

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GCDC 2011 YARI OTONOM KOOPERATİF ADAPTİF SÜRÜŞ YARIŞ
ARACININ TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Raif KARAAHMETOĞLU**

Anabilim Dalı: Mekatronik Mühendisliği

Programı: Mekatronik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent GÜVENÇ

TEMMUZ 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GCDC 2011 YARI OTONOM KOOPERATİF ADAPTİF SÜRÜŞ YARIŞ
ARACININ TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Raif KARAAHMETOĞLU
(518091058)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20 Temmuz 2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 29 Temmuz 2011

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent GÜVENÇ
Diğer Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Erdiñ ALTUĞ
Yrd. Doç. Dr. Ahu Ece HARTAVİ
KARCI**

TEMMUZ 2011

Aileme ve Pınarıma,

ÖNSÖZ

Son yıllarda giderek artmakta olan trafik sıkışıklıkları ve bunun sonucunda oluşan hava kirlilikleri, yollarda heba olan zaman dolayısıyla maddi kayıplar ve trafik kazaları azımsanamayacak seviyelere ulaşmıştır. Trafik sıkışıklığının insanlar üzerinde yarattığı stres faktörü de özellikle büyük şehirlerde yaşayan insanları psikolojik açıdan etkilemektedir. Bu amaçla ortaya çıkan ve trafik sıkışıklığını azaltmayı hedefleyen akıllı ulaşım sistemleri sayesinde trafik akış kapasitesinin artırılması dolayısıyla trafikte harcanan zamanın azaltılması, ulaşım konforunun artırılması ve salınım seviyelerinin düşürülmesi sağlanabilmekte ve kazaların önüne geçilebilmektedir. Akıllı ulaşım sistemleri için büyük bir adım olan Kooperatif Adaptif Sürüş Sistemleri (CACC) sayesinde taşıtların birbirleri ile ve de yol üzerindeki birimler ile iletişim kurabilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede yol üzerindeki araçlar, diğer araçlardan konvoy halinde güvenli sürüş için gerekli, konum, hız ve ivme bilgilerini ve ayrıca yol birimlerinden yol durumu, kaza durumu gibi bilgileri edinebilmeleri sağlanmaktadır. Büyük Kooperatif Sürüş Yarışması (GCDC), CACC teknolojisine sahip araçların yarışarak teknolojilerini geliştirme olanağı bulduğu bir yarışmadır. Bu tezin amacı, GCDC yarışmasına katılmak için gerekli aracın altyapısının oluşturulması, gaz ve fren sistemlerine müdahale edilmesi ve aracın konvoy halinde sürüş için gerekli kontrolcü algoritmasının oluşturulup performansının benzetim ve gerçek testler ile artırılmasıdır.

Böylesine geleceğin ileri teknolojilerinin geliştirilmesini, şimdiden öğrencilerine bir fırsat olarak sunan,engin bilgisi, tecrübesi ve ufku ile öğrencilerine yol gösteren saygıdeğer Prof. Dr. Levent Güvenç'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Aracın altyapısının oluşturulmasında büyük katkıları olan MEKAR laboratuvarı çalışanlarına da teşekkür ederim.

