



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEKERLEK VE PALET ARASI DÖNÜŞEBİLEN HAREKET SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

TUĞBA BOZKURT

Mekatronik Mühendisi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEKATRONİK ANABİLİM DALI
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ÇETİNSOY

İSTANBUL, 2023



**MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES**



DEVELOPMENT OF MOVEMENT SYSTEM THAT RECONFIGURABLE WHEEL TRACK

TUĞBA BOZKURT

Mechatronic Engineer

MASTER THESIS

DEPARTMENT OF MECHATRONIC ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

Asst. Prof. Ertuğrul ÇETİNSOY

ISTANBUL, 2023

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi Marmara Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Yüksek Lisans Programında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir. (Proje numarası: FYL-2022-10803)

Çalışmanın yürütülmesinde, değerli bilgisini, emeğini ve zamanını esirgemeyen, her anlamda yol gösteren ve çalışmalarına yön veren saygıdeğer danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ÇETİNSOY'a;

Őu an çalışmakta olduğum ve tez çalışmam boyunca maddi manevi her türlü desteği sağlayan Bant Boru Sanayi ve Ticaret A. Ő'ye;

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini bizden esirgemeyen bütün hocalarıma;

Tüm eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olduğunu hissettiren sevgili aileme;

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tuğba BOZKURT
Eylül, 2023

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
YENİLİK BEYANI	viii
SEMBOLLER/SYMBOLS	ix
KISALTMALAR	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xii
BÖLÜM I	1
GİRİŞ	1
I.1. GİRİŞ	1
I.2. PROBLEM TANIMI	2
I.3. ARAŞTIRMA HEDEFLERİ	2
BÖLÜM II	4
TEORİK ÇERÇEVE	4
II.1. GENEL BİLGİLER	4
II.2. TEORİK YAKLAŞIMLAR	4
II.2.1. Mekanizma Tasarımında Kullanılan Mühendislik Programları	4
II.2.2. Parça Üretimlerinde Kullanılan Makineler	6
II.2.3. Montajda Kullanılan Makine Elemanları	7

II.2.4. Mekanizma	9
II.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	14
BÖLÜM III	17
TEZ ÇALIŞMALARI	17
III.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR	17
III.1.1 Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasının Tasarlanması.....	17
III.1.2 Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasının Montajlanması	19
III.1.3 Tekerlek Mekanizması	19
III.1.4 Palet Ayak Mekanizması.....	20
III.1.5 Kayış Üretimi	21
III.1.6 Tel Çekme Mekanizması.....	23
BÖLÜM IV	26
SONUÇLAR	26
IV.1. MEKANİZMANIN KONTROLÜ	26
IV.1.1 Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasında Tekerlek Modundan Palet Ayak Moduna Geçiş	26
IV.1.2 Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasında Palet Ayak Modundan Tekerlek Moduna Geçiş	27
BÖLÜM V	29
TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME	29
V.1 TARTIŞMA, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	29
V.1.1 Tartışma.....	29
V.1.2 Değerlendirme	30
V.1.3 Öneriler.....	30
KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	32

ÖZET

TEKERLEK VE PALET ARASI DÖNÜŞEBİLEN HAREKET SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Fabrikalarda malzeme, askeri sahada mühimmat ve yaralı asker nakli, bedensel engellilerin ve ameliyat sonrasında hastaların mobilizasyonu, arama kurtarma çalışmalarında yaralı, ölü ve malzeme taşınması ve bölge taraması alanlarında hem arazi hem de yol şartlarında ilerleyebilen robotların kullanımı günümüzde yaygınlaşma potansiyeline sahiptir. Palet ayak ağır arazi şartlarında patinaj ve batmaya karşı emniyet sağlmasına rağmen yüksek enerji tüketimine neden olmaktadır. Tekerlek ise hızlı seyir ve düşük enerji tüketimi sunmasına rağmen sert zemin dışında sağlıklı ilerleyememektedir. Palet ayak ve tekerleği kombine eden melez tahrik sistemi tasarımları, hedeflenen tüm şartlarda en efektif seyrin sunulması için üzerinde çalışılan bir araştırma konusudur. Bu tez çalışması kapsamında mobil robotlar için palet ayak/tekerlek melezi bir mekanizma geliştirilmiştir. Robot sert zeminde giderken tekerleğe, merdiven çıkarken ve engebeli arazide giderken palet ayağa dönüşen melez tahrik sistemine sahiptir. Önerilen bu sistem 4 çeyrek dairenin eklemli olarak birbirine bağlanmasıyla oluşur. Bu 4 çeyrek daire eklemlerinden kırılarak yassılaştığı zaman palet ayağa, kırılmadan en açık haline geldiği zamansa tekerleğe dönüşür. 4 çeyrek dairenin kırılarak yassılaşmasıyla açık hali arasındaki geçişi robot gövdesine montajlanmış bir DC motordan çekme gücü alan ve eklemlerden oluşan tel çekme mekanizması ile sağlanmaktadır. Tekerlek/palet ayak mekanizması tekerlek modunda olduğu sürece tel, üzerinde yüksek kuvvet bulundurmak ve böylece gergin olmak zorundadır. Palet ayak modunda ise telin gerilmesine gerek yoktur. Sistem palet ayak modundayken çeyrek dairelerin yüzeyinde akan kayış tekerlek modundayken yüzeye sabit bir kaplama olarak davranmaktadır. Bu tasarımda literatürde bulunan çoğu örnekte görülen ve dayanıklılığı çok azaltan, şekil değiştirebilen (uzayıp kısalabilen) kayışa gerek bulunmamaktadır. Bu sayede yapılmış bu tasarım daha uzun ömürlü ve güvenilir olmaya adaydır. Robot gövdesinden gelen hareket şaftı sistemin merkezindeki güneş dişlisini çevirmektedir. Palet ayak modundayken, güneş dişlisi kendisine sürekli kenetli olan 4 dişli çarkı çevirmekte, bu 4 dişli çark ise kayışın ilerlemesini sağlamaktadır. Kayışın tekerlek ve palet ayak modunda kayış yuvasından çıkmaması için çeyrek dairelerin arasına destek kanallar eklenmiştir. Palet ayak modundan tel mekanizmasıyla çekilerek tekerlek moduna geçişte sağ ve sol uçtan

merkeze doğru yaklaşan ve gergi çarklarını taşıyan, üzerinde güneş dişlisinin karşılığı olarak dişler bulunduran çerçeve güneş dişlisine dişlerini geçirdiği için güneş dişlisi ile 4 çeyrek daire birbirine kenetlenmiştir. Bu şekilde tüm tekerlek güneş dişlisiyle beraber dönmeye başlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Tekerlek/Palet Melezi Tahrik Sistemi, Şekil Değiştiren Mekanizma

Eylül,2023

Tuğba BOZKURT



ABSTRACT

DEVELOPMENT OF MOVEMENT SYSTEM THAT RECONFIGURABLE WHEEL TRACK

The use of robots that can navigate both land and road conditions in the areas of materials in factories, ammunition and wounded soldiers in the military field, mobilization of physically disabled people and patients after surgery, transportation of the wounded, dead and materials in search and rescue operations, and area scanning has the potential to become widespread today. Although the track provides safety against skidding and sinking in heavy terrain conditions, it causes high energy consumption. Although the wheel offers fast travel and low energy consumption, it cannot move smoothly except on hard ground. Hybrid drive system designs that combine tracks and wheels are a research topic to provide the most effective navigation under all targeted conditions. Within the scope of this thesis study, a track/wheel hybrid mechanism has been developed for mobile robots.

The robot has a hybrid drive system that turns into wheels when traveling on hard ground and tracks when climbing stairs and over rough terrain. This proposed system is formed by connecting 4 quadrants jointly. When these 4 quadrant joints are broken and flattened, and when it becomes open without breaking, it turns into a wheel. The transition between the 4 quadrants being broken and flattened and the open state is provided by a wire drawing mechanism consisting of joints, which receives pulling power from a DC motor mounted on the robot body. As long as the wheel/track mechanism is in wheel mode, the wire must have high force on it and thus be tense. If the track mode, there is no need to tension the wire. When the system is in track mode, the belt running on the surface of the quadrants acts as a fixed coating to the surface when in wheel mode. In this design, there is no need for a belt that can change shape (lengthen or shorten) as seen in most examples in the literature and which greatly reduces durability. In this way, this design is likely to be longer lasting and reliable. The motion shaft coming from the robot body turns the sun gear in the center of the system. When the mechanism is in track mode, the sun gear turns the 4 gear wheels that are constantly engaged with it, and these 4 gear wheels ensure the advancement of the belt. Support channels have been added between the quadrants to prevent the belt from coming out of the belt slot in wheel and track mode. As the mechanism is

pulled from the track mode to the wheel mode by a wire mechanism, the frame approaches the center from the right and left ends and carries the tension wheels, and has teeth on it as the counterpart of the sun gear, and engages its teeth on the sun gear, thus the 4 quadrants are interlocked with the sun gear. In this way, the entire wheel started to rotate with the sun gear.

Keywords: Wheel/Track Hybrid Drive System, Morphing Mechanism

September, 2023

Tuğba BOZKURT



YENİLİK BEYANI

TEKERLEK VE PALET ARASI DÖNÜŞEBİLEN HAREKET SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Hareket sistemindeki dönüş opsiyonları (palet ayaktan tekerleğe veya tekerlekten palet ayağa dönüşüm) bu projeye özgün birer değer katmaktadır. Araç düz yolda tekerlek üzerinde ilerlemekte ve engebeli arazi şartlarındaysa tekerleklerin palet ayağa dönüşmesi ile paletli bir araca evrilmektedir. Düz yolda tekerlekler, engebeli arazide ise paletler daha verimli bir sürüş sağlar. Geleneksel palet ayaklı sistemin geleneksel tekerlekli sistemlere karşı bazı üstünlükleri mevcuttur. Aynı zamanda geleneksel tekerlekli sistemlerin de geleneksel palet ayaklı sistemlere karşı bazı üstünlükleri mevcuttur. Bu çalışmada her iki yöntemin de artılarından fayda sağlanmıştır. Bu ikili değişken sistemin ülkemiz özelinde yürütülen projelerde henüz denemesi yapılmamıştır. Sistem ekonomik açıdan değerlendirildiğinde paletten tekerleğe veya tekerlekten palet dönüşü ve bu dönüşler sayesinde yol durumuna göre değişim göstermesi güvenli bir sürüş sağlamaktadır ve yük taşımada herhangi bir yükün düşerek zarar görmesine engel olmaktadır. Sistem, kullanılabilirliği açısından oldukça elverişli olduğundan ticari olarak da bir gelecek vadetmektedir.

Bu çalışma ülkemizde geliştirilecek olan birçok projenin gelişimine ışık tutacak ve projelere farklı bir bakış açısı katacaktır. Sistem fabrika ortamında olduğu gibi savunma sanayisi projelerinde de kullanılabilmekte ve palet ile tekerlek tasarımı çalışma ortamına göre değiştirilebilmektedir.

Proje kapsamında literatüre katkısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

- Mekanizmalı kayış kullanmadan çalışabilen uzun ömürlü ve güvenilir tekerlek/palet ayak melez bir mekanizma

Eylül,2023

Dr. Öğr. Üyesi Ertuğrul ÇETİNSOY

Tuğba BOZKURT

SEMBOLLER/SYMBOLS

<i>D</i>	: Bölüm Dairesi Çapı (mm)
<i>da</i>	: Diş Üstü Dairesi Çapı (mm)
<i>df</i>	: Diş Dibi Dairesi Çapı (mm)
<i>e</i>	: Diş Kalınlığı (mm)
<i>E</i>	: İki Dişli Arası Mesafe (mm)
<i>h</i>	: Diş Yüksekliği (mm)
<i>ha</i>	: Diş Başı Yüksekliği (mm)
<i>hf</i>	: Diş Dibi Yüksekliği (mm)
<i>m</i>	: Modül
<i>p</i>	: Diş Adımı (mm)
<i>s</i>	: Diş Boşluğu (mm)
<i>Z</i>	: Diş Sayısı (adet)
<i>Fteker</i>	: Tekerleğin ağırlık kuvveti
<i>F_{d1}</i>	: Çekme Kuvvetinin θ_1 Bileşeni
<i>F_{d2}</i>	: F_{d1} Kuvvetinin θ_2 Bileşeni
<i>Fçekme</i>	: Tel çekme Mekanizmasında Bir Tele Uygulanan Çekme Kuvveti
<i>Fmotorçekme</i>	: Tel Çekme Mekanizmasında Kullanılan Motorun Toplam Çekme Kuvveti

