+mB6*P*cos(Teta+Teta_B+fi_6);

        Kisaltma_16=mB1*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_1))+mB2*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_2))...
+mB3*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_3))+mB4*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_4))...
+mB5*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_5))+mB6*(P^2-L*P*cos(Teta_B+fi_6));

        Kisaltma_17=mB1*(P^2)+mB2*(P^2)+mB3*(P^2)+mB4*(P^2)+mB5*(P^2)+mB6*(P^2);

```



```

Ms=[      TopM_      0      -(Kisaltma_1+Kisaltma_2)      -
Kisaltma_1      -Kisaltma_2
      0      TopM_      (Kisaltma_3+Kisaltma_4)      Kisaltma_3
Kisaltma_4      -Kisaltma_5      Kisaltma_6      (Js+Kisaltma_7)      Kisaltma_8
Kisaltma_9      -Kisaltma_10      Kisaltma_11      (JA+Kisaltma_12)
Kisaltma_13      0      Kisaltma_15      (JB+Kisaltma_16)      0
Kisaltma_14      Kisaltma_15      (JB+Kisaltma_16)      0
Kisaltma_17];

```

```

Vslt_x=mA1*((dTeta+dTeta_A)^2*P*cos(Teta+Teta_A+fi_1))+mA2*((dTeta+
dTeta_A)^2*P*cos(Teta+Teta_A+fi_2))...

```

```

+mA3*((dTeta+dTeta_A)^2*P*cos(Teta+Teta_A+fi_3))+mA4*((dTeta+dTeta_A)^2*
P*cos(Teta+Teta_A+fi_4))...

```

```

+mA5*((dTeta+dTeta_A)^2*P*cos(Teta+Teta_A+fi_5))+mA6*((dTeta+dTeta_A)^2*
P*cos(Teta+Teta_A+fi_6))...

```

```

+mB1*((dTeta+dTeta_B)^2*P*cos(Teta+Teta_B+fi_1))+mB2*((dTeta+dTeta_B)^2*
P*cos(Teta+Teta_B+fi_2))...

```

```

+mB3*((dTeta+dTeta_B)^2*P*cos(Teta+Teta_B+fi_3))+mB4*((dTeta+dTeta_B)^2*
P*cos(Teta+Teta_B+fi_4))...

```

```

+mB5*((dTeta+dTeta_B)^2*P*cos(Teta+Teta_B+fi_5))+mB6*((dTeta+dTeta_B)^2*
P*cos(Teta+Teta_B+fi_6));

```

```

Vslt_y=mA1*((dTeta+dTeta_A)^2*P*sin(Teta+Teta_A+fi_1))+mA2*((dTeta+dTeta
_A)^2*P*sin(Teta+Teta_A+fi_2))...

```

```

+mA3*((dTeta+dTeta_A)^2*P*sin(Teta+Teta_A+fi_3))+mA4*((dTeta+dTeta_A)^2*
P*sin(Teta+Teta_A+fi_4))...

```

```

+mA5*((dTeta+dTeta_A)^2*P*sin(Teta+Teta_A+fi_5))+mA6*((dTeta+dTeta_A)^2*
P*sin(Teta+Teta_A+fi_6))...

```

```

+mB1*((dTeta+dTeta_B)^2*P*sin(Teta+Teta_B+fi_1))+mB2*((dTeta+dTeta_B)^2*
P*sin(Teta+Teta_B+fi_2))...

```

```

+mB3*((dTeta+dTeta_B)^2*P*sin(Teta+Teta_B+fi_3))+mB4*((dTeta+dTeta_B)^2*
P*sin(Teta+Teta_B+fi_4))...

```

```

+mB5*((dTeta+dTeta_B)^2*P*sin(Teta+Teta_B+fi_5))+mB6*((dTeta+dTeta_B)^2*
P*sin(Teta+Teta_B+fi_6))...

```

```

-TopM_*g;

```

```

Vslt_Teta=mA1*(-L*P*dTeta_A*(2*dTeta+dTeta_A)*sin(Teta_A+fi_1))...
+mA2*(-L*P*dTeta_A*(2*dTeta+dTeta_A)*sin(Teta_A+fi_2))...
+mA3*(-L*P*dTeta_A*(2*dTeta+dTeta_A)*sin(Teta_A+fi_3))...
+mA4*(-L*P*dTeta_A*(2*dTeta+dTeta_A)*sin(Teta_A+fi_4))...
+mA5*(-L*P*dTeta_A*(2*dTeta+dTeta_A)*sin(Teta_A+fi_5))...
+mA6*(-L*P*dTeta_A*(2*dTeta+dTeta_A)*sin(Teta_A+fi_6))...
+mB1*(-L*P*dTeta_B*(2*dTeta+dTeta_B)*sin(Teta_B+fi_1))...
+mB2*(-L*P*dTeta_B*(2*dTeta+dTeta_B)*sin(Teta_B+fi_2))...
+mB3*(-L*P*dTeta_B*(2*dTeta+dTeta_B)*sin(Teta_B+fi_3))...

```

```

+mB4*(-L*P*dTeta_B*(2*dTeta+dTeta_B)*sin(Teta_B+fi_4) )...
+mB5*(-L*P*dTeta_B*(2*dTeta+dTeta_B)*sin(Teta_B+fi_5) )...
+mB6*(-L*P*dTeta_B*(2*dTeta+dTeta_B)*sin(Teta_B+fi_6) );

Vslt_Teta_A=mA1*dTeta^2*L*P*sin(Teta_A+fi_1)
mA2*dTeta^2*L*P*sin(Teta_A+fi_2) ...
+mA3*dTeta^2*L*P*sin(Teta_A+fi_3)
mA4*dTeta^2*L*P*sin(Teta_A+fi_4) ...
+mA5*dTeta^2*L*P*sin(Teta_A+fi_5)
mA6*dTeta^2*L*P*sin(Teta_A+fi_6);

Vslt_Teta_B=mB1*dTeta^2*L*P*sin(Teta_B+fi_1)
mB2*dTeta^2*L*P*sin(Teta_B+fi_2) ...
+mB3*dTeta^2*L*P*sin(Teta_B+fi_3)
mB4*dTeta^2*L*P*sin(Teta_B+fi_4) ...
+mB5*dTeta^2*L*P*sin(Teta_B+fi_5)
mB6*dTeta^2*L*P*sin(Teta_B+fi_6);

Vs=[ -Vslt_x
      -Vslt_y
      Vslt_Teta
      Vslt_Teta_A
      Vslt_Teta_B];

dq(1)=q(6);
dq(2)=q(7);
dq(3)=q(8);
dq(4)=q(9);
dq(5)=q(10);

qq=inv(Ms)*(-Vs+TLoad+uc);
dq(6)=qq(1);
dq(7)=qq(2);
dq(8)=qq(3);
dq(9)=qq(4);
dq(10)=qq(5);

```