

T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

STEWART PLATFORMU İLE ÜST PLAKA DENGELEYİCİ VE
AÇISAL TEKER KONTROLLÜ HİBRİT ARAÇ PROTOTİP
UYGULAMASI

MUHAMMET ÖZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ ÜMİT ALKAN

İSTANBUL, 2019

Muhammet ÖZER tarafından hazırlanan “Stewart Platformu İle Üst Plaka Dengeleyici ve Açısız Teker Kontrollü Hibrit Araç Prototip Uygulaması” adlı tez çalışması aşğıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İstanbul Gelişim Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr.Öğr. Üyesi Ümit ALKAN

Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Başkan: Prof. Dr. Bedri YÜKSEL

Mekatronik Mühendisliği, İstanbul Gelişim Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye: Doç. Dr. Ergun ATEŞ

Makine Mühendisliği, Balıkesir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Mustafa BAYRAM
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Muhammet ÖZER

...../...../2019

STEWART PLATFORMU İLE ÜST PLAKA Dengeleyici ve Açısal Teker Kontrollü Hibrit Araç Prototip Uygulaması

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet ÖZER

GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2019

ÖZET

Günümüzde gelişen otomobil teknolojisi için sürüş dinamiğinde, hareketlerdeki esneklik oldukça önemli bir yer almaktadır. Eğlence, uzaysal hareketler ve simülasyon alanlarında bu platformlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Çalışmanın bu kapsamdaki amacı, bir aracın özgür hareket etmesini ve hareket halinde iken üzerinde bulunan platformu dengede tutmayı sağlamaktır.

Bu tez çalışmasında, araçtaki tekerlek sistemi tüm tekerlerin kontrolleri ayrı ayrı yapılarak özelleştirilmiş ve aracın üzerine yerleştirilen denge platformunun dengeyi sağlaması gerçekleştirilmiştir. Aracın dört tekerleği bulunmakta ve tüm tekerlekler istenilen açılarda dönmesi için amaca uygun olarak tasarlanmıştır. Tekerleklerin açısal hesaplamalarında Ackermann Yönlendirme Geometrisinden faydalanmıştır. Denge Platformunda ise 3x3 bağlantı modeline sahip ve paralel bir mekanizma yapısında olan Stewart Platformu tasarlanmıştır. Platformun bu modeli ile doğrusal ve açısal birçok hareketi yaptırmak mümkündür. Tekerlek sistemi ve platform için yapılan tasarımlar birleştirilerek, sistem bir bütün haline getirilmiştir. Sistem manuel ve otomatik olarak çalışabilmektedir. Yapılan tez çalışmasında sistem durumunun gerçek zamanlı izlenmesi için mobil uygulama hazırlanmıştır.

Çalışma tamamlanarak, çalışma sürecinde tekerlek sisteminin ve platformun karşılaşılabileceği olaylar senaryolaştırılarak cihaz ile denemeler yapılmıştır. Faydalı model üzerinde yapılan testler neticesinde hareket esnekliği ve sistemin amacına uygun denge hareketlerini sağladığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Stewart Platform Mekanizması, Ackermann Geometrisi, SPM, 3x3 Stewart Platform, Dört Tekerlekli Direksiyon Sistemi

Sayfa Adedi : 140

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ümit ALKAN

IMPLEMENTATION OF HYBRID VEHICLE PROTOTYPE WITH UPPER PLATE BALANCER STEWART PLATFORM AND ANGULAR CONTROLLED WHEELS

(M. Sc. Thesis)

Muhammet ÖZER

GELISIM UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2019

ABSTRACT

For today's developing automobile technology in driving dynamics, the elasticity in movements has an important place. It is seen that the platforms are being frequently used in the areas of entertainment, spatial movements and simulations. It is possible to perform a few linear and angular moves according to the platform model. Our purpose on this thesis is to provide an independent drive and keep carrier shaft on the balance while the vehicle on the move.

On thesis project, steering system on the vehicle has been specialised and balancing platform on the vehicle has been achieved to keep the balance. Vehicle has four wheels and they, all, have been designed for the requested rotation. Ackermann Steering Geometry has been used for the calculations of wheel angles. And on the balancing platform, Stewart Platform, which has the 3x3 connection model and parallel structure, has been designed. It is possible to make a lot of linear and angular moves with this model of platform. Steering system and platform designs have been become one unit of structure by assembling. System can be operated manually and automatically. A mobile application has been written to monitor the status of the system simultaneously.

Steering system and platform of the vehicle have been tested in case of potential scenarios during operations. As the result of the tests on the utilized model, it is observed that it fits the purpose of requested elasticity and balancing movements.

Key Words : Stewart Platform Mechanism, Ackermann Geometry, SPM, 3x3
Stewart Platform, Four Wheel Steering System

Page Number : 140

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ümit ALKAN

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında bana yapıcı ve yönlendirici önerileriyle yol gösteren tez danışmanım değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ümit ALKAN'a, Tez çalışması boyunca bilgi, birikim ve pozitif enerjisini eksik etmeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi. E. Eray AKKAYA'ya, çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen Blg. Müh. Volkan ÖZTÜRK'e ve Blg. Müh. Ömer ŞAHİN'e, tez ile ilgili birçok konuda tartışma imkânı bulduğum çalışma arkadaşım Y. Altay DÖNMEZ'e ve Ebru İNAN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma süresince desteklerini esirgemeyen tüm çalışma arkadaşlarıma, hocalarıma destekleri ve sağladıkları huzurlu çalışma ortamı için teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan ve çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan annem ve babama sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVI
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar	3
2.2. Teker ve Direksiyon Sistemi	5
2.2.1. Geleneksel direksiyon sistemi	8
2.2.2. Birbirinden bağımsız dört teker yönetim sistemi	9
2.3. Stewart Platform Mekanizması	12
2.3.1. Tasarımsal mekanizma modelleri	12
2.3.1.1. Seri manipülatörler	14
2.3.1.2. Paralel manipülatörler.....	14
2.3.1.3. Hibrit model manipülatörler	15
2.3.2. Stewart Platform Mekanizması türleri.....	15
2.3.2.1. 3x3 Stewart Platform Mekanizması.....	17
2.3.2.2. 3x6 Stewart Platform Mekanizması.....	17
2.3.2.3. 6x3 Stewart Platform Mekanizması.....	17

2.3.2.4. 6x6 Stewart Platform Mekanizması.....	17
2.3.3. Platform mekanizmasında piston yapısı ve kinematik hesaplama	17
2.3.4. Stewart Platform Mekanizmasında ters kinematik.....	25
2.3.5. Stewart Platform Mekanizmasında ileri kinematik	32
2.3.6. Çalışma Uzayı.....	33
2.3.6.1. Yörünge takibi hareketi	35
2.3.7. Stewart Platform Mekanizması ile sağlanan doğrusal hareketler.....	35
2.3.8. Sistemdeki Açısal Hareketler	36
3. SİSTEMİN MEKANİK TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	37
3.1. Teker Sistemi Parçalarının Tasarımı	37
3.2. Stewart Platformu parçalarının tasarımı.....	41
3.2.1. Alt ve üst plaka	42
3.2.2. Piston kolu	43
3.2.3. Mafsal	44
4. ELEKTRONİK BİLEŞENLER VE BAĞLANTILARI	45
4.1. Mikrodenetleyici Kontrolü.....	45
4.2. Çok Kanallı PWM Sürücü İle Servo Motor Kontrolü.....	47
4.3. Prototip Cihazın Güç Yönetimi.....	49
4.4. Açık Sensörünün Sistemde Kullanımı	49
4.5. Sistemin Besleme Bağlantıları	52
4.6. Sistemde Servo Motor Tercihi ve Kullanımı	56
4.7. DC Motor Sürücüsü ve Kontrol Tekniği.....	59
4.8. Dijital Besleme Bağlantıları	62
4.9. Bluetooth Teknolojisi ve Kablosuz Kontrol Tekniği	63
4.10. Arduino İçin HID Aygıt Desteği Sağlama	65

4.11. Ana Besleme Bileşenlerinin Anahtarlama Bağlantısı	67
5. YAZILIMSAL MODELLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ.....	69
5.1. Servo Motorun PWM Sinyali Kullanılarak Sürülmesi	70
5.2. DC Motorun PWM Sinyali Kullanılarak Sürülmesi	71
5.3. Sistemin Kumanda ile Kontrol Tekniği	74
5.4. Teker Sistemi Kontrol Yazılımı ve Yöntemi	75
5.4.1. Teker açılarının geometrik yöntemlerle hesaplanması.....	76
5.4.2. Teker Hızlarının Geometrik Yöntemlerle Hesaplanması	83
5.4.3. Kontrol kolu ile sürüş tekniği	90
5.5. Platform Kontrol Yöntemi	92
5.6. Gyro Açık Sensörü Sinyalinin İşlenmesi	98
5.7. Mobil Uygulama İle Sistem Durumunun İzlenmesi	101
5.7.1. Uygulamanın Tasarlanması ve Geliştirilmesi.....	103
6. SONUÇ	106
KAYNAKLAR	108
EKLER.....	112
EK-1. Teker direksiyon açıların hesaplandığı gömülü kod	113
EK-2. Açık sensörü sinyalinin işlendiği kod	115
EK-3. Tekerlek hızlarının hesaplandığı kod parçacığı	117
EK-4. Piston kontrol kodu	118
EK-5. Teker hızlarının ve dönüş yönlerinin hesaplandığı kod	119
EK-6. Konsol kolu ve Aracın genel görünümünün fotoğrafı	120
ÖZGEÇMİŞ	121

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Paralel, seri ve hibrit mekanizmalarının karşılaştırılması.....	13
Çizelge 2.2. Pnömatik, hidrolik ve elektrikli piston mekanizmaların karşılaştırılması.....	18
Çizelge 4.1. Arduino Mega mikrodenetleyici kartının temel özellikleri	46
Çizelge 4.2. Regüle kartındaki kayıplar ve ortalama çıkış gerilim tablosu	56
Çizelge 4.3. Kullanılan servo motorların özellikleri ve farklı voltajlardaki karakteristik	57
Çizelge 4.4. Ayarlı regüle devresinin temel özelliklerileri	63
Çizelge 4.5. Arduino ve Bluetooth modülü çapraz seri haberleşme pinlerinin karşılıkları	65
Çizelge 5.1. Test yolu üzerindeki PWM ve hız arasındaki bağıntı tablosu	88
Çizelge 5.2. Açık sensörü ve kontrol kolu parametrelerinin mod'a göre pistonlara etkisi.....	93
Çizelge 5.3. Arduino kartından android cihaza gönderilen veriler	102

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Aracın O merkezi etrafındaki dönüşü.....	2
Şekil 2.1. Aracın her tekerinin O merkezi etrafındaki takip ettiği çemberler.....	6
Şekil 2.2. Araç tekerinde zemin ile temas eden yüzeyin merkezi	7
Şekil 2.3. Tüm tekerlerin dik açılarının O merkezinde kesişimi	7
Şekil 2.4. Ön tekerlek açılarının farklı kombinasyondaki durumları.....	8
Şekil 2.5. Teker ve direksiyon sistemi takımı.....	10
Şekil 2.6. D. Stewart'ın önerdiği ilk platform modeli [31].....	13
Şekil 2.7. 3x3 modelinde paralel manipülatör	15
Şekil 2.8. Farklı bağlantı modellerinde Stewart Platform Mekanizması türleri	16
Şekil 2.9. Pnömatik, hidrolik ve elektrikli piston modellerine örnekler.....	18
Şekil 2.10. Vidalı hareket mili ile doğrusal hareket sistemine örnek	20
Şekil 2.11. Triger kayış ile doğrusal hareket sistemine örnek	20
Şekil 2.12. Kremayer dişli sistemi ile doğrusal hareket sistemine örnek	21
Şekil 2.13. Krank mekanizması ile doğrusal hareket sistemine örnek	22
Şekil 2.14. Piston mekanizması ve ölçülendirmeleri	23
Şekil 2.15. Servo açısı ile piston açıklığı bağıntı grafiği	25
Şekil 2.16. 3x3 modelinde 6 bacaklı bir Stewart Platformu	26
Şekil 2.17. Sistemde kullanılan piston mekanizması en küçük ve en büyük uzunlukları	27

Şekil	Sayfa
Şekil 2.18. Mafsal ve sınır açılarının tasarım üzerinde gösterimi.....	27
Şekil 2.19. Platformun eksen düzeneği ve öteleme vektörü	28
Şekil 2.20. Mafsal açılarının şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.21. İki kol arası mesafe durumu [9].....	31
Şekil 2.22. Pistonların çapları ve birbiriyle olan mesafeleri [9]	31
Şekil 2.23. Platformun çalışma uzayı (Üst görünüm).....	34
Şekil 2.24. Platformun çalışma uzayı (Yan görünüm).....	34
Şekil 2.25. Platformun araca göre doğrusal hareketlerinin yönleri	35
Şekil 2.26. Platformun araca göre O merkezi etrafındaki açısal hareketleri	36
Şekil 3.1. Teker yuvası ve perspektif ölçülendirmeleri	37
Şekil 3.2. Servo motor tutucu teker yuvası kapağı ve perspektif ölçülendirmeleri	38
Şekil 3.3. Teker motoru tutucu parça ve perspektif ölçülendirmeleri.....	39
Şekil 3.4. Robot gövdesi (Zemini) ve perspektif ölçülendirmeleri.....	39
Şekil 3.5. Gövde duvar parçaları ve perspektif ölçülendirmeleri	40
Şekil 3.6. Teker sistemi temel parçalarının kurulu hali ve hareket eksenleri	41
Şekil 3.7. Prototip sistemin tekerlekleri ile teker konumlarının görünümü.....	41
Şekil 3.8. Platformun özdeş alt - üst plaka görünümü ve ölçülendirilmesi	43
Şekil 3.9. Platformun piston kolu parçaları ve kurulu hali	43
Şekil 3.10. Mafsalın 3B tasarım görünümü	44
Şekil 4.1. Arduino Mega temel pin yapısı	45

Şekil	Sayfa
Şekil 4.2. Arduino Mega ve çok kanallı PWM sürücüsü bağlantı şeması.....	47
Şekil 4.3. Platform ve direksiyon servo motorlarının sürücüye bağlantısı.....	48
Şekil 4.4. 3 eksenli açı sensörü ve pin yapısı.....	50
Şekil 4.5. Aracın koordinat düzlemi	50
Şekil 4.6. Arduino Mega ile açı sensörü bağlantısı	51
Şekil 4.7. Regüle entegreleri ile yüksek akım elde edildiği devre şeması.....	53
Şekil 4.8. Regüle entegresinin pin yapısı ve TO220 soğutucu bağlantısı.....	54
Şekil 4.9. Regüle entegresinin kılıf görünümü ile bağlantı diyagramı	55
Şekil 4.10. L298N Motor Sürücü Entegresi ve Pin İsimleri	60
Şekil 4.11. Dört DC motorun sürülmesi için gerekli bağlantı diyagramı	60
Şekil 4.12. Motor sürücü bağlantısının şematik gösterimi	61
Şekil 4.13. Ayarlı voltaj regülatörü.....	62
Şekil 4.14. Arduino Mega ve Bluetooth modülü bağlantı şeması	64
Şekil 4.15. Usb Host Shield Görünümü.....	66
Şekil 4.16. Arduino Mega ve Usb Host Shield bağlantı şeması	67
Şekil 4.17. Ana Besleme Bileşenlerinin Anahtarlama Bağlantısı.....	68
Şekil 5.1. Sistemin genel işleyişi ve süreç katmanları	69
Şekil 5.2. PWM sinyali ile servo motorun sürülmesi ve pulse genişliği	70
Şekil 5.3. PWM sinyali için aktif ve pasif durumun gösterimi.....	72
Şekil 5.4. Örnek PWM sinyalleri ile yüzdelerlik pulse değişimleri.....	73

Şekil	Sayfa
Şekil 5.5. H-köprü ile DC motor yön kontrolü [23]	74
Şekil 5.6. Kontrol kolu ve buton komutları	75
Şekil 5.7. Kontrol kolu L3 parametresi ile aracın hız ve yön tayini grafiği	76
Şekil 5.8. Ackermann Geometrisi ile hesaplanmış teker açılarının örnek gösterimi.....	77
Şekil 5.9. Aracın dönme açısı ile teker açıları bağıntısı grafiği.....	78
Şekil 5.10. Aracın dönme açısının dönme yarıçapına etkisi grafiği	79
Şekil 5.11. Aracın tüm tekerlerinin aynı noktalarda buluşmasına örnek gösterim.....	80
Şekil 5.12. Tekerlek yönlendirme açılarının kontrolünde farklı yaklaşımlar	81
Şekil 5.13. Prototip aracın 3B modelinin kendi etrafında dönüşü	82
Şekil 5.14. Tüm tekerleklerin dönme merkezine göre uzaklıkları ve dönüş çemberleri	84
Şekil 5.15. Tüm tekerleklerin ayrı ayrı hızlarının hesaplanmasını sağlayan algoritma	86
Şekil 5.16. PWM sinyali genliğine bağlı hız grafiği.....	89
Şekil 5.17. Seçilen sürüş modunun araç-teker sistemine etkisi akış diyagramı.....	91
Şekil 5.18. Denge modunun (Mod 0) açık ve kapalı durumunda üst Platformun durumu	94
Şekil 5.19. Mod 1'in açısal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)	95
Şekil 5.20. Mod 2 ile yapılan doğrusal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)	95
Şekil 5.21. Mod 3 ile yapılan doğrusal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)	96
Şekil 5.22. Mod 4 ile yapılan doğrusal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)	96
Şekil 5.23. Mod 5 ile yapılan açısal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş).....	97

Şekil	Sayfa
Şekil 5.24. Mod 5 ile yapılan açısal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş).....	97
Şekil 5.25. Mod 6 ile yapılan açısal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş).....	98
Şekil 5.26. Ham sensör verisinden temiz veri elde edilmesine ait akış diyagramı	100
Şekil 5.27. Ham ve temizlenmiş sinyalin üst üste bindirilerek gösterimi.....	101
Şekil 5.28. Mobil uygulamanın ekran çizelge modeli (wireframe)	104
Şekil 5.29. Mobil uygulamanın çalışır haldeki ekran görüntüsü	104
Şekil 5.30. Mobil uygulama genel akış diyagramı	105

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
a	z eksenini etrafındaki dönüş açısı
a_0	Sağ ön tekerleğin dönüş açısı
a_1	Sol ön tekerleğin dönüş açısı
B_i	Sabit alt plakanın i 'inci köşe bağlantı noktası
\vec{b}_i	Alt plakanın i 'inci köşesinin konum vektörü
BM	Sabit alt plakanın koordinat sistemi
d	Piston açıklığı
d_{max}	Azami piston açıklığı
d_{min}	Asgari piston açıklığı
e	x eksenini etrafındaki dönüş açısı
k	Pistonda servo merkezi ile mafsal arasındaki mesafe
L_1	Servo motor miline bağlı kol uzunluğu
L_2	Servo motor ile piston mili arasındaki kol uzunluğu
L_3	Piston mili uzunluğu
m	Taşıyıcı kolların aralarındaki uzaklık
\vec{n}_{pj}	Hareketli üst plakaya dik birim vektör
\vec{n}_{bi}	Sabit alt plakaya dik birim vektör
O	Sabit koordinat sistemi merkezi
P_j	Hareketli üst plakanın j 'inci köşe bağlantı noktası
\vec{p}_j	Üst Platformun j 'inci köşesinin konum vektörü
PL	Pistonun komple uzunluğu
PL_{min}	Asgari piston uzunluğu
PL_{max}	Azami piston uzunluğu
PM	Hareketli üst plakanın koordinat sistemi
R	Hayali dönüş çemberinin yarıçapı
${}^B R_P$	Dönüşüm matrisi

Simgeler**Açıklamalar**

r	y eksenini etrafındaki dönüş açısı
R_A	A tekerleğinin dönme merkezine uzaklığı
R_B	B tekerleğinin dönme merkezine uzaklığı
R_C	C tekerleğinin dönme merkezine uzaklığı
R_D	D tekerleğinin dönme merkezine uzaklığı
R_i	i 'inci tekerleğinin dönme merkezine uzaklığı
\vec{u}	Öteleme vektörü
V	Hız
V_A	A tekerleğinin hızı
V_B	B tekerleğinin hızı
V_C	C tekerleğinin hızı
V_D	D tekerleğinin hızı
V_i	i 'inci tekerleğinin hızı
X	Tekerin bir çember etrafındaki tam tur mesafesi
X_A	A tekerleğinin çember etrafındaki tur mesafesi
X_B	B tekerleğinin çember etrafındaki tur mesafesi
X_C	C tekerleğinin çember etrafındaki tur mesafesi
X_D	D tekerleğinin çember etrafındaki tur mesafesi
X_i	i 'inci tekerleğinin çember etrafındaki tur mesafesi
δ	Pistondaki servo motorun açısı
δ_{max}	Pistondaki servo motorun azami açısı
δ_{min}	Pistondaki servo motorun asgari açısı
θ_{bi}	Alt plakada i 'inci köşeye bağlı mafsalda oluşan açı
θ_{pj}	Üst plakada j 'inci köşeye bağlı mafsalda oluşan açı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

3B	Üç boyutlu
A	Amper
BBTDA	Birbirinden bağımsız tekerlek ve direksiyon aksamı
bit	0 ve 1'den oluşan bellek ölçüm birimi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

bps	Saniyedeki bit miktarı
byte	8 bitten oluşan bellek ölçüm birimi
char	Karakter veri tipi
CNC	Bilgisayar sayımlı yönetim
DOF	Serbestlik derecesi
DSM	Direksiyon servo motoru
F	Frekans
GHz	Giga Hertz
Gnd	Topraklama
HID	İnsan arayüz cihazı
Hz	Hertz
I²C	Yarı senkron ve çift yönlü haberleşme protokolü
IDE	Bütünleşik Geliştirme Ortamı
mA	Miliamper
Mbps	Bir saniyede aktarılan MegaByte miktarı
MHz	Mega Hertz
ms	Milisaniye
Ni-Cd	Nikel kadmiyum pil
Ni-MH	Nikel metal hidrit pil
PWM	Darbe genlik modülasyonu
ROM	Sadece okunabilir bellek
SPI	Kısa mesafe seri iletişim protokolü
SPM	Stewart Platform Mekanizması
T	Periyot
T₀	Dijital bir periyotluk sinyalde 0V olan kısım
T₁	Dijital bir periyotluk sinyalde 5V olan kısım
UART	Asenkron bir haberleşme protokolü
USART	Senkron bir haberleşme protokolü
V	Volt

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan teknoloji çağında mekanik sistemlerin geliştirilmesine yönelik birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. Teker sistemleri ve paralel mekanizmalar da bu gelişme sürecinde payını almıştır. Teker sistemlerinde hareketlerdeki esnekliğin artırılması için birçok yöntem geliştirilmiş ve üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Mekanik hareket sağlayan sistemlerin gelişmesiyle, paralel manipülatör çeşitleri de artmıştır.

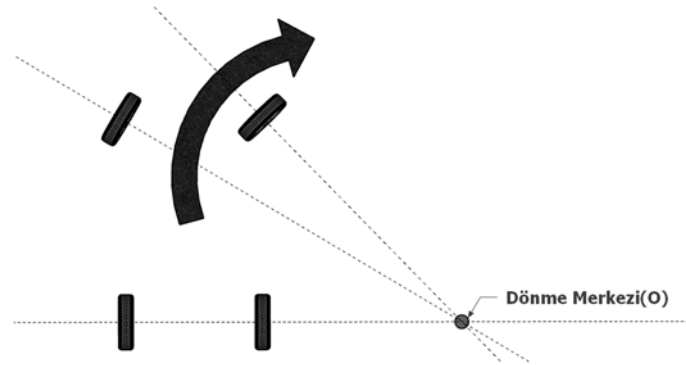
Geliştirilmesi amaçlanan prototip sistem özellikle engelli araçlarında, endüstriyel alandaki istifleme araçlarında ve günlük hayatımızdaki araçlarda kullanılabilir. Araç sisteminin yapısı gereği, engelli araçlarında ihtiyaç duyulan hareket esnekliğini ve üzerinde bulunan engelli kişinin eğimli yollarda dengede duruşunu sağlar. Endüstriyel alanda ise istifleme araçlarının, istif alanlarında bulunduğu yerlerdeki hareketlerinin kolaylaştırılması sağlanır. Her iki yana dönüş hareketini veya doğrusal hareketleri özgürce yaparak hareket kısıtlılığını ortadan kaldırır. Bu sistem otomobillere uyarlanırsa park etmeyi kolaylaştırmak için sistemin teker fonksiyonları kullanılabilir.

Manipülasyon, genel olarak bir maddenin hareket etmesi, taşınması veya bir amaç için belli sisteme adapte edilmesidir. Manipülasyon işlemini gerçekleştirebilecek sistemlere ise manipülatörler denir. Bir manipülatörün, her bir eklemine bir mafsal ile bağlanan rijit cisimlerin sayısı, bağlantı derecesi anlamına gelir. Bu durumda, iki veya daha az bağlantı derecesine sahip olan sistemlere basit kinematik zincirler denir. Uzunların en az biri, üç veya daha fazla bir bağlantı derecesine sahip ve taban olmaması durumunu sağlıyorsa, bu sistem kapalı döngülü kinematik zincir olarak adlandırılır [1,2].

Üç farklı konfigürasyona sahip manipülatör vardır. Bunlar; seri, paralel ve hibrit model manipülatörlerdir. Bu modeller içinde en çok kullanılan manipülatör çeşidi seri manipülatördür. Bu tür manipülatörler daha çok robot kol uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır. Paralel manipülatör ise hassas konumlandırmalarda iyi sonuçlar vermektedir. Bu duruma rağmen seri manipülatörler kadar sık kullanılmamaktadır. Bilimsel araştırmalar, tıp ve eğlence gibi alanlarda sık sık kullanılır. Hibrit model manipülatörler ise diğer manipülatör gibi günümüzde yaygın değildir. Ancak hibrit model üzerinde gün geçtikçe yapılan araştırmalar yoğunlaşmaktadır [3]. Farklı tasarımlara sahip manipülatörlerin

kullanıldığı birçok mekanizma bulunmaktadır. Bu çalışmada ise tasarlanan ve kullanılan Stewart Platform Mekanizması (SPM) paralel model bir manipülatördür. Stewart Platform Mekanizması günümüzde genellikle durgun bir ortamda uzaysal hareketlerin simülasyonu veya var olan hareketlerin sönümlenmesinde kullanılır.

Paralel manipülatör sistemlerini en iyi şekilde açıklayan ve bilinen en iyi örneği, Stewart Platformu denebilir. Stewart Platformu, 1965 tarihinde D. Stewart tarafından platforma kendi ismini vererek oluşturduğu, uçuştan önce eğitim simülatörü olarak kullanılmak üzere tasarlanmış ve günümüze uyarlamıştır [4]. Dünyada son yıllarda yapılan çalışmalara paralel olarak gelişmelerinde önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Türkiye'de 1992'den beri paralel manipülatör sistemleri üzerine doktora ve yüksek lisans program tezleri yazıldığı ve üzerine çalışıldığı görülmüştür. Ayrıca ülkemizde TÜBİTAK Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında önemli projeler gerçekleştirilmiştir [5]. Bu çalışmada özgün bir tasarımın yapıldığı “Birbirinden Bağımsız Teker Sistemi ve Direksiyon Aksamı” (BBTDA) kullanılmıştır. BBTDA’da tekerlekler her yöne istenilen açıda ilerleyebilmeyi veya hayali dönme merkezi (O) etrafında istenilen hızda dairesel olarak hareket etmeyi sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Aracın O merkezi etrafındaki dönüşü

Hibrit manipülatörler kapalı zincir ve açık zincir mekanizmalarının birleşimidir. Paralel manipülatör sistemlerinin kombinasyonel halide denebilir. Buna bağlı olarak açık kinematik zincir seri manipülatör ve kapalı kinematik zincir ise paralel manipülatör olarak denebilir. Paralel manipülatörde bulunan sınırlı hareket sistemi, hibrit manipülatörlerle çözülmüştür. Hibrid manipülatörler, her iki manipülatör modelinin birleştirilip tasarım yapısına bir şekilde uygulandığı sistemlerdir. Dolayısıyla günümüzde yeni yeni hibrit manipülatör modelleri üzerine sistemler geliştirilmektedir [6].

2. GENEL BİLGİLER

Tez kapsamındaki prototip araçta bütün tekerlekler, birbirinden bağımsız olarak istenilen yöne dönüş sağlamaktadır. Bu sayede günümüz araçlarında yaygın kullanılan direksiyon sistemi kullanılmayarak, yeniden tasarımı yapılan özgün bir yönlendirme sistemi kullanılmıştır. Tasarlanan tekerlek sistemine göre her tekerin yapısında taşıma ve hareket etme sistemini sağlayacak redüktörlü dc motor kullanılmıştır. Teker sisteminin ileri-geri veya sağa-sola hareketlerini sağlamak için de servo motorlar kullanılmıştır. Dönme hareketi yaparken aracın tekerlek, direksiyon açıları tek merkezli olarak Ackermann Geometrisine göre hesaplanır. Böylece aracın yönlendirilmesi daha fonksiyonel hale getirilmiş ve dönme yarıçapı en aza indirilmiştir.

Platform mekanizması tasarımında 3x3 Stewart Platformu modeli kullanılmıştır. Bu modelin yapısı gereği altı adet piston kullanılmıştır. Pistonlar, krank mekanizması yapısına göre çalışmaktadır. Yapısına entegre edilen servo motorlardan aldığı açısız hareketi doğrusal harekete çevirmektedir. Stewart Platformu ile farklı kontrol modlarına geçilerek doğrusal ve açısız hareketler kontrol edilebilmektedir. Aracın üzerine yerleştirilen Stewart Platformunun denge fonksiyonu kullanılarak sistemin açısız kontrolleri tetiklenir. Buna bağılı olarak aracın üzerine entegre edilen platform, sistem üzerinde kullanılan açı sensörü verilerine göre sürekli olarak dengede kalır.

2.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Paralel manipülatör mekanizmaları üzerinde yapılan çalışmalar detaylı bir anlatımla Merlet [1] tarafından her yönüyle bir kitapta toplanmıştır. Mruthyunjava ve Dasgupta [7], yapılan çalışmalara yönelik genel araştırma yaparak, Stewart Platformlarında oluşan sıkıntılara değinmişlerdir. Paralel mekanizmaların günümüzde yük taşıma ve cerrahi uygulama gibi alanlarda hassas şekilde çalışabileceğinden bahsetmişlerdir.

Stewart Platformların farklı kombinasyonlarda bağlantı çeşitleri (3x3, 6x6, 6x3 v.b.) Gao ve Zhang [8] tarafından öneride bulunulmuştur. Yaptıkları çalışmada düzlem, doğru ve noktalar arasındaki mesafeleri baz alarak 3850 çeşit modelde Stewart Platform Mekanizması olduğunu açıklayıcı şekilde göstermişlerdir. Stewart Platformunda 20 çeşit yapılabilir

topoloji üstünde duran Wang [9], yüksek lisans tezinde her topoloji için değişik yapılandırmalara değinmiştir. Günümüzde kullanılan endüstriyel uygulamalar üzerinden örneklerle açıklamıştır.

Doğrusal paralel sistemler üzerinde çalışma yapan Küçük ve Bingü [10], MATLAB kullanarak benzetim ve tasarım amacı güden SIDED isminde bir yazılım geliştirmiştir. Geliştirdikleri bu yazılımda doğrusal paralel sistemleri çizgisel bir iskelet model üzerinde görsel şekilde benzetimi mümkündür. Gosselin ve Angeles [2], üç serbestliğe sahip paralel manipülatörler üzerinde ters ve ileri kinematik hesaplamaların yapıldığı bir benzetim aracı yapmıştır. Yapılacak sistemin, istenilen yörünge üzerinde analizler yapılarak, grafik animasyonlar ile benzetimi yapılır. Gökçen [11] ise 3x3 ve 6x3 Stewart Platformunun matematiksel bir modelini dört blok olacak şekilde tasarlayıp, Türkiye’de yazılan ilk paralel sistemler üzerinde yüksek lisans tezini hazırlamıştır. Bu bloklar ileri kinematik, ters kinematik, sistem ve dinamikten oluşan bütündür. Modelin yazılımı hazırlanmış, benzetimi yapılarak sonuçlarına değinilmiştir.

Anlı [12], literatür taraması yaparak, günümüz endüstri uygulamaları üzerinde ileriye dönük öneriler sunmuştur. Paralel manipülatörler konusunda prosedür geliştiren Ulaş [13], prosedüründe paralel manipülatörlerin geometrik ölçülerini, çalışma yörüngesini ve mafsalların taşıma güçlülüğünü belirleyebilecek yapıda çalışma yapmıştır. Aynı zamanda iki farklı paralel sistem tasarımı irdelenerek sistemler arasındaki çıkış davranışları karşılaştırılmıştır. Yıldız [14], bond-graf yöntemi kullanarak Stewart Platformu gerçekleştirip, yüksek lisans tezinde detaylıca anlatmıştır. Stewart Platformu olarak 6x3 ve 6x4 modelinde mekanizmaların dinamik ve kinematik hesaplamalarını yapan Alp [15], yapay sinir ağı kullanarak doktora tezini hazırlamıştır.

David ve Clifford [16], yaptıkları çalışmada engellilerin araçlarının daha fonksiyonel hareket sağlayabilmesi için tekerleklerinin yönlendirme açılarını farklı şekilde yapabilecek bir sistem tasarlamışlardır. Bu sistem tek bir mekanik tahrik sağlayıcı ile yönetilmektedir. Yaptıkları sistem tasarımında dört tekerlek bulunmakta ve bu tekerleklerin açısız yönlendirilmelerini Ackermann Geometrisine göre tek merkezli yapıda sağlamışlardır.

Burha [17], yüksek lisans tezi kapsamında çift akstan yönlendirilen bir araç tasarımı yapmıştır. Bu araç için Burha, özel amaçlı bir direksiyon sistemine ait kinematik tasarımını

oluşturmuştur. Bu kapsamda, öncelikle dönme hareketi, dönme hareketini etkileyen ön aks parametreleri ve direksiyon sistemleri incelenmiştir açılal teker kontrolleri Ackermann Geometrisine göre sağlanmıştır.

Jeza [18], yazdığı kitapta araç direksiyon sistemlerini kapsamlı bir şekilde incelemiş ve öneriler sunmuştur. Ön ve arka tekerleklerin açılarının farklı olarak sağlanması ile aracın dönme yarıçapının büyük ölçüde düşürülmesinin büyük ölçüde bir avantaj olduğunu belirtmiştir.

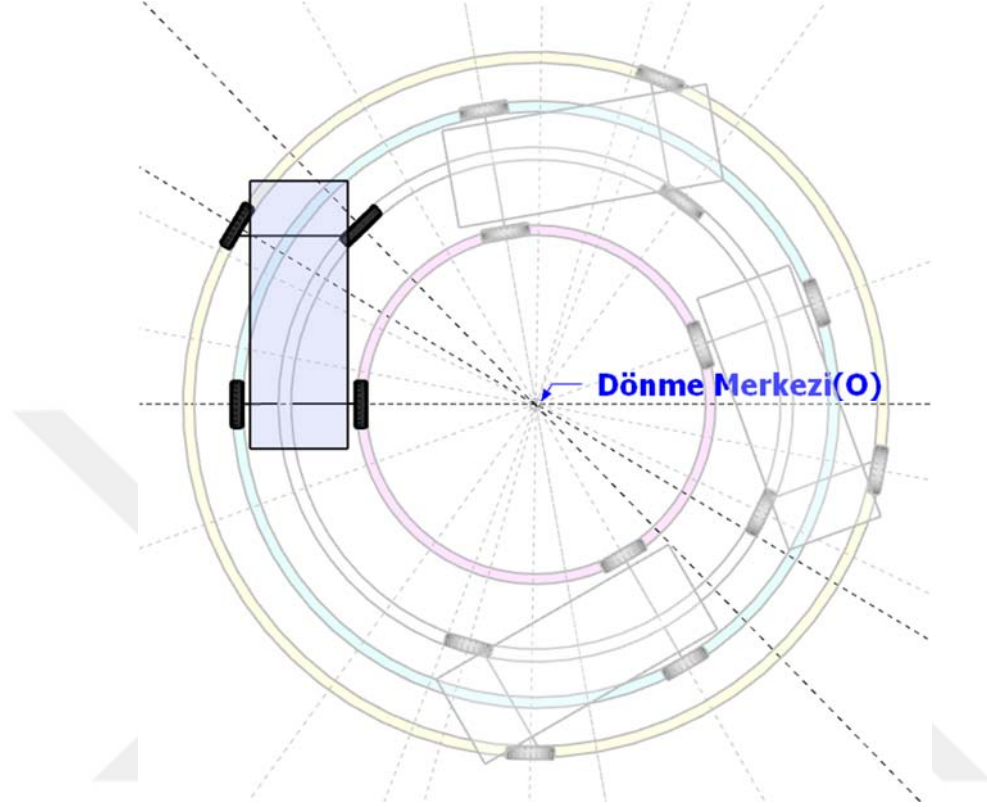
Pflug, von Glasner ve Povel [19], yayınladıkları çalışma araçların arka akslarının döndürülebilirliği ile ilgili bilgiler içermektedir. Yapılan çalışmada hidrolik destekli sistemin elektronik olarak kontrol edilmesi ile taşıtlara kazandırılan avantajlara değinilmiştir.

Yazdıkları makalede Pillar ve Braun [20], taşıt hareket dinamiğini önemli ölçüde etkileyen parametrelerden biri olan manevra kabiliyetinden ve manevra kabiliyetini arttırmaya yönelik çalışmalardan bahsetmişlerdir. Araç kontrolü için normal araç direksiyonu modu, yengeç tipi modu ve tek merkezli serbest kontrole sahip teker direksiyon sistemi koşulları oluşturularak sistemin nasıl yönlendirilebileceğinden bahsedilmiştir. Çalışmanın uygulanacağı araçlarda tekerlek açılarını okuyabilecek sensörlerin kullanımı ile önemini de vurgulamışlardır. Sistemin kullanım alanlarını incelenerek çalışmanın araç manevra hareketlerine %30 verim sağladığı izlenmiştir. şehir içerisinde yer alan özel maksatlı araçlarda (öp kamyonları, itfaiye vb.), tarımsal araçlarda sürüşlerin ve park etmenin daha kolay olacağı belirtilmiştir.

2.2. Teker ve Direksiyon Sistemi

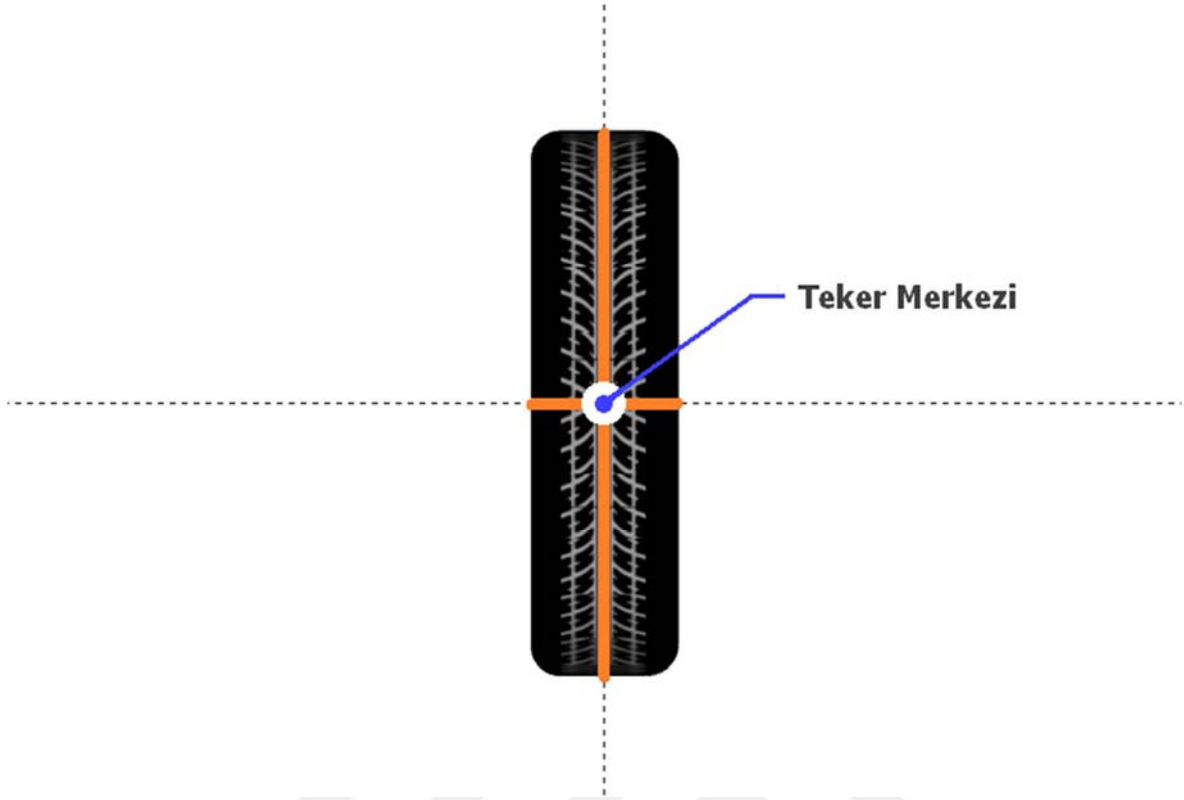
Araçlar için en büyük ihtiyaç hız ve manevra kabiliyetidir. Bu ihtiyaçları karşılamak amacıyla birçok araştırma ve deneysel çalışma yapılmaktadır. Teker açılarının birbirinden bağımsız ve kontrollü şekilde gerçekleşmesi de bu araştırmalar sonucunun verimli olduğunu kanıtlanmıştır. Direksiyon açıları hesaplamalarda aracın dönerken istenmeyen sarsılmalarını engellemek ve manevra kabiliyetini arttırmak için tekerleklerin uygun şekilde hizalanmasının yanı sıra hız faktörünün de iyi hesaplanması gerekmektedir. Hizalamayı korumak için her bir teker üzerindeki direksiyon açısı, eşmerkezli çevrelere teğet olmalıdır. Dört tekerleğin açıları dönme merkezine çevrilmiş durumda (şekil 2.1.), araç iç tekerlekler

(yani sağı dönüş sırasında sağıdaki tekerlekler ve sola dönüş sırasında soldaki tekerlekler), yarıçapı r_i olan bir daire tarafından tarif edilen yol boyunca hareket edecektir [16].



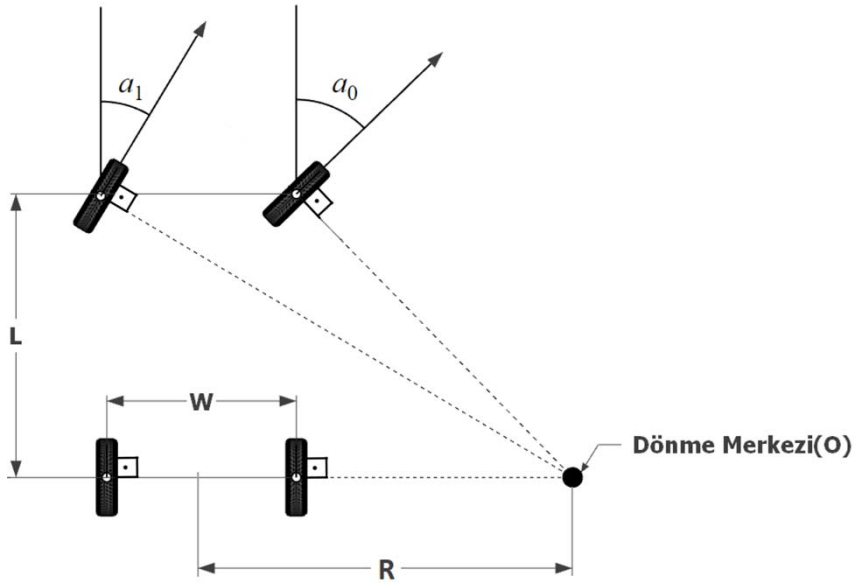
Şekil 2.1. Aracın her tekerinin O merkezi etrafındaki takip ettiği çemberler

Direksiyon sisteminin kinematığını daha iyi anlayabilmek için Ackermann Prensiibinin bilinmesi gerekir. Ackermann Prensiibi taşıtların dönüşünü sağlamak için kullanılan ve bilinen en temel yöntemdir. Bu prensibe göre aracın manevra hareketleri sağlanırken tekerleklerin iki boyutlu alanda aks aralığı ve ön aks genişliğinin bilinmesi gerekmektedir. Tekerleklerde dönme hareketi sağlarken aks milinin yapısı önemlidir. Aks mili yapısının karmaşıklığına bağlı olarak sistemin hareket etme yönü daha iyi kontrol edilebilir. Dümenleme hareketi yaparken yere temas eden teker yüzeyindeki sürtünmeyi en aza indirilmelidir. Bu duruma bağlı olarak tekerleğin zemin ile temas eden yüzeyi, alan merkezine göre dönüş sağlanması gerekir (Şekil 2.2.). Bu şekilde teker milindeki gövdeye uygulanan basınç en aza indirilir. Sistemin kullanım ömrü uzatılmış olur.



Şekil 2.2. Araç tekerinde zemin ile temas eden yüzeyin merkezi

Ackermann Geometrisine göre hesaplanan dümen açılarının kullanıldığı sistemlerde gerilme, sürtünme ve dolayısı ile teker aşınmaları en az düzeydedir. Araçlar manevra hareketi yaparken ön tekerleklerin dik açıları arka tekerleklerin dik eksenini üzerinde aynı noktada kesişir (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Tüm tekerlerin dik açılarının O merkezinde kesişimi

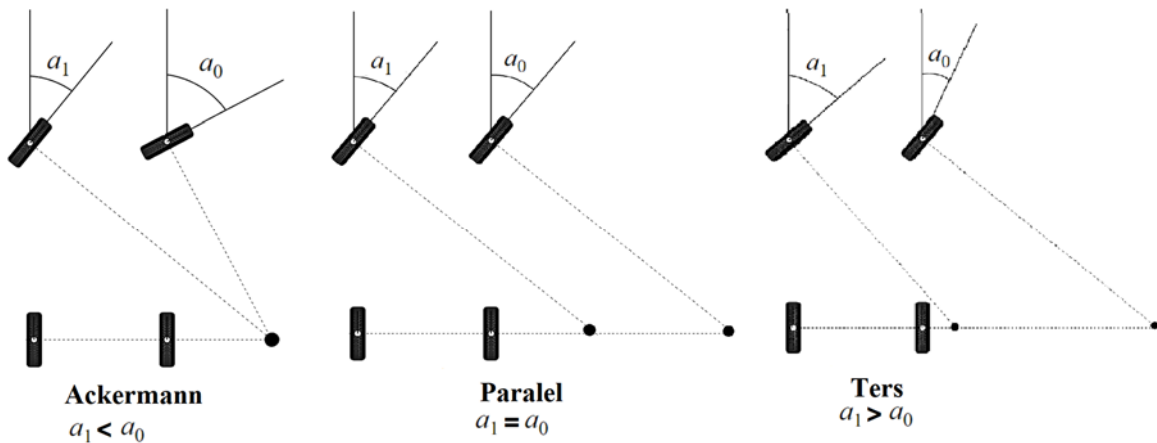
2.2.1. Geleneksel direksiyon sistemi

Günümüzde kullanılan araçlarda manevra kabiliyeti önemli bir husustur. Kullanıcının aracı kullanırken manevra kabiliyeti, aracın teker dönüş esnekliği, aracın büyüklüğü, sürücü ve direksiyon konfigürasyonları ile yakından ilgilidir.

Otomobillerdeki en yaygın çekiş konfigürasyonu, diferansiyel ön çekiştir. Bu konfigürasyon boşta dönen arka teker ve çekişli ön tekerleklerden oluşur. Nitekim bu kadar yaygın olmamasına rağmen arka çekiş olan konfigürasyonlar ve tüm tekerleklerin çekiş gücüne sahip olduğu araçlar da bulunmaktadır. “Birbirinden Bağımsız Teker ve Direksiyon Aksamında” dört tekerleğin hareketini sağlayan motorların dönüşü ayrı ayrı sağlanmaktadır.

Tipik direksiyon sistemli araçların ön tekerleklerine bağlı bir direksiyon mekanizması bulunmaktadır. Arka tekerleklerinde ise direksiyon mekanizması bulunmamaktadır. Araç yol alırken dönüşü sağlayan hareketi ön tekerleklerin direksiyon açısı belirler. Bu ön tekerleklerin açıları birbirleri ile aynı değildir. Aracın direksiyonu tam bir şekilde sağa veya sola döndürüldüğünde dönülen yöndeki teker a_0 açısında diğer taraftaki teker a_1 açısında dönmektedir. a_0 açısı a_1 açısından daha fazladır. Bu durum Şekil 2.3. incelendiğinde daha net anlaşılmaktadır.