Temmuz 2011

Raif KARAAHMETOĞLU

(Mekatronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 GCDC Yarışması Nedir	4
1.2.1 GCDC yarışmasına katılabilmek için ön gereksinimler	4
1.2.1.1 Sürücü gereksinimleri	4
1.2.1.2 Araç gereksinimleri	5
1.2.1.3 Algılayıcı gereksinimleri	6
1.2.1.4 GCDC yarışma senaryoları	7
1.3 Yarışmacı Takımlar ve Yarışmadan Bazı Fotoğraflar	9
1.4 Kapsam.....	12
2. ARAÇ DONANIMLARI VE YERLEŞİMLERİ	15
2.1 Algılayıcılar ve Yerleşimi	15
2.1.1 Lidar ve araç üzerindeki yerleşimi.....	15
2.1.2 GPS algılayıcıları ve yerleşimi	25
2.1.3 Atalet ölçüm algılayıcısı (IMU).....	26
2.1.4 Araç içi tezgâhlar ve yerleşimi.....	30
2.1.5 Pedal kuvvet algılayıcısı ve yerleşimi.....	32
2.2 Otonom araç sistemleri.....	34
2.2.1 Fren sistemine müdahale.....	38
2.2.2 Otonom fren sistemi tasarımı ve imalatı	41
2.2.2.1 İlk fren sistemi tasarımı	42
2.2.2.2 İkinci fren sistemi tasarımı	43
2.2.2.3 Üçüncü fren sistemi tasarımı	44
2.2.2.4 Dördüncü fren sistemi tasarımı	45
3. TAŞIT DİNAMİĞİ MODELİ.....	51
3.1 Araç Modellemesine Giriş	51
3.2 Doğrusal Olmayan Tek İzli Araç Modeli.....	53
3.3 Boyuna Taşıt Modeli	60
3.3.1 Rüzgâr direnç kuvveti	61
3.4 Yuvarlanma Direnci	62
3.4.1 Lastikler üzerindeki normal kuvvetlerin hesabı.....	63
3.5 Eğim Direnci	63

3.6 Motor Modeli.....	64
3.7 Fren Sistemi Modeli	66
4. CACC KONTROL ALGORİTMASI.....	73
4.1 Adaptif Seyir Kontrolcüsü (ACC).....	73
4.2 Kooperatif Adaptif Seyir Kontrolcüsü (CACC).....	74
4.3 Otonom Taşıt Takip Kontrol Yapıları	75
4.4 Alt Seviye Kontrolcü Tasarımı.....	76
4.5 Üst Seviye Kontrolcü Tasarımı	79
4.5.1 Sabit zaman aralığı kontrolcü tasarımı.....	79
4.5.2 Konvansiyonel kontrolcü tasarımı	81
4.5.3 Lineer optimal kontrolcü tasarımı	82
4.5.4 İvme referansının sınırlandırılması	84
5. BENZETİM, TEST VE YARIŞMA SONUÇLARI	85
5.1 Benzetim Sonuçları	85
5.1.1 Sabit zaman aralığı kontrolcüsü benzetim sonuçları.....	85
5.1.2 Konvansiyonel kontrolcü benzetim sonuçları	88
5.1.3 LQR kontrolcü benzetim sonuçları	90
5.1.4 CACC ve ACC performans karşılaştırması	93
5.2 Yarışma Sonuçları	102
5.3 Yarışma Sonrası Yapılan Testler ve Sonuçları.....	108
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR.....	113
EKLER.....	119

KISALTMALAR

ACC	: Adaptive Cruise Control (Adaptif Seyir Kontrolcüsü)
CACC	: Cooperative Adaptive Cruise Control (Kooperatif Adaptif Seyir Kontrolcüsü)
CC	: Cruise Control (Seyir Kontrolcüsü)
DGPS	: Differential GPS (Diferansiyel GPS)
GCDC	: Grand Cooperative Driving Challenge (Büyük Kooperatif Sürüş Yarışması)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi)
ID	: Identification (Lidar Tarayıcının Algıladığı Her Bir Araca Verdiği Numara)
IMU	: Inertial Measurement Sensor (Atalet Ölçüm Algılayıcısı)
Lidar	: Light Detection and Ranging (Işık Algılaması ve Ölçmesi)
LQR	: Linear Quadratic Regulator (Doğrusal Karesel Regülatör)
MABX	: MicroAutobox araç uygulamaları için üretilmiş kontrolcü
OKH	: Ortalama Karesel Hata
OMS	: Ortalama Mutlak Sapma
RTK GPS	: Real Time Kinematic GPS (Gerçek Zamanlı Kinematik GPS)
SZA	: Sabit Zaman Aralığı Kontrolcüsü
TOFAŞ	: Türk Otomobil Fabrikası Anonim Şirketi

