



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK YÖNLÜ TEKERLEKLERE SAHİP BİR ÇATALLI YÜKLEYİCİNİN TASARIMI VE KONTROLÜ

Mahmut ÇİMEN

YÜKSEK LİSANS

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK YÖNLÜ TEKERLEKLERE SAHİP BİR ÇATALLI YÜKLEYİCİNİN TASARIMI VE KONTROLÜ

Mahmut ÇİMEN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mete KALYONCU

2018, 86 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Mete KALYONCU
Prof. Dr. M. Fatih BOTSALI
Yrd. Doç. Dr. Mustafa TINKIR

Çok yönlü tekerlekli araçlar, günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Endüstri, sağlık, özel bakım gibi alanlarda kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise, mobil araçta kullanılan çok yönlü tekerleğin yön kontrolünü sağlayan hareket parametrelerinin incelenmesi amacıyla matematiksel bir model geliştirilmiş, mekanik analizleri yapılmış ve prototipleme çalışması tamamlanmıştır. Geliştirilen matematiksel model MATLAB/ Simulink ortamına aktarılmıştır. MATLAB/Simulink'de oluşturulan algoritmaya gerekli parametrelerin girilmesi ile mobil aracın istenilen rotada ilerlemesi benzetim modelinde takip edilmiş ve alınan geri bildirimlerle benzetim modelinin gerçeğe yakınlığı artırılmıştır. Sistem X ve/veya Y eksenlerinde öteleme, Z ekseninde ise dönme hareketi yapmaktadır. Solidworks'te oluşturulan CAD model, simulink ortamında hareketlendirilmiştir. Analiz için gerçek çatallı yükleyicideki değerler ve CAD modelin özellikleri harmanlanmış ve girilen her hız değeri için elde edilen konum istenilen duruma en yakın biçimde hesaplanmıştır. Düz kinematiğe etki eden hızların sistemin dinamiğine olan etkisi gözlemlenmiş ve analiz edilmiştir. Prototip üretildikten sonra her hareket için giriş ve çıkış parametreleri elde edilmiş, bu veriler kullanılarak grafikler oluşturulmuş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ANSYS, Çatallı Yükleyici, Çok yönlü Tekerlek, Kinematik analiz, MATLAB, Mekanum, Mekatronik Tasarım, Sistem dinamiği.

ABSTRACT

MS THESIS

DESIGN AND CONTROL OF A FORKLIFT WITH OMNI-DIRECTIONAL WHEELS

Mahmut ÇİMEN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN MECHANICAL ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Mete KALYONCU

2018, 86 Pages

Jury
Prof. Dr. Mete KALYONCU
Prof. Dr. M. Fatih BOTSALI
Asist. Prof. Dr. Mustafa TINKIR

Omni-directional vehicles used in many areas such as industry, hospitals, special care. In this paper, mathematical model is developed and tested in simulink. Some parameters used in the simulink block diagram and behaviour of the mecanum wheeled robot is investigated and simulated. Vehicle made translational motion in X and/or Y planes and rotational motion in Z plane. The CAD model's motion activated in Simulink which is created in SOLIDWORKS. For analysis, parameters in real forklift vehicle and small CAD model is combined and obtained position in 3D space and related velocity value calculated in best manner. Effect of velocity values that are input of forward kinematics investigated in dynamics of system. This effect has seen in scopes in simulink and simmechanics.After build a prototype input and output parameters taked and shown ın a graphic to compare the results.

Keywords: ANSYS, Forklift, Kinematics analysis, MATLAB, Mechatronics Design, Mecanum, Omni Wheel, System Dynamics

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Çok Yönlü Tekerleklerin Kullanıldığı bir çatallı yükleyicinin yapısal analizi, kavramsal tasarımı, konrol ve güç sistemleri tasarımı, prototip imalatı ve test çalışmaları ele alınmıştır. Tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekil vermemi sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Mete KALYONCU ve sayın hocam Prof. Dr. Ahmet AKDEMİR'e, Bu tez konusundaki aracın prototipinin üretilmesi ve TÜBİTAK 'a proje olarak sunulmasında maddi ve manevi olarak desteklerini hiç esirgemeyen SEKIZLI MAKINE VE VINC A.S. Yön. Krl. Başk. Yaşar SEKİZLİ ve Yön. Krl. Başk.Yrd. Mevlüt SEKİZLİ beylere, Tasarım sürecinden İmalat Sürecine kadar emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarıma ve sevgili eşim Perihan ÇİMEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mahmut ÇİMEN
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

1. GİRİŞ **10**

1.1.Tezin Amacı ve Önemi 10
1.2.Günümüzde Yaygın Olarak Kullanılan Çatallı Yükleyiciler 11
1.3.Günümüzde Çatallı Yükleyicilerle Karşılaşılan Yaygın Kaza Sebepleri . 11
1.4. Çok Yönlü Tekerleğin Tanımı ve Tarihçesi 13
1.5. Çok Yönlü Tekerleğin Kullanım Alanları ve Ticarileşebilirliği 15
1.6. Çok Yönlü Tekerleğin Çatallı Yükleyicilere Uygulanması 16

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **18**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **31**

3.1.Çatallı Yükleyici Tasarımı 31
3.1.1.Asansör ve Çatal Sistemi Tasarımı 31
3.1.1.1.Hidrolik Hesaplamalar 33
a) Çalışma basıncı ve piston hesabı 34
b) Debi hesabı 35
c)Motor gücü hesabı: 36
3.1.2.Şase ve Dengeleyici Karşı Ağırlık Tasarımı 37
3.1.2.1.Çatallı Yükleyicilerde Kararlılık Üçgeni 38
3.1.3.Sürücü Kabini Tasarımı 39
3.2. Prototipleme Çalışmaları 39
3.2.1.Çok Yönlü Tekerlek Üretimi 39

3.2.2. Şase İmalatı 42
3.2.3. Elektronik Bileşenler 44
3.2.3.1. Kontrol Modülü Md-4 (Operatör Paneli) 45
3.2.3.2. Xa2 Modülü 45
3.2.3.3. Lc-6 Kumanda Kolu 46
3.2.3.4. Zapi Ace 2 AC Motor Sürücüsü 47
3.2.3.5. Dc-Dc Dönüştürücü 48
3.2.3.6. Ana Kontaktör 49
3.2.3.7. Sigorta 49
3.2.3.8. Akü (Batarya) 50
3.2.3.9. Ac Asenkron Fırçasız Motor 50
3.2.3.10.Yazılım çalışmaları 51

4. ÇOK YÖNLÜ TEKERLEKLERE SAHİP BİR ÇATALLI YÜKLEYİCİNİN KINEMATIK VE DINAMIK MODELLENMESI 53

4.1. 4 Tekerlekli Çok Yönlü Bir Sistemin Kinematik Modellenmesi 53
4.2. 4 Tekerlekli Çok Yönlü Bir Sistemin Dinamiği 58
4.3.Sistemin Kinematik Modelinin Simülink te Gösterimi 62

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ARAŞTIRMA SONUÇLARI 67

5.1 Motor Sürücülerinden Verilerin Toplanması ve Analizi 67
5.2.İleri veya Geri Düz Hareket 67
5.3.Sağ veya Sol Yanal Hareket 70
5.4.Çapraz Hareket 71
5.5.Olduğu Yerde Dönme Hareketi 72

6. DENEYSEL VE TEORIK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI 73

6.1.İleri veya Geri Düz Hareketin Deneysel ve Teorik sonuçlarının Karşılaştırılması 73
6.2.Sağ veya Sol Yanal Hareketin Deneysel ve Teorik sonuçlarının Karşılaştırılması 74
6.3.Çapraz Hareketin Deneysel ve Teorik sonuçlarının Karşılaştırılması 75

6.4.Olduğu Yerde Dönme Hareketinin Deneysel ve Teorik sonuçlarının Karşılaştırılması 77

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 79

7.1 Sonuçlar 79
7.2 Öneriler 82

KAYNAKLAR 83

1. GİRİŞ

Son yıllarda sanayinin gelişmesi ile beraber fabrikalardaki depo alanlarının giderek daralması, kullanılan taşıma ve yükleme araçlarının kabiliyetinin artırılması lüzumunu doğurmuştur. Kullanılan taşıma ve yükleme araçlarının başında yer alan çatallı yükleyici bu alanda üstüne en çok düşünülen ve çalışılan araçlardan biridir. Fabrika depolarında çok küçük alanların bile işletmeler için önemi çok büyüktür ve şu an kullanılan geleneksel çatallı yükleyiciler yeterli manevra kabiliyetine sahip olmadıklarından hareketleri sırasında büyük bir alana ihtiyaç duyarlar. Bu alanı en aza indirme ve olası iş kazalarını önleme düşüncesinden yola çıkılarak oluşturulan fikirde ve bunu takip eden araştırmalarda bir çatallı yükleyiciye en az alanda en çok manevra kabiliyetinin nasıl verileceği çalışması yapılmıştır. Çok yönlü tekerlek mekanizması olarak bilinen bu mekanizma bir aracın her yöne hareket etmesine olanak sağlamaktadır. Mobil araç yürüyüş sistemi bileşenlerinden de bir tanesi olan çok yönlü tekerlekler, hareket sahanlığı dar alanlar için tasarlanan başlıca omurga elemanlardandır. Çok yönlü tekerlekler aracın doğrultusu değişmeden hareket yönünün değişmesini sağlar. Bu eleman herhangi bir yönlendirme yapılmadan ön, arka ve çapraz yönlerde aracın kayarak hareket etmesine olanak veren ve her yönde hareketi kolaylıkla sağlayan bir tekerlek türüdür. Günümüzde mobil araçların tekerleği, genellikle Ilon'un ortaya koyduğu kavrama bağlı olarak tasarlanmaktadır. Ilon'un çok yönlü tekerleği, merkez tekerlek ile bu elemanın çevresinde 45 derece açı ile konumlanmış belli sayıda makaralardan oluşmaktadır. Tekerlek yönünde normal bir kuvvet için, açılı serbest makaralar kuvvetin bir kısmını tekerleğin dönme yönünde çevirmektedir. Her bir bağımsız tekerleğin yönü ve hızına bağlı olarak, sonuçta elde edilen tüm kuvvetlerin tertibi istenilen yönde bir bileşke kuvvet oluşturmaktadır.

1.1.Tezin Amacı ve Önemi

Bu çalışmada ele alınan çatallı yükleyici çok yönlü tekerleklere sahiptir ve çatallı yükleyiciler için hareket kabiliyeti ve hassasiyet çok önemlidir. Literatür taramaları ve yapılan araştırmalar neticesinde "OMNI-DIRECTIONAL WHEEL" adı verilen ve anlamı" ÇOK YÖNLÜ TEKERLEK" olan sistemin, çatallı yükleyicilerde kullanılarak kontrolünün sağlanması, araca hem hareket kabiliyeti kazandıracak hem de her yönde hassas ve daha güvenli bir şekilde taşıma işleminin yapılmasına olanak sağlayacaktır. Özellikle istifleme alanı dar olan yerlerde ciddi anlamda manevra kabiliyetine sahip

araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca teze konu olan bu yükleyici klasik yükleyicilere kıyasla aynı iş için daha az zaman ve daha az enerji harcamakta, operatör kaynaklı olası iş kazalarının gerçekleşme olasılığını ciddi anlamda azaltmaktadır.

Ayrıca patent başvurusunda da bulunduğumuz bu sistemin ülkemizde üretilmesi ve ihracatının yapılması, son derece önem teşkil etmektedir. Bu seviyelere ulaşabilmek adına bu sistemin tez konusu olması ve akademik çalışmaların yapılması son derece olumlu bir gelişmedir.

1.2.Günümüzde Yaygın Olarak Kullanılan Çatallı Yükleyiciler

Günümüzde çeşitli özelliklere sahip çatallı yükleyiciler kullanılmaktadır. Bunların en çok kullanılanlarının yakıt sistemine göre sınıflandırılması şöyledir:

- LPG'li,
- Dizel,
- Elektrikli çatallı yükleyiciler,

Çevre kirliliğini önlemesi ve yakıt maliyetlerinin artması elektrikli çatallı yükleyicileri ön plana çıkarmaktadır. Avrupa ülkelerinde yaygın bir şekilde elektrikli çatallı yükleyici kullanılmasına karşın ülkemizde maalesef yaygın olmadığı görülmektedir.

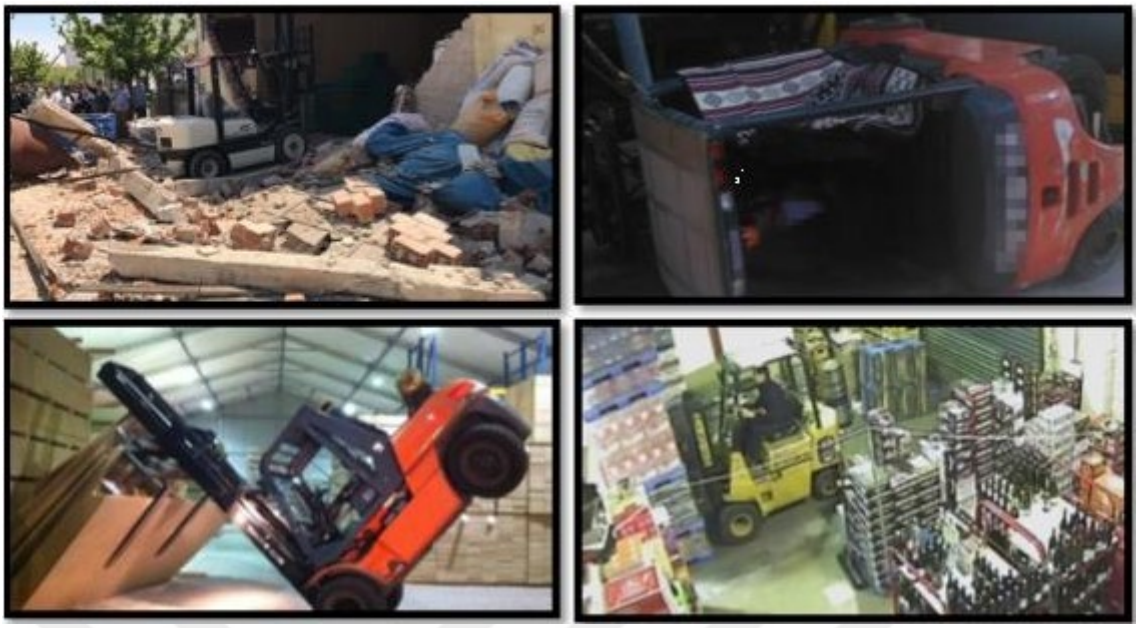
Ama son yıllarda gerek iş güvenliği tedbirleri gerek artan yakıt maliyetleri ülkemizde elektrikli çatallı yükleyici taleplerini arttırmıştır.

1.3.Günümüzde Çatallı Yükleyicilerle Karşılaşılan Yaygın Kaza Sebepleri

Günümüzde kullanılan çatallı yükleyicilerde karşılaşılan kazaların başlıca sebepleri şunlardır:

- Çatallı yükleyicinin hız ve denge ayarının uygunsuz olması,
- Çevredekileri ikaz eden uyarı sistemi ve levhaların yetersiz olması,
- Çatallı yükleyici operatörünün dikkatsizliği ve aceleciliği,
- Çatallı yükleyicinin yıllık veya aylık bakımının yapılmaması,
- Uygunsuz dönüş, hızlanma ve kaldırma işleminin yapılması ve bunlar gibi durumlardır.

Görüldüğü üzere kazaların birçoğu operatör kaynaklı olup maalesef çoğu ölümlü sonuçlanmaktadır. Çatallı yükleyiciler genelde depo, hangar gibi raflardan oluşan yükleme ve boşaltma alanlarında kullanıldığından hareket sahanlığı oldukça dardır ve yüksek dikkat gerektirir.



Şekil 1.1. Çatallı yükleyicilerle çalışırken yaşanılan bazı kaza örnekleri

Depo, hangar gibi raflardan oluşan yükleme ve boşaltma alanlarında çalışırken çatallı yükleyici operatörleri aynı anda;

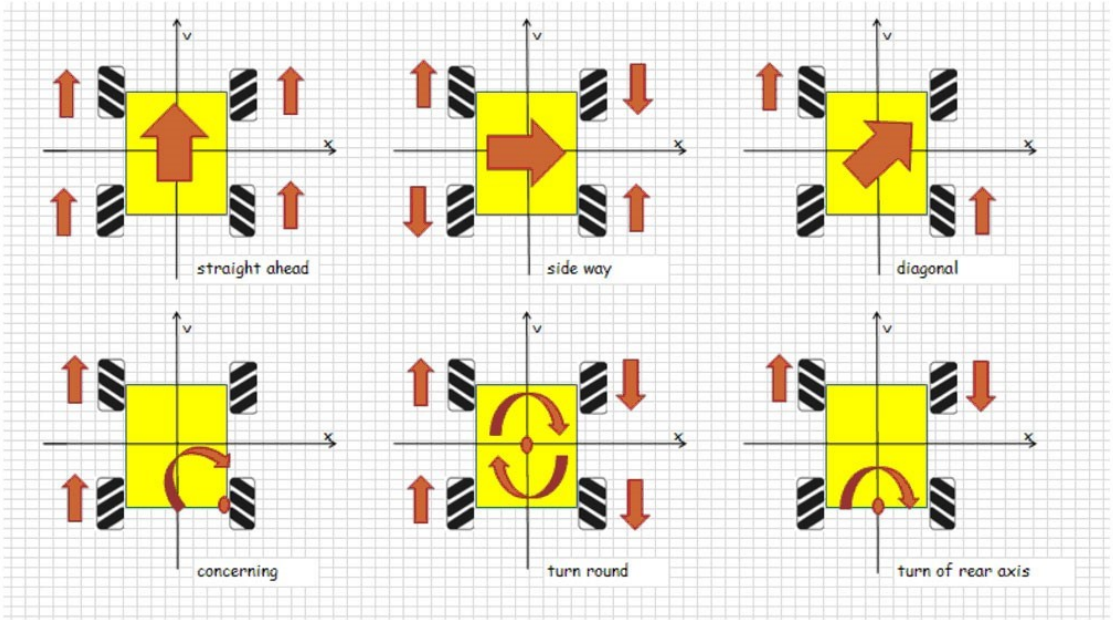
- Direksiyon ile manevra,
- Gaz ve fren ile hız ayarlama,
- Vites ile yön belirleme,
- Hidrolik kontrol kolları ile yükü aşağı-yukarı indirme,
- Manevra anında yüke veya etrafına zarar vermeden hareket etme,
- Ve çevresinde olup biten hareketlilikleri takip etmek zorundadır.

Şekil 1.1 ‘de de görüldüğü üzere operatörlerin bir anlık dalgınlık veya ihmali son derece tehlikeli durumlara sebep olabilmektedir. Operatörün kontrol edeceği unsurları azaltarak tüm dikkatini asıl yaptığı iş olan yükleme ve boşaltma işine odaklamak, operatör kaynaklı iş kazalarını oldukça azaltacaktır. Teze konu olan çok yönlü tekerlek sistemlerinde direksiyon, gaz pedalı, fren pedalı, vites gibi unsurlar bulunmamakta, tüm bunların yerine 1 tek kumanda kolu işleri halledebilmektedir. Direksiyon olmadığı için görüş alanı da artacağından yükleme ve boşaltma işlemleri esnasında görerek iş yapma şansı olacaktır. Ayrıca gaz ve fren pedalı olmadığından belden aşağısı engelli operatörler için de muhteşem bir iş makinesi olacaktır.

1.4. Çok Yönlü Tekerleğin Tanımı ve Tarihçesi

Çok yönlü tekerlekler, kullanıldığı aracın ileri-geri, çaprazlama-yanlama, olduğu yerde dönme ve her yöne gidebilme hareketlerini sağlayan 45 derece açılarla özel bir şekilde yerleştirilen ve özel bir geometriye sahip makaralardan oluşur. Çok yönlü tekerlekler teorik olarak kullanıldığı aracın serbestlik derecesini artırmaktadır.1970 yılında İsveç firması Mecanum AB mühendislerinden Bengt ILON tarafından icat edildi. Daha sonra Amerika Birleşik Devletleri ordusu bu patenti satın aldı ve Panama da geliştirme çalışmalarında bulundu. Bu tekerlekler orduda malzeme taşımak ve gemileri hareket ettirmek için kullanıldı.

Şekil 1.2 ‘de görüldüğü üzere İleri-geri hareketi esnasında tüm makaralar, dişli kutusu çıkış mili ekseninde dönmekte ve ötelenmektedir. Çapraz hareket esnasında ise bir ön, bir de arkadan olmak üzere yalnızca iki teker üzerinde bulunan makaralar dönme ve ötelenme hareketi yapmakta, diğer teker üzerinde yer düzlemiyle temas halinde olan makaralar ise kendi mil eksenleri etrafında dönerek ötelenmektedir. Yanlamasına hareketi esnasında ise arka ve ön tekerlekler birbirlerine göre ters yönde dönmektedir. Dönme hareketinin, yanal bir kuvvete dönüşmesiyle makaralar kendi mil eksenlerinde dönmekte ve oluşan yanal kuvvetin etkisiyle kaymaktadır. (Çimen, M., Kalyoncu, M., 2017.)



Şekil 2.2. Çok yönlü tekerleklerin dönme yönleri ve aracın yönünün gösterimi

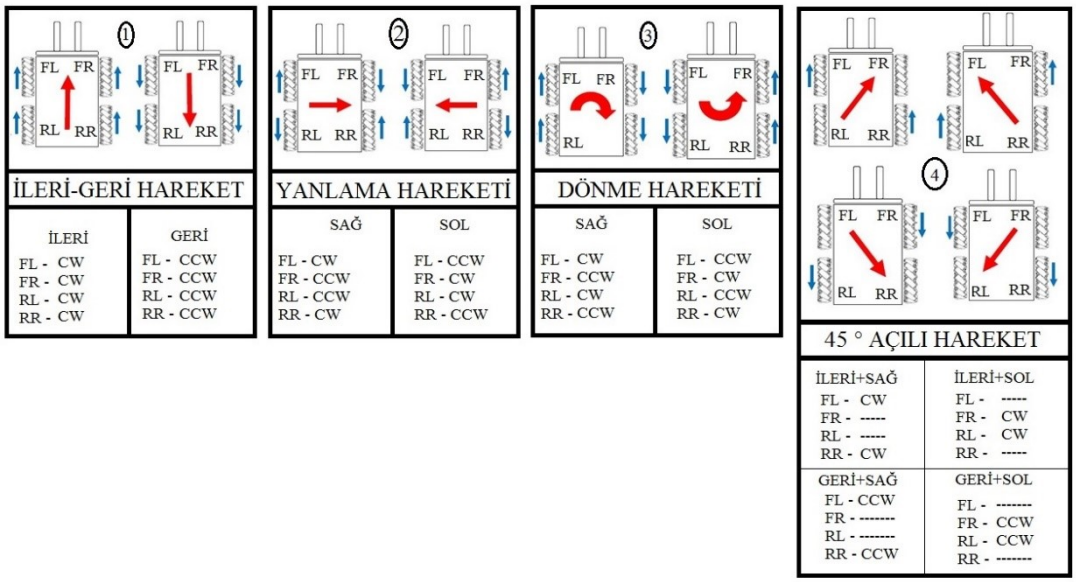
Çok yönlü tekerlekler kullanıldıkları çalışma ortamlarına göre ya da belirli bir işi yapabilecek kapasitede özel olarak tasarlanabilirler. Çok yönlü mobil araçların en önemli özellikleri, aracın tekerleklerinin birbirlerinden bağımsız olarak hareket edebilmeleridir. Buda aracın serbestlik derecesinin arttırılması demektir. İki serbestlik dereceli araçlar hedef noktaya sadece ileri ve geri hareket ederek ya da dönerek hareket edebilirler. Fakat bu araçlar hedefe yan doğrultuda yaklaşarak hareket edemezler. Bu sınırlı hareketi geliştirmek için, dört teker tahrikli dört serbestlik dereceli çok yönlü mobil araçlar, yönlendirilebilir özel tekerlekler kullanmaktadır. Geliştirilen bu tekerlekler aracı ileri ve geri yönde hem öteleme hem de yan doğrultuda hareket etme özelliği kazandırmıştır. Çok yönlü mobil araçlar sahip oldukları özel teker mekanizması ile; çok geniş bir alan ihtiyacı gerektirmeden ve tekerin dönme açıları değiştirilmeden kullanıldığı için büyük avantajlar sağlamaktadırlar. (Soygüder, S., Alli, H., 2006)



Şekil 3.3. Çok yönlü tekerleklerin manevra yeteneklerinin gösterimi

Tekerlek yönünde normal bir kuvvet için, açılı serbestçe dönebilen makaralar kuvvetin bir kısmını tekerleğin dönme yönünde çevirmektedir. Zemin ve makara arasında oluşan sürtünme kuvveti ile hareket sağlanır. Her bir bağımsız tekerleğin yönü ve hızına bağlı olarak, elde edilen tüm kuvvetlerin kombinasyonu istenilen yönde bir total kuvvet oluşturmaktadır. Makaranın sadece küçük bir yüzeyi yere temas etmektedir. Bu yüzeyde makara kendi ekseninde dönmekte ve teker ötelenmektedir. Çok yönlü tekerlek sistemleri daha yüksek manevra kabiliyeti, yüksek hız kontrolü ve dengesi ile bazı tasarımlarda düşük hızlarda, dar alanlarda dönebilme ve park edebilme imkânı sağlamaktadır. Birbirinden bağımsız tekerlerin dönüş yönleri ve hızları değiştirilerek sayısız hareket elde

edilebilir. Temel olarak ifade etmek gerekirse ileri düz/geri düz, sağ kayma/sol kayma, ileri ve sağ çapraz, ileri ve sol çapraz, geri ve sağ çapraz, geri ve sol çapraz, saat yönünde dönme ve saat yönü tersine dönme olarak 10 hareketten söz edebiliriz (Şekil 1.4.). İleri ve geri yürüyüş hareketi esnasında tüm makaralar, dişli kutusu çıkış mili ekseninde dönmekte ve teker ileri/geri yönde ötelenmektedir. Yanlamasına hareketi esnasında ise arka ve ön tekerlekler birbirlerine göre ters yönde dönmektedir. Tekerlek ve zemin arasındaki sürtünmenin etkisiyle yanal bir kuvvete oluşmakta, makaralar kendi mil eksenlerinde dönmekte ve oluşan yanal kuvvetin etkisiyle sağa/sola kaymaktadır. Dönme hareketi esnasında ise sol tekerlekler ve sağ tekerlekler bağıl olarak ters yönlerde dönmekte ve sürtünme kuvveti etkisinde oluşan kuvvetlerin vektörel olarak toplamı aracı döndürmektedir. Çapraz hareket esnasında ise bir ön, bir de arkadan olmak üzere yalnızca iki tekerlek üzerinde bulunan makaralar dönme ve ötelenme hareketi yapmakta, diğer tekerlek üzerinde yer düzlemiyle temas halinde olan makaralar ise kendi mil eksenleri etrafında serbestçe dönerek ötelenmektedir.



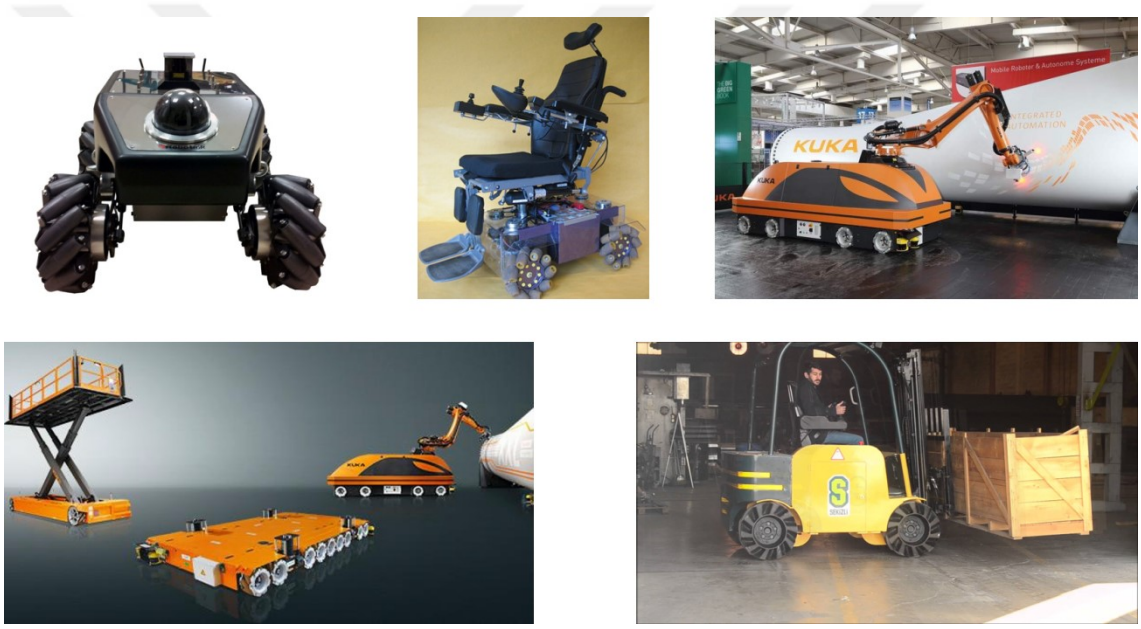
Şekil 4.4. Çok yönlü tekerlekli bir mobil aracın hareket algoritması

1.5. Çok Yönlü Tekerleğin Kullanım Alanları ve Ticarileşebilirliği

Uygulandığı araca yüksek manevra kabiliyeti kazandıran ve hassas kontrol edilebilmesini sağlayan çok yönlü tekerlek sistemi ilk olarak 1970'li yıllarda Amerikan ordusu tarafından ekipman taşınmasında kullanılmıştır. Gerek imalat teknikleri gerek

kontrolcü yetersizliği gerekse uygun çalışma ortamının olmayışı bu sistemin yavaş gelişmesine sebep olmuştur. 2000'li yıllardan sonra Airtrax ve Kuka tarafından sanayide kullanılmaya başlamış hem yük taşınmasında hem de büyük gövdelerin boyanmasında kullanılan araçlarda uygulanmıştır.