Tekerleklerin açılarının manevra hareketi sırasında aynı olması ($a_0 = a_1$) veya açılarının birbirine zıt oranda ($a_1 > a_0$) olması durumunda sistemde sürtünmeler ve mekanik gerilmeler artacağı için bu durum istenmemektedir (Şekil 2.4.).



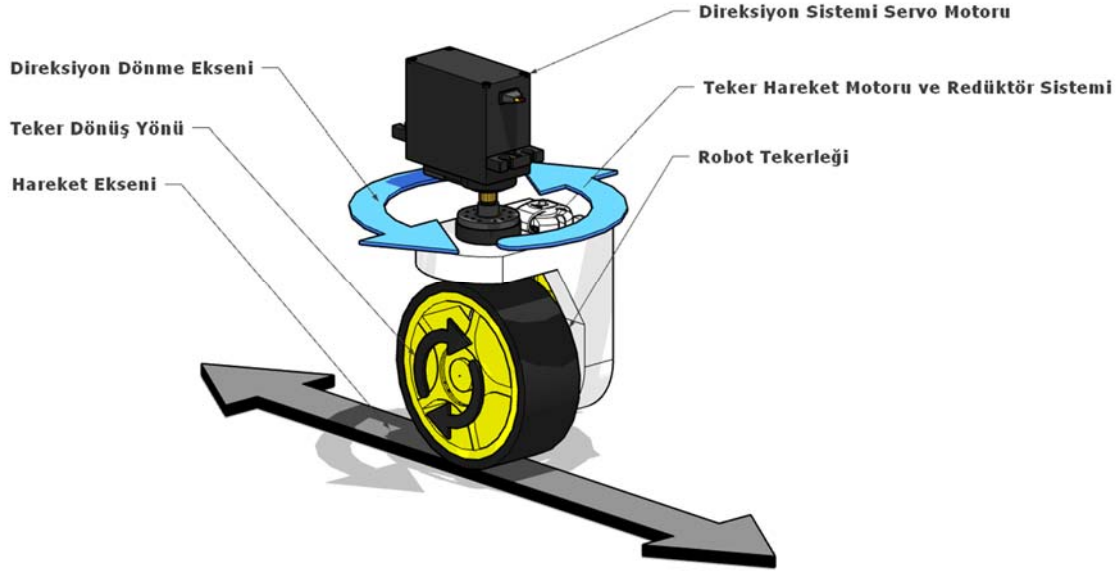
Şekil 2.4. Ön tekerlek açılarının farklı kombinasyondaki durumları

Direksiyon tekerlekleri bu sistemlerde yalnızca aracın düz olması yani direksiyonun orta konumda olduğu durumda birbirine paralel (aynı açıda) durmaktadır.

2.2.2. Birbirinden bağımsız dört teker yönetim sistemi

Ulaşım araçlarının yoğun olarak kullanıldığı ve gün geçtikçe önem kazandığı günümüzde çoğunlukla hareketleri kısıtlara bağlı olarak sınırlandırılmış otomobiller kullanılmaktadır. Bu araçların teker-direksiyon mekanizmaları standart bir diferansiyel kontrole dayalı bir şekilde yapılmaktadır. Ancak bu diferansiyel kontrol mekanizmasının bazı durumlarda içinden çıkılamayacak şekilde sorunlarla karşı karşıya gelmeye neden olmaktadır. Örneğin otomobiller için, bir otoparkta veya sokakta park etme senaryosu üzerine düşünülürse; park alanına park etmek için birtakım zorluklar ile karşılaşmaktadır. Park alanının duvar ile bir araç arasında olması, park alanının iki arabanın arasında olması ve aracınızın girebileceği kadar bir alan olmasına rağmen park etmek için diferansiyel teker mekanizmasından kaynaklı oraya otomobili park edememek gibi sorunlar ile karşılaşabilir. Arabanın, tekerleklerin 90° dönerek ve hareket ederek park alanına girebilmesi mümkün olacaktır. Benzer şekilde bu durumun tam ters halide düşünülebilir, otomobil park edildikten sonra ön ve arka kısmına park edilen araçlar tarafından aracın oradan çıkması güçleşir. Bu durumda da tekerleklerin tümü 90° dönebilir ise yanal hareket ile oradan rahatlıkla çıkabilmesi sağlanır. Bu yöntem projelendirilirken prototip üzerinde uygulanmıştır.

Birbirlerinden Bağımsız Teker Sistemi ve Direksiyon Aksamı için sistemin her bir tekerleğe göre ayarlanabilir direksiyon açısını gövdeye göre 180° esneklikte sağlamaktadır. Direksiyon açılarının kontrolleri ayrı ayrı Direksiyon Servo Motorları(DSM) ile sağlanmaktadır. Kontrol karmaşıklığı her bir teker için ayrı ayrı hesaplanarak DSM ile uygulamaya geçmektedir. Teker açıları ve dönme yarıçapları birbirlerinden farklı olduğu için dolayısı ile sistemin her teker için farklı hız parametreleri de ortaya çıkmaktadır. Sistemin bu alandaki kinematik hesaplamaları yapılarak aracın en iyi stabiliteyi göstermesi sağlanmıştır. Aynı zamanda genel manevra hareketini yaparken minimum dönüş yarıçapına göre kontrol etmemizi sağlayan sistemin prototipi gerçekleştirilmiştir. Sistemin özel dümenleme yöntemi olması ve kontrol yöntemlerine sahip olması teker direksiyon kontrollerinin bir mekanizma ile tek bir kaynağa bağlı kontrol sistemi oldukça güçleşir. Bu neden ile prototipin direksiyon kontrolleri için DSM kullanımına karar verilmiştir (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Teker ve direksiyon sistemi takımı

Dümenleme yöntemleri incelendiğinde 2 tekerlekli direksiyon kontrollü sisteme göre 4 teker dümenlemeli kontrole sahip araçların farkındalıkları ve avantajları vardır.

- Araç virajları daha verimli ve istikrarlıdır.
- Direksiyon tepkisi ve hassasiyeti daha gelişmiştir.
- Yüksek hızlı düz çizgi kararlılığına sahiptir.
- Hızlı, kolay, daha güvenli şerit değiştirme manevralarında kayda değer iyileştirmeye sahiptir,
- Keskin dönüşte daha küçük dönüş yarıçapı ve dar alan manevra kabiliyetine sahiptir,
- Göreceli teker açıları ve kontrolü,
- Bir engele çarpma riski büyük ölçüde azdır.
- Üstün viraj stabilitesine sahiptir.
- Hızlı şerit değiştirme manevralarında kayda değer gelişme.

Tasarlanan prototip sistem kullanımında daha küçük dönüş yarıçapı nedeniyle aracı park etmek daha kolaydır. Sağa veya sola doğru yengeç direksiyon hareketi sağlayarak hareket ederek park eder. Sistem aynı zamanda hızlı şerit değiştirmek için teker kontrolleri geliştirilebilir. Bu durumda sürücünün sistem karmaşıklığını en iyi yöntemle kavrayabilmesi gerekir. Dar yollarda ve virajlarda ön direksiyona ek olarak arkadan direksiyon ile en düşük

yarıçapa sahip dönüş sağlar. U dönüşü sağlanırken aracın dönüş yarıçapını ve arka tekerleklerin karşı dönüş yönünü en aza indirir ve en iyi dönüşü sağlar.

Araç kullanılırken birçok alanda en iyi verimi alabilmek için teker, direksiyon kontrollerini ele alırken öncelikle ne gibi ihtiyaçlar karşısında kullanılacağıının belirlenmesi gerekir. Tipik otomobiller, engelli araçları, endüstriyel alandaki istifleme araçları, ambulans sedyeleri gibi hareket kısıtının artırılmasının istenilebileceği birçok sistem kullanım alanına örnek olarak verilebilir.

Otomobil kullanırken viraj alma gibi durumlarda ön tekerleklerin dönüşü ile beraber arka tekerleklerin de tersi yöne doğru bir açıda dönmesi dönme yarıçapını daraltacağı gibi aracın dönüşü için çok geniş bir alana ihtiyaç kalmayacaktır.

Sistemin değişik şartlara uyum sağlaması ve farklı problemler için çözüm üretmesi gerekir. Bunun için sistemin çok yönlü farklı modlara sahip kontrollerinin olması gerekir. Bir aracın genel kullanımını esnasında ihtiyaç duyabileceği birtakım durumlar vardır.

Araçlar normal seyir halinde iken tipik kontrole sahip olmaktadır. Bu kontrol durumunda aracın arka tekerleklerinin direksiyon mekanizması bulunmuyor. Yalnızca ön tekerleklerin direksiyon kısmı tahrik sistemi ile yönlendirilmekte ve araç bu şekilde dümenlenmektedir. Buna bağlı olarak araç uzun mesafe seyri esnasında idame edilir. Aracın park etme esnasında veya dönme esnasında daha kolay bir şekilde kontrol edilmesi için normal teker kontrol sistemine ek olarak arka tekerleklerin de dümenleme sistemine sahip olması gerekir.

Arabaları kontrol etmek için genellikle direksiyon sistemi kullanılmaktadır. Direksiyon sistemleri motorlu taşıtların dümenlemesi için olmazsa olmazdır. Temel görevi tekerlekleri yönlendirmek olup birçok çeşidi bulunmaktadır. Kontrol kolları veya elektronik kontrol sistemleri zaman zaman direksiyon sistemlerine sahip dümenleme sistemleri, direksiyon sistemlerinin yerini almaktadır. Uzaktan kontrol sistemlerde ise genel olarak elektronik kontrol sistem kullanılmaktadır.

Tez çalışmasında genel bağımsız kontrol sistemi için yapılan hesaplamalar Ackermann prensibine göre araç kinematiğine uygun şekilde yapılmalıdır. Gerek görülen tüm alanlara

uygulanabilecek bu yöntem ile geliştirmeler yapılarak istenilen teknolojiler ile desteklenerek özelleştirilebilir. Sistemin bu şekilde tasarlanması kombinasyonel dönüş sistemini sağlar.

Engelli araçları, engelleri ortadan bir kademe de olsa kaldırmayı amaçlamaktadır. Dönme ve hareket özgürlüğü gereken durumlar ile karşılaşıldığında mevcut teker mekanizması yetersiz kalabilmektedir. Engelli aracının ve dolayısı ile bu aracın sürücüsünün hareketleri sınırlanmış olur. Bu birbirinden bağımsız teker sistemi sayesinde engeller daha da aşılarak sınırlandırılmayan ve engelsiz bir hareket imkânı sağlamak amaçlanmaktadır.

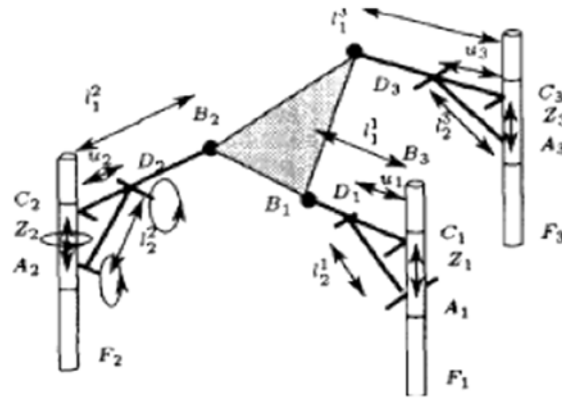
Endüstriyel alanda, özellikle forklift tipi istifleme araçlarının hareketleri bilindiği üzere arka tekerleklerin direksiyon ile tahriklenmesi sayesinde yönlendirilmektedir. Aracın tüm tekerleklerinin bağımsız kontrol edilebilmesi tüm hareketleri daha da kolaylaştıracaktır.

2.3. Stewart Platform Mekanizması

Paralel manipülatör ve seri manipülatörler modelleri günümüzde neredeyse birçok uygulamada hayat kurtarıcı rolü almıştır. Hatta bu sistemlerden hibrit modeller de yapılmaya başlamıştır. Stewart Platformu, paralel sisteme en iyi örnek verilebilir. Stewart Sistemi 1965 yılları içinde uçuş sistemleri için iyi bir simülasyon sistemi olması düşünülmüş ve D. Stewart tarafından yapılmıştır. Zamanla bu tür paralel sistem modeline denizcilik araştırmalarında, inşaat sektöründe, uzay araştırmalarında ve medikal sektörler gün geçtikçe ihtiyaç artırmıştır. Stewart Platform sistemi üzerine yapılan araştırmalar, gün geçtikçe bu mekanizmanın birçok farklı mekanizma ile paralel olarak evrimine yol açmıştır. Bu sistem üzerine yoğunlaşan araştırmacı ve geliştirici çalışmalar sonucunda sistem daha iyi kavranabilir duruma gelmiştir.

2.3.1. Tasarımsal mekanizma modelleri

Paralel manipülatörün uçuş eğitim simule uygulamaları fikri 1965 yılında Stewart tarafından yapıлып ve daha sonrada sisteme adı verilmiştir [12,21]. Bu sistem önceki zamanlar altı adet kolun ve oniki adet mafsalın bağlanmasıyla tasarlanmıştır. Bir kol için alt-üst tabakaya bağlanması ve belli açığa gelebilmesi için iki ucundan ayrı mafsallara bağlanmıştır.



Şekil 2.6. D. Stewart'ın önerdiği ilk platform modeli [12]

Stewart bu sistemi tasarlarken yaptığı çalışmalarla, sistemin çalışır durumdayken yörünge içindeki tüm uzaysal noktalara gidilebileceğini ama sistem çalışır durumda değilken eklem ve mafsalların istenilen açıda sabit kaldığını ortaya koymuştur [12,21]. Paralel, seri ve hibrit model mekanizmaların birbirine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Çizelge 2.1. üzerinde bu farklılıklara değinilmiştir.

Çizelge 2.1. Paralel, seri ve hibrit mekanizmaların karşılaştırılması

Paralel Mekanizmalar	Seri Mekanizmalar	Hibrit Mekanizmalar
Başlangıç ve bitişi arasında birden çok bağ olur.	Ardışık eklemlerden oluşur.	İhtiyaca göre özel bir bağ yapısına sahiptir. Seri ve paralel yöntemler bir arada kullanılır.
Çalışma uzayı sınırlıdır.	Çalışma uzayları büyüktür.	Çalışma uzayı amaca göre şekillenebilir.
Güçlüdür.	Güçsüzdür.	Tasarım yapısına göre güç dengesi vardır.
Yavaştır.	Hızlıdır.	Sistemin hızı tasarıma bağlıdır.
Karmaşık kinematik denklemler kullanılır.	Basit kinematik denklemler kullanılır.	Karmaşık kinematik denklemler kullanılır.
Başlangıçtan itibaren hatalar uç manipülatöre doğru ortalama hataya dönüşür.	Başlangıçtan itibaren hatalar uç manipülatöre doğru toplu hataya dönüşür.	Başlangıçtan itibaren hatalar uç manipülatöre doğru sistemin seri ve paralel tasarım kısımlarına göre denklemler ile hesaplanır.

2.3.1.1. Seri manipülatörler

Sistemde uç işlevcinin ardışık olarak birbirine tek sıra halinde bağlanan hareket eklemlerinin oluşturduğu sistematik modele seri manipülatör denmektedir.

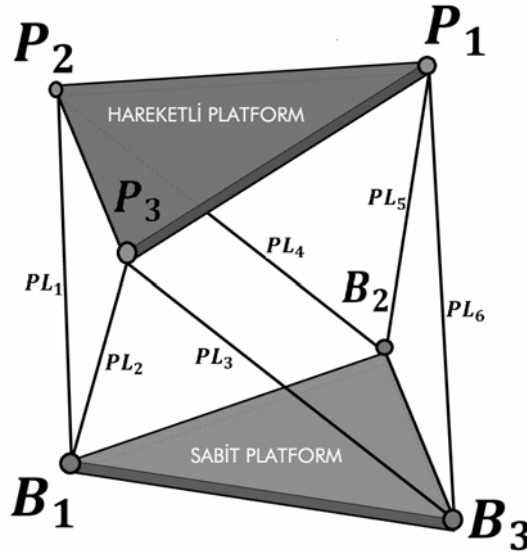
Paralel manipülatörler, seri manipülatöre göre daha hantal sistemlerdir. Aynı zamanda uç işlevcinin hareket uzayı yörünge planlamasında her zaman daha çok kısıtlıdır. Çalışmalardan da anlıyoruz ki, seri manipülatörlerin düz kinematik hesaplamaları, paralel manipülatörlere göre daha kolaydır. İnsanın omuz, dirsek ve bileği gibi benzeri yapıda olmaları seri sistemlerin uzaysal hareket yörüngesinin sınırlarını genişletmektedir. Bu kollara uygun mafsallar kullanılarak istenilen açı ve uzaysal yörünge sınırlarını genişletebiliriz. Seri manipülatörlerin en büyük sorunu yük taşıma sorunlarıdır. Tek noktadan bağlı oldukları için, yük taşıma gibi amaçlarda tercih edilmezler. Tabii bu yük taşıma durumu seri manipülatör kullanımını fazla düşürmemiştir. Endüstrinin her yerinde, sağlık alanları ve hatta askeri alanlarda kullanıldığı bilinmektedir [14].

2.3.1.2. Paralel manipülatörler

Amaç doğrultusundaki işlevi yapan uzaysal hareket kabiliyetli uç sistemin, iki ve daha fazla kol ile alt tablaya farklı eklem noktalarından bağlanmasına paralel manipülatör adı verilir. Bu manipülatör çeşidinin dünyada en çok kullanıldığı alanlar güç ve sağlam koordinat sistemi isteyen alanlardır. Paralel manipülatörün en çok kullanıldığı modeli ise, Stewart'ın tasarlayıp geliştirdiği manipülatörlerdir [22].

Bu çok işlevli manipülatörler ortaya çıktığından beri, çok önemli alanlarda kullanılmıştır. Denge sistemlerinde, tıp sektöründe cerrahi uygulamalarda ve tabii ki uçuş öncesi eğitim sistemlerinde kullanılmıştır. Bunlarla kalmayıp saymadığımız birçok alanda paralel manipülatör çeşitleri, teknolojiye yerini kaybetmeyip her geçen gün daha da gelişmektedir.

Bu manipülatörün uzaysal hareketini sağlayan uç işlevcinin yörünge sınırları, kolların açıları ve kolların bağlı olduğu mafsalin verdiği açı ile sınırlıdır. Bu nedenle üretim yapılırken amaca yönelik güçlü ve istenilen açığa göre düşünülmelidir. Bu tezde yapılan Stewart Platformu da paralel sisteme örnek oluşturur. Şekil 2.7. 'de paralel sisteme örnek verilmiştir.



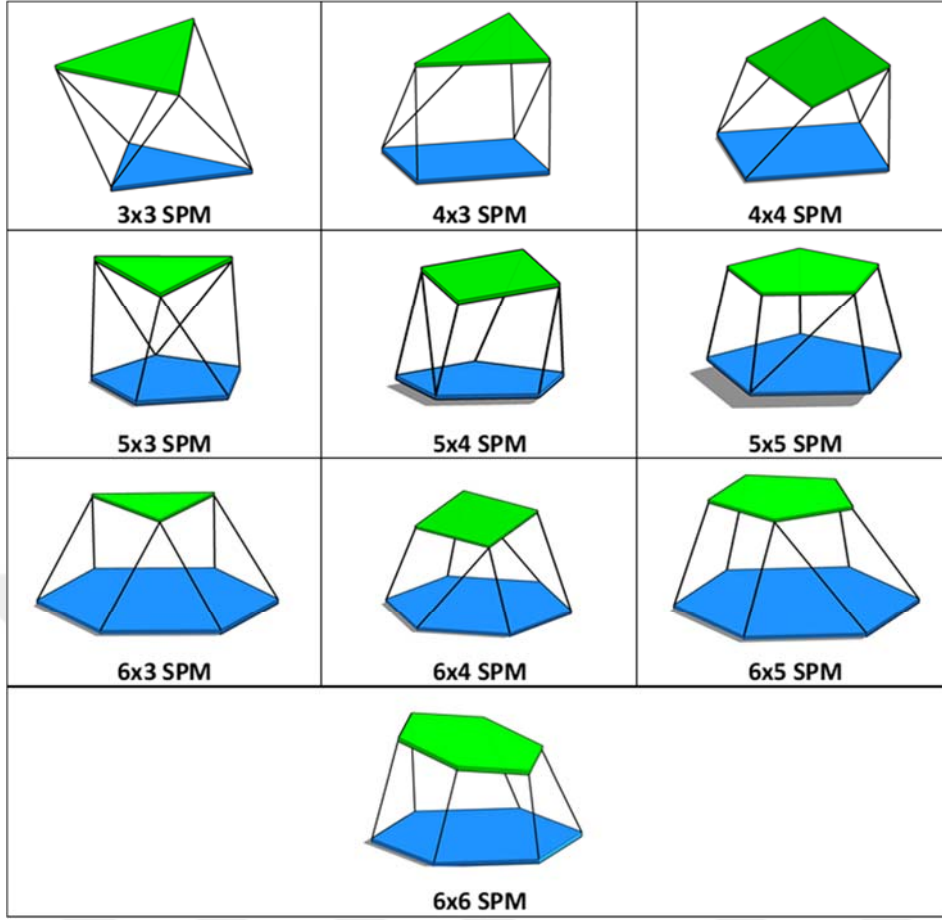
Şekil 2.7. 3x3 modelinde paralel manipülatör

2.3.1.3. Hibrit model manipülatörler

Seri manipülatör ve paralel manipülatör sistemlerinin bir arada kullanıldığı sistemlere hibrit manipülatörler adı verilir [12,21]. Seri modele göre kinematik hesaplamaları daha kolay iken, paralel modelde ise kinematik hesaplamaları zorlaşmaktadır.

2.3.2. Stewart Platform Mekanizması türleri

Bu tezde, geliştirilmiş direksiyon teker sistemine sahip aracın üst mekanizmasına, denge yöntemi amacı üzerine Stewart Platform Mekanizması uygulanmıştır. Altı mafsallı eksenli üzerine hareket sağlayan bu sistem, 3x3 bir Stewart mekanizması şeklinde, ters kinematik uygulanarak tasarlanmıştır. Ters kinematik metodunda amaç, üst taşıyıcı sistemin belli yönde intikal etme ve dönme hareketinden bacak uzunluklarının sisteme adapte edilmesi için hesaplanmasıdır. Platformunun çalışmalar ve deneyler sonucunda günümüzde 4 aktif sistem modeli mevcuttur.



Şekil 2.8. Farklı bağlantı modellerinde Stewart Platform Mekanizması türleri

Çalışması sonucunda “3x3” üç kollu, “3x3, 4x3, 4x4” dört kollu, “3x3, 4x3, 4x4, 5x3, 5x4, 5x5” beş kollu ve “3x3, 4x3, 4x4, 5x3, 5x4, 5x5, 6x3, 6x4, 6x5, 6x6” altı kollu [5] sistem modelleri incelenip “3x3” altı kollu sistem tez çalışması kapsamında projelendirilerek yapılmıştır. Bu Stewart Platform Mekanizması türlerinin çizgi modelleri Şekil 2.8. ‘de gösterilmiştir.

Stewart Platformunda taşıyıcı görevi üstlenen ve kontrol edilebilen üst tablanın, mafsallarla alt tablaya bağ oluşturma da kullanılan kollar sistemin uzaysal hareketini belirler. Bu nedenle günümüzde amaç doğrultusunda gerek seviyesine göre çeşitli Stewart Platform modelleri yapılmıştır.

2.3.2.1. 3x3 Stewart Platform Mekanizması

Bu platform mekanizması, dayanıklı denge ve uzaysal hareket açısından diğer sistemlere oranla öndedir. Ancak bağlantı noktalarının sağlam bir zemine oturtulması gerekmektedir. Bilinmelidir ki, bütün yük üç noktaya binmektedir. Alt tablaya üç bağlantı ve üst tablaya üç bağlantı oluştuğunda sistem tamamlanır. Ancak, noktalar arası tek yönde çapraz kol bağlantısı yapılmalıdır. Bu doğrultuda kol sayısı altı olmalıdır. Bu tezde anlatılan bu yöntemli Stewart Platform Modeli uygulanmıştır.

2.3.2.2. 3x6 Stewart Platform Mekanizması

Bağlantı kolları, alt tablaya üç bağlantı ve üstte bulunan tablaya altı noktadan bağlanmış ise bu modele uygun bir Stewart Platformudur. Altı adet bağlantı kolu olması gerekmektedir.

2.3.2.3. 6x3 Stewart Platform Mekanizması

Bağlantı kolları, alt tablaya altı bağlantı ve üst tablaya 3 bağlantı oluşturmuşsa 6x3 modelinde bir Stewart Platformu olabileceğini belirtebiliriz. Yalnız burada bağlı olan kol sayısının da altı olması gerekmektedir. Çünkü alt platforma bağlantı sayısı altı olacağından, taşıyıcı kollarında da bağlantının doğru orantılı olması gerekmektedir.

2.3.2.4. 6x6 Stewart Platform Mekanizması

Bu bağlantı modelinde, üst ve alt tablalar üzerinde altı adet bağlantı noktası bulunmaktadır. Altı noktadan bağlı olduğundan ve altı koldan bağlandığı için güçlü bir yapıya sahiptir. Ancak bu modelde sistem farklı bir yapıda olduğundan, alçalan ve yükselen kol komşularında, tahrik sistemi ile birbiriyle etkileşim halinde olması gerekmektedir. Buda yapının güçlü ama zor kontrol edilmesi şeklinde tanımlamaktadır.

2.3.3. Platform mekanizmasında piston yapısı ve kinematik hesaplama

Sistemde sabit olan alt plaka ile üst plaka arasındaki mesafe ve birbirine göre olan açıları belirli kinematik hesaplamalara bağlı şekilde değiştirilmektedir. Sistem kinematiğinin doğru

sağlanması ile bağlantılı olarak Stewart Platform Mekanizmasının (SPM) altı serbestlik derecesine sahip hareketler sağlanması ile doğrudan ilişkilidir.



Şekil 2.9. Pnömatik, hidrolik ve elektrikli piston modellerine örnekler

Üç boyutlu uzayda iki nokta arasındaki mesafeyi kontrol etmek çeşitli mekanizmalar ile sağlanabilir. Bu doğrultuda hareketin olduğu her yerde doğrusal hareketi görmemiz mümkündür. Bu gibi durumlarda doğrusal veya dairesel hareket mekanizmalarından faydalanılmaktadır. Endüstri, tıp, tarım alanı gibi akla gelebilecek birçok alanda ve hatta gündelik yaşamda çocuklara alınan elektrikli araba vb. birçok oyuncularda dahi kullanılan sistemlerde hareket sistemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Sistemin kullanıldığı alana ve ihtiyaca göre etki mekanizmasını çalıştıran enerji türü değişir. Mekanik sistemlerde Şekil 2.9. 'da görülen pnömatik, hidrolik ve elektrik enerjilerine sahip lineer kontrol mekanizmaları vardır. Bu sistemlerin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır (Çizelge 2.2.).

Çizelge 2.2. Pnömatik, hidrolik ve elektrikli piston mekanizmalarının karşılaştırılması

	ELEKTRİK	PNÖMATİK	HİDROLİK
Akışkanlık Direnci	-	Düşük	Yüksek
Akışkanlık Hızı	300.000 km/sn.	50-100 m/sn.	4-6m/sn.

Silindir Hızı	-	1-2 m/sn.	0.2 m/sn.
Aktarılan Güç	1200 Kg < Güç	3000 Kg > Güç	10.000 Kg < Güç
Faaliyet Şartları	Hijyenik	Hijyenik	Kirli
Faaliyet Basıncı	110V-380V	6-8 Bar	5-700 Bar
Enerji Transfer Mesafesi	Sınırsız	1000m	100m
Depo Edilebilirlik	Düşük	Aşırı	Düşük
Geri Dönüş	Mevcut Değil	Mevcut	Mevcut
Enerji Transferi	Elektron	Hava	Yağ

Stewart Platform Mekanizması prototipi gerçekleştirmek ve doğrusal hareketi sağlamak için doğru elektrik akımı ile çalışan servo motorlar kullanımına karar vererek uygulama tasarımı buna göre yapılmıştır. Doğru akım enerjisi özel tasarımı nüveye sarılı bobinlerden geçerek nüve etrafında manyetik alan oluşturmaktadır. Oluşan manyetik alan sayesinde rotor parçasının manyetik alanı takip etmesi sağlanır ve bunun sonucu dairesel hareket oluşturulur. Oluşan dairesel hareketin sürekliliğinin sağlandığı sistem dc motor olarak adlandırılır. DC motora enerji verildiği sürece dönmeye meyillidir ancak her elektrik verildiğinde dönüyor denemez, yük altında iken dönememe gibi durumların da yaşandığı görülmektedir. Tam tersi durum da göz önünde bulundurulabilir; enerji verilmeyen dc motorların dönme milinin el ile çevrilmesi mümkündür.

DC motorlar tek başlarına kullanılırken hız ayarlama ve hatta konumlandırma konusunda yetersizdirler. Sınır anahtarları, enkoder, potansiyometre ile motor birlikte kullanılarak konum, hız gibi bilgilerin okunması mümkün kılınır. Motorun konum bilgilerinin okunması ve bunun çarklı sistemler ile desteklenmesi ile sisteme tork kazandırılabilir ve aynı zamanda hassas konumlandırma ve hız ayarlamaları yapılabilirler. Servo motorlar bu döngüyü sağlayabilmek için bünyelerinde genellikle enkoder veya potansiyometre bulundurmaktadır. Endüstriyel servolar genellikle enkoder, hobi projeleri veya küçük prototiplerdeki RC servo motorlar ise potansiyometre ile geri besleme sağlamaktadırlar.

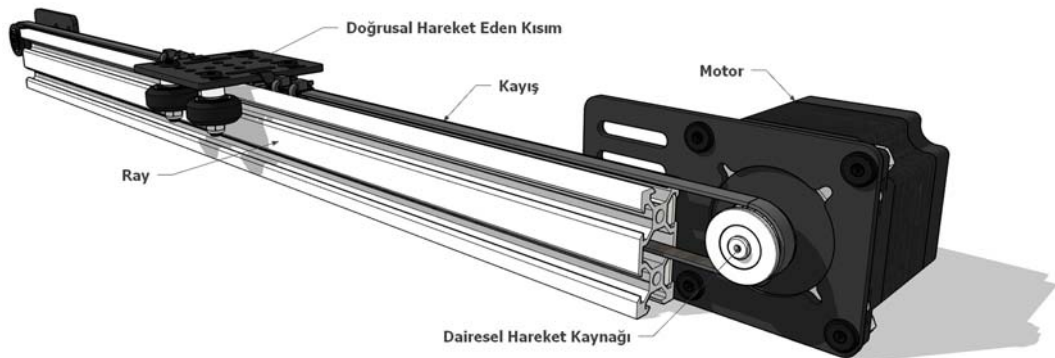
Dairesel bir hareket kaynağını kullanarak bu hareketten öteleme hareketini yani doğrusal hareket elde etmeyi mümkün kılan birçok yöntem bulunmaktadır. Motorlar ile doğrusal hareket sağlamak için vidalı hareket mili, triger kayış, kremayer dişli sistemi veya krank mekanizması kullanılabilir.

Vidalı hareket mili ile doğrusal hareket: Vida eksenini takip eden doğru üzerinde hareketi sağlamak amaçlı dönme kaynağını kullanır. Genellikle öteleme hareketine ihtiyaç duyulan veya kuvvet elde etmek istenen yerlerde sık sık kullanılır. Kullanım alanına CNC makineleri, 3B yazıcılar örnek verilebilir (Şekil 2.10.).



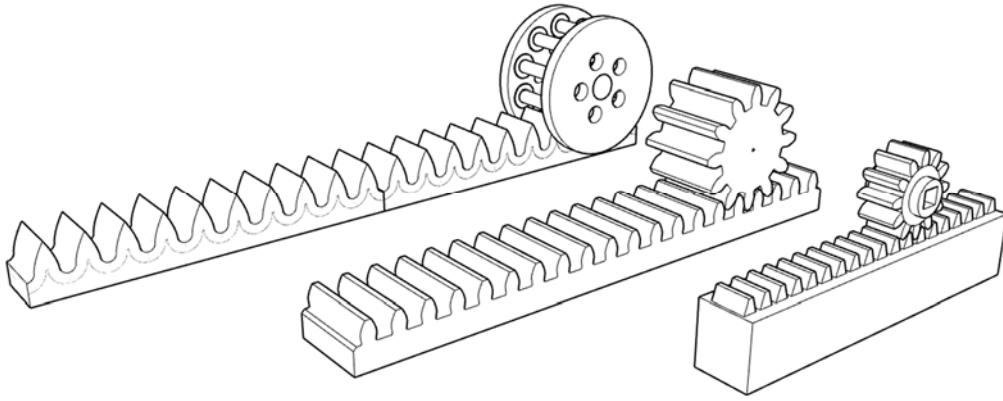
Şekil 2.10. Vidalı hareket mili ile doğrusal hareket sistemine örnek

Triger kayış ile doğrusal hareket: Triger tahrikli sistemler hız gerektiren yerlerde daha çok tercih edilmektedir. Genellikle yatay ekseninde tercih edilen sistemlerdir. Kurulu bir rayı veya mili takip eden serbest sistemin kayış ile hareketi sağlanır (Şekil 2.11.). Sistemin uzunluğu tasarıma göre değişir. Bu nedenle 1-2 metreyi aşan uzunluklardaki kayışın esneme katsayısının etkisi nedeni ile kremayer dişli sistemlerin kullanılması tercih edilir. Endüstriyel alanda ve 3D yazıcı sistemlerinde çok sık kullanılır.



Şekil 2.11. Triger kayış ile doğrusal hareket sistemine örnek

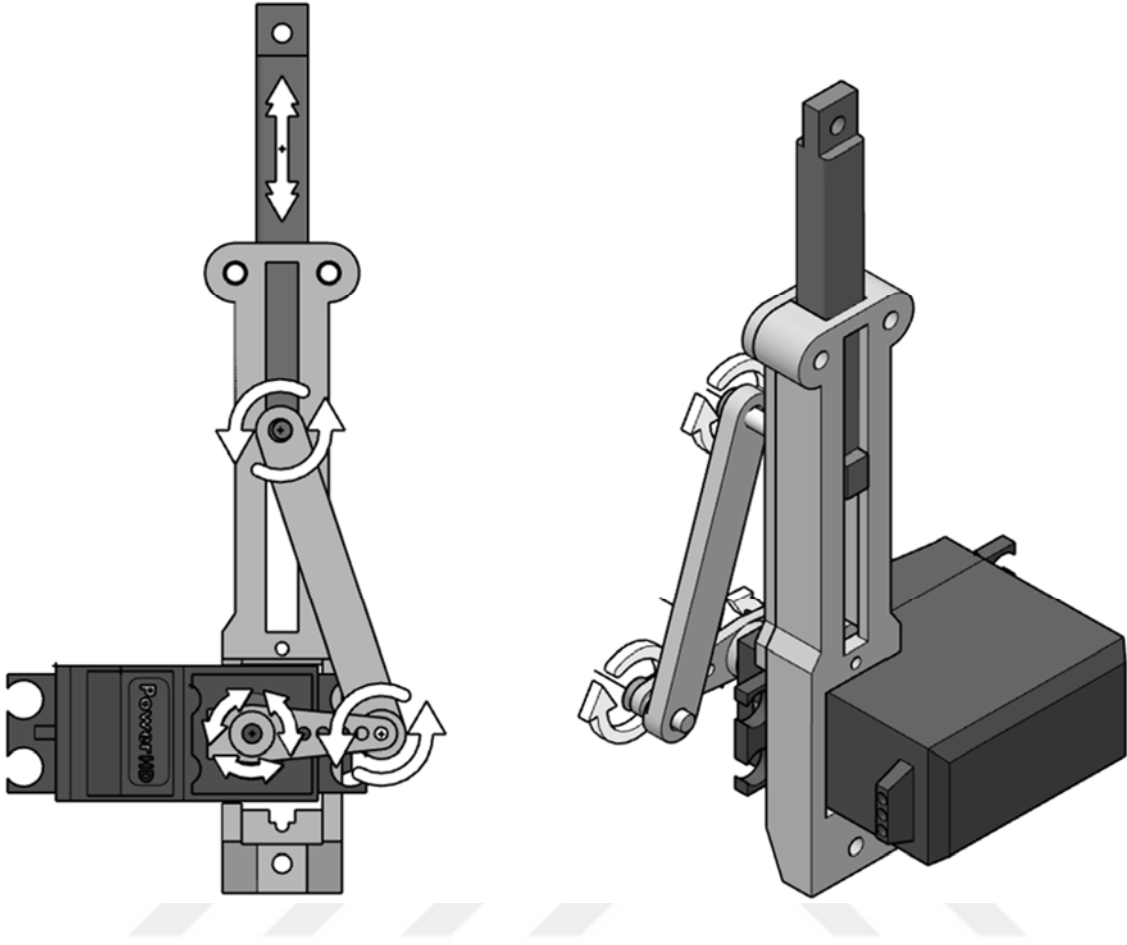
Kremayer dişli sistemi ile doğrusal hareket: Kremayer dişlisi, bir dişli çark çeşididir. Üzerinde doğrusal olarak düz ve helisel dişler açılmıştır. Motor miline bağlı olan küçük silindirik dişli çark bulunmaktadır bu ise pinyon dişli olarak adlandırılır. Endüstriyel alan, matkap tezgâhları torna tezgâhları gibi alanlarda kullanılır (Şekil 2.12.).



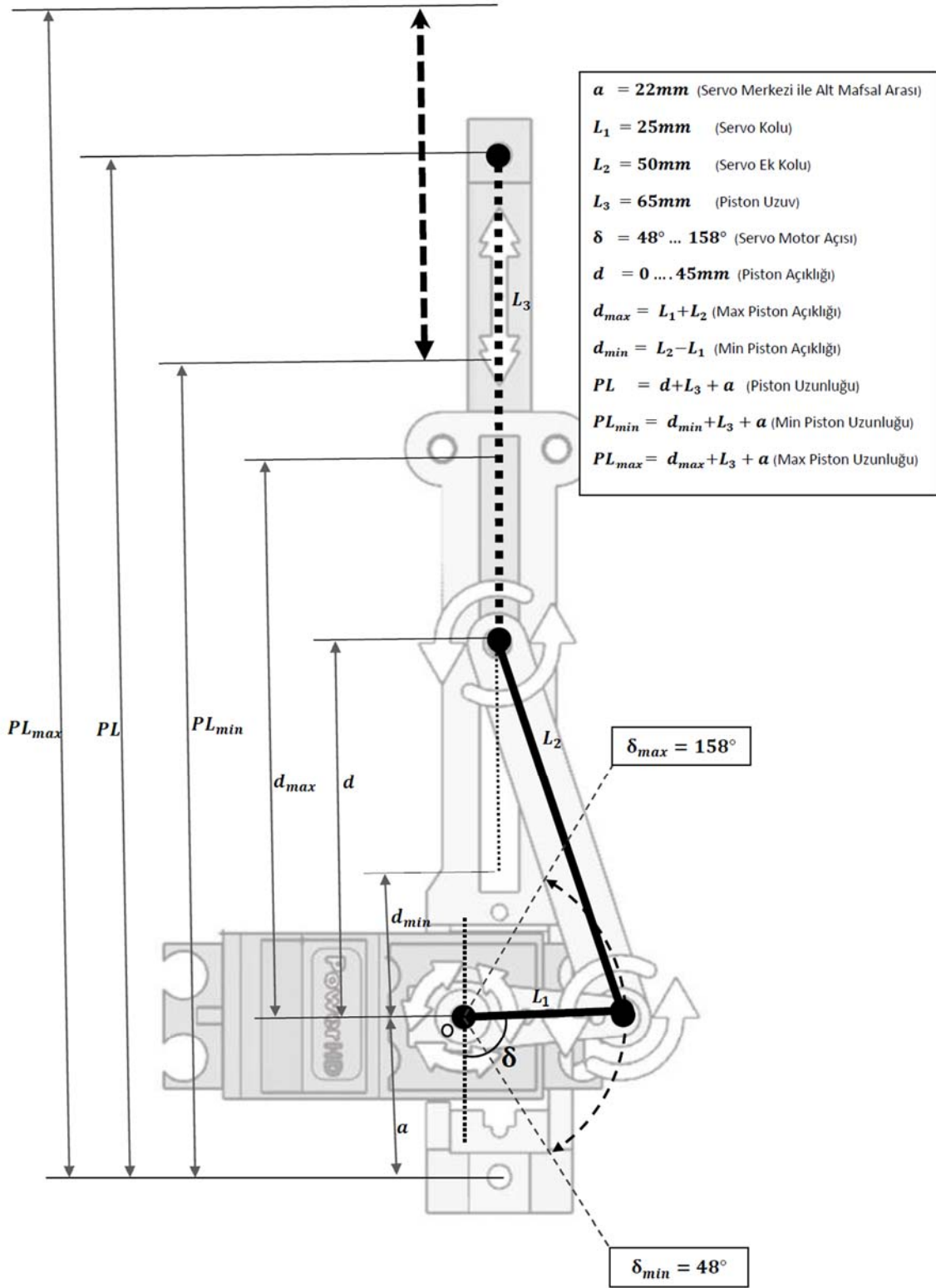
Şekil 2.12. Kremayer dişli sistemi ile doğrusal hareket sistemine örnek

Krank mekanizması ile doğrusal hareket: Dönen merkeze bağlı bulunan kol ve bu kola bağlı eklem ile belirlenen bir doğrusal yol üzerindeki sistemi hareket ettirmek için kullanılan sistemlerdir. Sistemde doğrusal konumlandırmada yapılan hesaplamalar diğer sistemlere göre daha karmaşıktır.

Stewart Platform Mekanizması doğası gereği alt ve üst plaka arası hareketleri sağlamak için bir piston benzeri mekanizmaya ihtiyaç duyar. Sistemimizde kullanılmak üzere tasarlanmış krank mekanizması mantığı ile çalışan piston Şekil 2.13. 'de görülmektedir. Tasarlanan mekanizma üzerinde dairesel hareketi sağlayan servo motor kullanılmıştır. Bu servo motor 0° ile 180° arasındaki istenilen açığa Arduino kartına yazılan program sayesinde getirilebilir.



Şekil 2.13. Krank mekanizması ile doğrusal hareket sistemine örnek



Şekil 2.14. Piston mekanizması ve ölçülemeleri

Sistemin genel karakteristiği gereği L_1 servo kolu ile servo motorunun O dönme merkezinden alınan dairesel hareketi L_2 ek iletim kolu ile L_3 piston koluna iletilmesi sağlanır. L_3 piston kolu kendisine ayrılan yol üzerinden gidip gelerek doğrusal hareketi

sağlar. L_3 kolunun alt bağlantı noktasının yer değişimi doğrusal olarak d_{max} ile d_{min} arasında değişmekte ve d olarak isimlendirilmektedir. Bu sistemde d için en fazla $d_{max} - d_{min}$ kadar uzama olmaktadır. Bu durum $2L_1$ olarak da ifade edilebilir (2.1).

$$d_{max} - d_{min} = 2 \cdot L_1 \quad (2.1)$$

Doğrusal hareketin incelenmesi için denklem (2.2) ve denklem (2.3) 'nin iyi anlaşılması gerekir. Bu tasarım için dairesel hareketi doğrusal olarak daha doğru yorumlamak ve dönüşümü sağlamak gerekir. İki farklı yöntem ile dönüşüm yapılabilir. İstenilen bilgi d uzunluğu ise δ açısının değişimi girdi olarak alınır ve denklem (2.2) kullanılır. Erişilmek istenen bilgi δ açısı ise burada ise d değişken parametresi denklem (2.3) kullanılması ile elde edilir.

Servo motor açısı (δ) kullanılarak açıklık mesafesini (d) bulmak için:

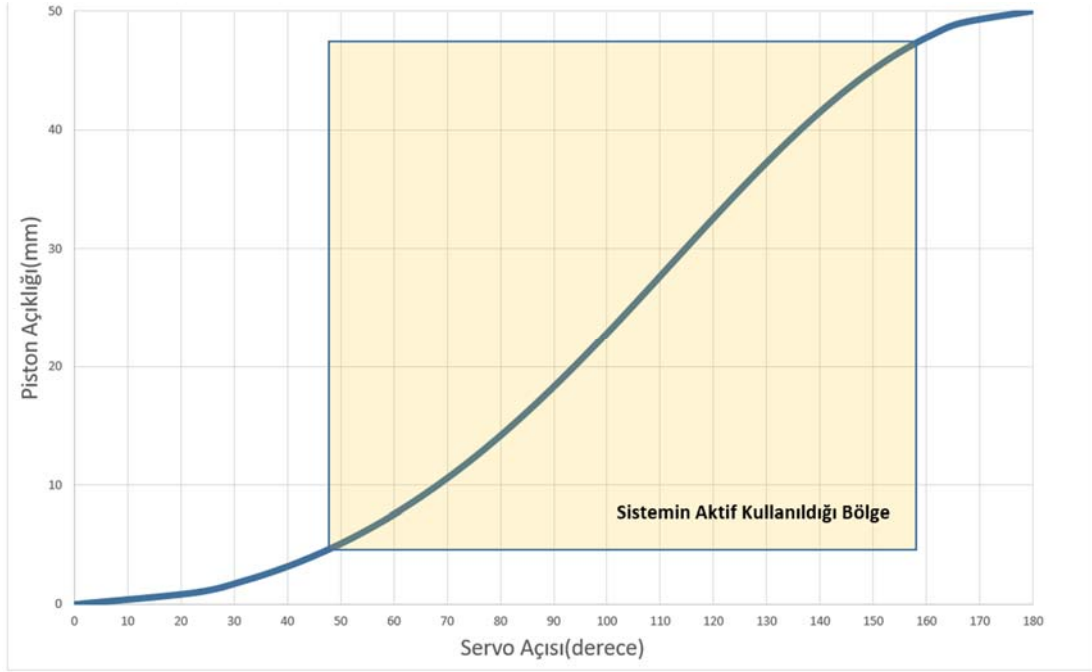
$$d = L_1 \cdot \cos(\delta) + L_2 \cdot \cos(\sin^{-1}(-L_1/L_2 \cdot \sin(\delta))) \quad (2.2)$$

denkleminde faydalanılır. Açıklık mesafesinden (d) servo motor açısı (δ) bulunmak istenir ise:

$$\cos \delta = \frac{PL - (PL_{min} + L_1 - L_2)^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_1(PL - (PL_{min} + L_1 - L_2))} \quad (2.3)$$

denklemini kullanılabilir.

Sistemimiz dairesel hareketin doğrusala dönüşmesi temeline dayalı fakat biz istenen açıklık mesafesini (d) elde etmek için motor açısı (δ) kaç derece olması gerektiğini hesaplamalıyız. Bunun için denklem (2.3)'ten faydalanılır. Bu denklemin kullanılması sonucu Şekil 2.15. 'te görüldüğü gibi bir çıktı ile karşılaşılmaktadır. Grafik üzerinde belirtilen kısımda sistem gerçeğe uyarlanarak düzgün çalıştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.15. Servo açısı ile piston açıklığı bağıntı grafiği

Grafikte servo motorun dönme açısının (δ) 48° 'den (δ_{min}) küçük ve 158° 'den (δ_{max}) büyük olduğu kısımların açısal değişiminin piston açıklığına (d) etkisi incelendiğinde, ara açılardaki kısımlara göre daha az olduğu görülmektedir. Bu alanlardaki açısal değişim fazla fakat d uzunluğuna olan öteleme etkisi daha azdır. Bu alanlara ölü konumlar denir. Öteleme etkisi ve tork birbirleri ile ters orantılıdır. Açısal olarak ölü konumlarda tork daha yüksektir. Gerçeğe uyarlanmış sistemde ölü alanların kullanımından yeterince kaçınılmıştır.