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 : Skor Tablosu.....	9
Çizelge 2.1 : Pedal algılayıcı özellikleri [20].	32
Çizelge 2.2 : ADS-7000 robotunun özellikleri.	35
Çizelge 2.3 : SFP 2000RP robotunun özellikleri.....	36
Çizelge 2.4 : SM34165DT ve PG-060 redaktör özellikleri.	48
Çizelge 3.1 : Bisiklet modelinde kullanılan parametreler [44].	54
Çizelge 4.1 : Vites oranları ve düzeltilmiş vites oranları.....	77
Çizelge 5.1 : CACC ve ACC performans karşılaştırması.	101

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Aktif ve pasif güvenlik sistemlerinin kapsamı [1].	1
Şekil 1.2 : Kazalar ve sonuçlarının yıllara göre değişimi [2].	2
Şekil 1.3 : CACC taşıtlar arası iletişim [8].	3
Şekil 1.4 : Araç donanım yerleşimi.	5
Şekil 1.5 : Şehir içi senaryosunun tüm aşamaları [9].	7
Şekil 1.6 : Otoban bölümü [9].	8
Şekil 1.7 : Yarışmanın yapılacağı yol güzergâhı ve lider araç [9].	8
Şekil 1.8 : TÜRK takımı MEKAR'ın otonom aracı.	10
Şekil 1.9 : Annieway, Hamstald, Chalmers, Scoop takımları.	10
Şekil 1.10 : Autopia, A-team, Futurum, Latvia takımları.	11
Şekil 1.11 : GCDC yarışma etabında CACC araç konvoyu.	11
Şekil 2.1 : Alaska lidar bileşenleri [12].	16
Şekil 2.2 : Uçuş zamanı ölçümü [12].	16
Şekil 2.3 : Foto-diyot alıcının arzu edilen eşik sinyal değeri [12].	17
Şekil 2.4 : IBEO-ALASCA lidar iç aksamı [12].	17
Şekil 2.5 : Çok katmanlı lazer tarayıcıların yol durumlarına göre üstünlükleri [12].	18
Şekil 2.6 : Stanford takımının araçları üzerindeki lidar algılayıcıları [13].	18
Şekil 2.7 : Tavan çıtaları.	19
Şekil 2.8 : Lidar tarama açıları.	19
Şekil 2.9 : Araç üst tablasının üç boyutlu çizimi.	20
Şekil 2.10 : Lidar algılayıcı ve araç üzerine yapılan tabla.	21
Şekil 2.11 : Kaput kilidi üzerindeki mesnet civatası.	21
Şekil 2.12 : Lidar algılayıcı taşıyıcı sisteminin üç boyutlu çizimi.	22
Şekil 2.13 : Eğme bükme işlemi [14].	23
Şekil 2.14 : Mengene ile bükme işlemine tabi tutulan lama destekler.	23
Şekil 2.15 : Lidar platformu imalat aşamaları.	24
Şekil 2.16 : Lidar algılayıcı tablasının bitmiş hali.	24
Şekil 2.17 : DGPS sisteminin yapısı [16].	25
Şekil 2.18 : Trimble R6 RTK GPS araç üzerindeyken.	26
Şekil 2.19 : Araç algılayıcı konumları [17].	27
Şekil 2.20 : CROSSBOW marka IMU algılayıcı ve dik koordinat sistemi [18].	28
Şekil 2.21 : IMU algılayıcı yerleşimi.	28
Şekil 2.22 : Atalet ölçme algılayıcısı aparatı üç boyutlu çizimi.	29
Şekil 2.23 : IMU algılayıcı desteği imal edilmiş hali.	29
Şekil 2.24 : Araç içine konumlanacak tezgâhın üç boyutlu çizimi.	30
Şekil 2.25 : Araç arka koltuğundaki tezgâh.	31
Şekil 2.26 : Bagaja yerleştirilen tezgah ve güç sistemi.	31
Şekil 2.27 : Gerinim ölçer (strain gauge) [19].	32
Şekil 2.28 : KYOWA pedal algılayıcısı ölçüleri [20].	32
Şekil 2.29 : Pedal algılayıcısının sinyal işleyicisi.	33