KISALTMALAR

CAD : Bilgisayar Destekli Tasarım

Max. : En Yüksek Seviye

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

ŞEKİL II. 1. TEKERLEK/PALET AYAK MEKANİZMASININ SOLIDWORKS'TEKİ İZOMETRİK GÖRÜNTÜSÜ.....	5
ŞEKİL II. 2. PLASTİK PARÇA ÜRETİMİNDE KULLANILAN 3D YAZICI	5
ŞEKİL II. 3 PARÇA KESİM İŞLEMİNDE KULLANILAN TESTERE.....	6
ŞEKİL II. 4. ALÜMİNYUM PARÇA İŞLEMEDE KULLANILAN TORNA MAKİNESİ.....	6
ŞEKİL II. 5. ALÜMİNYUM PARÇA İŞLEMEDE KULLANILAN FREZE MAKİNESİ	7
ŞEKİL II. 6. CIVATA.....	7
ŞEKİL II. 7. RULMAN	8
ŞEKİL II. 8. SOMUN	8
ŞEKİL II. 9. PUL	8
ŞEKİL II. 10. DİŞLİLER	9
ŞEKİL II. 11. KOLLAR	10
ŞEKİL II. 12. MAFSAL	10
ŞEKİL II. 13. DÜZ DİŞLİ MEKANİZMASI.....	11
ŞEKİL II. 14. GÜNEŞ DİŞLİ VE KÜÇÜK DİŞLİ SOLIDWORKS GÖRÜNTÜSÜ	13
ŞEKİL II. 15. TEL ÇEKME MEKANİZMASININ SOLIDWORKS'TEKİ KOL VE MAFSAL GÖRÜNTÜLERİ	14
ŞEKİL III. 1. SOLIDWORKS'TE ÇİZİLMİŞ OLAN TEKERLEK/PALET AYAK MEKANİZMASININ DIŞTAN VE İÇTEN GÖRÜNTÜSÜ .	18
ŞEKİL III. 2. TASARIMA GÖRE LAZERDE KESİMİ YAPILAN ALÜMİNYUM PARÇALAR	18
ŞEKİL III. 3. TASARIMA GÖRE ABS FILAMENTLERLE BASILMIŞ PLASTİK PARÇALARDAN BAZILARI	19
ŞEKİL III. 4. TEKERLEK/PALET AYAK MEKANİZMASININ MONTAJI	19
ŞEKİL III. 5. TEKERLEK MODUNDA GÜNEŞ DİŞLİNİN KİLİTLEME PAÇASI İLE YEKPARE GÖRÜNTÜSÜ	20
ŞEKİL III. 6. PALET AYAK MODUNDA GÜNEŞ DİŞLİNİN KÜÇÜK DİŞLİ İLE BAĞLANTISI VE KAYIŞA HAREKET AKTARIMI	20
ŞEKİL III. 7. KAYIŞIN AYRINTILI GÖRÜNTÜSÜ	21
ŞEKİL III. 8. KAYIŞIN İLK KADEME PROTOTİP ÜRETİMİ	22
ŞEKİL III. 9. KAYIŞIN İKİNCİ KADEME PROTOTİP ÜRETİMİ VE DETAYLI GÖRÜNTÜSÜ	22
ŞEKİL III. 10. TEL ÇEKME MEKANİZMASI UZUVLARI VE PALET AYAK-TEKERLEK MODLARINDAKİ DURUMUNUN GÖSTERİMİ	23
ŞEKİL III. 11. TEL ÇEKME MEKANİZMASI UZUVLARI VE PALET AYAK-TEKERLEK MODLARINDAKİ DURUMUNUN GÖSTERİMİ	23
ŞEKİL III. 12. TELİN EKSEN DEĞİŞTİREREK MOTORA ULAŞTIRILMASINI SAĞLAYAN MEKANİZMA	24
ŞEKİL III. 13. TEL ÇEKME MEKANİZMASI KOLLARI ÜZERİNE BİKEN KUVVETLER	24
ŞEKİL IV. 1. TEKERLEK MODUNDAN PALET AYAK MODUNA GEÇİŞ.....	27
ŞEKİL IV. 2. PALET AYAK MODUNDAN TEKERLEK MODUNA GEÇİŞ.....	28

TABLO LİSTESİ

SAYFA NO

TABLO II. 1. DÜZ DİŞLİ PROFİLİNİN BÖLÜMLERİ	12
TABLO II. 2. GÜNEŞ DİŞLİ VE KÜÇÜK DİŞLİ ÖZELLİKLERİ	13

BÖLÜM I

GİRİŞ

I.1. GİRİŞ

Endüstri 4.0, ilk 1990'lı yıllarda adını duyurmaya ve günümüzde özellikle robotlarla daha da yaygınlaşmaya başladı. Robotlar, fabrikalarda malzeme taşıma, askeri sahada mühimmat ve yaralı asker nakli, bedensel engellilerin ve ameliyat sonrasında hastaların mobilizasyonu, arama kurtarma çalışmalarında yaralı, ölü ve malzeme taşınması ve bölge taraması gibi daha sayılamayan birçok alanda faaliyet göstermiştir.

Robotların istenen noktaya güvenle ulaşması, seyir halinde kontrollü bir sürüş sağlaması hedefler arasında ilk sırada olmuştur. Bu süreçte yol şartları, robotun dengesi gibi bazı önemli faktörler sürüş kalitesini önemli ölçüde etkilemektedir.

Kara araçlarının veya robotların tekerlekli ya da palet ayaklı olması hareket edeceği zemine göre değişkenlik göstermektedir. Sert zeminde tekerlek; engebeli, taşlı veya kaygan zeminde palet ayak tercih edilmektedir. Paletli bir robotun, düz yolda sürtünmelerin fazla olmasından dolayı verimi azdır. Tekerlekli robotun ise engebeli arazi şartlarında devrilmeden hareket etmesi oldukça güçtür. Bu nedenledir ki bir robotun hem tekerlek hem palet ayağa sahip olması sürüş zemininin durumundan bağımsız kaliteli bir sürüş gerçekleştirmesini sağlayacaktır. Tasarlanan bu sistemde hem tekerlek hem palet mekanizması ile yol durumuna göre seyir, opsiyonel olarak kullanıcıya sunulmuştur.

I.2. PROBLEM TANIMI

Tekerlek milattan önce 4200-4000 tarihlerinde medeniyetler beşiği olan Mezopotamya'da bulunmuştur. İlk üretimi ulaşım olmasa da çanak çömlekçi çarkı olarak kullanılan tekerlekler günümüze kadar en yaygın kullanımı ulaşım haline gelmiştir.

Palet ayağın icat edildiği tarih net olarak bilinemesi de sanayi devriminde çok sık kullanmış hatta ağır yüklerin taşınabilmesi için çoğunlukla tekerlekli yerine paletli taşıma araçları kullanılmıştır.

Günümüzde tekerlek de palet ayak da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Düz yolda seyir halinde bir aracın paletle ilerlemesi zeminle gerçekleşen sürtünmenin fazla olması sebebiyle yüksek enerji sarfiyatına; engebeli araziler, karlı yollar, kaygan zeminlerde yani zemin ile sürtünmenin artırılıp zeminde tutuşun sağlanması gereken bölgelerde tekerlekler yüzey alanlarının çok küçük olması sebebiyle zemine batmalara, aracın dengesini kaybederek devrilmesin sebep olabilmektedir.

Burada görünen şudur ki bir araçta ya tekerlek ya da palet ayak sistemi kullanılmaktadır. Nadiren tekerlek ve paletin birlikte kullanıldığı araçlar da mevcuttur. Fakat bunun yerine tekerleğin palet ayağa dönüştüğü, palet ayağın da tekerleğe dönüştüğü yeniden konfigüre edilebilen sistemlerin tasarlanması gerekmektedir.

I.3. ARAŞTIRMA HEDEFLERİ

Bu tez çalışması kapsamında bir mobil robot için tekerlek/palet ayak melez tahrik sistemi kullanan bir mekanizma geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Robotun başlangıç noktasından bildirilen hedef noktaya varırken, seyredeceği yolun durumuna göre seçilmesi yani düz yolda tekerlek; engebeli arazi, kaygan zemin ve merdiven gibi noktalarda palet ayak modunda kullanımı hedeflenmiştir.

Buradan yola çıkarak mekanizmanın sorunsuz şekilde çalışmasındaki hedefler aşağıdaki gibi listelenebilir;

- Robotun sert zeminde giderken tekerleğe, merdiven çıkarken ve engebeli arazide giderken palet ayağa dönüşen melez tahrik sistemine sahip olması,
- Önerilen bu melez sistemin sadece 4 çeyrek dairenin eklemli olarak birbirine bağlanmasıyla oluşturulması ve bu 4 çeyrek daire eklemlerinden kırılarak yassılaştığı zaman palet ayağa, kırılmadan en açık haline geldiği zaman tekerleğe dönüşmesi,

- 4 çeyrek dairenin palet ayak halinden açık hale yani tekerlek moduna gelmesinin tel çekme mekanizmasıyla sağlanması,
- Tekerlek modunda tekerlek formunun korunması için tel çekme mekanizmasının sürekli devrede kalarak teli gergin tutuyor olması,
- Tekerlek modunda güneş dişlisi çevresindeki 4 dişli çark sistem yüksekliğinin artmasından ötürü içeride gizli kalmasıyla çarkların kayışla bağlantısının kesilmesi ve şaftın kayışı doğrudan tahrik etme özelliğinin ortadan kaldırılmış olması,
- 4 çeyrek dairenin kırılarak yassılaşmasıyla açık hali arasındaki geçişi tel çekme mekanizmasındaki tel gerginliğinin azaltılarak ve kayma mekanizmasının yer çekimi etkisiyle açılarak sağlanıyor olması,
- Robot gövdesinden gelen hareket şaftının sistemin merkezindeki güneş dişlisini çevirerek, palet modundayken, güneş dişlisinin kendisine sürekli kenetli olan 4 dişli çarkı çevirmesi ve bu 4 dişli çark ile kayışın ilerliyor olması,
- Sistem palet ayak modundayken çeyrek dairelerin yüzeyinde akan kayış tekerlek modundayken yüzeye sabit bir kaplama olarak davranıp bu tasarımda literatürde bulunan çoğu örnekte görülen ve dayanıklılığı çok azaltan ve şekil değiştirebilen (uzayıp kısalabilen) kayışa gerek olmaması,
- Sistemin uzayıp kısalan kayışa gerek duymayarak uzun ömürlü ve güvenilir olması.

BÖLÜM II

TEORİK ÇERÇEVE

II.1. GENEL BİLGİLER

Bu tez çalışmasının çıkış noktası robotların merdiven çıkarken ve engebeli arazide tekerlek ile; düz zeminde ise paletle verimli şekilde ilerleyememesidir. Çözüm olarak engebeli arazide kullanım avantajı sağlayan paletli aracın paleti, düz yolda verimli bir sürüş sağlayan tekerlekli aracın tekerleğinden yola çıkılarak, paletten tekerleğe tekerlekten palete dönüşebilen bir mekanizmanın tasarlanması amaçlanmıştır. Bu bölümde robotlar için geliştirilmiş olan tekerlek/palet ayak mekanizmasının tasarlanmasında ve üretilmesinde kullanılan bazı genel bilgiler aktarılmıştır.

II.2. TEORİK YAKLAŞIMLAR

Bu tez çalışmasında ön plana çıkan iki ana bölüm mevcuttur. Palet modundan tekerlek moduna geçiş mekanizması veya tekerlek modundan palet ayak moduna geçiş, bu geçiş esnasında tel mekanizmasının aktif olarak çalışıyor olmasıdır. Bu bölümde tekerlek/palet ayak mekanizmasının tasarlanması ve prototip üretim safhalarında kullanılan teoriksel yaklaşımlar sunulmuştur.

II.2.1. Mekanizma Tasarımında Kullanılan Mühendislik Programları

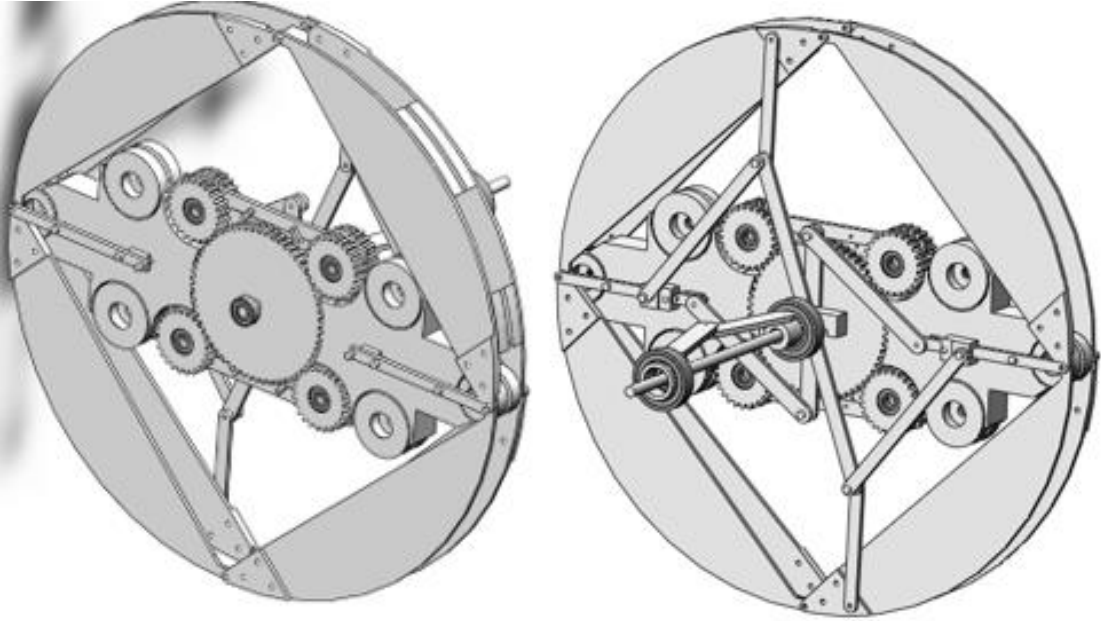
Tekerlek/palet ayak mekanizması tasarımında Solidworks programı kullanılmıştır. Burada çizilmiş olan CAD (bilgisayar destekli tasarım) parçaların bazıları alüminyum bazılarıysa plastiktir. Kullanılmış olan hazır bileşenler de mevcuttur. Plastik olan

parçalar ABS filament malzemesi kullanılarak 3D yazıcıda basılmıştır. Metal parçalarsa alüminyum plakanın plazmada kesilmesiyle üretilmiştir. Mekanizmaya tahrik vermek için mekanizma merkezinde paslanmaz çelik mil kullanılmıştır.