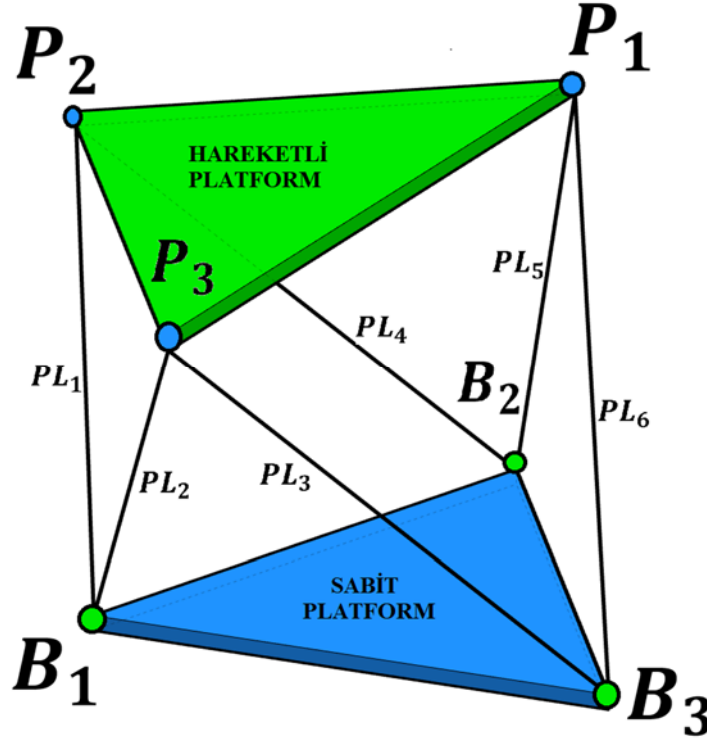
2.3.4. Stewart Platform Mekanizmasında ters kinematik

Stewart Platform Mekanizmasının ters kinematik analizinde, üst tablaya bağlı taşıyıcı kolların açı değerleri ve kolların bağlı olduğu mafsalların açı değerleri ters kinematik ile bulunabilir. Stewart Platform Mekanizmasının tam koordine yazılımı için bacak uzunluk hesaplanması, ters kinematik problemin çözümü için tek yoldur [23].

Sistemde uzaysal çalışma ortamı analizinde ters kinematik metodu kullanmak için aşağıdaki üç değişken yapı ele alınmalıdır [24]. Bu değişken yapılar:

- Ekleme kol uzunlukları,
- Eklemin bağlı olduğu mafsalların hangi açıda olduğu,
- Taşıyıcı kolların birbirine değme durumu şeklinde olmaktadır.

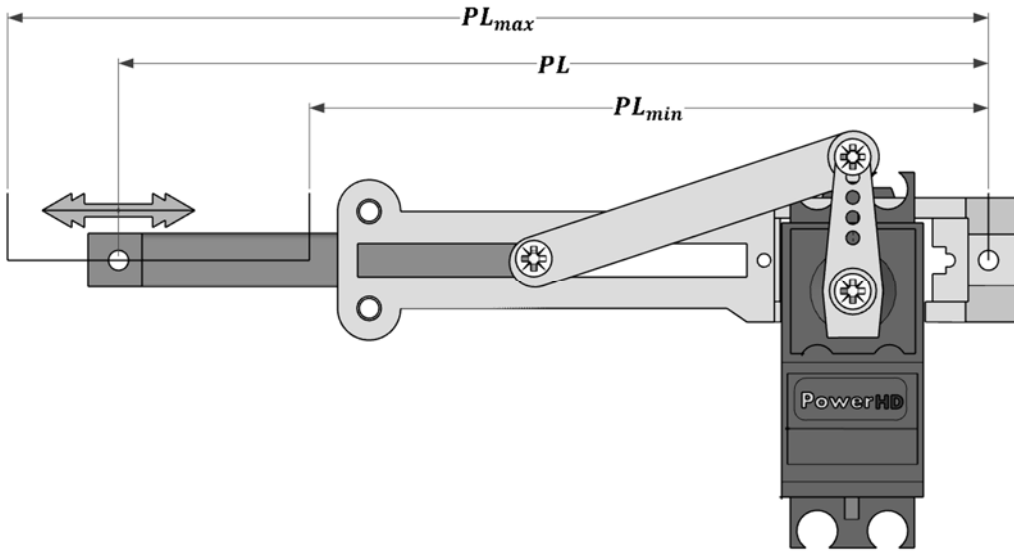
Uzaysal harekette bu değişkenlerin verdiği değere bağlı olarak ters kinematik hesabı yapılmakta ve matris kümesi anlık değişmektedir. Aşağıdaki örnek ile bu sistem dinamiğini daha iyi kavrayalım. Sistem 3x3 modeli, 6 bacaklı bir Stewart Platformudur.



Şekil 2.16. 3x3 modelinde 6 bacaklı bir Stewart Platformu

Şekilde belirtilen sistem üst ve alt tabla da eşkenar bir üçgen şeklinde olup, alt platform yere sabit iken, üst platform amaca yönelik uzaysal hareketleri yapmaktadır. Alt tabla B_i , üst tabla P_j eklem bağlantı noktalarından yarım küre şeklindeki mafsallarla, ters bir kinematik analizi kullanılarak uzunluğu değişen kollar sayesinde birbirine bağlı şekildedir. Alt tabla ve üst tabla bağlantı sayısı üç olup eşit yapıdadırlar. Kol sayısı altı adettir ($i = 1..3$, $j = 1..3$) [25].

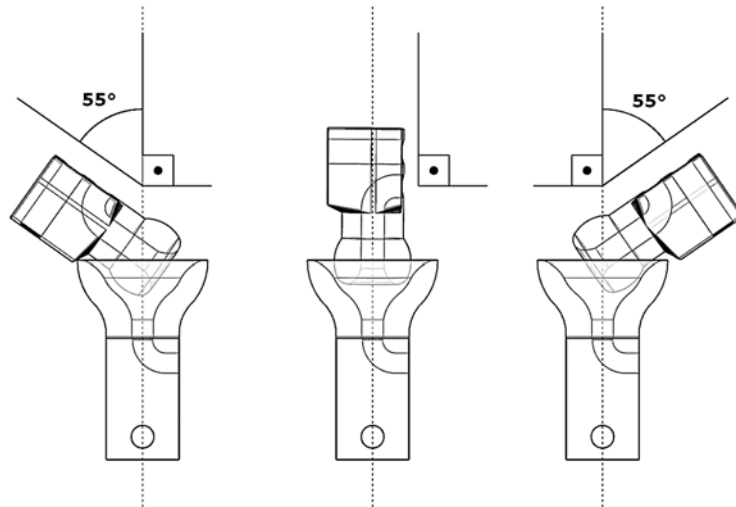
Stewart Platformları modellerine göre çeşitlilik gösterir. Eklem bağlantı noktalarından alt ve üst tablayı birbirine bağlayan kollar bulunmaktadır. Bu kollar çalışmadaki tasarlanan Stewart Platform Modelinde altı adettir. Şekil 2.17. 'de tezde kullanılan Stewart kolu bulunmaktadır.



Şekil 2.17. Sistemde kullanılan piston mekanizması en küçük ve en büyük uzunlukları

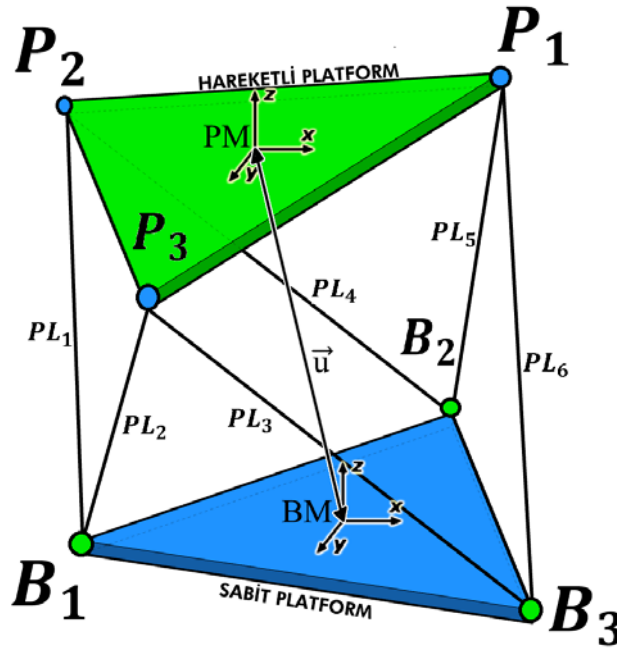
Stewart Platform modelimizin kol uzunluğu PL şeklinde olmakta ve uzunluğu kinematiğe göre $PL_{min} < PL < PL_{max}$ aralığında değişmektedir.

Bu sistemde kolları alt ve üst tablaya bağlayan yarı küre şeklinde mafsallar bulunmaktadır. Bu mafsallar amaca uygun şekilde üç boyutlu yazıcıda üretilip tez çalışmasında kullanılmıştır. Mafsal üretiminde dikkat edilmesi gereken önemli nokta, mafsalın uzaysal hareketi sağlanması için açığa uygun olması gerekmektedir. Mafsalı 80° açıda tasarlayıp, sistemde 55° açıda kullanmaktayız. Üst tablanın yere göre eğimi 23° 'dir. Şekil 2.18 'de tez için üretilen platformda kullanılmak üzere 3B yazıcıda üretilen mafsalın tasarım görüntüleri ve sınır açıları gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Mafsal ve sınır açılarının tasarım üzerinde gösterimi

Şekil 2.19. 'da belirtildiği gibi, alt sabit Platformun (BM) ve üst hareketli Platformun (PM) koordinat sistemleri sırası ile $BM(x, y, z)$, $PM(X, Y, Z)$ şeklinde belirtilmiştir. Platformların sabitten hareketliye olan konumu u öteleme vektörü şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Platformun eksen düzeneği ve öteleme vektörü

Alt plakanın $BM(x, y, z)$ koordinat sistemi için bağlantı noktalarının konum vektörleri b_i ile ifade edilir ($i = 1..3$). Üst plakanın $PM(X, Y, Z)$ koordinat sistemi için ise bağlantı noktalarının konum vektörleri p_j ile ifade edilmiştir ($j = 1..3$). Bu durum için PL_i pistonun vektörü denklem (2.4) ile elde edilir [25].

$$\overrightarrow{PL_i} = {}^B R_P \cdot \overrightarrow{p_j} + \vec{u} - \vec{b}_i \quad (2.4)$$

Üst plakanın alt plakaya göre üç ekseninde yönelme hareketi ${}^B R_P$ dönüşüm matrisi ile ifade edilmektedir. Burada B platform koordinat takımını gösterirken P döner koordinat takımı ve P'nin B'ye göre dönüşünü (rotasyonunu) gösterir. Rijit cisimlerin üç boyutlu uzaydaki yönelimini ifade etmek için azami gereklilikte olan euler açısı kullanılarak ifade edilir. Euler açısı için üç eksenindeki hareketleri ifade etmede literatürde; elevation (yükseklik), roll (döndürme) ve azimuth (istikamet açısı) terimleri sıklıkla kullanılmaktadır. Sırasıyla x, y, z eksenleri doğrultusundaki yapılan dönme hareketlerini ifade eder. Buna istinaden x, y, z eksenlerinin etrafındaki dönüşleri e, r, a açıları ile tanımlayabiliriz. Bu açıların sisteme uygulanması durumunda ${}^B R_P$ dönüşüm matrisi:

$${}^B R_p = \begin{bmatrix} \cos(a) \cos(r) & \cos(a) \sin(r) \sin(e) - \sin(a) \cos(e) & \cos(a) \sin(r) \cos(e) + \sin(a) \sin(e) \\ \sin(a) \cos(r) & \sin(a) \sin(r) \sin(e) + \cos(a) \cos(e) & \sin(a) \sin(r) \cos(e) - \cos(a) \sin(e) \\ -\sin(r) & \cos(r) \sin(e) & \cos(r) \cos(e) \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

olarak ifade edilir [25].

Baz olan B platformun açısal hız ve açısal ivmelerini yazarsak,

$$\omega = \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \cos(e) & \sin(e) \cos(r) \\ 0 & \sin(e) & -\cos(e) \sin(r) \\ 1 & 0 & \cos(r) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{e} \\ \dot{r} \\ \dot{a} \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Açısal hız dönüşümü görülür [26]. Aynı şekilde açısal ivme, yani türevini alırsak,

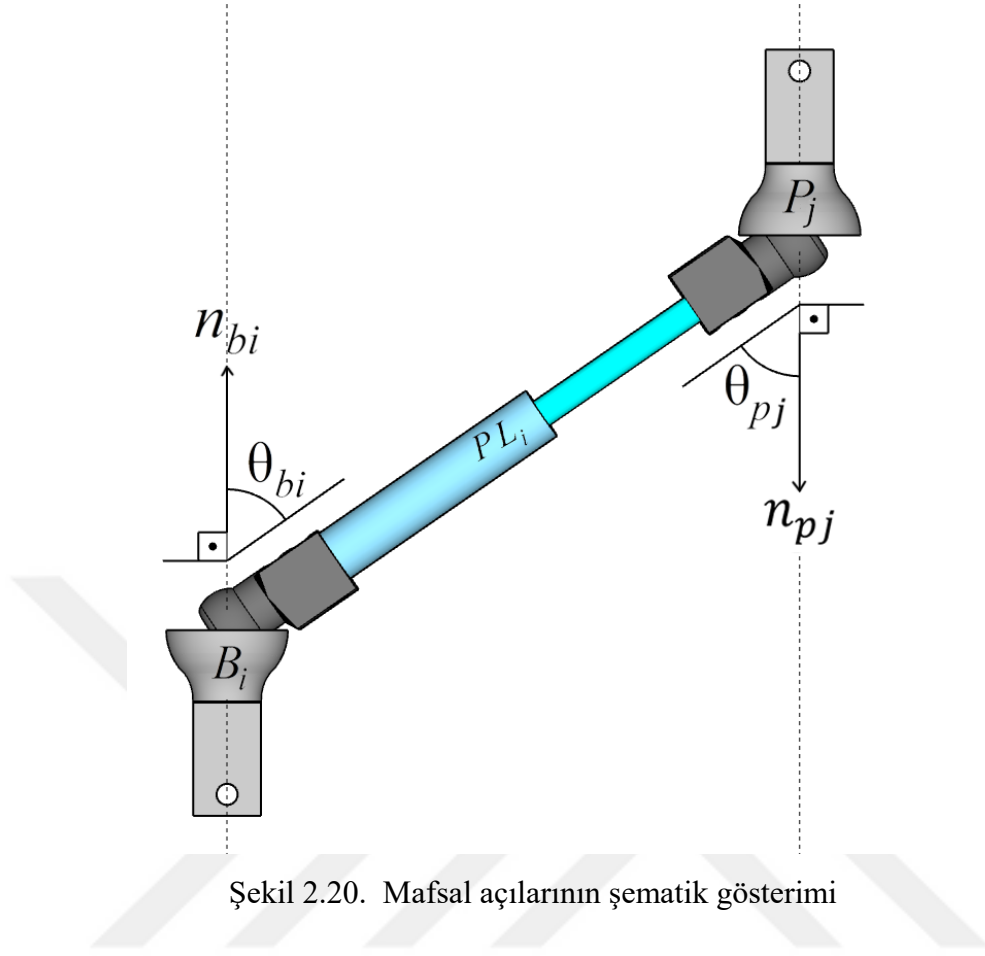
$$\alpha = \begin{pmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \\ \alpha_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \cos(e) & \sin(e) \cos(r) \\ 0 & \sin(e) & -\cos(e) \sin(r) \\ 1 & 0 & \cos(r) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{e} \\ \ddot{r} \\ \ddot{a} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -\dot{e} \sin(e) & \dot{e} \cos(e) \sin(r) + \dot{r} \sin(e) \cos(r) \\ 0 & \dot{e} \cos(e) & \dot{e} \sin(e) \sin(r) - \dot{r} \cos(e) \cos(r) \\ 1 & 0 & -\dot{r} \sin(r) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{e} \\ \dot{r} \\ \dot{a} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Açısal hız dönüşümü görülür [26]. Ters pozisyon kinematiği için ise:

$$PL_i = \sqrt{\overrightarrow{PL_i} \cdot \overrightarrow{PL_i}} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8) ile i 'nci pistonun uzunluğu ifade edilir. Tüm pistonlar için bu işlemler yapılarak piston uzunlukları hesaplanır. $PL_{min} < PL_i < PL_{max}$ koşulunu sağlayan değerler çözüm kümesine alınır [25].

Stewart Platform Mekanizmasında i 'nci pistonun uzunluk değişimine (PL_i) göre sabit plakaya dik olan n_{bi} ve hareketli plakaya dik olan n_{pj} vektörlerine göre oluşan açılar sırasıyla θ_{bi} ve θ_{pj} açılarıdır [27]. Bu durum Şekil 2.20. ile ifade edilmiştir.



Şekil 2.20. Mafsal açılarının şematik gösterimi

Pistonun sabit plakaya bağlı mafsalındaki oluşan açıyı (θ_{bi}) elde etmek için:

$$\theta_{bi} = \cos^{-1} \frac{\vec{PL}_i \cdot \vec{n}_{bi}}{PL_i} \quad (2.9)$$

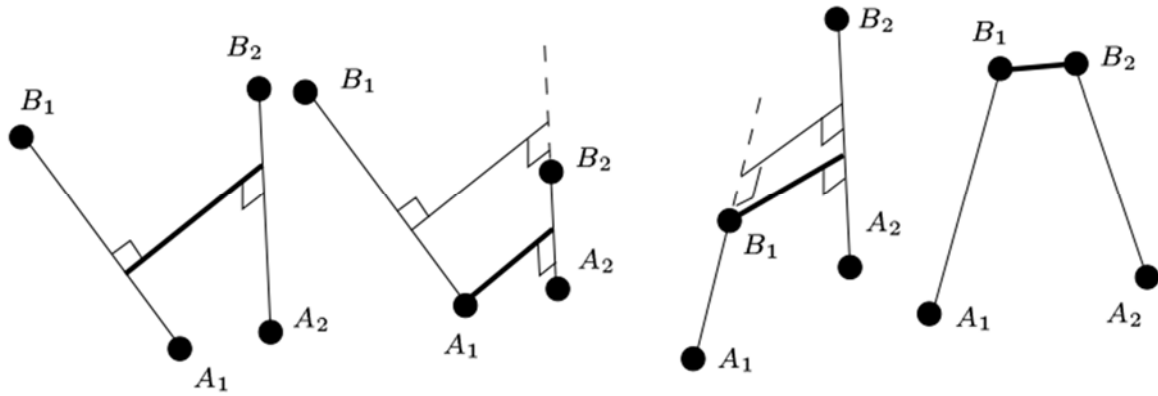
Pistonun hareketli plakaya bağlı mafsalında oluşan açıyı (θ_{pj}) elde etmek için:

$$\theta_{pj} = \cos^{-1} \frac{\vec{PL}_i \cdot {}^B R_P \cdot \vec{n}_{pj}}{PL_i} \quad (2.10)$$

denklemini kullanılır.

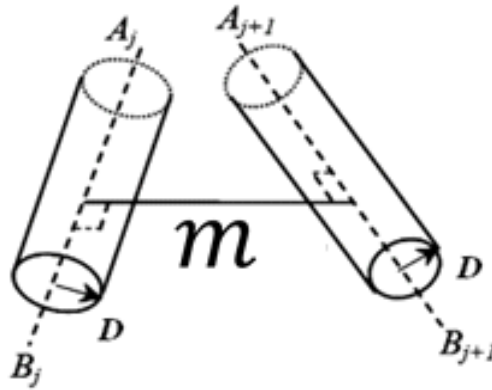
Bu hesaplamalar, belirtildiği üzere her mafsala da ayrı ayrı uygulanır. Sistemimizde altı adet üst tablada ve altı adet alt tablada olmak üzere on iki adet mafsal kullanılmıştır. Her mafsalın alt ve üst nokta değerleri, mafsal hareketine yön veren çözüm kümesine dahil edilmiş olur [25].

Stewart Platformun hareketli tablasının dönme uzayını kısıtlayan engel, taşıyıcı kolların birbirine çarpma sorunudur. Kollar arası çarpışma durumunu en stabil şekilde noktalandıran Merlet Şekil 2.21. 'de gösterildiği şekilde bir çözüme gitmiştir [24].



Şekil 2.21. İki kol arası mesafe durumu [24]

Durumu biraz daha genişletirsek, Şekil 2.22. 'de gösterildiği gibi taşıyıcı kollardan herhangi birinin, her iki tarafında bulunan kollara çarpmaması için aralarındaki uzaklığın (m), toplam kol çapının üzerinde bir değerde olması gerekir. Aksi takdirde eşitlik veya küçük olma durumunda kolların birbirine çarpması söz konusudur. Sisteme eklem ve kol bağlantısı yapılırken, bu durum göz önünde bulundurulmalıdır [24].



Şekil 2.22. Pistonların çapları ve birbiriyle olan mesafeleri [24]

Tüm hesaplamalar sonunda mafsal açısı, kol uzunluğu ve bağlanan kollar arası mesafelerin istenilen değerde olup olmadığı çözülmelidir. Bunların sonunda çözüm kümesi düzeni oluşturulmalı ve ters kinematik denklemleri hesaplanıp sisteme adapte edilmelidir.

2.3.5. Stewart Platform Mekanizmasında ileri kinematik

Stewart Platformu İleri kinematikte, değişken kol uzunluğunun üst hareketli tablaya uyguladığı tahrik yönelimini çözüm kümesine noktalar oluşturarak hesaplamaktadır. Bu işlemin kinematik hesaplanması ve çözüm kümesini oluşturmak ters kinematiğe göre oldukça zor ve uğraştırıcıdır [28,29]. Nedeni ise seri mekanizmalar haricinde, paralel tipte mekanizmaların çözüm denklemini oluşturmak için birçok değişken tipteki veri ele alınmalıdır [30,31,32]. Stewart Platformlarında 6x4 model bir karmaşık sistem ele alındığında, her bir nokta uzay hareketinde çözüm denklem adedi 40'tır [7].

Stewart Platform Mekanizması ile ilgili çözüm odaklı hesaplamaların geneli, ileri kinematik denklem yapısını çözümü üzerinedir [29].

Platform sisteminin üst uzaysal hareketli tablasını kontrol etmek için normalde ileri kinematik çözüm olmaktadır. Paralel kollu sistemlerin uzaysal hareketlerinin kontrolü için her düğüm noktasında ters kinematik uygulamak gerekmekte, daha sonradan çıkan denklem çözümlerini düz kinematiğe dökmek zor olmakta ve zaman almaktadır. Bu amaç doğrultusunda sadece ters kinematik çözümü daha basit gelmekte ve zaman kaybını en aza indirmektedir. Bu nedenle ters kinematik ile çözüm yolu kullanmak en ideal yöntemdir [8].

İleri kinematik yöntemi Stewart Platform Mekanizmasında istenilen konumu yakalaması ve üst tablanın değişken hızda hareket etmesi amacına dayalı olarak önemli bir yere sahiptir. İleri kinematik analizi, platform sisteminde amaca uygun olacak şekilde örneğin, sistemi belli noktaya sıfırlamak ya da uzaysal hareketin sınırlayıcı noktalarını belirleme amacı ile genelde kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak sistemde bulunan kol uzunlukları noktasal hareketleri yapabilmek için, istenilen duruma göre kontrolü sağlanabilir ise amaca uygun bir sonuç ortaya çıkmış olup noktasal uzayı izlemesi doğru bir şekilde sağlanabilir [33].

Bu çözüm kümesi yöntemi, Stewart Platformunun uzaysal sistematığında noktasal yol hareketinde kullanılır. Noktasal yol hareketindeki amaç, üst tablanın hareket uzayının sınırlayıcı yörüngesini çizmektedir. Sistem hareket ederken, gittiği noktaya üzerindeki tablayı sarsmadan, herhangi bir dalgalanma yaşamadan, ivme yaşamadan ve ani noktalar arası geçişlerden uzak olmalıdır. Nedeni ise sistemin kurulduğu ortamda istenmeyen durumlar söz konusu olabilmektedir. Bu istenmeyen duruma bağlı olarak, sistemin

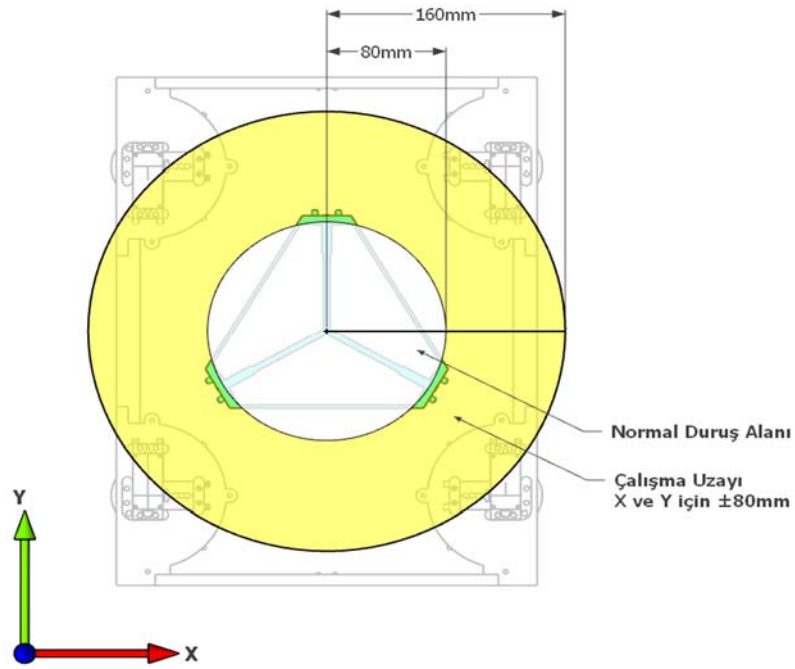
kurulduğu ortamdaki muhtemel engeller arasındaki mesafenin hesaplanması amacı ele alınarak Parsa ve çalışma arkadaşları ters kinematik analizinin değişkenize verilerle oluşturulmuştur ve yapay sinir ağını ileri kinematiğe döküp çözüm kümesini bulmada kullanmışlardır. İstenen noktasal uzayının herhangi noktasında eklem açıları için ileri kinematik problemi çözmüşler ve engelin mesafesini ve yerini ve tek noktanın noktasını karşılaştırarak çarpışmaların olup olmayacağını doğrulamışlardır [23].

Mekaniksel basitliği nedeniyle Stewart Platform Mekanizmasının birçok uygulamaya artı tolerans olması, ileri kinematik analizinin zorluğu nedeniyle piyasada endüstri sistemlerinde uygulanması ve kullanılması sınırlı düzeydedir. İleri kinematik sistemin çözüm kümesini oluşturmak için birçok araştırmacı analitik ve nümerik yöntemle bağlı uğraşlar yapmıştır [34,35]. Analitik çalışmalar, yüksek derece analitiğinde doğrusal olmayan denklem kümesinin çözümünü gerektirirken, nümerik yöntem tabanlı çalışmalar, sağlam bir başlangıç nokta değeri ve çok sayıda yenileme gerektiren zaman kayıplı çalışmalar oluşturmuştur. Bu nedenle Stewart Platform Mekanizmasının mühendislik endüstri uygulamalarında kullanımını ters orantılı bir şekilde elverişsiz bir noktaya ulaştırmıştır [36].

2.3.6. Çalışma Uzayı

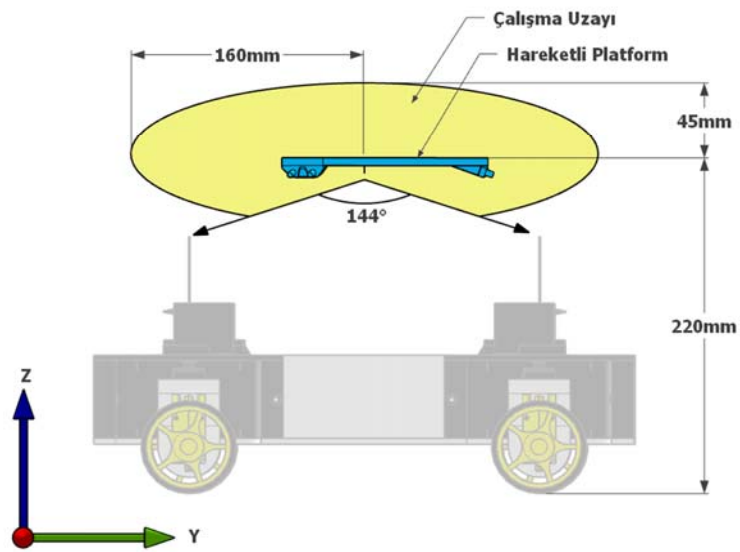
Günümüz sistemlerinde seri ve paralel kollu robotların hareket uzayını belirlemek için ele alınabilecek üç metot vardır. Bu metotlar; geometrik yaklaşım metodu, nümerik yöntem metodu ve ayırıklaştırma metotlarıdır. Bu metotlar kullanım alanlarına göre kullanışlı ve iş çözücü yöntemler olmalarına rağmen, sistem tasarım belirlemede kullanılmayıp, tasarımı belli bir sistemin amaca uygunluğunun kontrolü için kullanılabilir [1,37].

Sistemin çalışma uzayı üstten bakıldığında, Şekil 2.23. 'de görüldüğü üzere hareketli üst tablanın kendi normal duruş alanı ve çalışma uzayının x, y eksenleri üzerindeki hareket konumu gösterilmiştir. Platformun hareketli üst plakasının normal duruş alanı 80 mm yarıçapına sahip bir alandadır. Normal duruş alanı dışında her yöne ± 80 mm hareket etme kısıt alanı vardır.



Şekil 2.23. Platformun çalışma uzayı (Üst görünüm)

Sistemin çalışma uzayı yan görünüm için Şekil 2.24. 'te gösterilmiştir. Aracın yandan ve karşıdan bakıldığında hareket kısıt alanı birbiriyle aynıdır. Üstten bakıldığındaki gibi tam daire bir çalışma uzayı yoktur. Çalışma uzayı alt kısımda 144° 'lik alan dışında olup kısa yarıçapı 5 mm, uzun yarıçapı 16 mm ölçülerinde elips şeklindedir. Platform yere paralel açıdayken, yere olan yüksekliği 220 mm'dir.



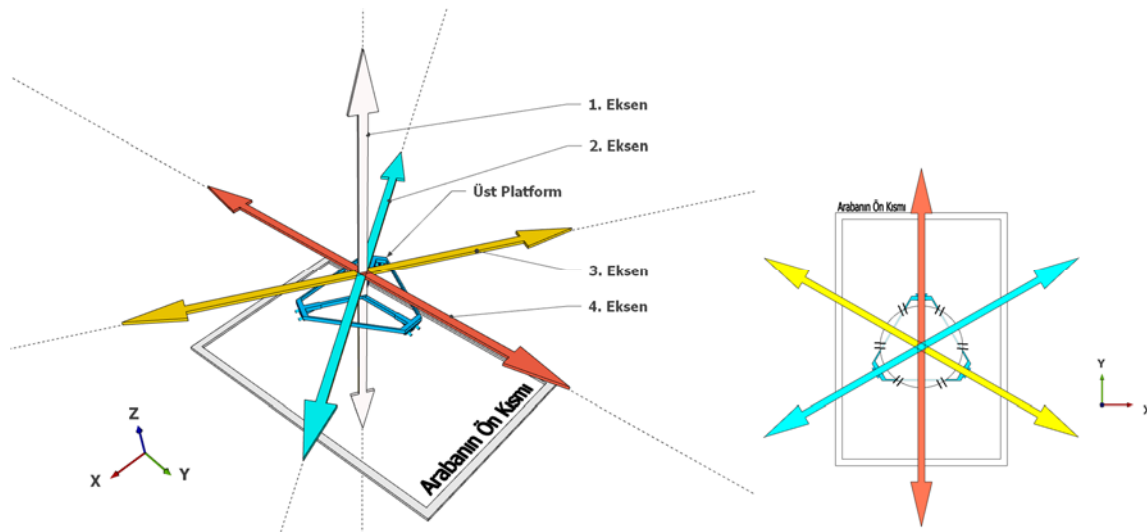
Şekil 2.24. Platformun çalışma uzayı (Yan görünüm)

2.3.6.1. Yörünge takibi hareketi

Yörünge takip planlaması ve engellerden kaçma gibi uygulamalar günümüz teknoloji sistemlerinde araştırma konusu olmuştur [38]. Üstü hareketli tablayı durduğu herhangi bir konumdan başka bir açıya ve konuma sokmak oldukça uğraştırıcıdır. Üst tabla noktalar arası konum değişikliği yaparken, sistemde değişken hız ve buna bağlı ivmeye sahip olduğundan üst tabla titreşim yapabilir. Bu nedenle üst tablanın amaçlanan işlevini doğru yapması, kolları ve mafsalları fazla açıya zorlamaması için sisteme yörünge planlaması uygulanır [10]. Yörünge planlama sonrasında üst tablanın konum değiştirirken kollar arası hızlar ayarlanarak yumuşak hareketler sağlanabilir.

2.3.7. Stewart Platform Mekanizması ile sağlanan doğrusal hareketler

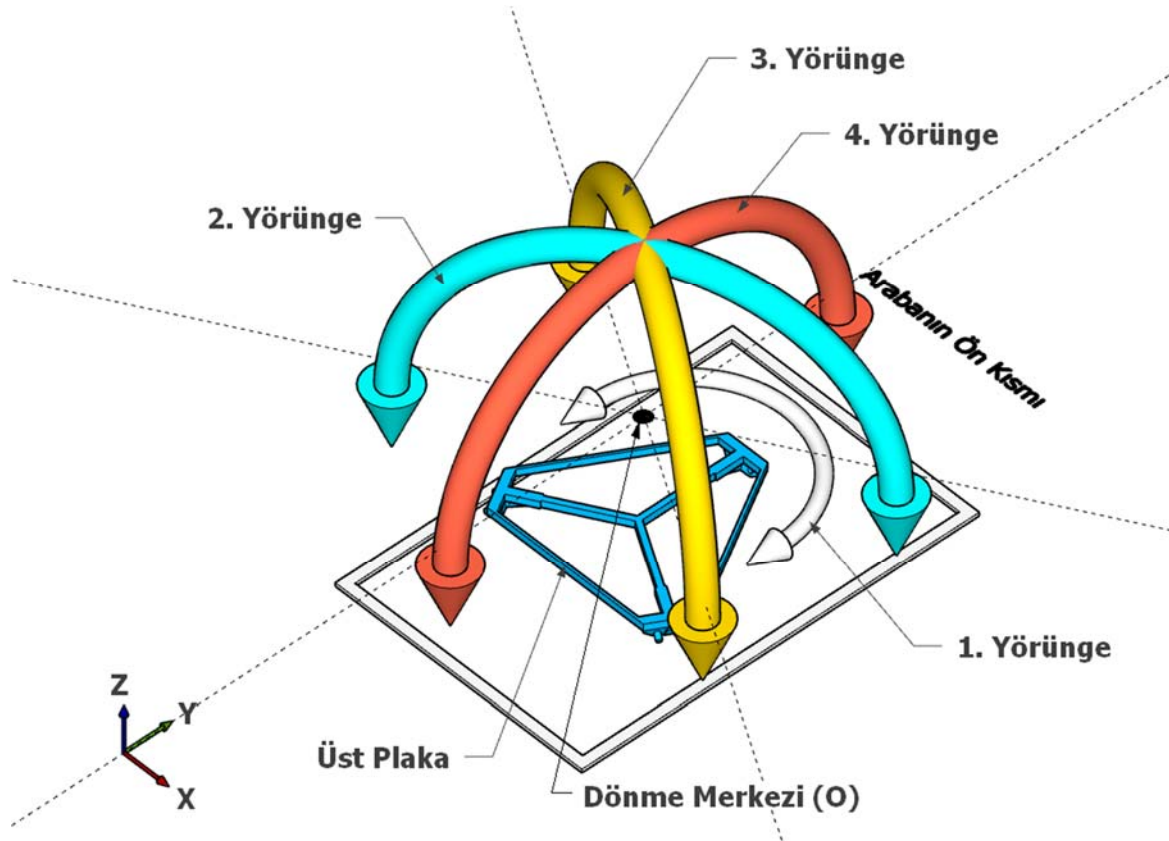
Stewart Platformunda X,Y ve Z eksen yörünge uzayı olduğu bilinmekte olup tez içeriğinde bu konu ile ilgili başlıklarda detaylı olarak değinilmiştir. Sistemde eksen planlamasında, uzaysal bir alanda bir eksenin üzerinde veya iki nokta arasındaki düz ışımsal yolu izleyen çizgi üzerinden doğru düz hareketine doğrusal hareket denmektedir. Prototip platform tasarımının doğrusal olarak hareket sağladığı 4 farklı uzaysal ışın vardır. Y ekseninde doğrusal hareket Z ekseninde doğrusal hareket direkt olarak eksenleri takip etmektedir. Diğer iki hareket ise Y eksenine göre $\pm 60^\circ$ sapma açısına sahip ışınlardır. Sistemde aktif bir şekilde çalışan doğrusal hareketlerin grafik modeli Şekil 2.25. ile gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Platformun araca göre doğrusal hareketlerinin yönleri

2.3.8. Sistemdeki Açısal Hareketler

Sistemin farklı eksenlere göre eğim sağlayabilmesi için belli bir O merkezine bağlı olması gerekmektedir. O merkezine göre açısal hareket sağlayan sistemin yörüngeleri Şekil 2.26. ile gösterilmiştir.



Şekil 2.26. Platformun araca göre O merkezi etrafındaki açısal hareketleri

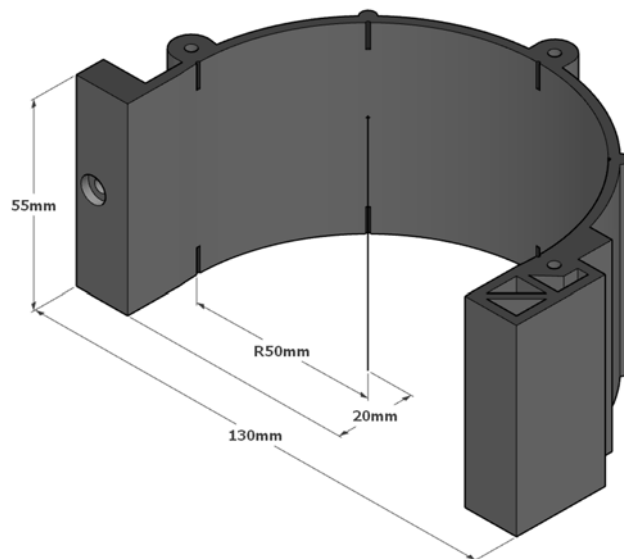
3. SİSTEMİN MEKANİK TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Tez çalışması tasarım sürecinde bilgisayar teknolojilerinin ve yazılımın ilerleyişi ile birlikte hem kolaylığı hem de zaman tasarrufu sağladığı için, bilgisayar destekli tasarım yazılımlarına sürekli olarak ihtiyaç duyulmuştur. Tez çalışması kapsamında yapılan mekanik tasarımların tümü “SketchUp 2018” 3B modelleme yazılımı ile ölçekli olarak gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasını teker sistemi ve platform sistemi olmak üzere iki farklı sistemin bütünleşmiş hali olarak ele almak doğru olacaktır.

3.1. Teker Sistemi Parçalarının Tasarımı

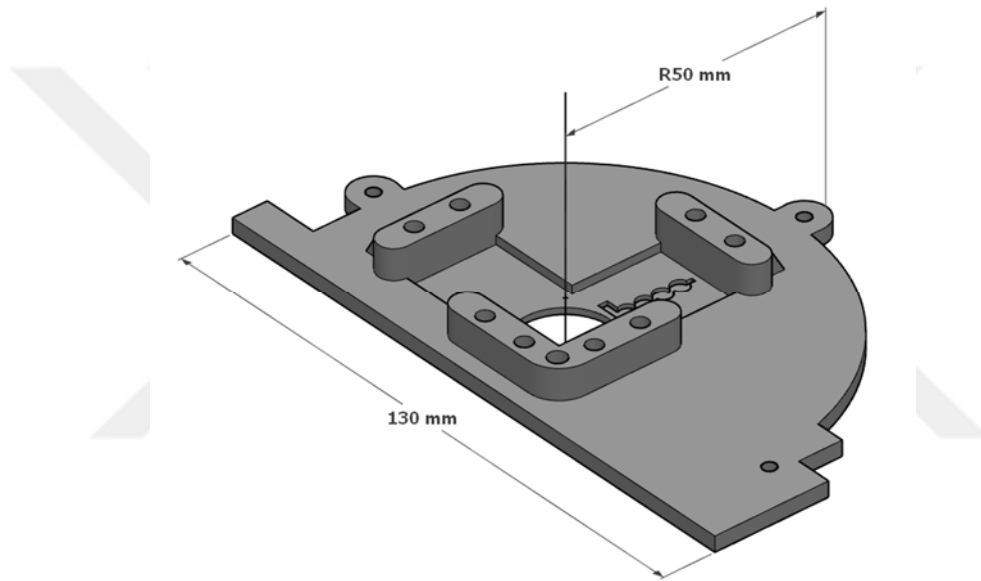
Teker sisteminde sistemin tüm tekerlekleri direksiyon yeteneğine sahip olacağı için tasarım ortak bir modele göre uyarlanmıştır. Tüm tekerlekler özgün tasarım yapılarak kontrol edilmektedir. Çalışma kapsamında özgün hazırlanan birçok katı model tasarım vardır. Bunlardan teker sisteminde kullanılan parçaların kaba ölçümleri ve izometrik şekilleri aşağıda verilmiştir.

Teker yuvası: Bu parça içerisindeki tekerleklerin dönüşünü sağlar. Direksiyon servo motorunu tutan üst kapak ile robot gövdesi arasındaki bağlantıyı sağlar. İçerisinde dönecek olan teker mekanizması için sınırlandırılmış iç çapının sürtünme yaşanmaması için gerekli ölçülendirmeleri yapılmıştır (Şekil 3.1.).



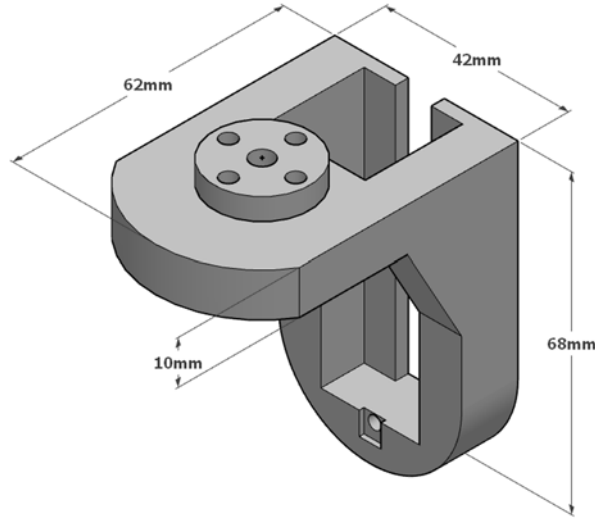
Şekil 3.1. Teker yuvası ve perspektif ölçülendirmeleri

Servo motor tutucu teker yuvası kapağı: Bu parça motor yuvasının üst kısmına yerleştirilerek kapak görevi görür. Parçanın diğer bir işlevi ise üzerine takılacak olan RC servo motorun merkezi konumlandırma ile bağlantılarının tam sağlanabilmesidir. Servo motorun bağlantı kısımları evrensel RC servo motor ölçüleri ile uyumlu olarak tasarlanmış ve motor değişimi kolaylıkla yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede tez çalışma sürecinde motorda yaşanan sorunlarada kolay müdahale edilebilme olanağı sağlanmıştır (Şekil 3.2.).



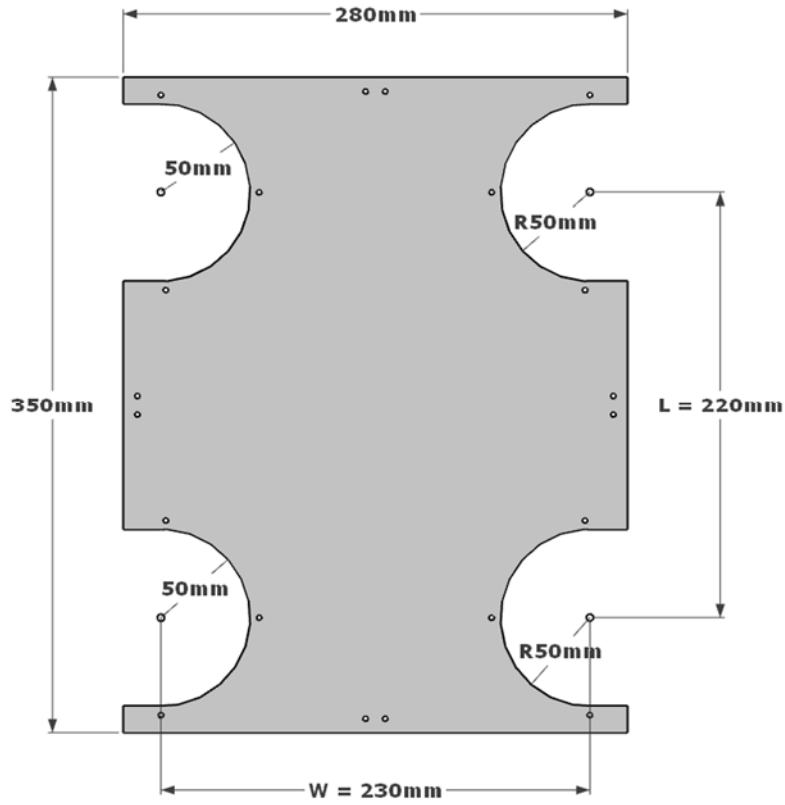
Şekil 3.2. Servo motor tutucu teker yuvası kapağı ve perspektif ölçülendirmeleri

Teker motoru tutucu parça: Robotun hareket etmesini sağlayacak teker aksamını tutan son elemandır. Üzerine L redüktörlü motor ve bu motora bağlı tekerlek takılmaktadır. Üst kısmındaki dönme merkezi, servo motor başlığı ile uyumlu olacak şekilde motora sabitlenmesi ile sistem direksiyon hareketini sağlar. Servo motora takılan dönme merkezi ile tekerleğin yere değen kısmı düşey eksene göre aynı koordinattadır. Buna tekerleğin açısız dönüş merkezi denir. Açısız dönüş merkezi sayesinde tekerleğin yer ile teması sırasındaki dönme sürtünmesiyle en az şekilde karşılaşmasını sağlar (Şekil 3.3.).



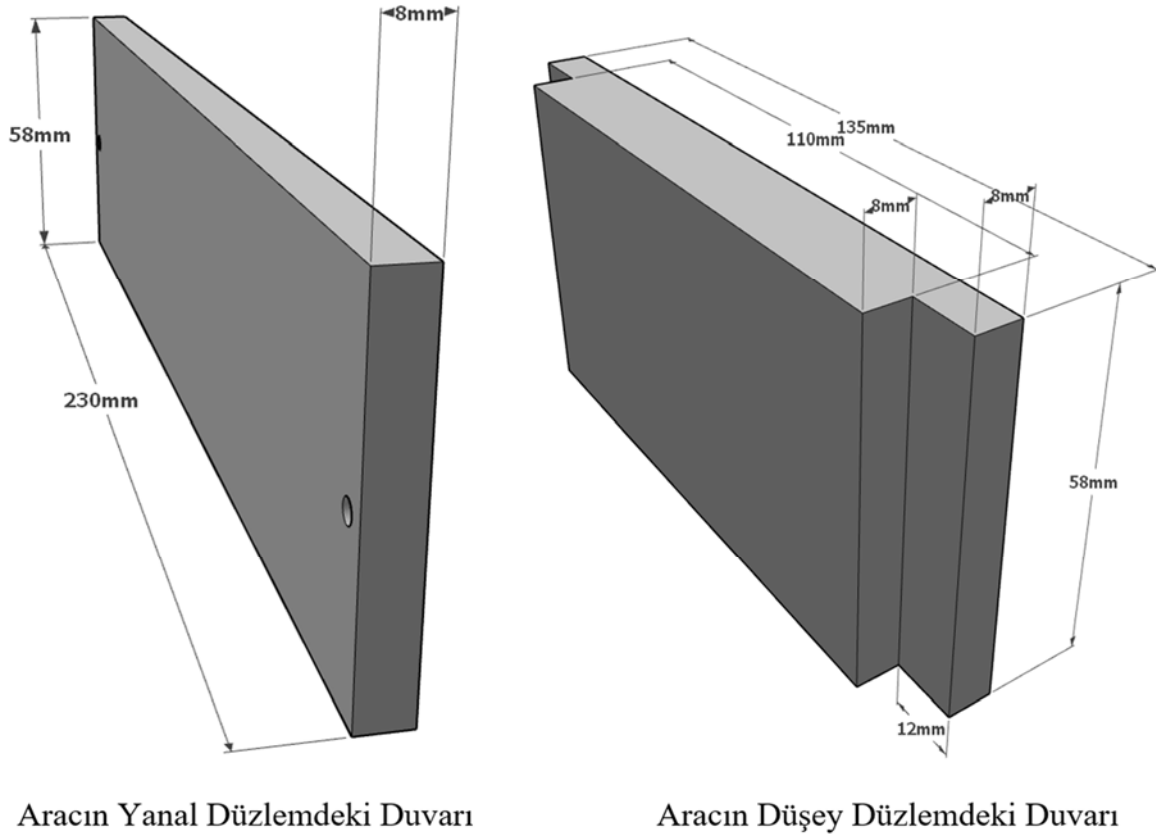
Şekil 3.3. Teker motoru tutucu parça ve perspektif ölçülendirmeleri

Robot gövdesi (Zemini) : Robot sistematığının üzerine kurulduğu taşıyıcı gövde parçasıdır. Gövde üzerine teker yuvaları ve Stewart Platform Mekanizması sabitlenecek şekilde tasarlanmıştır. Robotun zemin boyutunun sınırları gövde boyutuna bağlıdır (Şekil 3.4.).