Günümüzde çok yaygın olmayan ama gelecekte, hareket kısıtları beklenenin altında olan yerler için ciddi kolaylık sağlayan bu tekeri, çok yaygın olarak görmek mümkündür. Çok yönlü tekerlek sistemi, yeni nesil insansız yük taşıma araçlarında, yük iletim hatlarında, medikal araçlarda, endüstriyel robotlarda, askeri ve savunma sanayisinde sıkça karşılaştığımız ve Şekil 1.5.'de görüldüğü üzere artık kullanılmaya başlanılmış ve çoktan ticari bir ürün haline gelmiştir. (E. Nakano and N.Koyachi .1983)



Şekil 1.5. Günümüzde çok yönlü tekerleğin kullanıldığı bazı örnekler

1.6. Çok Yönlü Tekerleğin Çatallı Yükleyicilere Uygulanması

Ülkemizde bu öneride tanımlandığı şekliyle çatallı yükleyici üretimi olmayıp geliştirilecek ürün bazı yönleriyle ulusal düzeyde bazı yönleriyle ise uluslararası düzeyde yenilikler içerecektir. Geliştirilen yükleyici istendiği anda çok yönlü tekerlekleri sayesinde her yöne hareket edebilmektedir. Ayrıca ülkemizde çok az ve sınırlı sayıda üretilen çatallı yükleyiciler ileri düzeyde bir kontrol sistemine sahip olmayıp yoğunlukla operatörün tercihi dâhilinde çalışmaktadır. Bu da bir takım iş kazaları ve yaralanmalara sebep olabilmektedir. Bu çalışma ile ülkemiz sektörde yeni ve rekabetçi bir ürüne

kavuşacaktır. Özellikle uzun yüklerin üretim hattından sevkiyat hattına aktarılması ya da taşınması klasik çatallı yükleyicilerle çok zaman alan bir işlem iken yengeç yürüyüşü yapabilen bir çatallı yükleyici ile bu işlem çok daha pratik olabilecektir.



Şekil 1.6. Çok yönlü tekerlek sistemi uygulaması yapılmış çatallı yükleyicinin tasarımı tamamlandıktan sonraki görüntüsü

Çok yönlü tekerlek uygulanmış çatallı yükleyicilerin, klasik çatallı yükleyicilere göre avantajları;

- Direksiyon sistemine ihtiyaç olmadığından kullanıcının önü tamamen açıktır.
- Uzun yükleri bir alandan diğer bir alana taşırken kapı geçişlerinden tek seferde geçiş imkânı sunar.
- Kullanıcının dar alanlarda yükleme-boşaltma operasyonunda yaptığı manevra sayısını yaklaşık %70 azaltarak ciddi zaman kazancı sağlamaktadır.
- Sadece kumanda kolları ile kontrol edildiği için ayaklara gerek kalmamakta, belden aşağısı tutmayan ya da olmayan engelli kullanıcılar için kullanılma imkânı sunmaktadır.

Dezavantajları;

- Çalışacağı zemin yüzeyi düzgün ve düz olmalıdır.
- Klasik çatallı yükleyicilerden %50 daha pahalıdır.
- Tekerlekler normal tekerleklere göre 2 kat daha hızlı aşınır ve yıpranır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

1970 yılında Bengt ILON tarafından icat edilen ve Amerika Birleşik Devletleri ordusu tarafından Panama da geliştirme çalışmalarında bulunan bu tekerlekler, bilim dünyasında da dikkat çekerek yabancı makalelere, seminerlere ve yayınlara konu olmuştur.

Borenstein ve Ark. (1996) Robot kontrol sistemleri, konumlandırma ve sensörler ile ilgili çalışmışlardır. Robot duyargaları (sensör) ile çevresini algılayan, algıladıklarını yorumlayan, bunun sonucunda karar alan (yapay zekâ), karar sonucuna göre davranan, eylem olarak hareket organlarını çalıştıran veya durduran bir aygıttır. Robot, otonom veya önceden programlanmış görevleri yerine getirebilen elektro-mekanik bir cihazdır. Robotlar doğrudan bir operatörün kontrolünde çalışabildikleri gibi bağımsız olarak bir bilgisayar programının kontrolünde de çalışabilir. Çok yönlü sistemler operatörlü kullanıldıkları gibi sensörlerle donatıldıkları takdirde insansız olarak çok rahat kontrol edilebilirler. Borenstein ve arkadaşlarının bu konuda basılmış bir kitabı olmakla birlikte çok yönlü tekerlekli sistemler için uygun sensörleri seçerken ve kontrolcü tasarımı esnasında kullanılması önem arz eder.

Çok yönlü mobil aracın tekerlekleri üzerine yerleştirilen silindirik rulolar, tekerleğin serbestlik derecesini arttırmaktadır. Bu da araca çok yönlü bir mekanizma niteliğini kazandırmaktadır (Diegel ve ark., 2002). Kazanılan çok yönlü hareket özelliği birçok durum için oldukça avantajlıdır. Tasarlanan dört tekerlekli çatallı yükleyicinin her bir tekerleğinin üzerine belirli sayıda silindirik rulolar yerleştirilmiştir. Ruloların sayısı mobil robotun tekerlek çapına bağlı olarak değişebilmektedir. Silindirik rulolar tekerin dönme merkezi eksenine 45°lik açı ile pasif dönen eleman olarak yerleştirilmiştir. Her bir tekerlek üzerine yerleştirilen silindirik rulolar aynı doğrultuya sahip değillerdir. Bu yerleştirme düzeni çatallı yükleyici istenilen her doğrultuda hareket edebilecek kapasitede hız vektörleri hesaplanarak elde edilmiştir. Diegel ve ark., 2002 Çok yönlü tekerleklerin robotlarda kullanımı konusunda çalışmalar yapmışlardır. 2002 yılında "Australian Conference on Robotics and Automation" isimli konferansda bu teknolojiin ticarileşebilirliği konusunda bilgiler vermişlerdir. Ayrıca son yıllarda, çok yönlü tekerlekler ülkemizde ve dünyadaki robot üzerine çalışanların ilgisini çekmiştir. Yabancı firmalar çok yönlü tekerlekli robotlar konusunda yatırımlar yapmıştır. Öte yandan ülkemizde büyük yatırımlar gerçekleşmese de araştırmacılar bu tekerlerin kullanıldığı

küçük boyutlu ilk örnek robotlara yönelim göstermektedir. Dünyada ise taşıma araçları projelerinde çok yönlü tekerleri kullanan Alman robotik firması "Kuka Robot Group" sektöre yatırımları çok yönlü tekerleklere verdiği önemi göstermektedir. Bunun yanısıra "Vehicle Technologies Inc." Şirketi farklı kullanım amaçları için çok yönlü tekerlekleri kullanan bir diğer firmadır. 1973 yılında çok yönlü tekerleklerin ortaya çıkmasına rağmen hak ettiği yeri henüz elde edememiştir. Geleceğin tekerleği olacak olan çok yönlü tekerlek çok yönlü hareket kabiliyeti ile geliştirilmeyi ve kullanılmayı beklemektedir.



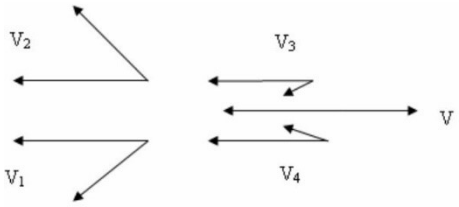
Şekil 2.1. Kuka robot grubuna ait ticari çok yönlü tekerlek sistemleri

K. L. Han, O. K. Choi ve Ark., yaptıkları çalışmalarda çok yönlü tekerlere sahip araçların hareket ve manevra kabiliyetlerini anlatmıştır. Çok yönlü tekerler, kullanıldığı aracın ileri-geri, çaprazlama-yanlama, olduğu yerde dönme ve her yöne gidebilme hareketlerini sağlayan 45˚ açılarla özel bir şekilde yerleştirilen ve özel bir geometriye sahip makaralardan oluşur. İleri-geri hareketi esnasında tüm makaralar, dişli kutusu çıkış mili ekseninde dönmekte ve ötelenmektedir. Çapraz hareket esnasında ise bir ön, bir de arkadan olmak üzere yalnızca iki teker üzerinde bulunan makaralar dönme ve ötelenme hareketi yapmakta, diğer teker üzerinde yer düzlemiyle temas halinde olan makaralar ise kendi mil eksenleri etrafında dönerek ötelenmektedir. Yanlamasına hareketi esnasında ise arka ve ön tekerlekler birbirlerine göre ters yönde dönmektedir.

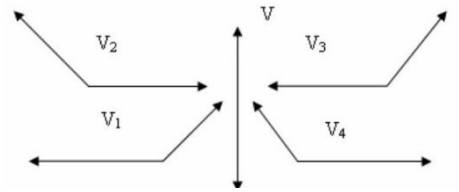
Dönme hareketinin, yanal bir kuvvete dönüşmesiyle makaralar kendi mil eksenlerinde dönmekte ve oluşan yanal kuvvetin etkisiyle kaymaktadır. Çok yönlü mobil

robotlarda en çok kullanılan tekerlekler üniversal ve Mecanum tipi tekerleklerdir. Bunların dışında kaster tipi ve küre tipi tekerlekler de çok-yönlü mobil robotlarda kullanılmıştır. Bu çalışmada ise mecanum tipteki tekerlekler kullanılmaktadır. Düzlemde gerçekleştirilebilecek tüm hareketler, sisteme yerleştirilecek bu türdeki dört tekerlekle sağlanabilmektedir. Fakat görev sırasında ortaya çıkabilecek bir sorun nedeni ile çatallı yükleyicinin tekerleklerinden birinin çalışmaması, sistemin çok yönlü hareket kabiliyetini yitirmesi anlamına gelecektir. Bu nedenle çalışmada geliştirilen mobil çatallı yükleyici bahsi geçen hatanın telafisine imkân verecek şekilde çift kontrol birimli olarak tasarlanmıştır. Bu sayede mobil robot kinematik olarak sorunsuz hale getirilmiştir. Mobil robot, tekerleklerinden birisinin fonksiyonunu kaybetmesi sonucunda oluşturulan denetim algoritması sayesinde yoluna çok yönlülük özelliğini kaybetmeden devam edebilecektir. (O. Nuri Şahin, 2015)

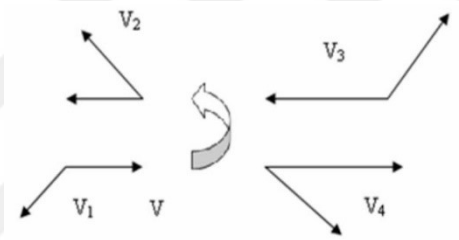
Soygüder, S.ve Alli H. (2008) ‘ye göre Çok yönlü mobil robotun her bir tekerleğin oluşturduğu hız vektörlerinin bileşkesi doğrultusunda sistem hareket etmektedir. Tasarlanan sistemin her bir tekerleği ayrı ayrı motorlar ile tahrik edilmektedir. Çünkü aracın istenilen hedef noktalara ulaşabilmesi için tekerleklerin farklı doğrultuda hareket etmesi gerekmektedir. Günümüzde mobil robotlar, daha çok insanların çeşitli ihtiyaçlarını karşılayan araçlar olarak kullanılmaktadır. Hastane, ofis, koridor gibi birçok alanlarda kullanılan tekerlekli sandalye, robot araba gibi sınırlı hareket eden araçlar artık güncel mobil robotlar haline gelmiştir. Günümüz teknolojisinde yeni tasarlanan robotların en önemli özelliği, robot tekerlerinin hareketliliğini yani serbestlik derecelerini artırılmış olmasıdır. Bu çalışmada dört tekerlekli bir çatallı yükleyici tasarlanmış ve her bir teker iki boyutlu bir düzlemde üç serbestlik dereceli hareketi yerine getirebilecek mekanizmalardan oluşturulmuştur. Çok yönlü mobil sistemler teker doğrultuları değişmeden istenilen doğrultuda istenilen hareketi gerçekleştirme yeteneğine sahiptirler. Bu yeteneği, teker etrafında dizili olan farklı yönlerde serbest dönen küçük silindirik rulo tekerleklerin geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Tasarlanacak çok yönlü tekerlekli çatallı yükleyici tekerlekleri farklı doğrultularda hareket ettirilerek; robotun öteleme hareketi, geriye doğru hareketi, robot konumu değiştirilmeden sağ-sol yönlere hareketi ve dönme hareketi gerçekleştirilmiştir. (Soygüder, S.ve Alli H. 2006)



Şekil 2.2. Çok yönlü tekerlekli sistemin ileri-geri hareketinin hız vektörleri (Soygüder, S.ve Alli H. 2008)

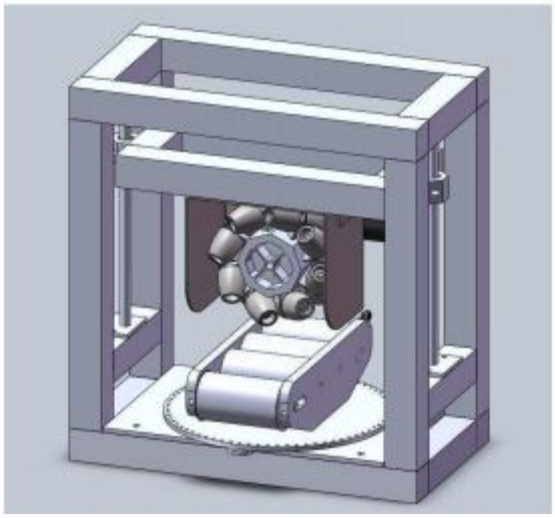


Şekil 2.3. Çok yönlü tekerlekli sistemin sağa-sola hareketinin hız vektörleri (Soygüder, S.ve Alli H. 2008)



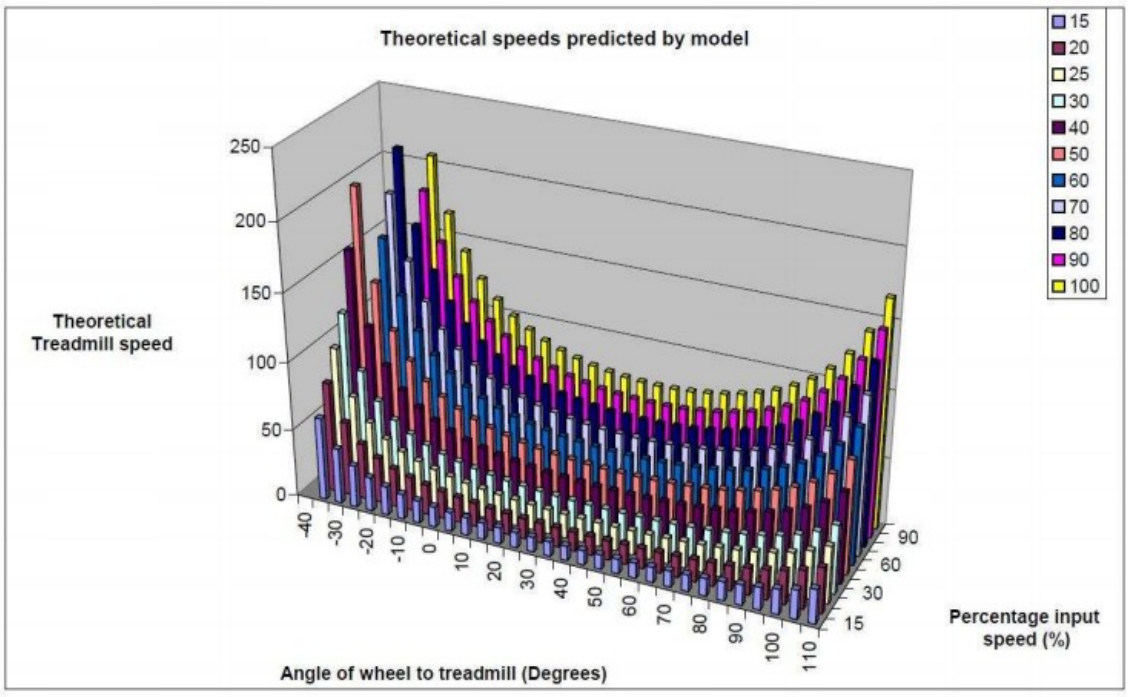
Şekil 2.4. Çok yönlü tekerlekli sistemin düşey eksen etrafında dönme hareketinin hız vektörleri (Soygüder, S.ve Alli H. 2008)

M. de Villiers ve N.S. Tlale (2010) model yapımında edinmiş oldukları deneysel verilerde, aracın bir referans düzlemindeki uç pozisyon koordinatlarının belirlenmesinde ve ayrıca her bir hareketi elde etmek için ihtiyaç duyulan zaman konusunda sorunla karşılaşılmıştır. Doğruluk payı yüksek çalışmalar da dikkate alındığında tanımlama en uygun şekle sokma deney verileri içindeki model parametreleri arasında sorunlar olduğu tespit edilmiştir. Bu sorunlar haddeleme ve kayma sürtünme katsayılarındaki doğrudan ölçümlerin değiştirilmesiyle çözümlenmiştir. Deneysel verilerden anlamlı sonuçlar elde etmek için yapılması gereken ayarlamaların viskoz sürtünme katsayı değerlerine uygun makul bir aralıktan alınması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıyeten M. de Villiers ve N.S. Tlale çok yönlü tekerlekleri test edebilmek için bir düzenek geliştirmişlerdir.



Şekil 2.5. M. de Villiers ve N.S. Tlale tarafından geliştirilen test düzeneği

Test cihazı, tekerlek üzerindeki sensörler yardımıyla ve koşu bandının bağıl hızlarını ölçmek için kullanıyor. Şekil 2.6.' da değişen tekerlek hızlarında koşu bandı hızlarını (ω) ve açıları (α) göstermektedir.

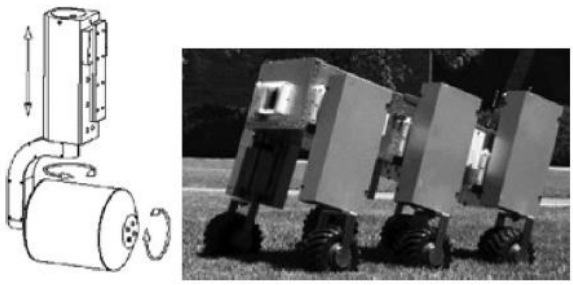


Şekil 2.6. M. de Villiers ve N.S. Tlale tarafından geliştirilen test düzeneğinde ölçülen değerler

M. de Villiers ve N.S. Tlale (2012) model yapımında edinmiş oldukları deneysel verilerde, aracın bir referans düzlemindeki uç pozisyon koordinatlarının belirlenmesinde ve ayrıca her bir hareketi elde etmek için ihtiyaç duyulan zaman konusunda sorunla

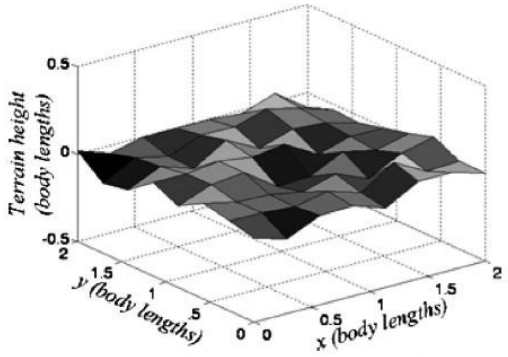
karşılaşılmıştır. Doğruluk payı yüksek çalışmalar da dikkate alındığında tanımlama en uygun şekle sokma deney verileri içindeki model parametreleri arasında sorunlar olduğu tespit edilmiştir. Bu sorunlar haddeleme ve kayma sürtünme katsayılarındaki doğrudan ölçümlerin değiştirilmesiyle çözümlenmiştir. Deneysel verilerden anlamlı sonuçlar elde etmek için yapılması gereken ayarlamaların viskoz sürtünme katsayı değerlerine uygun makul bir aralıktan alınması gerektiği belirlenmiştir.

Martin Udengaard ve Karl Iagnemma'da 2009 yılında yaptıkları bir çalışmada çok yönlü tekerleklerin farklı arazi koşullarında çalışmasına ışık tutmuşlardır. Birçok yönlü hareketli robot kinematik olarak, mevcut pozisyonunu koruyarak herhangi bir yönde hareket edebilmektedir. Bugüne kadar, çok yönlü mobil cihazların neredeyse tüm tasarım ve analizlerini yapanlar, düz bir arazide hareket halini değerlendirdiler. Bu çalışmada ise, çok yönlü bir mobil robotun tasarımı ve kontrolünün araştırılması kaba arazi şartlarına göre sunulmaktadır. Aktif ayırma ofsetinin kinematik ve geometrik özellikleri tekerlek tahrik mekanizması, sistem ve alt sistem tasarım yönergeleri ile birlikte araştırılmaktadır.



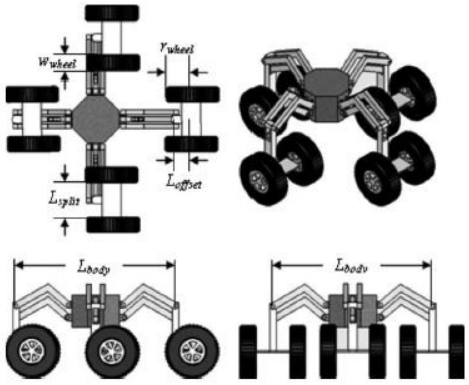
Şekil 2.7. Düşey eksende dönebilen tekerleklere sahip bir mobil aracın sahada çalışırken görüntüsü

Tasarım alanını keşfetmek için bir optimizasyon yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem kullanımı, mühendislik yetenekleri kullanılarak tasarlanmış bir robota daha yüksek hareket kabiliyeti kazandırmaya neden olur. Arazi düzensizliğinin etkilerini, temas açılarını tahmin ederek dikkate alan basit bir kinematik kontrolcü sunulmuştur. Önerilen kontrol metodu altında çok yönlü performansı simülasyonu kaba ve engebeli arazide bile mümkündür.



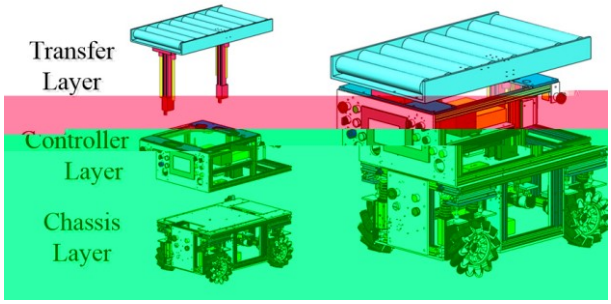
Şekil 2.8. Simulasyonda kullanılan araziye örnek

Simulasyon çalışmalarında değerlendirilen arazi 4.5 m^2 'dir. Aracın hızı sabit 1,5 m/s kabul edilmiştir. Birbirinden ayrılmış tekerleklerin düz olmayan arazi üzerinde davranışının incelendiği bu çalışmada çok yönlü diye adlandırılan tekerlek sistemi mekanum tekerlekten farklı olup Şekil 2.9. da yer verilmiştir.



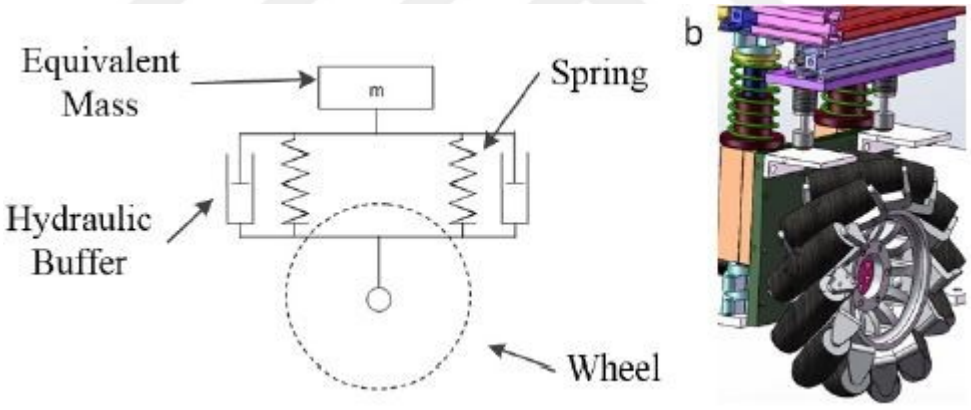
Şekil 2.9. Çok yönlü hareket edebilen bir mobil aracın görüntüsü

Tianran Peng ve ark. (2016) çok yönlü sistemlerin malzeme taşıma işlemlerinde kullanılması amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma, bir taşınabilir mobil robotun mekanik tasarım ve kontrol sistemini içermektedir. Robot, dört tekerlekli tahrikli bir şasi kullanıyor ve çok yönlü manevraya sahiptir. Dört adet çok yönlü tekerleğe dayanan mekanik sistem, sönümleme süspansiyon mekanizması ile tasarlanmış. Genişletilmiş modülleri olan bir Siemens S7-1217C PLC alt katman denetleyicisi olarak kullanılırken üst katman olarak bir dizüstü bilgisayar kullanılmış. Robotun hareket modları için kontrol algoritması geliştirilmiş ve hareket kontrolü performansı üç eksenli bir potansiyometre ile test edilmiş.



Şekil 2.10. Tianran Peng ve arkadaşalarının çalıştıkları çok yönlü mobil aracın görüntüsü

Şekil 2.10' da yer alan çok yönlü mobil robot, esnek bir şekilde dar bir alanda hareket edebilmekte, ayrıca üretim hattındaki malzemeleri taşıyacak ve iletecek sisteme sahiptir. Bu robot açık ve modüler mimariyi benimser, değiştirme, bakım ve yükseltme kolaylığı sağlar. Gerektiğinde birleştirilerek hattın uzunluğu artırılabilir, gerektiğinde ise azaltılabilir. Esnek üretim hatlarında oldukça kullanışlı olacağı düşünülmektedir. Amerika'da Amazon'da bu sisteme benzer bir yapı kullanılmaktadır.

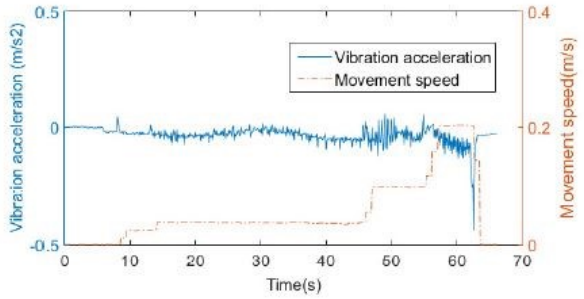


Şekil 2.11. Tianran Peng ve arkadaşalarının çalıştıkları titreşim sönümleme sistemi

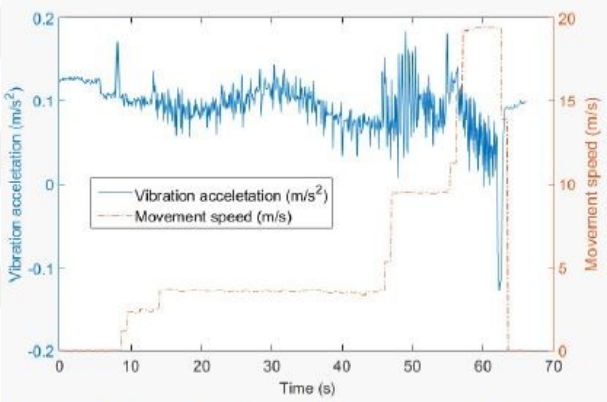
Çalışılan robotun şasi katmanı; şasi, mekanum jantlar, süspansiyon mekanizması, motorlar, akü ve güç besleme devresinden oluşmuştur. Mekanum tekerlekler, motorlara bağlanan ve çevrim oranı 50 olan harmonik dişli kutusuna takılmıştır. Motor olarak maxon RE 40 DC servo motorlar ve güç kaynağı olarak DC 48V lityum iyon pil kullanılmış. Ayrıca robotun nominal hızı yaklaşık 1m / sn olarak belirlenmiş. Çalışan sistemde dört tekerlek daima yere dokunmamaya devam etmelidir.