Şekil 2.30 : Fren pedal kuvveti algılayıcısı ve sabitleme laması.	33
Şekil 2.31 : Horiba firmasının ADS-7000 test robotu [22].	34
Şekil 2.32 : SFP 2000RP otonom sürüş robotu [23].	35
Şekil 2.33 : Auckland üniversitesinin ürettiği robot sürücü [24].	36
Şekil 2.34 : Freud Hoffman firmasının otonom araç robotu [25].	37
Şekil 2.35 : AB Dynamics firmasının otonom araç robotları [27].	37
Şekil 2.36 : Doğrudan hidrolik eyleyicili otonom fren sistemi [30].	38
Şekil 2.37 : Fren pedalına hidrolik eyleyici ile müdahale edilmesi [30].	39
Şekil 2.38 : Vehico firmasının ürettiği fren pedal eyleyicisi [39].	40
Şekil 2.39 : Asya Teknoloji Enstitüsü otonom fren sistemi [34].	40
Şekil 2.40 : Kookmin üniversitesinde yapılan otonom fren sistemi [36].	41
Şekil 2.41 : Austin takımının hazırladığı otonom fren sistemi [38].	41
Şekil 2.42 : İlk fren sistemi üç boyutlu çizimi.	42
Şekil 2.43 : İkinci fren sistemi üç boyutlu çizimi.	43
Şekil 2.44 : Engelli araçları için tasarlanan sistem [41].	44
Şekil 2.45 : Üçüncü fren sisteminin üç boyutlu çizimi.	45
Şekil 2.46 : Dördüncü fren sisteminin üç boyutlu çizimi.	46
Şekil 2.47 : Otonom fren sistemi için kullanılan mesnetler.	46
Şekil 2.48 : Debriyaj pedalı mesnedi.	47
Şekil 2.49 : Fren sisteminin imalat aşamasındaki resimleri.	48
Şekil 2.50 : Otonom fren sistemi ve Smart motor.	49
Şekil 3.1 : SAE standartlarına göre araç eksen takımı [42].	52
Şekil 3.2 : SAE standartlarına göre tekerlek eksen takımı [42].	52
Şekil 3.3 : Tek izli araç modeli [44].	54
Şekil 3.4 : Tek izli araç modeli SIMULINK blokları.	60
Şekil 3.5 : Boyuna yönde araca etkiyen kuvvetler [45].	60
Şekil 3.6 : Yuvarlanma direncinin tanımlanması [46].	62
Şekil 3.7 : Motor test düzeneği [48].	64
Şekil 3.8 : OTAM test düzeneği tamburu.	65
Şekil 3.9 : OTAM motor test düzeneği rüzgâr türbini.	65
Şekil 3.10 : Araç motor haritası.	66
Şekil 3.11 : Fren sistemi şeması [31].	67
Şekil 3.12 : Fren test düzeneği [49].	68
Şekil 3.13 : Araç fren testinde iken.	68
Şekil 3.14 : Ana merkez silindir basıncı ile fren pedal kuvveti grafiği.	69
Şekil 3.15 : Otonom frenleme bloğu.	70
Şekil 3.16 : Ana merkez silindir basıncı ile motor voltaj grafiği.	70
Şekil 3.17 : Otonom fren sistemi manuel referans giriş ve cevabı.	71
Şekil 3.18 : Tanımlanmış Model Cevabı.	71
Şekil 4.1 : ACC ile donatılmış araç konvoyu [50].	74
Şekil 4.2 : CACC ile donatılmış araç konvoyu [50].	75
Şekil 4.3 : Ters motor tablosu.	78
Şekil 4.4 : Alt seviye gaz kontrolcüsü.	79
Şekil 4.5 : Alt seviye fren kontrolcüsü.	79
Şekil 4.6 : Konvoy halinde seyir [45].	80
Şekil 5.1 : SZA kontrolcü taşıt konumları.	86
Şekil 5.2 : SZA kontrolcü taşıt hızları.	86
Şekil 5.3 : SZA kontrolcü gerçekleşen mesafe ve istenilen mesafe.	87
Şekil 5.4 : SZA kontrolcü ivme referansı.	87
Şekil 5.5 : Konvansiyonel kontrolcü taşıt konumları.	88