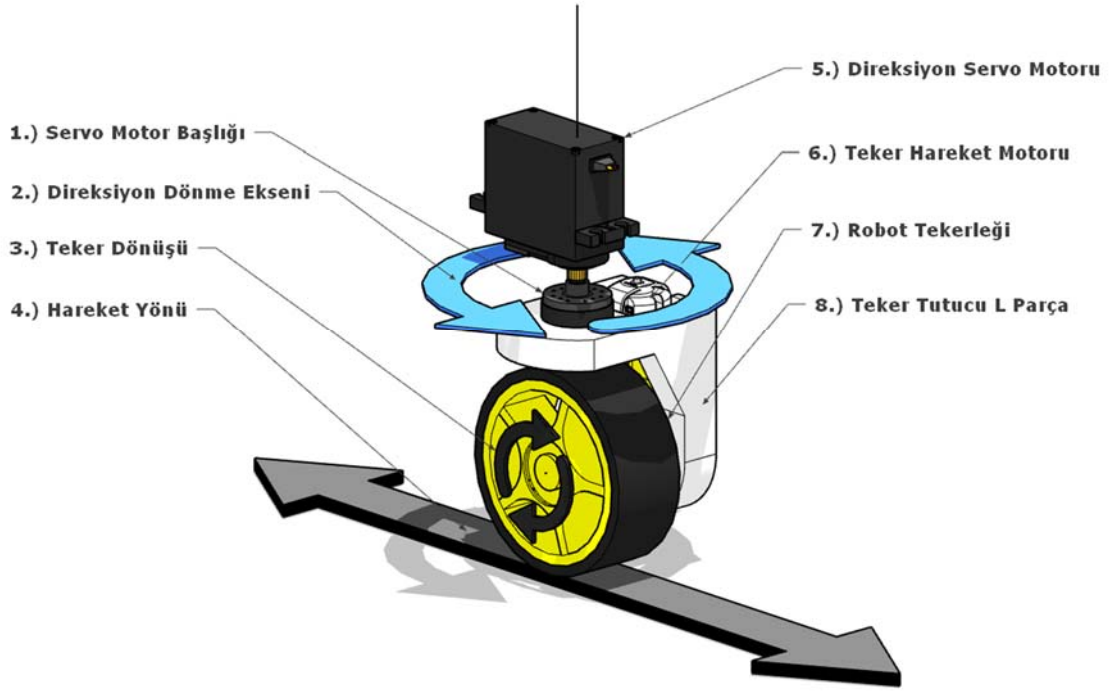
Şekil 3.4. Robot gövdesi (Zemini) ve perspektif ölçülendirmeleri

Gövde duvar parçaları: Robotun gövdesi üzerine takılan donanımları kapatmak ve kutu formuna dönüştürebilmek için kullanılan parçalardır. Ön ve arka kısım için farklı duvar tasarımı, yan kısımlar için farklı duvar tasarımı yapılmıştır (Şekil 3.5.).



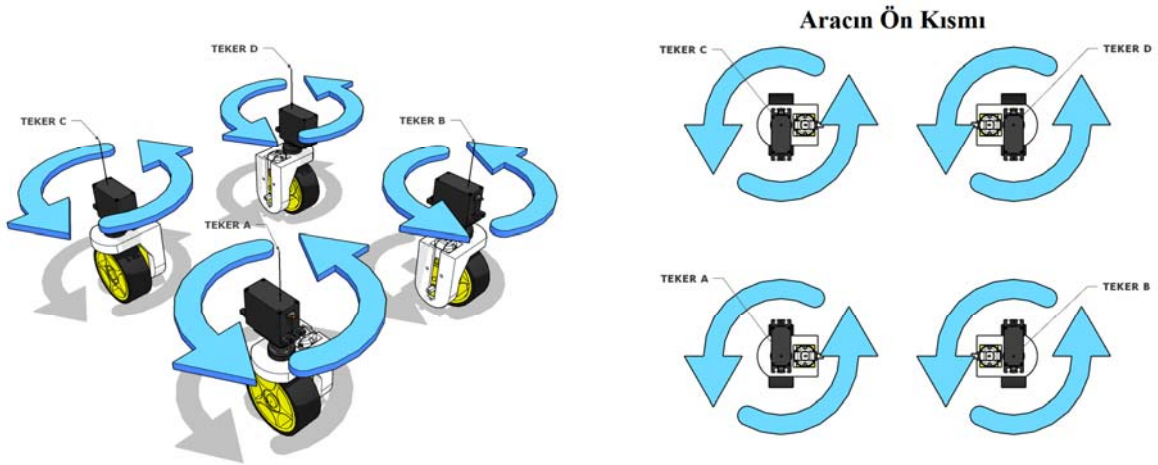
Şekil 3.5. Gövde duvar parçaları ve perspektif ölçülendirmeleri

Teker sistemi parçaların birleşmiş hali: Robot tekerlek sisteminin kurulu hali ve temel parçaların isimleri Şekil 3.6. üzerinde görülmektedir. Sistem parçaları birbirleriyle ve kullanılan standart parçalar (servo motor, tekerlek dişli sistemi vs.) ile uygun ölçülendirmelere göre tasarlanmıştır. Tasarım sürecinde ölçülendirmede yapılacak küçük hatalar tez çalışmasının uygulama sürecinde sorunlara yol açabilecektir. Sistemin düşünüldüğü şekilde hareket etmemesi, montajının yapılamaması diğer parçalar ile birleştirilememesi veya istenildiği gibi çalışmaması sorunlara örnek olarak verilebilir.



Şekil 3.6. Teker sistemi temel parçalarının kurulu hali ve hareket eksenleri

Prototip sistemin tekerlekleri ile teker konumlarının görünümü Şekil 3.7. ile gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Prototip sistemin tekerlekleri ile teker konumlarının görünümü

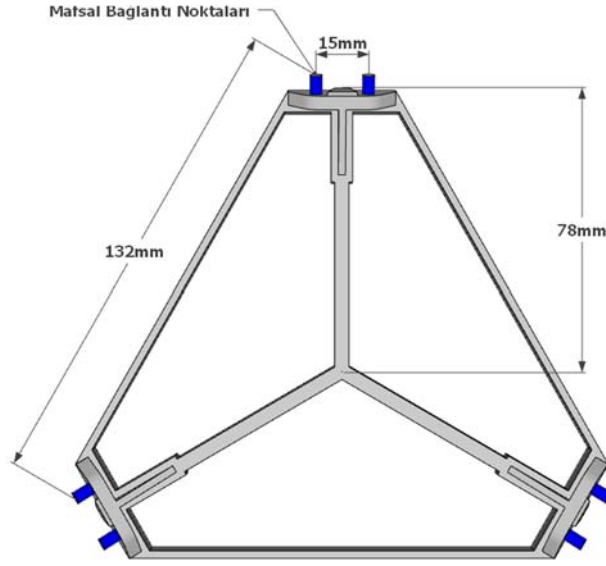
3.2. Stewart Platformu parçalarının tasarımı

Stewart Platform modelleri incelendiğinde, günümüzde birçok alanda amaca yönelik tasarımlar düşünülmüş ve kendi içinde sınıflandırılmıştır [39]. Platform üzerindeki

sınıflandırılmalar iki ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar düzlemsel Stewart Platformları ve uzaysal Stewart Platformlarıdır. Her modelde de sabit alt tabla ve hareketli üst tabla bulunduğu üzere bulunmaktadır. Düzlemsel Stewart Platform Modelinde ise üç noktadan mafsallarla bağlanmış kollar, alt sabit tabaka ve üst hareketli tabakadan oluşmaktadır. Buna bağlı olarak üç serbestlik uzayına sahiptir. Diğer altı kollu modellere göre küçük çalışma uzayları sayesinde çözüm kümesi daha kolay bulunmakta olup, kinematik analizler diğer modellere göre daha basittir. Günümüzde yapılan literatür taramalarında da görüldüğü gibi sabit uzunluklu kollar ve değişken uzunluklu kollardan oluşan Stewart modellerine de rastlamaktayız. Bu tezde kol uzunluğu değişken olan bir sistem yapılmıştır. Stewart modelleri kullanılan mafsal tiplerine göre de farklı tasarımlarda ortaya çıkabilmektedir. Tabiki bu tez çalışmasında da olduğu gibi günümüzde de en yaygın olanı mafsalların alt sabit tablaya ve üst hareketli tablaya bağlı olan modelleridir. Kollar direkt mafsallara bağlanır ve mafsallar yardımı ile kolayca istenilen açıyı verir. Hep üst tablanın üstte olduğundan bahsetmiş olduk ama üst plakanın altta olduğu modellerde mevcuttur. Bunlara örnek olarak helikopterler verilebilir [5,7].

3.2.1. Alt ve üst plaka

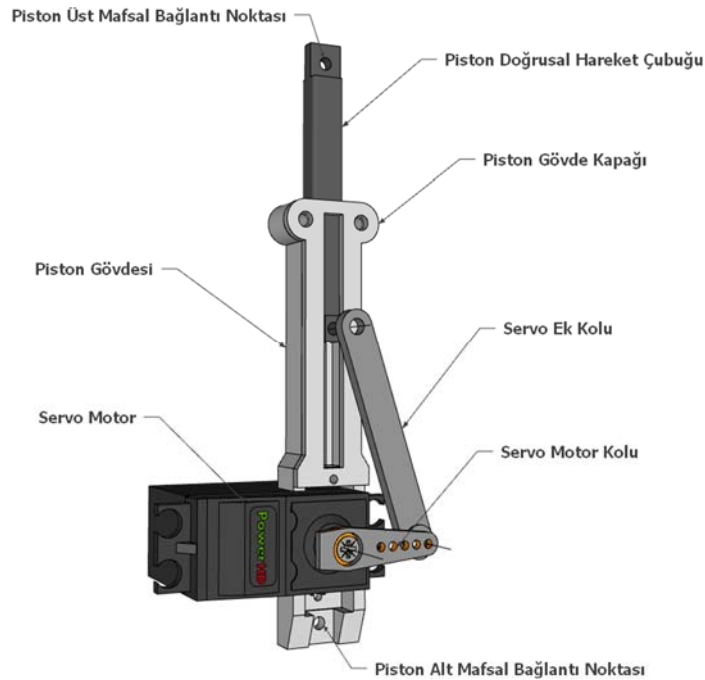
Platformun belirli amaçlar doğrultusunda hareket etmesi için temel olarak sabit bir alt plaka ve hareketli bir üst plakaya sahip olması gerekmektedir. Stewart Platformu türleri incelendiğinde, tasarım 3x3 Stewart Platform Mekanizması 'a göre yapılmıştır. Dolayısı ile alt ve üst plakaların açısal ve boyutsal birçok fiziksel özelliği birbirleri ile aynıdır. Aralarındaki tek fark alt plakanın sabitlenebilecek yapıya uygun yapılmış olmasıdır. Şekil 3.8. üzerinde ölçülendirmeler ve bağlantı noktaları gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Platformun özdeş alt - üst plaka görünümü ve ölçülendirilmesi

3.2.2. Piston kolu

Kullanılan piston kolu şekline göre Stewart Platform çeşitleri günden güne artmaktadır. Bu tez de, krank mekanizmasına benzer bir sistem kullanılmıştır. Bu sistem ile dönme hareketinin doğrusal harekete çevrildiği piston mantığı kullanılarak, bir Stewart sistemi amaçlanmış ve prototipi üretilmiştir. Kol bağlantıları sistemdeki sabit zemine mafsal ile bağlı olup diğer ucundan ise hareketli tablaya yine mafsal ile bağlanmaktadır. Sistemde altı adet özdeş piston kol kullanılmıştır.



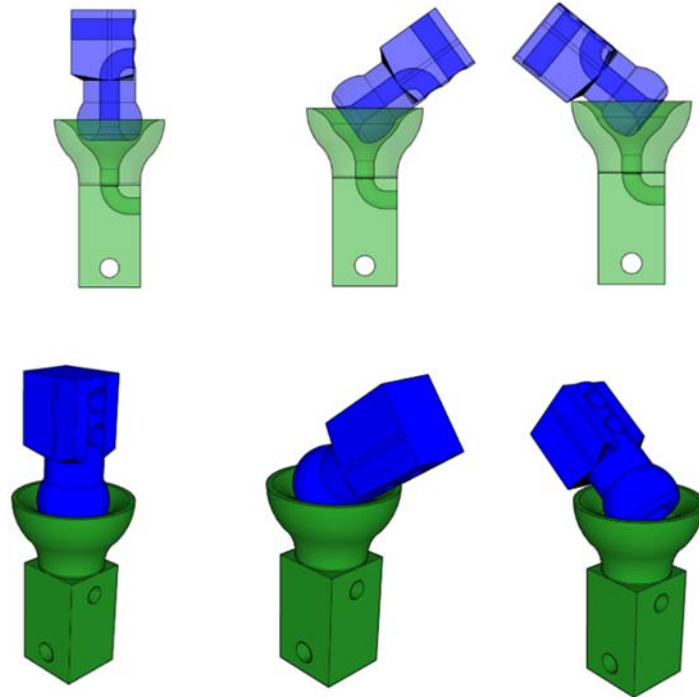
Şekil 3.9. Platformun piston kolu parçaları ve kurulu hali

3.2.3. Mafsal

Mafsallar, kendisine bağlanmış parçaların her yönden dönüp, hareket etmesini sağlayan bağlantı elemanlarıdır. Stewart tasarımlarının olmazsa olmazıdır. Taşıyıcı kolları alt ve üst tablaya bağlar.

Mafsalların serbest uzaysal hareketi, klasik kontrol yaklaşımına örnektir. Bağlı kolların uzunlukları, ters kinematik çözüm kümesi bulunması ile noktasal olarak değişkenlik gösterir. Her kol farklı uzunluğu olabilir. Buna bağlı olarak mafsallar, sistemi kol uzunluğuna göre eğim sınırına ulaşmak için ivmesel bir hareket sağlar. Buradan da anlaşıldığı gibi, ters kinematik denklemlerini sisteme iyi adapte edildiğinde, beş kollu bir platform, altı kollu bir platform potansiyelinde kullanılabilir [40].

Serbest mafsallar dışında, kendi üzerinde açısal kontrolü sağlanan mafsallarda vardır. Mafsala verilmek istenen açı ve sistemin uyguladığı hatalı açı bu mimariye tetikleme sinyali uygular. Stewart sisteminde ters kinematik, ileri kinematiğe göre daha basit olduğu için, bu sistemde de kontrol için ters kinematik ile çözüm kümesi tamamlanır. Buna bağlı olarak mafsalı uzaysal hareketlere konumlandırmak kolaydır [40,41].



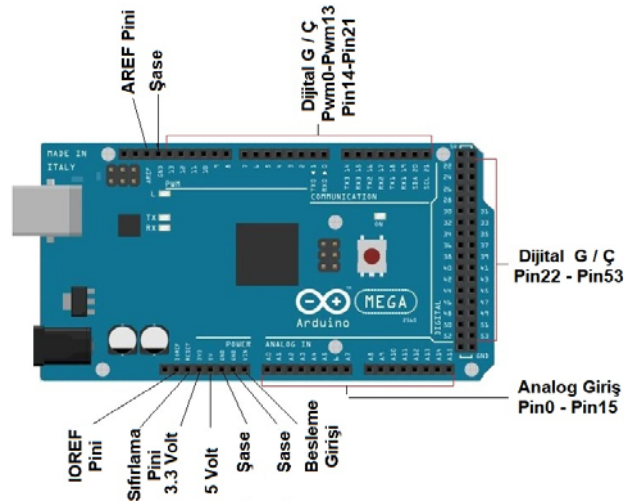
Şekil 3.10. Mafsalın 3B tasarım görünümü

4. ELEKTRONİK BİLEŞENLER VE BAĞLANTILARI

Gerçekleştirilen tez çalışmasında Stewart Platformlu aracın, parçaları yazılımsal olarak hazırlandıktan sonra üç boyutlu yazıcıda parça üretimi yapılmıştır. Tez çalışmasının, hareket mekanizmasını oluşturan motorlar, bunların kontrolü için kartlar ve besleme içinde besleme kartları çok titiz bir şekilde seçilmelidir. Tez çalışmasına başlamadan önce, programlama kartını iyi seçmeli ve giriş çıkış pin bağlantı sayılarını göz ardı etmemeliyiz. Sistemde fazla sayıda motor kullanılacağı için motor beslemeleri ayrı bir şekilde yapılmalıdır. Aksi takdirde motorların fazla akım çekmelerinden dolayı, sistemin kararsız çalışmasına neden olabilir.

4.1. Mikrodenetleyici Kontrolü

Sistemin kontrolünde mikrodenetleyici olarak ATmega2560 işlemcisini üzerinde bulduran Arduino Mega programlama kartı kullanılmıştır. Arduino programlama da ortam kolaylığı ve hızlı veri iletimi avantajına sahip olduğundan neredeyse tüm robot sistemlerinde kullanılmıştır. Arduino kodlama dili, C/C++ benzeri bir dile sahiptir. Arduino, mikrodenetleyici olarak Atmel AVR yani Atmega2560 kullanır. Üzerindeki kartın özelliği baz alınarak motor sürücü entegresi gibi yan özelliklerde mevcuttur. Arduino kartının üzerinde, kartı beslerken güç dalgalanmasında bozulmaması adına 5V bir regüle sistemi ve üzerine gömülü yazılımın hızıyla doğru orantılı çalışan osilatör bulunur. Arduino kartlarını programlarken bir harici programlayıcıya gerek duyulmaz. Çünkü üzerinde daha önceden programlanmış kendi sistem yazılımı mevcuttur. Şekil 4.1. 'de Arduino Mega programlama kartının pin yapısı verilmiştir.



Şekil 4.1. Arduino Mega temel pin yapısı

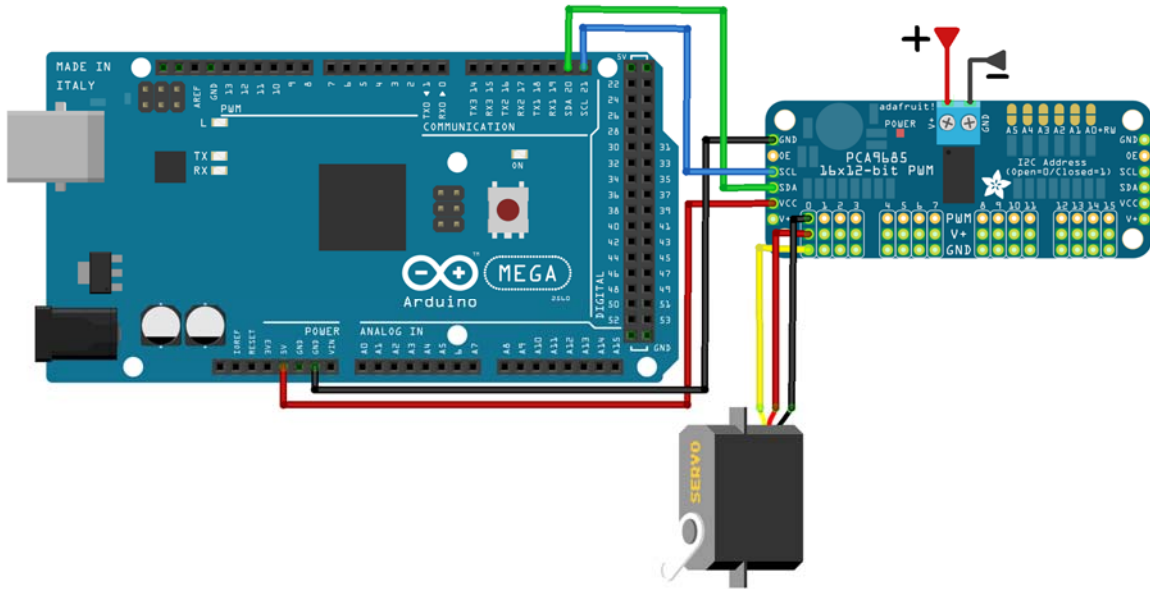
Bu programlama kartı, üretici firmanın web sitesinde projelerin devre yapısından, içindeki sistem yazılımına kadar tamamıyla ilgili açık kaynak kodu barındırır. Aynı zamanda kartı kodlarken bağlandığı IDE arayüz penceresi olan, basit görünen ama güçlü bir karttır. Bu kart ile yapılan projeler, bilgisayar ile yazılımına göre otonom şekilde veri çalıştırabilmektedir. Özet vermek gerekirse Arduino kartı, üzerinde bulundurduğu ATmega2560 entegresi özellikleri dışında yan özellikleri bulunan, şematik olarak basit bir devreden oluşmaktadır. Çizelge 4.1. 'de kullanılan Arduino Mega kartının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Arduino Mega mikrodenetleyici kartının temel özellikleri

Mikrodenetleyicisi	ATmega2560
Çalışma Voltaj Değeri	5 Volt
Karta Verilebilecek Voltaj Değeri	5 - 12 Volt arası
Dijital Giriş-Çıkış Pin Sayısı	54 Adet
PWM Giriş-Çıkış Pin Sayısı	15 Adet
Giriş-Çıkış Pinleri Çektiği Akım Değerleri	20 mA
3.3 Volt Pini DC Akımı	50 mA
Bellek Boyutu	256 KB (8 KB Sistem Yazılımı İçin Ayrılmış)
SRAM Değeri	8 KB
EEPROM Değeri	4 KB
İşleme Saat Hızı	16 MHz
Kart Genişliği	53.3 mm
Kart Uzunluğu	101.52 mm
Kart Ağırlığı	37 g

4.2. Çok Kanallı PWM Sürücü İle Servo Motor Kontrolü

Sistemde birçok servo motorunu kontrol etmek zordur. Nedeni ise kablo karmaşası ve Arduino programlama kartı üzerinde yeterli PWM çıkışının olmaması denebilir. Bilindiği üzere servo motorlar PWM sinyaliyle kontrol edilebilmektedir. Bunlar göz önüne alınarak sistemde, Adafruit firmasının üretmiş olduğu PCA9685 serisi servo kontrol kartı kullanılmıştır. Üzerinde 16 adet servo motor kontrol girişi bulunan Arduino uyumlu bir karttır. Kart işlemci olarak PCA9685 çipini kullanmıştır. Arduino 'ya I²C bağlantısı üzerinden bağlantı sağlanabilir. Kart yapısındaki zamanlayıcı sayesinde, kontrol kartından sürekli sinyal beklemesine gerek yoktur. Buna bağlı olarak 16 kanala servo motor bağladığımızda kendi üzerinden son aldığı sinyale göre kontrol edilebilmektedir. Servo kontrol kartı 6 farklı türde adres sistematiğine sahip olduğundan, 62 adet aynı kart birbirine entegre edildiğinde I²C hattından kolayca kontrol edilebilmektedir. Buda kart zincirinde en fazla 992 PWM sinyalinin oluşturulması demektir. Şekil 4.2. 'de kartın I²C pinleri Arduino 'ya bağlantısı gösterilmiş ve Arduino üzerinden dijital sinyal besleme bağlantısı da gösterilmiştir. Görüldüğü üzere motor beslemelerini ayrı besleme kaynağından alması gerekmektedir. Nedeni ise motorların çektiği akım değerlerinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

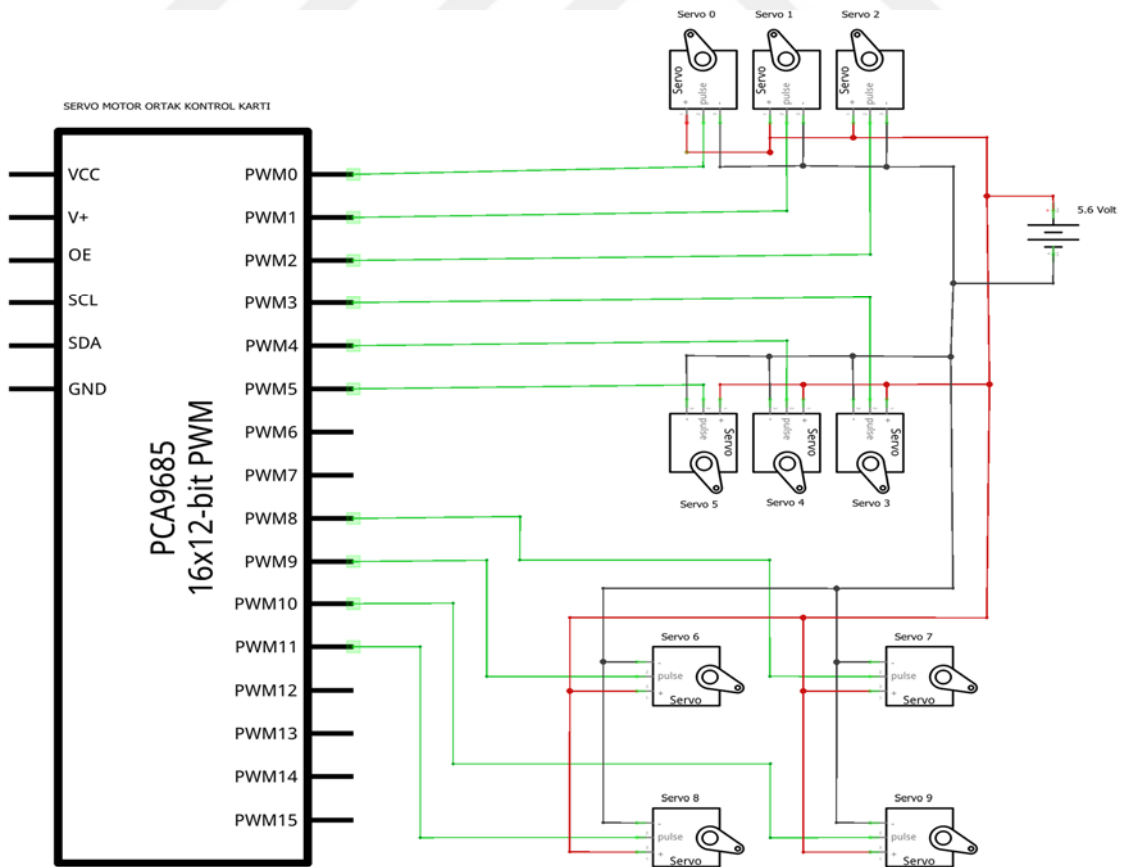


Şekil 4.2. Arduino Mega ve çok kanallı PWM sürücüsü bağlantı şeması

16 kanallı kontrol kartı avantajları şunlardır:

- Arduino ile çok iyi ve kolay kontrol edilebilmektedir.
- Arduino ile I^2C pin bağlantısı ile kontrol edilebilmektedir.
- Kendi içerisindeki zamanlayıcı sayesinde, bağlı olduğu mikrodenetleyiciyi yormamaktadır.
- 12 bit çözünürlük kullanılabilirliğe sahip 16 kanal servo motor sürmeye müsaittir.
- I2C bağlantısıyla birbirine bağlı 62 adet kontrol kartı sürülebilmektedir. Bu da 992 bağımsız PWM sinyali yani servo motor kontrolü demektir.
- Boyutları küçük olmakla beraber özette; 62.5 mm x 25.4 mm x 3 mm boyutuna sahip, 9 gram ağırlığındadır.

Şekil 4.3. 'de görüldüğü üzere sistemde kullanılan 10 adet servo motor bağlantısı şematize edilmiştir. 4 adet servo motoru teker dönüşü için, 6 adet servo motoru ise Stewart Platformu için kullanılmıştır. Beslemeleri aynı pil kaynağından yapılmıştır.



Şekil 4.3. Platform ve direksiyon servo motorlarının sürücüyeye bağlantısı

4.3. Prototip Cihazın Güç Yönetimi

Sistemde cihazın uzaktan kontrolü ve kablosuz bir şekilde hareket etmesi için besleme kaynağının taşınabilir olması gerekmektedir. Bu amaçla sistemimizde lipo piller kullanılmıştır. Lipo piller, hareketli yapıya sahip bu tarz tez çalışmalarında rahatlıkla kullanılması öngörülen pildir. Lityum ve polimerden üretilmekte olup içeriğinde hücreler bulunmaktadır. Hücreler tek halde 3.7 volt vermekte olup “S” harfi kullanılarak tanımlaması yapılır.

Buna göre;

- 1 hücreli pil 3.7 volt (1S),
- 2 hücreli pil 7.4 volt (2S),
- 3 hücreli pil ise 11.1 (3S) voltaj değerini vermektedir.

Pil dolusunda her hücre boş iken 3 volt, dolu iken 4.2 volt değerini göstermelidir. Olası bir durumda, pilin hücreleri boş iken 3 voltun aşağısında bir değer veriyorsa pili kullanmak tehlikeli olabilmektedir. Buradan pilin ömrünü tamamlandığı anlaşılır. NiCd ve NiMH türü besleme pilleri, ömür bakımından çok uzun ömürlü ve hafifliği sayesinde daha çok drone sistemlerinde kullanılmaktadır. Daha çabuk deşarj edilebilir. Bu da demek oluyor ki bu pil sistemleri tek seferde daha çok akım iletme potansiyeline sahiptir. Bu pil sistemlerine enerji depolamak için özel şarj etme cihazı gerekmektedir.

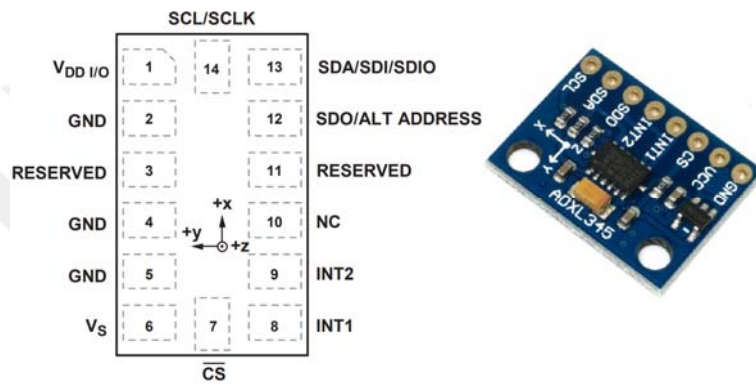
Sistemde programlama kartı beslemesi ve motor beslemeleri için ayrı ayrı pil sistemi kurulmuştur. Programlama kartı beslemesinde iki adet 7.4 volt 2S 500 mA lipo pili kullanılmıştır. Aynı şekilde motor beslemeleri içinde 7.4 volt 2S 3200 mA pil kullanılmıştır.

4.4. Açık Sensörünün Sistemde Kullanımı

Tasarlanan Stewart denge sistemine sahip araçta, sistemdeki ivmeleri algılayıp işleyebilmesi ve mikroişlemci kartımıza doğru bir sonuç verebilmesi için araştırmalarımız sonucunda Analog Devices firmasının üretmiş olduğu ADXL345 isimli ivmeölçer sensör tercih edilmiştir. ADXL345 sensörü gerek boyut küçüklüğü gerekse de güç tüketiminin az olması ve üç ekseninde sağlam sinyal verebilen açısız bir ivmeölçer sensördür. Sensörde ivme

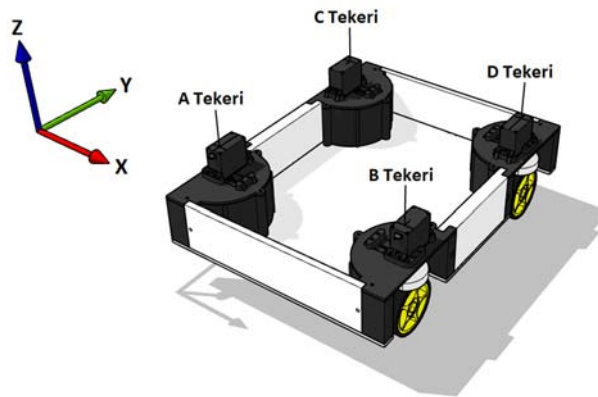
algılama aralıkları $\pm(2 - 4 - 8 - 16)g$ seviyelerinde ayarlanabilmektedir. İvme ayarlama yapılırken I²C ve SPI pin bağlantılarıyla ivme bilgisi alınabilir [42].

ADXL345 sensöründen bahsetmişken, bu sensörün sadece küçük bir SMD parça sensör olduğunu unutmamak gerekir. Özel yapılan devrede ya da hazır bütünleşik devrede kullanabilmektedir. Hazır bütünleşik devre genelde tavsiye edilmektedir. Bağlantı pinlerine doğru bağlantı yapıldığında istenilen ivme değerleri, doğru konumlandırma yapılarak alınabilir. Şekil 4.4. 'de sensörün içyapısı ve bu tezde kullanılan bütünleşik kartı görmekteyiz.



Şekil 4.4. 3 eksenli açı sensörü ve pin yapısı

Sistemde bu sensörden tam verim alabilmek için, sensörü araçta doğru bir noktaya konumlandırma yapılması gerekmektedir. Sistem hareket ederken, ani hız değişimleri ya da fiziksel etmenleri algılayıp işlemesi için üç eksen algılama düşünülmüştür. Şekil 4.5. 'de görülen prototip araçta, orta nokta üzerinde açı sensörü doğru ve verimli bir noktaya konumlandırılmıştır.



Şekil 4.5. Aracın koordinat düzlemi

ADXL345 sensöründe genel özellikler;

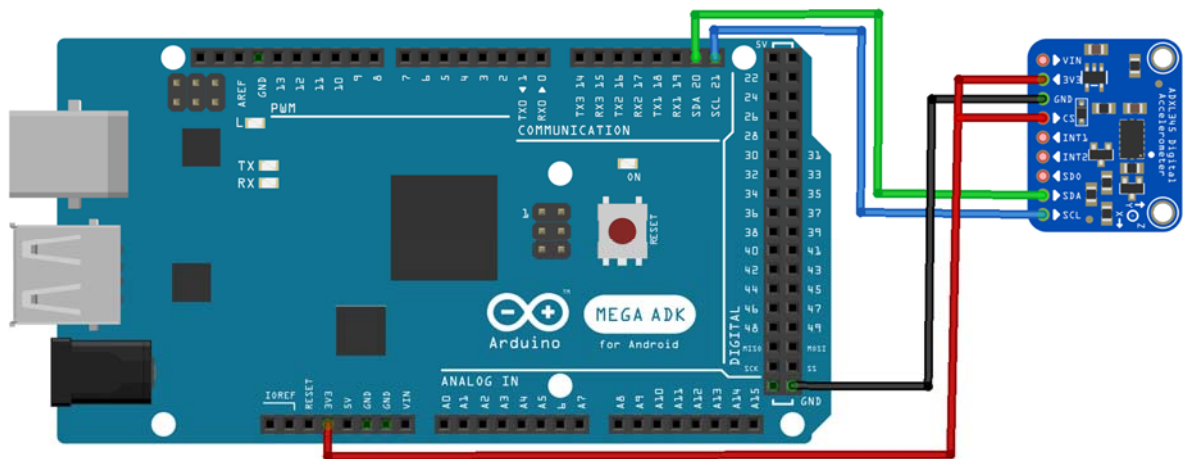
- Sensör üzerine tek veya çift şekilde dokunma algılama,
 - Aktif ve pasif işlem saptama,
 - Ani yere doğru serbest ivme algılama,
 - SPI ve I²C pin bağlantı üzerinde dijital veri alışverişi,
 - Sistem kütüphanesinde bulunan komutlar ile kontrol edilebilen ölçüm ayarı,
 - Sistem kütüphanesinde bulunan komutlar ile kontrol edilebilen bant genişliği,
- şeklinde sıralanabilir.

ADXL345 sensöründe bulunan teknik özellikleri;

- Çalışma Gerilimi: 4.0V–6.0V,
- I/O Giriş Çıkış Dijital Voltaj Aralığı: 1.7V–3.6V,
- Haberleşme Pinleri: SPI ve I2C,
- Sensörün Ortama Göre Çalışma Sıcaklığı: -40°C-85°C,
- Boyutu: 3mm x 5mm x 1mm.

şeklinde üretici firma tarafından açıklanmıştır.

İvme sensörü üzerinde veri iletim protokolü iki aşamada gerçekleşir. Bu protokoller genel tabiri ile elektronik haberleşmede SPI ve I²C şeklinde adlandırılmıştır. Bu tez çalışmasında I²C protokolü kullanılmıştır. ADXL345 sensörü sistemde, üç eksen hareket verilerini almak için kullanılmıştır. Sensörde güç sarfiyatı çok az olduğundan, tez de kullanılan Arduino Mega kartı üzerinden güç beslemesi sağlanmıştır. Şekil 4.6. 'de sensörün karta bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Arduino Mega ile açığa sensörü bağlantısı

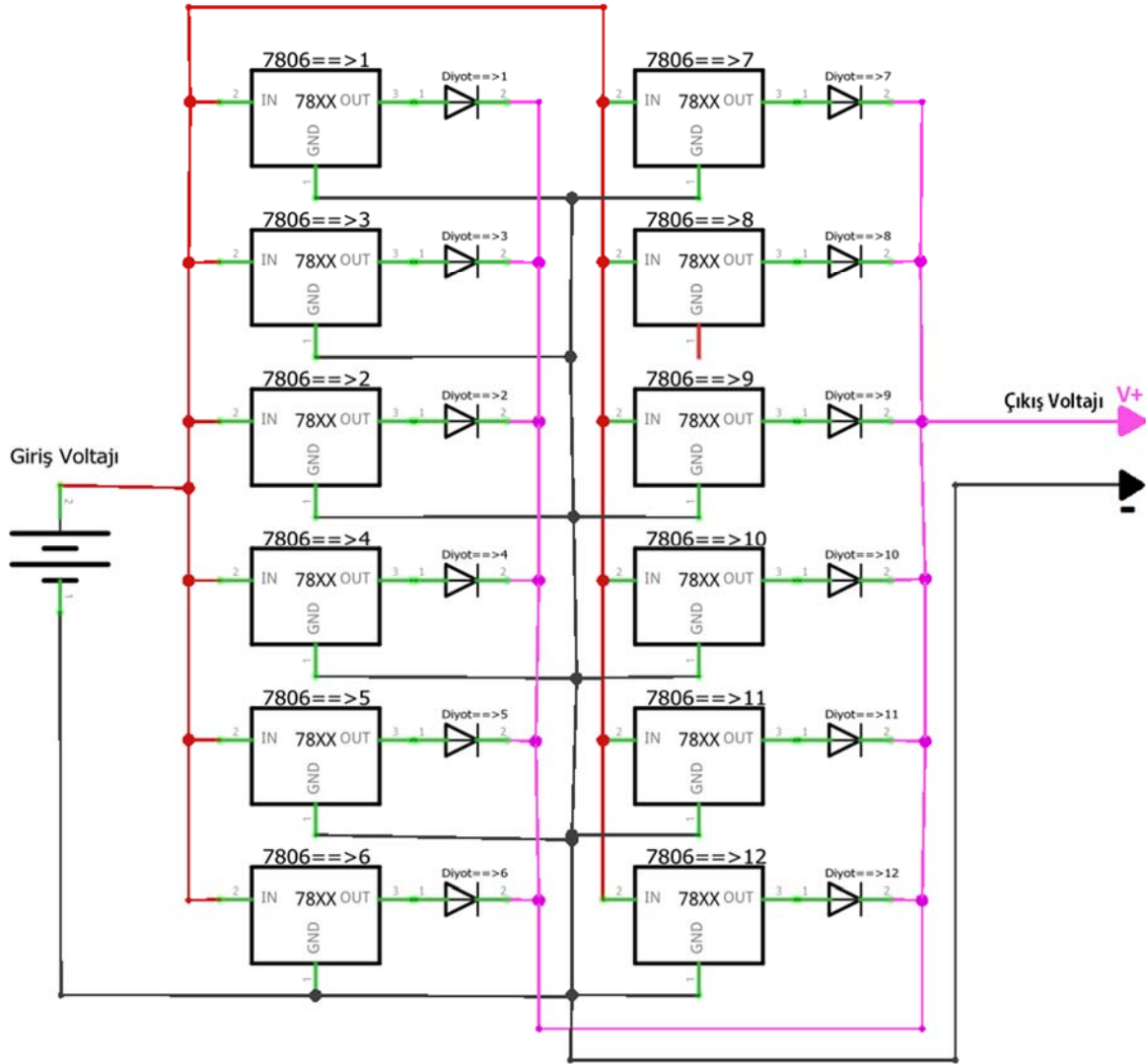
Sistemde kullanılan bu sensörde, konum bilgisini veren ve veri alışverişi için haberleşmeyi sağlayan modülün dâhil edilmesi gereken kütüphaneleri vardır. Bu kütüphaneler, sensörün ana kontrolünü işleyen ve dijital haberleşmeyi sağlayan şekilde ikiye ayrılmıştır.

Sistemde ADXL345 sensörü ile işlem yaparken;

- Sensör kartı, sistem başlangıcında yere göre sıfır noktası kalibrasyonu,
 - Sensör kartıyla seri haberleşme,
 - Sensörün veri sıklığı,
 - İvme verilerini üç ekseninde sensörden alınması,
 - Sensörden gelen ivme değerlerinin çözünürlük bazında iyileştirilmesi,
- şeklinde işlemler uygulanmıştır.

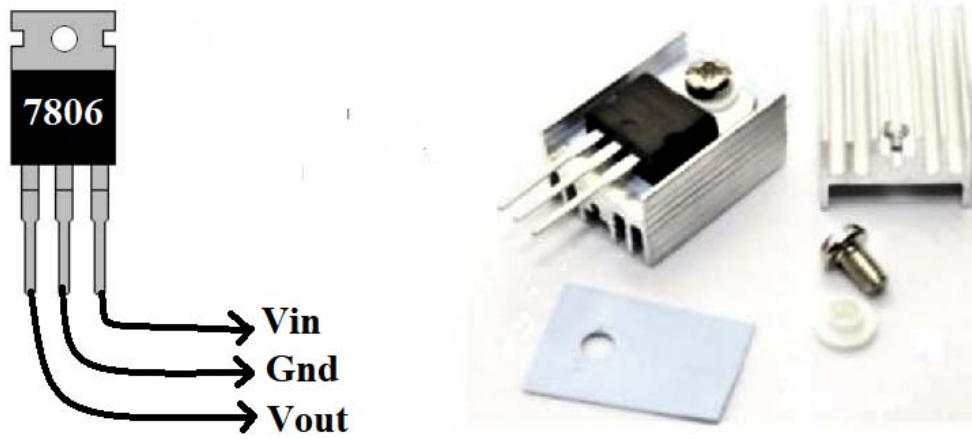
4.5. Sistemin Besleme Bağlantıları

Gerçekleştirilen besleme kart sisteminde tercih edilen elektronik devre elemanları 1N4007 diyotu ve LM7806 entegresidir. Motor sayısının bu tez çalışmasında fazla olması nedeniyle en az 5 volt bandında gerilime ve motor başına en az 1 amper akım ihtiyacı duyulur. Sistemde yer alan 7.4 volt dc li-po pilin gerilim değerleri motorlar için fazla gelmekte aynı zamanda sistemin kararsız çalışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle motorlara gelen voltajın regüle edilmesi gerekmektedir. Regüle için 7806 entegresi kullanımı tercih edilmiştir. Motor başına 1 adet entegre düşünülmüş olup 12 adet LM7806 regüle entegresi kullanılmıştır. Şekil 4.7. 'de şematik bağlantı ile sisteme uyarlanan besleme devresi gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Regüle entegreleri ile yüksek akım elde edildiği devre şeması

LM7806 regüle entegresi, giriş bacağına uygulanmış 35 volt'a kadar olan doğru akımı sabit 6 volt'a düşüren üç bacaklı devre elemanlarıdır. Soğutucu ile kullanılması gerekmektedir. Lakin verdiği akım değeri entegre ısınınca düşmekte ve sistem verimliliğini yitirmektedir. Sistem soğutucu ile kullanılmış olup, tek entegre üzerinden 1,5 amper'e kadar çıkış akımı alınmıştır. LM7806 regüle entegresinin bacak tanımına göre şekil görüntüsü ve TO220 tipinde soğutucu kullanımı Şekil 4.8. 'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Regüle entegresinin pin yapısı ve TO220 soğutucu bağlantısı

LM7806 regülatör devre elemanının üç adet bağlantı bacağı vardır:

- 1 numaralı bacak:** Voltaj giriş bacağıdır. 7 ve 35 volt gerilime kadar uygulanabilir.
- 2 numaralı bacak:** Ortak toprak bağlantısıdır.
- 3 numaralı bacak:** Çıkış bacağı olup, tolerans değerleriyle birlikte sabit 6 volt vermektedir.

LM7806 regüle entegresi üzerindeki TO220 alüminyum soğutucunun özellikleri şu şekildedir:

- Entegre üzerindeki fazla biriken enerjiyi ısı olarak dağıtıp, entegrenin kararlı çalışmasına yardımcı olur.
- Üzerinde bulunan vida ile entegrenin devre kartına sabitlenmesini sağlar.
- 2 numaralı toprak bacağı bilindiği üzere ortak kullanılır. Kullanılmak istenirse zemin plakaya şase görevi de sağlar.

Regüle entegresi giriş-çıkış akım ve voltaj değerleri şu şekildedir:

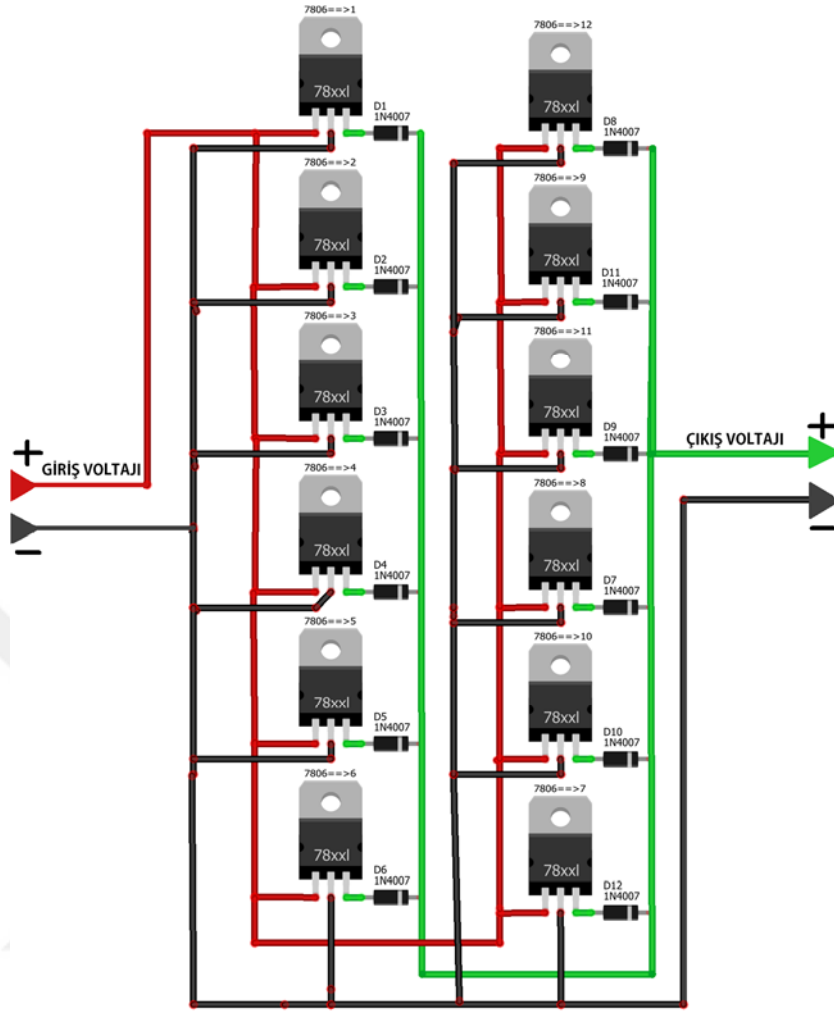
Çıkış voltaj değeri: 6 Volt

En yüksek giriş voltaj değeri: 35 Volt

En düşük giriş voltaj değeri: 7 Volt

En yüksek çıkış akımı: 1 Amper (Buna rağmen soğutucu kullanıldığında 1,5 amper değerinde akım çekilebilir.)