Mekanum tekerleğin ruloları yere kesintili değebilir ve böylece gürültü ve titreşim yapar. Öyleyse iyi bir titreşim sönüm süspansiyonu tasarlamak gereklidir.

Genellikle, Mobil robotlarda sönümleme olarak sadece yaylar kullanılır. Süspansiyon mekanizması, bazı robotlar da tek yönlü amortisörler, yaylar ve hidrolik tamponlar kullanılarak dizayn edilir. Doğrusal yataklamadan oluşan bu tasarım sayesinde dingil mesafesi değişmez. Böylece robot rahatça gidebilir.



Şekil 2.12. Titreşim sönümleme sistemi sonrası ileri giderken ölçülen titreşim değerleri



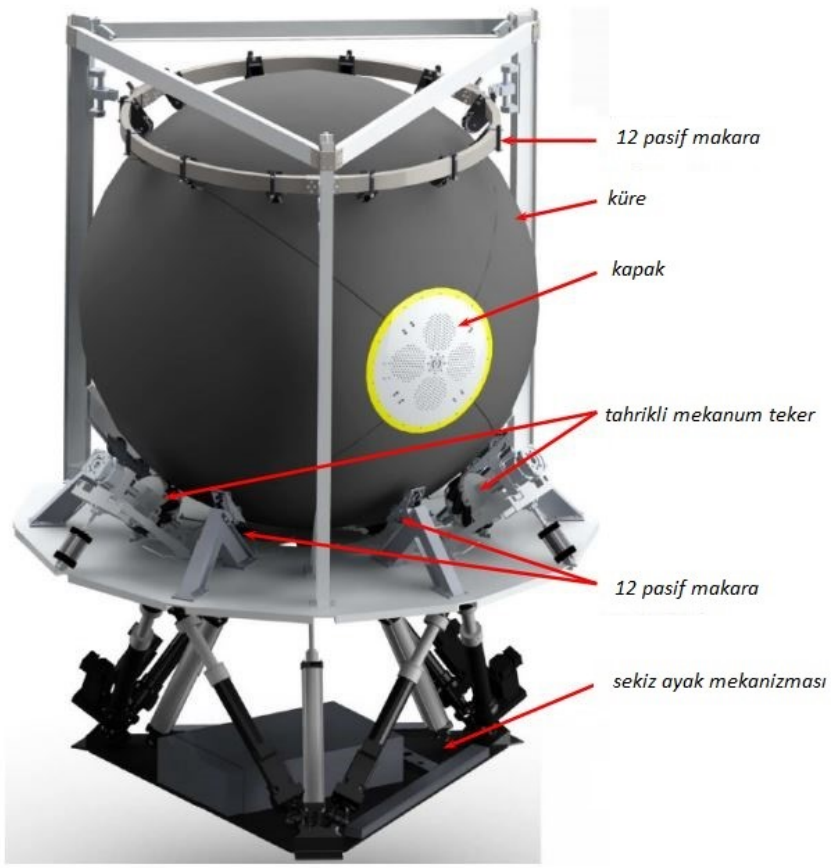
Şekil 2.13. Titreşim sönümleme sistemi sonrası yan giderken ölçülen titreşim değerleri

Shimada, A ve arkadaşlarının 2005 yılında yaptıkları ve yayınladıkları bir çalışmada da, Mecanum tekerlekli çok yönlü araçlarda görme sensörü kullanan bir konum düzeltici geribildirim kontrol yöntemi tanıtılmaktadır. Son zamanlarda yaygınlaşan bu çok yönlü tekerlekler sandalyelerde bile kullanılabilmekte. Benzersiz özelliklerinden istifade edilebilen bu tekerleğin çok daha yaygın şekilde kullanılabileceğine inandıklarını söylemektedirler. Kontrol sistemi, holonomik kısıtlamalar altında benzersiz kinematiklere dayanmaktadır. Görme sensörü sisteminin bir parçası olan bir CCD kamera, hareketli aracı barındıran laboratuvarın tavanı üzerinden asılmış. Görüş sistemi araç pozisyonunu düzeltmek için kullanılmış.

Aracın konum verileri, görsel veriler kullanılarak hesaplanmış ayrıca, aracın konumu, veriyi geri besleme döngüsüne sürekli girerek düzgün bir şekilde düzeltilmiş. Bu çalışma, kontrol sisteminin yapısını ve bir konum düzeltme geri besleme metodunu

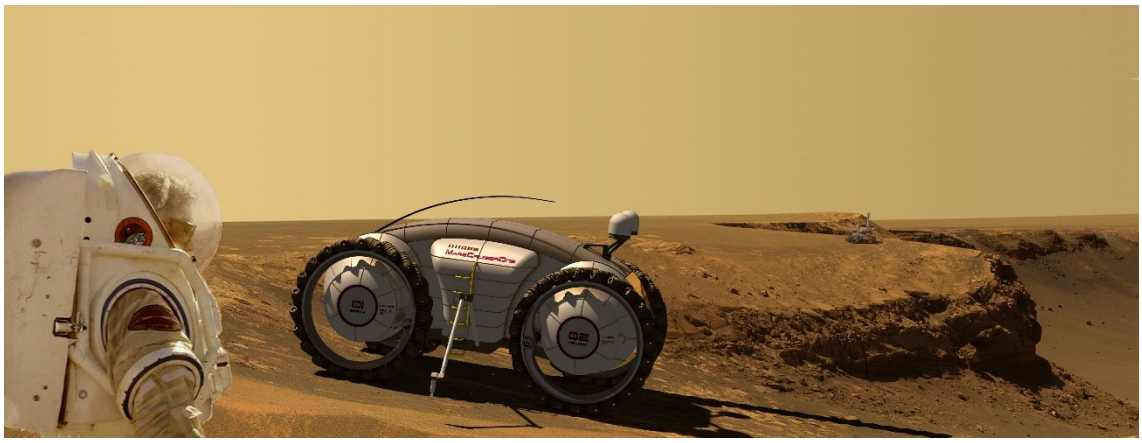
açıklamaktadır. Ayrıca, bu yöntemin değerlendirilmesinden elde edilen deneysel sonuçlar teorik çalışmalarda kullanılmıştır.

Jonathan J. ve arkadaşları çok yönlü tekerleklerin statik kuvvet alanlarını belirlemek üzere Atlas adı verilen bir deney düzeneği hazırlamışlardır. Konvansiyonel deney düzenekleri, hareket ipuçları sağlamak için genellikle sekiz ayak yapılandırmasını kullanır. Yaygın olarak kullanılan çalışmalar, sekiz ayak yapısının gereken hareket aralığını üretmek için yetersiz olduğunu göstermiştir. Atlas, altı serbestlik derecesine sahiptir. Böylece sistem herhangi bir eksen etrafında dönebilmektedir. Açısal yer değiştirmeler, içindeki 2,9 metre çapında kürenin 3 mekanum tekerlek tarafından manipüle edilmesiyle elde edilir. Açısal hız, Jω, kürenin istenen açısal hızı ve üç Mekanum'un gerekli hızları kullanılarak haritalandırılır. Jτ, statik kuvvetini statik olarak yönlendirmek için gereken statik moment vektörünü haritalamaktadır. Küreyi üç Mekanum tekerleğin döndürebilmesi için gerektirdiği statik torka çevirir. Küre ve üç Mekanum tekerlek temas yüzeyleri arasındaki kuvvetler tartışılmaktadır.



Şekil 2.14. Hareketli ve 6 serbestlik dereceli Atlas test düzeneği

E. Nakano and N.Koyachi (1983) Çok yönlü tekerleğin Tıp alanında tekerlekli sandalyeler için kullanılması noktasında bir takım çalışmalar yapmıştır. Böylelikle engelli insanların hareket kabiliyetleri artırılmış olacaktır. Ayrıca her yöne gidebilme özelliğinden ötürü mayın taraması gibi görevlerde bu tür araçlar kullanılmaktadır. Özelliklede uzaktan kontrol edilebilme özelliği sayesinde Mecanum tekerlekli araçlar zor ve tehlikeli görevler için askeri alanlarda kullanılmaktadır. Aynı zamanda NASA tarafından Mars Cruiser One adında 2007 yılında çok yönlü tekerlekli araç yapılmıştır ve bu araç yüksek manevra kabiliyetine sahip olduğundan dolayı çeşitli uzay keşif görevlerinde kullanılacaktır.



Şekil 2.15. Mars Cruiser One

Gracia, L. ve J. Tornero (2007) kinematik modelleme ve mobil sistem tekilliği çalışmasını yapmıştır. Düşük seviyeli dinamik kontrolün küresel kararlılığı güvence altına almak için orta seviyeli kinematik kontrolden çok daha hızlı olması gerektiği saptanmıştır. Bu zorunluluk endüstriyel çatallı yükleyicilerde deneysel sonuçlar ile gözlemlenmiş ve benzetim yoluyla da doğrulanmıştır. Tasarlanmış kinematik kontrolü ileri veya geri izleme arasında ayırım yapmamıştır. Bu yüzden tekerlekler başlangıçta geriye izlemeyi önlemek için referans odaklı olmalıydı. Akuple eyleyiciler ile düşük seviyeli dinamik kontrolü tasarlamak ya da tekerlek kinematiği ve dinamiği ayırımı yapmadan küresel dinamik kontrolü geliştirmek önerilmiştir. Böylece çatallı yükleyici referans takibiyle daha iyi bir performans göstermiştir. Ayrıca bilgi tabanlı sistemlerde sorunların çözümü kolaylaştırmak için sırayla baskın ve özel olan bilgiyi, uzmanlığı yakalayan ve bunları uygulayan tasarlanmış yazılım programları kullanılmıştır. Bu yazılımda uygulanan bilgi tabanlı mühendislik bilginin işlenmesi ile muhatap olmuştur. Bilgi tabanlı mühendislikte bir parça veya süreçle ilgili özel bilgiler, diğer nitelikleri ile

birlikte saklanmıştır ve ayrıca sisteme uygulama süreci de dâhil edilmiştir. Bununla birlikte teknolojideki yeni gelişmeler bilgi tabanlı sistemlerdeki büyük miktarda veri aktarımını oldukça kolaylaştırmıştır.

Q. Pingping, F. Li, ve Z. Xin (2009) Mekanum tekerlekli çok yönlü araç için konum tespiti çalışmasını yapmıştır. Mobil robotlarda navigasyon genel sorununu üç soru ile özetlemiştir. Bu sorular ‘’Neredeyim?’’, ‘’Nereye gidiyorum?’’ ve ‘’ Nasıl orada olmalıyım?’’ idi. Yaptıkları çalışmalar sonucunda mobil robot konumlandırma edebiyatından elde edilen en önemli sonuç ise bugüne kadar bu soruna yönelik gerçekten mükemmel bir çözümün bulunamamış olmasıdır. Bundan dolayı kısmi çözümler göreceli ve mutlak konum ölçümleri olmak üzere iki gruba ayrılır. Mobil robotların geliştiricileri genellikle tek ve mükemmel yöntemin eksikliğinden dolayı iki yöntemden birini uygulamak yerine iki metodun birleşimini uygulamışlardır.

Konum tespiti tekniklerinde genel araçlar için temelde enkoder kullanılmış ya da jiroskop ile enkoderli elektronik pusula birlikte kullanılmıştır. Bununla birlikte mekanum tekerlekli araçlarda enkoder kullanmanın oldukça zor olduğu yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Çoğu zaman geleneksel tekerleğin çevresine bağlı silindirler tarafından kayma oluşmaktadır aynı problem Mekanum tekerleklerde de görülmüştür. Bu nedenle Mekanum tekerlekli araçların konum tespitinde enkoder, jiroskop ve ivmeölçerin birlikte kullanılması yapılan çalışmalar ile başarıyla sağlanmıştır.

Potgieter J. ve Tlatle S. (2002)’yaptığı önemli testlere göre kayma mekanum tekerlekli araçlarda yaygın görülen bir sorundur ve özellikle yan yan hareket ederken zeminle silindir arasında tek temas noktası olduğundan dolayı sorunun arttığı yapılan denemelerde tespit edilmiştir. Bu şiddetli kayma sorunu döner şaft enkoder kullanılan konum tahmini yöntemiyle önlenmiştir. Problemle başa çıkmak için görsel konum tahmini kaymayı önlemeyen sensör gibi kullanılmıştır. Bu teknikte zemindeki karelerini yakalayan bir on-board video kamera kullanılmış ve bununla görüntü işleme yapılmıştır. Aracın mevcut hızı ve yönünün parametreleri çıkarılmıştır. Bu parametreler ile olması gereken hız ve yönün parametreler belirli aralıklarla karşılaştırılırmış ve böylece kayma problemi giderilmiştir. Sert ve zorlu alt katman üzerinde tekerlek kayması olduğunda, yüzeydeki pürüzler iç sürtünme ile giden enerji kaybından kauçuk yüzeyinde titreşen kuvvetler uygular. Alt katman yüzey pürüzlülüğü yapısına bağlı olarak sürtünme kuvvetinin ve kayma hızının nasıl sonuçlanacağını ilişkilendirilmiştir. Bu ilişkilendirmede alt katman yüzeyi enerji kaybı olduğunda kendi kesirsel yapısına

sahiptir. Gerçek temas alanında hem elastik hem de elestoplastik özelikleri olan sabit ve hareketli cisimler ile de teoriler sunulmuştur.

Erhan Çin, Nisan 2015 ‘de Çok Yönlü Hareket Edebilen Çatallı yükleyici Prototipi İmalatı adında bir tez yayınlamıştır. Bu tezde Fabrikalar, süpermarketler, depolar vb. işletmelerde depo alanı değerli olduğu için maksimum verimle kullanılması sağlayacak olan çok yönlü tekerlek sistemi ele alınmıştır. Klasik bir çatallı yükleyici, manevra esnasında büyük bir alana ihtiyaç duymaktadır. Bu da istif için kullanılan alanın azalmasına ve verim kaybına neden olmaktadır. Çok yönlü hareket edebilen çatallı yükleyici işletmelerdeki alanların daha verimli kullanılması amacıyla tasarlanmıştır. Mecanum tekerlek sistemi adı verilen her tekerleğin üzerinde teker eksenine 45° açı ile yerleştirilmiş silindirik ve kendi ekseninde serbest hareketli fıçı tekerler bulunmaktadır. Tekerlekler dönme hareketi yaptığı sırada teker eksenine dik, 45°’li ve kendi ekseninde olmak üzere hareket vektörü oluşturmaktadır. Bu sayede karşılıklı tekerleklerin dönüş yönlerinde yapılan değişiklikler ile istenilen yönlerde hareket sağlanabilmektedir. Çatallı yükleyici bulunduğu pozisyonda her yönde hareket edebilmektedir. Tekerleklerin her birinde ayrı bağımsız redüktörlü motorlar mevcuttur.Kumanda sisteminden gelen sinyaller ile motorlar tekerleklere tahrik uygulamaktadır. Önden alınan yükü sonsuz vida sistemi ile kaldırırken bu yükü dengelemek için arkada bulunan ağırlık geri doğru çıkarak son durum itibarı ile tekerleklere eşit yük paylaşımı yapıp, aracın dengede olmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.16. Erhan Çin tarafından üretilmiş prototipe ait görüntü

3. MATERYAL VE YÖNTEM

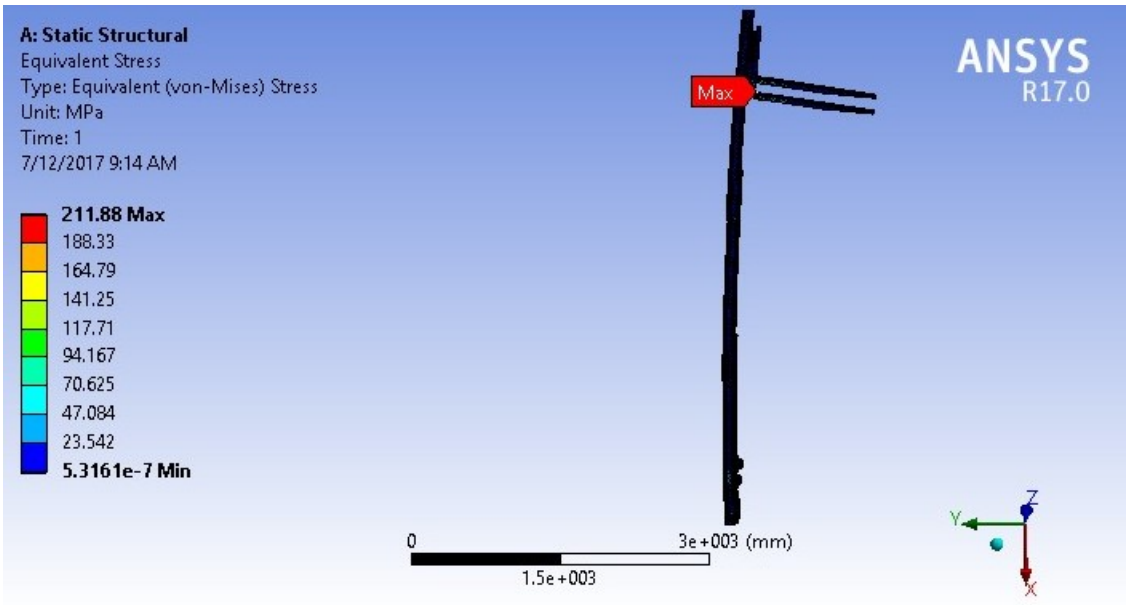
Çalışmamız, öncelikle birçok yönlü tekerlekli çatallı yükleyici tasarımıyla başlamış, sonra sırasıyla prototipinin imalatı yapılmış ve teorik verilerle gerçek verilerin karşılaştırması için bazı testler yapılmıştır. Tasarım süresi yaklaşık 6 ay sürmüş, prototip imalatı ise 1 yıl içinde tamamlanmıştır.

3.1.Çatallı Yükleyici Tasarımı

Prototip çalışması öncesinde yapılan tasarımlar 3 ana başlık altında toplanmıştır. Yükleme ve boşaltma işlerini yapan asansör ve çatal sisteminin seçimi için hesaplamalar ve analizler yapılmıştır. Şase tasarımı ve çatallı yükleyicinin yüklenmesi durumunda aracın dengesini sağlayan denge ağırlığının hesabı ise denge üçgeni prensibi esaslarına göre yapılmıştır. Ayrıca yukardan malzeme düşmesi riskine karşı koruyucu bir kabin ile kapatılması tasarlanmıştır.

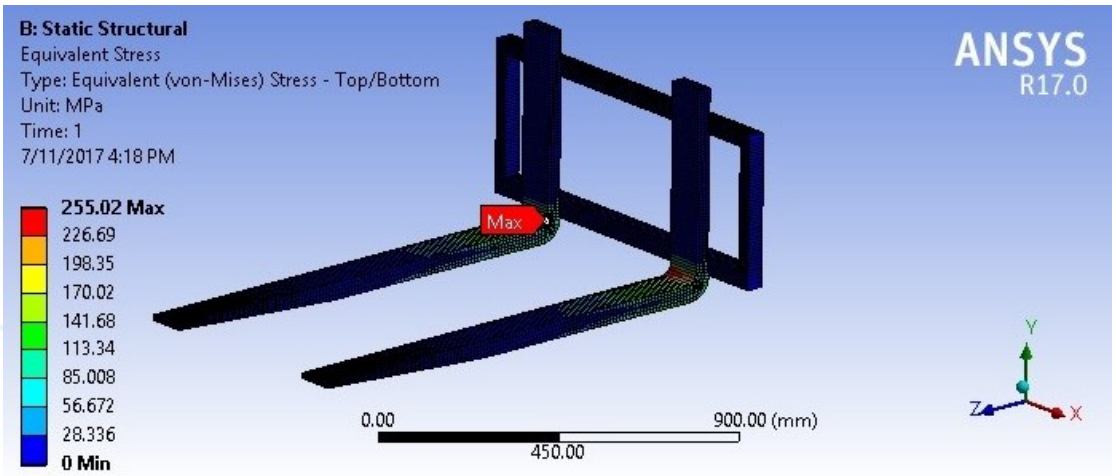
3.1.1.Asansör ve Çatal Sistemi Tasarımı

Çatallı yükleyicilerde asansör sistemi, yükü belirli yüksekliklere hidrolik pistonlar yardımıyla kaldıran, güvenli bir şekilde taşınabilmesi amacıyla yükü kendine doğru yatırarak yük ağırlık merkezini aracın ağırlık merkezine yaklaşmasını sağlayan ve side-shifter adı verilen ve çatalların istenildiğinde sağa ve sola hareket etmesini sağlayan mekanizma grubudur. Aracın kullanılış amacına göre çift katlı veya üç katlı yapılabilmektedir.



Şekil 3.1. Tasarımı tamamlanan asansör ve çatal mekanizmasının yapısal analizinden bir görüntü

Üç katlı asansör sisteminde iç içe girmiş profiller çok düzgün ve 0.5 mm toleranslarda yataklanmaktadır. Ortalama 4,7-5 Metre yüksekliklere ulaşabilen bu tip asansörün kapalı yüksekliği 2-2.50 Metre civarındadır.



Şekil 3.2. Tasarımı tamamlanan çatal mekanizmasının yapısal analizinden bir görüntü

İki katlı asansörde ise aynı yüksekliklere erişilebilir fakat kapalı yüksekliği 3-4 Metre olacağı için pek tercih edilmez.

Tasarımının ve prototipinin yapılacağı araçta asansör sistemi, 3 katlı, açık yüksekliği 5 Metre ve kapalı yüksekliği 2.10 Metre olacak, yükün sağlıklı taşınabilmesi için yük ağırlık merkezini aracın ağırlık merkezine yaklaşık 10 derece kaydırabilecek ve çatalları 20 cm sağa, 20 cm sola kaydırabilecektir. Bunların hepsinin statik analizi ANSYS ortamında yapılmıştır ve böylece kararlılık üçgeni sağlanıyor mu veya sağlanmıyor mu denenmiştir. Asansör sisteminin eğilme, kayma ve yukarı tırmanma hareketlerinin hareket kısıtları için çeşitli algılayıcılar kullanılması düşünülmüştür.

Asansör profili olarak özel çekilmiş ve iç içe girerek daha çok görüş alanı sağlayan Hoesch 3019 Mast profili kullanılması planlanmıştır. Çatal yükü 2.000 kg olduğunda orta pistona serbest kaldırma mekanizmasından dolayı 4.000 kg geleceği için piston seçimi 4.000 kg'a göre yapılmıştır. Sadece yük kaldırma işleminde basınç gerekli olduğundan tek etkili olarak tasarlanmış, hortumun kesilmesi ya da patlaması durumunda hızlı inişi önlemek adına özel çek valf kullanılması düşünülmüştür. Serbest yük kaldırma sayesinde diğer profiller kalkmadan iş yapabilmesi tasarlanmış, böylelikle konteynır veya kamyon içinde çalışabilmesi amaçlanmıştır.

Sağ ve sol pistonlarda aynı şekilde tek etkili seçilmiştir. Yük indirme işleminde sadece valfler kontrol edilmekte, pistonlar ve hortumlar içindeki yağ tanka tahliye edilmekte, bu sayede indirme işleminde enerji tüketimi neredeyse hiç seviyelerinde kalmaktadır.

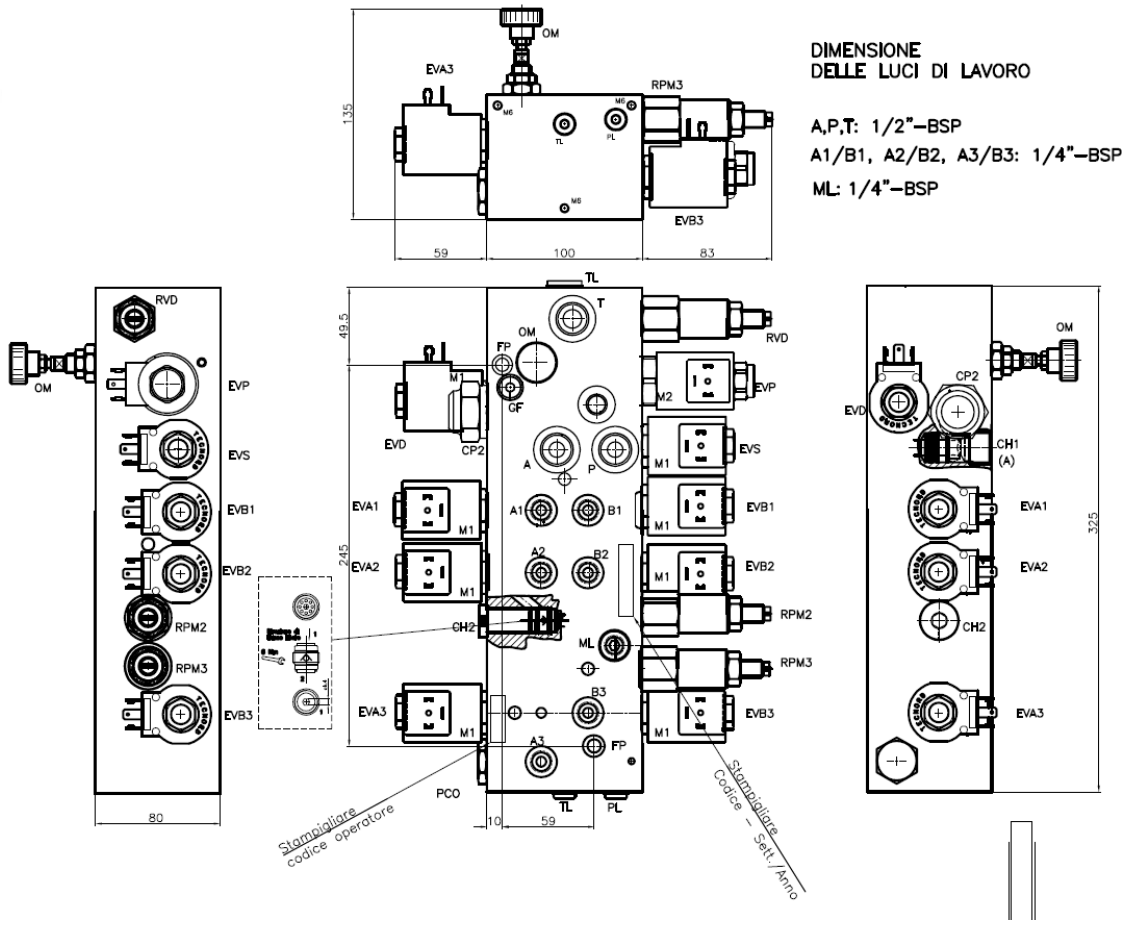


Şekil 3.3. Sistemde kullanılan asansör ve çatal mekanizmasının CAD modeli

3.1.1.1.Hidrolik Hesaplamalar

Hidrolik hesaplamalar aracın maksimum 2.000 kg yük kaldırma durumuna göre yapılmıştır. Yük altında bulunan rottur. Pistonun doğrusallığını sağlayan içinde bulunduğu silindirdir. Silindirin içine akışkan dolmasıyla silindir hareket eder.

Bu akışkan hidrolik yağdır. Hidrolik yağ standartlara uygun olarak viskozite ve yoğunluk dikkate alınarak seçilmiştir. Silindirdeki akışa yön veren ise aşağıda Şekil 3.2.'de gösterilen 4 konumlu valftir. Valfin en soldaki konumu pistonu yukarı hareket ettirir. Orta konum durdurur. Sağdaki konum ise aşağı yönlü hareket sağlar. Valfin yanında bulunan solenoid ile valfin konumları elektrik ile değiştirilmektedir. En alt solda basınç emniyet valfi bulunur. Ani basınç değişimi, anlık basınç yükselmesine karşın sistemi korur. Pompa tank kısmında vakum yaratarak akışkanı basınç değişimi ile valf bloğunda basınç girişine göndermektedir. Valf bloğuda kontrol ünitesinden gelen bilgilere göre açılıp kapanarak hidrolik senaryonun icra edilmesini sağlar.



Şekil 3.4. Sistemde kullanılan 4 yönlü hidrolik valf bloğuna ait şematik gösterim

a) Çalışma basıncı ve piston hesabı

Çalışma basıncı özellikleri bazı hesaplamalar sonucu bulunmuştur. Buradan yola çıkılarak piston, pompa ve motor seçimi yapılmıştır.