Şekil 5.6 : Konvansiyonel kontrolcü taşıt hızları.....	89
Şekil 5.7 : Konvansiyonel kontrolcü gerçekleşen mesafe ve istenilen mesafe.....	89
Şekil 5.8 : Konvansiyonel kontrolcü ivme referansı.	90
Şekil 5.9 : LQR kontrolcü taşıt konumları.	91
Şekil 5.10 : LQR kontrolcü taşıt hızları.....	91
Şekil 5.11 : LQR kontrolcü gerçekleşen mesafe ve istenilen mesafe.....	92
Şekil 5.12 : LQR kontrolcü ivme referansı.....	92
Şekil 5.13 : SZA kontrolcüsü CACC konvoyu konum benzetim sonucu.	94
Şekil 5.14 : SZA kontrolcüsü CACC konvoyu hız benzetim sonucu.....	95
Şekil 5.15 : SZA kontrolcüsü ACC konvoyu konum benzetim sonucu.	96
Şekil 5.16 : SZA kontrolcüsü ACC konvoyu hız benzetim sonucu.	96
Şekil 5.17 : Konvansiyonel kontrolcü CACC konvoyu konum benzetim sonucu. ...	97
Şekil 5.18 : Konvansiyonel kontrolcü CACC konvoyu hız benzetim sonucu.....	97
Şekil 5.19 : Konvansiyonel kontrolcü ACC konvoyu konum benzetim sonucu.	98
Şekil 5.20 : Konvansiyonel kontrolcü ACC konvoyu hız benzetim sonucu.	99
Şekil 5.21 : LQR kontrolcü CACC konvoyu konum benzetim sonucu.....	99
Şekil 5.22 : LQR kontrolcü CACC konvoyu hız benzetim sonucu.	100
Şekil 5.23 : LQR kontrolcü ACC konvoyu konum benzetim sonucu.	100
Şekil 5.24 : LQR kontrolcü ACC konvoyu hız benzetim sonucu.....	101
Şekil 5.25 : 13.05.2011 tarihli, GCDC lider aracı ile alınan hız verisi.....	103
Şekil 5.26 : 13.05.2011 tarihli, GCDC lider aracı ile alınan mesafe farkı verisi....	103
Şekil 5.27 : 13.05.2011 tarihli, hazırlık konvoyundan alınan hız verisi.	104
Şekil 5.28 : 13.05.2011 tarihli, hazırlık konvoyundan alınan mesafe farkı verisi..	104
Şekil 5.29 : 14.05.2011 tarihli, birinci yarış etabından alınan hız verisi.	105
Şekil 5.30 : 14.05.2011 tarihli, birinci yarış etabından alınan mesafe farkı verisi. .	106
Şekil 5.31 : 14.05.2011 tarihli, ikinci yarış etabından alınan hız verisi.	107
Şekil 5.32 : 14.05.2011 tarihli, ikinci yarış etabından alınan mesafe farkı verisi. ..	107
Şekil 5.33 : Tuzla pisti hız grafiği.	108
Şekil A.1 : Üst seviye kontrolcü.	120
Şekil B.1 : CC algoritması.	121
Şekil C.1 : CACC algoritması.	122
Şekil Ç.1 : Alt seviye kontrolcü.	123
Şekil D.1 : Üst seviye kontrolcü.	124