Çıkış voltajında görülebilen tolerans: %4 'tür.



Şekil 4.9. Regüle entegresinin kılıf görünümü ile bağlantı diyagramı

LM78XX seri tipinde regüle entegreleri endüstriyel alanlarda en çok tercih edilen devre elemanlarından biridir. Bu tez çalışmasında yukarıda da bahsedildiği gibi LM7806 entegreleri kullanılmıştır. Çok kullanışlı ve kolay bağlantı mantığı olmasına rağmen üzerlerinde çok fazla güç kaybı vardır. Entegrenin Şekil 4.9. 'da gösterildiği gibi 3 numaralı bacağına 1N4007 diyot bağlanmıştır. Burada amaç, entegreleri paralel bağladığımızda geri polarize etmesini engellemek ve düz yönde, ana çıkışa doğru güçlü bir voltaj ulaştırmaktır. Ancak diyot bağlantıları sonrasında güç kaybı olduğu saptanmıştır. Bu güç kayıpları hesaplanıp Çizelge 4.2. 'de belirtilmiştir. LM7806 entegresi her artış watt değerinde 50°C ısınmakta ve 125°C ısı değerine kadar artmaktadır. Bu durumu göze alarak mutlaka TO-220 soğutucu veya başka muadil bir soğutucu kullanılmalıdır.

Çizelge 4.2. Regüle kartındaki kayıplar ve ortalama çıkış gerilim tablosu

LM7806 Regülatörler	Regülatör Çıkış Gerilimi	1N4007 Diyot Gerilim Kaybı	Çıkış Gerilim
1. Regülatör	6,08	0,37	5,71
2. Regülatör	6,11	0,29	5,82
3. Regülatör	6,05	0,31	5,74
4. Regülatör	6,12	0,33	5,79
5. Regülatör	6,07	0,27	5,8
6. Regülatör	6,03	0,39	5,64
7. Regülatör	6,05	0,38	5,67
8. Regülatör	6,07	0,39	5,68
9. Regülatör	6,13	0,37	5,76
10. Regülatör	6,01	0,41	5,6
11. Regülatör	6,03	0,39	5,64
12. Regülatör	6,06	0,37	5,69
Ortalama =	6,06 Volt	0,35 Volt	5,71 Volt
Besleme Devresinin Giriş Gerilimi =			7,4 Volt
Regülatörlerden Çıkan Ortalama Gerilim =			6,06 Volt
Diyot Ortalama Çıkış Gerilim Kaybı =			0,35 Volt
Çıkış Gerilimlerin Ortalaması =			5,71 Volt

4.6. Sistemde Servo Motor Tercih ve Kullanımı

Servo motorlar, açısal kontrol gerektiren çalışmalara uygun olarak üretilen elektrik motoru çeşidi olup, geri beslemeli yapısı sayesinde sistemlerde istenilen açıda uygun hareketi kolay

şekilde yapmamızı sağlayan kontrol devreli motorlardır. Endüstriyel alanlarda, açısal kontrol gerektiren uygulamalarda adım motor ve servo motor tercih edilir. Servo motoru adım motorundan ayıran ve oldukça fazla kullanılmasının sebebi, geri beslemeli olmasıdır. Bu sayede konum atlamadan hangi açıdan olduğunu güvenli bir şekilde görmekteyiz. Küçük boyutlu servo motorlarda, redüktör çıkışına bağlı bulunan potansiyometre ile açısal olarak her konumda farklı direnç değerleri üretilir. Bu direnç değeri analog olarak 2^{10} farklı parametre göndermektedir. Bu parametre mikrodenetleyici tarafından çözümlenerek motor konumu noktasal hassasiyette alınarak uygun açı sağlanır. Endüstriyel servo motorların çalışma yapısında, kendi çark sistemine bağlı potansiyometre milleri üzerinde dönüş sayıcı bir enkoder bulunmaktadır. Enkoder, servo motor içerisinde bulunan doğru akım motorunun dönüş hareketleri geri besleme ile alarak mikrokontrolör devre kartına sinyaller iletmektedir. Bu sayede motorun hangi yöne, ne kadar tur attığı gibi bilgilere ulaşılarak açısal hareketler sağlanır. Bu bağlamda çok farklı servo motor tipleri var olmakta birlikte yapısı genel anlamıyla aynıdır. Piyasada genelde 0 ve 180 derece arasında kontrol edilebilen, açı değerlerine sahip servo motorlar kullanılmaktadır.

Bu tez kapsamında üretilen prototip tasarımda cihaz 10 adet servo motor kullanılmıştır. Stewart Platform Mekanizması için PowerHD firmasının üretmiş olduğu, HD-6001HB model servo motordan altı adet kullanılmıştır. Teker sisteminin kararlı çalışması için çark sistemi metal ve dayanıklı olması gerekir. Bu sebeple Tower Pro firmasının üretmiş olduğu MG995 servo motordan 4 adet kullanılmıştır. Servo motorların farklı çalışmalarda, kullanım sebepleri olarak HD-6001HB servo motoru hafif olduğundan, MG995 servo motor ise güçlü ve sağlam olduğundan tercih edilir. Prototip çalışmalarda kullanılan bu motorlardaki en büyük avantaj ise kolayca kontrol edilmeleridir. Buna istinaden ucuzluğu sayesinde fiyat performans ürünü denebilir. Bu tez çalışmasında, belirli kriterler baz alınarak, yapılan hesaplamalar sonucunda Çizelge 4.3. 'deki motor bilgileri de baz alınarak hesaplamalar yapılmış ve bu servo motorlar tercih sebebi olmuştur.

Çizelge 4.3. Kullanılan servo motorların özellikleri ve farklı voltajlardaki karakteristikleri

	HD-6001HB Servo Motor Özellikleri		MG995 Servo Motor Özellikleri	
	4.8V	6.0V	4.8V	6.0V

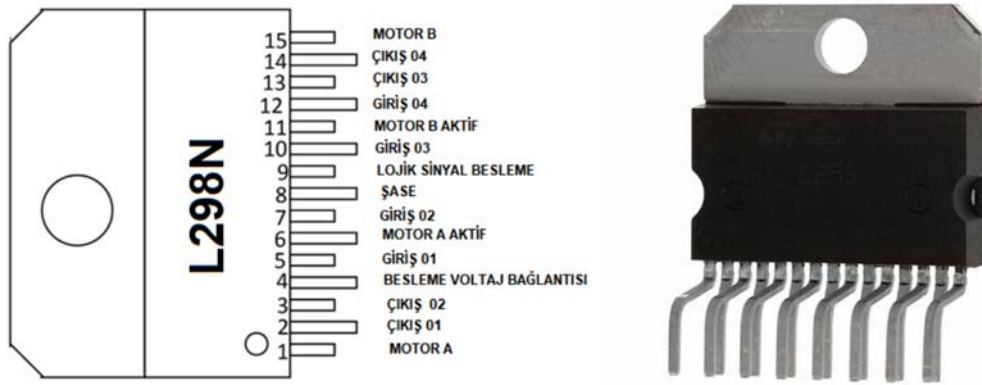
HIZ	0.16sn / 60°	0.14sn / 60°	0.17sn / 60°	0.14sn / 60°
TORK	5.8 kg-cm	6.7 kg-cm	9.4 kg-cm	11 kg-cm
AKIM (Yüksüz)	250 mA	300 mA	500 mA	900 mA
BOŞTA AKIM	4 mA	5 mA	8 mA	10 mA
DURMA AKIMI	1300 mA	1500 mA	2000 mA	2500 mA
DİŞLİ TİPİ	Plastik Dişli		Bakır Dişli	
MOTOR TİPİ	DC Motor		DC Motor	
RULMAN	Top Rulman		Metal Destek Halkası	
AĞIRLIK	43 gr		55 gr	
EBAT	40.7 x 20.5 x 39.5 mm		40.6 x 19.8 x 42.9 mm	
MOTOR AÇILARI	180° ± 10°		160° ± 30°	
REDÜKTÖR ORANLARI	1 / 240		1 / 479	

Servo motorlarını, mikrodenetleyici üzerinden kontrol etmek mümkündür. Servo motor sayısı bu tez çalışmasında da olduğu gibi farklı çalışma alanlarında çok sayıda olması durumunda, ek besleme ile farklı bir mikrodenetleyiciyi sadece bu kontrol işleminde kullanmak akıllıca olacaktır. Ana mikrodenetleyiciden istediğimiz olay, servo motorun hangi işlevi, yerine getirmesi durumunu sağlayacaktır. Adafruit firmasının, PCA9685 servo kontrol kartını kullanmak, bu iş için en uygunu olacaktır. Üzerinde 16 adet servo motor kontrolünün sağlanmasının yanında, beslemelerinin de kendi yapısı üzerinden sağlanması, bu kartı avantajlı kılmıştır. Bilindiği üzere servo motorlar PWM ile kontrol edilmektedir. Bu kartın avantajlarından biride, bağlantı karmaşası yaşamadan iki pin ile ana mikrodenetleyiciye PWM sinyalini ulaştırmaktadır.

4.7. DC Motor Sürücüsü ve Kontrol Tekniği

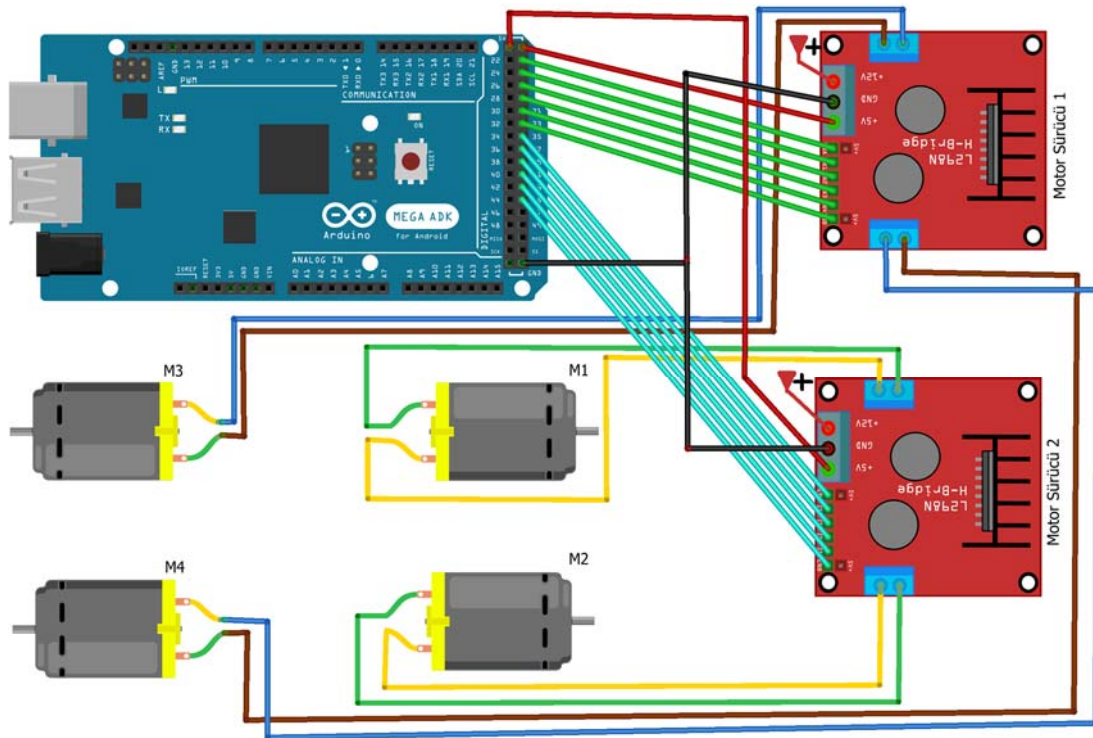
DC ve step motorların direkt mikrodenetleyici ile kontrol edilmesi uğraştırıcı olmasının yanı sıra emek ister. Buna istinaden, programlama kartından motor iletim uçlarına bağlantı göndermek, karmaşıklık yaratmasıyla birlikte mikrodenetleyici üzerindeki çıkış bağlantıları, sistem için yetersiz kalabilmektedir. Bu sorunları yaşamamak adına step ve dc motor kontrolünde, motor sürücü entegreleri tercih edilmektedir. Mikrodenetleyici üzerinden çıkış kontrol sinyali alan bu entegreler, gelen sinyali işleyip ve gerekli beslemeyi yaparak dc ve step motorları gelen sinyale göre kontrol etmektedir. Buna istinaden transistörler kullanılan H köprüsü modelindeki mantık ile motor kontrol devreleri yapılabilmektedir. Güçlü ve hazır motor sürücü entegreleri bulunmakta iken, transistörler ile yapılan düşük akımlı devreler tercih edilmezler. Bu tarz tez çalışmalarında veya robotik sistemlerde L298N, L293D ve L293B modellerinde motor kontrol entegreleri kullanılmaktadır. Bu entegreleri birbirinden ayıran önemli noktalardan biri ise voltaj ve akım durumlarının birbirinden farklı olmasıdır. Bunlar dışında tüm özellikleri aynı mantıkla çalışmaktadır.

Bu tezde L298N motor sürücü entegresi kullanılmıştır. L298N motor sürücüsü, projelerde ve robotik sistemlerde güçlü voltaj ile akım iletim avantajına sahip olduğundan tercih sebebidir. Projelerde kullanılan motor modelleri fazla akım ve voltaj çektiğinden, bu entegrelerin de kurulduğu bir motor sürücü devresi oluşturulmalıdır. Sadece L298N entegresi kullanımında, motor sürücü entegresi kararsız çalışabilir ve kısa sürede bozulabilir. L298N motor kontrol entegresi, içyapısı gereği H köprüsü modeli sayesinde iki adet motor sürebilmektedir. Çalışmalarda genelde tercih sebebi olan L298N motor sürücü entegresi, iki adet motoru birbirinden farklı olarak farklı yön ve hızda kontrol edebilme imkânı sunmaktadır. Entegre üzerinde toplamda 15 adet giriş ve çıkış bacağı bulunmaktadır. Motor kontrol entegresi, kendi üzerinden PWM bacak bağlantılarını kullanılarak PWM kontrolü yapılabilmektedir. Bu tezde teker hız uygulamalarında PWM uygulanmıştır. L298N motor kontrol entegresinin, 2 amper ve 45 voltaja kadar motor besleme gücü sınırı vardır. Şekil 4.10. 'da L298N entegresi ve bacak özellikleri görülmektedir.



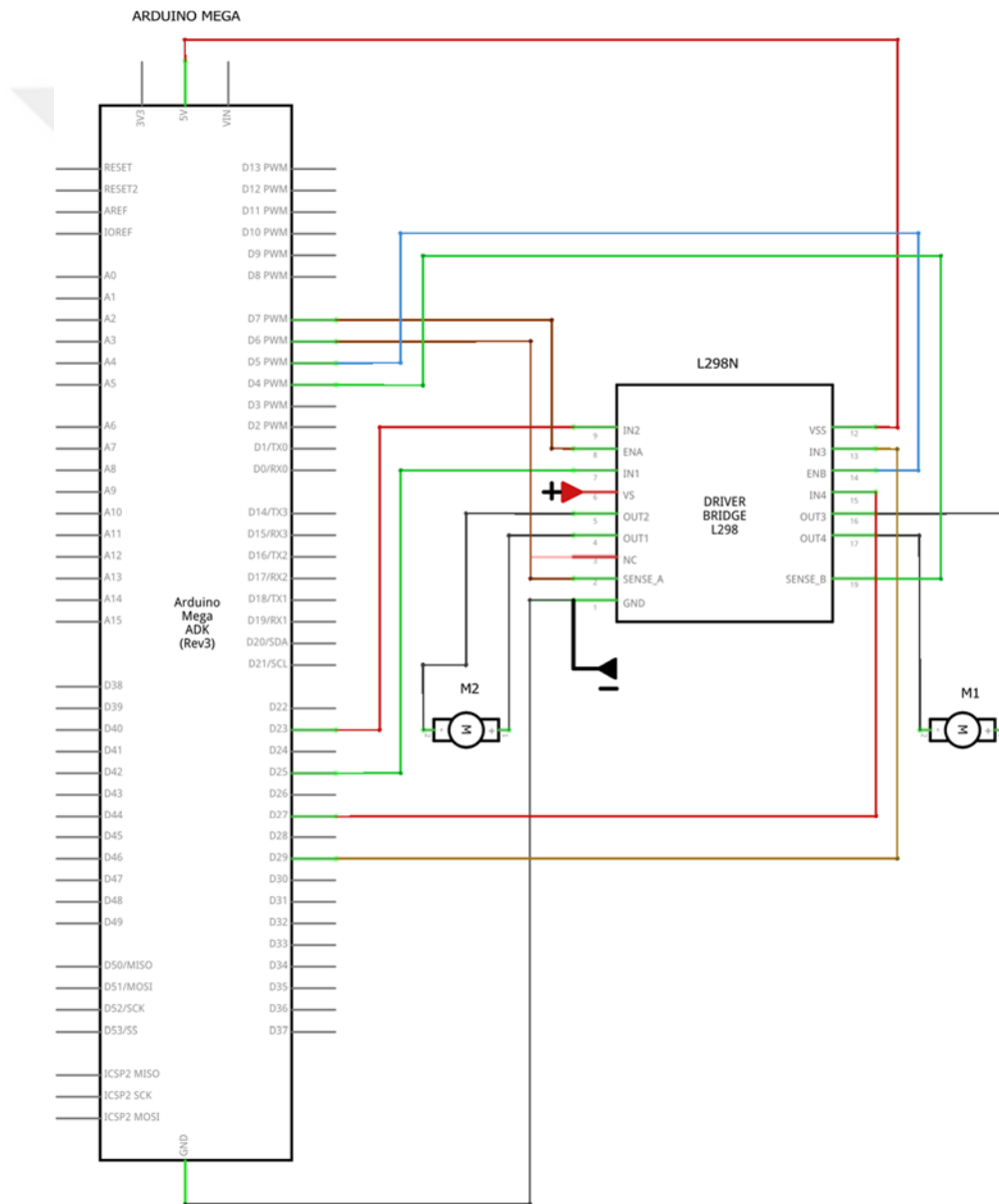
Şekil 4.10. L298N Motor Sürücü Entegresi ve Pin İsimleri

Şekil 4.10. 'da L298N motor kontrol entegresinin bağlantı diyagramı verilmiştir. Bacak bağlantılarında, A ve B olarak belirtilen iki adet motor kullanılmaktadır. Bu iki motoru birbirinden bağımsız olarak kontrol etmek için bacak bağlantılarının özellikleri belirtilmiştir. Elektronik sistemlerde lojik elektrik mantığı olarak kullanılan, sinyal besleme bacağına standart 5 volt uygulanmaktadır. Besleme voltaj bağlantı bacağına ise motorun çektiği voltaj ve akım uygulanmalıdır. Dikkat edilecek nokta beslemeyi verirken 2 amper ve 45 voltajı geçilmemelidir.



Şekil 4.11. Dört motorun sürülmesi için gerekli bağlantı diyagramı

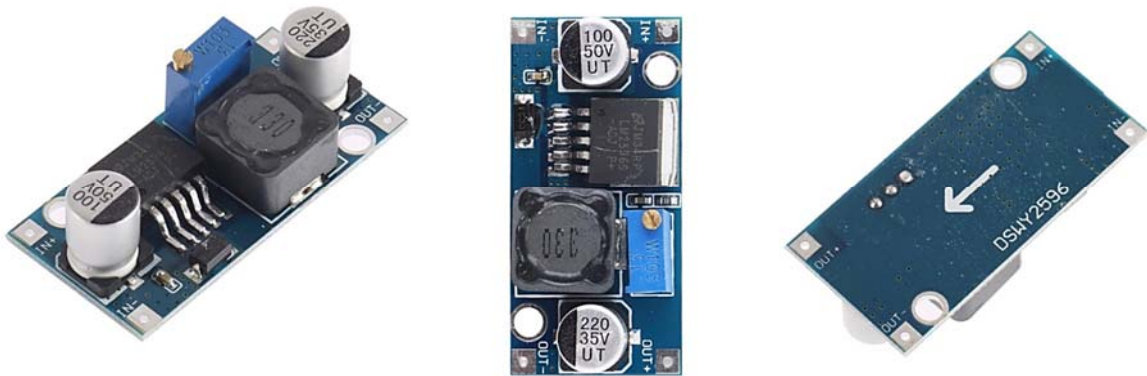
Programlama kartlarının pinlerinden çıkış akımları genelde 45 mA civarındadır. Motor sürmek için bu akım yetersiz kalmaktadır. Bu durumda motor sürücü entegrelerine ihtiyaç duyulur. Ancak motor sürücü entegreleri tek başına hassas çalışırlar. Bundan dolayı motor sürücü devresi kurulmalıdır. Şekil 4.11. 'de L298N motor kontrol entegresinin kullanıldığı iki adet motor sürücü devresi görülmektedir. Sistemde dört adet teker dönüşü için dc motor kullanılmıştır. Arduino Mega programlama kartına bir adet L298N motor sürücü devresini bağlantısı Şekil 4.12. 'de gösterilmiştir. PWM sinyali kullanılması için bacak bağlantıları da görülmektedir.



Şekil 4.12. Motor sürücü bağlantısının şematik gösterimi

4.8. Dijital Besleme Bağlantıları

Mikrodenetleyici ve yapısına bağlı sistemlerin dijital beslemeleri için ayrı bir voltaj regülatörü kart kullanılmıştır. Motorun bataryaya uyguladığı ani güç dalgalanmalarından, sistemin zarar görmemesi adına mikrodenetleyici kartı ayrı olarak besleme yaptırılır. Voltaj regülatörü devresinde, birçok elektronik projede regülatör devre elemanı olarak kullanılan LM2596 kullanılmıştır. LM2596 regülatörü seri tipte devre elemanlarının referans voltajları ile doğru orantılı çalışırlar. Girişine uygulanan 3.2 volt ve 35 volt aralığındaki yüksek voltaj beslemelerini kullanım esasına uygun olarak, üzerinde bulunan trimpot yardımıyla 1.25 volt ve 30 volt aralığındaki düşük voltajlara çeviren DC/DC bir regüle devresidir. Buradan da anlaşılacağı üzere, bu kartın girişine uygulanan voltaj değerinin daha altında bir değer almamız için üretilmiştir. Bu kartla voltaj yükseltme işlemi yapılamaz. Devre çıkış pinlerine 3 amper değerine kadar akım verme imkânı vardır. Burada verilen 3 amperden sonra ısınma oluşabilir ve bu durumdan dolayı çıkışa bağlı yapı yanabilir. Çoklu motor sistemlerinde tek başına kullanılması uygun değildir. Şekil 4.13. 'de besleme kartları farklı açılardan gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Ayarlı voltaj regülatörü

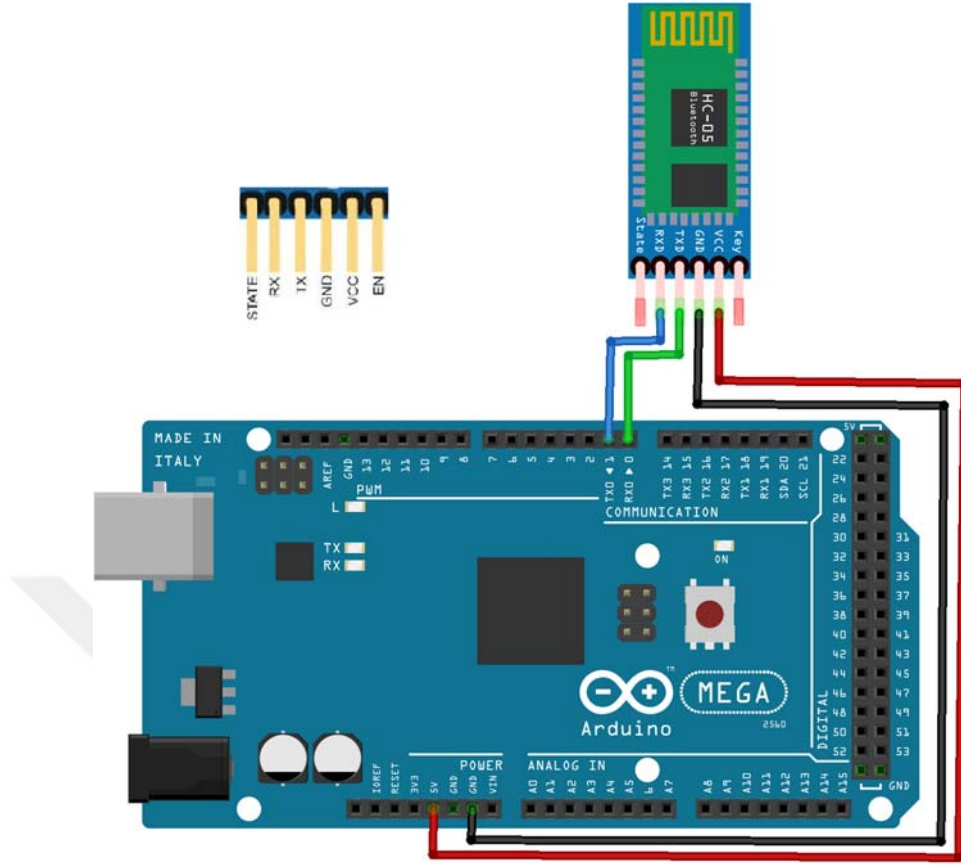
Regülatör devresinde görüldüğü üzere giriş pinleri ve çıkış pinleri için lehimleme amaçlı delik bulunmaktadır. Bu doğrultuda erkek header kısmına lehim işlemi yapılabilir. Bu sayede değişik yapıdaki kartlara bağlantı yapılabilmekte veya bu sistemde olduğu gibi kablo bağlantısı ile lehimleme yapılarak devre kullanılabilir. Girişteki pin gerilimi, çıkışta bulunan pin geriliminden yüksek olması gerekmektedir. Çizelge 4.4. 'te regüle kartının yapısal özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Ayarlı regüle devresinin temel özellikleri

Giriş Voltajı Değeri	3.2 Volt – 35 volt aralığında
Çıkış Voltajı Değeri	1.25 Volt – 30 volt aralığında
Çıkış Akımı Değeri	3 ampere kadar
Dönüşüm Verimlilik Değeri	% 92'e kadar
Çıkış Dalgalanma Voltajı	30 mV değere kadar
Anahtarlama Frekansı	150kHz
Yük Regülasyonu	%0.5'e kadar
Voltaj Regülasyonu	%2.5'e kadar
Çalışma Sıcaklığı	-40 ve +85 derece aralığında
Devre Kartı Ölçüleri	58x20 mm ebadında

4.9. Bluetooth Teknolojisi ve Kablosuz Kontrol Tekniği

Bu prototip tez çalışmasında, Stewart mekanizmasındaki piston kollarında oluşan ters kinematik değerlerini, tekerlerin hangi açıda olduğunu ve sistemin hangi modda olduğunu belirtmek gerekir. Bu açıdan HC-05 bluetooth modülü kullanılarak mikrodenetleyici üzerinden, android işletim sistemli telefon kullanılarak, tez çalışması için geliştirilen android uygulamasına bağlanarak, prototip tez çalışmasının işlemsel verilerini ekrana yansıtan bir görsel panel hazırlanmıştır. Mikrodenetleyicinin bluetooth modülü üzerinden anlık gönderilen sinyal değerleri, USART haberleşme protokolü kullanılarak alıcı modül ile bağlantı yapıp veri alışverişi sağlanır. USART protokolü üzerinden evrensel olarak, senkron veya eşzaman sız bağlantı kurulup veri alışverişi yapılabilmektedir. Mikrodenetleyici ve alıcı modülün bağlantıları yapıldıktan sonra, android cihaz için tasarlanan uygulama ekranında robota dair birçok değer gösterilmektedir. Şekil 4.14. 'de kullanılan bluetooth modülünün mikrodenetleyici kartına bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 4.14. Arduino Mega ve Bluetooth modülü bağlantı şeması

Bluetooth, uygun alıcı donanımları arasında kablosuz haberleşme sağlayan, belli mesafe içerisinde alıcı ve verici sistemin birbirini karşısında olmadan bile haberleşme sağlayan bir sistemdir. Bu teknoloji 2,4 GHz frekans bant sisteminde çalışmaktadır. Ses veya veri dosyalarının iletimini yapabilmektedir. Veri aktarımı 24 Mbps olup, alıcı, verici sistemler arasındaki mesafe sistem kalitesine göre en uzaklık sınırları 10 metre ile 100 metre arasında değişmektedir. USART haberleşme protokolü, çevirme işlemi yapmaktadır. Seri port üzerinden alınan veriyi işleyerek paralel veriye, paralel port üzerinden alınan veriyi ise seri veri haline çevirir. Seri porta göre uyarlanan, seri port sistemi üzerine dayalı bir entegredir. Bağlı olduğu mikrodenetleyici ile gelen veri arasında çevirme işlemi yapar.

Seri veri iletiminde standart kabul edilen alıcı ve verici işlemlerini yapan bağlantı pinleri;

- **Rx** veri alma pini,
 - **Tx** veri gönderme pini
- şeklindedir.

HC-05 bluetooth modülünün belli bilinen özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Master ve Slave modları mevcuttur. Adından da anlaşılacağı gibi, bu sistemde belli bir ana yönetici bluetooth modu oluşturulmalıdır.
- Modüle bağlantı yapılması için, bağlantı ismi ve özel parola belirlenebilir.
- Sistemde veri alışverişi noktadan noktaya olmaktadır.
- Bu modül, 2.0 bluetooth sistemini desteklemekte ve yaklaşık 10 metre çap aralığında bağlantı yapabilmemizi sağlar.
- Bu modülde fabrika çıkışı kabul edilen baud hızı 9600 bps olarak bilinir.
 - Mikrodenetleyici bağlantısında 4 pin bağlantısı yeterli olmaktadır. Bunlar Çizelge 4.5. 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Arduino ve Bluetooth modülü çapraz seri haberleşme pinlerinin karşılıkları

Bluetooth Pinleri	Arduino Pinleri
Rx	Tx
Tx	Rx
Vcc	5 volt
Gnd	Gnd

Çalışmada, HC-05 modül bağlantısı basit bir şekilde Arduino Mega programlama kartına bağlanmaktadır. Çizelge 4.5. 'de görüldüğü üzere HC-05 modülünde bulunan Rx pini, programlama kartında bulunan Tx pinine, Tx pini ise Rx pinine bağlanması gerekir. Buradaki veri alışveriş pinlerinin (Rx, Tx) çapraz bağlanmasındaki amaç, bir pin veriyi gönderirken diğer pinin veriyi dinlemesi gerekliliğidir. Modülün besleme giriş pinleri ise az yük gerektirdiğinden arduinoya bağlantısı uygun görülmüştür.

4.10. Arduino İçin HID Aygıt Desteği Sağlama

Sistemde Arduino Mega programlama ve geliştirme kartına, harici herhangi bir usb donanımın tanıtılması, bilgisayara bağlanmış gibi gösterip istediğimiz yazılımla şekillendirip kullanmamıza olanak tanır (Şekil 4.15.). Ayrıca sisteme usb host özelliği

kazandıran fonksiyonel bir karttır. Usb host shield ismi ile belirtilen kartın üzerinde mikro denetleyici olarak “MAX342IE” entegresi kullanılmıştır. MAX342IE entegresi analog ve mantıksal içyapısı itibari ile usb 2.0 desteklemektedir. Kullanılan usb host kartı belli standartlara göre üretilmiş olmasının amaçlarından biride, farklı tasarımlı Arduino kartlarına kolayca tanıtılması ve kartın özel kütüphanelerini kullanarak program geliştirilebilir.



Şekil 4.15. Usb Host Shield Görünümü

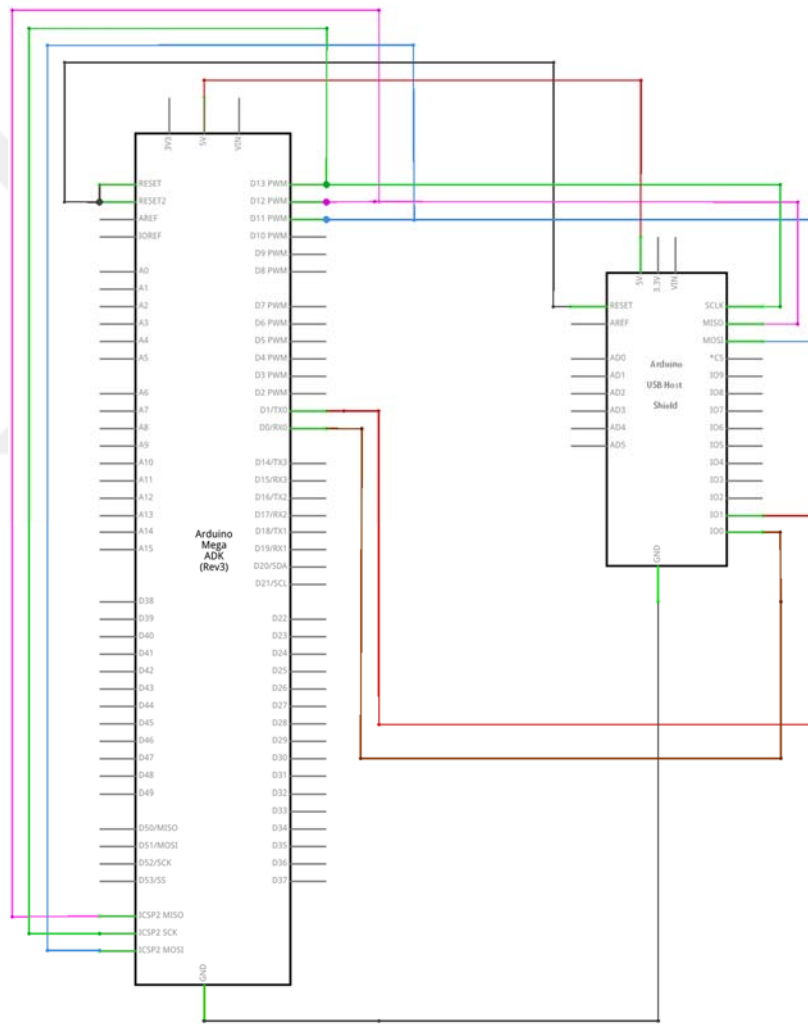
Kartın desteklediği aygıt türleri;

- HID aygıtları (Klavye, fare gibi)
- Oyun kolları (Playstation veya sistemde kullanılan Gamesir oyun kolu)
- Usb-Seri Çevirici (PL-2303 veya bazı mobil telefonlar gibi)
- Bluetooth bağlantı aparatları
- Veri depolama aygıtları (usb bellek, kart okuyucu gibi)

şeklinde sıralanabilir.

Usb host kartı, Arduino mega programlama ve geliştirme kartının yapısına kolaylıkla takılan ve çıkarılabilir. Arduino ile SPI (senkron olarak seri haberleşme) haberleşme bağlantı protokolünü kullanır. Arduino mega kartıyla haberleşmesinde 13,50,51,52 ve SPI bağlantı pinleri kullanılır. Hem Arduino kartında hem de usb host kartında pin 13, MAX342 entegresinin yonga seçme pini şeklinde kullanılır. Usb host kartının çalışma gerilimi 5 voltur. Kartın çalışma sırasında çektiği akım, bağlandığı donanıma göre değişiklik gösterir. Ancak iyi bir besleme kaynağı ile desteklenmesi halinde 500 mA akım çekmektedir. Buna istinaden Arduino kartı üzerinden kendi bağlantı pini ile akım çekmesi durumunda çektiği akım 350-400 mA arasında olacaktır. Dikkat edilmesi gereken nokta, Arduino üzerinden

fazla akım çekilmesinden kaçınılmalıdır. Arduino kartı beslemesi istenilen durumdan farklılık gösterdiğinden dolayı kararsız çalışabilir. Programlama yapılırken usb host kartının geliştirilmeye açık olan ve her geçen gün daha da geliştirilen kütüphanelerini, sistemimize dahil etmemizin yanı sıra içindeki ek özellikleri kullanabiliriz. Kütüphaneleri kullanabilmemiz için, Arduino IDE Platformu üzerine kütüphaneleri kurmak gerekmektedir. Özel kütüphane oluşturulmayacak ise arduinonun kendi kütüphane klasörüne kopyalamamız yeterlidir. Şekil 4.16. 'da usb host kartının Arduino üzerine bağlantısı şematik olarak görülmektedir.



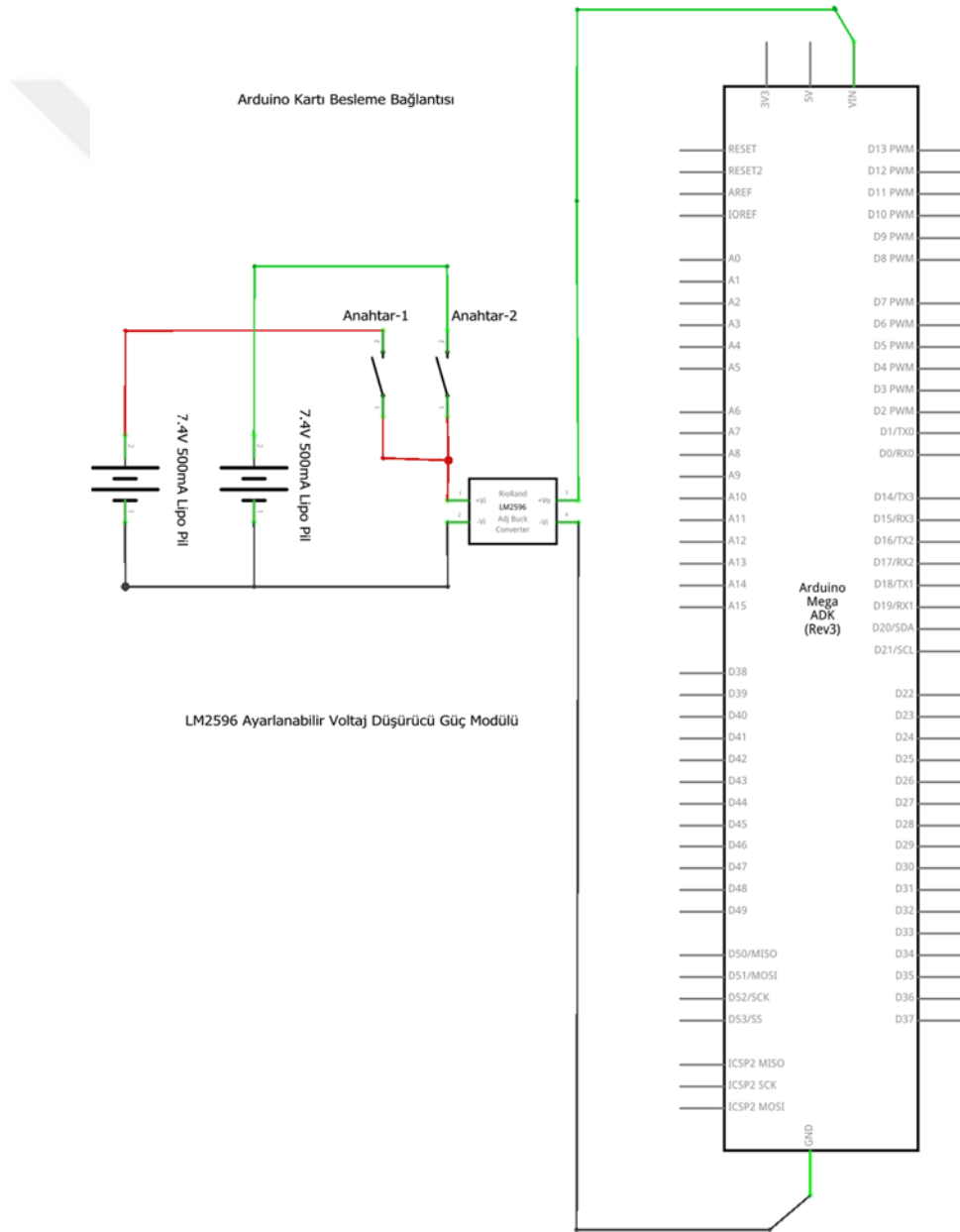
Şekil 4.16. Arduino Mega ve Usb Host Shield bağlantı şeması

4.11. Ana Besleme Bileşenlerinin Anahtarlama Bağlantısı

Elektrik sistemlerinde el kontrolü ile güç sistemlerini anlık kesme ve açma tabirleri üstlenen devre elemanlarına adi anahtar denir. Buton kısmı bakalit, plastik veya porselenden

üretilmektedir. İletken bağlantı bacakları ise nikel kaplanmış pirinçten yapılır. El ile kontrol edilen buton kısmı ise dik şekilde aktif veya pasif görev hareketini sağlamaktadır.

Tez çalışmasındaki sistem güvenliği, sistemin kararlı çalışması gibi güç durumlarını kolay kontrol edilebilmesi için üç adet “adi anahtar” kullanılmıştır. Sistemde adi anahtara basılma durumunda kontakları kapanıp kısa devre olur. Kısa devre durumunda aktif, kısa devre durumu kalkınca pasif olmaktadır. Şekil 4.17. ‘de görüldüğü üzere adi anahtar sisteminin, yazılım kontrol kartına uygulanması şema edilmiştir.

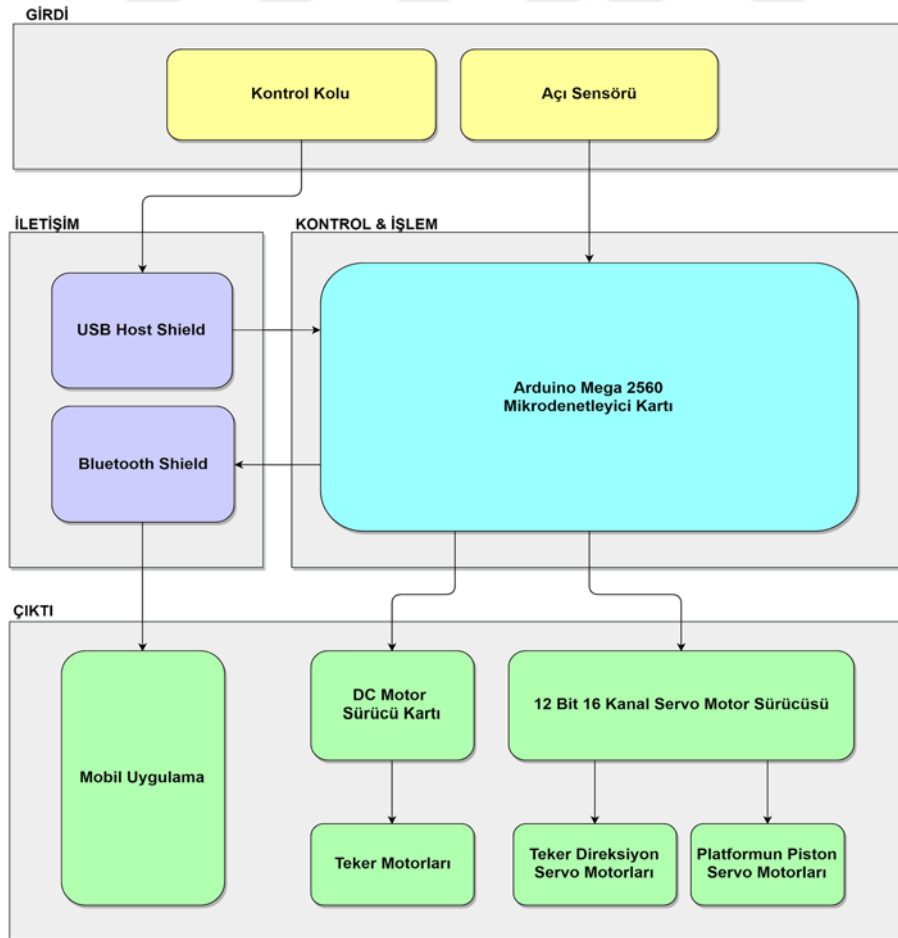


Şekil 4.17. Ana Besleme Bileşenlerinin Anahtarlama Bağlantısı

5. YAZILIMSAL MODELLEME VE KONTROL YÖNTEMLERİ

Prototipleme yaşam döngüsüne bağlı olarak yapılacak tüm işlemler bir çeşit modellemeye tabi tutulmaktadır. Yapılan modellemede sistemin iskeleti ve temel çalışma sahası sunulmaktadır. Sistem bu model ile yapısal olarak anlam kazanmaktadır. Yazılım da aynı şekilde sistemin yapısal yönetimini sağlamaktadır. Birçok yöntem ve formülün, programlama dillerine bağlı olarak modellenmesinin yanında yaşam döngüsünün tasarım çözümlerine de yazılımlar yardımcı olmaktadır. Gömülü yazılım gerektiren yerlerde, sistem elektroniği ve sinyal işleme gibi metotların iyi bilinmesi gerekir. Çalışma kapsamında Arduino programlama kartı ile çalışacak yazılım yazılmıştır.

Sistemin genel çalışma sürecinde GİRDİ, KONTROL, İLETİŞİM ve ÇIKTI katmanlarından oluşmaktadır. Tümlşik prototip sistemin genel işleyiş süreci Şekil 5.1. 'de görüldüğü gibidir.

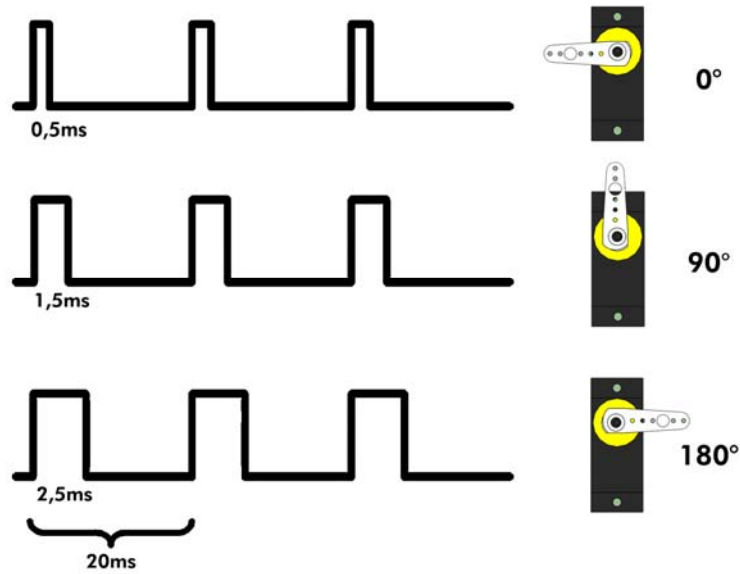


Şekil 5.1. Sistemin genel işleyiş ve süreç katmanları

5.1. Servo Motorun PWM Sinyali Kullanılarak Sürülmesi

Servo motor, doğru akımla çalışır ve geliştirilecek yöntem doğrultusunda aldığı sinyal değerini, istenilen açı değerine dönüştüren motor çeşididir. Doğru akımla çalışan motorlarla aynı çalışma prensibi kullanırlar. Buna istinaden kontrol kartı ve pozisyonunu algılaması için ayarlı direnç (potansiyometre) gibi ekstra yapı bileşeni vardır. Potansiyometre servo motor içerisindeki redüktör sisteminin çözünürlüğüne göre değer algılayıp işler ve geri döndürür. Geri besleme yapısıyla istenilen açığa rahatlıkla ve kararlı bir şekilde gidebilir. Redüktör çıkışına bağlı bir ayarlı direnç bulunmaktadır. Direnç değerine göre çözünürlük kümesi oluşturur ve rotoru uygun pozisyona getirilir. İstenilen pozisyona getirilirken istenen açı değeri ile potansiyometredeki değeri karşılaştırıp, aynı olma durumunda veriyi işler ve rotorda pozisyon günceller.

Sistemde servo motor sürmek için PWM sinyali kullanılmıştır. Sinyallerin tetikleyicisi ve kontrol edicisi her ne kadar Arduino Mikrodenetleyici kart gibi görünse de prototip sistemimizde 12 bit 16 kanal kontrol sağlayabilen PCA9685 kartı kullanılmıştır. Servo motorlara gelen pwm sinyalinin geniş aralığına göre motor pozisyon değişimi yapar. Bu motorlarda hareket, açısal derece baz alınarak yapılmaktadır. Motora gelen pwm sinyalinin çevrim aralığı sabit olursa, motor aynı derecede kalır. Şekil 5.2. 'de motorun sinyal genliğine göre açı değişikliği gösterilmiştir.