- Sağ-Sol piston için basınç hesabı denklem (3.1)'den yola çıkılarak;

$$P1 = \frac{F1}{A1} \tag{3.1}$$

$$F1 = M1 * g = 2000 * 9{,}81 = \mathbf{19.620\ N} \tag{3.2}$$

$$A1 = \pi * \frac{R1^2}{4} = \mathbf{1.256{,}6\ mm^2} \tag{3.3}$$

$$P1 = \frac{19620}{1256{,}6} = 15{,}6\ Mpa = \mathbf{156\ bar} \tag{3.4}$$

- Merkez piston için basınç hesabı denklem (3.5)'den yola çıkılarak;

$$P2 = \frac{F2}{A2} \tag{3.5}$$

$$F2 = M2 * g = 4000 * 9{,}81 = \mathbf{39.240\ N} \tag{3.6}$$

$$A2 = \pi * \frac{R2^2}{4} = \mathbf{2827{,}4\ mm^2} \tag{3.7}$$

$$P2 = \frac{39240}{2827{,}4} = 13{,}9\ Mpa = \mathbf{139\ bar} \tag{3.8}$$

Denklem (3.4) ve (3.8) sonuçlarına göre seçilen güvenli çalışma basıncı:

Pw = 170 bar

b) Debi hesabı

$$\boldsymbol{Q = \frac{3 * A * Vp}{50}}$$

$$\boldsymbol{\frac{V}{2} = Vp1 = Vp2}$$

- Sağ-Sol piston için debi hesabı denklem (3.11)'den yola çıkılarak;

$$Q1 = \frac{3 * A1 * Vp1}{50} \tag{3.11}$$

$$A1 = \Pi \frac{4^2}{4} = \ 12{,}56\ cm^2 (for\ per\ cylinder) \tag{3.12}$$

$$Total\ Area = 2 * 12{,}59 = \mathbf{25,12\ cm^2} \tag{3.13}$$

$$Q1 = \frac{3 * 25{,}12 * 20{,}5}{50} = \mathbf{30,1\ l/min} \tag{3.14}$$

- Merkez piston için debi hesabı denklem (3.15)'den yola çıkılarak;

$$Q2 = \frac{3 * A2 * Vp2}{50} \tag{3.15}$$

$$A2 = \Pi \frac{6^2}{4} = \ \mathbf{28,27\ cm^2} \tag{3.16}$$

$$Q2 = \frac{3 * 28{,}27 * 20{,}5}{50} = \mathbf{35,3\ l/min} \tag{3.17}$$

Denklem (3.14) ve (3.17) sonuçlarına göre Minimum gerekli debi:

Q= 35,3 l / min

c)Motor gücü hesabı:

- Sağ-Sol piston debisine göre;

$$P = \frac{Pw * Q}{510} = \frac{170 * 30{,}1}{510} = \mathbf{10,03\ kW} \tag{3.18}$$

- Merkez piston debisine göre;

$$P = \frac{Pw * Q}{510} = \frac{170 * 35{,}3}{510} = \mathbf{11,76\ kW}$$

(3.19)

Denklem (3.18) ve (3.19) 'a göre minimum gerekli motor gücü 11,76 kw hesaplanmış fakat kayıplar, çalışma koşulları ve üretici standartları dikkate alındığında motor;

P= $\mathbf{15.8\ kW}$ olarak seçilmiştir.

Piston seçimi için öncelikle ihtiyaç duyulan ölçüler hesaplanmıştır ve standartlara göre aşağıdaki tablo oluşturulmuştur. Buradan sürtünme katsayıları ve uzunluklar belirlenip buna uygun piston seçimi yapıldığı gibi montajında karşılaşılan zorluklar pratik yöntemlerle aşılmıştır.

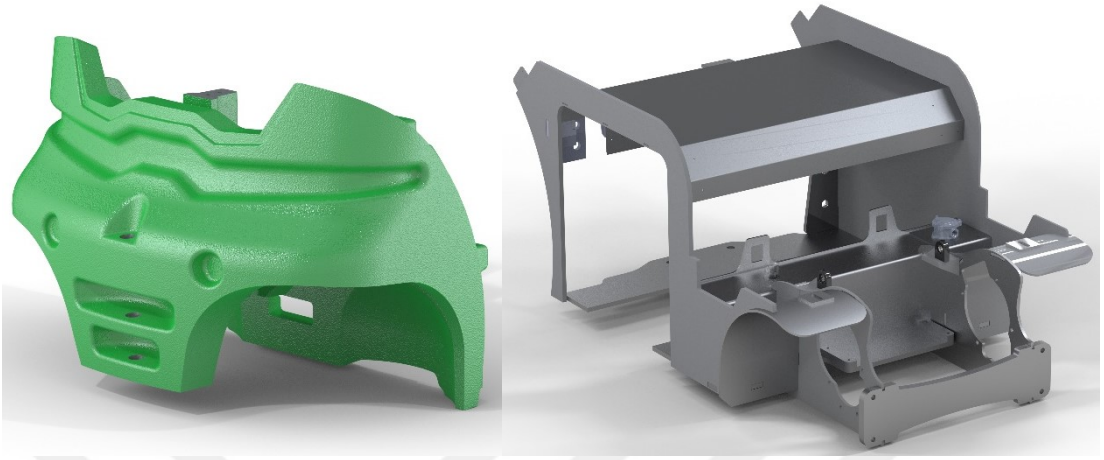
Çizelge 3.1. Hidrolik hesaplamalar sonucunda oluşturulan parametreler

Sol-Sağ Piston		
Sağ sol pistonun yarıçapı	R_1	Ø40 mm
Sağ-sol pistonun boru yarıçapı		Ø45-55 mm
Sağ-sol pistonun uzunluğu		1600 mm
Sağ sol piston için yük	M_1	2000 kg
Merkez Piston		
Merkez pistonun yarıçapı	R_2	Ø60 mm
Merkez pistonun boru yarıçapı		Ø63-75 mm
Merkez pistonun uzunluğu		880 mm
Merkez piston için yük	M_2	4000 kg
Genel Özellikler		
Pompa kapasitesi		11,2 ccm
Çatal kaldırma hızı	V	41 cm/s
Sağ-sol pistonun kaldırma hızı	V_{p1}	20,5 cm/s
Merkez pistonun kaldırma hızı	V_{p2}	20,5 cm/s
Çalışma Basıncı	Pw	170 bar
Debi	Q	35,3 l/min

3.1.2.Şase ve Dengeleyici Karşı Ağırlık Tasarımı

Tasarlanıp imal edilecek araçta şase aksamı büyük önem arz etmektedir. Her zaman aynı koşullarda çalışılmayacağı için dengesiz yüklenmeye ve yorulmaya karşı dayanıklı bir malzemeden imal edilmeli ve doğru kalınlıkta kullanılmalıdır. Rijit ve sağlam olması dayanıklılığı artırmakta bu da hataları azaltmaktadır. Dengeleyici karşı ağırlık ise maksimum yük geldiği zaman oluşan momentin etkisiyle aracın arkasının kalkmasını engellemek için kullanılmaktadır. Genelde GG 50 döküm malzemeden kullanılır ve ağırlık yapmak dışında başka bir görevi bulunmamaktadır. Dengeleyici karşı ağırlığın miktarı, aracın kapasitesine ve akünün ağırlığına göre değişir. Tasarımının ve

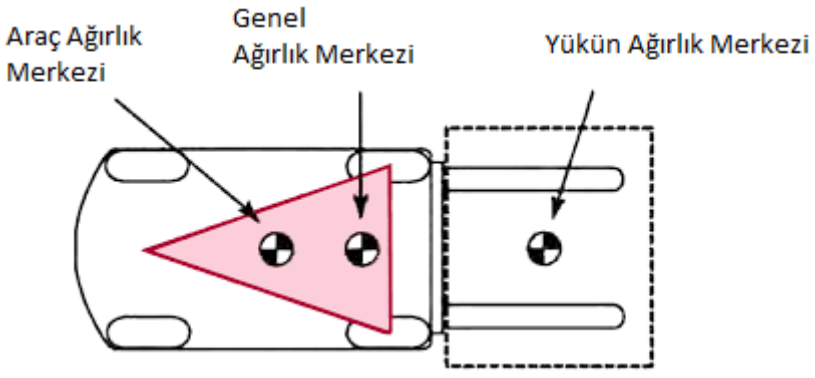
prototipinin yapılacağı araçta şasenin ve dengeleyici karşı ağırlığın hesapları ve analizleri yapılarak uygun malzemelerin kullanılması planlanmıştır.



Şekil 3.5. Tasarlanan şase ve dengeleyici karşı ağırlık

3.1.2.1.Çatallı Yükleyicilerde Kararlılık Üçgeni

Çatallı yükleyici sistemlerinde kararlılık üçgeni sistemin ağırlık merkezinin korunması ve güvenlik açısından çok önemli bir unsurdur. Şekil 3.6'da da görüldüğü gibi genel ağırlık merkezinin üçgenin dışına çıkması güvenlik açısından tehlike arz etmektedir. Yükün hareketli olması yani çatallı yükleyicinin asansörünün yukarı-aşağı, sağa-sola ve eğim hareketleri yük merkezini sürekli hareket ettirmektedir. Yapılan hesaplarda felaket senaryolarına göre en kritik durum belirlenmiştir ve tüm denge ve moment hesapları bu duruma göre yapılmıştır.



Şekil 3.6. Çatallı yükleyicilerde kararlılık üçgeninin gösterimi

3.1.3.Sürücü Kabini Tasarımı

Sürücü kabini, yönetmeliğe uygun bir şekilde, sürücünün yükü her yükseklikte kolayca görebileceği, sürücünün kendini konforda hissedebilmesi açısından rahat ve ani hareketlerde ya da frenleme esnasında güvenliği tehdit etmeyecek şekilde olmalıdır. Tasarımının ve prototipinin yapılacağı araçta kabinin tasarımı yönetmeliklere göre uygun bir şekilde yapılacak olup estetik ve ergonomik olmasına özen gösterilecektir.



Şekil 3.7. Tasarlanan sürücü kabinin bilgisayar destekli tasarım modeli

3.2. Prototipleme Çalışmaları

3.2.1.Çok Yönlü Tekerlek Üretimi

Çok yönlü hareket edebilen çatallı yükleyici prototipi bilgisayar ortamında tasarlanıp imalatı bu tasarıma uygun olarak yapılmıştır. Tekerleklerdeki silindirik rulolar bu araca özel olarak tasarlanmıştır. Çok yönlü tekerlekte silindirik rulolar merkez teker eksenine 45 derecelik açılarla konumlandırılmaktadır. Pasif silindirik rulo tasarımında en önemli noktalardan biri ise teker merkez eksenine dik açıdan bakıldığında tekerler tam bir daire oluşturmalıdır. Yani ruloların ölçülerinin her bir parçada aynı olması gerekmektedir ve bu yüzden rulo imalatı CNC torna tezgâhında yapılmıştır. Üretilen ruloların yüzeyi daha sonra 95 Shore sertliğinde aşınmaya ve yıpranmaya dayanıklı

poliüretan malzeme ile kaplanmıştır (Şekil 3.9). Gerçek üretimden önce doğrulama amacıyla 3D yazıcıdan küçük prototip alnmış ve bunlar büyük prototipe uyarlanmıştır. Aksi takdirde tekerleklerin istendiği gibi imal edilememesi durumunda araç hareketi esnasında titreşim ve gürültü ile karşılaşılacaktır.



Şekil 3.8. Tasarlanan jantın model işleme, döküm ve CNC delik işlemleri

Jantlar için ise ilk önce alüminyum model işletilmiş ve bu model dökümcüye gönderilerek GGG70 malzemeden yüksek dayanımlı jantlar elde edilmiştir. Daha sonra torna tezgahında dış çap ve iç çap istenilen ölçüye getirilmiştir. Mil deliklerin işlenmesi için 5 eksen CNC tezgahına bağlanmış ve bu delikler işlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.9. Poliüretan kaplanmış makaralar



Şekil 3.10. Makaralara rulmanların ve millerin preslenme işlemi

Tasarımı ANSYS programında yapılan analiz sonuçlarına göre tamamlanan ve CK45 malzemeden CNC torna tezgahında işlenen miller, poliüretan kaplanmış makaralar ve konik bilyeli rulmanlar kullanılarak Şekil 3.10 de görüldüğü gibi pres yardımı ile montajlanmak üzere toplanmıştır.

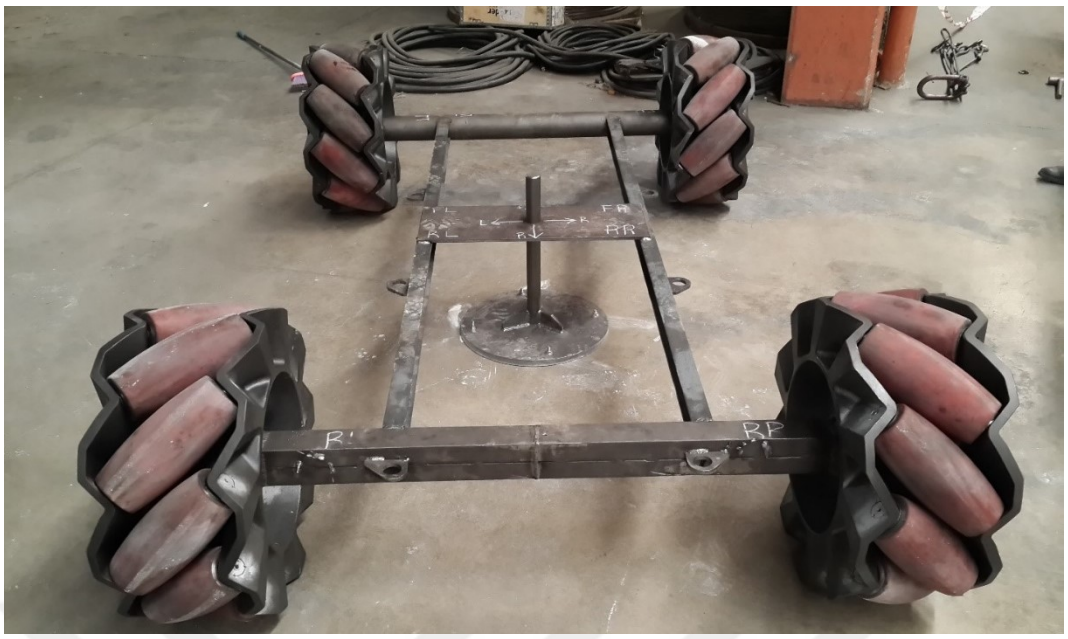


Şekil 3.11. Makaraların janta montaj aşamaları ve tekerleklerin bitmiş hali

3.2.2. Şase İmalatı

Şase imal edilirken mekanik imalat yöntemleri kullanılmış kaynaklama, taşlama, delme, tornalama gibi yöntemler kullanılmıştır. Elde edilen ilk şase Şekil 3.12' deki gibidir. Bu basit yapı sayesinde daha yolun başında yapılan hatların görülmesi planlanmıştır. Ayrıca tekerleklerin doğru çalışıp çalışmadığı ve basma yüzeylerinin ve sürtünme kuvvetlerinin görülebilmesi anlamında ışık tutmuştur.

Yere beyaz toz alçı dökerek üzerinde yürütülen tekerlerin düz çizgisel bir iz bırakıp bırakmayacağını takip edildi. Ayrıca yere oluklu mukavva serip üzerinde yürüttüğümüzde ise her makaranın izinin diğer makara izleriyle olan ilişkisini inceleyerek yapılan işin doğruluğu kanıtlandı (Şekil 3.13). Tüm bu çalışmalar yüksüz olarak yapıldı. Planlandığı üzere makaralar kusursuz bir şekilde iz bırakmaktaydı ve artık gerçek şase üzerinde denemeye hazırdı.



Şekil 3.12. Sistemin üretim basamaklarından biri. İlk aşamalarda şase



Şekil 3.13. Tekerleklerin test edilirken ki anlarına ait bazı görüntüler



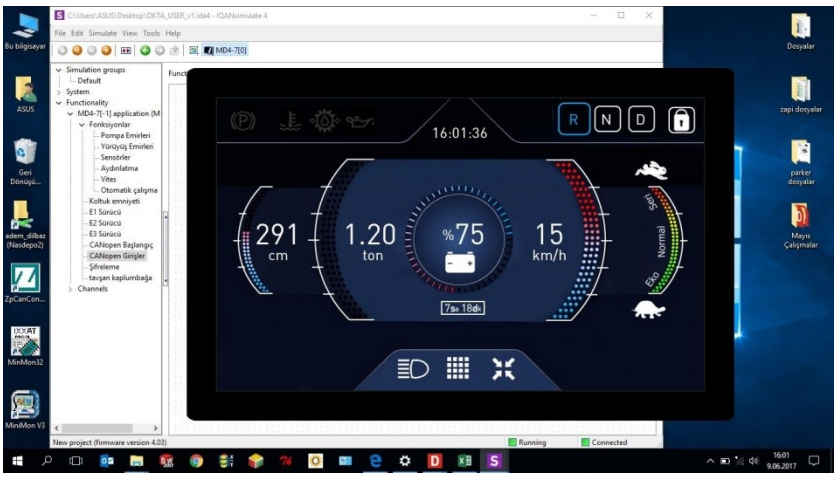
Şekil 3.14. Şasenin kaynaklı montaj aşamaları

3.2.3. Elektronik Bileşenler

Elektronik bileşenlerin bir araya getirilmesi, kablaj, montaj ve soket seçimi gibi konular gerçekleştirilmiştir. Örneğin, Bazı yerlere pasif devre elemanı olan direnç bağlanması, rölelerin mobil PLC ile kontrolü, elektro-hidrolik sistemin kontrolü, sensörlerin bağlanması yapılmıştır. Elektronik bağlantılar konusunda doğru bağlantı elemanı olan soketlerin seçimi de önemli bir konudur. Tek yönlü girişin olması yani sağ veya sola çevrilince aynı yere girememesi devreyi korumak açısından önemlidir. Numaralı kabloların uçlarına küçük bağlantı pinleri lehimlenmiş ya da pense ile basılmış, bunlarda daha önce elektronik tasarım programlarında projesi çizildiği gibi doğru soketlere basılmış, gerekli yerlere direnç bağlanmış, elektriksel olarak kısa devreyi engellemek için elektrik bandı, makaron gibi malzemeler kullanılmıştır. PLC ile motor sürücülerinin haberleşmesi CANOpen haberleşme protokolü aracılığıyla yapılmaktadır. Bu haberleşme sisteminde bir adet master (yönetici) eleman olup diğer elemanlar slave (köle) elemandır. Prensip olarak 4 hat kullanılmakta olup bunlar;

+Besleme, Toprak, canHigh, canLow‘dur.

3.2.3.1. Kontrol Modülü Md-4 (Operatör Paneli)



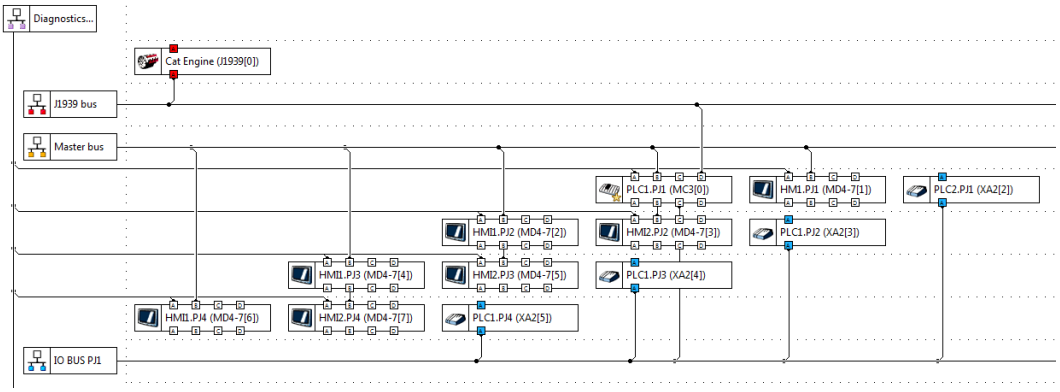
Şekil 3.15. MD-4 operatör paneli

Operatör paneli MD-4 Sistemin ana kontrolcü ögesidir. Bu panel dokunmatik olup kullanıcı ara yüzünü içermektedir. Aracın seyir bilgilerini ve hata mesajlarını ileterek kullanıcıyı uyarmaktadır. Kendi yazılım ara yüzünde geliştirilen blok diyagram ve kodlardan oluşan algoritma bu panele yüklenmektedir. Sistemin beyni denebilir. MD-4 ün resmi Şekil 3.15. de verilmiştir.

3.2.3.2. Xa2 Modülü

XA2 Modülü genişleme modülü olarak da anılmaktadır. Sensor ve bazı haberleşmesi gereken ekipmanların çıkış sayılarının fazla olması ve PLC giriş sayısının yetersiz olmasından dolayı sistemimizde bu çoğaltıcı eleman kullanılmıştır. Analog ve Dijital olarak girişe müsaade etmektedir. Ayrıca frekans girişi sayesinde encoderlardan geri besleme alabilmemizi sağlamaktadır.

Aşağıda Şekil 3.16'da verilen görüntü XA-2'nin haberleşme yöntemini ifade eden blok diyagramına aittir. Şekil 3.17'deki eleman ise sistemde kullanılan gerçek modüldür.2 ayrı can hattı olan bu cihaz analog ve dijital girişleri can mesajları olarak almamızı sağlayarak gereksiz kablo karmaşasından kurtarmaktadır. Son derece kararlı ve hassas çalıştığı için güvenle kullanılabilecek bir ekipmandır. Ayrıca döküm gövdesi ve izolasyonu ile IP65 koruma sınıfındadır.



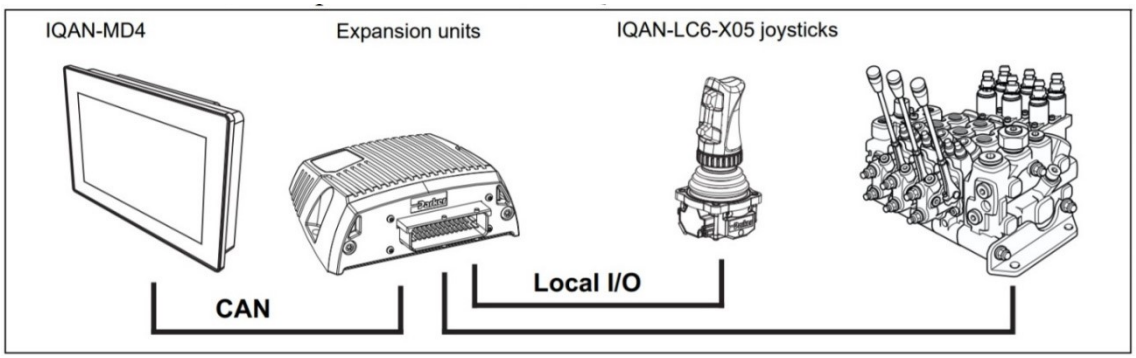
Şekil 3.16. XA2 modülünün blok diyagramı

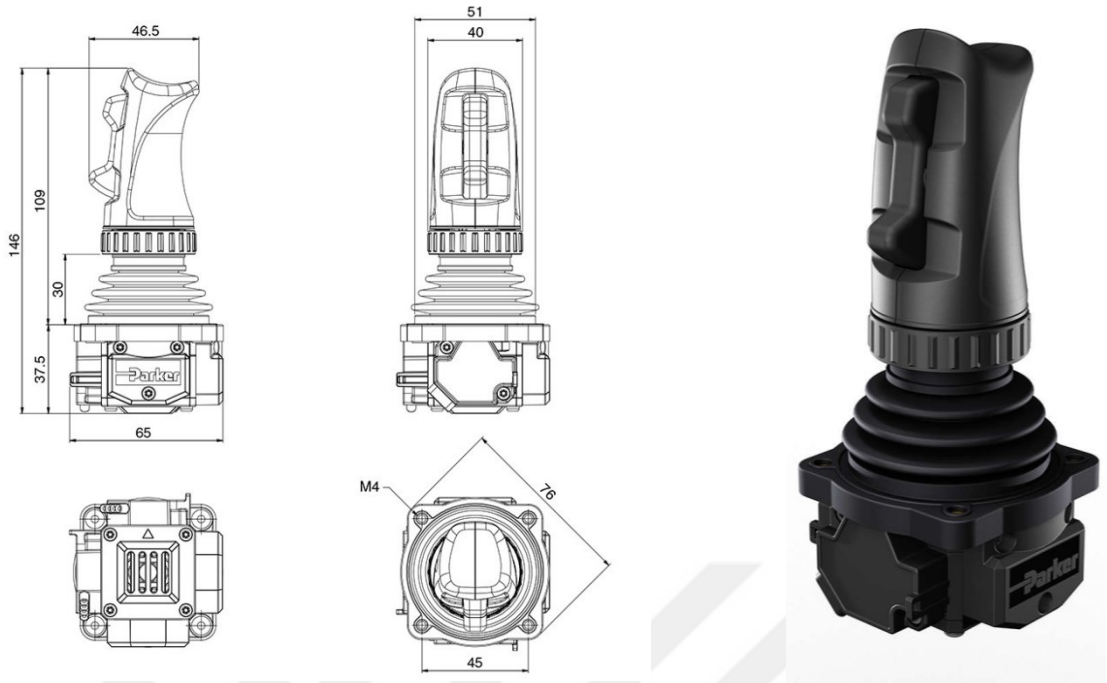


Şekil 3.17. Sistemde kullanılan XA2 modülü

3.2.3.3. Lc-6 Kumanda Kolu

Lc-6 kumanda kolu (Şekil. 3.18) operatöre sisteme kolayca müdahale edebilme olanağı sağlar. 5 volt çıkışlı olup 2 adet kullanılmıştır. Bu özel kumanda kolu 4 eksenli olduğu için özellikle seçilmiştir. Çok yönlü hareketi en uygun ve hassas bu oransal kolla iletebilmekteyiz. Ayrıca diğer kol ilede hidrolik fonksiyonları kontrol ettik.



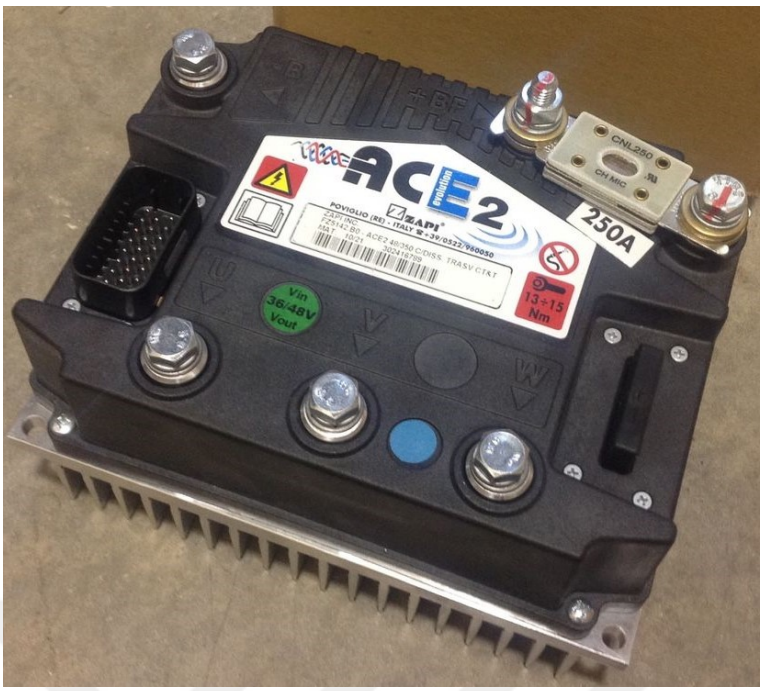


Şekil 3.18. Operatörün sistemi hareket ettirmesini sağlayan kumanda kolu ve bir uygulamada şematik gösterimi

3.2.3.4. Zapi Ace 2 AC Motor Sürücüsü

Bu sürücü hareket motorlarına ve pompa motoruna gerekli sinyallerin gönderilmesini sağlar. Genel olarak çatallı yükleyicilerde kullanılan sürücülerden biridir. (Şekil 3.19) Yukarıda da bahsedildiği gibi bu motor sürücüsü CANOpen haberleşme protokolünü kullanmaktadır. Bu sürücünün temelde 2 görevi vardır.1.si bu sürücü aküden gelen 48 V dc akımı motorları sürebilmek için 32 v ac 3 faz olarak (u v w) dönüştürmektedir.2.ci görevi ise ZapiWinConsole Adı verilen arayüz sayesinde parametreleri ayarlanarak canOpen olmayan bir sistemde stand alone olarak kullanılabilmektedir.

Bizim sistemimimz canOpen ve Master display tarafından kontrol edildiği için bizim sistemimizde bü sürücüler akılsız yani sadece 1. Görevde kullanılmaktadır. Yapılan güç hesapları neticesinde yürüyüş aksamında 350 ah ve pompa aksamında 450 ah olarak seçilmiştir.



Şekil 3.19. AC asenkron motorların sürücüsü

3.2.3.5. Dc-Dc Dönüştürücü

Voltajı düşürmek ve dönüştürmek için kullanılan DC-DC dönüştürücü modülü şekilde görüldüğü gibidir. (Şekil 3.20.) Bu eleman hem 2 kısmı izole eder hem de voltajı çıkışındaki elemanların giriş aralığına dönüştürür. Bizim sistemde akü voltajı 48 v olarak kullanılacak olup, Kontrolcü ekran, Kumanda kolu, Aydınlatma lambaları ve roleler 24 v ile beslenmesi gerektiği için bu dönüştürücü ve voltaj düzenleyici ekipmanı kullanacağız. Hesaplamalarımıza göre ihtiyaç duyulan güç 250-300 watt civarı fakat biz aşırı akım durumlarınıda gözeterekten 350 w olarak seçtik.