II.2.1.1. Solidworks Tasarım Programı

Solidworks, mühendislikte bilgisayar destekli 3 boyutlu katı parça

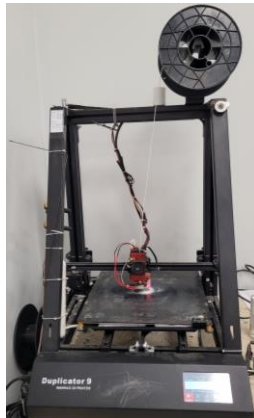
ların modellenmesi ve tasarlanması için kullanılan bir tasarım yazılımıdır. Şekil II.1’de tekerlek/palet ayak mekanizmasının Solidworks’teki izometrik görüntüsü eklenmiştir.



Şekil II. 1. Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasının Solidworks’teki İzometrik Görüntüsü

II.2.1.2. 3D Yazıcı

Solidworks, Catia gibi çizim programlarında tasarlanan parçaların dosya uzantısı değiştirilerek polimer, reçine, kompozit gibi malzemelerin eritilip şekillendirdiği makinelerdir.



Şekil II. 2. Plastik Parça Üretiminde Kullanılan 3D Yazıcı

Tez çalışmasında kullanılan 3D yazıcı modeli Duplicator 9'dur ve içindeki yazılım ile parça CAD dosyasına göre üretilmiştir. Özellikle prototip oluşturulmada yaygın kullanım alanına sahiptir. Kullanılan 3D yazıcı Şekil II.2'de gösterilmiştir.

II.2.2. Parça Üretimlerinde Kullanılan Makineler

Metal ve plastik parçaların üretilmesi için birçok farklı makine kullanılmıştır. Alüminyum parçaların kesilmesi için Lazer kesim makinesi, kayar mafsal gibi parçaların imalatı için testere, torna ve freze makineleri kullanılmıştır. Plastik parçalarda 3D yazıcıyla üretilmiştir.

II.2.2.1. Plazma Kesim Makinesi

Düzlemdeki iletken bir levhanın doğru akımlı bir güç kaynağından beslenerek basınçlı havayı iyonize etmesiyle elde edilen plazma tarafından kesme işlemini yapan makinelerdir.

II.2.2.2. Testere

Ahşap, plastik, metal gibi malzemeleri kesmek için kullanılan makinelerdir. Parça kesim işleminde kullanılan testere Şekil II.3'te gösterilmiştir.



Şekil II. 3 Parça Kesim İşleminde Kullanılan Testere

II.2.2.3. Torna

Kendi ekseninde dönen bir parçanın doğrusal hareketle ilerleyen metal bir uç tarafından şekillendirilmesini sağlayan takım tezgahıdır. Alüminyum parça işleminde kullanılan torna makinesi Şekil II.4'te gösterilmiştir.



Şekil II. 4. Alüminyum Parça İşleminde Kullanılan Torna Makinesi

II.2.2.4. Freze

Sabit olan bir parçanın kendi eksenini etrafında dönen metal bir uç tarafından şekillendirilmesini sağlayan takım tezgahıdır. Alüminyum parça işlemede kullanılan freze makinesi Şekil II.5'te gösterilmiştir.



Şekil II. 5. Alüminyum Parça İşlemede Kullanılan Freze Makinesi

II.2.3. Montajda Kullanılan Makine Elemanları

Bir makinede iki parçanın birbirine bağlantısının sağlanması için bazı yardımcı parçalar kullanılmaktadır. Kullanılan bu parçalara makine elemanları denir. Tasarlanıp her bir parçası üretilmiş olan tekerlek/palet ayak mekanizmasında da montajın gerçekleştirilebilmesi için cıvata, rulman, somun, pul gibi makine elemanları kullanılmıştır.

II.2.3.1 Cıvata

Mekanik bir sistemde üzerine delik açılmış iki parçanın, delikleri üst üste olacak şekilde diğer ucuna da somun takılıp iki parçanın sıkıştırılarak montajlanmasına yarayan, üzerinde bağlandığı yeri tutması için dişler bulunan ve en yaygın kullanılan makine elemanıdır. Altıgen, alyan ve havşa başlı gibi çeşitleri bulunmaktadır ve mekanizmada altıgen ve alyan başlı cıvatalar kullanılmıştır. Cıvata resmi Şekil II.6'te gösterilmiştir.



Şekil II. 6. Cıvata

II.2.3.2 Rulman

Mekanik bir sistemde montajlanması gereken iki parçanın aynı eksen üzerinde birbirinden bağımsız şekilde dönmesini sağlamak için kullanılan makine elemanlarıdır. Rulman seçimi içinden geçen shaftın çapına ve üzerine binebilecek kuvvet büyüklüğüne göre gerçekleştirilmektedir. Rulman resmi Şekil II.7’te gösterilmiştir.



Şekil II. 7. Rulman

II.2.3.3 Somun

Mekanik bir sistemde üzerine delik açılmış iki parçanın, delikleri üst üste olacak şekilde bir ucundan cıvata takılıp, cıvatanın uç kısmındaki dişlere bağlanarak iki parçanın sıkıştırılıp montajlanmasına yarayan ve cıvatayı sardığı iç yüzeyde dişler bulunan makine elemanlarıdır. Somun resmi Şekil II.8’te gösterilmiştir.



Şekil II. 8. Somun

II.2.3.4 Pul

Somun, cıvata gibi montaj elemanlarının bağlandığı parça yüzeyine yapacağı hasarı önlemek amacıyla kullanılan ve merkezinde takılacağı çapa göre delik bulunduran makine elemanıdır. Pul resmi Şekil II.9’te gösterilmiştir.



Şekil II. 9. Pul

II.2.4. Mekanizma

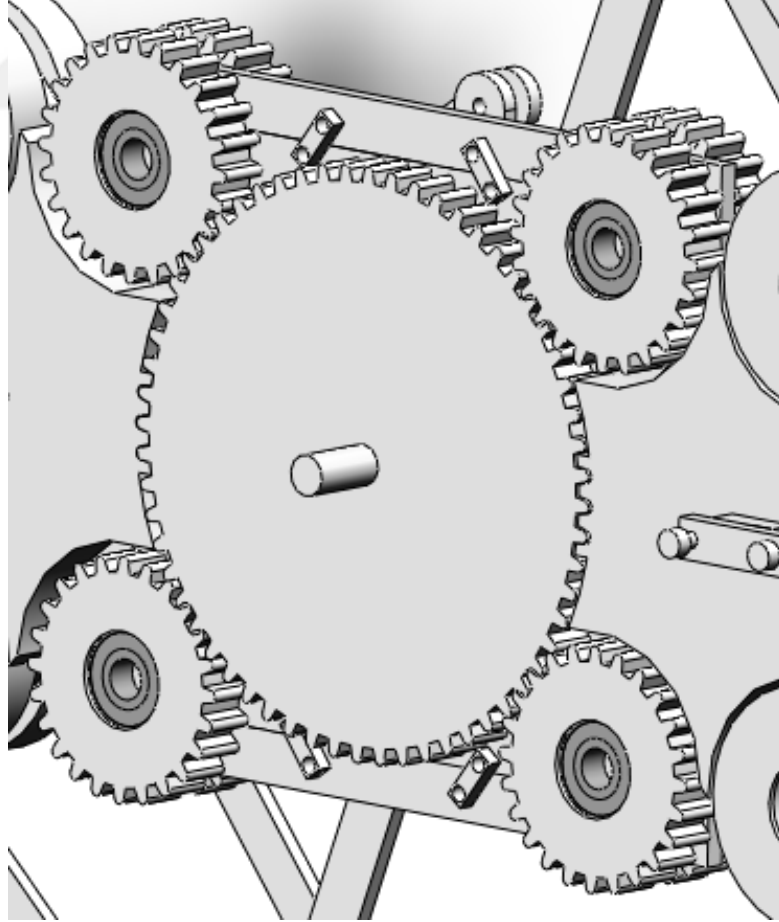
Mekanik sistemlerde, hareketin aktarılması, dönüştürülmesi ve kuvvetin iletilmesi için kullanılan uzuvlardır. Mekanizmalar bir noktası hareketsiz kabul edilerek uç noktanın istenen konuma ulaşmasını sağlamaktadır.

Kullanım yerine göre çeşitleri bulunmaktadır;

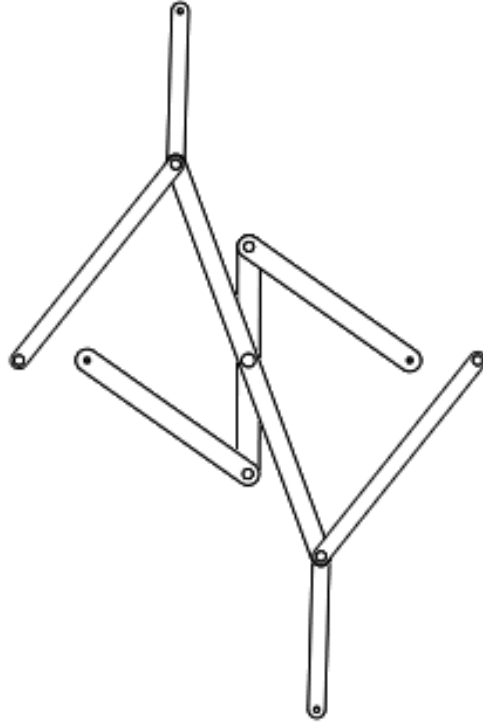
- Kol tipi,
- Dişli tip,
- Kam tipi,
- Sürtünmeli çark tipi,
- Zincir tipi,
- Aralıklı tip,
- Kayış-kasnak tipi

Şeklinde sınıflandırılabilir.

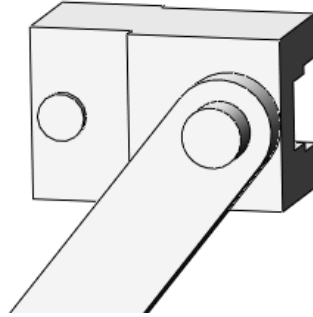
Bu tez çalışması için tasarlanmış olan tekerlek/palet ayak dönüşüm mekanizmasında iki tip mekanizma kullanılmıştır. Bunlar dişli ve kol tipi mekanizmalarıdır.



Şekil II. 10. Dişliler



Şekil II. 11. Kollar



Şekil II. 12. Mafsal

II.2.4.1. Dişli Tipi Mekanizmalar

Mekanizma tipleri içinde en yaygın kullanılan mekanizmalardır. Tahrik sisteminden alınan dönme hareketinin aktarılmasını, torkun değiştirilmesini ve gerekirse yön değişimini sağlamaktadır. Mekanizmadaki her uzuv dişli bir yapıya sahiptir ve dişli çark olarak da adlandırılmaktadır. Dişlilerde büyük olan dişliye çark, küçük olan dişliye pinyon dişli denir. Dişli çarkların diş sayıları değiştirilerek dönüşüm oranları üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir.