SEMBOL LİSTESİ

A_f	: Hava direncine maruz kalan iz düşüm alanı
$\bar{a}$	: Şasi ivme vektörü
a_{i-1}, a_i	: Ön ve arka araç ivmeleri
a_x	: x doğrultularındaki araç ivmesi
a_y	: y doğrultularındaki araç ivmesi
A	: Sistem durum matrisi
B	: Sistem giriş matrisi
C_d	: Araç aerodinamik sürtünme katsayısı
C_{af}	: Ön tekerlek yanıl dönüşt sertliğı
C_{ar}	: Arka tekerlek yanıl dönüşt sertliğı
c	: Işıık hızı
$C.G$	: Araç ağırlık merkezi
d_{sabit}	: Sabit takip mesafesi
d_{takip}	: Arzu edilen takip mesafesi
d	: Nesnenin lidar'a olan uzaklığı
E_{OKH}	: Ortalama karesel hataya göre konvoy uzunluk hatası
E_{OMS}	: Ortalama mutlak sapmaya göre konvoy uzunluk hatası
F_{aero}	: Rüzgar kuvveti
$F_{eğim}$	: Eğim kuvveti
F_f	: Ön teker üzerindeki bileşke kuvvet
F_r	: Arka teker üzerindeki bileşke kuvvet
F_x	: Tekerlek boyuna kuvveti
F_{xf}	: Ön tekerlek boyuna kuvveti
F_{xr}	: Arka tekerlek boyuna kuvveti
F_y	: Tekerlek yanıl kuvveti
F_z	: Tekerlek dikey kuvveti
F_{zf}	: Ön tekerlek dikey kuvveti
F_{zr}	: Arka tekerlek dikey kuvveti
f	: Yuvarlanma direnci katsayısı
G_{fren}	: Fren sistemi transfer fonksiyonu
g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Araç ağırlık merkezinin yerden yüksekliğı
h_{aero}	: Rüzgar direnç kuvvetinin tesir noktasının yerden yüksekliğı
I_z	: Aracın Z eksenini etrafındaki atalet momenti
$\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$	: Birim vektörler
J	: Maliyet fonksiyonu
$K_{hız}$	: Hız hatası kazanç katsayısı
K_{ivme}	: İvme referansı kazancı
K_{konum}	: Konum hatası kazanç katsayısı
K_{lqr}	: LQR kontrol sinyali kazanç matrisi
L_w	: Olması gereken konvoy uzunluğu

l_f	: Araç ağırlık merkezinden ön aksa olan uzaklık
l_{i-1}	: Ön araç uzunluğu
l_r	: Araç ağırlık merkezinden arka aksa olan uzaklık
L	: Gerçekleşen konvoy uzunluğu
M_x	: Tekerlek kuvvetlerinin, X ekseninde etrafında oluşturduğu moment
M_y	: Tekerlek kuvvetlerinin, Y ekseninde etrafında oluşturduğu moment
M_z	: Tekerlek kuvvetlerinin, Z ekseninde etrafında oluşturduğu moment
m	: Aracın ağırlığı
N	: Konvoydaki araç sayısı
n	: Örnekleme sayısı
P	: Pozitif tanımlı Hermitian matrisi
R_{xf}	: Ön tekerlek yuvarlanma direnci kuvveti
R_{xr}	: Arka tekerlek yuvarlanma direnci kuvveti
R	: Referans sinyali önem matrisi
r	: Referans sinyali önem matris elemanı
Q	: Hata sinyali bağıl önem matrisi
$t_{\text{takip zamanı}}$	: Takip zaman katsayısı
t	: Lazer ışınının gidiş geliş süresi
u	: İvme referans sinyali
v_{i-1}, v_i	: Ön ve arka araç hızları
$\bar{V}$	: Şasi hız vektörü
V_f	: Ön teker hızı
V_r	: Arka teker hızı
$V_{\text{rüzgar}}$	: Rüzgârın aracın boyuna ekseninde yönündeki hızı
V_x	: Aracın boyuna eksenindeki hızı
w	: Bozucu etki
x_{i-1}, x_i	: Ön ve arka araç konumları
$x_0 - y_0 - z_0$	: Yere sabit eksen takımı
$X - Y - Z$	: Şasi eksen takımı
x	: Sistem durumları
α_f	: Ön tekerlek yana kayma açıları
α_r	: Arka tekerlek yana kayma açıları
α	: Tekerlek kayma açısı
β_f	: Ön hız vektörü ile şasi doğrultusundaki açı
β_r	: Arka hız vektörü ile şasi doğrultusundaki açı
β	: Şasi yana kayma açısı
γ	: Tekerlek düzlemi ile dikey eksen arasındaki açıdır
δ_f	: Ön tekerlek yönelim açısı
δ_r	: Arka tekerlek yönelim açısı
$\dot{\epsilon}_i$	: Araçlar arası hız farkı
ϵ_i	: Araçlar arası mesafe farkı
θ	: Motor gaz açıklığı
λ	: Araçlar arası mesafe hata kazanç katsayısı
μ	: Yol sürtünme katsayısı
ρ	: Hava yoğunluğu
τ_i	: Arzu edilen araçlar arası mesafeden sapma
$\dot{\Psi}$	: Savrulma açısal hızı
Ψ	: Savrulma açısı
∂_1, ∂_2	: Hata sinyali bağıl önem matris elemanları