Şekil 3.20. DC-DC dönüştürücü modülü

3.2.3.6. Ana Kontaktör

Kontaktörler endüstriyel sistemlerde sıklıkla kullanılan elemanlardan biridir. Daha az voltajla çalışan devrelerde transistör ne ise büyük sistemlerde de kontaktör odur. (Şekil.3.21) Mekanik olarak elektromıknatıslanma prensibi ile çalışır. Sistemin güvenlik elemanlarından birisidir. Bazı uygulamalarda birden çok kullanılabilir.

Bizim sistemimizde 1 adet besleme ile kontrolcü arasına koyularak acil durumlarda sistemin giriş beslemesini doğrudan keserek korumaya alır. Mıknatıslanma olduğunda yani enerjilendiğinde akım geçişine izin vermekte, besleme olmadığında ise (herhangi bir nedenle acil stopa basılması/Akünün kablosunun kopması/bağlantı kopması) kapanmaktadır. (NO)



Şekil 3.21. Elektromekanik sistemi açan ana kontaktör

3.2.3.7. Sigorta

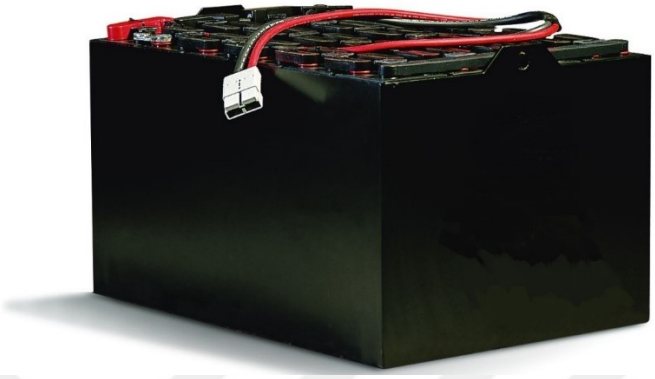
Sistemde kullanılan sigorta elektrik ve elektronik sisteminin belli bir akımın üzerine çıkarak zarar görmesini, yanmasını ve kazalara sebep olmasını engeller. Şekil 3.22'da görülen sigorta birçok çatallı yükleyici sisteminde kullanılan yaygın sigortalardan biridir.



Şekil 3.22. Sistemi elektriksel olarak koruyan sigorta

3.2.3.8. Akü (Batarya)

Tez'e konu olan çatallı yükleyicinin hesaplara göre deşarj akımı 80 Ah dir. Satın alınacak bu akü çatallı yükleyicinin yaklaşık 8 saat çalışmasına olanak sağlayacaktır. Traksiyoner akülerin yaklaşık 1500 defa şarj ömrü vardır. Bu da 5 yıl kullanılacağı manasına gelmektedir. Sistemin tüm enerji ihtiyacı buradan karşılanmaktadır.



Şekil 3.23. Sistemde kullanılan 625 Ah Akü

3.2.3.9. Ac Asenkron Fırçasız Motor

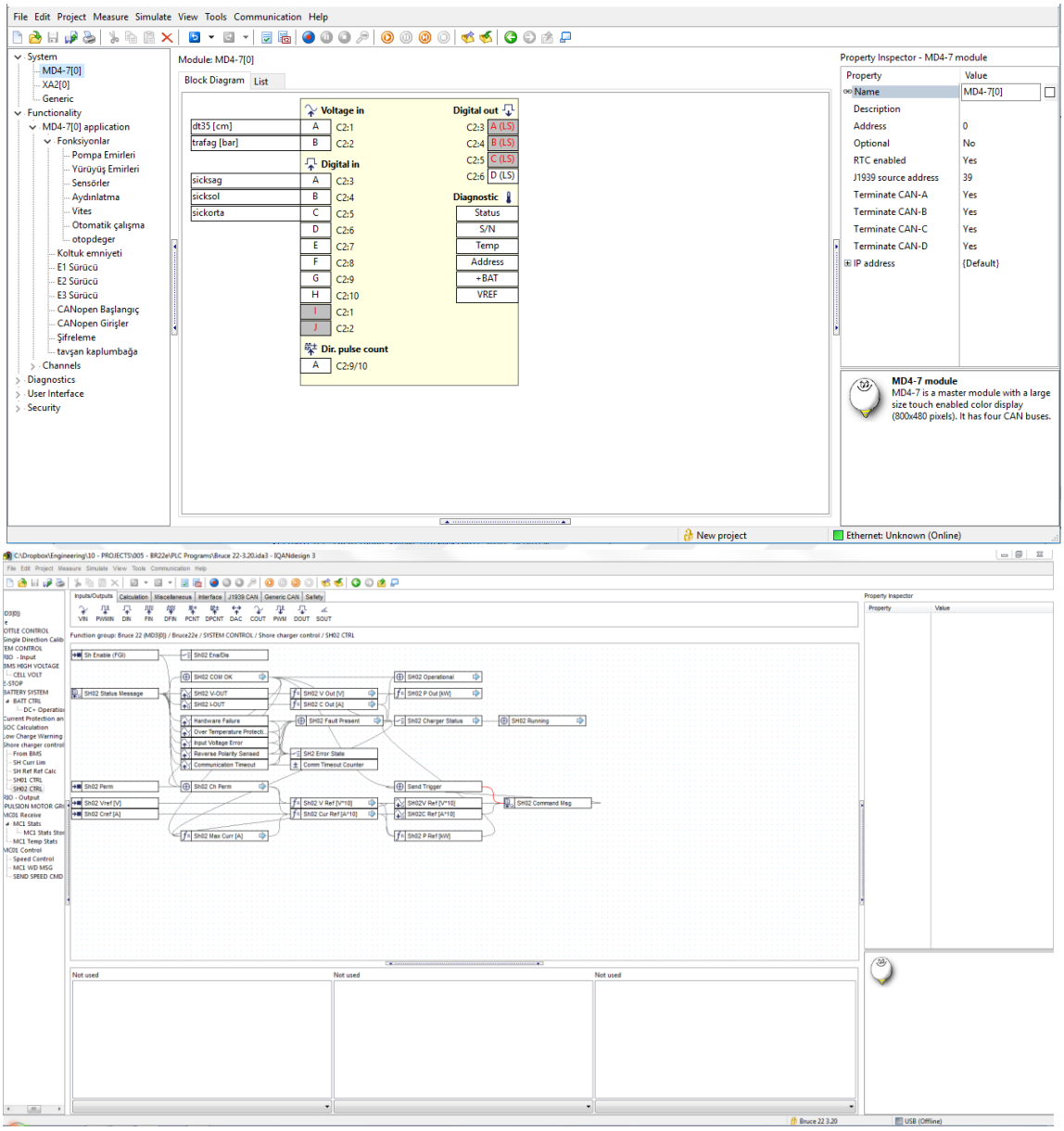
Şekil 3.24'de verilen motor çatallı yükleyicinin hem hareketlerini sağlamakta hem de pompayı tahrik ederek asansör fonksiyonlarını çalıştırmaktadır. Yürüyüş için biri sağda ve diğeri solda olmak üzere 2 motor bulunmaktadır. Yapılan elektriksel hesaplar neticesinde yürüyüş motoru 4.7 [kW] olarak seçilmiştir. Üzerinde enkoder bulunmaktadır. Bu enkoder motordan geribildirim almayı sağlamaktadır.

Bu sayede istenilen frekans değerinde sürülerek aracın hızı kontrol edilebilmektedir. Pompa için yapılan hesaplara göre de pompa motoru 15,8 [kW] olarak seçilmiştir. Bu sistemlerde özellikle AC motor kullanılmasının sebebi DC motorlarda karşılaşılan ısınma problemidir. Seçilen fırçasız AC motorlar sayesinde araç durmaksızın uzun süre çalışabilecektir.



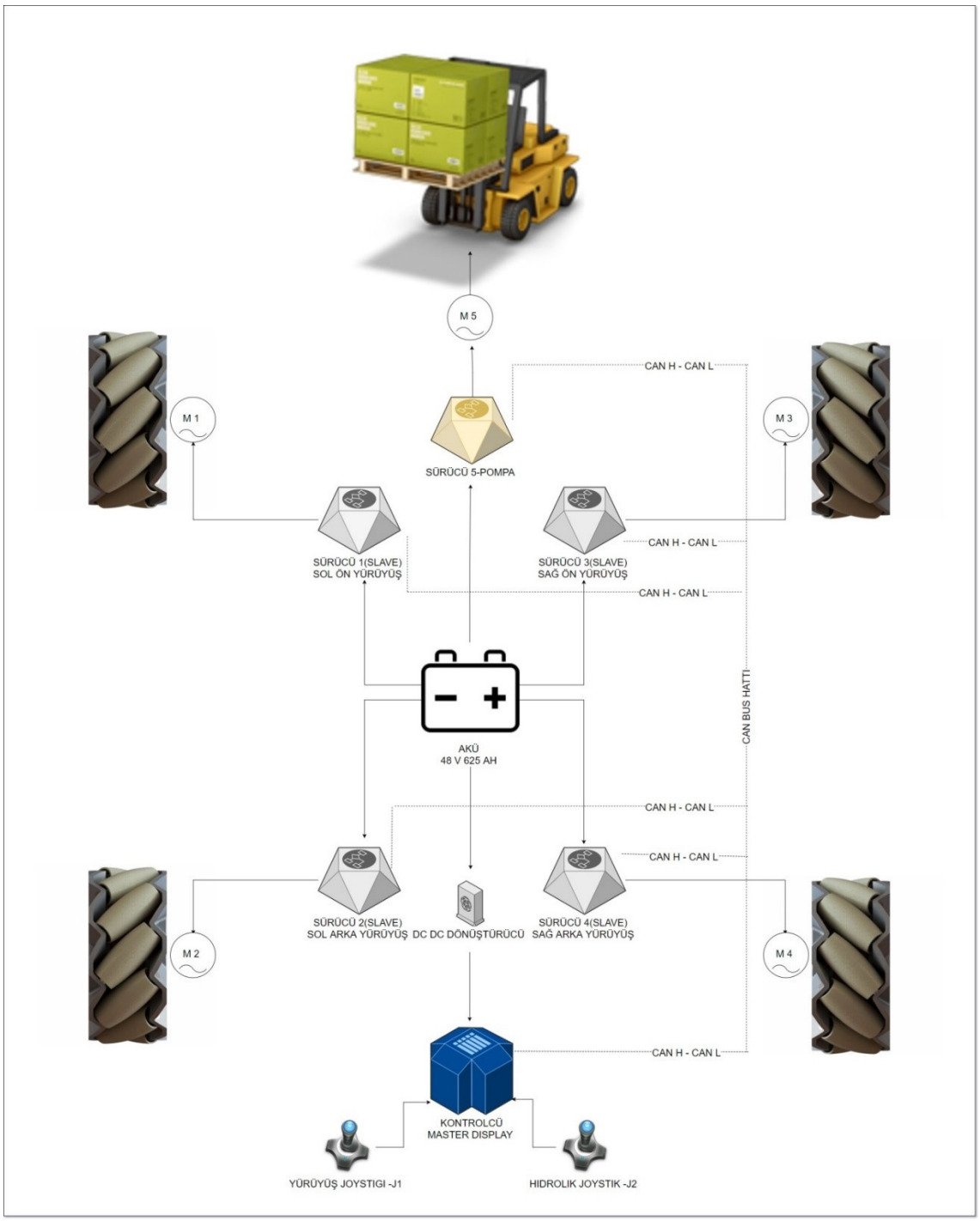
Şekil 3.24. Sistemin hareketini sağlayan motor

3.2.3.10.Yazılım çalışmaları



Şekil 3.25. IQAN design kullanıcı arayüzü

Şekil 3.25'de bir ekran alıntısı görülen program IQAN Design programı olup kullanılan PLC bu program aracılığıyla programlanmaktadır. Blok diyagramları oluşturularak sisteme dahil olan modüller programlanmıştır. Giriş ve çıkış parametreleri tanımlanarak eklenen fonksiyonlar üzerinden işlemler yapmaktadır. Örnek olarak joystickten gelen volt değeri bir fonksiyona bağlanır. Ve bu fonksiyon bu değeri sürücümüzün kabul edeceği değere çevirip belirtilen çıkıştan göndermektedir. Bu işi XA2 mi yoksa MD4 mü yapacak bunları da belirliyoruz.



Şekil 3.26. Çok yönlü tekerleklere sahip aracın şematik blok diyagramı

4. ÇOK YÖNLÜ TEKERLEKLERE SAHİP BİR ÇATALLI YÜKLEYİCİNİN KINEMATIK VE DINAMIK MODELLENMESI

Bu çalışmada sistem cevabını karakterize etme, kontrol sistemleri tasarlama ve sistem davranışını tahmin etmek için Matlab/Simulink'de mobil aracın matematiksel modeli oluşturulmuş ve Matlab/Simmechanics'de benzetim modeli oluşturulmuştur. Simulink, çok disiplinli sistemlerin davranışlarını modellemek ve hareketleri gözlemleyebilmek için dahası bu sistemleri geliştirmek için gerekli ortamı sağlamıştır. Matematiksel modelin simulinkte blok diyagram olarak modellenmesi sonucunda sistemin verdiği cevaplar incelenmiştir.

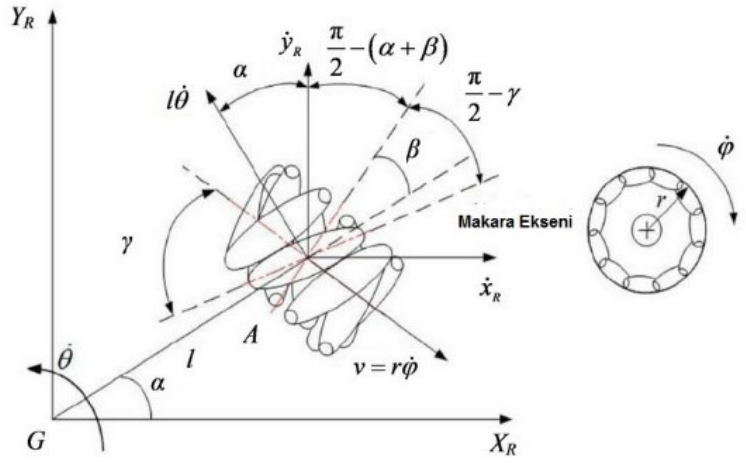
Mobil aracın benzetim modeli Matlab-Simulink ve Simmechanics blokları kullanılarak oluşturulmuştur. Mobil araç üç boyutlu bilgisayar-destekli tasarım (Solidworks) ortamında şasi ve buna bağlı olan dört çok yönlü tekerlek olarak modellenmiş ve oluşturulan bu model Simulink ortamına aktarılmıştır.

Simmechanics, mekanik sistemlerin modellenmesini sağlayan bir simülasyon paketidir. Simulink ortamında çalışan bu paket, geniş kapsamlı fonksiyon kitaplığıyla Simulink ortamını çoklu gövdeli mekanik modelleme olanağıyla genişletmektedir. Yaratılan modellerin otomatik olarak 3 boyutlu şekli görülebilmekte ve benzetim sırasında hareketler canlı olarak izlenebilmektedir. Bu benzetim modeli ortamında çatallı yükleyicinin çeşitli hareketleri gözlemlenmiş ve buna uygun algoritma simulink olmasa bile çatallı yükleyicinin kendi kontrolcüsü ile uyumlu yazılım geliştirme ortamında modellenmiş, sanal ve gerçek girişler ve çıkışlar ayarlanmıştır.

4.1. 4 Tekerlekli Çok Yönlü Bir Sistemin Kinematik Modellenmesi

Yerel koordinat düzleminde {R} mobil robota monte edilmiş bir çok yönlü tekerlek için eksenler $X_R Y_R Z_R$ olmak üzere; Şekil 4.1'de de görüldüğü gibi A noktası merkez, diğer geometrik parametreler ise:

α, GA vektörünün açısı, G robotun geometrik merkezinin orijin noktası olmak üzere, A X_R eksenine bağlı olarak geometrik merkez, β ise merkez tekerlek ekseni ve GA vektörü arasındaki açıdır.



Şekil 4.1. Çok yönlü tekerin koordinat düzleminde gösterimi (Lih-Chang Lin and Hao-Yin Shih 2013)

Robotun ilk ötelenme hızının {R} cinsinden ifadesi ise $[\dot{X}_R \quad \dot{Y}_R]$; Z_R ye bağlı dönme hızı $\dot{\theta}$ dır. Tekerlek merkezinin hızı öteleme hızlarının $\dot{x}_R, \dot{y}_R$ toplamıyla hesaplanır ve dönme hızına bağlı hız $l\dot{\theta}$ Şekil 4.1 de görüldüğü gibidir. Böylece, tekerlek merkezi A'nın makara temas ekseni boyunca hız bileşeni 4.1 denklemi ile ifade edilir:

$$\begin{aligned}
&\dot{x}_R\cos\left[\frac{\pi}{2}-\left(\frac{\pi}{2}-(\alpha+\beta)\right)-\left(\frac{\pi}{2}-\gamma\right)\right]+\dot{y}_R\cos\left[\left(\frac{\pi}{2}-(\alpha+\beta)\right)+\left(\frac{\pi}{2}-\gamma\right)\right]+l\dot{\theta}\cos\left[\alpha+\left(\frac{\pi}{2}-(\alpha+\beta)\right)+\left(\frac{\pi}{2}-\gamma\right)\right]\\
&=\dot{x}_R\cos\left[(\alpha+\beta+\gamma)-\left(\frac{\pi}{2}\right)\right]+\dot{y}_R\cos\left[\pi-(\alpha+\beta+\gamma)\right]+l\dot{\theta}\cos\left[\pi-(\beta+\gamma)\right]\\
&=\dot{x}_R\sin(\alpha+\beta+\gamma)-\dot{y}_R\cos(\alpha+\beta+\gamma)-\dot{\theta}l\cos(\beta+\gamma)\\
&=\left[\sin(\alpha+\beta+\gamma)\quad -\cos(\alpha+\beta+\gamma)\quad -l\cos(\beta+\gamma)\right]\cdot\left[\dot{x}_R\quad \dot{y}_R\quad \dot{\theta}\right]^{\mathrm{T}}
\end{aligned} \tag{4.1}$$

Eğer makaranın kontak noktası boyunca hiç kayma olmuyorsa, aynı tekerlek dönüş hızı olan $\dot{\varphi}.$ ile aynıdır. Çok yönlü teker için sabit denklem 4.2:

$$\left[\sin(\alpha+\beta+\gamma)\quad -\cos(\alpha+\beta+\gamma)\quad -l\cos(\beta+\gamma)\right]\left[\dot{x}_R\quad \dot{y}_R\quad \dot{\theta}\right]^{\mathrm{T}}=r\dot{\varphi}\cos\gamma \tag{4.2}$$

Robotun şasi ataleti {I}'nın robot şasisi {R}' ye göre rotasyon matrisi ise aşağıdaki gibidir:

$$ {}^{R}\boldsymbol{R}_{I}(\theta)=\begin{bmatrix}\cos\theta & \sin\theta & 0\\ -\sin\theta & \cos\theta & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix} $$

(4.3)

θ, X_R ve Y_R arasındaki açıdır. Robotun şasisi {R} için hız vektörü ise;

$$ \dot{\xi}_R=\begin{bmatrix}\dot{x}_R & \dot{y}_R & \dot{\theta}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}} $$

(4.4)

$$ \dot{\xi}_R = {}^{R}\boldsymbol{R}_{I}(\theta)\dot{\xi}_I $$

(4.5)

Denklem 4.2 denklem 4.6'ya dönüştürülür:

$$ \begin{bmatrix}\sin(\alpha+\beta+\gamma) & -\cos(\alpha+\beta+\gamma) & -l\cos(\beta+\gamma)\end{bmatrix}\cdot {}^{R}\boldsymbol{R}_{I}(\theta)\dot{\xi}_I = r\dot{\varphi}\cos\gamma $$

(4.6)

Makaranın temas noktasına dikey olan yönde hareket kısıtlı değildir çünkü pasif temas makarası serbest dönmektedir. Bunun sonucunda aşağıdaki hız bağıntısına ulaşılır:

$$ \dot{x}_R\sin\left[\frac{\pi}{2}-\left(\frac{\pi}{2}-(\alpha+\beta)\right)-\left(\frac{\pi}{2}-\gamma\right)\right]-\dot{y}_R\sin\left[\left(\frac{\pi}{2}-(\alpha+\beta)\right)+\left(\frac{\pi}{2}-\gamma\right)\right]-l\dot{\theta}\sin\left[\alpha+\left(\frac{\pi}{2}-(\alpha+\beta)\right)+\left(\frac{\pi}{2}-\gamma\right)\right] $$

$$ = r\dot{\varphi}\sin\gamma + r_{sw}\dot{\varphi}_{sw} $$

$$ \therefore\begin{bmatrix}\cos(\alpha+\beta+\gamma) & \sin(\alpha+\beta+\gamma) & l\sin(\beta+\gamma)\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\dot{x}_R & \dot{y}_R & \dot{\theta}\end{bmatrix}^{\mathrm{T}} + r\dot{\varphi}\sin\gamma + r_{sw}\dot{\varphi}_{sw} = 0 $$

(4.7)

Denklem 4.7.denklem 4.8'de dönüştürüldüğünde:

$$ \begin{bmatrix}\cos(\alpha+\beta+\gamma) & \sin(\alpha+\beta+\gamma) & l\sin(\beta+\gamma)\end{bmatrix}{}^{R}R_{I}(\theta)\dot{\xi}_I + r\dot{\varphi}\sin\gamma + r_{sw}\dot{\varphi}_{sw} = 0 $$

(4.8)

Elde edilir. Sistemin Şekil 4.2'deki gibi 4 tekerlekli çok yönlü bir robot olduğu farz edilirse;

α_i, β_i ve γ_i açıları, 4 tekerlek monte edildiğinde, i=1,2,3,4 için çizelge 4.1 deki gibi olur.

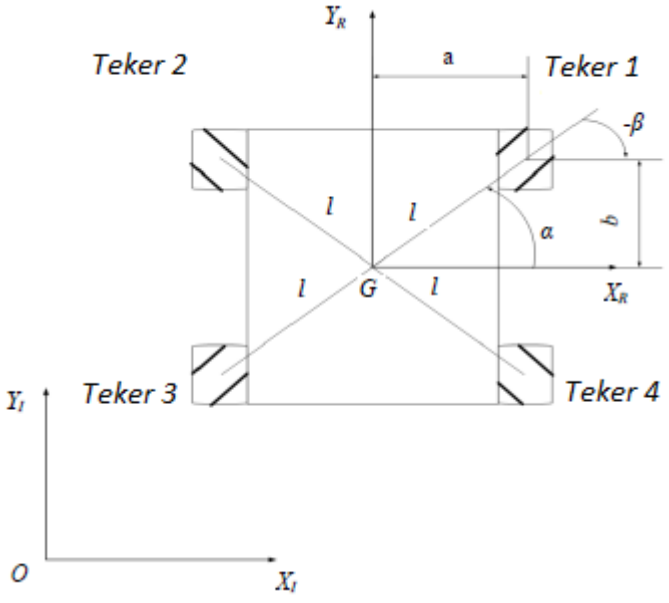
Denklem 4.6'dan yola çıkıldığında;

$$\begin{bmatrix} \sin(\alpha_1+\beta_1+\gamma_1) & -\cos(\alpha_1+\beta_1+\gamma_1) & -l_1\cos(\beta_1+\gamma_1) \\ \sin(\alpha_2+\beta_2+\gamma_2) & -\cos(\alpha_2+\beta_2+\gamma_2) & -l_2\cos(\beta_2+\gamma_2) \\ \sin(\alpha_3+\beta_3+\gamma_3) & -\cos(\alpha_3+\beta_3+\gamma_3) & -l_3\cos(\beta_3+\gamma_3) \\ \sin(\alpha_4+\beta_4+\gamma_4) & -\cos(\alpha_4+\beta_4+\gamma_4) & -l_4\cos(\beta_4+\gamma_4) \end{bmatrix} \cdot {}^{R}\boldsymbol{R}_I(\theta)\dot{\xi}_I = \begin{bmatrix} r_1\dot{\varphi}_1\cos\gamma_1 \\ r_2\dot{\varphi}_2\cos\gamma_2 \\ r_3\dot{\varphi}_3\cos\gamma_3 \\ r_4\dot{\varphi}_4\cos\gamma_4 \end{bmatrix} \tag{4.9}$$

Elde edilir.

Her çok yönlü tekerin eşit ve bağlantı uzaklıkları eşit alındığında, $r_i = r, l_i = l$, i=1,2,3,4 ve çizelge 4.1'deki parametreler denklem 4.9 da yerine koyulduğunda sistemin ters kinematik denklemi 4.10 elde edilir:

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \dot{\varphi}_3 \\ \dot{\varphi}_4 \end{bmatrix} = -\left(\sqrt{2}/r\right) \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & l\sin(\pi/4-\alpha) \\ \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & l\sin(\pi/4-\alpha) \\ -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & l\sin(\pi/4-\alpha) \\ -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & l\sin(\pi/4-\alpha) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_I \\ \dot{y}_I \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \tag{4.10}$$



Şekil 4.2. 4 Tekerlekli çok yönlü bir robot modeli (Lih-Chang Lin and Hao-Yin Shih 2013)

Çizelge 4.1. Çok yönlü tekere ait parametreler

Teker	α_i	β_i	γ_i
1	$\tan^{-1}(b/a)$	$-\tan^{-1}(b/a)$	$(\pi/2+\pi/4)$
2	$\pi-\tan^{-1}(b/a)$	$\tan^{-1}(b/a)$	$-(\pi/2+\pi/4)$
3	$\pi+\tan^{-1}(b/a)$	$-\tan^{-1}(b/a)$	$(\pi/2+\pi/4)$
4	$2\pi-\tan^{-1}(b/a)$	$\tan^{-1}(b/a)$	$-(\pi/2+\pi/4)$

$\alpha = \tan^{-1}(b/a)$. Kabulü yapılır ve Jakobian matrisi;

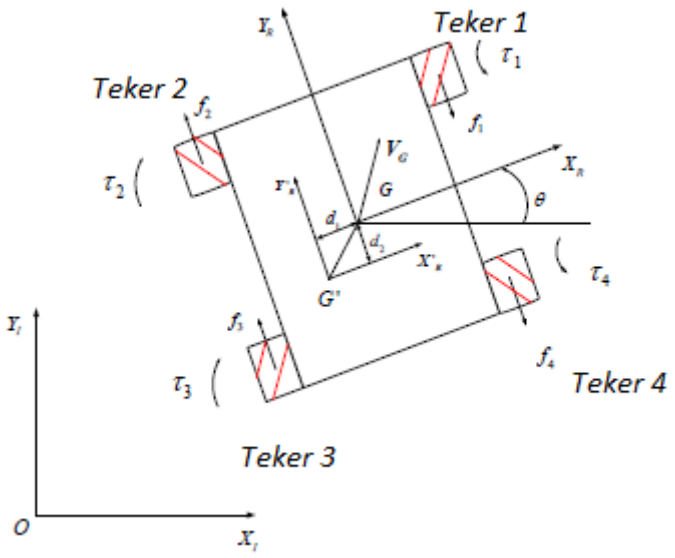
$$J = \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & l\sin(\pi/4-\alpha) \\ \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & l\sin(\pi/4-\alpha) \\ -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & l\sin(\pi/4-\alpha) \\ -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & l\sin(\pi/4-\alpha) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4.11}$$

Çok yönlü tekerli aracın ileri kinematik denklemi aşağıdaki gibi elde edilir [11];

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_I \\ \dot{y}_I \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = -\left(\sqrt{2}/2\right) r J^{+} \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \dot{\varphi}_3 \\ \dot{\varphi}_4 \end{bmatrix} \tag{4.12}$$

$J^{+} = (J^T J)^{-1} J^T$ Yani J^{+} , J 'nin Pseudoinversidir.