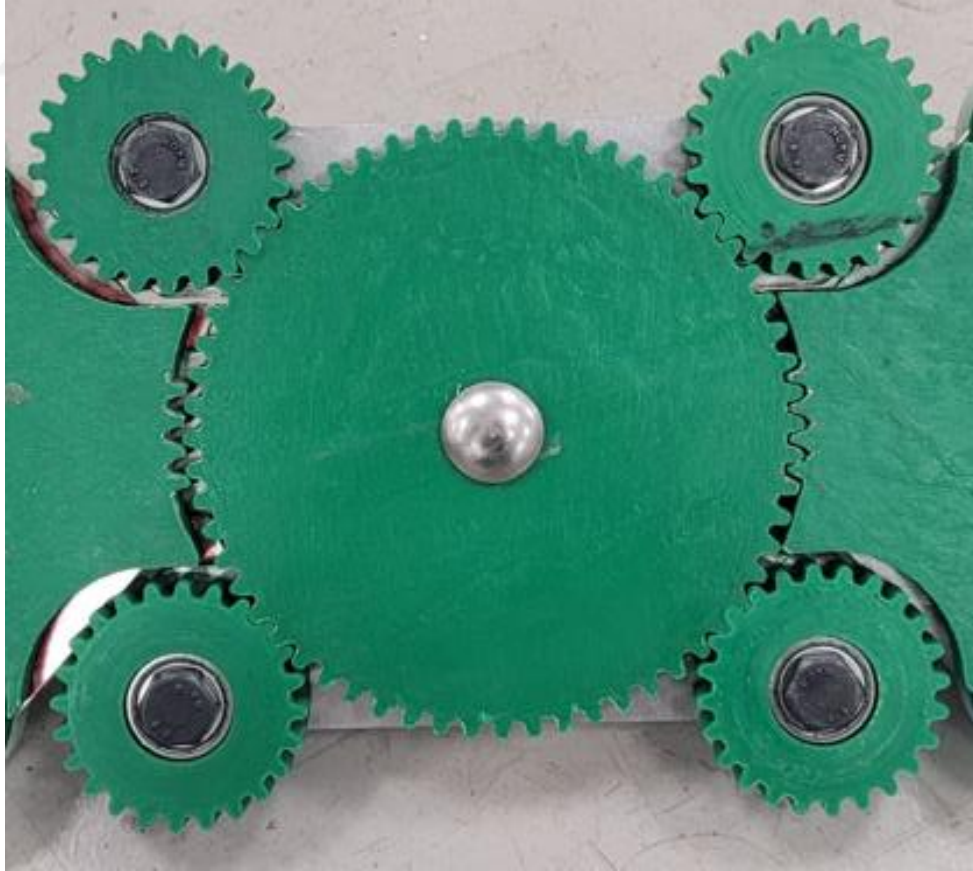
Endüstride özellikle yüksek güç gerektiren sistemlerde birim başına taşıdığı güç kapasitesi en yüksek olan makine elemanı dişli mekanizmalar olduğundan çokça tercih edilmektedir. Bunun yanında kullanım alanı çok yaygın olan dişli mekanizmalar iş makinalarında, otomotivde, savunma sanayisinde ve mekanik sistemlerin çoğunda yer almaktadır.

Dişli çarklarda dişlilerin yapısına göre isimlendirilen birçok dişli çark çeşidi mevcuttur. Düz dişli, helisel dişli, konik dişli, sonsuz vida dişli, kremayer dişli mekanizmaları olarak sınıflandırılabilir. Bu tez çalışmasında düz dişli mekanizması kullanılmıştır.

1.a. Düz Dişli Mekanizmaları

Mekanik sistemlerde kullanılan dişli mekanizmalarının en yaygın kullanılan çeşididir. Düz dişlilerin imalatı diğer dişli imalatlarına göre kolay ve ucuzdur. Malzemeler çalışma koşullarına göre seçilmektedir. Alüminyum, döküm, çelik, plastik en yaygın kullanılan malzeme çeşitleridir.

Düz dişli çarklar, hareket shaftına eş eksenle bağlanmış bir dişlinin, dişleri birbirine geçirilmiş ve paralel eksenle montajlanmış başka bir dişli ile aynı anda karşılıklı olarak çalışmasıyla oluşturulmaktadır.



Şekil II. 13. Düz Dişli Mekanizması

Dişli çiftlerinde dönme yönü ters ve çizgisel hızlar birbirine eşittir. Çalışmada senkronizasyonun sağlanabilmesi için ayrıca iki dişli modülünün birbirine eşit olması gerekmektedir.

Tablo II. 1. Düz Dişli Profilinin Bölümleri

Diş üstü dairesi	Diş üstünden geçen dairedir ve diş üstü çapı da denir.
Diş dibi dairesi çapı	Diş dibinden geçen dairedir ve diş dibi çapı da denir.
Modül	Bölüm dairesi çapının diş sayısına oranıdır, beraber çalışan dişli çiftinde modüller aynıdır.
Adım	Bölüm dairesindeki bir diş boşluğu ve diş kalınlığı toplamına denir.
Diş sayısı	Bölüm dairesi üzerindeki artarda iki diş üstü tepe noktası sayısıdır.
Bölüm dairesi çapı	Dişlinin anma çapı
Diş yüksekliği	Diş başından diş dibine kadar olan mesafedir.
Diş başı yüksekliği	Bölüm dairesi ve diş üstü arasındaki mesafedir.
Diş dibi yüksekliği	Bölüm dairesi ile diş dibi arasındaki mesafedir.
Diş boşluğu veya diş kalınlığı	En geniş diş mesafesi, en geniş diş boşluğu mesafesi

Düz dişli çark formülleri bir dişli çifti tasarımı yaparken çok önemlidir.

Dişli CAD çizimlerinde kullanılan formüller aşağıdaki gibidir:

$$m = \frac{p}{\pi} \quad (1.1)$$

$$P = mt \cdot \pi \quad (1.2)$$

$$z = \frac{D}{m} \quad (1.3)$$

$$D = m \cdot z \quad (1.4)$$

$$da = D + 2 \cdot m \quad (1.5)$$

$$df = D - 2,332 \cdot m \quad (1.6)$$

$$h = 2,166 \cdot m \quad (1.7)$$

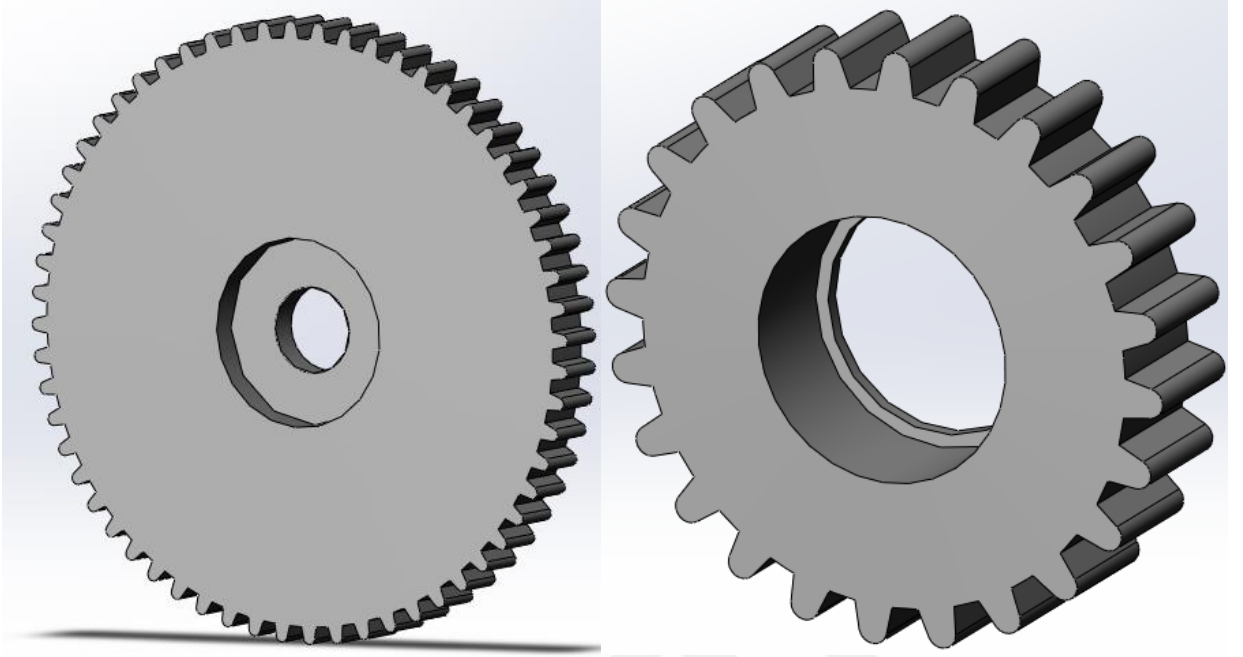
$$ha = m \quad (1.8)$$

$$hf = 1,166 \cdot m \quad (1.9)$$

$$s = \frac{p}{2} \quad (1.10)$$

$$e = \frac{p}{2} \quad (1.11)$$

$$E = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1.12)$$



Şekil II. 14. Güneş Dişli ve Küçük Dişli Solidworks Görüntüsü

Güneş dişli ve küçük dişli özellikleri Tablo II.2’de gösterilmiştir.

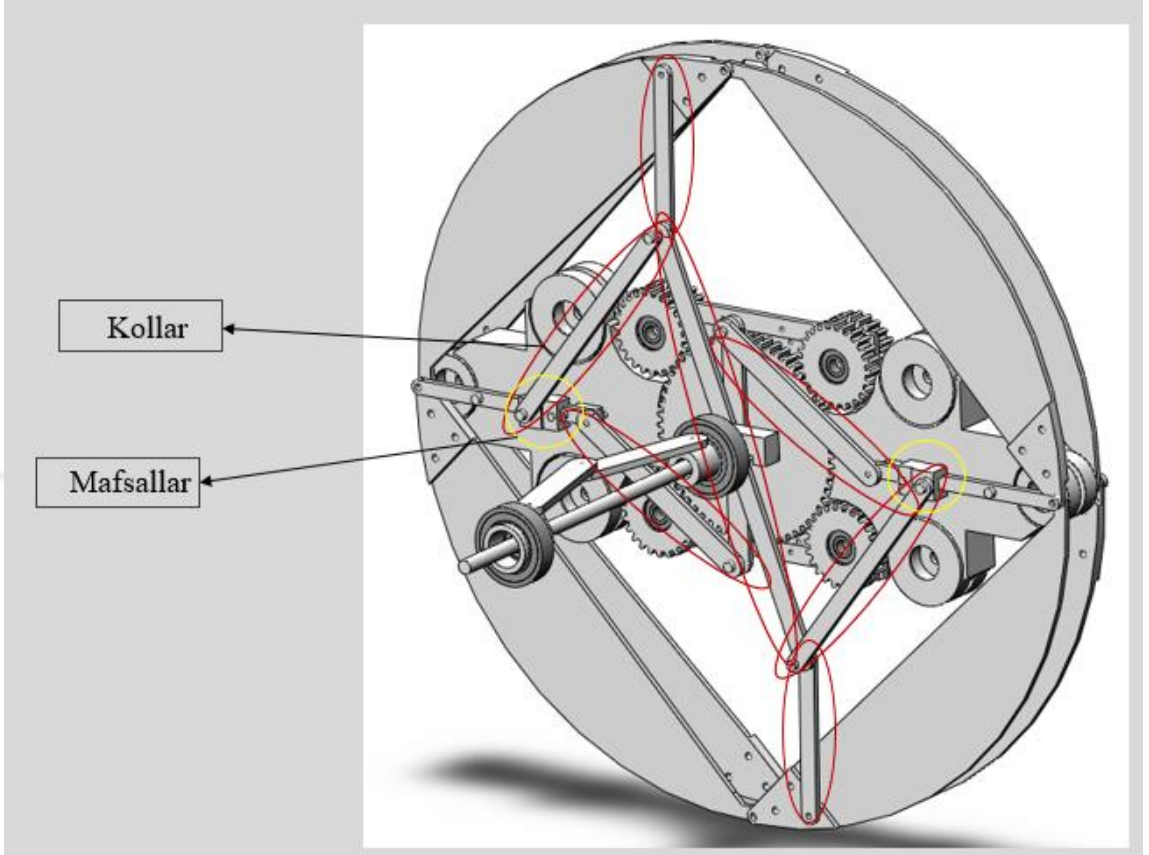
Tablo II. 2. Güneş Dişli ve Küçük Dişli Özellikleri

	Güneş Dişli	Küçük Dişli
Diş üstü dairesi çapı	144,40 mm	60 mm
Diş dibi dairesi çapı	136,40 mm	52 mm
Diş adımı	8 mm	8 mm
Diş sayısı	60 adet	24 adet
Diş yüksekliği	4 mm	4 mm

II.2.4.2. Kol Tipi Mekanizma

Bir sistemde kuvveti bir noktadan başka bir noktaya aktarmak amacıyla kullanılan çubuk veya kol şeklindeki mekanizmalardır. Birbirlerine döner ya da kayar mafsalla bağlanabilirler. Kol mekanizmaları düzlemsel ya da hacimsel şekilde sınıflandırılabilir. Tekerlek/palet ayak mekanizmasında düzlemsel kol mekanizması

kullanılmaktadır. Şekil II.15'te tel çekme mekanizmasının Solidworks'teki kol ve mafsalları görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil II. 15. Tel Çekme Mekanizmasının Solidworks'teki Kol ve Mafsalları Görüntüleri

II.3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde hem engebeli arazide seyir yapabilen hem merdiven çıkabilen hem de yol şartlarında ilerleyebilen, manevra kabiliyetine sahip robotların kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu zemin tiplerinin hepsinde ilerleyebilmesi için gerekli durumda paletle de dönüşebilen çeşitli tekerlek tasarımları geliştirilmektedir.

Palet ayak engebeli zeminlerde sağlıklı ilerleyebilmesi bakımından avantajlı olmakla beraber tükettiği enerji miktarı yüksektir. Tekerlek ise hızlı ve az enerji kaybıyla yol kat etme bakımından avantajlı olmakla beraber sert zemin dışında sağlıklı ilerleyememektedir. Yeniden yapılandırılabilir palet-tekerlek mekanizmasına sahip çalışma alanlarında, paletten tekerleğe ya da tekerlekten paletle geçişte birçok yöntem denenmiştir. Lyness ve arkadaşının [1] çalışmasında arazi araçlarına uyarlanmış dönüşebilir palet/tekerlek sisteminde hidrolik pistonlar kullanılarak jant üçgen ve daire arasında geçiş yapılmakta, jant üzerine kaplanan kauçuk kayış tekerlek modunda janta

sabitlenirken palet modunda jantın üzerinde kayarak hareket sağlamaktadır. Bu çalışmada sistemin iki mod ve farklı hızlarda enerji tüketimi incelenmiştir. Benzer sistem tasarımını kullanan başka bir çalışmada ise Deng ve arkadaşları [2] iç tahrik mekanizmasını incelemiş ve Liu ve arkadaşları [3] ek olarak kullanılan kritik parçaların analizlerini sunmuştur.