Şekil 5.2. PWM sinyali ile servo motorun sürülmesi ve pulse genişliği

Servo motorlarda açı değışikliğinin yapılması, yani istenilen pozisyona getirilmesi için motora verilen sinyal-frekans değeri 50 Hz olarak uygulanması gerekmektedir. Motor pozisyon değışikliğinde 0° ve 180° arasındaki hareketinde, gelen PWM sinyalinin çevrim süresinin 1 ve 2 ms arasında olması gerekir. PWM sinyalinde gelen 1 ms çevrim süresinde, servo motor 0 derece pozisyonunda olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5.2. 'de görüldüğü üzere 0.5 ve 2 ms çevrim sürelerinde pozisyon 90° fark etmektedir.

Sistemde HD-6001HB model servo motor kullanılmıştır. Bu servo motorun kullanılma sebebi, motor torkunun diğer plastik redüktörlü servo motorlara göre iyi ve fiyatının uygun olması denebilir. Çalışma kapsamında tasarlanan Stewart sistemi için hafif, güçlü ve hızlı hareket kabiliyetine sahip bir servo motor modeli kullanılmıştır. Bu servo motorun zorlanma torku 6 volt beslemede 6.7 kg/cm değeri vermektedir. Bu değeri 657 N.mm değerine eşdeğer gelmektedir. Servo bağlantı milini tutan kasnak sisteminin çap değeri 1,3 mm olmakta ve motor sisteminden elde edilen kuvvet ise tork değeri, kasnak sisteminin yarıçapına bölünmesi ile bulunur. Bu durumda;

$$F = T/rk = 657 \text{ Nmm}/13\text{mm} = 50.53 \text{ N} \quad (5.1)$$

Denklem (5.1) 'de gösterildiği gibi bir sonuç çıkmaktadır. Ancak servo motor sürtünmesi veya dış etken sürtünmelerinden dolayı tam verim vermemektedir. Literatüre göre araştırıldığında servo motorun veriminde %25 gibi bir kayıp söz konusu olabilmektedir. Bu durumda ise;

$$F_{net} = 50.53 \times 0.75 \cong 38 \text{ N} \quad (5.2)$$

sonucu elde edilir. Bu sonuca servo motordan temiz alınabilen güç değeri denebilir.

5.2. DC Motorun PWM Sinyali Kullanılarak Sürülmesi

Doğru akım motorları yapısal olarak kontrolleri kolay sağlanabilen motorlardır. Bu motorların hız ayarlamasının yapılabilmesi için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. En genel kullanılan yöntemler; birincisi besleme geriliminin genliğinin değıştirilmesi (voltaj arttırma veya azaltma), ikincisi ise motora gönderilen sinyalin birim zamandaki sinyalini belli periyotlara ayırarak sinyal genliğinin sıklığı ile oynanmasıdır (PWM). Doğru akım motorlarının hız ayarlaması alternatif motorlara göre çok kolaydır. Bunun sebebi ise

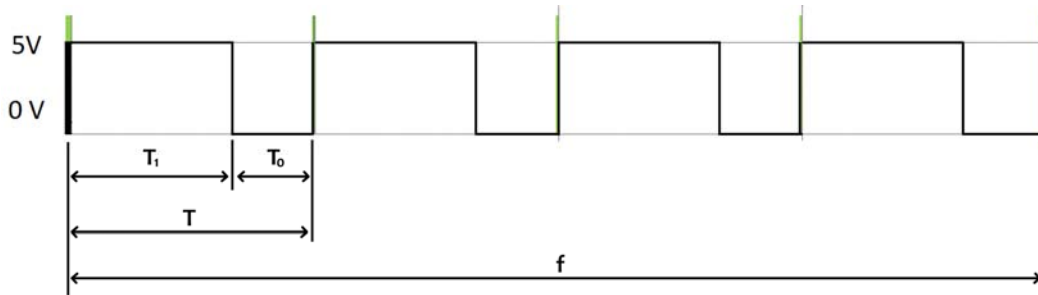
alternatif motor hız ayarlamalarında sinyalin işlenmesi, genlik değişimleri oldukça güç ve maliyetlidir.

Doğru akımla çalışan motorun hızını birçok şekilde kontrol edebiliriz. Bunlar;

- Motora giden beslemede yarı iletken devre elemanları kullanılarak hız kontrolü,
- Motora giden akım şiddetini değiştirerek hız kontrolü,
- Devreyi endüvi sistemine getirip, direnç değerleri ile oynanarak hız kontrolü,
- Ward-Leonard yapısı ile hız kontrolü,
- PWM kullanılarak hız kontrolü

sağlanabilmektedir.

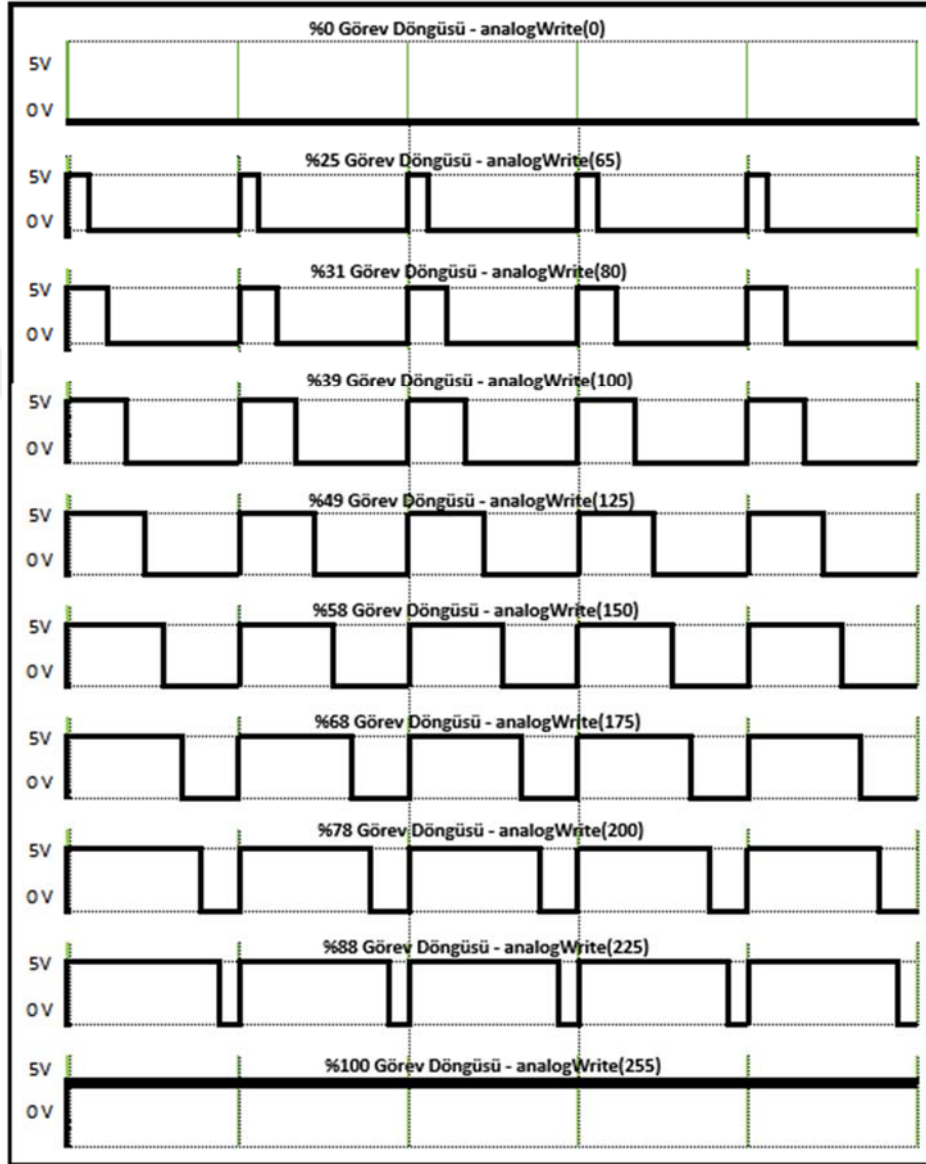
Bu çalışma kapsamında yapılan prototip sistemde teker sistemi için doğru akım motorları kullanılmıştır. Sistemdeki motorların hızı PWM sinyali kullanılarak ayarlanmaktadır. PWM kontrolü, gönderilen elektrik sinyalinin belli periyotlarda kesik kesik gönderilmesini sağlayan bir çeşit genlik modülasyonudur. Gönderilen sinyalin bir saniye içerisindeki tekrarı frekansı (f), sinyalin tekrarlayan kısmının birim zamana denk gelen süreçteki kısmına periyot denmekte olup T ile ifade edilmektedir. PWM sinyali genellikle genlik miktarının (T_0) periyota oranı şeklinde tanımlanır. T_1 genlik modülasyonu içerisinde sistemin aktif sinyali verildiği süreci, T_0 ise sinyalin 0 yani hiç voltaj olmadığı kısmın süresini ifade etmektedir (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. PWM sinyali için aktif ve pasif durumun gösterimi

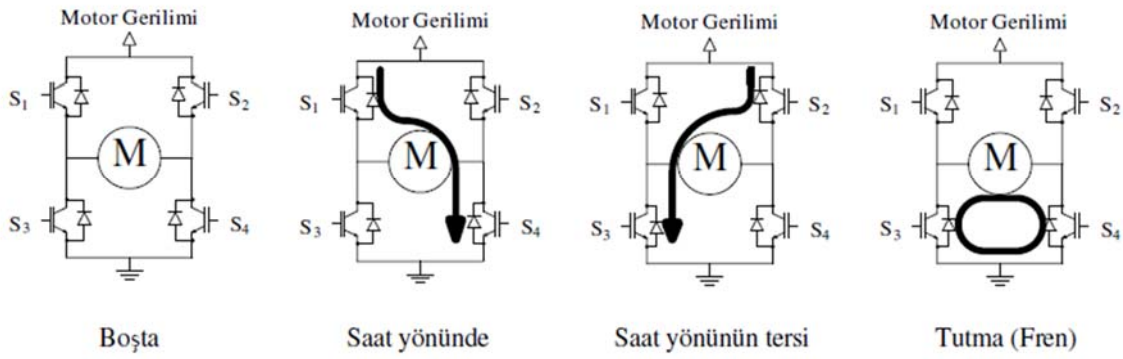
Tez çalışmasında, doğru akım motorlarını kontrol etmek için PWM sinyal sistemi kullanılmıştır. PWM sinyali birçok projede DC motorun hız kontrolcüsü olarak kullanılmaktadır. PWM darbe genişlik modülü olarak adlandırılır. Adından da anlaşılacağı gibi, PWM sinyali sistemde üretilmesi amaçlanan darbe genişliğini kontrol altına alarak, alıcı sisteme gönderilmek istenen analog sinyalin oluşmasını sağlamaktadır. PWM sinyalini

oluşturulan kare sinyal modülasyonunun ortalamasını alınır ve alıcıya ulaştırılması planlanan analog sinyalin oluşmasını sağlar. Şekil 5.4. 'te belirtildiği gibi PWM değerinin işleme alınması ve yüzdelik karşılığı modüle edilmiştir.



Şekil 5.4. Örnek PWM sinyalleri ile yüzdelik pulse değişimleri

Doğru akım ile çalışan motorun yönü, girişlerine bağlı beslemenin yönüyle bağlantılıdır. Buna bağlı olarak motorun yönünü değiştirmek istersek, motorun girişlerine uygulanan besleme geriliminin de yönünün değişmesi gerekmektedir. Bu durumda H köprüsü adı verilen devre ile çözüm bulmaktadır. Şekil 5.5. 'te H köprüsünün çalışma yapısı verilmiştir.

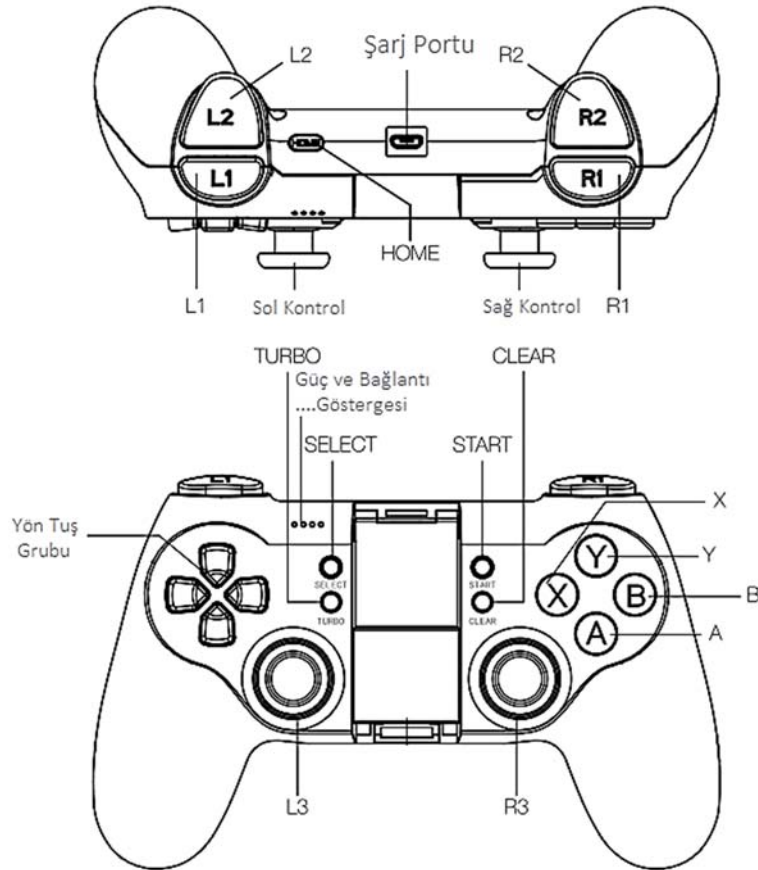


Şekil 5.5. H-köprü ile DC motor yön kontrolü [43]

Şekil 5.5. 'te görüldüğü üzere, H köprüsü çalışma yapısında S_1 , S_2 , S_3 ve S_4 bağlantılarının kısa devre olma durumuna göre motor yönü ayarlamak veya frenleme yapmak mümkündür [43].

5.3. Sistemin Kumanda ile Kontrol Tekniği

Sistemi kontrol edebilmemiz için kablosuz kumanda modülü kullanılmıştır. Bu kumanda modülü, piyasada genelde eğlence sistemlerinde kullanılan kontrol kollarıdır. Kontrol kolu, kullanıcı tarafından alınan veriyi işler ve alıcı cihaza komut olarak gönderir. Endüstriyel sistemlerde ise bir araç veya makine sisteminin x-y eksenlerinde kontrol edilebilmesine olanak verir. Kontrol kolları çalışma sistemlerine göre analog ve dijital olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Dijital kontrol kolları, x ve y ekseninde bulunan dörtlü butonlardan herhangi birine basıldığı durumlarda, butonlar alt devre kısmında kısa devre oluşturur ve komutu sağlar. Ancak bu kontrol kolu z ekseninde eksik kalmakta ve tam konumlandırma yapılması kullanıcıyı bir hayli zorlamaktadır. Analog kontrol kolları ise, kontrol yöntemine göre ikiye ayrılmışlardır. Bunlar endüktif ve rezistif kontrol kollarıdır. Endüktif kontrol yöntemi, kontrol kolunun alt kısmına özel olarak yerleştirilen bobinlere, kullanıcının verdiği harekete göre kontrol edilen mıknatıslı çubuğun etki etmesi ile x ve y değerlerinin ortaya çıkması sonucunda çalışmaktadır. Rezistif kontrol yöntemi ise, kontrol kolunda bulunan disk yapısına benzer elektriksel olarak direnç etkili devre elemanına, kullanıcı çubuğunun herhangi bir noktadan hareket ederek temas etmesi prensibi ile çalışmaktadır. Şekil 5.6. 'da kullanılan kontrol kolunun, alıcı devreye gönderdiği buton komut değerleri ve kontrol kolunun yapısı yer almaktadır.

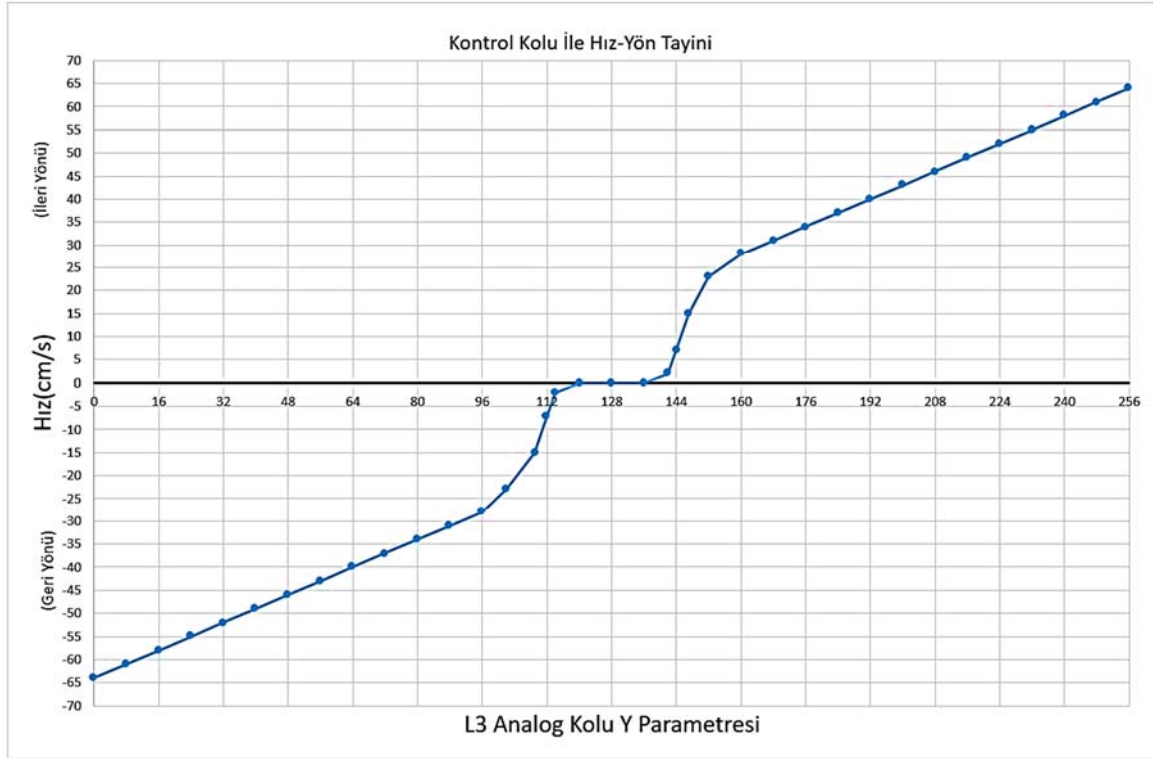


Şekil 5.6. Kontrol kolu ve buton komutları

5.4. Teker Sistemi Kontrol Yazılımı ve Yöntemi

Tez çalışması, bağımsız olarak yönlendirilebilen dört ayrı motor ile çalışan tekerlek sistemine sahiptir. Bu sistem sayesinde araçlar daha küçük bir dönme yarıçapı sahip olur ve U dönüşü yapabilirler. Kullanılan dört tekerlek mekanik olarak birbirine bağlı değildir. Araç pozisyonunu değiştirirken tekerlerin hız ve yön parametrelerini kinematik hesaplamalara bağlı algoritmaya göre hesaplamaktadır. Sistem teker hesaplamalarında kullanılan Ackermann Geometrisini daha iyi bilmek gerekir.

Teker hızını kontrol etmek için kontrol kolu üzerindeki L3 analog kolunun Y eksen parametresi kullanılmaktadır. L3 kolu 0 ile 255 arasındaki değerde değişmektedir. Normal duruş konumunda ± 3 hata payı ile 127 değeri gelmektedir. Kontrol kolunun butonunun aşağı yönlendirilmesi ile aracın geri gidişi, yukarı yönlendirilmesi durumunda ise ileri yönde gidişi sağlanmaktadır. Kontrol kolu ile hız-yön tayini arasındaki bağıntı Şekil 5.7. ile gösterilmiştir.



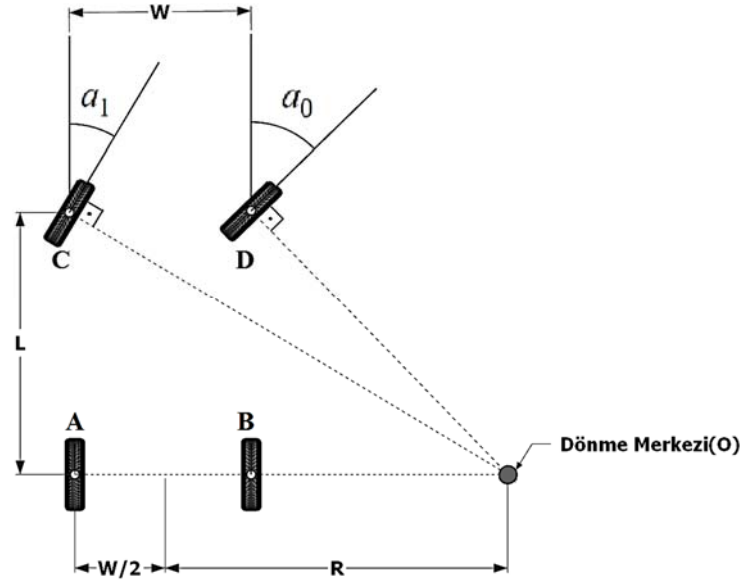
Şekil 5.7. Kontrol kolu L3 parametresi ile aracın hız ve yön tayini grafiği

5.4.1. Teker açılarının geometrik yöntemlerle hesaplanması

Araçların teker yönlerini grafiksel olarak gösterebilmek için literatürde dört teker modeli ve bisiklet modeli bulunmaktadır. Sistemi kinematik olarak yorumlayabilmek için teker sisteminin, bisiklet modeli kullanılabilir. Modelin dümenleme hareketlerini optimize bir şekilde hesaplayabilmek için aracın teker kontrol modlarında Ackermann Geometrisi kullanılmıştır. Teker, direksiyon açıları birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmiştir. Sistem prototipi hazırlanırken mikrodenetleyici olarak Arduino Mega 2560 kullanılmıştır. Arduino birçok sistemin tasarlanmasında kullanılmaktadır. Üzerinde bulunan yonga setleri sayesinde ROM belleğine yüklenen, programdaki istenilen algoritmayı uygun olarak çalıştıran birçok aritmetiksel ve mantıksal hesaplama yapabilmektedir.

Tekerleklerin dönüş hareketleri sağlanırken, aracın hayali bir dairenin çevresinden dönmekte olduğu söylenebilir. Tüm tekerleklerin dik açısı bu dairenin merkezinde çakışık olmalıdır. Bu şekilde her teker kendi dönüş dairesini veya dönme yayını oluşturur [44]. Araç dönerken tüm tekerlekler eş merkezli daireler etrafında mutlak dönme hareketini sağlar. Bu dairelerin merkezi ile dairenin çevresini tarayarak takibini sağlayan, tekere olan uzaklığı dairenin

yarıçapını verir. Teker açılarının eşmerkeze dik olma koşulunu sağlanması durumunda tekerleklerin aşınması ve sürtünmesi en aza indirilir ve tekerleklere verilen güç verimli bir şekilde kullanılır. Direksiyon açısı sabit tutulduğu zaman aracın aynı nokta etrafında dönüşü sağlanır.



Şekil 5.8. Ackermann Geometrisi ile hesaplanmış teker açılarının örnek gösterimi

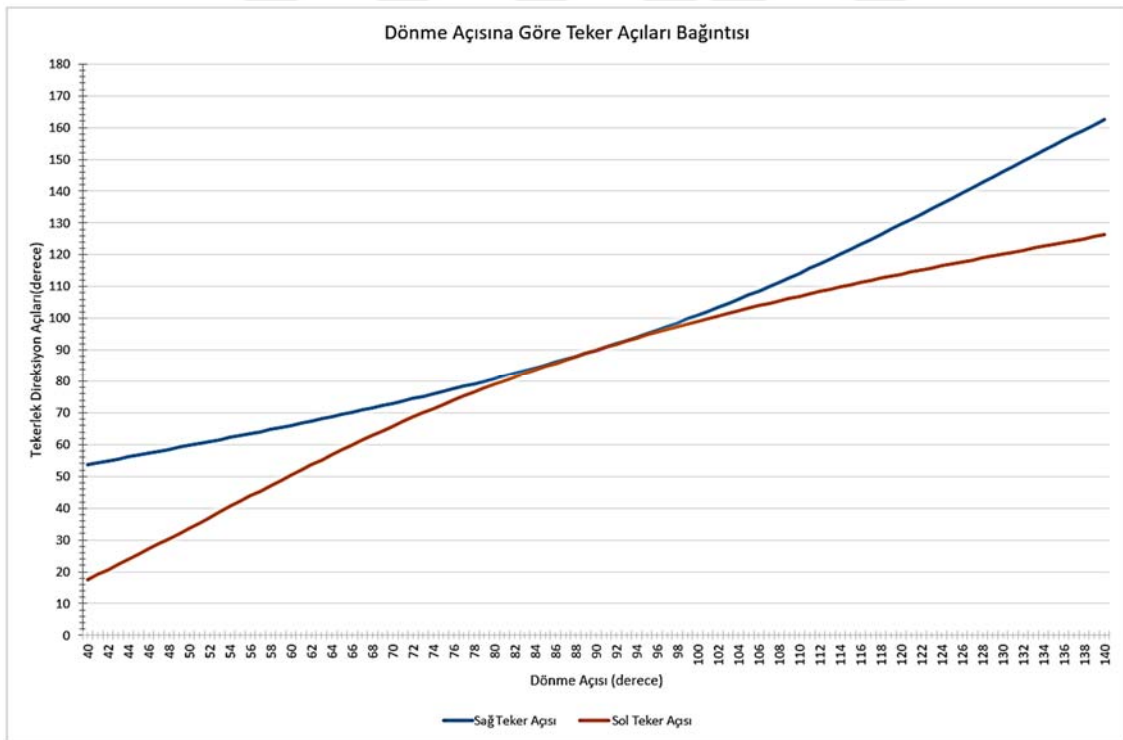
Teker dik açılarının kesiştiği noktaya, dönüş yayı merkezi veya dönüş merkezi (O) de denebilir. Sistemin bu işlem aşaması Ackermann Geometrisi olarak adlandırılır. Ackermann Geometrisine göre formüle edilirken teker iz genişliği (W), teker aralığı (L) ve dönme merkezine olan uzaklık diğer adı ile dönme yarıçapı (R) ile sistem formüle edilebilir. Eşmerkezli dümenleme koşulu sağlandığında, sol ve sağ ön tekerleklerin, arka tekerleklerin dik açılarına paralel olacak şekildedir. Bu durumun sonucu olarak tekerleklere dik açıların O noktasında kesiştiği sağa dönüşü temsil eden örnek durum Şekil 5.8. gösterilmiştir. $a_0 - a_1$ açılarının elde edilmesi için denklem (5.3) ve denklem (5.4) 'ün kullanılması gerekir.

$$\tan a_0 = \frac{L}{R - \frac{W}{2}} \quad (5.3)$$

$$\tan a_1 = \frac{L}{R + \frac{W}{2}} \quad (5.4)$$

Aracın ideal dönme eylemini sağlamak için Ackermann Geometrisi ile elde edilen denklemlerde (denklem (5.3) ve denklem (5.4)) aracın dönüş yarıçapını belirleyen

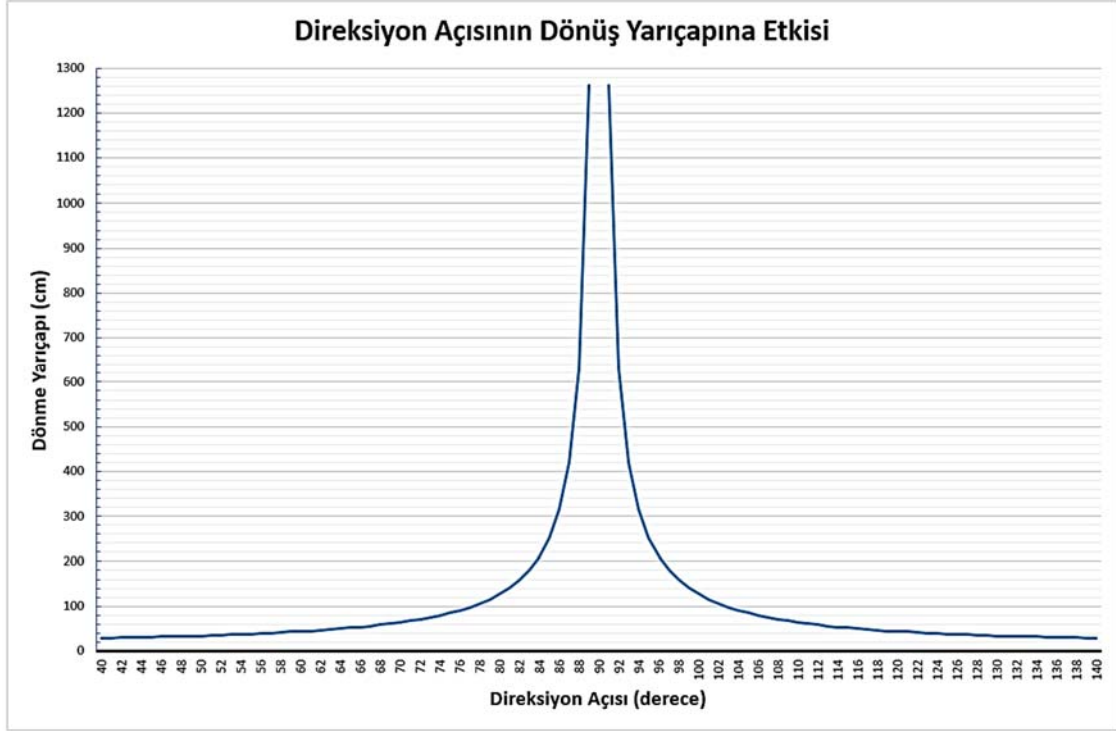
değişkenler; iç ve dış tekerleklerin açısı (a_0 ve a_1), teker iz genişliği ve teker aralığıdır. Buna bağlı olarak dönme yarıçapının gerçeğe uygunluğunu etkileyen kütle, yerçekimi ve hız gibi değişik parametrelerde bulunmaktadır. Bu parametreler her ne kadar önemli olsa da olayın tamamı ele alındığında en önemli etken, tekerleklerin açı kontrollerini en iyi şekilde sağlamak, sürtünme ve gerilme gibi durumları minimize etmek olduğunu da belirtmek gerekir. Araç bir dönüş yayını takip ettiği zaman iç ve dış teker arasındaki açı farkını, teker aralığı ve teker iz genişliği parametreleri etkilemektedir. Sabit teker konumlarının bilindiği sistemlerde, yalnızca tekerleklerin dümenleme açılarında yapılan değişiklikler dönüş yarıçapını etkilemektedir. Diğer parametrelere bağlı olarak yapılan dönüş yarıçapı değişiklik yöntemleri hem masraflı hem zordur. Genellikle özel bir durum olmadığı sürece sistem dönüşünü sağlamak için yalnızca tekerleklerin açıları kullanılır. Şekil 5.9. incelendiğinde dönme açısının 90° olması, aracın düz gitmesini ifade etmektedir. Dönme açısı hangi yöne doğru ise o yöndeki tekerin diğer taraftaki tekerleğe göre daha geniş açıda döndüğü görülmektedir.



Şekil 5.9. Aracın dönme açısı ile teker açıları bağıntısı grafiği

Teker açılarının başlangıç durumundaki 1° tolerans payının parametresine göre bakıldığında, dönüş yarıçapı 12 metre'den başlamaktadır. Direksiyon açısı tam dik yani düz konuma getirildiğinde, dönme yarıçapı sonsuz büyüklüğe doğru artmaktadır. Maalesef bunun

sağlanması teorik olarak mümkün görünse de gerçek yaşam koşullarında ister istemez, çok ufak ta olsa açısal kaymalar yaşanacağı için çok büyük dönme yarıçapına ulaşılır demek daha doğru olacaktır. Şekil 5.10. ile bisiklet model ile düşünülen teker açılarının dönme yarıçapına etkisi görülmektedir.

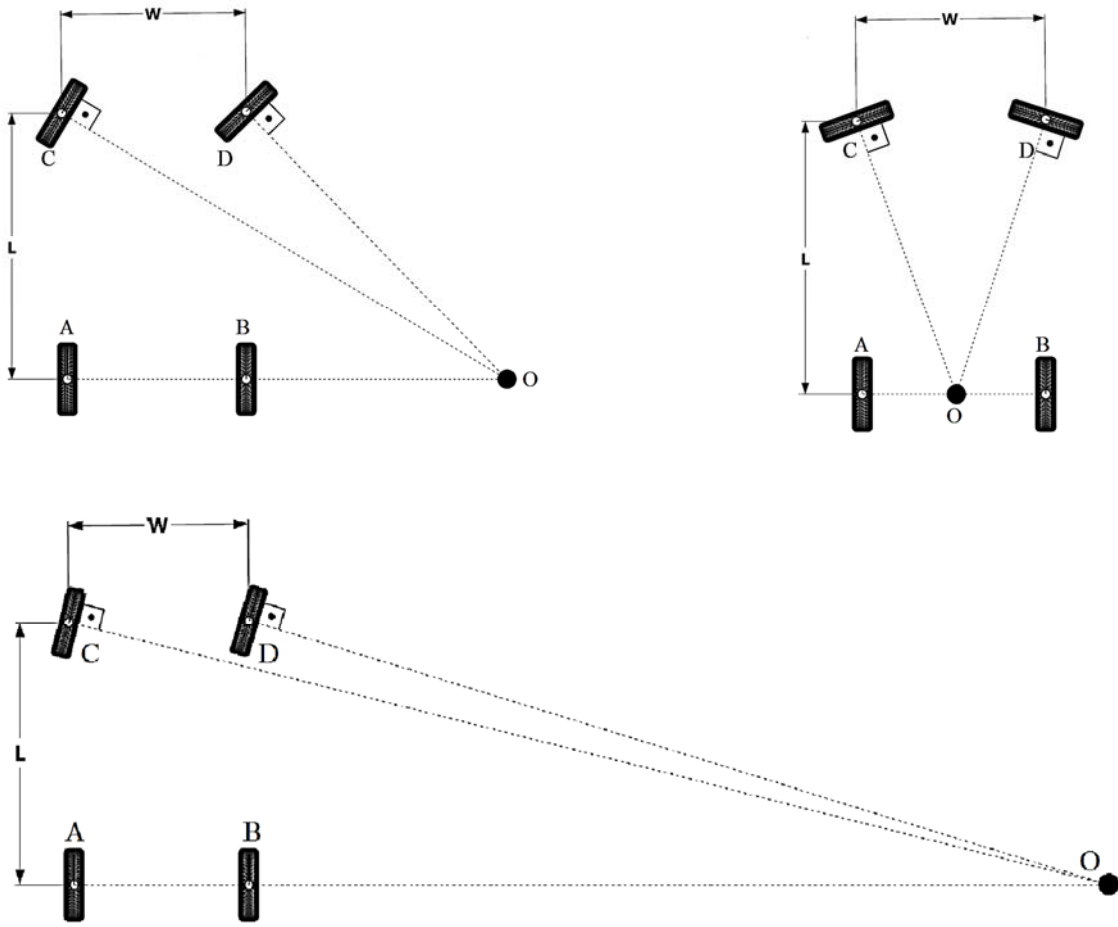


Şekil 5.10. Aracın dönme açısının dönme yarıçapına etkisi grafiği

Şekil 5.8. incelendiğinde araç dönüşünü sağlayan a_0 açısı ile a_1 açısı arasında ufak bir fark bulunmaktadır. Dönme yönüne göre iç teker ile dış teker arasında $a_1 - a_0$ kadar bir açı farkı bulunmaktadır. Bu açı nispeten küçük bir değere sahip olsa da olması gerekenden çok farklı sonuçlar çıkarabilir.

$$\cot a_1 - \cot a_0 = \frac{W}{L} \quad (5.5)$$

Sistemin üzerine kurulu olduğu ideal dönüş açılarını tanımlamak için direksiyon açısının belirtildiği tekerlekler arasındaki bağıntı denklem (5.5) ile ifade edilmiştir. Denklem incelendiğinde a_0 ve a_1 kotanjant açılarının farkı bu açıların uygulandığı tekerlekler arasındaki genişliğin (W), tekerlek düzleminden L kadar uzaklıktaki aralık oranına eşittir. Burada tekerleklere dik, uzaysal ışınların izdüşümü sürekli olarak L aralığındaki doğru üzerinde O noktasında kesişecektir (Şekil 5.11.).

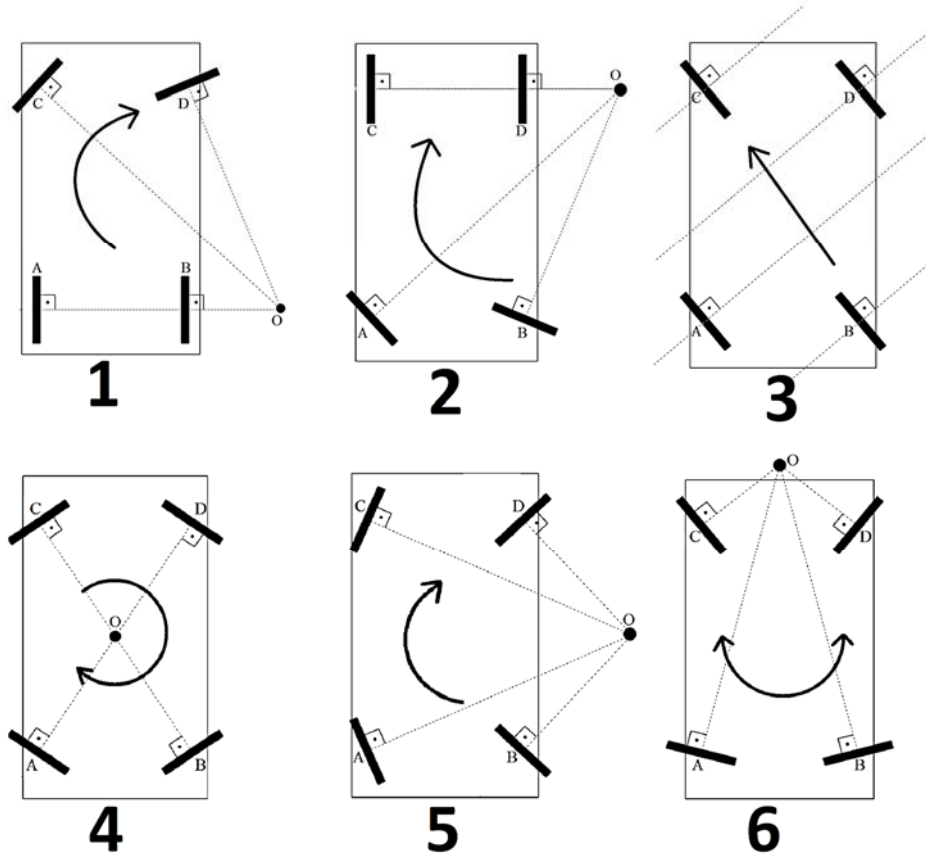


Şekil 5.11. Aracın tüm tekerlerinin aynı noktalarda buluşmasına örnek gösterim

Çeşitli direksiyon konfigürasyonları mevcuttur. Bunlar;

- **İki tekerlekli direksiyon:** Bu mod ile sadece ön direksiyon tekerlekleri veya arka direksiyon tekerlekleri tahrik edilerek araç dümenlenir.
- **Dört tekerlekli direksiyon:** Bu mod ile tüm tekerlekler araca göre sınırlandırılmış alanlar içerisinde hareket eden noktaya göre ayrı ayrı Ackermann prensibini sağlayacak şekilde açılırlar. Karmaşık hesaplamalara sahiptir.
- **Yengeç tipi direksiyon:** Bütün tekerlekler aynı yöne döndüğünde yengeç yönlendirilmesi olarak bilinir. Araç bakış yönünü değiştirmeden farklı yönlere doğru ilerleme yapabilir.

- **Sıfır merkezli direksiyon:** Tüm tekerleklerin dik açısı, aracın merkezine denk gelecek şekilde konumlandırılır. Bu durumda araç kendi etrafında dönüş gerçekleştirir.
- **Eksen bağımsız merkezi direksiyon:** Tekerlekler araca göre hem x hem de y ekseninde hareket eden bir noktayı takip etmektedir. Bu mod ile araç sınırlandırılmış mesafe üzerinde hareket eden noktaları takip etmektedir. Detaylı ve fonksiyonel dönüş sağlar. Bunu durumu açıkça anlatmak gerekirse; araç belirtilen nokta etrafında, istenilen yarıçapa sahip bir çember şeklinde dönüş hareketini rahatlıkla yapabilir. Direksiyon açıları değişmediği sürece, aracın takip ettiği çemberin aynı konumda olması beklenir.



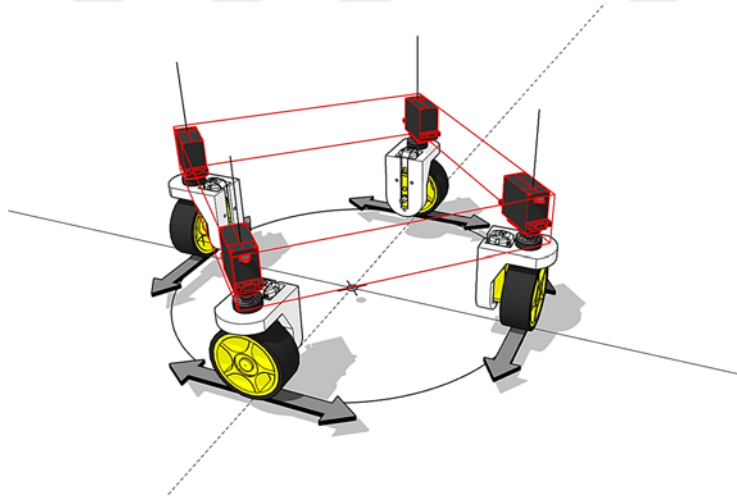
Şekil 5.12. Tekerlek yönlendirme açılarının kontrolünde farklı yaklaşımlar

Şekil 5.12. incelendiğinde teker açılarının farklı konfigürasyonlarda kontrol edilmesi ile Ackermann Geometrisinin sağlanması durumunda birçok farklı yaklaşım ortaya çıkmaktadır;

1. Ön Direksiyon Kombinasyonu (Ön tekerlekler tahrikli)
2. Arka Direksiyon Kombinasyonu (Arka tekerlekler tahrikli)

3. Yengeç Teker (Tüm tekerlekler eşit açıda tahrikli)
4. Sıfır Merkezli Direksiyon Kombinasyonu (Tüm tekerler ortaya)
5. Araç Bazlı X Eksen Düzlemi bağımlı merkezi direksiyon
6. Araç Bazlı Y Eksen Düzlemi bağımlı merkezi direksiyon
7. Eksen bağımsız merkezi direksiyon sistemi

Aracın asgari dönüş çapını hesaplamak için minimum dönme yarıçapının sağlanması gerekir. Dönme merkezi, araç merkezi ile aynı (sıfır merkezli) yapılırsa minimum dönme sağlanır. Azami uzaklığı en yüksek noktalar arasındaki mesafe, aracın asgari dönüş çapını vermektedir (Şekil 5.13.). Araç bu durumda kendi merkezi etrafında dönme hareketi gerçekleştirir. Bu hareketi sağlamak, sürtünme ve ivmesel değişiklikler nedeni ile araç seyir halindeyken mümkün değildir. Araç ancak durma anı pozisyonundayken kendi etrafında dönülmesi gereken durumlarda kullanılır. Bu durumda aracın U dönüşü almasına gerek kalmadan aynı konumda geriye doğru dönüş sağlanacaktır. Yani araç sağa, sola ve geriye ilerlerken herhangi bir L veya U dönüşü yapmadan sadece tekerlekleri istenilen yöne döndürerek bir yön değiştirme sağlamaktadır.



Şekil 5.13. Prototip aracın 3B modelinin kendi etrafında dönüşü

Sistemde yengeç konfigürasyonu dışında tüm açısal kontrollerde bir yayı takip etmek ya da viraj almak gibi amaca yönelik hareketler olmaktadır. Dolayısıyla tekerleklerin sürekli olarak dönme merkezi tayin etmesi gibi bir durum söz konusudur. Araç bu dönme merkezine göre tüm tekerlekleri aynı hızda çalıştıramaz. Aynı hızda çalıştırılması durumunda, sistem kinematiğinin ve dönme yarıçaplarının, dönüş yarıçapına orantılı olması gerektiğinden

sürtünmelere, bir süre sonra sistemde aksamalara ve kaçmalara neden olacaktır. Sistemin teker hızlarının yeterince iyi hesaplanması gerekmektedir.

5.4.2. Teker Hızlarının Geometrik Yöntemlerle Hesaplanması

Bilinen bir düzlem üzerindeki nesnelerin, farklı zaman dilimlerinde farklı yerlerde olması durumu yer değiştirmek olarak adlandırılır. Yer değiştirmenin, anlamlı zaman dilimlerine göre gerçekleşmesinin zamana bağlı olarak yorumlanması ise hız olarak adlandırılır. Hareketten bahsedilen hemen her sistemde hızdan bahsedilmektedir. Hareket etmekte olan tüm mekanik tasarımlar için dairesel ve doğrusal hızın yorumlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemler incelendiğinde yarını tahmin etmek ve yarını inşa etmek adına sürekli olarak araştırmalar yapılmaktadır. Sistem hareketliliğini sağlamak adına yer değiştirme fonksiyonları geliştirilmektedir. Tüm parametrelerin sabit varsayıldığı bir uzaysal alanda bilinen en temel yöntem, zamana göre yer değişiminin incelenmesi durumunda hız ortaya çıkmaktadır.

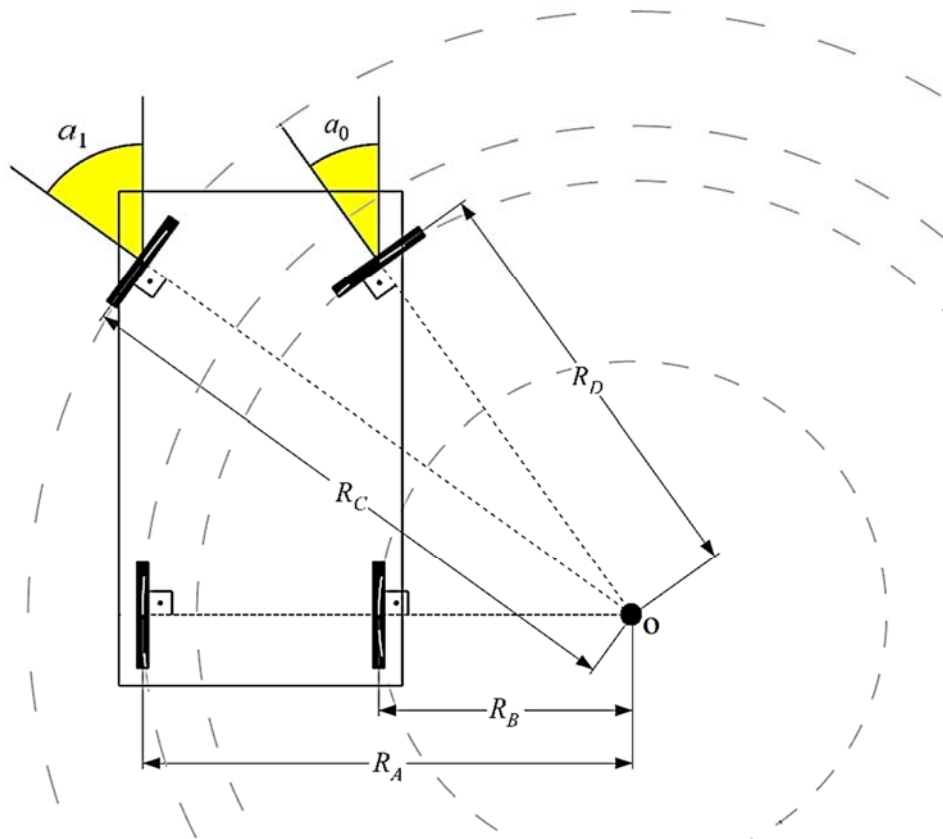
Sistemin yer değişimi ile hız arasındaki bağlantı bize yolun tamamlanması için gereken parametreleri vermektedir. Sistemde hız (V), zaman (t), yol (X) gibi parametreler ile ifade edilir. Parametreler arası değişim yapmak oldukça basittir. Hız, yol ve zaman arasındaki bağıntı formül (5.6) ile en bilinen şekilde tanımlanabilir.

$$V = \frac{X}{t} \quad (5.6)$$

Otomobillerin, teker çarklı sistemlerinin tasarımları gereği tüm tekerlekler birbirleri ile bağımsız hızlarda çalışmaktadır. Hız değişimini bu denli düzgün sağlayan sistemlere literatürde diferansiyel dişli sistem olarak adlandırılır. Otomobillerde bulunan arka tekerlekler, diferansiyel sistemi sayesinde dönme hareketini sağlamaktadırlar.