4.2. 4 Tekerlekli Çok Yönlü Bir Sistemin Dinamiği



Şekil 4.3. 4 Tekerlekli çok yönlü bir robot modeli (Lih-Chang Lin and Hao-Yin Shih 2013)

Şekil 4.3 teki gibi bir çok yönlü araç ele alındığında, pozisyon vektörü $r_{G=}|x_l \quad y_l|^T$ ile G geometrik merkez olmak üzere, bağıl pozisyon vektörü $r_{G'/G} = [-d_1 \quad -d_2]^T$ {R}'ye bağlıdır. Hız ${}^R\boldsymbol{v}_G$ aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$ {}^R\boldsymbol{v}_G = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_I \\ \dot{y}_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_I \cos\theta + \dot{y}_I \sin\theta & -\dot{x}_I \sin\theta + \dot{y}_I \cos\theta \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} $$

(4.12)

$\dot{x}_1$ ve $\dot{y}_1$ X ve Y eksenleri boyunca G nin hız bileşenleridir. ${}^R\boldsymbol{v}_G$ Hız vektörü robot şasisi {R} içinde aşağıdaki gibi ifade edilir. Bu ağırlık merkezi G'ye bağlıdır.

$$ {}^R\boldsymbol{v}_{G'} = {}^R\boldsymbol{v}_G + \dot{\theta}\boldsymbol{k}_R \times {}^R\boldsymbol{r}_{G'/G} $$

$$ = \left(\dot{x}_I \cos\theta + \dot{y}_I \sin\theta + \dot{\theta} d_2\right)\boldsymbol{i}_R + \left(-\dot{x}_I \sin\theta + \dot{y}_I \cos\theta - \dot{\theta} d_1\right)\boldsymbol{j}_R $$

(4.13)

Çok yönlü tekerlekli sisteme ait toplam kinetik enerji T denklem 4.14 deki gibi ifade edilir:

$$ T = \frac{1}{2}\left[m_b \boldsymbol{v}_{G'}^{\mathrm{T}} \boldsymbol{v}_{G'} + I_b \dot{\theta}^2 + \sum_{i=1}^{4} m_{wi} \left(r\dot{\varphi}_i\right)^2 + \sum_{i=1}^{4} I_i \dot{\varphi}_i^2 \right] $$

(4.14)

m_b Platformun ağırlığı, m_{wi} i nolu tekerleğin ağırlığı, i=1,2,3,4; ι_b z_R ye bağlı atalet momenti, ι_i i nolu tekerleğin ataletsel momenti, $\dot{\theta}$ platformun açısal hızı ve $\dot{\varphi}_\iota$ tekerleğin açısal hızı ve *r* her tekerin yarıçapıdır. Toplam potansiyel enerji $V = 0$ olduğundan;

Lagrange denklemi L=T-V=T denklem 4.15 deki gibi elde edilir;

$$
\begin{aligned}
L = {} & \frac{1}{2} I_b \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_b \left[\left(\dot{x}_I \cos\theta + \dot{y}_I \sin\theta + \dot{\theta} d_2 \right)^2 + \left(-\dot{x}_I \sin\theta + \dot{y}_I \cos\theta - \dot{\theta} d_1 \right)^2 \right] \\
& + \frac{1}{2} m_w \left\{ \left[-\dot{x}_I \left(\cos\theta - \sin\theta \right) - \dot{y}_I \left(\sin\theta + \cos\theta \right) - \sqrt{2}\dot{\theta} l \sin\left(\pi/4 - \alpha \right) \right]^2 \right. \\
& + \left[-\dot{x}_I \left(\cos\theta + \sin\theta \right) - \dot{y}_I \left(\sin\theta - \cos\theta \right) - \sqrt{2}\dot{\theta} l \sin\left(\pi/4 - \alpha \right) \right]^2 \\
& + \left[-\dot{x}_I \left(-\cos\theta + \sin\theta \right) + \dot{y}_I \left(\sin\theta + \cos\theta \right) - \sqrt{2}\dot{\theta} l \sin\left(\pi/4 - \alpha \right) \right]^2 \\
& \left. + \left[\dot{x}_I \left(\cos\theta + \sin\theta \right) - \dot{y}_I \left(-\sin\theta + \cos\theta \right) - \sqrt{2}\dot{\theta} l \sin\left(\pi/4 - \alpha \right) \right]^2 \right\} \\
& + \frac{1}{2} \frac{1}{r^2} I_1 \left[-\dot{x}_I \left(\cos\theta - \sin\theta \right) - \dot{y}_I \left(\sin\theta + \cos\theta \right) - \sqrt{2}\dot{\theta} l \sin\left(\pi/4 - \alpha \right) \right]^2 \\
& + \frac{1}{2} \frac{1}{r^2} I_2 \left[-\dot{x}_I \left(\cos\theta + \sin\theta \right) - \dot{y}_I \left(\sin\theta - \cos\theta \right) - \sqrt{2}\dot{\theta} l \sin\left(\pi/4 - \alpha \right) \right]^2 \\
& + \frac{1}{2} \frac{1}{r^2} I_3 \left[-\dot{x}_I \left(-\cos\theta + \sin\theta \right) + \dot{y}_I \left(\sin\theta + \cos\theta \right) - \sqrt{2}\dot{\theta} l \sin\left(\pi/4 - \alpha \right) \right]^2 \\
& + \frac{1}{2} \frac{1}{r^2} I_4 \left[\dot{x}_I \left(\cos\theta + \sin\theta \right) - \dot{y}_I \left(-\sin\theta + \cos\theta \right) - \sqrt{2}\dot{\theta} l \sin\left(\pi/4 - \alpha \right) \right]^2
\end{aligned}
$$

(4.15)

Dinamik model Lagrange denklemleri kullanılarak türetilebilir;

$$
\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = F_i, \quad i = 1, 2, 3
$$

(4.16)

q_i i numaralı genelleştirilmiş koordinat ve F_i i numaralı genelleştirilmiş kuvvet / tork'tur.

Genelleştirilmiş koordinat vektörü;

$$
\boldsymbol{q} = \begin{bmatrix} q_1 & q_2 & q_3 \end{bmatrix}^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} x_I & y_I & \theta \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}
$$

(4.17)

f_i , i numaralı Tekerleğin temas yüzeyinin sürtünme kuvveti olmak üzere;

$$F_1 = \sum_{i=1}^{4}\left(\tau_i - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_i\right) f_i\right)\frac{\partial \varphi_i}{\partial x_I} = \sum_{i=1}^{4}\left(\tau_i - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_i\right) f_i\right)\frac{\partial \dot{\varphi}_i}{\partial \dot{x}_I}$$

(4.18)

Denklem 4.10 da alınır;

$$\frac{\partial \dot{\varphi}_1}{\partial \dot{x}_I} = -\frac{1}{r}(\cos\theta - \sin\theta);\frac{\partial \dot{\varphi}_2}{\partial \dot{x}_I} = -\frac{1}{r}(\cos\theta + \sin\theta);\frac{\partial \dot{\varphi}_3}{\partial \dot{x}_I} = \frac{1}{r}(\cos\theta - \sin\theta);\frac{\partial \dot{\varphi}_4}{\partial \dot{x}_I} = \frac{1}{r}(\cos\theta + \sin\theta).$$

(4.19)

Böylece;

$$F_1 = \left[\tau_1 - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_1\right) f_1\right]\left[-\frac{1}{r}(\cos\theta - \sin\theta)\right] + \left[\tau_2 - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_2\right) f_2\right]\left[-\frac{1}{r}(\cos\theta + \sin\theta)\right]$$
$$+\left[\tau_3 - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_3\right) f_3\right]\left[\frac{1}{r}(\cos\theta - \sin\theta)\right] + \left[\tau_4 - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_4\right) f_4\right]\left[\frac{1}{r}(\cos\theta + \sin\theta)\right]$$

(4.20)

Denklem 4.20 elde edilir. Aynı şekilde;

$$F_2 = \sum_{i=1}^{4}\left(\tau_i - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_i\right) f_i\right)\frac{\partial \dot{\varphi}_i}{\partial \dot{y}_I} = \left[\tau_1 - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_1\right) f_1\right]\left[-\frac{1}{r}(\sin\theta + \cos\theta)\right]$$
$$+\left[\tau_2 - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_2\right) f_2\right]\left[-\frac{1}{r}(\sin\theta - \cos\theta)\right] + \left[\tau_3 - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_3\right) f_3\right]\left[\frac{1}{r}(\sin\theta + \cos\theta)\right]$$
$$+\left[\tau_4 - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_4\right) f_4\right]\left[\frac{1}{r}(\sin\theta - \cos\theta)\right]$$

(4.21)

$$F_3 = \sum_{i=1}^{4}\left(\tau_i - r\,\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_i\right) f_i\right)\frac{\partial \dot{\varphi}_i}{\partial \dot{\theta}} = \left(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4\right)\left[-\frac{\sqrt{2}}{r} l \sin\left(\pi/4 - \alpha\right)\right]$$
$$+\left[\mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_1\right) f_1 + \mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_2\right) f_2 + \mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_3\right) f_3 + \mathrm{sgn}\left(\dot{\varphi}_4\right) f_4\right]\left[\sqrt{2} l \sin\left(\pi/4 - \alpha\right)\right]$$

(4.22)

Bazı basit düzenlemelerden sonra, mobil robotun hareket denklemleri matris / vektör formunda aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\mathbf{M(q)}\,\ddot{\boldsymbol{q}} + \mathbf{C(q,}\dot{\boldsymbol{q}}\mathbf{)}\,\dot{\boldsymbol{q}} + \boldsymbol{B}^{\boldsymbol{T}}\mathbf{S\,f} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{r}}\,\boldsymbol{B}^{\boldsymbol{T}}\boldsymbol{\tau}$$

(4.23)

$$\tau = [\ \tau_1\ \ \tau_2\ \ \tau_3\ \ \tau_4\ ]^T \tag{4.24}$$

$$f = [\ f_1\ f_2\ f_3\ f_4\ ]^T \tag{4.25}$$

$$q = [\ x_1\ y_1\ \dot{\theta}\ ]^T \tag{4.26}$$

$$S = \text{diag}[\ \text{sgn}(\dot{\varphi}_1)\ \ \text{sgn}(\dot{\varphi}_2)\ \ \text{sgn}(\dot{\varphi}_3)\ \ \text{sgn}(\dot{\varphi}_4)\ ]; \tag{4.27}$$

$$M = [\ m_{ij}\ ]_{3x3}; \tag{4.28}$$

$$m_{11} = m_{22} = m_b + 4(m_w + \frac{I_w}{r^2}); \tag{4.29}$$

$$m_{12} = m_{21} = 0; \tag{4.30}$$

$$m_{13} = m_{31} = m_b(d_1 \sin\theta + d_2 \cos\theta); \tag{4.31}$$

$$m_{23} = m_{32} = m_b(-d_1 \cos\theta + d_2 \sin\theta); \tag{4.32}$$

$$m_{33} = m_b(d_1^2 + d_2^2) + l_b + 8(m_w + \frac{1}{r^2})\, l^2 \sin^2(\pi/4 + \alpha); \tag{4.33}$$

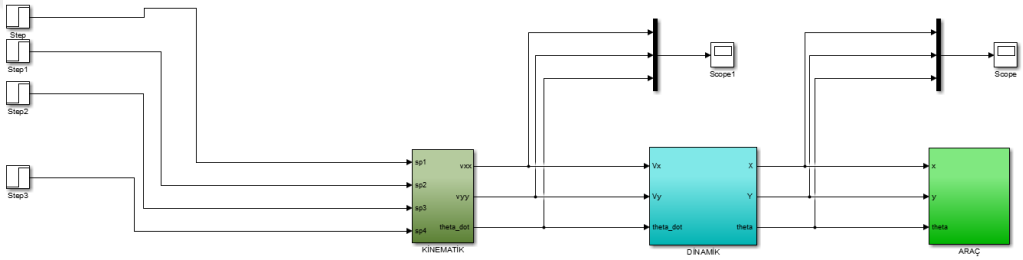
$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & m_b\,\dot{\theta}\,(d_1 cos\theta - d_2 sin\theta) \\ 0 & 0 & m_b\,\dot{\theta}\,(d_1 sin\theta + d_2 cos\theta \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \tag{4.34}$$

$$B = \begin{bmatrix} cos\,\theta + sin\,\theta & sin\,\theta - cos\,\theta & -l\sqrt{2}\,sin(\pi/4 + \alpha) \\ cos\,\theta - sin\,\theta & sin\,\theta + cos\,\theta & -l\sqrt{2}\,sin(\pi/4 + \alpha) \\ -cos\,\theta - sin\,\theta & -sin\,\theta + cos\,\theta & -l\sqrt{2}\,sin(\pi/4 + \alpha) \\ -cos\,\theta + sin\,\theta & -sin\,\theta - cos\,\theta & -l\sqrt{2}\,sin(\pi/4 + \alpha) \end{bmatrix} \tag{4.35}$$

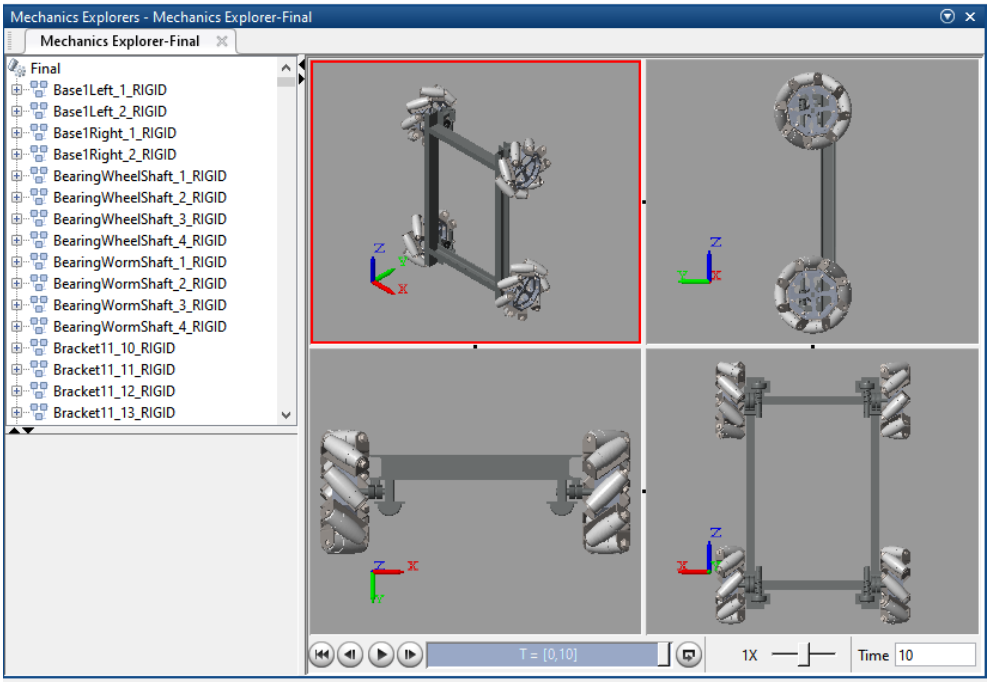
4.3.Sistemin Kinematik Modelinin Simülink te Gösterimi

Sisteme girilen parametreler ile sistem 10 farklı hareketi simulasyon ortamında tamamlamıştır. Mobil aracın benzetim modeli MATLAB/ Simulink ve Simmechanics blokları kullanılarak oluşturulmuştur. Mobil araç üç boyutlu bilgisayar-destekli tasarım (SOLIDWORKS) ortamında şasi ve buna bağlı olan dört çok yönlü tekerlek olarak modellenmiş ve oluşturulan bu model Simulink ortamına aktarılmıştır.

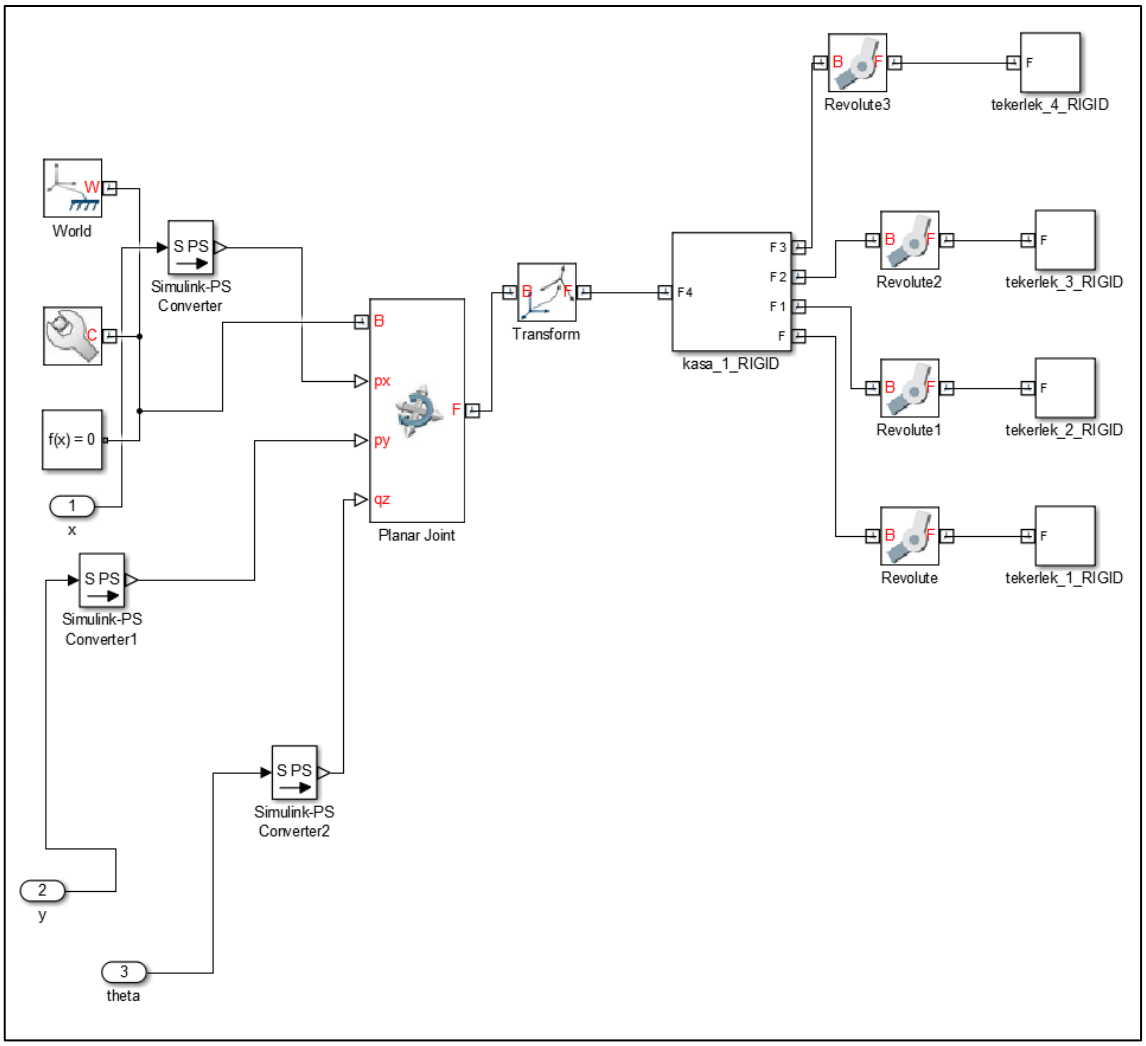
Simmechanics, mekanik sistemlerin modellenmesini sağlayan bir simülasyon paketidir. Simulink ortamında çalışan bu paket, geniş kapsamlı fonksiyon kitaplığıyla Simulink ortamını çoklu gövdeli mekanik modelleme olanağıyla genişletmektedir. Yaratılan modellerin otomatik olarak 3 boyutlu şekli görülebilmekte ve benzetim sırasında hareketler canlı olarak izlenebilmektedir.



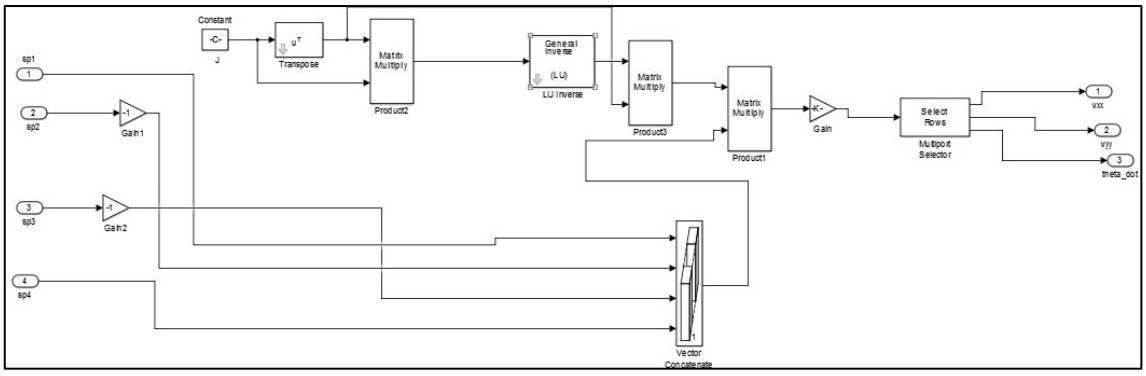
Şekil 4.4. Sistemin Simulinkte Modellenmiş Hali



Şekil 4.5. Simulasyon ortamında hareketleri gözlemlenirken



Şekil 4.6. Simmechanics ortamında blok diyagramları oluşturulurken



Şekil 4.7. Simulink programında kinematik model oluşturulurken bir görüntü

Bölüm 4.2. ve 4.3.'de Sistemin hareket denklemleri elde edilmiş ve elde edilen bu denklemlerin doğru ya da gerçeğe ne kadar doğru olduğunu Matlab sayesinde kontrol etme imkânı bulduk.

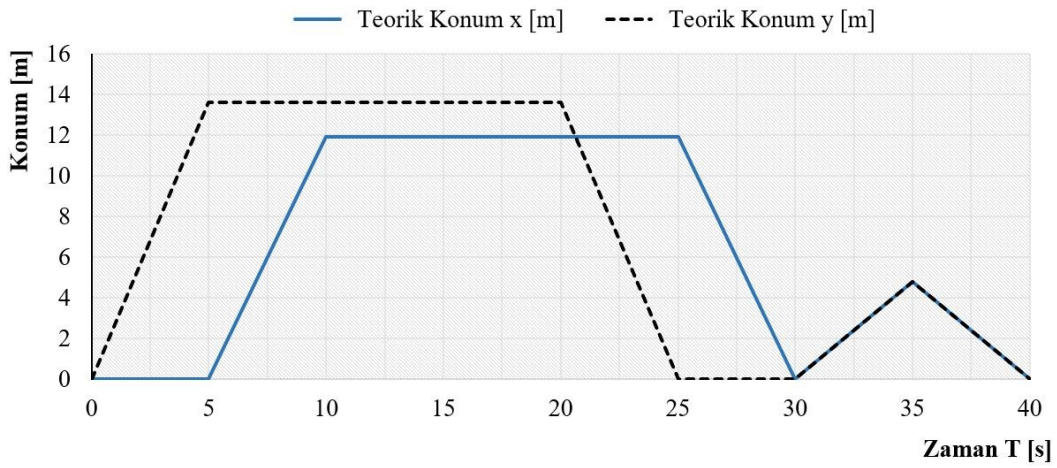


Şekil 4.8. Simmechanics ortamında parametreler girildikten sonra kare yörünge izlemesi gereken aracın hareketleri gözlemlenirken

Ağırlık ve boyut parametreleri olarak tasarımı yapılmış çatallı yükleyicinin değerlerini kullandık ve böylece gerçeğe yakın hareketler gözlemlemeyi amaçladık. Araç kare yörünge izlerken tüm hareketleri yapmaktadır. Gözlemleme süresi 40 saniye olup başlangıç noktasında sona ermektedir. Aşağıda 40 saniye boyunca hareket eden aracın konum ve açı grafikleri yer almaktadır.

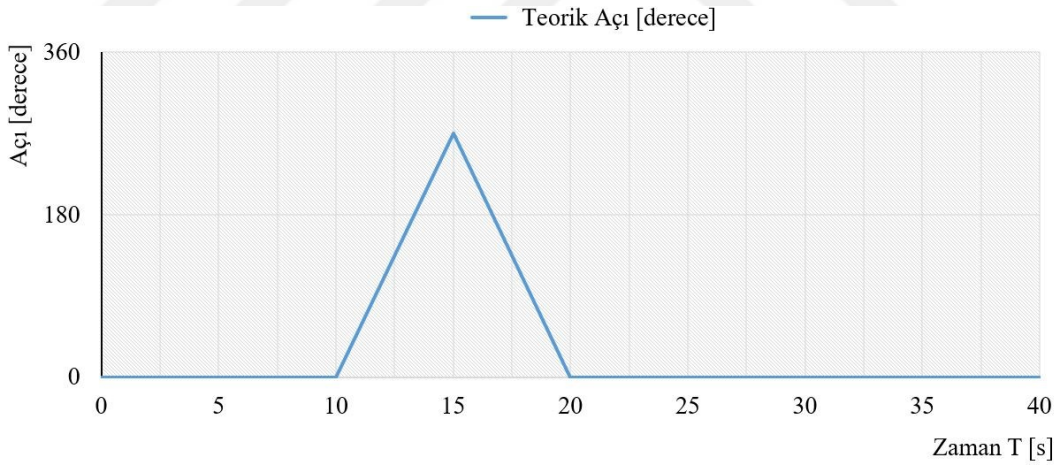
Çizelge 4.2. Modellenen araç kare yörünge izlerken elde edilen konum ve açı değerleri

	KARE YORUNGE ESNASINDA X VE Y EKSENLERINDE KONUM-ZAMAN				
	T-Zaman [s]	Aracın Teorik Hızı [m/s]	Teorik Açı [derece]	Teorik Konum y [m]	Teorik Konum x [m]
t0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
t1	5	3,41	0,00	13,63	0,00
t2	10	3,41	0,00	13,63	11,91
t3	15	0,00	270,00	13,63	11,91
t4	20	0,00	0,00	13,63	11,91
t5	25	3,41	0,00	0,00	11,91
t6	30	1,70	0,00	0,00	0,00
t7	35	1,70	0,00	4,80	4,80
t8	40	0,00	0,00	0,00	0,00



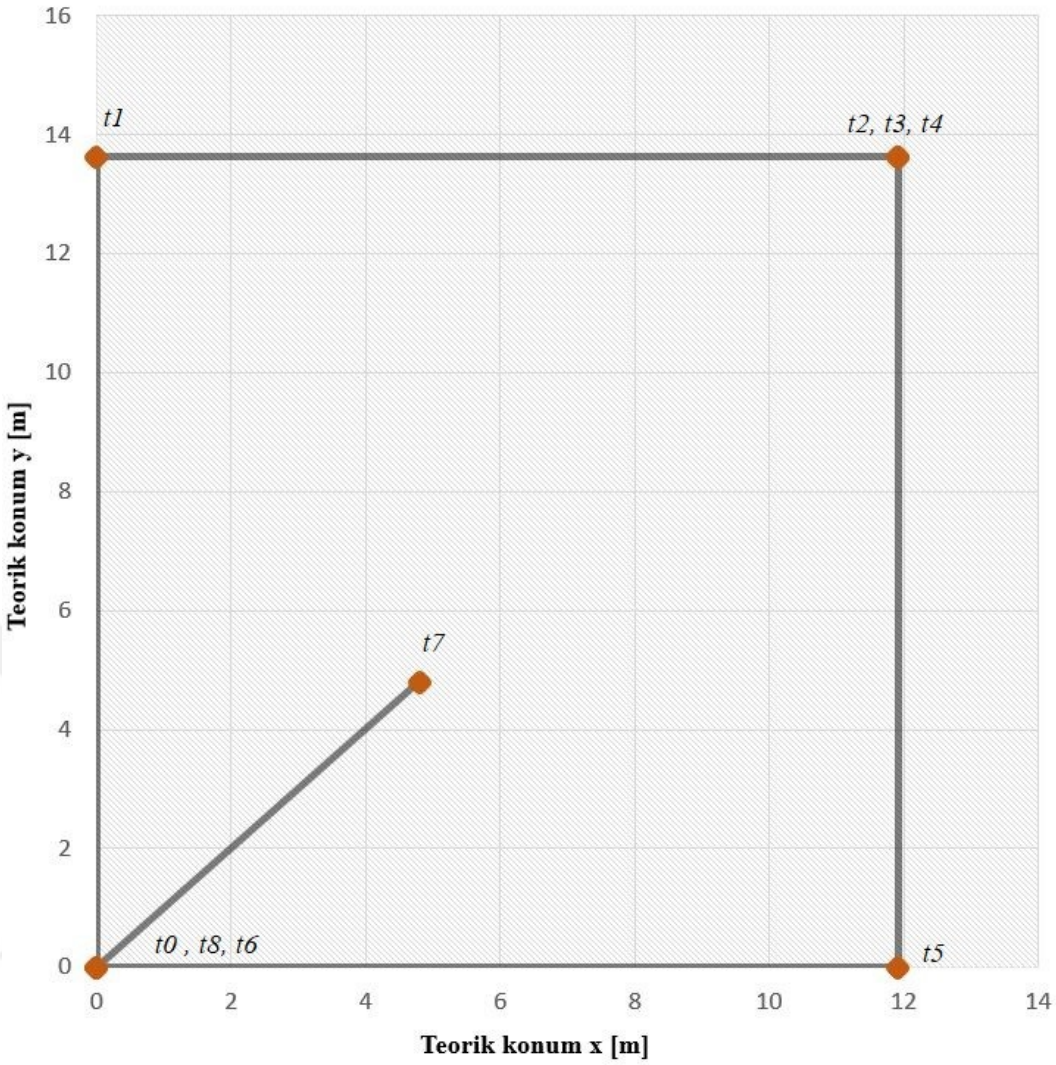
Şekil 4.9. Simmechanics ortamında kare yörünge esnasında oluşan Konum-Zaman Grafiği

Şekil 4.9. da yer alan grafikte 40 saniye boyunca izlenen araçta x ve y eksenlerinde alınan yollar gösterilmiştir. Aracın hızı motor üreticisinden alınan değerlere göre teorik olarak 3,41 [m/s] olarak alınmıştır. Ayrıca aracın maksimum hıza ulaşma süresi 2 saniye olarak belirlenmiş, aracın ivmesi 1,7 [m/s^2] olarak hesaplanmıştır.