Luo ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise bir mobil robota takılan, jantın en dıştaki bir noktasına pivotlanmış iki kolun pistonlarla açılmasıyla tekerlek modundayken katlı olan palet ayağın yere bakan kızığını oluşturan ve kayışın boyunun uzama ihtiyacını kayışın düğümlerini bağlayan levha yaylarla sağlayan bir tekerlek/palet tasarımı yapılmıştır [4].

Rachkov ve arkadaşlarının çalışmasında ise paletli bir şasinin iki ucuna yükseltilebilir indirilebilen kollar takılmış ve uçlarına eklenen tahrikli tekerleklerle ister tekerlek üstünde ister palet üzerinde hareket edebilen bir sistem geliştirilmiştir [5].

Lin ve arkadaşının çalışmasında paletli bir şasi ucuna pivotlanmış bir kol üzerine palet tahrik mili takılmıştır. Pivotlanmış kolun açılma konumuna bağlı olarak standart boyda, daha uzun ve açılı yaklaşma tarafına sahip üç farklı konfigürasyonda palet ayak elde edilmiştir [6].

Bruzzone'un [7], Li'nin [8], Liu'nun [9] ve Zhang'ın [10] çalışmalarında 6 No'lu referansa benzer olarak pivotlu kol ucunda tekerlek bulunmakta, farklı olarak ise pivot noktası palet şasisinin orta hizasında yanlarından çıkmakta ve bu tekerlek palet kayışını germek yerine paletli şasinin yerle yaptığı açıyı değiştirmek için kullanılmaktadır. Liu'nun [9] ve Zhang'ın [10] çalışmalarında buna ek olarak şasiye manipülatörler eklenmiş, paletlerin farklı konfigürasyondaki durumları için kuvvet analizleri gerçekleştirilmiş ve robotun merdiven çıkma prosedürleri modellenmiştir.

Leng ve arkadaşlarının çalışmasında su altında ilerleyebilmek için tasarlanan bir robotta jantın içine üç kollu yıldız formunda dışa bakan pistonlar yerleştirilmiş, bu üç pistonun uçlarına tekerlek eklenmiş ve yukarı bakan piston kısılırken aşağı bakan pistonlar uzayarak dışa gerilmiş olan kauçuk kayışın zemin üzerinde uzun bir düz bir yüzey oluşturarak palete dönüşmesi sağlanmıştır [11].

Kislassi ve arkadaşının çalışmasında esnek şasili bir palet geliştirilmiş ve bu esneklik sayesinde palet engebeli zeminin şekline uyum sağlamıştır. Şasilerin art arda eklenmesiyle dozerin ortadan eklemli sistemine ya da yan yana eklenmesi ile de standart bir paletli araca benzer bir yapı oluşmaktadır. Tahrik, önde çekme ve arkada

itme için kullanılan birer motor ile sağlanmıştır [12].

Kim ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmadaysa esnek şasili bir yapı mevcuttur. Tasarlanan tek paletli aracın senaryosu merdiven çıkması üzerine kurulmuştur. Robot iki koldan oluşmaktadır. Merdivenin ilk basamağına tırmanışta ön ve arka kol arasındaki noktadan kırımın sağlanıp ön eklem tırmanma yüzeyine dayanmaktadır. Tırmanma tamamlandığında arka kol ön kol ile paralel hale gelerek arka kolun alt basamaktan üst basamağına tırmanışı sağlanmıştır [13].

Cui ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise Luo ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya ek denge stabilizasyonunu sağlamak amacıyla bir kontrol sistemi tasarlanmış ve kuvvet, hız analizleri gerçekleştirilmiştir [14].



BÖLÜM III

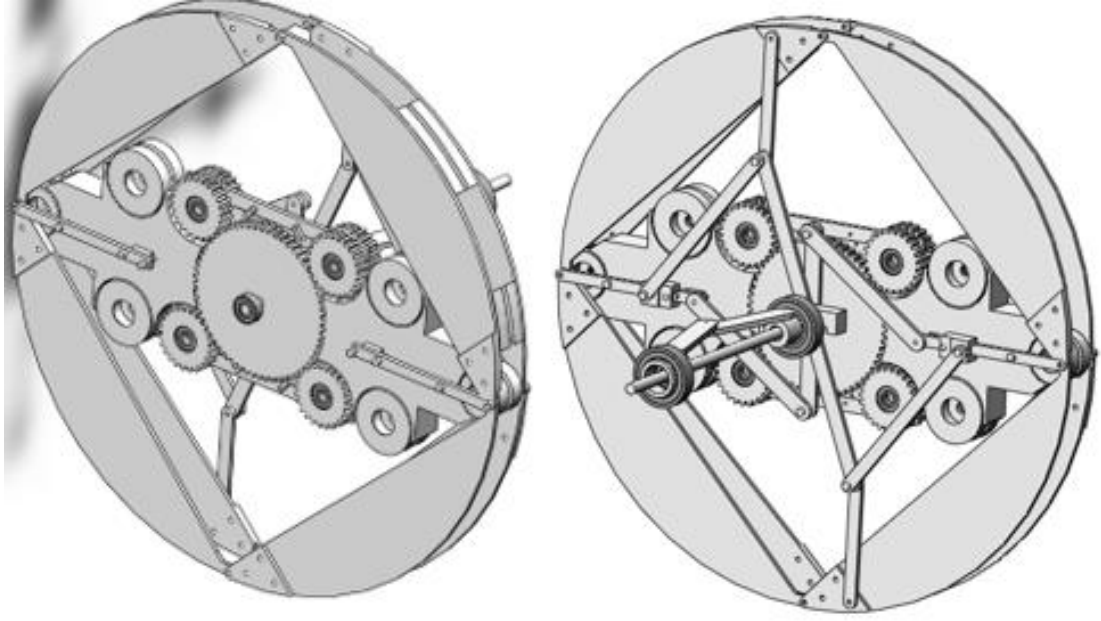
TEZ ÇALIŞMALARI

III.1. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yapılmış olan tez çalışmasının tasarım ve prototipinin üretim aşaması adım adım anlatılmıştır.

III.1.1 Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasının Tasarlanması

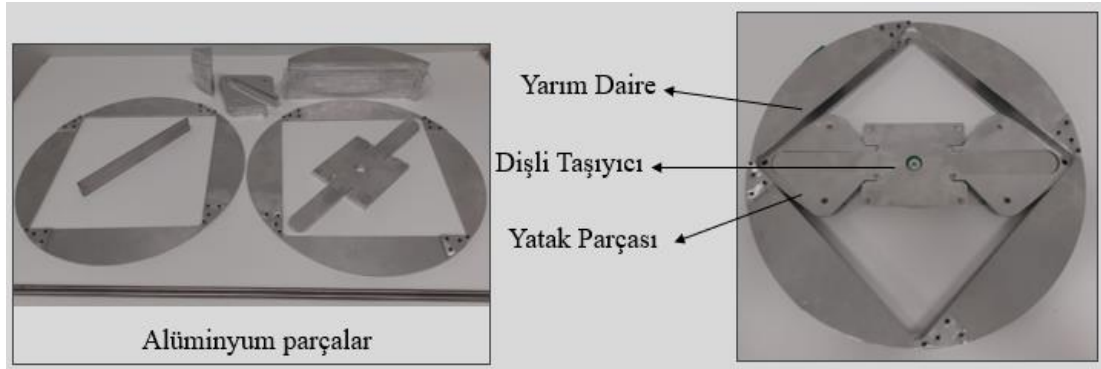
Robotların, merdiven çıkarken ve engebeli arazide tekerlek ile, düz zeminde ise paletle verimli şekilde ilerleyememesi önemli bir sorun oluşturmaktaydı. Bu tez çalışmasıyla engebeli arazide kullanım avantajı sağlayan paletli aracın paleti, düz yolda verimli bir sürüş sağlayan tekerlekli aracın tekerleğinden yola çıkılarak, paletten tekerleğe tekerlekten palete dönüşebilen bir mekanizma tasarlanmış ve çizim programı olarak Solidworks kullanılmıştır. Şekil III.1’de Solidworks’te çizilmiş olan tekerlek/palet ayak mekanizmasının dıştan ve içten görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil III. 1. Solidworks'te Çizilmiş Olan Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasının Dıştan ve İçten Görüntüsü

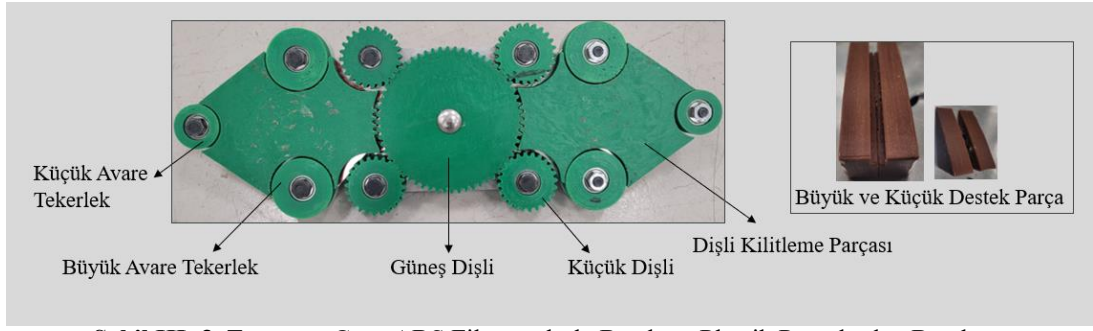
III.1.1.1. Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasında Kullanılan Parçalar

- Plastik parçalar ABS filament kullanılarak CAD tasarıma göre üretilmiştir.
- Metal parçalar 4 mm alüminyum plakanın plazmada kesilmesiyle üretilmiştir.
- Bir tekerlek veya palette 4 adet bir yanda 4 adet diğer yanda olmak üzere 8 adet yarım daire, 1 adet dişli taşıyıcı parça ve 2 adet de dişlilerin montajlandığı parçayı taşıyan yatak parçası bulunmaktadır (Şekil III.2).
- Mekanizmanın tahrik edilmesi için merkezde Ø10 mm paslanmaz çelik mil kullanılmıştır.



Şekil III. 2. Tasarıma Göre Lazerde Kesimi Yapılan Alüminyum Parçalar

- Bir tekerlek ya da palet ayak mekanizmasında 2 adet güneş ve 8 adet küçük dişli, 8 adet küçük dişli ebadında ve 4 adet daha küçük boyutta avare tekerlekler, 4 adet tekerlek modunda güneş dişliyi kilitleyen karşıt dişli parçalar, alüminyum yarım dairelerini tutan ve kayışın yataklanmasını sağlayan 4'er adet büyük ve küçük destek parça kullanılmıştır (Şekil III.3).



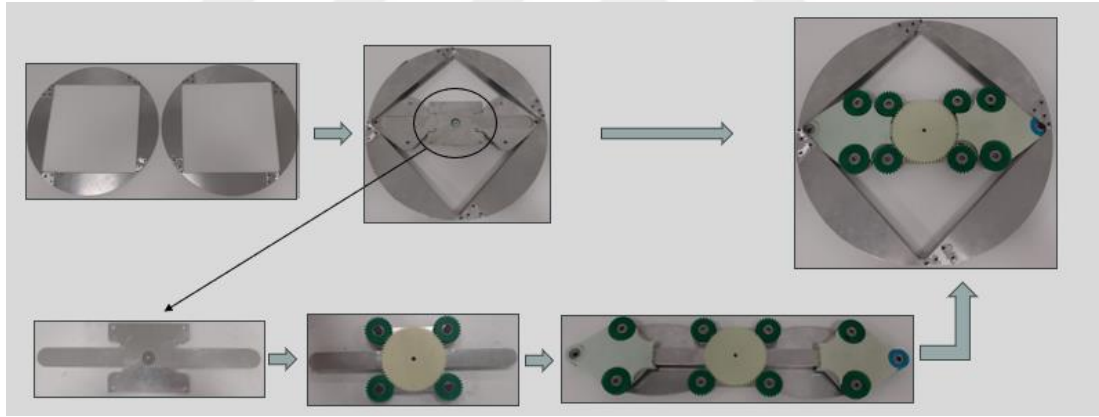
Şekil III. 3. Tasarıma Göre ABS Filamentlerle Basılmış Plastik Parçalardan Bazıları

- Tekerlek/palet ayak mekanizmasında rulman, cıvata, pul gibi çeşitli makine elemanları kullanılmıştır.

III.1.2 Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasının Montajlanması

Tekerlek/palet mekanizmasının alüminyum ve ABS malzemeden üretilmiş parçaları çeşitli makine elemanları vasıtası ile bir araya getirilerek montajlanmıştır.