Araç dönme hareketini yaparken tekerleklerin dik açıları, araç tekerleklerin dik ışınları ile tek noktada kesişmektedir ve her tekerlek kendi dairesini çizerek bu daire etrafında yol almaktadır. Tüm tekerleklerin dönme merkezine olan uzaklıkları takip ettikleri dönüş çemberlerinin yarıçapını vermektedir. Buradan çıkarım yapılacak olursak; Araç dönme hareketi esnasında iç tekerleklerin (dönülen yöndeki tekerlekler) dönme merkezine uzaklığı yani teker bazlı dönüş yarıçapı daha küçüktür. Dış tekerleklerin dönme yarıçapları daha

büyükür. Dönüş yarıçapları (R) ile çember çevresi formülü kullanılarak tekerleklerin alacakları yol (X) hesaplanır. Dolayısıyla tekerleklerin, çemberin çevresini ne kadar sürede yol alacakları buna göre hesaplanır. Sistemde sürtünmenin çok az bir seviyede kalmasını sağlamak için tekerleklerin tamamının tam bir turu aynı sürede bitirmesi esas alınarak sistem modellenir. Sistemde teker hızları, alınacak turun çevresi ile doğru orantılı ayarlanmaz ise iç tekerlek aşınmalara maruz kalacaktır. Tekerlekler farklı hızda döndükleri için araç viraj alırken teker yükleri değişecek ve güvenli sürüş senaryosu dışında seyir edecektir. Aracın yolu tutuşunun en iyi şekilde sağlanması savrulmaların ve olası kazaların önüne geçecektir.



Şekil 5.14. Tüm tekerleklerin dönme merkezine göre uzaklıkları ve dönüş çemberleri

Şekil 5.14. durumu ele alındığında teker açıları birbirinden farklıdır. Teker yarıçaplarının sıralaması örnek olarak;

$$(R_B < R_D < R_A < R_C) \quad (5.7)$$

koşulunu sağlıyor ise tekerlerin hızları arasındaki sıralama ters, tekerlerin alacağı yol ise aynı sırada olacaktır. Bu durum;

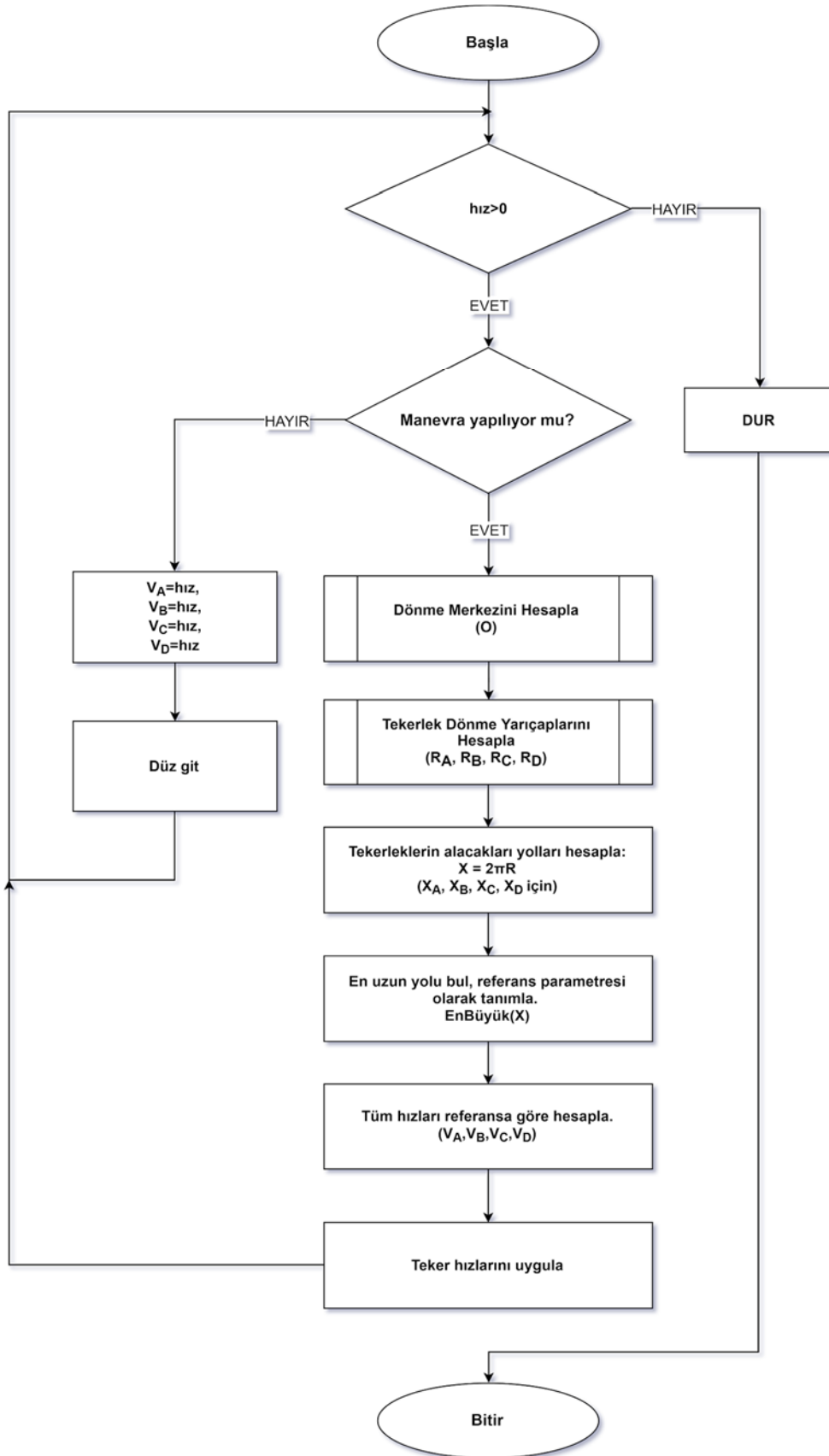
$$(V_B < V_D < V_A < V_C) \quad (5.8)$$

ve

$$(X_B < X_D < X_A < X_C) \quad (5.9)$$

sonuçlarını doğurur.

Düzgün bir manevra hareketinde, tekerleklerin dönme yarıçapları, alacakları yol ve hızları birbirleri ile doğru orantılı olmalıdır. Tekerlekler arasındaki irtibatın sağlanması için olağan yapıya sahip mekanik direksiyon kontrol sistemlerinde, diferansiyel tarafından teker hızları ayarlanmaktadır. Fakat elektronik hız kontrollü sistemlerde bu durum için bağımsız tekerleklerin hız kontrolleri sırasında, gerçek zamanlı bir şekilde, tekerleklerin hızları için yazılımsal birtakım hesaplamalar gerekmektedir (Şekil 5.15.).



Şekil 5.15. Tüm tekerleklerin ayrı ayrı hızlarının hesaplanmasını sağlayan algoritma

Tekerler arası ilişkiden bahsedilirse, tüm tekerlekler sürekli olarak hızlarının kontrolünü sağlayan bir yazılım ile yönetilmektedir. Sistemdeki çalışmasını istediğimiz genel hızı (V) tüm tekerleklere, sistem kinematiğine uygun olacak şekilde dağıtmak gerekir. Dönme merkezine yakın tekerler daha yavaş, uzak tekerlekler ise daha hızlı dönmelidir. Bu hızlar arasında bir orantısallık gereklidir. Aşağıdaki denklemlerde i teker numarasını ifade etmektedir. Hız değişimlerinde ele alınan tekerleğin hızını (V_i) elde etmek için dönme merkezi (O) bilinmelidir. Bu merkeze olan teker uzaklıkları, tüm tekerlekler için hesaplanarak takip edecekleri hayali çemberin dönme yarıçapı (R_i) her tekerlek için ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Dönme yarıçapları kullanılarak tekerleklerin alacakları yollar (X_i), çemberin çevresi (X) formülü kullanılarak formül (5.10) ile hesaplanır. Çemberin çevresi hangi tekerlek için hesaplanmış ise tam turda bu tekerin alacağı yol çevre kadardır (Alınacak yol = X). Alınacak yol ile tekerleğe verilen hız birbiri ile doğru orantılı olmalıdır. Bu sayede sistem tam dönüşü sağladığında tüm tekerlekler sadece formülün esasında belirtilen kadar tur atabilmeli. Alınacak yol her tekerlek için;

$$X_i = 2\pi R_i \quad (5.10)$$

formülü kullanılarak bulunur. Bu koşulun sağlanması durumunda sürtünme en aza indirilir. Tekerleklere ve motorlara gereksiz yük bindirilmesinden mümkün olan en iyi şekilde kaçılmış olunur. Manevra hareketi yaparken, dönme yarıçapı en yüksek (R_{max}) değere sahip olan teker ele alınarak bu tekere göre çalışma hızı uygulanır. Dönme yarıçapı en büyük olan tekerin aldığı yol, en uzun mesafe olacaktır (X_{max}). En uzun mesafeyi yani dönme çemberini elde etmek için;

$$X_{max} = 2\pi R_{max} \quad (5.11)$$

formülü kullanılır. Diğer tekerleklerin hızları, dönme merkezine en uzak tekerlekten her durumda daha yavaş olmalıdır ki tam tur durumundaki alınan yolun farkını, bu tekerleğin kapatabilmesi mümkün kılınsın. Tekerleklerin hızları arasındaki orantısallığı sağlamak için;

$$V_i = \frac{V \cdot X_i}{X_{max}} \quad (5.12)$$

formülü kullanılır ve tekerleklerin her biri için orantısal değer hesaplanır. Formülde X açılımı yazılır ise;

$$V_i = \frac{V \cdot 2 \pi R_i}{2 \pi R_{max}} \quad (5.13)$$

elde edilmekte ve

$$V_i = \frac{V \cdot R_i}{R_{max}} \quad (5.14)$$

formülü şeklinde sade ve basit hale gelir. Formüle girdi olarak teker ile alakalı sadece uzaklık bilgisini (R_i), teker dışında ise en uzak teker uzaklığını (R_{max}) ve sistemin istenen hızını (V) vermek yeterli olacaktır. Formül (5.15) incelendiğinde maksimum mesafeye sahip tekerleğin hız oranı;

$$\frac{V \cdot X_{max}}{X_{max}} \quad (5.15)$$

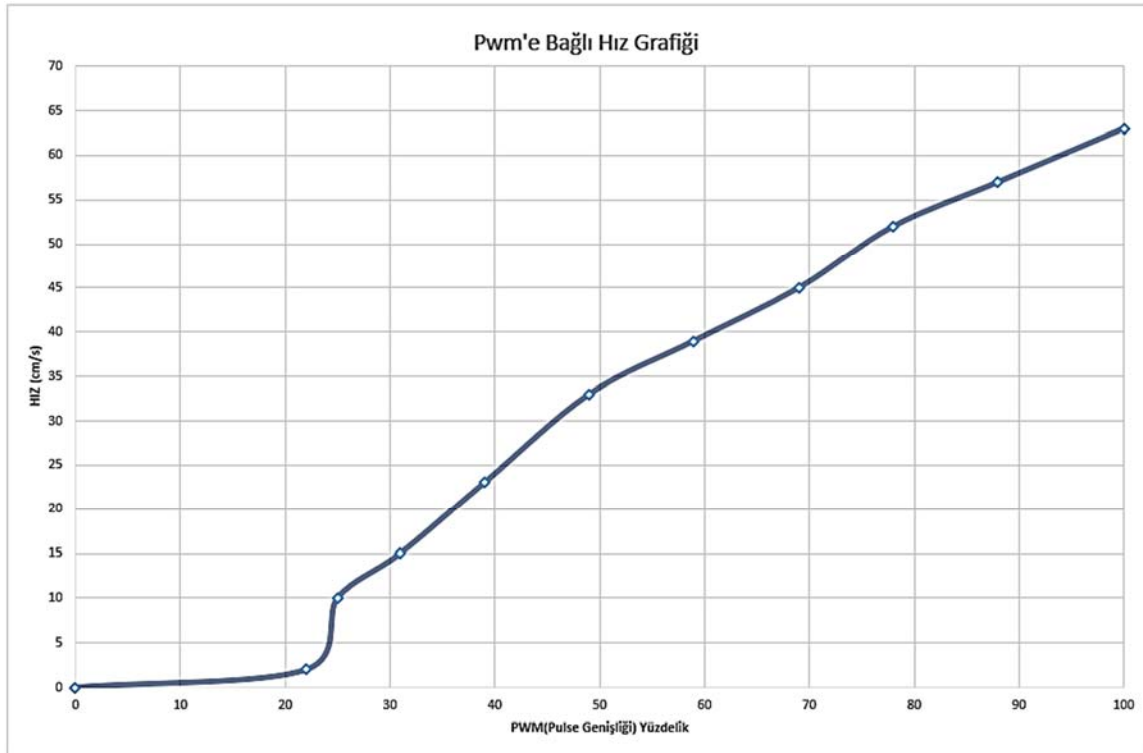
olacağın için bu tekerleğe hız, hesaplama fonksiyonu kullanılmadan doğrudan verilebilir ($V_i = V$). Tekerleklerin hızlarını ayarlamak için kullanılacak birçok yöntem vardır. Yapılan prototipte DC motorlar kullanılmıştır. DC motorlar için hız kontrolü için birçok farklı yaklaşım bulunmaktadır. Kullanılacakları sistemlere göre bu yöntemlerin her biri farklı çıktılar vermektedir. Bu neden ile motorun türü, bobinaj sarımı, kullanıldığı alan, ne kadar yük altında çalıştığı gibi birçok parametre kontrol yönteminin seçilmesinde önemli rol oynar. En çok bilinen dc motor hız kontrol yöntemleri faz dilimleme, akım sınırlama, uyarım akımı ve pwm ile motor sürmedir. Sistemimiz dijital çıkışlar sağlayabildiği için çıkış olarak PWM sinyali sağlar. Bu sinyalde bir nevi pulse genişliği ile oynanarak ve bunu sürekli deneyerek hız kontrolü yapılmıştır. PWM sinyali ile bir anlamda sahte analog sinyaller üretilmektedir. Prototip olarak üretilen aracın 410 cm'lik bir örnek yol üzerindeki ilerleyişinden elde edilen veriler Çizelge 5.1. 'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Test yolu üzerindeki PWM ve hız arasındaki bağıntı tablosu

Yol (cm)	Pwm Genlik Değeri (0-255)	Pwm Sinyalinin Yüzdellik Oranı	Yolu Bitirme Süresi (s)	Hız (cm/s)
410	0	0	-	0
410	55	22	52	2

410	65	25	45	10
410	80	31	26,6	15
410	100	39	18,2	23
410	125	49	12,4	33
410	150	59	10,4	39
410	175	69	9,1	45
410	200	78	7,7	52
410	225	88	7,2	57
410	255	100	6,5	63

DC motorlar yük altındayken başlangıçtan, çalışma durumuna geçebilmesi için çektikleri akım normal halden daha yüksek olmaktadır. Sistemimizin eğimin olmadığı düz bir ortamdaki kalkış ve hız-pwm sinyali ilişkisi Şekil 5.16. 'de görülmektedir.

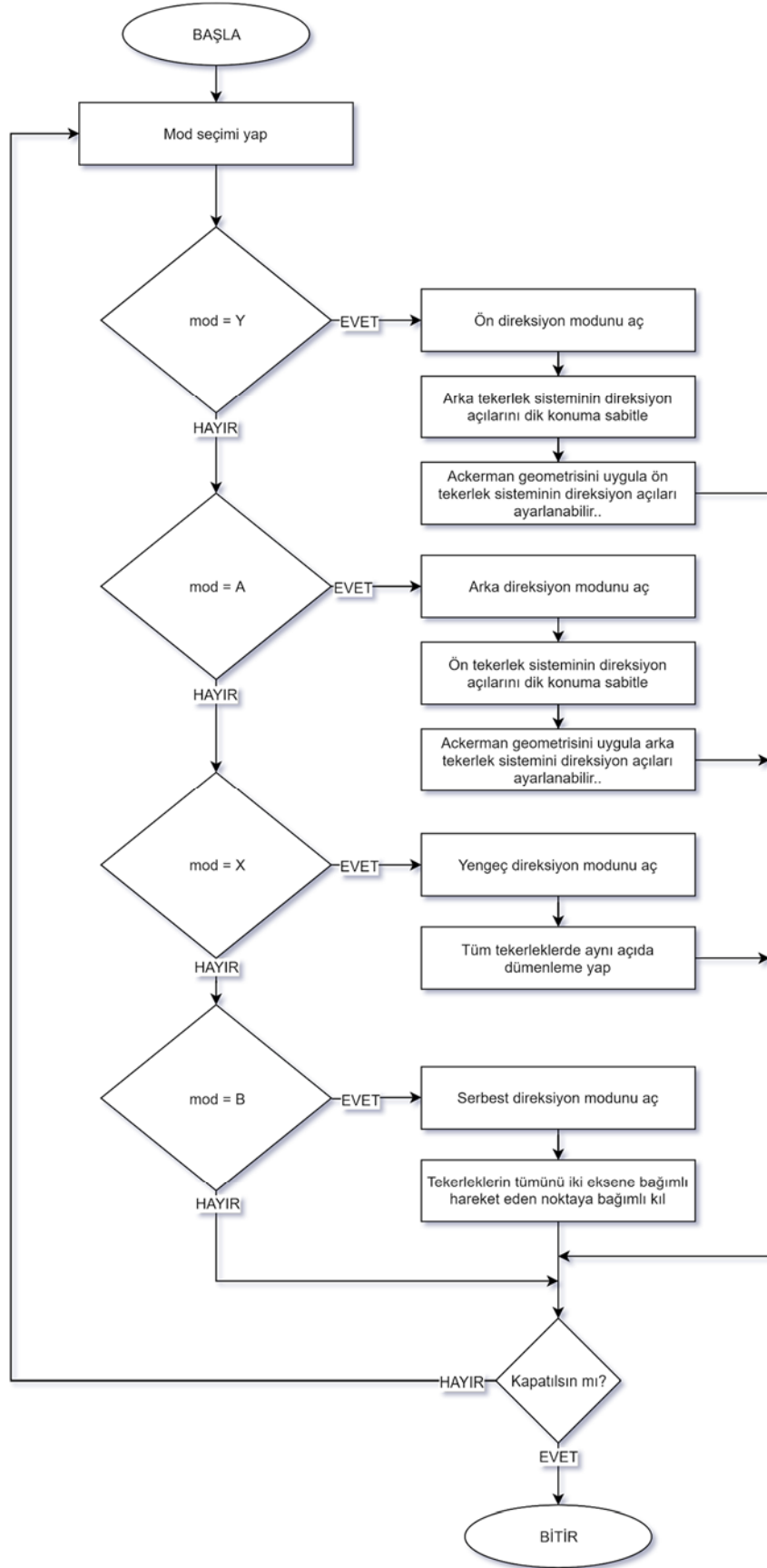


Şekil 5.16. PWM sinyali genliğine bağlı hız grafiği

Grafik incelendiğinde aracın ilk kalkış hareketini yapabilmesi için %25'lik bir PWM sinyaline ihtiyaç duyduğu görülmektedir. Motorları sürmek için verilen sinyal %100 olduğunda ise aracın hızının 64 cm/sn'ye ulaştığı gözlemlenmiştir.

5.4.3. Kontrol kolu ile sürüş tekniği

Prototip araçların sürüş kontrollerinde, genellikle sürüş kolları veya mobil cihazlar kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında kullanılan kontrol kolu üzerinde bulunan x ve y parametreleri bağımsız ve iki yönlü olarak alınabildiği için sistem kontrolü bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Cihazı kontrol etmek için kullanılan kontrol kolunun üzerindeki mod seçimine atama yapmak için X, Y, A, B fonksiyon tuşları kullanılmıştır. Bu tuşlar için görev ataması ve mod seçimi algoritması Şekil 5.17. 'da gösterilmiştir. Araç tekerleğinin dönme hareketi yapması için kol üzerindeki L3 analog çubuğunun (sol kontrol çubuğu), y eksenine doğrultusundaki parametresi kullanılmıştır. Direksiyon kontrolleri ve açısal hareketlerin sağlanması için ise R3 analog çubuğuna (sağ kontrol çubuğu) ait x ve y parametreleri alınarak yazılım tarafından gerekli hesaplama sonuçları tekerleklere uygulanmıştır. L3 kolu y parametresi pozitif yönde yani yukarı doğru baskı uygulandığında ileri hareketi sağlar. Kolun eğimi ile hız orantılı olarak değişmektedir. Negatif yöndeki hareket ise aracın geriye doğru gitmesini ve hız ayarlamasını yapmaktadır.



Şekil 5.17. Seçilen sürüş modunun araç-teker sistemine etkisi akış diyagramı

5.5. Platform Kontrol Yöntemi

Tasarlanan birçok sistem kendi görevlerini farklı şekilde yerine getirirler. Bazı sistemler görev tanımlarına hâkimdir ve ona göre programlanmış olup otomatik hareket eder. Bazı sistemler de düşünmeden ve karar vermeden tamamen kumanda edilerek kontrol edilirler. Bir kısmı ise hem kumanda ile kontrol edilebilir, hem de kısıtlar dâhilinde de olsa kendi kararlarını vermeye çalışır ancak zaman zaman aykırı bulduğu görev tanımlarında, programlanan bilgilere istinaden kullanıcının emirlerine karşı gelirler. Tez sürecinde yapılan robotun birçok donanımı hem otomatik olarak hem de el ile kontrol edilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Kontrol yönteminin seçimi yazılımsal olarak mümkün kılınmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan kablosuz model ps3 oyun kolu ile ilgili tuşları sisteme tanıtılmıştır. Konsol üzerindeki “home” tuşu kullanılarak, Platformun kontrolünün otomatik kontrol ya da el ile kontrol seçimi yapılacak şekilde değiştirilmektedir. Sistemin ilk açılışında platform yönetimi otomatik konfigürasyona göre seçilmiştir (Bkz: 5.3.).

Platformun kontrolü isteğe göre hem açı sensörüne bağlı hemde kontrol kolu tarafından yapılabilmektedir. Kontrol kolu ile konfigürasyonlar arasında geçişler yapılarak hem aksel hem açısal hareketler manuel kontrol edilebilmektedir.

Kontrol kolları ile birçok cihazın yönetimi yapılabilmektedir. Uygun amaç doğrultusunda kontrol yöntemi seçilerek farklı senaryolar üzerinde düşünülmelidir. Sistemde kullanılan kontrol kolu üzerinde bulunan “home” tuşuna basarak 0-7 arasında toplamda 8 farklı modun seçimi yapılabilir. 1-7 arasındaki modlar için konsol kolu üzerindeki L2 ve L1 analog butonlarından alınan parametreler kullanılmaktadır. Bu parametre değerleri 0-256 arasında değişiklik göstermektedir. Normal pozisyonunda 0, tam basılı konumda (eğimin sonuna kadar sağlanmış olduğu durum) ise 255 değeri okunmaktadır. Kontrol kolu ve gyro ile kontrol edilen pistonların tahrik fonksiyonu tablo Çizelge 5.2. ‘de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Açık sensörü ve kontrol kolu parametrelerinin mod'a göre pistonlara etkisi

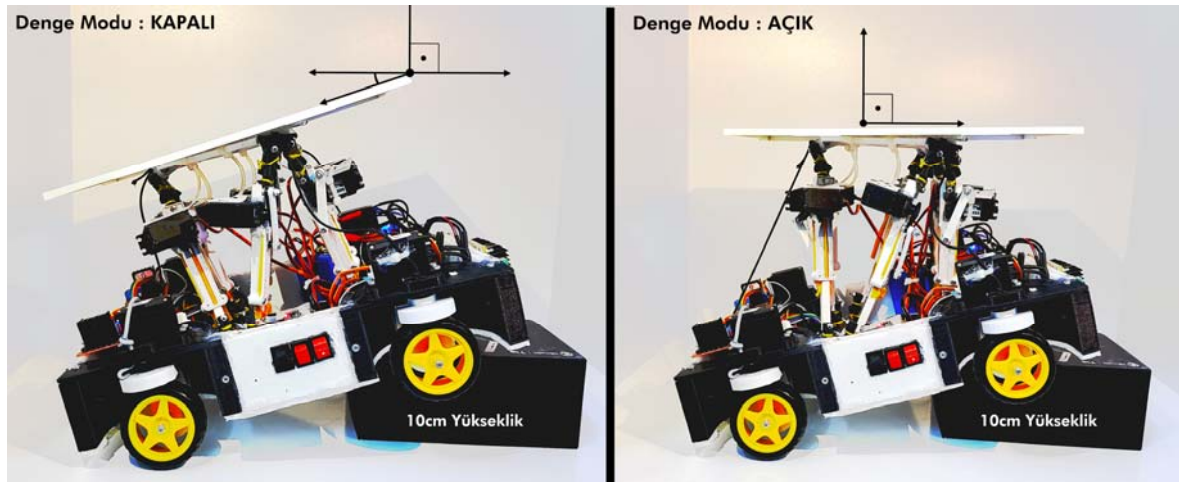
MOD	HAREKET TÜRÜ	KONTROL PARAMETRESİ	PİSTON NO					
			0	1	2	3	4	5
MOD 0	AÇISAL HAREKET	EĞİM SENSÖRÜ X	+	+	+	+	-	-
		EĞİM SENSÖRÜ Y	-	+	+	+	-	-
MOD 1	AÇISAL HAREKET	L2 ANALOG BUTON	+		+		+	
		R2 ANALOG BUTON		+		+		+
		DİREKSİYON SOL AÇISI	+		+		+	
		DİREKSİYON SAĞ AÇISI		+		+		+
MOD 2	DOĞRUSAL HAREKET	L2 ANALOG BUTON	+	+		+	+	
		R2 ANALOG BUTON			+			+
MOD 3	DOĞRUSAL HAREKET	L2 ANALOG BUTON	+			+		
		R2 ANALOG BUTON		+	+		+	+
MOD 4	DOĞRUSAL HAREKET	L2 ANALOG BUTON	+		+	+		+
		R2 ANALOG BUTON		+			+	
MOD 5	AÇISAL HAREKET	L2 ANALOG BUTON	+	+				
		R2 ANALOG BUTON			+	+	+	+
MOD 6	AÇISAL HAREKET	L2 ANALOG BUTON					+	+
		R2 ANALOG BUTON	+	+	+	+		
MOD 7	AÇISAL HAREKET	L2 ANALOG BUTON	+	+			+	+
		R2 ANALOG BUTON			+	+		

Çizelge 5.2. 'de mod 0 için incelendiğinde; sensörden okunan x parametre değeri Platformun hareketini sağlayan 0, 1, 2 ve 3 numaralı pistonların pozitif yönde tahrik fonksiyonunun çalışmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda 4 ve 5 numaralı pistonların ise negatif yönde tahrik

fonksiyonunun aktif edilmesi söz konusudur. Bu şekilde X eğimi sönümlenmiş olur. Sensörün y parametresi ise 1, 2, 3 numaralı pistonların pozitif yönde ve 0, 4, 5 pistonların ise negatif yönde etkileyen, tahrik fonksiyonlarını üzerine ekleyerek etki eder. Bu sayede Y eğimi de sönümlenmiş olur. Aynı mantık ile diğer modların tahrik fonksiyonuna etki eden kontrol parametrelerinin, pistonlara etkisi incelenerek tabloya göre yorumlanabilir.

Sistem modlarının hareket tanımları ve kontrolleri şöyledir:

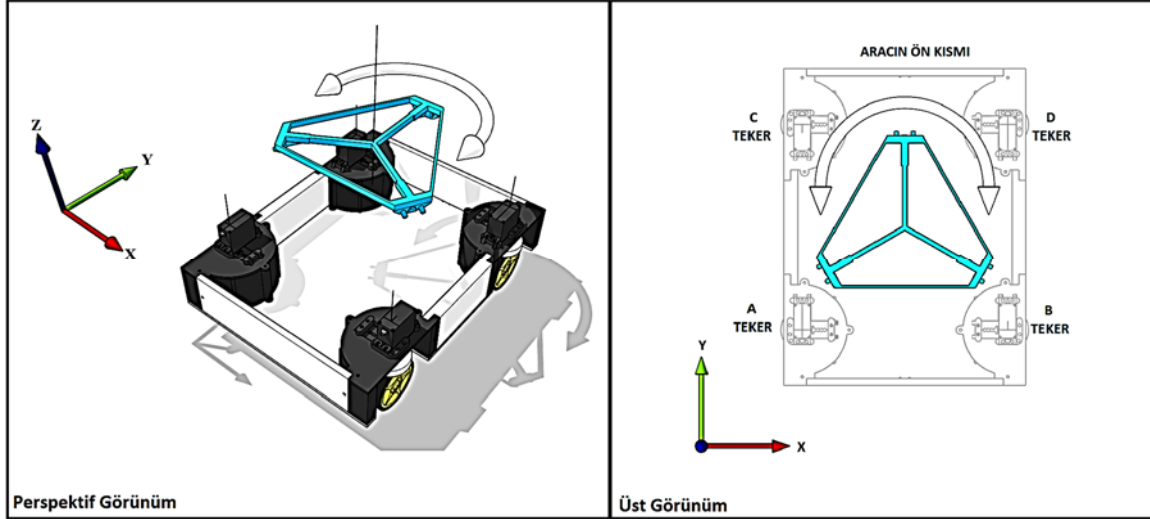
Mod 0: Açık sensörüne göre açısal hareketlerin sönümlenmesi, SMP üst plakası için gerçek zamanlı denge sağlamaya yarayan modudur. Sistem başladığı anda varsayılan olarak bu mod ile çalışır. Platformun alt kısmına sabit açı sensörü ve açısal dengenin korunması prensibine bağlı olarak çalışan jiroskop sensörü ile x, y eğim değerleri okunur. Bu değerlere karşıt, açısal hareket yapılarak Platformun dengede durmasını sağlar. Sistem bu hareketi 40 ms'lik periyotlarda gerçekleştirir ve sürekli olarak platform açısını güncellemeyi amaçlar. Mod 0 durumu aktif olduğunda, denge modu devreye girmektedir. Eğimli durumlarda cihaz, üst plakayı otomatik olarak dengede tutar. Bu durumda üst plaka, aracın üzerinde bulunduğu zemine paralel konuma gelmektedir. Bu durum Şekil 5.18. ile gösterilmiştir.



Şekil 5.18. Denge modunun (Mod 0) açık ve kapalı durumunda üst Platformun durumu

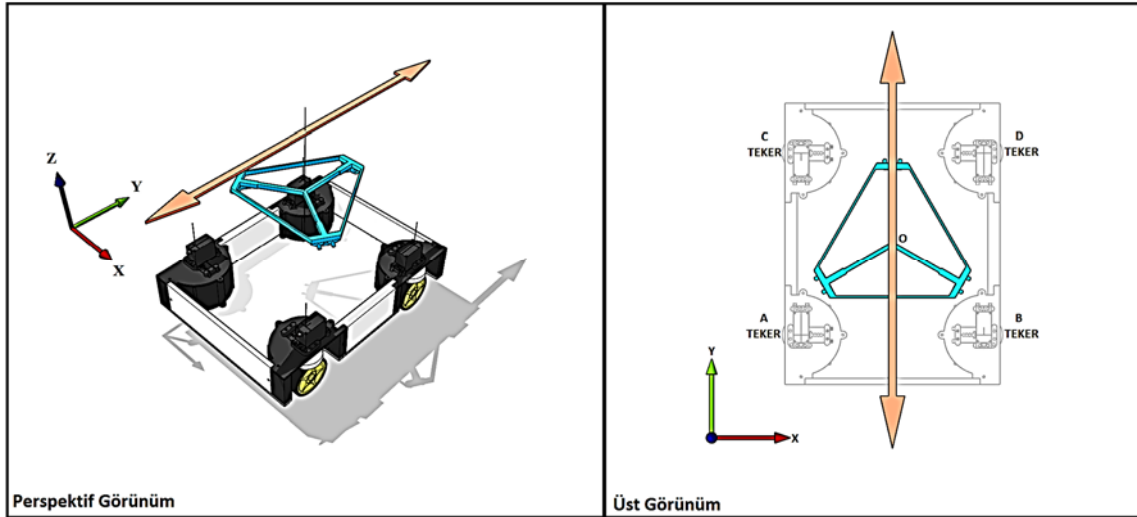
Mod 1: O noktası merkez kabul edilerek tepeden bakıldığında, Z eksenine göre sapma açısının etkisinde kalınan moddur. Açısal hareket ± 47 derecelik sapma yapmaktadır. Ayrıca bu mod aktif durumdayken sistemin daha fonksiyonel olması için aracın, direksiyon dönüş

yönüne doğru Platformun otomatik dönüş sağlanmaktadır. Burada direksiyon açısı değerleri eklenerek uygulanmıştır.



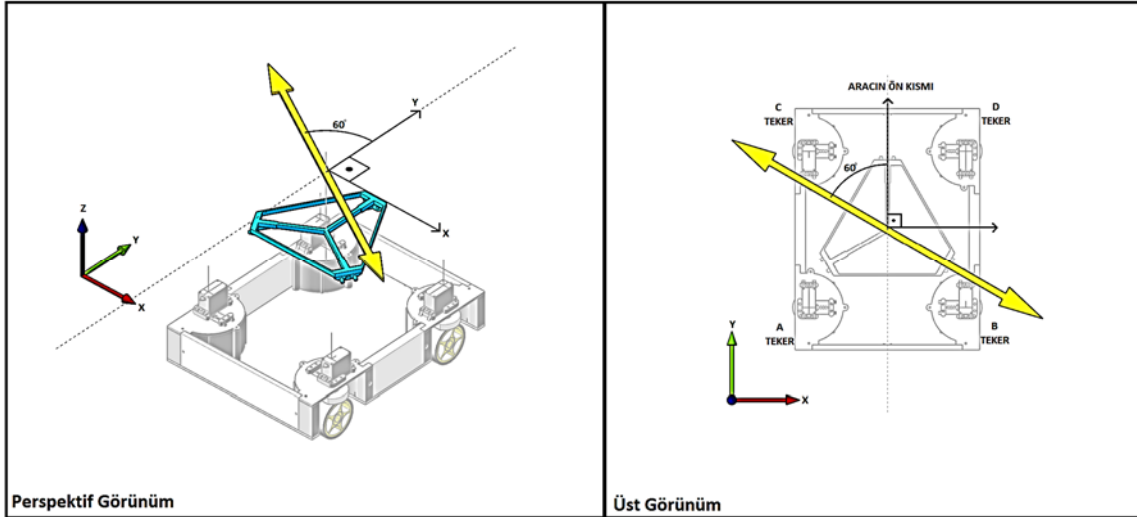
Şekil 5.19. Mod 1'in açılma hareketinin yönü (Perspektif ve üst görünüş)

Mod 2: Y ekseninde doğrusal hareket yapmak için kullanılan moddur ($\pm 8\text{cm}$ doğrusal hareket edebilmektedir).



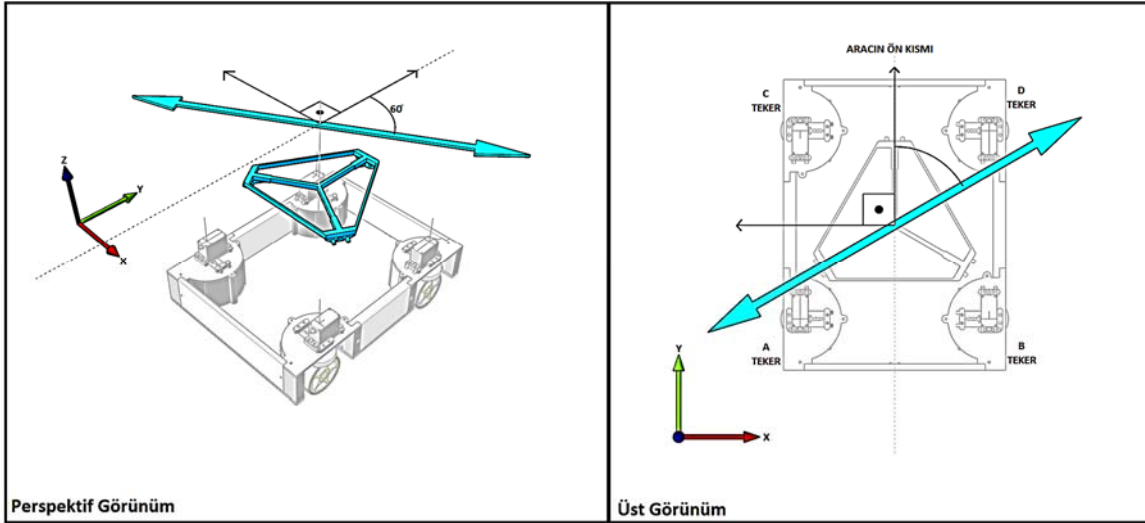
Şekil 5.20. Mod 2 ile yapılan doğrusal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)

Mod 3: Y eksenine, dikey eksenden bakıldığında, saat yönünün tersi durumda gerçekleşen, 60 derecelik açı sapmasındaki eksen üzerinde düz bir hareket sağlar ($\pm 8\text{cm}$ hareket kısıtlı vardır).



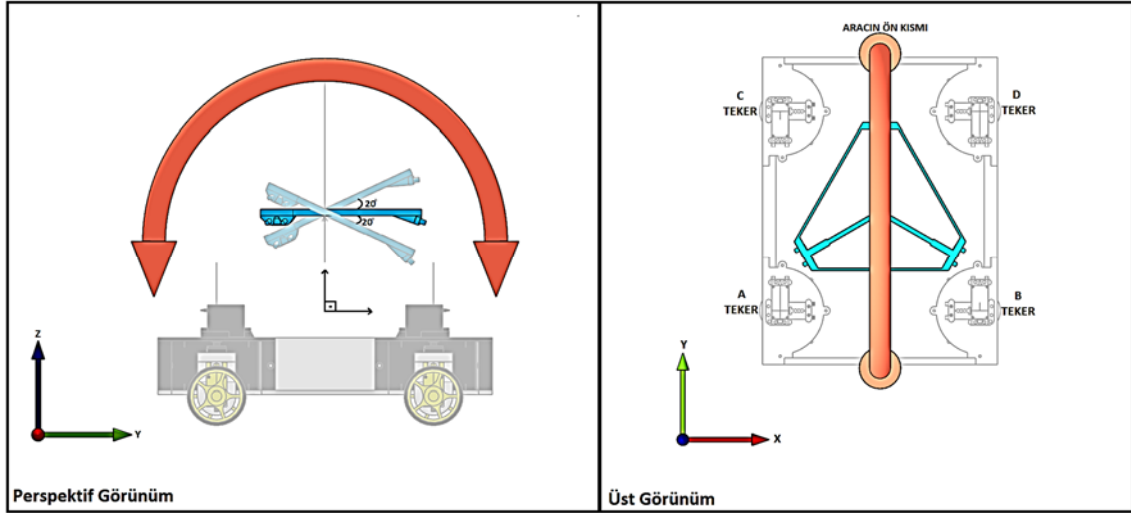
Şekil 5.21. Mod 3 ile yapılan doğrusal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)

Mod 4: Düşey eksenden bakıldığında, Y eksenine göre saat yönünde, 60 derecelik açı sapması durumunda doğru üzerinde düz bir hareket sağlar ($\pm 8\text{cm}$ hareket kısıtı vardır)



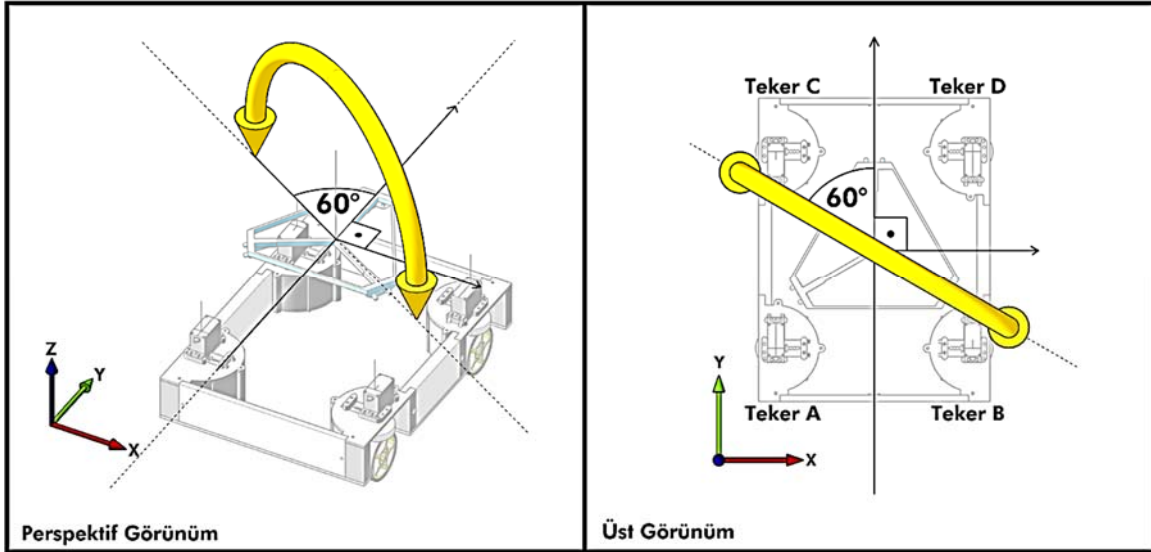
Şekil 5.22. Mod 4 ile yapılan doğrusal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)

Mod 5: Mod 2 ile ayarlanmış aynı doğrultuda yunuslama hareketi sağlanır. Açısal hareket yapmak için kullanılan moddur (± 18 derecelik eğime ulaşabilir).



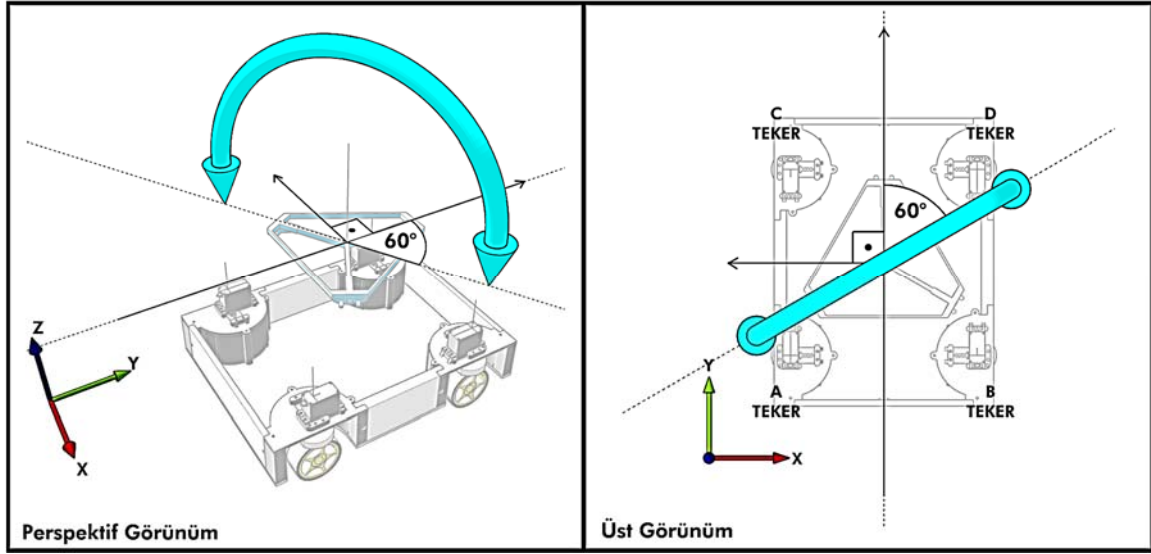
Şekil 5.23. Mod 5 ile yapılan açısal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)

Mod 6: Mod 3 ile ayarlanmış aynı doğrultuda yunuslama hareketi sağlanır. Açısal hareket yapmak için kullanılan moddur (± 18 derecelik eğime ulaşabilir).



Şekil 5.24. Mod 5 ile yapılan açısal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)

Mod 7: Mod 4 ile ayarlanmış doğrultuda yunuslama hareketi sağlanır. Açısal hareket yapmak için kullanılan moddur (± 18 derecelik eğime ulaşabilir).



Şekil 5.25. Mod 6 ile yapılan açısal hareketin yönü (Perspektif ve üst görünüş)

5.6. Gyro Açı Sensörü Sinyalinin İşlenmesi

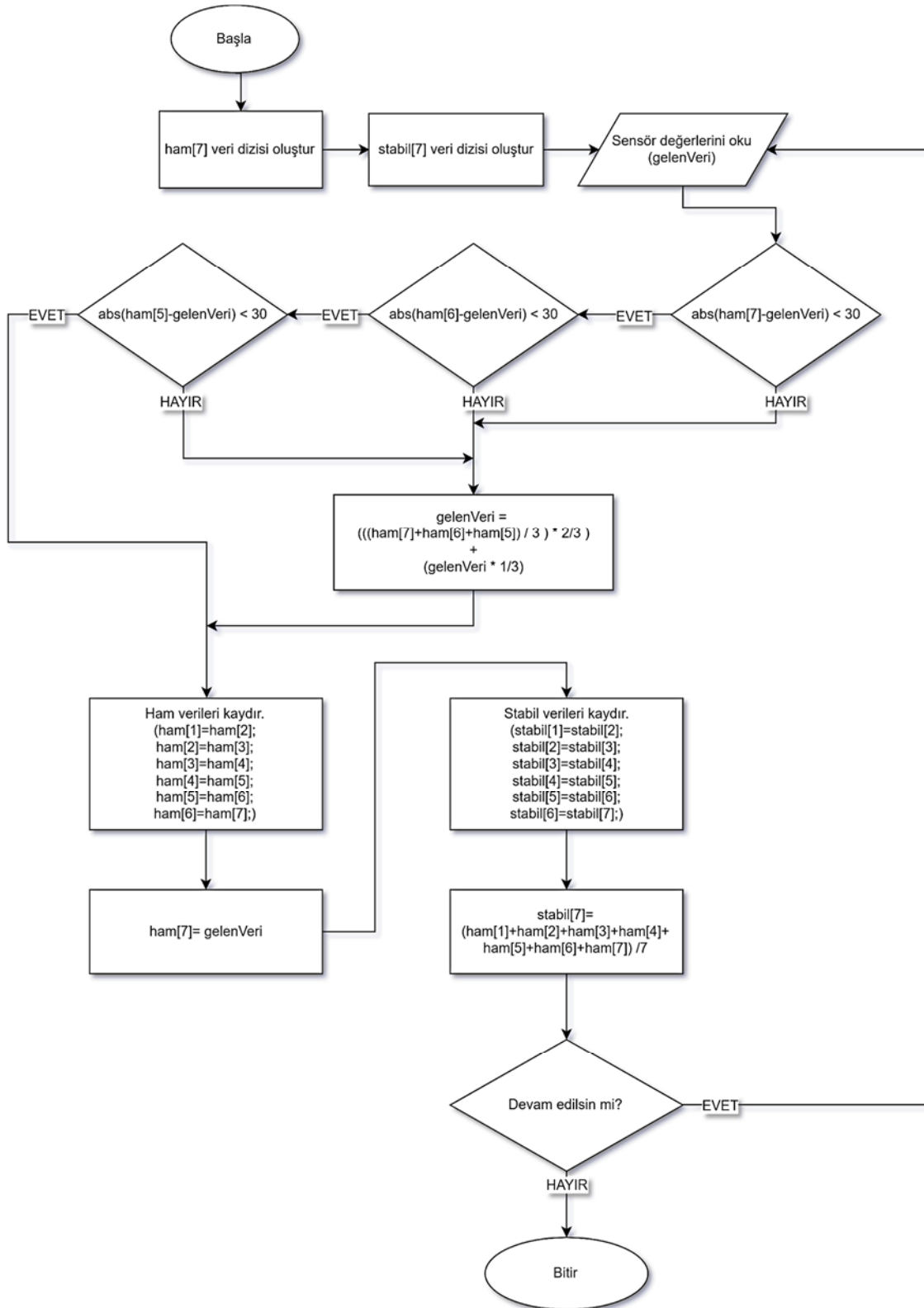
Analog sensörler, alınan bilgileri ara parametreler ile çeşitli alanlarda kullanılan cihazlara göndermektedir. Alınan bu sinyaller, ara tampon sinyal işleme veya temizleme amaçlı kullanılan elektronik devreler olmadığı zaman sinyalde parazitler ile karşılaşmaktadır. Sinyallerin temizlenmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar genellikle sinyallerdeki sıçramaları ve parazitleri temizlemek için kullanılır. Ortalama değerleri göstermeyen kısımlarda, sinyalin temiz durmasını sağlamak için işe yaramaktadır. Temiz sinyal kullanmak, işlemek veya yorumlamak için daha anlamlıdır ve bu yüzden tercih edilir.