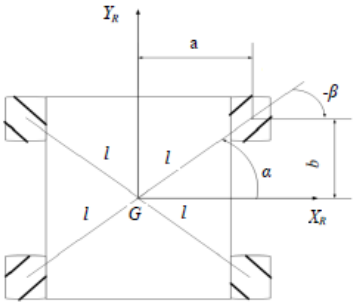


Şekil 4.10. Simmechanics ortamında kare yörünge esnasında oluşan Açı-Zaman Grafiği

Şekil 4.10. da yer alan grafikte ise 40 saniye boyunca izlenen aracın açısal konumu verilmiştir.



Şekil 4.11. Simmechanics ortamında kare yörünge esnasında aracın izlediği yol



Şekil 4.12. Modellenen aracın serbest cisim diyagramı

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Yapılan teorik çalışmaların doğruluğunu sağlamak ve sonuçları yakınsamak adına üretilen prototip üzerinde bir takım deneysel çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar sonucu elde edilen değerler grafikler üzerinde gösterilmiştir. Değerler prototip aracın elektrik motorlarını kontrol eden sürücülerden alınmış ve elde edilen değerler 6.Bölümde teorik değerler ile karşılaştırılmıştır.

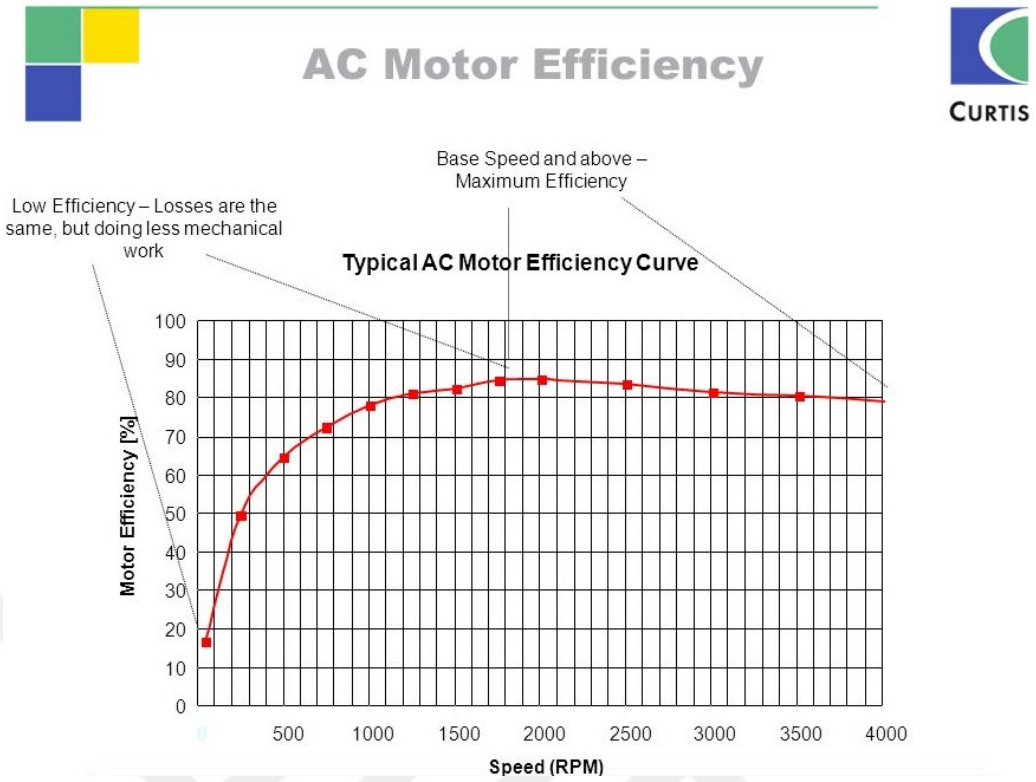
5.1 Motor Sürücülerinden Verilerin Toplanması ve Analizi

Sürücülerden bilgi alma işlemini aynı anda sadece bir sürücü üzerinden yapabildiğimiz için çalışmalarımız da sol ön tekeri kontrol eden sürücü (E1) kullanıldı. Deneysel çalışmalar için aracın bu yürüyüş sürücüsü 'Tester' moduna alındı ve düz zeminde ileri yönde sürüldü. Daha sonra Sürücünün RS232 portundan bağlanılarak Motor hızı [rpm] ve Akım [Ah] bilgileri çekildi. Bu bilgiler ve giriş parametre değerleri kullanılarak hesaplanan anlık güç tüketimi [watt] ve Aracın hızı [m/s] parametreleri aşağıda bulunan grafiklerde gösterilerek zaman içerisindeki değişimleri ve diğer hareketlerle karşılaştırmaları yapıldı. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aracın kontrolü için mutlak gerekli ve kontrolcü arabirime mutlaka etkilettirilmelidir. Ayrıca aracın en verimli ve en az enerji tükettiği durumu tespit edebilmek adına bu çalışma oldukça yerindedir.

İncelenecek ve karşılaştırılacak 4 durumda aracın ileri gitme durumu referans alınarak yapılacak olup, tüm artış, azalış ve kıyaslama çalışmaları 5.2. İleri veya Geri Düz Hareket Durumuna göre yorumlanacaktır. Ayrıca bilgiler sadece Sol ön motoru kontrol eden E1 sürücüsünden alınmış ve diğer sürücülerde değerlerin aynı olduğu kabulü yapılmıştır.

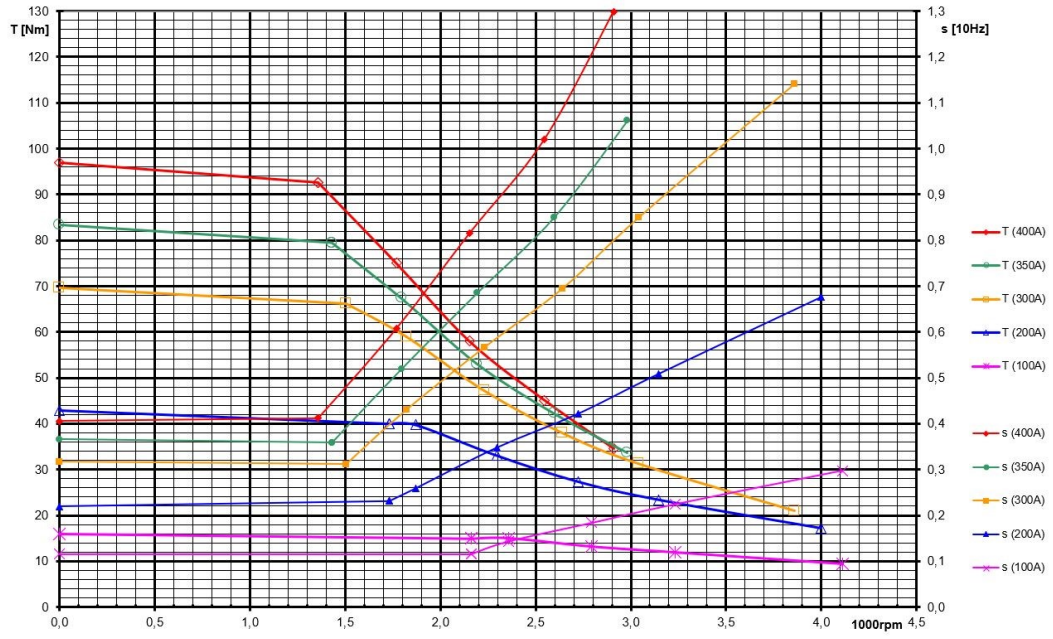
5.2.İleri veya Geri Düz Hareket

Düz hareket esnasında makaralar kendi eksenlerinde dönmeye zorlanmamakta, araç 4 tekerden tahrikli bir araç prensibinde çalışmaktadır. Tüm motorlar aynı yöne aynı hızla dönmesi gerekmektedir. Aksi takdirde düz giderken aracın yörüngesi bozulacak ve varmak istediği yere sapmayla varacaktır. Burada bu hatanın tek sebebi motor hızlarının farklı olması değil, yoldaki fiziksel bozukluklarda olabilir. Özellikle otonom kontrol edilen araçlarda çok önemli olan bu hata ölçülebilir ve düzeltilebilir olmalıdır. Aksi takdirde sistem doğru çalışmayacak hatta kazalara sebep olabilecektir.



Şekil 5.3. AC Motor üreticisinin motor devriyle verim arasındaki bağıntıyı gösteren grafiği

Şekil 5.3. deki grafikten de görüldüğü üzere AC motorların verimi değişken olup, teorik hesaplamalarda ortalama % 85 olarak alınmıştır. Ayrıca geri hareket,sadece motor dönüş yönü değiştiğinden incelenmemiş,ileri düz hareketle aynı kabul edilmiştir.

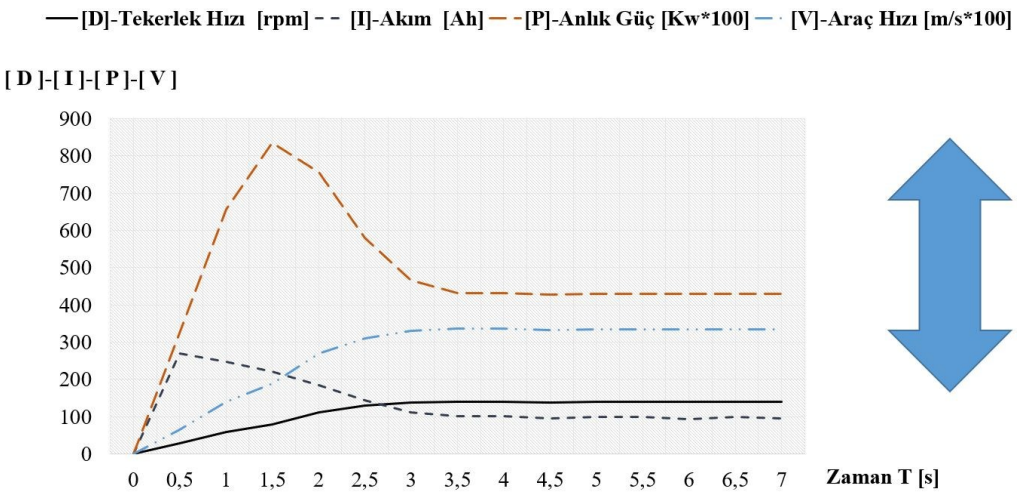


Şekil 5.4. AC Motor üreticisinin motor devri-akım-tork arasındaki bağıntıyı gösteren grafiği

Düz hareket testinde aracın kalkışta çok yüksek akım çekmesi beklenen bir durumdur ve literatürde ‘Demeraj’ Akımı diye adlandırılır. Sürücünün parametrelerinde girilen ‘Acceleration Time’ 2000 [ms] olduğu için araç maksimum hıza 2 saniye içinde çıkmakta ve 2.saniyeden sonra motorların çektiği akım ortalama 100 [ah]’e düşmektedir. Nominal güç tüketimi 4,3 [kw] iken bu değer ilk 2 saniyede 8,3 [kw] değerini bulmakta. Motor üreticisinin Şekil 5.3 de vermiş olduğu grafiktende görüldüğü üzere motorun verimi devir düşükken düşüktür.

Çizelge 5.1. İleri düz hareket esnasında E1 (Sol Ön) Sürücüsüne ait giriş ve çıkış parametreleri

Giriş parametreleri ve sabit girdiler				Üretici verilerine göre	Ölçülen çıkış değerleri				
T-Zaman [s]	Π	Teker Çapı [m]	Çevrim Oranı (i)	T-Moment [Nm]	[D]-Tekerlek Hızı [rpm]	[I]-Akım [Ah]	[P]-Anlık Güç [Kw*100]	[V]-Araç Hızı [m/s*100]	N-Motor Hızı [rpm]
0	3,14	0,458	26,8	0	0,0	0	0,0	0,0	0
0,5	3,14	0,458	26,8	42	27,5	269	324,0	65,9	737
1	3,14	0,458	26,8	40	58,6	248	657,3	140,4	1570
1,5	3,14	0,458	26,8	38	78,4	221	835,6	187,9	2101
2	3,14	0,458	26,8	24	112,3	185	755,9	269,1	3009
2,5	3,14	0,458	26,8	16	129,3	145	580,3	309,9	3465
3	3,14	0,458	26,8	12	138,3	112	465,5	331,4	3706
3,5	3,14	0,458	26,8	11	140,2	102	432,7	336,1	3758
4	3,14	0,458	26,8	11	140,1	102	432,4	335,9	3756
4,5	3,14	0,458	26,8	11	138,8	96	428,3	332,7	3720
5	3,14	0,458	26,8	11	139,4	100	430,0	334,0	3735
5,5	3,14	0,458	26,8	11	139,6	100	430,6	334,5	3740
6	3,14	0,458	26,8	11	139,4	94	430,1	334,1	3736
6,5	3,14	0,458	26,8	11	139,4	100	430,3	334,2	3737
7	3,14	0,458	26,8	11	139,6	96	430,6	334,5	3740
GÜÇ [P] = MOMENT [T] x DEVİR [N] x 2 x Π x 1/60									



Şekil 5.5.İleri düz hareket esnasında E1 (Sol Ön) Sürücüsüne ait giriş ve çıkış parametrelerinin grafik üzerinde gösterimi

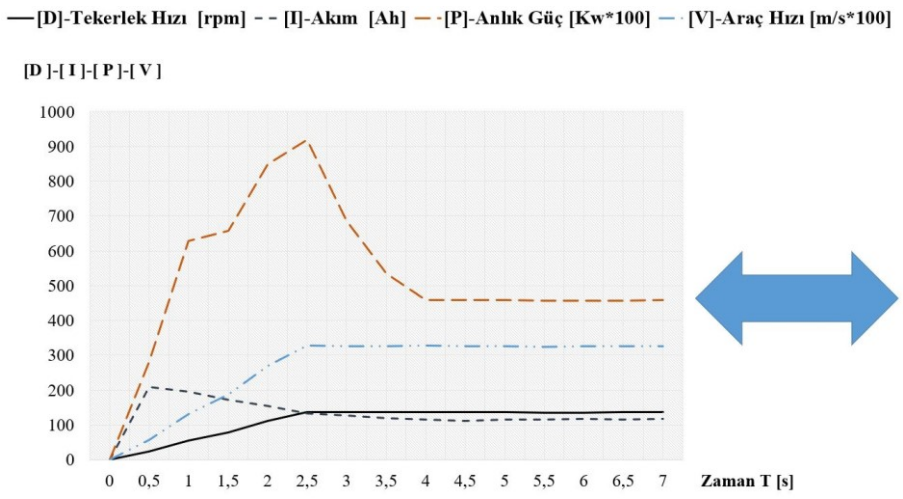
5.3.Sağ veya Sol Yanal Hareket

Aracın sağa veya sola kayabilmesi için tekerlek üzerinde yer alan periferik makaralar kendi eksenlerinde dönmeye zorlanmaktadır. Yer düzleminde oluşan 45°'lik vektörlerin bileşkesi aracı yan yan gitmeye zorlamaktadır. Bu hareketin oluşabilmesi için tüm motorların dönmesi gerekmektedir. Aracın geometrisinin dikdörtgensel olması bu hareket esnasında oluşacak sürtünme kuvvetini arttırmıştır.

Çizelge 5.2. Sağa yan hareket esnasında E1 (Sol Ön) Sürücüsüne ait giriş ve çıkış parametreleri

Giriş parametreleri ve sabit girdiler				Üretici verilerine göre	Ölçülen çıkış değerleri				
T-Zaman [s]	Π	Teker Çapı [m]	Çevrim Oranı (i)	T-Moment [Nm]	[D]-Tekerlek Hızı [rpm]	[I]-Akım [Ah]	[P]-Anlık Güç [Kw*100]	[V]-Araç Hızı [m/s*100]	N-Motor Hızı [rpm]
0	3,14	0,458	26,8	0	0,0	0	0,0	0,0	0
0,5	3,14	0,458	26,8	42	23,8	208	280,5	57,1	638
1	3,14	0,458	26,8	41	54,7	196	628,7	131,0	1465
1,5	3,14	0,458	26,8	30	78,1	172	656,9	187,1	2092
2	3,14	0,458	26,8	27	112,1	154	849,2	268,8	3005
2,5	3,14	0,458	26,8	24	136,5	132	918,9	327,2	3658
3	3,14	0,458	26,8	18	136,0	126	686,7	326,0	3645
3,5	3,14	0,458	26,8	14	136,2	120	534,8	326,4	3650
4	3,14	0,458	26,8	12	136,5	116	459,6	327,2	3659
4,5	3,14	0,458	26,8	12	136,2	112	458,4	326,4	3650
5	3,14	0,458	26,8	12	136,0	115	457,8	326,0	3645
5,5	3,14	0,458	26,8	12	135,4	115	455,9	324,7	3630
6	3,14	0,458	26,8	12	135,6	118	456,6	325,1	3635
6,5	3,14	0,458	26,8	12	135,8	116	457,2	325,5	3640
7	3,14	0,458	26,8	12	136,0	118	457,8	326,0	3645
GÜÇ [P] = MOMENT [T] x DEVİR [N] x 2 x Π x 1/60									

Çizelge 5.2'den görüldüğü üzere bir makaradan diğer bir makaraya geçiş anında sürtünme kuvvetleri, ileri gitme durumuna göre artmış, bunun sonucunda da güç tüketimi yaklaşık %7 artmıştır. Aracın hızı da %2 azalmıştır. Kayıpların etkisinden dolayı verimli tüketime ulaşma süresi ise yaklaşık 650 [ms] gecikmiştir. Güç grafiği incelendiğinde araç maksimum hıza ulaştığı anda ortalama 120 [ah] akım çekmeye başlamıştır.



Şekil 5.6. Sağa yan hareket esnasında ölçülen giriş ve çıkış parametrelerinin grafikte gösterimi

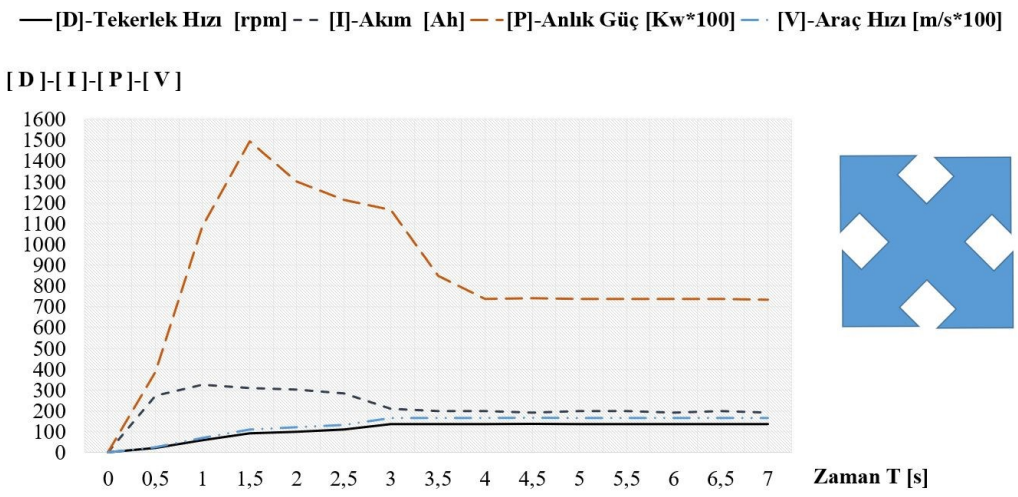
5.4.Çapraz Hareket

Çapraz hareket esnasında tüm yük sadece 2 motorun üstündedir. Yapılacak seçimde bu göz önünde bulundurulması gereken kritik bir noktadır. Çizelge 5.3'de verilmiş deneysel çalışma sonuçlarından da görüldüğü üzere harcanan güç 1,7, çekilen akım ise nerdeyse 2 katına çıkmıştır. Şüphesiz ki aracın maksimum güç tüketimi çapraz hareketler esnasında gerçekleşmekte.

Çizelge 5.3. Çapraz hareket esnasında E1 (Sol Ön) Sürücüsüne ait giriş ve çıkış parametreleri

Giriş parametreleri ve sabit girdiler				Üretici verilerine göre	Ölçülen çıkış değerleri				
T-Zaman [s]	Π	Teker Çapı [m]	Çevrim Oranı (i)	T-Moment [Nm]	[D]-Tekerlek Hızı [rpm]	[I]-Akım [Ah]	[P]-Anlık Güç [Kw*100]	[V]-Araç Hızı [m/s*100]	N-Motor Hızı [rpm]
0	3,14	0,458	26,8	0	0,0	0	0,0	0,0	0
0,5	3,14	0,458	26,8	60	23,1	275	389,4	27,7	620
1	3,14	0,458	26,8	66	58,6	325	1084,6	70,2	1570
1,5	3,14	0,458	26,8	58	91,8	312	1492,8	110,0	2459
2	3,14	0,458	26,8	46	100,9	301	1302,4	121,0	2705
2,5	3,14	0,458	26,8	39	111,0	283	1214,0	133,0	2974
3	3,14	0,458	26,8	30	138,5	210	1165,6	166,0	3712
3,5	3,14	0,458	26,8	22	137,6	200	849,5	165,0	3689
4	3,14	0,458	26,8	19	138,4	200	737,8	165,9	3710
4,5	3,14	0,458	26,8	19	138,8	194	739,8	166,3	3720
5	3,14	0,458	26,8	19	138,2	198	736,8	165,7	3705
5,5	3,14	0,458	26,8	19	138,1	198	736,0	165,5	3701
6	3,14	0,458	26,8	19	138,1	192	736,2	165,5	3702
6,5	3,14	0,458	26,8	19	138,2	198	736,8	165,7	3705
7	3,14	0,458	26,8	19	138,1	194	735,8	165,5	3700
GÜÇ [P] = MOMENT [T] x DEVİR [N] x 2 x Π x 1/60									

Tam çapraz hareketler yerine 'Curved' adı verilen parabolik rampalar izletilerek bu çok yüksek tüketime sahip düşük verimli durum daha az enerji tüketebilir hale getirilebilir. Bunun için sisteme aynı anda 2 giriş parametresi girilmesi gerekmektedir. Hem x veya y ekseninde ilerleme, hem de dönme hareketi verilmelidir.



Şekil 5.7. Çapraz hareket esnasında ölçülen giriş ve çıkış parametrelerinin grafikte gösterimi

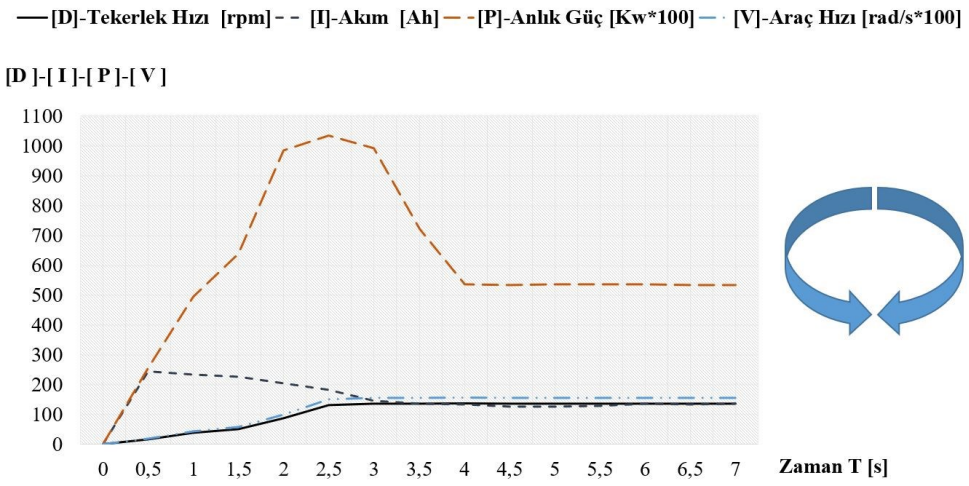
5.5.Olduğu Yerde Dönme Hareketi

Bu hareket esnasında hem tüm tekerlekler hem de bağımsız makaralar sırasıyla dönmektedir. Tekerleklerin birbirlerine olan mesafeleri eş olmadığı için oluşan sürtünme kuvvetleri fazladır. İstenmeyen sürtünme durumları hem güç tüketimi açısından hem de makaraların ömrü açısından irdelenmesi ve azaltılması gereken bir değerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ve Çizelge 5.4'de görüldüğü üzere, ileri düz hareket durumuna nazaran harcanan güç %18 artmıştır.

Çizelge 5.4. Saat yönünde olduğu yerde dönme hareketi esnasında E1 (Sol Ön) Sürücüsüne ait giriş ve çıkış parametreleri

Giriş parametreleri ve sabit girdiler				Üretici verilerine göre	Ölçülen çıkış değerleri				
T-Zaman [s]	Π	Teker Çapı [m]	Çevrim Oranı (i)	T-Moment [Nm]	[D]-Tekerlek Hızı [rpm]	[I]-Akım [Ah]	[P]-Anlık Güç [Kw*100]	[V]-Araç Hızı [rad/s*100]	N-Motor Hızı [rpm]
0	3,14	0,458	26,8	0	0,0	0	0,0	0,0	0
0,5	3,14	0,458	26,8	56	16,2	245	255,0	18,5	435
1	3,14	0,458	26,8	48	36,8	234	494,9	41,8	985
1,5	3,14	0,458	26,8	46	49,4	226	637,9	56,3	1325
2	3,14	0,458	26,8	40	87,8	204	985,5	100,0	2354
2,5	3,14	0,458	26,8	28	131,7	182	1034,5	150,0	3530
3	3,14	0,458	26,8	26	136,1	145	992,7	155,0	3648
3,5	3,14	0,458	26,8	19	135,3	135	720,9	154,0	3625
4	3,14	0,458	26,8	14	136,5	132	536,0	155,4	3658
4,5	3,14	0,458	26,8	14	136,0	127	534,1	154,8	3645
5	3,14	0,458	26,8	14	136,3	125	535,1	155,1	3652
5,5	3,14	0,458	26,8	14	136,5	128	535,9	155,4	3657
6	3,14	0,458	26,8	14	136,3	135	535,1	155,1	3652
6,5	3,14	0,458	26,8	14	136,1	132	534,6	155,0	3648
7	3,14	0,458	26,8	14	135,8	135	533,4	154,6	3640
GÜÇ [P] = MOMENT [T] x DEVİR [N] x 2 x Π x 1/60									

Bu durum bize makaraların ömrü açısından da bir fikir vermektedir. Bu güç tüketimi tekerleklerin birbirine olan uzaklıkları ile de doğrudan etkilidir. Aracın en fazla sürtünme kuvvetine maruz kaldığı hareket durumudur.



Şekil 5.8. Saat yönünde olduğu yerde dönme hareketi esnasında ölçülen giriş ve çıkış parametrelerinin grafikte gösterimi

6. DENEYSEL VE TEORIK SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

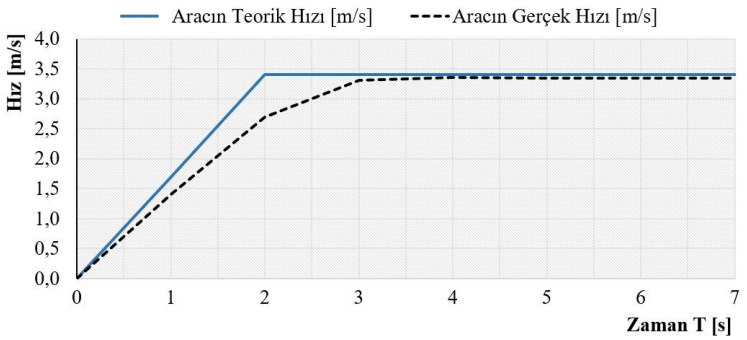
Lisans üstü tezi amacıyla yapılmış bu çalışma hem teorik kavramlar ışığında irdelenmiş ve çıkarımlar yapılmıştır, hem de prototipi üretilerek saha şartlarında ve gerçek durumlar da karakterini tayin edebilmek amacıyla bazı deneylere tabi tutulmuş ve sonuçlar aşağıda karşılaştırılmıştır.

6.1.İleri veya Geri Düz Hareketin Deneysel ve Teorik sonuçlarının Karşılaştırılması

Düz hareket esnasında tüm motorlar aynı yöne aynı hızla dönmesi gerekmektedir. Çizelge 6.1'de paylaşıldığı üzere teorik çalışmada maksimum hız 3,41 [m\s], maksimum hıza ulaşma süresi 2 [s] ve kalkış ivmesi 1,7 [m/s^2] olarak alınmış, fakat gerçekte maksimum 3,36 [m\s] olduğu görülmüştür. Bu farkların sonucu olarak da 7.saniye sonunda 20,5 metrede olması gerekirken 19,1 metrede olmaktadır.