Montaj işleminde çeşitli boyutlarda rulman, cıvata, somun ve pul kullanılmıştır. Bazı bölgelerde yapıştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil III. 4. Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasının Montajı

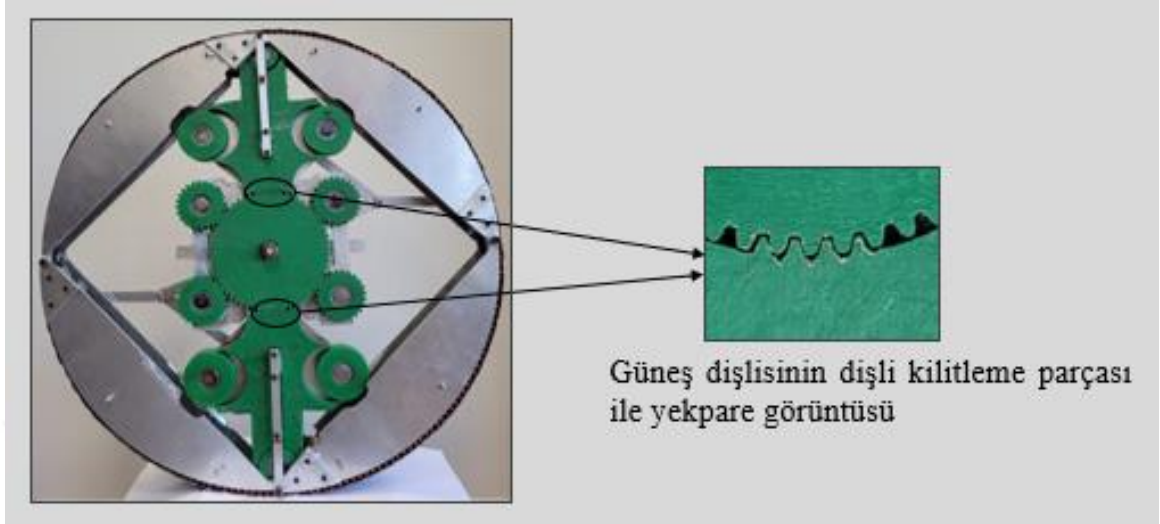
III.1.3 Tekerlek Mekanizması

Düz yolda sürüşün verimli halde gerçekleştirilmesi için mekanizma tekerlek modunda kullanılmaktadır. Tekerlek/palet ayak mekanizmasının tekerlek modunda olması halinde yarım daire parçalar eklemlerinden açık haldedir.

Güneş dişlisi ile dişli kilitleme parçalarının dişleri birbiri geçmiş durumdadır. Bu durumda güneş dişlisinin merkezinden motora bağlı şafttan gelen hareket ve kilitlenmiş olan dişliler sayesinde yekpare hale gelmekte ve tüm mekanizma o şekilde dönmektedir.

Şekil III.5'te tekerlek modunda güneş dişlinin kilitleme parçası ile yekpare görüntüsü ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.

Dönüş esnasında kayış, tekerleğin dış yüzeyinde bir kaplama şeklinde davranmaktadır.

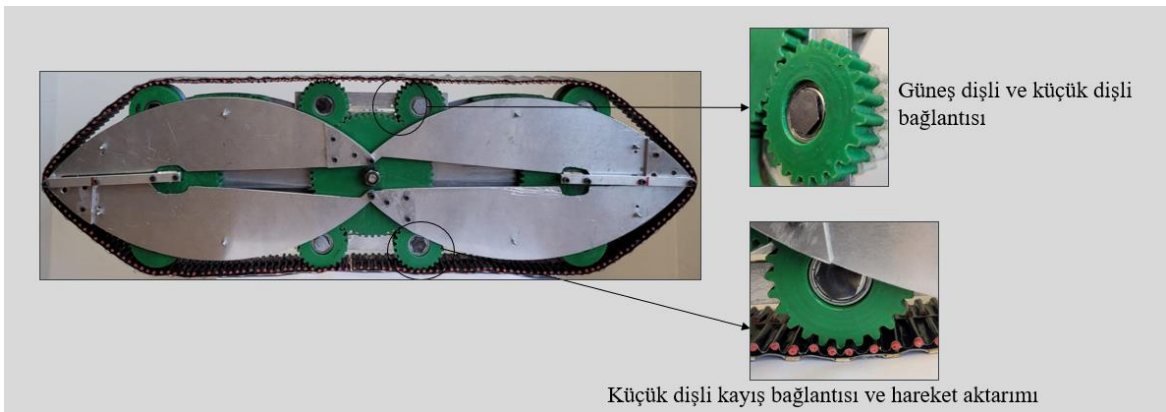


Şekil III. 5. Tekerlek Modunda Güneş Dişlinin Kilitleme Parçası ile Yekpare Görüntüsü

III.1.4 Palet Ayak Mekanizması

Engelibeli arazilerde sürüşün verimli halde gerçekleştirilmesi için mekanizma palet ayak modunda kullanılmaktadır. Tekerlek/palet ayak mekanizmasının palet modunda olması halinde yarım daireler eklemlerinden kapalı haldedir.

Güneş dişlisi şafttan aldığı hareketi çevresinde bulunan 4 küçük dişliye aktarmaktadır. Küçük dişliler döndükçe kayış hareket etmekte ve avare tekerleklerle birlikte kayışın ilerlemesi sağlanmaktadır. Şekil III.6'te palet ayak modunda güneş dişlinin küçük dişli ile bağlantısı ve küçük dişli vasıtası ile kayışa hareket aktarımı ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.



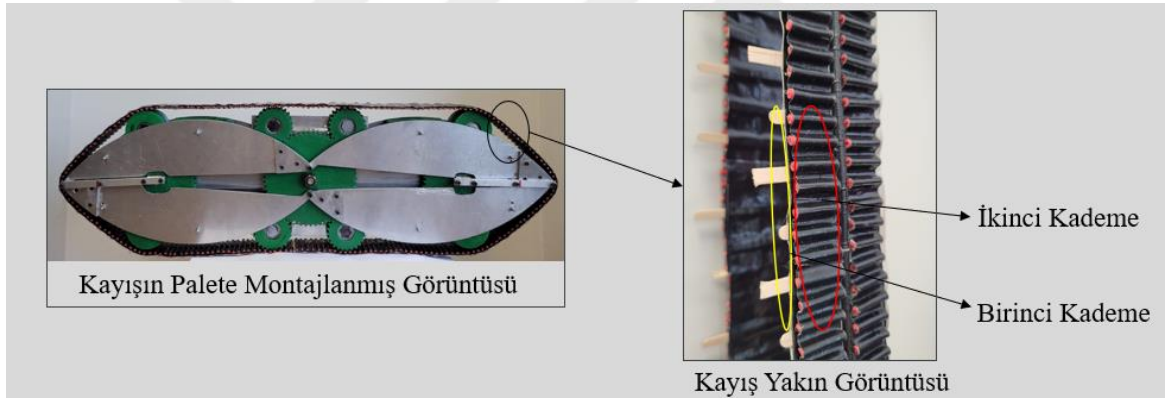
Şekil III. 6. Palet Ayak Modunda Güneş Dişlinin Küçük Dişli ile Bağlantısı ve Kayışa Hareket Aktarımı

III.1.5 Kayış Üretimi

Tekerlek/palet ayak mekanizmasında tekerlek modunda tekerleğin zemin ile tutunabilmesi; palet ayak modunda küçük dişlilerin güneş dişliden aldığı hareketi zemine aktarıp aracın ilerleyebilmesini sağlayabilmesi için bir yapıya ihtiyaç duyulmuştur ve bu kayış ile sağlanmıştır.

Kayış için saha araştırılması yapılmış fakat bu çalışma için uygun bir kayış bulunamamıştır. Bu sebeple prototip üretim için birçok yöntem denenmiş ve hareket aktarımı en iyi prototipte üretildiği şekliyle sağlanmıştır.

Kayış iki kademedен oluşmaktadır. İlk kademedē destek tahta çubuklarının ve merkeze yerleştirilen hortumun sabitlendiği bir bant, ikinci kademedeyse hareket aktarımını sağlayan dişli yapıya sahip bir bant bulunmaktadır. Üretilen bu iki bant birleştirilerek kayış haline getirilmektedir. Kayış Şekil III.7’de ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.



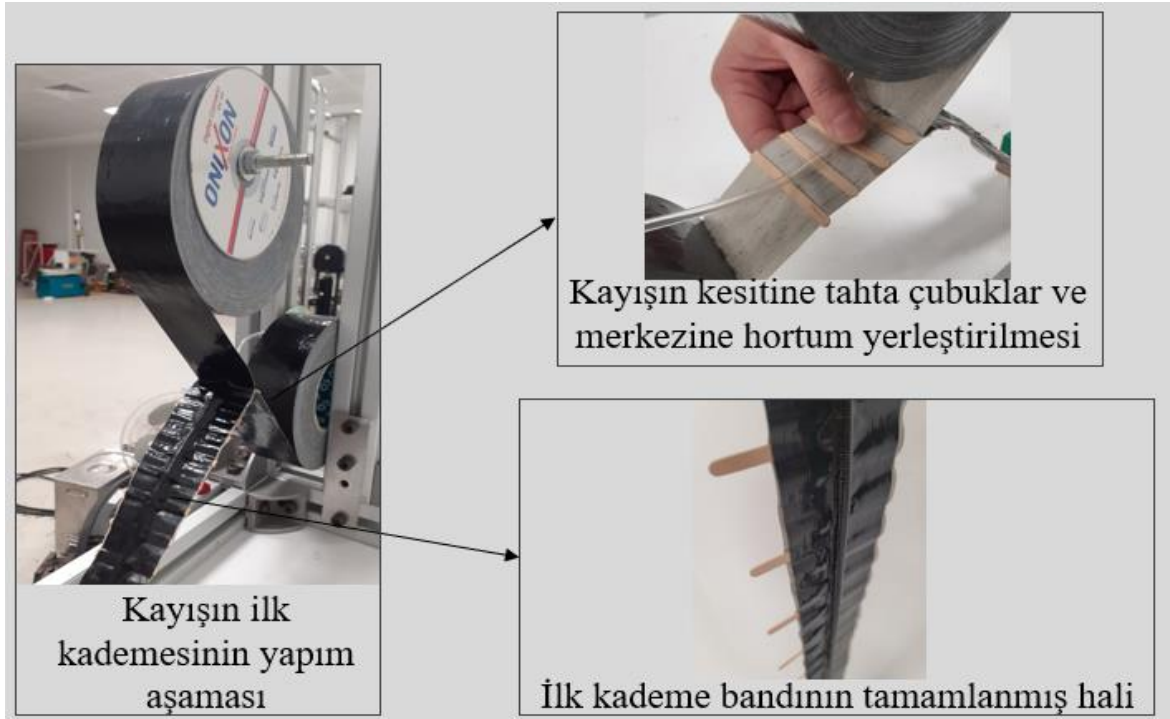
Şekil III. 7. Kayışın Ayrıntılı Görüntüsü

III.1.5.1. Yayış Üretimi-1. Kademe

Kayışın ilk kademesinde hortum kayış merkezine konumlandırılmıştır. Buradaki amaç kayışın palet veya tekerlekten dış kenarlara kaymasını engellemektir. Hortum, destek kanallarının arasına girerek kayışın kanalda tutulmasını sağlamaktadır.

Tahta çubuklar ile kayışın daha dayanıklı olması ve yatayda daha düz bir şekilde durması sağlanmaktadır.

Kayışın ilk kademe prototip üretimi Şekil III.8’de ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.

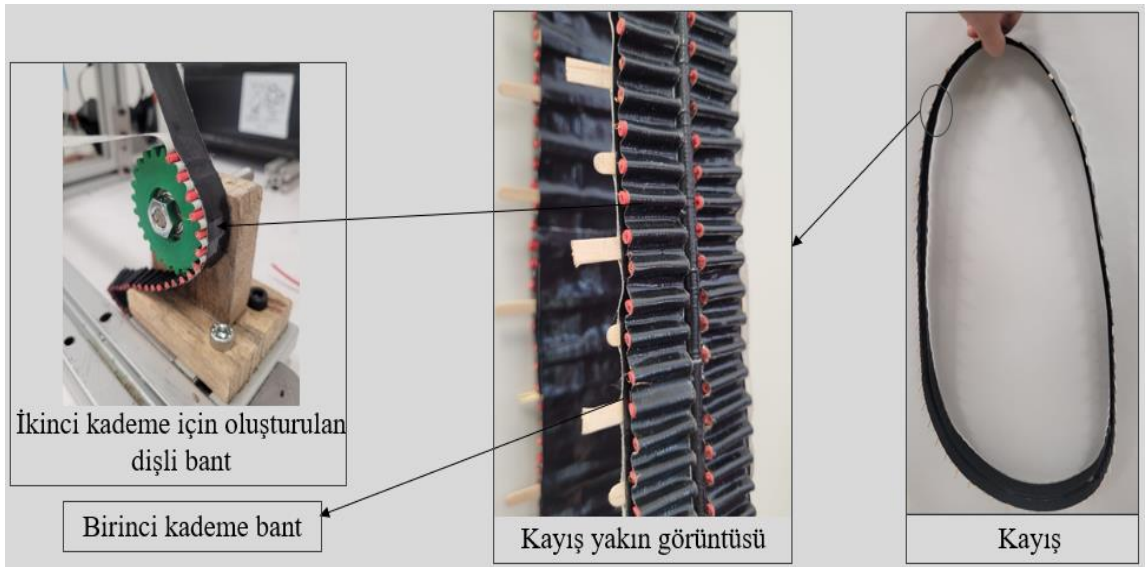


Şekil III. 8. Kayışın İlk Kademe Prototip Üretimi

III.1.5.2. Yayış Üretimi-2. Kademe

Kayışın ikinci kademesinde kabloların küçük boyutlarda kesilmesi ile küçük dişli üzerinden ölçüler alınarak dişli şerit bant oluşturulmuştur.