Yazılımsal olarak alınan ham sinyal sıçramalardan, parazitlerden ve kaymalardan arındırılmıştır. Bu işlemi uygulamak için programın her bir döngü sürecindeki veri, son eklenen verinin bulunduğu matrise eklenmiştir. Son veri dizisi içerisinde iki farklı işlemi yapmak söz konusudur. Bunların birincisi gelen yeni verinin bir sinyal sıçraması olup olmadığından arındırmak, diğer işlem ise sinyalin, son sinyallere göre ortalama bir değere sahip olmasını sağlamaktır. Bunlar için boyut tanımlamalarının kararlı olması gerekmektedir.

Hazırlanan mikrodenetleyici yazılımı her seferinde gelen son 7 sensör değerini x ve y açıları için bellekte tutmaktadır. Bellekte tutulan sinyallerin, son 3 verisi için gelen veri değeri, 30 tolerans değerini aşmayan bir artış veya azalış gösteriyor ise veri bloğu içerisine bu eklenir.

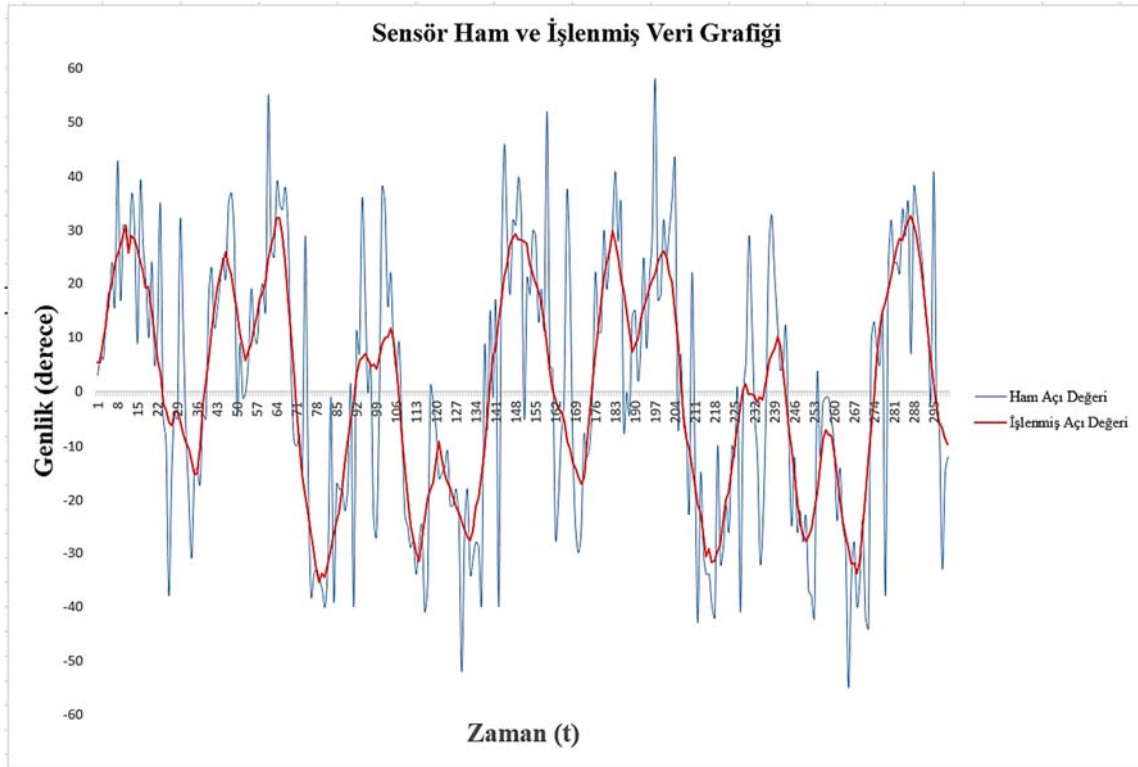
Aşması durumunda ise ortalama değer ile okunan değer arasındaki $1/3$ 'lük değer kadar kaymada bir değer kaydedilir. Daha sonrasında ele alınan 7 değerın ortalaması alınarak stabil veri dizisi içerisine eklenir. Bu işlem her bir program döngüsünde tekrarlanarak devam eder. Sinyalin temizlenmesi ve daha stabil bir arınma işlemini de bu şekilde sağlanmış olur.

Sinyalin işleme sürecini daha iyi anlamak için akış diyagramını incelemek gerekir. Akış diyagramı üzerinde "ham[]" ismi verilen veri dizisi bellekte tutulan temizlenmemiş ve sıçramalardan arındırılmış son sinyalleri ifade etmektedir. Diyagram üzerinde "stabil[]" ismindeki dizi ise temizlenerek, ortalama değere sahip sinyal verisini tutmaktadır. Akış diyagramı üzerinde ifade edilen tüm işlemler hem X eğimi hem de Y eğimi için hesaplanan süreci ifade eder. Sistem çalışırken denge durumu ve diğer açılı okuma süreçlerinde stabil veriye ait x ve y parametreleri kullanılır. Stabil veri, algoritmanın geçmişe dönük parametrelerinden aldığı ortalamaya göre 3-4 sinyalli periyotlarda kayma yaşanmasına neden olmaktadır. Ancak bu durum göz ardı edilebilecek düzeydedir. Sinyalin sıklığı artırılarak bu periyodik süreç kısılabilir.



Şekil 5.26. Ham sensör verisinden temiz veri elde edilmesine ait akış diyagramı

Şekil 5.27. üzerinde parazitli olan sinyal (ham aç ı değeri) ve temizlenmiş olan sinyal (işlenmiş aç ı değeri) üst üste görülmektedir. Yazılımsal olarak temizlenen bu sinyal, geriye dönük olarak alınan ham sinyalin son 3 verisinin 30 genliğindeki sıçramalardan arındırılması gösterilmektedir. Aynı zamanda son sinyalin 7 periyotluk ortalamasının alınması ile elde edilmiş temiz sinyal üst üste gösterilmiştir.



Şekil 5.27. Ham ve temizlenmiş sinyalin üst üste bindirilerek gösterimi

5.7. Mobil Uygulama İle Sistem Durumunun İzlenmesi

Mobil uygulamalar günümüzde birçok alanda çabuk erişebileceğimiz noktalarda bulunmaktadır. Bir ihtiyaç durumunda sürekli olarak cihazlarda çalışmak üzere geliştirilen yazılımlardan faydalanılmaktadır. Akıllı cihazlar günümüzde oldukça sık kullanılmaktadır. Özellikle kullanılan akıllı telefon kategorilerinde mobil cihazların işletim sistemleri sıklıkla Android ve IOS tabanlıdır. Tez kapsamında tasarlanan prototip cihazın, sistem durumunu gerçek zamanlı izlemek için bir mobil uygulama hazırlanmıştır.

Mobil uygulama için belirlenen hedefler:

- Gerçek zamanlı veri aktarımı
- Sistem durumunun izlenmesi

- Otomatik bağlantı sağlanması

Mobil cihaz, bu geliştirdiğimiz uygulama verilerini, robot ile iletişim sağlayabilmesi için aralarında bir bağlantı olması gerekir. Bu durumda akıllı telefon içerisinde dahili olarak bulunan bluetooth sistemi kullanılmıştır. Verici olarak kullanılmak üzere, Arduino devre kartına bağlı bulunan HC05 bluetooth modülü kullanılmıştır. Sistem alıcı ve verici arasında iki taraflı veri alışverişini desteklemektedir. Bu durum ile yazılımı aksatmamak için yalnızca robot tarafından, mobil cihaza veri gönderimi işlemi yapılmıştır. USART haberleşme protokolü kullanılarak, alıcı modül ile bağlantı yapıp veri alışverişi yapılır. USART protokolü ile senkron ya da asenkron bağlantı kurulabilir.

Gönderilen veriler bloklar halinde cihaza iletilmektedir. Bu iletilimler cihazın durumunu ve hangi konfigürasyonların aktif olduğunu izlemek amaçlı yapılmaktadır. Robot tarafından mobil cihaza hız, mod ve açısal birçok değer gönderilmektedir. İletişim sürecinde bir periyotluk seri haberleşme durumu için mobil cihaza gönderilen bilgiler Çizelge 5.3. ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Arduino kartından android cihaza gönderilen veriler

Veri Adı	Birim	Veri Türü	Veri Sayısı	Veri Aralığı	Boyut	Toplam Boyut
Hız	cm/s	Integer	1	0 64	2 byte	2 byte
Direksiyon Servo Motor Açılımları	derece	Integer[]	4	0 180	2 byte	8 byte
Yön	-	Integer	1	0, 1, 2	2 byte	2 byte
Piston Açıklık Değeri	mm	Integer[]	6	0 40	2 byte	12 byte
Sürüş Konfigürasyonu	-	char	1	A, B, X, Y	1 byte	1 byte
Stewart Platform Konfigürasyonu	-	Integer	8	0 7	2 byte	16 byte

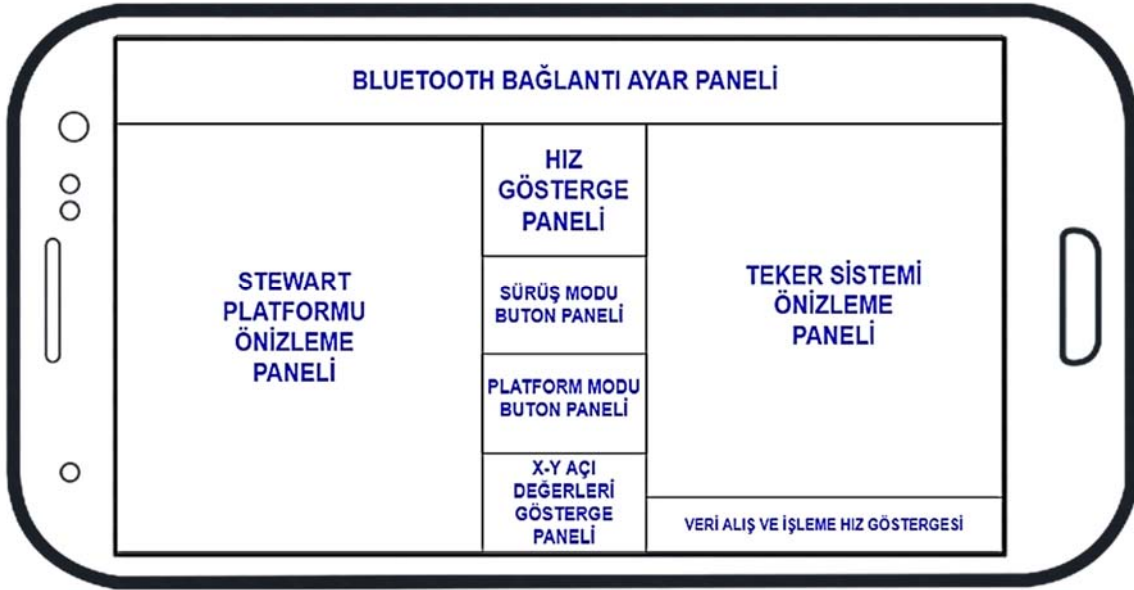
Açı Sensörü Değerleri	derece	integer[]	2	-40 40	2 byte	4 byte
						Toplam: 45 byte

Çizelge 5.3 incelendiğinde gönderilen parametreler ve bunların boyutları verilmiştir. Arduino devre kart modeli, Arduino Mega olduğu için her parametrede integer (tamsayı) değişken türündeki verilerin boyutu 2 byte, char (karakter) türündeki verilerin boyutu ise 1 byte'dır. Bu değişken boyutları Arduino kartına ait mikrodenetleyici üzerinde bulunan, entegrenin çalışma veri bloğu boyutu ile doğrudan alakalıdır. (Arduino Mega 16 bit çalışma bloğu kapasitesine sahiptir). Veriler Arduino devre kartından, Android cihaza bloklar halinde bluetooth yolu ile gönderilmektedir. Bir döngülük süreçte gönderilen verinin toplam boyutu 45 byte olarak hesaplanmıştır. Bu veri 8-9 Hz lik frekansta gönderilmektedir. Verilerin tek periyot süresi yaklaşık olarak 100-130 ms olarak belirlenmiştir. Veri aktarımı bluetooth 2.0 kanalı üzerinden gönderildiği için tampon bellekte şişmeye neden olmaktadır. Bu durumun bir süre sonra hat donmasına da neden olduğu görülmüştür. Bu neden ile sürenin daha fazla kısılması, çalışma sürecini kötü yönde etkilemektedir.

5.7.1. Uygulamanın Tasarlanması ve Geliştirilmesi

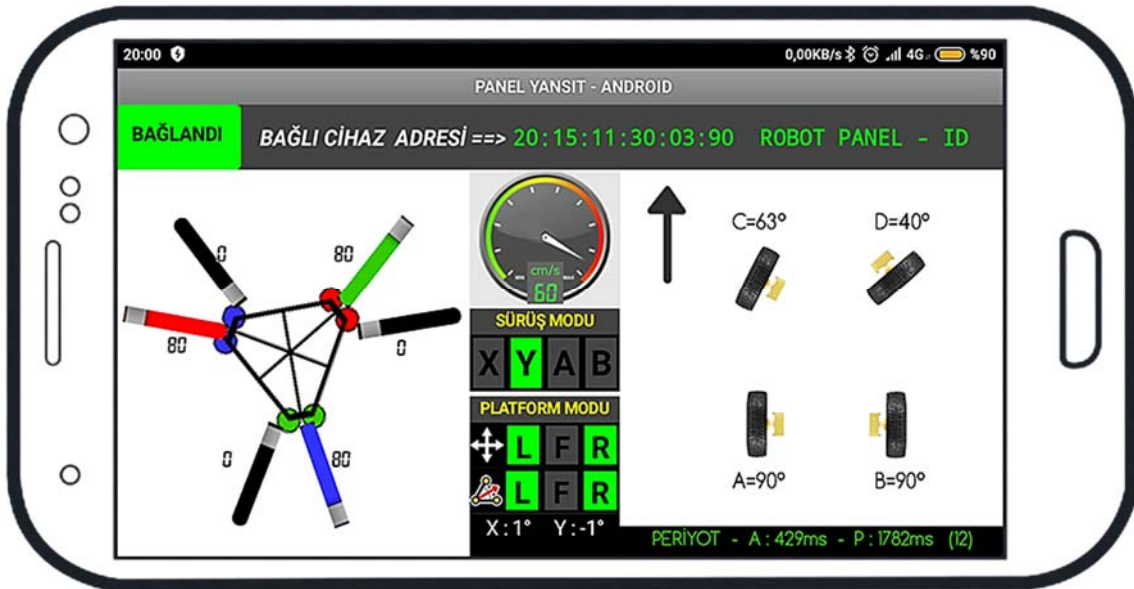
Mobil uygulama geliştirme sürecinde birçok geliştirme ortamı kullanılmakta ve geliştiriciler bu yazılımlardan faydalanmaktadır. Bunların bir kısmı kodlama yapılarak geliştirme yapmaya, bir kısmı ise bloklar halindeki komutları birleştirerek program fonksiyonlarının çalışmasına olanak sağlar. Sistemimizde araçtan gelen verileri android işletim sistemine sahip bir cihazın ekranında görüntülenmesi amaçlanmıştır. Yazılımı hazırlamak için blok programlama yöntemine sahip App Inventor kullanılmıştır. Google altyapısına sahip bu hizmet Amerika'da MIT Üniversitesinin geliştirmiş olduğu, tarayıcı bazlı çalışan bir geliştirme ortamıdır.

Mobil uygulamanın tasarım aşamasında ilk olarak ekran çizelge modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bu aşamada farklı kombinasyonlar arasında denemeler yapılarak Şekil 5.28. 'de belirtilen modelde karar kılınmıştır.



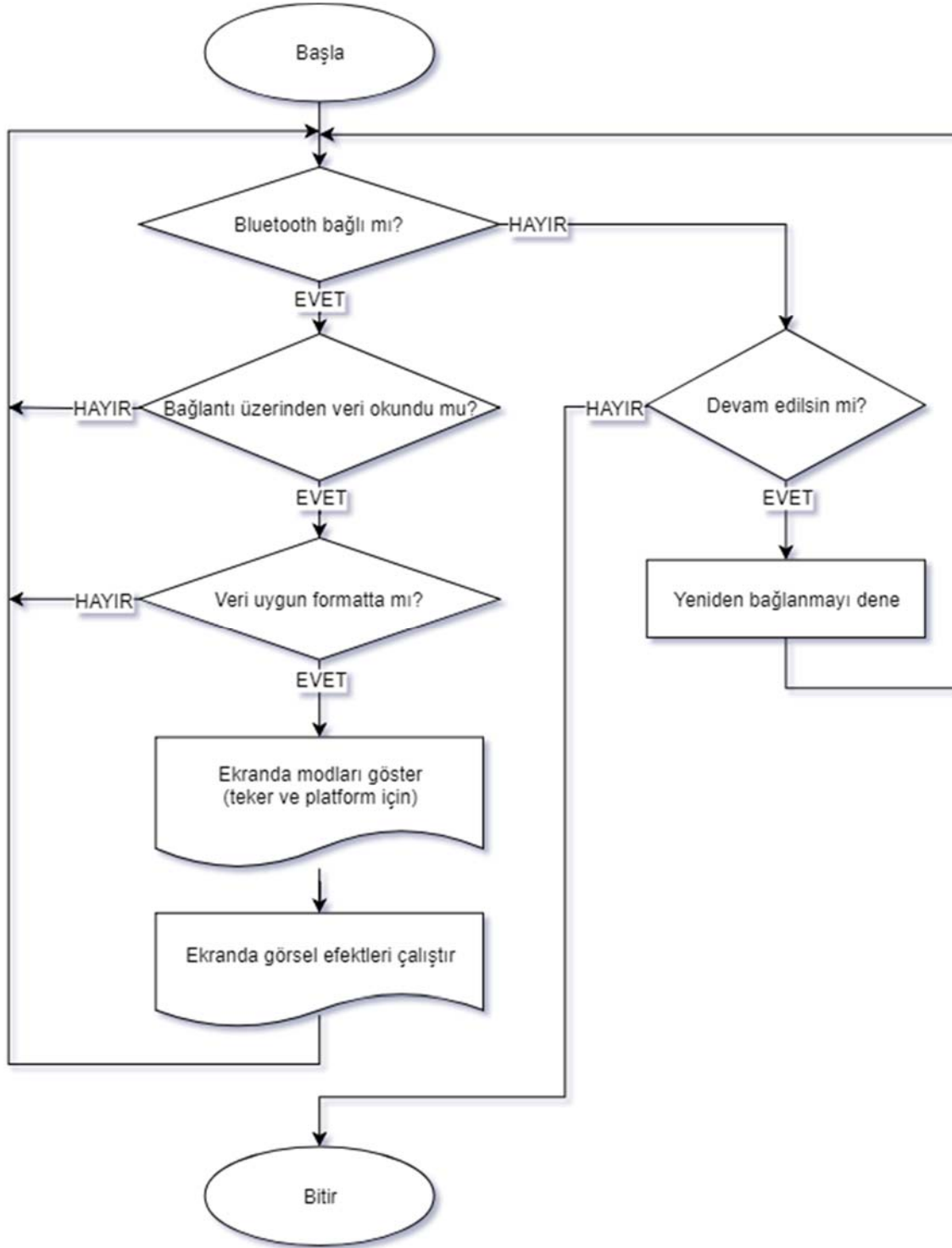
Şekil 5.28. Mobil uygulamanın ekran çizelge modeli (wireframe)

Ekran tasarımı üzerinde sisteme ait birçok detay bulunmaktadır. Ekranın tasarımı tamamlandıktan sonra tarayıcı üzerinde çalışan App Inventor programı ile programın ekran üzerindeki elementleri yerleştirilmiştir. İnteraktif şekilde çalışma testleri yapılarak sisteme adapte edilmiştir. Programın arayüzü Şekil 5.29. 'de görülmektedir.



Şekil 5.29. Mobil uygulamanın çalışır haldeki ekran görüntüsü

Sistemin çalışma prensibini akış diyagramı oluşturulmuştur. Bu akış diyagramına uygun koşul ve komut dizilimleri App Inventor 2 tarafından bloklar ile hazırlanmıştır. Akış diyagramı incelendiğinde sistemin genel çalışma süreci detaylı bir şekilde anlaşılmaktadır (Şekil 5.30.).



Şekil 5.30. Mobil uygulama genel akış diyagramı

6. SONUÇ

Bu çalışmada, Stewart Platform Mekanizmasının daha iyi kavranabilmesi için paralel ve seri manipülatörlerden, teker açı oluşumlarının kontrolü için ise Ackermann Geometrisinden bahsedilmiştir. Çalışmaya uygun bir prototip araç yapılmıştır. Prototip sistemler yarınları tasarlamakta birçok alanda gereklidir. Sistemlerin gerçeğe uyarlanması adına atılacak ön adımlar büyük ve hızlı olacağı için prototip sistemlere günümüzde sürekli ihtiyaç duyulmaktadır.

3x3 bağlantı biçiminde altı serbestlik derecesine sahip platform tasarımı yapılarak, ters kinematik hesaplamaları ile kontrolü sağlanmıştır. Sistemin düz kinematik hesaplamaları ile kontrolü oldukça zor olduğundan, çalışmada düz kinematikten yüzeysel olarak bahsedilmiştir.

Sistemin katı model tasarımı sürecinde SketchUp Pro 2018 kullanılarak ölçekli ve sistem dinamiğine uygun olarak platform ve tekerlek sistemi için gerekli olan tüm parçaların tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımlar üç boyutlu yazıcı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve birleştirilerek sağlamlık testine tabi tutulmuştur.

Bu çalışmada ilk olarak Stewart Platform Mekanizması ve Birbirinden Bağımsız Teker ve Direksiyon Aksamı (BBTDA) hakkında bilgiler verilmiştir. Paralel bir mekanizma olan SPM'nin daha iyi anlaşılabilmesi için seri ve paralel mekanizmalardan bahsedilmiştir. Ackermann Geometrisine göre hesaplanan teker direksiyon açıları yapılan prototip araç teker sisteminde kullanılmıştır. Araç sürüşü için hareket esnekliği ve sürüş kolaylığı nasıl sağlanır sorusuna cevap verilmiş ve çözüm yöntemleri araştırılarak prototip araç üzerinde uygulanmıştır. Bu kapsamda araçtaki tekerlek sistemi özelleştirilmiş ve aracın üzerine yerleştirilen denge Platformunun dengeyi sağlaması gerçekleştirilmiştir.

BBTDA yönlendirme açılarının ve hızlarının ayrı ayrı kontrol edilebileceği dört tekerlekli sistem tasarlanmıştır. Sistem gerçekleştirilerek bir şase üzerinde birleştirilmiştir. Birbirinden bağımsız her tekerleğin açı kontrolü sağlanırken açısal hesaplamalar, ideal teker açıları teoremine göre Ackermann Geometrisi kullanılarak hesaplanmıştır. Bunun dışında aracın şase kısmına yerleştirmek üzere tasarlanan 3x3 modelinde bir Stewart Platformu

gerçekleştirilmiştir. Platform temel olarak sabit alt plaka, hareketli üst plaka ve altı adet pistondan oluşmaktadır. Tez çalışmasının teker sistemi ve platform mekanizması özel modlar ile kontrol kolu kullanılarak kontrol edilmiştir. Çalışma sürecinde belirlenen amaçlara göre teker ve platform kontrol algoritmaları tasarlanarak, C programlama dili tabanlı kod yazılmıştır. Bu kod sistemin beyni olan Arduino mikrodenetleyici karta yüklenmiştir. Sunucu tabanlı mobil uygulama geliştirme ortamı App Inventor 2 kullanılarak, prototip sistem durumunun izlenmesi için grafik tabanlı mobil uygulama hazırlanmıştır. Mobil uygulama ile prototip cihaz arasındaki iletişimi sağlamak amaçlı bluetooth 2.0 protokolü kullanılmıştır. Mobil uygulamada sistem durumunun anlık olarak piston konumları, teker açıları, araç hareket yönü, teker-platform modları, eğim ve hız gibi bilgiler vermektedir.

KAYNAKLAR

1. Merlet, J. P. (2006). *Parallel Robots (Second Edition)*. Springer, Dordrecht, Netherlands, 261-312.
2. Gosselin, C. and Angeles, J. (1990). Singularity Analysis of Closed-Loop Kinematic Chains. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Canada, 281-283.
3. Sunguray, C. (2015). *6x6 Stewart Platform Mekanizmasının Tasarımı, Benzetimi Ve Gerçekleştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-5.
4. Stewart, D. (1965). A platform with 6 Degrees of Freedom. *Proc. Institute of Mechanical Engineers, England*, 180 (Part 1,15) 371-386.
5. İner, B. A. (2013). *Stewart Platform Benzetim Ve Eniyileme Yazılımının Gerçekleştirilmesi*. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1-9.
6. Güneri, B. (2007). *Complete Dynamic Analysis of Stewart Platform Including Singularity Detection*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 1-9.
7. Dasgupta, B., and Mruthyunjaya, T. S. (2000). The Stewart Platform manipulator: a review. *Mechanism and Machine Theory*, 15-40.
8. Majid, M.Z.A., Huang, Z. and Yao, Y.L. (2000). Workspace analysis of a six-degrees of freedom, three-prismatic–prismatic–spheric-revolute parallel manipulator. *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 441–449.
9. Wang, A. (2007). *Reconfigurable kinematics of General Stewart Platform and simulation interface*. Master Thesis, University of Windsor, Canada.
10. Bingü, Z., ve Küçük, S. (2005). *Robot tekniği 1*. Birsen Yayınevi,, İstanbul, 275 -282.
11. Gökçen, H.M. (1992). *Control of a Stewart mechanism using direct kinematic solution*. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
12. Anlı, E. (2005). *Positional Kinematics Analysis of The 6-3 Stewart Platform Mechanism Using Heuristic Algorithms*. M.SC.Thesis, ITU, 4-12.
13. Ulaş, B. (2009). *Stewart Platform Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 42-43.
14. Yıldız, İ. (2007). *3x3 Kuvvet Geri Beslemeli Bir Stewart Platformunun Kinematik Analizi, Bağ-Grafik Modellenmesi ve Simülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2-3.

15. Alp, H. (2007). Sezgisel yöntemlerle paralel mekanizmaların çalışma uzayı analizi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
16. David, M. B., and Clifford, E. B. (1999). A steering linkage for short wheelbase vehicles: Design and evaluation in a wheelchair power base - A technical note. *Journal of rehabilitation research and development*. Pittsburgh, 7-42.
17. Burha, M. (2010). İki akstan dümenlenen üç akslı özel maksatlı bir taşıtın direksiyon mekanizmasının kinematik tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
18. Jeza, R.N. (2008). *Vehicle Dynamics:Theory and Applications*. Springer Science+Business Media, LLC, 233 Spring Street, New York.
19. Pflug, H.C., von Glasner, E.C. ve Povel, R. (1996). Commercial Vehicles with Intelligent Rear Axle Steering System, 1996 SAE International Truck and Bus Meeting and Exposition, US.
20. Pillar, D.R. ve Braun, E.E. (1995). All-Wheel Steering System for Heavy Truck Application. International Truck & Bus Meeting & Exposition, US.
21. Anlı, E., Alp, H., Sait N. Yurt ve Özkol, İ. (2005). Paralel Mekanizmaların Kinematiği, Dinamiği ve Çalışma Uzayı. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi Cilt 2 Sayı 1*, 19- 36.
22. Dasgupta, B. and Mruthyunjaya, T.S. (1998). A Newton-Euler Formulation For The Inverse Dynamics Of The Stewart Platform Manipulator. *Mechanism and Machine Theory*, 1135-1152.
23. Parsa, S.S., Daniali, H.M., and Ghaderi, R. (2010). Optimization of parallel manipulator trajectory for obstacle and singularity avoidances based on neural network. *Int J Adv Manuf Technol*, Londra, 811–816.
24. Merlet, J. (1995). Determination of the orientation workspace of parallel manipulators. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, France, 143-160.
25. Ay, S. (2013). Stewart Platform Mekanizmasının Çalışma Uzayı. Doktora Tezi, Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul, 50-56.
26. Harib, K. and Srinivasan, K. (2003). Kinematic and dynamic analysis of Stewart platform-based machine tool structures. *Robotica*. 21. 541-554.
27. Wang, Z., Liu, W.T. and Lei, Y.C. (2001). A study on workspace, boundary workspace analysis and workpiece positioning for parallel machine tools. *Mech.Mach. Theory*, 605-622.

28. Tari, H., Su, H.J., and Hausenstein, J.D. (2012). Classification and complete solution of the kinetostatics of a compliant Stewart–Gough platform. *Mechanism and Machine Theory*, 177–186.
29. Zhang, D., and Gao, Z. (2012). Forward kinematics, performance analysis, and multi-objective optimization of a bio-inspired parallel manipulator. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 484–492.
30. Hulme, K.F., and Pancotti, A. (2004). Development of a Virtual D.O.F. Motion Platform for Simulation and Rapid Synthesis. *Aeronautics and Astronautics*, 1-11.
31. Gonzales, H., Dutra, M.S., and Lengerke, O. (2011). Direct and inverse kinematics of Stewart Platform applied to offshore cargo transfer simulation. 13th World Congress in Mechanism and Machine Science, Guanajuato, México, 1-7.
32. Wang, Z., He, J., and Gu, H. (2011). Forward Kinematics Analysis of a Six-Degree-of-Freedom Stewart Platform Based on Independent Component Analysis and Nelder–Mead Algorithm. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part a: Systems and Humans*, 589-597.
33. Pi, Y., and Wang, X. (2011). Trajectory tracking control of a 6-DOF hydraulic parallel robot manipulator with uncertain load disturbances. *Control Engineering Practice*, 185–193.
34. Huang, X., Hang, Z., He, G., and Tan, X. (2010). An Efficient Algebraic Method for Direct Kinematics of the 5-6 Stewart Platform. 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, 63-66.
35. Griffis, M., and Duffy, J. (1989). A Forward Displacement Analysis of a Class of Stewart Platforms. *Journal of Robotic Systems*, 703-720.
36. Chapra, S.C., and Canale, R.P. (2009). *Numerical Methods for Engineers*. 6 th Edition, McGraw-Hill Primis, 148-170.
37. Merlet, J. P. (1998). Determination of the Presence of Singularities in 6D Workspace of a Gough Parallel Manipulator, *Advances in Robot Kinematics: Analysis and Control*. J. Lenarcic, M. L. Husty, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 34-42.
38. Kızıllhan A., Toz M., Aliustaoğlu C. ve Bingül Z. (2007). Gezin robot tasarımı ve hareket planlaması. TOK'07 Bildiriler Kitabı , İstanbul, 371 -376.
39. Chen, C.T. (2012). Reconfiguration of a parallel kinematic manipulator for the maximum dynamic load-carrying capacity. *Mechanism and Machine Theory*, 62–75.

40. Guo, H.B., Liu, Y.G., Liu, G.R., and Li, H.R. (2008). Cascade control of a hydraulically driven 6-DOF parallel robot manipulator based on a sliding mode. *Control Engineering Practice*, 1055–1068.
41. Dongsu, W. and Hongbin, G. (2007). Adaptive Sliding Control of Six-DOF Flight Simulator Motion Platform, *Chinese Journal of Aeronautics*, 425-433.
42. Lee, D., Chitrakaran, V.K., Burg, T.C., Dawson, D.M., and Xian, B. (2007). Control of a remotely operated quadrotor aerial vehicle and camera unit using a fly-the-camera perspective. *46th IEEE Conference on Decision and Control*, 6412-6417.
43. Soysal, M. (2007). Doğru Akım Motorunun Dört Bölge Kontrolünün PIC İle Gerçekleştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 27-28.
44. De-Juan, A., Sancibrian, R., and Viadero, F. (2009). Optimal synthesis of Steering Mechanism Including transmission Angles. *Proc. of EUCOMES*, 175-181.



EKLER

EK-1. Teker direksiyon açıların hesaplandığı gömülü kod

```

//tekerleklerin direksiyon Ackermann açısal hesaplamaları burada yapılır.
//
// (AckermannAciHesapla.ino)
int fNoktayaGoreAciHesapla(int tekerNo, int tekerX, int tekerY, int
noktaX, int noktaY) {
    double aUzunluk, bUzunluk;

    int alfa1, alfaDerleme;

    switch (tekerNo) {
        case 0:
            tekerAciBaslaDeger[tekerNo] = 90;
            bUzunluk = (tekerX - noktaX);
            aUzunluk = (tekerY - noktaY);
            alfa1 = 90 + (abKenardanAciBul(aUzunluk, bUzunluk));
            alfaDerleme = 180 - abs((((tekerAciBaslaDeger[tekerNo] + (alfa1)) %
180)
                                + tekerAciBaslaDeger[tekerNo]) % 180);
            break;
        case 1:
            tekerAciBaslaDeger[tekerNo] = 180;
            bUzunluk = (tekerX - noktaX);
            aUzunluk = (tekerY - noktaY);
            alfa1 = 90 + (abKenardanAciBul(aUzunluk, bUzunluk));
            alfaDerleme = 180 - abs((((tekerAciBaslaDeger[tekerNo] + (alfa1)) %
180)
                                + tekerAciBaslaDeger[tekerNo]) % 180);
            break;
        case 2:
            tekerAciBaslaDeger[tekerNo] = 90;
            bUzunluk = (tekerX - noktaX);
            aUzunluk = (tekerY - noktaY);
            alfa1 = 90 + (abKenardanAciBul(aUzunluk, bUzunluk));
            alfaDerleme = 180 - abs((((tekerAciBaslaDeger[tekerNo] + (alfa1)) %
180)
                                + tekerAciBaslaDeger[tekerNo]) % 180);
            break;
        case 3:
            tekerAciBaslaDeger[tekerNo] = 180;
            bUzunluk = (tekerX - noktaX);
            aUzunluk = (tekerY - noktaY);
            alfa1 = 90 + (abKenardanAciBul(aUzunluk, bUzunluk));
            alfaDerleme = 180 - abs((((tekerAciBaslaDeger[tekerNo] + (alfa1)) %
180)
                                + tekerAciBaslaDeger[tekerNo]) % 180);
            break;
    }
    return alfaDerleme;
}
int tekerdenTekerAciBul(int gelenAci, int tekerRef) {
    int intAci = gelenAci,
        intKomsu = dky * 2,
        intKarsi = aciKomsudanKarsiBul(intAci, intKomsu) + 2 * yty ,
        ciktil1 = 90 - abKenardanAciBul(intKomsu, intKarsi) ,
        ciktil2 = 90 + abKenardanAciBul(intKomsu, intKarsi);
    if (tekerRef == 0) {
        return ciktil1;
    }
}

```

EK-1.(devam) Teker direksiyon açılarının hesaplandığı gömülü kod

```
else if(tekerRef==1){
    return cikti2;
}
return 90;
}
int fNoktayaGoreAciHesapla(int tekerNo, int noktaX, int noktaY) {
    return fNoktayaGoreAciHesapla(tekerNo, tekerKonumlar[tekerNo][0],
        tekerKonumlar[tekerNo][1], noktaX, noktaY);
}

int abKenardanAciBul(int aKenar, int bKenar) {
    return (atan2(aKenar, bKenar) * 180 / M_PI);
}

int aciKomsudanKarsiBul(int aci, int komsu) {
    int karsi = tan(aci * M_PI / 180 ) * komsu;
    return karsi;
}
```

EK-2. Açı sensörü sinyalinin işlendiği kod

```

//## Açı Sensörü ham verisini normalize ederek ideal sinyalin elde
edildiği kod ##
// (gyroSinyalTemizle.ino)

int xAci = 0, yAci = 1;
const int toleransDegeri = 30, elemanSayi = 7, KontrolElemanSayi =
elemanSayi, KontrolDenklikSayisi = 3;
int stabilAralikVeri[2][elemanSayi] = {
    { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 },
    { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 } };
int realAralikVeri[2][elemanSayi] = {
    { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 },
    { 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 } };
int stabilAci[] = {0, 0}; // temiz sensör verisini tutacak değişken
int globalAci[] = {0, 0}; // ham sensör verisini tutacak değişken

void aciHesaplayiciMain() {
    int hx = 40, hy = 10;
    int acc[3] = {0, 0, 0};
    getAccelerometerData(acc); // Sensör Ham Datası çekilir...
    hx = acc[0];
    hy = acc[1];
    globalAci[xAci] = map((hx-28),0,93,0,21); // x kalibre değerler ile
sıfırlama...
    globalAci[yAci] = map((hy+5),0,93,0,21); // y kalibre değerler ile
sıfırlama...
    fonksiyonSinyalTemizle(); // sinyal temizleme fonksiyonu çağırılır
}

void fonksiyonSinyalTemizle() { // Sinyal temizleme süreci
    fonkKontrolGercekZamanliEkle();
    fonkKontrolStabil();
}

int getGlobalAciX() { // Sensör ham X datasını kullanmak için bu
fonksiyon çağırılır.
    return globalAci[xAci];
}
int getGlobalAciY() { // Sensör ham Y datasını kullanmak için bu
fonksiyon çağırılır.
    return globalAci[yAci];
}
int getStabilAciX() { // Sensör temiz X datasını kullanmak için bu
fonksiyon çağırılır.
    return stabilAci[xAci];
}
int getStabilAciY() { // Sensör temiz Y datasını kullanmak için bu
fonksiyon çağırılır.
    return stabilAci[yAci];
}

void fonkKontrolStabil() {
    int yon = 0;
    for (yon = 0; yon < 2; yon++) {
        bool stabil = true;
        int i = 0;
        for (i = KontrolElemanSayi - KontrolDenklikSayisi;
            i < KontrolElemanSayi - 1;

```

EK-2.(devam) Açı sensörü sinyalinin işlendiği kod

```

        i++) {
    if (abs(realAralikVeri[yon][KontrolElemanSayi - 1]
        - realAralikVeri[yon][i]) > toleransDegeri) {
        stabil = false;
        break;
    }
}
if (stabil) {
    int toplam = 0;
    fonkStabilVeriEkle(globalAci[yon], yon);
    int i = 0;
    for (i = 0; i < KontrolElemanSayi; i++) {
        toplam += stabilAralikVeri[yon][i];
    }
    stabilAci[yon] = toplam / KontrolElemanSayi;
} else {
    fonkStabilVeriEkle((stabilAci[yon]*(2/3))+(globalAci[yon]*(1/3)),
yon);
}
}
}

bool fonkStabilVeriEkle(int eklenecekAci, int yon) {
    for (int i = 0; i < KontrolElemanSayi - 1; i++) {
        stabilAralikVeri[yon][i] = stabilAralikVeri[yon][i + 1];
    }
    stabilAralikVeri[yon][KontrolElemanSayi - 1] = eklenecekAci;
}

bool fonkKontrolGercekZamanliEkle() {
    for (int yon = 0; yon < 2; yon++) {
        for (int i = 0; i < KontrolElemanSayi - 1; i++) {
            realAralikVeri[yon][i] = realAralikVeri[yon][i + 1];
        }
        realAralikVeri[yon][KontrolElemanSayi - 1] = globalAci[yon];
    }
}
}

```

EK-3. Tekerlek hızlarının hesaplandığı kod parçasığı

```

// Tekerleklerin tek merkez etrafındaki dönüşü esnasında
// farklı teker hızlarının hesaplaması kod ile gerçekleşir..
(hizHesapla.ino)
const int veriSayisi = 9,
        idPWM = 0,
        idYol = 1,
        idSn = 2;

int hizHesapla(int tekerNo, int hiz, int noktaX, int noktaY) {
    int tekerUzaklik[4] = {
        hipotenusBul(tekerKonumlar[0][0] - noktaX, tekerKonumlar[0][1] -
noktaY)/10,
        hipotenusBul(tekerKonumlar[1][0] - noktaX, tekerKonumlar[1][1] -
noktaY)/10,
        hipotenusBul(tekerKonumlar[2][0] - noktaX, tekerKonumlar[2][1] -
noktaY)/10,
        hipotenusBul(tekerKonumlar[3][0] - noktaX, tekerKonumlar[3][1] -
noktaY)/10
    };

    int tekerAlacagiYollar[4] = {
        2 * M_PI * tekerUzaklik[0],
        2 * M_PI * tekerUzaklik[1],
        2 * M_PI * tekerUzaklik[2],
        2 * M_PI * tekerUzaklik[3]
    };

    int enUzakTekerUzaklik =
                                max(
tekerUzaklik[1]),
                                max(tekerUzaklik[0],
tekerUzaklik[3])
                                max(tekerUzaklik[2],
                                );

    int enUzakTekerNo;
    int i = 0;
    for (i = 0; i < 4; i++ ) {
        if (tekerUzaklik[i] == enUzakTekerUzaklik) {
            enUzakTekerNo = i;
            break;
        }
    }

    double oran = (tekerAlacagiYollar[tekerNo]) /
tekerAlacagiYollar[enUzakTekerNo];
    double hesaplananHiz = (hiz * oran);
    int gonder=hesaplananHiz;

    if (tekerNo == enUzakTekerNo) {
        return hiz;
    } else {
        if (gonder < minHizPwm) {
            return 0;
        } else {
            return gonder;
        }
    }
}

```

EK-4. Piston kontrol kodu

```

//Pistonun açıklığı burada hesaplanır. Piston içerisinde bulunan servo
//motorun dönüş açısı, krank mekanizmasına göre hesaplanır.
.. (pistonMain.ino)

const int kalibreLineerServo[6][2] = { // ust // alt // 0 - 200 // pca
    // Pistonda bulunan servo motorların başlangıç parametreleri
    {270,505}, // Lineer Servo 0
    {480,245}, // Lineer Servo 1
    {300,545}, // Lineer Servo 2
    {425,170}, // Lineer Servo 3
    {235,480}, // Lineer Servo 4
    {450,215} // Lineer Servo 5
};
long servoOncekiZaman = gecenZaman;
int lineerServoKonum[6] = {0, 0, 0, 0, 0, 0};
void lineerServoSur() {
    int mod_artisMiktar=0;
    if(StewartModu==0){
        mod_artisMiktar=25;
    }else{
        mod_artisMiktar=3;
    }
    int sNo = 0;
    for (sNo = 0; sNo < 6; sNo++) {
        if ((lineerServoKonum[sNo] < lineerServoDegerleri[sNo]) &&
abs(lineerServoKonum[sNo] - lineerServoDegerleri[sNo]) > mod_artisMiktar)
        {
            lineerServoKonum[sNo] += mod_artisMiktar;
        } else if ((lineerServoKonum[sNo] > lineerServoDegerleri[sNo])
&&(lineerServoKonum[sNo] - lineerServoDegerleri[sNo]) >
mod_artisMiktar) {
            lineerServoKonum[sNo] -= mod_artisMiktar;
        }else{
            lineerServoKonum[sNo]=lineerServoDegerleri[sNo];
        }
        lineerServoSur(sNo, lineerServoKonum[sNo]);
    }
}
void lineerServoSur(int intServo, int intDeger) {
    pwm.setPWM(intServo, 0, (lineerServoAciHesapla(intServo,
constrain(intDeger, 0, 200))));
}
int lineerServoAciHesapla(int intMotor, int git) {
    int gitAci = 180 - rad( acos( ( ( git - piston_uzunluk *
piston_uzunluk ) + L* L
- servo_eklem* servo_eklem ) / ( 2 * ( git -
piston_uzunluk ) * servo_kol )));
    if (git > 200) {
        return map(refUst, 0, 200, kalibreLineerServo[intMotor][0],
kalibreLineerServo[intMotor][1]);
    } else if (gitAci < 0) {
        return map(refAlt, 0, 200, kalibreLineerServo[intMotor][0],
kalibreLineerServo[intMotor][1]);
    } else {
        return map(gitAci, 0, 200, kalibreLineerServo[intMotor][0],
kalibreLineerServo[intMotor][1]);
    }
}
}

```


EK-5. Teker hızlarının ve dönüş yönlerinin hesaplandığı kod

```

// Tüm tekerlerin yön ve hız kontrol edildiği kod parçacığı..
(teker_surus.ino)
void tumTekerSur(int yon, int hiz) {
    // tüm tekerlerin eşit hızda sürüşü sağlanır.
    tekerSur(0, yon, hiz);
    tekerSur(1, yon, hiz);
    tekerSur(2, yon, hiz);
    tekerSur(3, yon, hiz);
}

// istenen tekerin hareketleri burada tanımlanır.
void tekerSur(int tekerNo, int yon, int hiz) {
    switch (yon) {
        case 0:
            motorIleri(tekerNo, hiz);
            break;
        case 1:
            motorDur(tekerNo);
            break;
        case 2:
            motorGeri(tekerNo, hiz);
            break;
    }
}

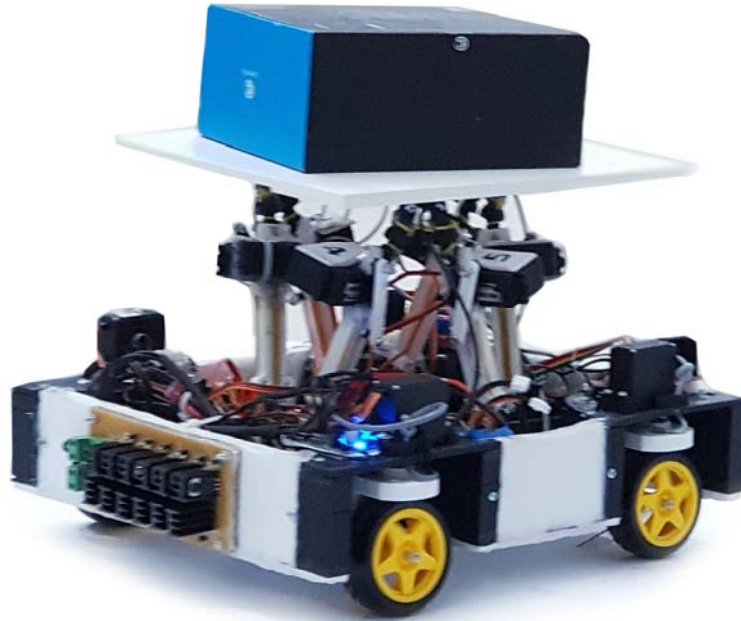
// Belirtilen tekerin durdurulur sağlanır.
void motorDur(int tekerNo) {
    digitalWrite(tekerMotorPinler[tekerNo][0], 0); // ileri parametresi
    pasif
    digitalWrite(tekerMotorPinler[tekerNo][1], 0); // geri parametresi
    pasif
    digitalWrite(tekerMotorPinler[tekerNo][2], 0);
    // kontrol parametresi pasif
}

// belirtilen teker pwm sinyali ile istenen hızda ileri sürülür //
void motorIleri(int tekerNo, int hiz) {
    digitalWrite(tekerMotorPinler[tekerNo][0], 1); // ileri parametresi
    aktif
    digitalWrite(tekerMotorPinler[tekerNo][1], 0); // geri parametresi
    pasif
    analogWrite(tekerMotorPinler[tekerNo][2], hiz);
    // pwm sinyali değeri ile tekerin kontrolü aktif (0-255)
}

void motorGeri(int tekerNo, int hiz) {
    digitalWrite(tekerMotorPinler[tekerNo][0], 0); // ileri parametresi
    pasif
    digitalWrite(tekerMotorPinler[tekerNo][1], 1); // geri parametresi
    aktif
    analogWrite(tekerMotorPinler[tekerNo][2], hiz);
    // pwm sinyali değeri ile tekerin kontrolü aktif (0-255)
}

```

EK-6. Konsol kolu ve Aracın genel görünümünün fotoğrafı



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Özer, Muhammet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1995 - Ardahan
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : -
 Faks : -
 e-mail : ozermuhammet0@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	İstanbul Gelişim Üniversitesi	2016
Önlisans	İstanbul Gelişim Meslek Yüksekokulu	2014
Lise	Kıraç İMKB Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	2012

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019-	İstanbul Gelişim Üniversitesi - Uzaktan Eğitim Birimi	Koordinatör
2016-2019	İstanbul Gelişim Üniversitesi - Uzaktan Eğitim Birimi	İçerik Geliştirme ve Eğitim Uzmanı
2014-2015	SUNNY (Atmaca Elektronik)	Üniversite Stajı
2012-2013	SUNNY (Atmaca Elektronik)	Lise Stajı

Yabancı Dil

Dil	Okuma	Yazma
İngilizce	İyi	İyi

Hobiler

Yüzmek, Futbol, Satranç oynamak, Kitap okumak, Balık tutmak.



GELİŞİM GELİŞMEKTİR...