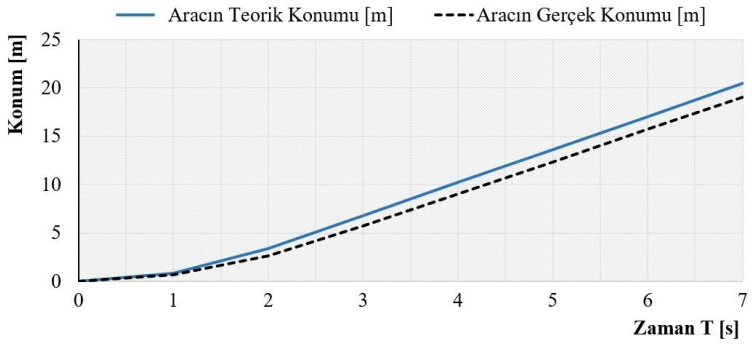
Çizelge 6.1. Prototipin ileri hareket deneyi esnasında ve Simulink programında ölçülen değerleri

1-İLERİ VEYA GERİ DÜZ HAREKET				
T-Zaman [s]	Aracın Teorik Hızı [m/s]	Aracın Gerçek Hızı [m/s]	Aracın Teorik Konumu [m]	Aracın Gerçek Konumu [m]
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,85	0,66	0,21	0,16
1	1,70	1,40	0,85	0,68
1,5	2,55	1,88	1,91	1,50
2	3,41	2,69	3,40	2,64
2,5	3,41	3,10	5,11	4,09
3	3,41	3,31	6,81	5,69
3,5	3,41	3,36	8,52	7,36
4	3,41	3,36	10,22	9,04
4,5	3,41	3,33	11,93	10,72
5	3,41	3,34	13,63	12,38
5,5	3,41	3,34	15,34	14,05
6	3,41	3,34	17,04	15,72
6,5	3,41	3,34	18,75	17,40
7	3,41	3,34	20,45	19,07



Şekil 6.1. Prototipin ileri hareket esnasında deneysel ve teorik çıktılarına ait hız-zaman grafiği

Teorik sonuçlar ile gerçek sonuçlar karşılaştırıldığında sistemdeki mekanik ve elektriksel kayıplarla sürtünmeye harcanan kayıpların birleşmesi neticesinde aracın hızında %2 sapma gerçekleştiği görülmektedir.



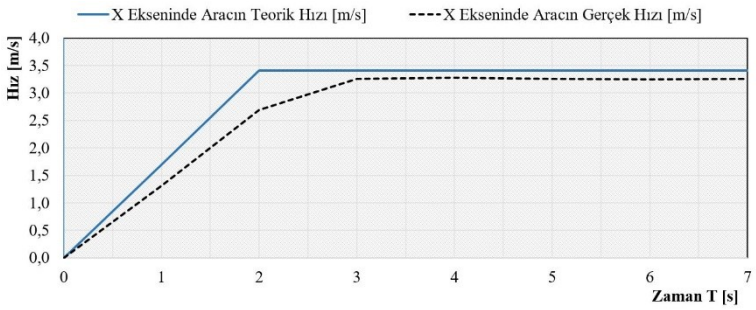
Şekil 6.2. Prototipin ileri hareket esnasında deneysel ve teorik çıktılarına ait konum-zaman grafiği

6.2.Sağ veya Sol Yanal Hareketin Deneysel ve Teorik sonuçlarının Karşılaştırılması

Aracın sağa veya sola kayabilmesi için tekerlek üzerinde yer alan makaralar kendi eksenlerinde dönmeye zorlanmaktadır. Senaryo sonucu dönen tekerleklere bağlı makaralar ile yer arasında oluşan hız vektörlerinin toplamı sonucu aracın hızı teorik olarak yine aynı yani 3,41 [m\s]'dir. Aracının hızının gerçekte ise maksimum 3,27 [m\s] olduğu görülmüştür. Yana kayma hareketi, ileri düz harekete teoride benzemektedir fakat uygulama da çok az farklılıklar görülmektedir. Araç 7. Saniye sonunda ileri ve düz hareket esnasında 19,07 [m]'de olurken, yanal hareket ederken 18,71 [m]'de olmaktadır. Sapma %1,8 'dir.

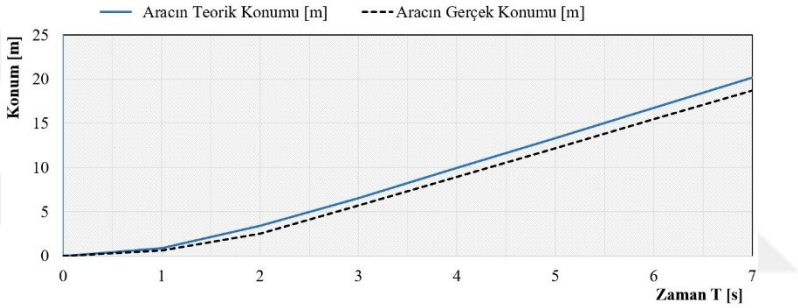
Çizelge 6.1. Prototipin sağa hareket deneyi esnasında ve Simulink programında ölçülen değerleri

2-SAĞ VEYA SOL YAN HAREKET				
T-Zaman [s]	X Ekseninde Aracın Teorik Hızı [m/s]	X Ekseninde Aracın Gerçek Hızı [m/s]	Aracın Teorik Konumu [m]	Aracın Gerçek Konumu [m]
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,85	0,57	0,21	0,14
1	1,70	1,31	0,85	0,61
1,5	2,55	1,87	1,91	1,41
2	3,41	2,69	3,40	2,55
2,5	3,41	3,27	5,11	4,04
3	3,41	3,26	6,81	5,67
3,5	3,41	3,26	8,52	7,30
4	3,41	3,27	10,22	8,94
4,5	3,41	3,26	11,93	10,57
5	3,41	3,26	13,63	12,20
5,5	3,41	3,25	15,34	13,83
6	3,41	3,25	17,04	15,45
6,5	3,41	3,26	18,75	17,08
7	3,41	3,26	20,45	18,71



Şekil 6.3. Prototipin sağa hareket esnasında deneysel ve teorik çıktılarına ait hız-zaman grafiği

Şekil 6.4'de yer alan konum-zaman grafiğiyle, Şekil 6.2'de ki grafik arasında çok bariz bir fark görülmemektedir. Yine aynı şekilde kayıplar burada da karşımıza çıkmaktadır. Üretici firmaların vermiş olduğu teorik değerlere göre aracın hızında yaklaşık %4,6 sapma olduğu görülmektedir.



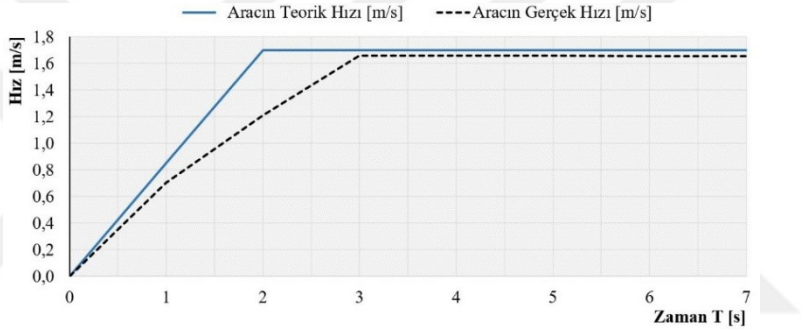
Şekil 6.4. Prototipin sağa hareket esnasında deneysel ve teorik çıktılarına ait konum-zaman grafiği

6.3.Çapraz Hareketin Deneysel ve Teorik sonuçlarının Karşılaştırılması

Çapraz hareket esnasında çekişli motor sayısı 4'ten 2'ye düşmekte ve haliyle hızda yarı yarıya yakın bir düşüş ve harcanan güçte nerdeyse 2 katı artış görülmektedir. Aracı hareket ettirecek gücün bu 2 motordan karşılanması sonucu ise aşırı akım çekme durumlarıyla karşılaşılmıştır. Teorik çalışmalar sonucu ileri hareket ve yanal hareket durumlarında kabul edilen araç hızının, yarıya düştüğü elde edilmiş ve teorik karşılaştırma tablosunda 1,7 [m/s] olarak alınmıştır.

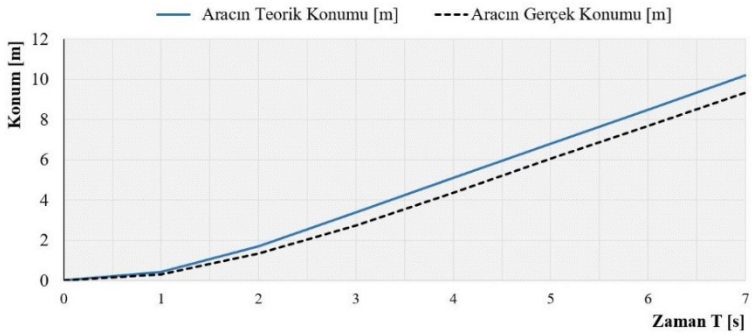
Çizelge 6.3. Prototipin çapraz hareket deneyi esnasında ve Simulink programında ölçülen değerleri

3-ÇAPRAZ HAREKET				
T-Zaman [s]	Aracın Teorik Hızı [m/s]	Aracın Gerçek Hızı [m/s]	Aracın Teorik Konumu [m]	Aracın Gerçek Konumu [m]
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,42	0,28	0,11	0,07
1	0,85	0,70	0,42	0,31
1,5	1,27	1,10	0,95	0,76
2	1,70	1,21	1,70	1,34
2,5	1,70	1,33	2,55	1,98
3	1,70	1,66	3,40	2,72
3,5	1,70	1,65	4,25	3,55
4	1,70	1,66	5,10	4,38
4,5	1,70	1,66	5,95	5,21
5	1,70	1,66	6,80	6,04
5,5	1,70	1,66	7,65	6,87
6	1,70	1,66	8,50	7,70
6,5	1,70	1,66	9,35	8,52
7	1,70	1,65	10,20	9,35



Şekil 6.5. Prototipin çapraz hareket esnasında deneysel ve teorik çıktılarına ait hız-zaman grafiği

Aşağıda yer alan konum-zaman grafiğinde de görüldüğü üzere aracın konumunun zamana göre türevi, aracın x ve y eksenlerindeki toplam hız vektörlerinin bileşkesidir.



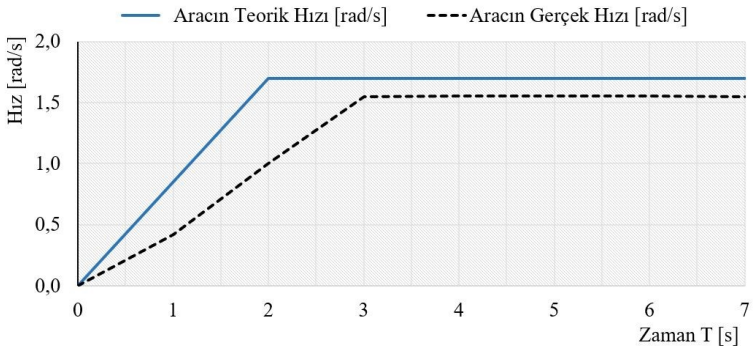
Şekil 6.6. Prototipin çapraz hareket esnasında deneysel ve teorik çıktılarına ait konum-zaman grafiği

6.4.Olduğu Yerde Dönme Hareketinin Deneysel ve Teorik sonuçlarının Karşılaştırılması

Araç olduğu yerde dönerken ötelenme olmadan 4 tekerin merkezi etrafında belirli bir hızda döner. Teorik olarak bu hız 1,7 [rad/s] olarak belirlenmiş,ve hesaplarda bu değer etkilettirilmiştir.

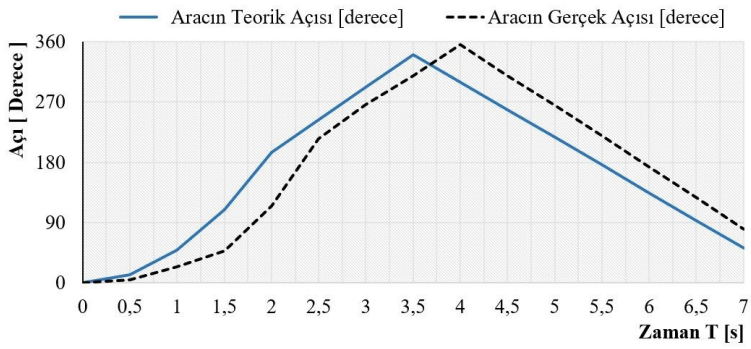
Çizelge 6.4. Prototipin olduğu yerde dönme hareketi deneyinde ve Simulink programında ölçülen değerleri

4-OLDUĞU YERDE DÖNME HAREKETİ				
T-Zaman [s]	Aracın Teorik Hızı [rad/s]	Aracın Gerçek Hızı [rad/s]	Aracın Teorik Açısı [derece]	Aracın Gerçek Açısı [derece]
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,42	0,18	12,04	5,30
1	0,85	0,42	48,73	23,99
1,5	1,27	0,56	109,20	48,40
2	1,70	1,00	194,90	114,65
2,5	1,70	1,50	243,63	214,97
3	1,70	1,55	292,36	266,56
3,5	1,70	1,54	341,08	308,98
4	1,70	1,55	299,81	356,33
4,5	1,70	1,55	258,54	309,44
5	1,70	1,55	217,26	264,68
5,5	1,70	1,55	175,99	219,82
6	1,70	1,55	134,71	173,61
6,5	1,70	1,55	93,44	127,45
7	1,70	1,55	52,17	80,50



Şekil 6.7. Prototipin olduğu yerde dönme hareketi esnasında deneysel ve teorik çıktılarına ait hız-zaman grafiği

Olduğu yerde dönme deneyi esnasında araç tam turunu yaklaşık olarak 4 saniye gibi bir sürede tamamlamıştır. Teorik olarak ise Simulink programında tekerlek hızlarını maksimum girerek aldığımız sonuç ise yaklaşık olarak 3,7 saniyedir. Yani teorik olarak aracımızın açısal hızı 1,7 [rad /s]'dir. Gerçekte ise hız yaklaşık 1,55 [rad /s]'dir.



Şekil 6.8. Prototipin olduğu yerde dönme hareketi esnasında deneysel ve teorik çıktılarına ait açı-zaman grafiği

Olduğu yerde dönen araca ait Şekil 6.8. Grafiğinden görüldüğü üzere aracın teorik olarak frekansı 0,27 [s^{-1}]ʿdir. Gerçekte ise bu değer 0,25 [s^{-1}]ʿdir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda farkın yaklaşık %2 olduğu görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Tasarım çalışmaları yaklaşık 6 Ay süren ve 1 yıl içinde prototipinin imalatı tamamlanan Şekil 7.1.deki Çok yönlü tekerlekli çatallı yükleyici, tasarım aşamasında elde edilen teorik verilerle gerçek değerlerin karşılaştırılabilmesi için kullanılmıştır. Giderler TÜBİTAK 1507 Ar-Ge Başlangıç Destek Programı tarafından oransal olarak desteklenmiş ve Sekizli Vinç A.Ş. Çatısı altında prototip imalatı tamamlanmıştır. Temel olarak görevlerini yerine getirebilmiş ve istenilen başarı kriterlerini sağlamıştır. 2014 yılında başlayan proje süreci toplamda 18 ay sürmüş ve 2016 yılı ortalarında başarıyla tamamlanmıştır. İlk etapta sadece tez önerisi olarak gündeme gelen bu Çok yönlü tekerleklere sahip çatallı yükleyici, TÜBİTAK ile yürütülmüş ve başarıyla tamamlanmış bir proje ve aynı zamanda şu anda özellikle yurtdışından aşırı ilgi gören ve satılmaya başlanmış katma değeri yüksek bir ticari ürüne dönüşmüştür.



Şekil 7.1. Deneylerin yapıldığı ve 1507 Projesi kapsamında üretilen çatallı yükleyici

Proje süreci başarıyla tamamlandıktan sonra yurt içi ve yurt dışından gelen talepler ve sosyal medyadan elde edilen ciddi olumlu geri dönüşler sonucunda Sekizli Vinç A.Ş. Bu aracın seri olarak üretilmesi ve tüm dünyaya satılabilmesi amacıyla yatırım yapmaya karar vermiş ve 2016 yılı ortalarında Okta markasıyla pazara çıkmıştır. Okta markası altında üretilen ve görsel olarak geliştirilmiş çok yönlü çatallı yükleyiciler katıldıkları fuarlarda en çok ilgi gören ürünler arasında yer almış, yerli ve milli olması sebebiyle de bizleri gururlandırmıştır.



Şekil 7.2. Okta markasıyla üretilen ve geliştirilen ticari çok yönlü tekerlekli çatallı yükleyicinin 2017 Antalya fuarında lansmanı esnasında Antalya Valisi tarafından test görüntüleri ve ziyaretçilerin ilgisi

Yapılan teorik ve deneysel çalışmalar neticesinde çok ciddi sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda mobil araç yön kontrolünde makara malzemesinin özellikleri, tekerleğin tasarımı, zeminin özellikleri, makaradaki toplam kuvvetler ve tekerlek tork değerlerinin önemli rol aldığı tespit edilmiştir. Aracın XY düzlemindeki 10 farklı temel hareketi tekerleklere farklı yön ve yükseklikte hızlar verilerek incelenmiş ve ilerde yapılması planlanan çalışmalara ışık tutmuştur. Manevra kabiliyetinin yüksek olabilmesi için dönüş hareketleri esnasında tekerleğin zemindeki sürtünmelerden uygun değer olarak etkilenmesi istenilmiştir.

Yapılan tüm deneysel çalışmaların sonuçları teorik değerler ile karşılaştırılmış, sistemin hataları ve bu hatalar karşısında cevapları irdelenmiştir. Aracın güç sarfiyatının ve sürtünme kuvvetinin fazla olduğu durumlar belirlenmiştir.

En fazla güç sarfiyatının yaklaşık 4,5 [kW/h] ile olduğu yerde dönme hareketi esnasında harcandığı ve bunu sırasıyla 4 [kW/h] ile ileri/geri hareketi, 3,7 [kW/h] ile yanal hareket ve 3,1 [kW/h] ile çapraz hareketlerin takip ettiği sonucuna varılmıştır.

Araç ileri düz ve yanal hareket halinde maksimum 12 [km/h] hıza ulaşabilmekte, çapraz hareketler esnasında ise 6 [km/h] hıza düşmektedir. Ayrıca olduğu yerde dönme hareketini ise 4 saniyede tamamlayarak 360˚ dönüşü sağlamaktadır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma neticesinde çok yönlü tekerlekli bir sistemin kontrol edilebilmesi için, gerekli hareket denklemleri elde edilerek, kontrolcü ara birim elemanına bu denklemler çözdürülmüş ve üretilen prototipin istenilen hareketleri elde etmesi sağlanmıştır.

Aracın teorik ve deneysel sonuçlarının karşılaştırmaları sonucu elde edilen sapmalar ve bu sapmaların muhtemel sebepleri saptanmış, gelecek çalışmalar için bir zemin hazırlamıştır.

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen prototip operatör tarafından sadece eller tarafından kontrol edilmekte olup konvansiyonel çatallı yükleyicilere göre avantajları;

- Direksiyon sistemine ihtiyaç olmadığından kullanıcının önü tamamen açıktır.
- Uzun yükleri bir alandan diğer bir alana taşırken kapı geçişlerinden tek seferde geçiş imkânı sunar.
- Kullanıcının dar alanlarda yükleme-boşaltma operasyonunda yaptığı manevra sayısını yaklaşık %70 azaltarak ciddi zaman kazancı sağlamaktadır.
- Sadece kumanda kolları ile kontrol edildiği için ayaklara gerek kalmamakta, belden aşağısı tutmayan ya da olmayan engelli kullanıcılar için kullanılma imkânı sunmaktadır.

7.2 Öneriler

Çok yönlü tekerlekli bir sistem için zemin çok önem arz etmektedir. Teorik ve deneysel çalışmalarda da görüldü ki zemin ve tekerlek arasındaki sürtünme çok önemli rol oynamaktadır. Bu sistem için olmazsa olmaz şartların başında çalışacağı zeminin düzgün olması gelir. Tercihen epoksi veya beton zemin olabilir. Asfalt veya taşlı zemin hem makara kaplamalarına zarar verir hem de hatalara sebep olur.

Bu sistem bu çalışmada operatör kontrolünde icra edilmiştir fakat insansız şekilde kontrolü de mümkündür. Bu çalışma birçok yapılacak çalışmanın zeminini oluşturmaktadır.

Sürtünme etkilerinin azaltılması ve kayıpların kazanca dönüştürülmesi konusunda sistemin geometrisinde bazı değişiklikler yapılabilir. Tekerleklerin birbirlerine eş mesafede olduğu durumda yani düzlemde bir karenin köşelerine yerleştirildiği durumda sürtünme etkileri en az olacağından, tasarım aşamasında bu mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Makaraların tekerleklere kolay montaj edilebilir olması gerekli. Ortalama 6 ay gibi bir sürede aşınabilen makaraların tekrar kaplanması işlemi için yerinden sökülmesi gerekebilir. Bir makarayı sökmek için tüm makaraların sökülmesi gereksiz işçilik artışı olacağından bu konuda bir çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR

Shimada, A, Yajima, S, Viboonchaicheep, P, Samura, K, Mecanum-wheel vehicle systems based on position corrective control. Icon Proceedings, pp.2077-2082, 2005.

Wang Yizhi and Chang Degong, "Motion Performance Analysis and Layout Selection for Motion System with Four Mecanum Wheels", JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING, May. 2009, vol.45(5), pp. 307-310, 316.

Plumpton, J.J., Hayes, M.J.D., Langlois, R.G., Burlton, B.V.: Atlas Motion Platform Mecanum Wheel Jacobian in the Velocity and Static Force Domains. No. 13-CSME-192, E.I.C. Accession 3650 (September 2013).

M. de Villiers and Prof. G. Bright,"DevelopmentOf A Control Model For A Four Wheel Mecanum Vehicle" 25th Intemational Conference of CADICAM, Robotics \& Factories of the Future Conference, July 2010, Pretoria, South Africa.

Lih-Chang Lin and Hao-Yin Shih, ‘’Modeling and Adaptive Control of an Omni-Mecanum-Wheeled Robot’’ Intelligent Control and Automation, 2013, 4, 166-179.

Lippit, T.C., Jones, W.C., (1998), “OmniBot Mobile Base”, KSC Research and Olaf Diegel, Aparna Badve, Glen Bright ‘’Improved Mecanum wheel design for Omni-directional Robots’’ Australian Conference on Robotics and Automation Auckland, 27-29 November 2002.

Çimen, M., Kalyoncu, M., 2017., Manevra Kabiliyeti Yüksek Mobil Araçların Çok yönlü Tekerlek ile Yön Kontrolü, 2.Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli., Kongre Bildiri kitabı sayfa 173-174.

Purwin O. ve D’Andrea R., Trajectory Generation and Control for Four Wheeled Omnidirectional Vehicles, Robotics and Autonomous Systems 54, 13–22, 2006.

Han K.-L., Choi O.-K., Kim J., Kim H. ve Lee J. S., Design and Control of Mobile Robot with Mecanum Wheel, ICROS-SICE International Joint Conference, Fukuoka International Congress Center, Japan, 2932-2937, 2009.

Badve AA. All Terrain Omni-Directional Autonomous Mobile Robot. Master’s Thesis, Massey University, Auckland, New Zealand 2003.

Tlale, Nkgatho, and Mark de Villiers. "Kinematics and dynamics modelling of a mecanum wheeled mobile platform." Mechatronics and Machine Vision in Practice, 2008. M2VIP 2008. 15th International Conference on. IEEE, 2008.

Lin, Lih-Chang, and Hao-Yin Shih. "Modeling and adaptive control of an omni-mecanum-wheeled robot." Intelligent Control and Automation 4.02 (2013): 166.

Doroftei, I., Grosu, V., Spinu, V., Omnidirectional Mobile Robot – Design and Implementation", Bioinspiration and Robotics: Walking and climbing Robots, Book edited by: Maki K. Habib, ISBN 978-3- 902613-15-8, pp. 544, I-Tech, Vienna, Austria, EU, September 2007.

Çok Yönlü Hareket Edebilen Forklift Prototipi İmalatı, Erhan Çin, Nisan 2015 Çorum, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi

Diegel, O., Badve, A., Bright, G., Potgieter, J., Tlale, S., 2002. Improved mecanum wheel design for omni - directional robots. Australasian Conference on Robotics and Automation, 27-29 November, Auckland, 117-121.

Ferriere, L., Raucent, B., Campion, G., 1996. Design of omni- mobil robots wheels. International Conference on Robotics and Automation, April, Minnesota, 3664-3670.

Hayes, M.J.D., Langlois, R.G., 2005. Report For Atlas: A Novel Kinematic Architecture For Six DOF Motion Platforms. Department of Mechanical &Aerospace Engineering, Carleton University, Canada, 701-710.

Huang, L., Lim, Y.S., Li, David, Teoh, C.E.L., 2004. Design and analysis of a four- wheel omnidirectional mobile robot. 2nd International Conference on Autonomus Robots and Agents, 13-15 December, 425-428.

Peshkin M.A., Colgate J.E., Wannasuphoprasit, W., Moore, C.A., Gillespie, R.B., Akella, P., 2001. Cobot Architecture, IEEE Transactions on Robotics and Automation, August, 17(4), 377-389.

Podnar, G.W., 1985. The Uranus Mobile Robot, Robotics Institute, Pittsburg, 127- 129.

Robinson, J.D., Holland, J.B., Hayes, M.J.D., Langlois, R.G., 2006. Velocity-Level Kinematics of the Atlas Spherical Orienting Device Using Omni-Wheels. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Carleton University, Canada.

Salih, J.E.M., Rizon, M., Yaacob, S., Adom, A.H., Mamat, M.R., 2006. Omni - directional mobile robot with mecanum wheel. American Journal of Applied Sciences, 3(5), 1831-1835.

Soygüder, S., Alli, H., 2006. Çok yönlü tekerleklere sahip bir mobil robotun PLC ile denetimi. TİMAK Tasarım İmalat Analiz Kongresi, 26-28 Nisan, Balıkesir, 403-412 / 482-490.

Soygüder, S., Alli, H., 2008. Çok yönlü tekerleklere sahip bir mobil robotun tasarımı ve modelinin gerçekleştirilmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(1), 111-120.

Wada, M., Mory, S., 1996. Holonomic and omni directional vehicle with conventional tires. International conference on robotics and automation, Minneapolis, Minnesota, April, 3671-3676.

Yong L., Zhu J., Robert L. Williams II, Wu J., 2007, Omni-directional mobile robot controller based on trajectory linearization. Robotics and Autonomous Systems, 56, 461-479.

Tianran Peng, Jun Dian*, Bin Zi, Jiakui Liu, Xingwei Wang, Mechanical Design and Control System of an Omni-directional Mobile Robot for Material Conveying, 9th International Conference on Digital Enterprise Technology - DET 2016 – "Intelligent Manufacturing in the Knowledge Economy Era.

Martin Udengaard, Karl Iagnemma, Analysis, Design, and Control of an Omnidirectional Mobile Robot in Rough Terrain, Journal of Mechanical Design, DECEMBER 2009, Vol. 131 / 121002-11.

O. Nuri Şahin., Dört-Tekerlekli Çok-Yönlü Uzaktan Kontrol Edilen bir Mobil Robot için Hata Telafisi., Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu, İzmir, 14-17 Haziran 2015

Jonathan J. Plumpton, M. John D. Hayes, Robert G. Langlois and Bruce V. Burlton "Atlas motıon platform mecanum wheel jacobıan ın the velocıty and statıc force domaıns", Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Carleton University, Ottawa, ON, Canada, Received September 2013, Accepted March 2014

E. Nakano , N.Koyachi , "Design and Control of Self-contained Hexapod Walking Robot for Stair-climbing". National Institute of Advanced Industrial Science 1993.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Mahmut ÇİMEN
Uyruğu	**:**	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Konya 26.10.1987
Telefon	**:**	00905056559091
Faks	**:**	
e-mail	**:**	mahmut_cimen2004@yahoo.com

EĞİTİM

Derece		**Adı**	**İlçe**	**İl**	**Yıl**
Lise	:	**Karatay S.D.M.P.A.L.,**	**KARATAY,**	**KONYA ,**	**2008**
Üniversite	:	**Selçuk Universitesi**			
Yüksek Lisans	:	**Makine Mühendisliği A.B.D.**			
Doktora	:				

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2013	**Sekizli Makine ve Vinç A.Ş.**	**Arge Müdürü**
2016	**Okta Lift Makine ve Müh. A.Ş.**	**Genel Müdür**

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Çimen, M., Kalyoncu, M., 2017., Manevra Kabiliyeti Yüksek Mobil Araçların Çok yönlü Tekerlek ile Yön Kontrolü, 2.Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, Kocaeli., Kongre Bildiri kitabı sayfa 173-174.