Oluşturulan 2 adet şerit halindeki dişli bant 1. kademe bant ile birleştirilerek kayış haline getirilmiştir. Montajı tamamlanan kayış tekerlek/palet ayak mekanizmasına takılmıştır. Kayışın ikinci kademe prototip üretimi ve detaylı görüntüsü Şekil III.9’da ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.



Şekil III. 9. Kayışın İkinci Kademe Prototip Üretimi ve Detaylı Görüntüsü

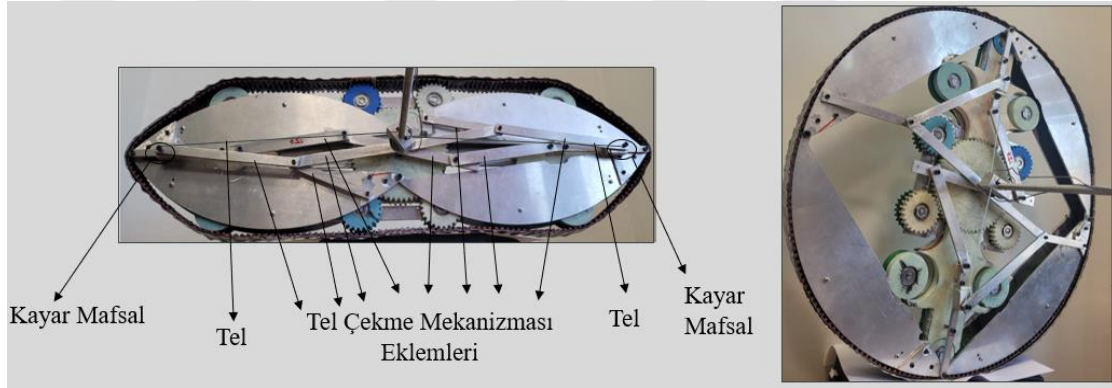
III.1.6 Tel Çekme Mekanizması

Tekerlek/palet ayak mekanizmasında palet ayak modundan tekerlek moduna geçişte kapalı olan yarım daire eklemlerinin açılması gerekmektedir. Bu dairelerin açılması için geliştirilen mekanizmaya tel çekme mekanizması denmiştir.

Tel mekanizması birbirine bağlı eklemlerden ve iki adet kayar mafsaldan oluşmaktadır. Eklemlerin en uçlarında bulunan mafsallarda ise tel bağlantısı bulunmaktadır.

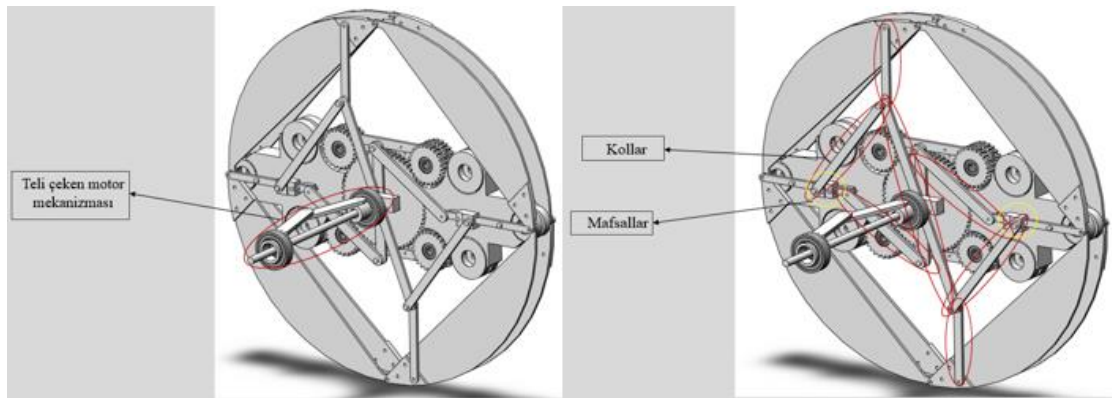
Yarım dairelerin açılması için mafsallara bağlanmış tele çekme kuvveti uygulanmaktadır. Uygulanan bu kuvvet tekerlek veya palet ayak merkezinde bulunan bir motor ile sağlanmaktadır.

Tel çekme mekanizmasına ait her bir uzuv ve palet ayak-tekerlek modlarındaki durumu Şekil III.10'da ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.



Şekil III. 10. Tel Çekme mekanizması Uzuvarları ve Palet Ayak-Tekerlek Modlarındaki Durumunun Gösterimi

Tel çekme mekanizmasına ait kollar, mafsallar ve tel çekme mekanizmasının motor mekanizmasına ait Solidworks görüntüleri Şekil III.11'da ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.

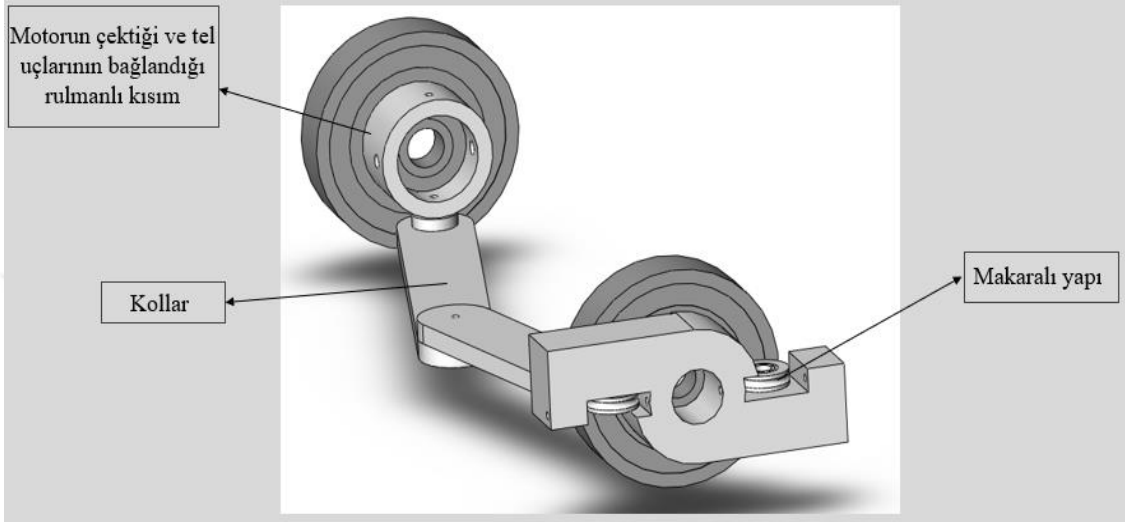


Şekil III. 11. Tel Çekme Mekanizması Uzuvarları ve Palet Ayak-Tekerlek Modlarındaki Durumunun Gösterimi

Eklemlerin açılıp kapanmasına yardımcı olan telin, merkezden eksen değiştirerek

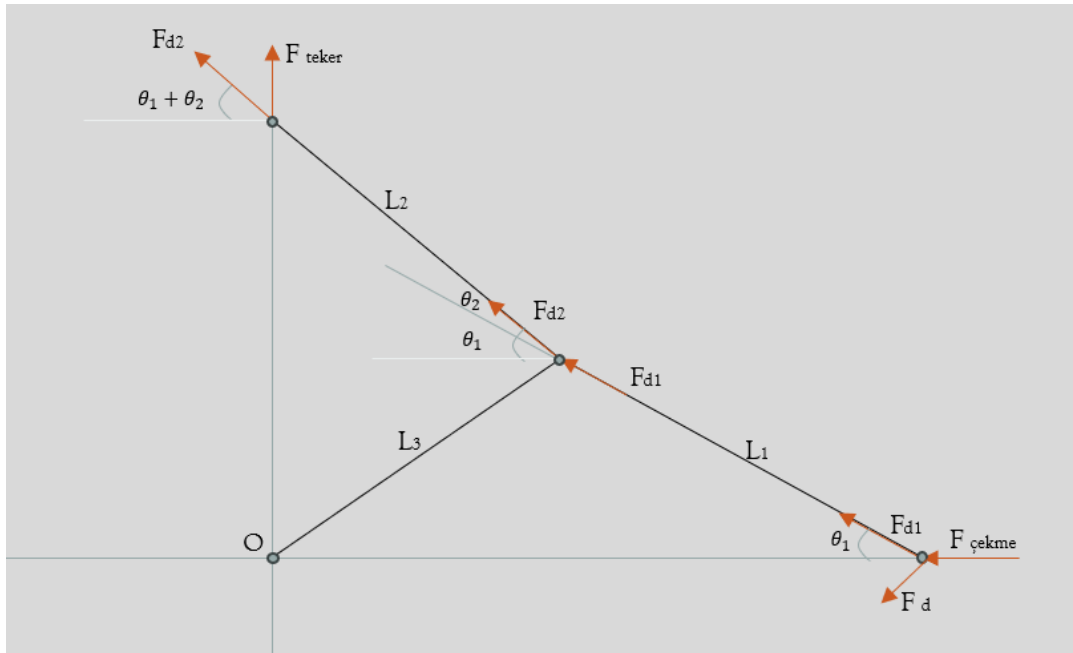
motora bağlantısını sağlayan rulmanlı bir yapı oluşturulmuştur. Rulmanlı yapı üzerine yerleştirilen makaralar telin herhangi bir zarar görmeden motora ulaşmasını sağlamıştır. Motorun çektiği rulmanlı kısım tekerlek/palet ayak mekanizmasına yaklaşıp uzaklaşmasını iki adet kol ile sağlamaktadır.

Telin eksen değiştirerek motora ulaştırılmasını sağlayan mekanizma Şekil III.12’de ayrıntılı şekilde gösterilmiştir (ayrıntılı gösterim için şaft gizlenmiştir.).



Şekil III. 12. Telin Eksen Değiştirerek Motora Ulaştırılmasını Sağlayan Mekanizma

Telin çekilerek palet ayağın tamamen tekerlek haline gelmesi için gerekli olan kuvvet belirlenmiş ve motor seçimi bu çekme kuvvetine göre gerçekleştirilmiştir. Şekil III.13’te tel çekme mekanizmasında tel çekme mekanizmasının kolları üzerine binen kuvvetler ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.



Şekil III. 13. Tel Çekme Mekanizması Kolları Üzerine Binen Kuvvetler

$$F_{teker} = m \cdot g \text{ (Tekerleğin ağırlık kuvveti)} \quad (1.13)$$

$$F_{teker} = 3 \text{ kg} \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 29,4 \text{ N}$$

$$F_{d1} = F_{çekme} \cdot \cos\theta_1 \quad (1.14)$$

$$F_{d2} = F_{d1} \cdot \cos\theta_2 = F_{çekme} \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \quad (1.15)$$

$$F_{teker} = F_{d2} \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (1.16)$$

$$F_{teker} = F_{d1} \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (1.17)$$

$$F_{teker} = F_{çekme} \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$F_{çekme} = F_{teker} / [\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2)]$$

$\theta_1 = 47^\circ$ ve $\theta_2 = 38,4^\circ$ olarak kol açıları Solidworks'te gerçekleştirilen tasarım üzerinden hesaplanmıştır. O halde;

$$F_{çekme} = 29,4\text{N} / [\cos 47 \cdot (\cos 38,4) \cdot (\sin 85,40)]$$

$$F_{çekme} = 29,4\text{N} / 0,532$$

$$F_{çekme} = 55,2\text{N} \text{ (Telin birine uygulanması gereken kuvvet)}$$

Tel sağ ve sol olmak üzere 55,2 N'luk iki kuvvet ile çekildiğinde mekanizma tekerlek haline gelmiş ve motor sisteme toplamda 110,4 N'luk bir çekme kuvveti uygulamıştır.

$$F_{motorçekme} = 110,4 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 110,4 \text{ N} \quad (1.18)$$

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

IV.1. MEKANİZMANIN KONTROLÜ

Bu bölümde tasarlanıp prototipi üretilen tekerlek/palet ayak mekanizmasının proje başında belirlenen hedeflere uygunluğu irdelenmiştir.

IV.1.1 Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasında Tekerlek Modundan Palet Ayak Moduna Geçiş

Prototip üretimi gerçekleştirilmiş olan tekerlek/palet ayak mekanizmasında tekerlek modundan palet ayak moduna geçişinin sağlanıyor olması temel iki hedeften birinin başarılı olduğunu göstermektedir.

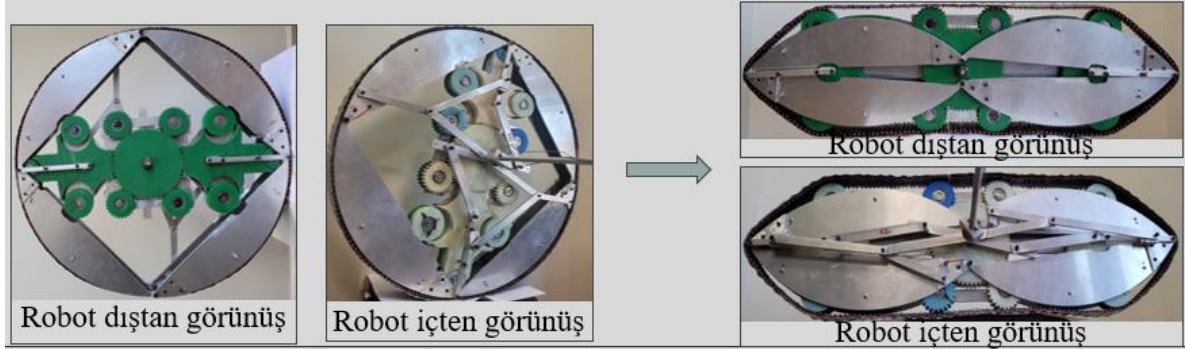
Tekerlek modundan palet ayak moduna geçiş aşağıdaki sıralama ile gerçekleşmiştir:

- Mekanizma tekerlek modundayken yarım daireler açık ve tel çekme mekanizması aktif (tel daima gergin) durumdadır.
- Mekanizma merkezinde bulunan ve bir ucu motora takılan şaft, motordan aldığı hareketi güneş dişliye aktarmaktadır. Güneş dişli, dişli kilitleme parçası ile yekpare olduğundan tüm mekanizma güneş dişliyle birlikte dönmekte ve kayış tekerlek yüzeyinde kaplama şeklinde davranmaktadır.
- Tekerlekten palet ayağa dönüş esnasında tel çekme mekanizması in aktiftir ve tel gerginliği azaltılmıştır. Azalan bu gerginlik tel çekme mekanizmasındaki kayar mafsalı serbest bırakmaktadır. Serbest kalan mafsal tel çekme mekanizmasındaki eklemlerin kırılmasına sebep olmaktadır.
- Tekerlek/palet ayak mekanizması yer çekimi ve üzerine binen yükün ağırlığı ile yarım dairelerin birleşme noktasından kırılarak palet haline dönüşmektedir.

Bu dönüşüm esnasında dişli kilitleme parçası içinde bulunan yatakla birlikte güneş dişlisinden uzaklaşmakta ve tüm mekanizma küçük dişliler ve avare tekerlekler üzerine binmektedir.

- Küçük dişlilerin güneş dişlisinden aldığı hareketle kayış zemin üzerinde hareket etmektedir.

Şekil IV.1’de tekerlek modundan palet ayak moduna geçişi gösterilmiştir.



Şekil IV. 1. Tekerlek Modundan Palet Ayak Moduna Geçiş

Sonuç olarak tekerlek modundan palet ayak moduna geçiş hedeflenen şekilde gerçekleştirilmiştir.

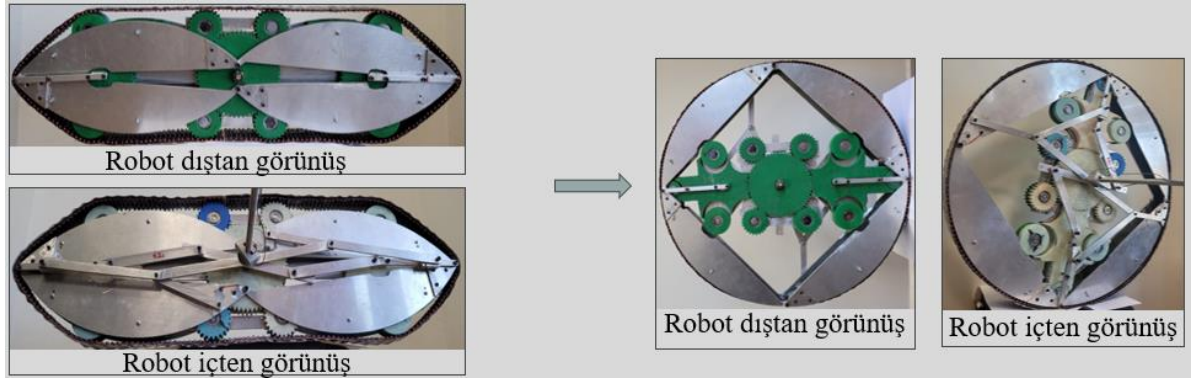
IV.1.2 Tekerlek/Palet Ayak Mekanizmasında Palet Ayak Modundan Tekerlek Moduna Geçiş

Prototip üretimi gerçekleştirilmiş olan tekerlek/palet ayak mekanizmasında palet ayak modundan tekerlek moduna geçişinin sağlanıyor olması temel iki hedeften diğerinin başarılı olduğunu göstermektedir.

Palet ayak modundan tekerlek moduna geçiş aşağıdaki sıralama ile gerçekleşmiştir:

- Mekanizma palet ayak modundayken yarım daireler kapalı ve tel çekme mekanizması in aktif durumdadır.
- Palet küçük dişlilerden gelen hareket ile zeminde hareket etmektedir.
- Palet ayaktan tekerleğe dönüş esnasında tel çekme mekanizması daima aktif olmalı ve tel gerginliği max. (En yüksek) seviyede tutulmalıdır. Artan bu gerginlik tel çekme mekanizmasındaki kayar mafsali merkeze doğru çekmektedir.
- Merkeze çekilen kayar mafsali tel çekme mekanizmasındaki eklemlerin tamamen açılmasına sebep olmaktadır.
- Açılan bu eklemler yarım daireleri açık hale ve kayışı kaplama şekline getirmektedir.

Şekil IV.2’de palet ayak modundan tekerlek moduna geçişi gösterilmiştir.



Şekil IV. 2. Palet Ayak Modundan Tekerlek Moduna Geçiş

Sonuç olarak palet ayak modundan tekerlek moduna geçiş hedeflenen şekilde gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM V

TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

V.1 TARTIŞMA, DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu bölümde tasarlanıp prototipi üretilen tekerlek/palet ayak mekanizmasının proje başında belirlenen hedeflere uygunluğu, literatüre katkısı, mekanizmasının geliştirilebilmesi için nelerin daha iyi yapılabileceği gibi konularda değerlendirmelerde bulunulmuştur.

V.1.1 Tartışma

Robotların, merdiven çıkarken ve engebeli arazide tekerlek ile, düz zeminde ise paletle verimli şekilde ilerleyememesi önemli bir sorun oluşturmaktaydı. Tamamlanan tez projesiyle sorunun çözümüne yönelik atılan bu adım neticesinde proje başında belirlenen hedeflere ulaşılmıştır. Çalışmada tekerlek modundayken merkez şaftından gelen hareket güneş dişliyle yekpare halde olan mekanizmaya aktarılmış ve tekerlek modunda kayış kaplama gibi davranarak gerçek bir tekerlek formunu yakalamıştır. Palet modundaysa şafttan gelen hareketin güneş dişli vasıtasıyla küçük dişlileri çevirmesi ve küçük dişlilerle her an temas halinde olan dişli kayışın o hareketle zeminde yol alması proje başında belirlenen hedefleri karşılamaktadır.

Tekerlek modunda zeminle sürtünmeyi azaltarak zeminde dönme hareketini sağladığı, palet ayak modundaysa zeminle sürtünmenin max. seviyeye getirilip zeminde yüzey alanını arttırarak kolay yol alınmasını sağladığı için literatüre de katkısı oldukça büyüktür.

V.1.2 Değerlendirme

Bu tez çalışmasında tasarlanıp prototipi üretilen tekerlek/palet ayak mekanizmasıyla benzer temel mantığa sahip çalışmalarda her bir mod değişimlerinde kayış formunda eğme bükme gibi işlemler gerçekleştirilmektedir, bu döngünün sürekliliği kayış ömrünü önemli ölçüde azaltmakta ve robot veya araçta ekstra bakım ihtiyacını doğurmakta ve maliyet oluşturmaktadır. Ayrıca mod değişimlerinde kullanılan pnömatik sistem araçta kompresör ihtiyacını doğurmakta ve hem araç üzerinde maliyet hem de fazla yük oluşturmaktadır.

Bu tez çalışması daha önce literatürde yapılmış olan tekerlek palet ayak projelerinden önemli ölçüde farklılıklar sebebiyle benzersizdir. Tez çalışmasının benzersiz olması yakın zamanda patentinin de alınacağına bir işarettir.

V.1.3 neriler

Bu tez çalışmasında tasarlanıp prototipi üretilen tekerlek/palet ayak mekanizmasının hemen hemen her parçası el işçiliğine tabi olmuş ve ciddi bir iş yükü oluşturmuştur. Projede kişi sayısının az olması zaman sıkıntısına yol açmıştır. Bunun yanında bütçenin yetersizliği, laboratuvar imkanlarının kısıtlı olması çözüm üretilmesi konusunda ciddi problemlere yol açmış ve çözüm aranırken yine zaman kaybına neden olmuştur. İlk defa denenen ve fiziki olarak bir şeylerin meydana getirilmeye çalışıldığı projelerde bütçenin arttırılması bu proje için verilebilecek en önemli öneridir.

KAYNAKLAR

- [1] Lyness, H., & Apostolopoulos, D. (2021). Validation of two reconfigurable wheel-track testbeds for military vehicles. *Journal of Terramechanics*, 98, 34-41.
- [2] Deng, R., Li, M., Wei, Y., Gao, X., & Li, K. (2022, August). Terramechanics Analysis of Moving Mechanism with Reconfigurable Wheel-track. In 2022 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA) (pp. 1622-1627). IEEE.
- [3] Liu, L., Xu, L., Liu, J., Chen, S., Cheng, G., & Shi, J. (2020, October). Analysis on the Environmental Adaptability of A Reconfigurable Wheel-Tracked Wheel. In 2020 3rd International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA) (pp. 24-29). IEEE.
- [4] Luo, Z., Shang, J., Wei, G., & Ren, L. (2018). A reconfigurable hybrid wheel-track mobile robot based on Watt II six-bar linkage. *Mechanism and Machine Theory*, 128, 16-32.
- [5] Rachkov, M., Emelyanov, A., & Kolot, V. (2019, March). Reconfigurable Autonomous Wheel-Tracked Robot. In 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (pp. 1-5). IEEE.
- [6] Lin, J., & Goldenberg, A. A. (2018, August). Development of a terrain adaptive tracked vehicle and its derivative-dual mode vehicle. In 2018 WRC Symposium on Advanced Robotics and Automation (WRC SARA) (pp. 302-307). IEEE.

- [7] Bruzzone, L., Baggetta, M., Nodehi, S. E., Bilancia, P., & Fanghella, P. (2021). Functional Design of a Hybrid Leg-Wheel-Track Ground Mobile Robot. *Machines* 2021, 9, 10.
- [8] Li, Z., Ma, S., Li, B., Wang, M., & Wang, Y. (2010, December). Parameters of the drive system for a transformable wheel-track robot with self-adaptive mobile mechanism. In 2010 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (pp. 339-344). IEEE.
- [9] Liu, Y., & Liu, G. (2009). Interaction analysis and online tip-over avoidance for a reconfigurable tracked mobile modular manipulator negotiating slopes. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 15(4), 623-635.
- [10] Zhang, Y., Zhang, Q., Zhang, A., He, X., Wang, C., & Xu, D. (2018, May). Mechanism-Parameters Optimization of a Reconfigurable Tracked Mobile Modular Deep-Sea Rover ROV. In 2018 OCEANS-MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO) (pp. 1-7). IEEE.
- [11] Leng, J., Chen, M., Xiao, J., Liu, J., & Xie, J. (2020, October). Design and Dynamic Simulation of Wheel/Track Transform Mobile Device. In 2020 3rd International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation (ICMRA) (pp. 18-23). IEEE.
- [12] Kislasi, T., & Zarrouk, D. (2019). A minimally actuated reconfigurable continuous track robot. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), 652-65
- [13] Kim, J., & Lee, C. (2007, October). Variable transformation shapes of single-tracked mechanism for a rescue robot. In 2007 International Conference on Control, Automation and Systems (pp. 1057-1061). IEEE.
- [14] Cui, D., Gao, X., Guo, W., & Dong, H. (2016, July). Design and stability analysis of a wheel-track robot. In 2016 3rd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE) (pp. 918-922). IEEE.

ÖZGEÇMİŞ

Öğrencinin Adı Soyadı: TUĞBA BOZKURT

Yabancı Dil: İngilizce

Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise		Hasan Aybaba AÖL	2013
Lisans	Mekatronik Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2017

İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2021-Devam Ediyor	Bant Boru Sanayi ve Ticaret A. Ş	Ar-Ge Mühendisi
2019-2021	Kormas Elektrikli Motor Sanayi ve Ticaret A. Ş	Ar-Ge Mühendisi
2017-2019	Intecro Robotik A. Ş	Ar-Ge Mühendisi