$\emptyset$: Eğim açısı

GCDC 2011 YARI OTONOM KOOPERATİF ADAPTİF SÜRÜŞ YARIŞ ARACININ TASARIMI

ÖZET

Tezin amacı, kooperatif uyarlanabilir seyir kontrolü yapabilen aracın altyapısının oluşturulması, kontrolü için gerekli gaz ve fren sistemlerine müdahale edilmesi ile kontrol algoritmasının oluşturulması ve performansının önce benzetim çalışmalarında sonrasında ise araç üzerinde yapılacak testler ile geliştirilmesini kapsamaktadır.

Kooperatif uyarlanabilir seyir kontrolcüsü (CACC), kendisinden önce ortaya çıkan ve günümüzde taşıt pazarındaki araçlarda bulunabilen uyarlanabilir seyir kontrolü teknolojisinin gelişmiş halidir. Bu teknoloji ile araçlar üzerinde bulunan algılayıcılar ile uygulanan takip kontrol yöntemleri artık birbirleri ile iletişim halinde bulunan araçlar ve bu araçların birbirlerine modemler aracılığıyla gönderdikleri veriler vasıtasıyla yapılmaktadır.

Birinci bölümde, akıllı ulaşım teknolojilerinin gelişiminden bahsedilmiştir. GCDC yarışması tanıtılmış ve CACC teknolojisine katkılarından bahsedilmiştir. GCDC, yarışmasında gerçekleşen senaryolar anlatılmış ve araçların bu senaryoları gerçekleştirirken sağlamaları gereken teknik özelliklerden bahsedilmiştir. Literatür taraması da bu bölümde yer almaktadır.

İkinci bölümde, aracın altyapısının oluşturulması için gerekli donanımlar, algılayıcılar ve tezgâhlar tanıtılmıştır. Bazı donanımların tasarım ve imalat süreçlerinden bahsedilmiştir. Otonom fren sistemleri ve aracımız için tasarlanan otonom fren sistemleri ile imal edilen sisteme de gene bu bölümde değinilmiştir.

Üçüncü bölümde, benzetim çalışmaları için hazırlanan araç modellerine değinilmiştir. Bu modeller tek izli taşıt modeli ve boyuna araç modelidir. Motor ve fren sistemlerinin modellenmesi için yapılan testler ve modelleme aşamaları da anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, adaptif seyir kontrolcüsü ve kooperatif adaptif seyir kontrolü teknolojileri tanıtılmıştır. Alt seviye kontrolcülerin tasarımı açıklanmış ve CACC teknolojisi için kullanılan kontrol yöntemleri tanıtılmıştır.

Beşinci ve altıncı bölümde, CACC algoritmaları benzetim yapılarak denenmiştir. Bu benzetimlerden elde edilen sonuçlar ile araç üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Yarışta elde edilen sonuçlar sunulmuştur ve sonuçlar üzerinde yorumlar yapılmıştır.

DESIGN OF GCDC 2011 SEMI-AUTONOMOUS COOPERATIVE ADAPTIVE DRIVING RACING VEHICLE

SUMMARY

The aim of the thesis is, to set up an infrastructure of the vehicle equipped with cooperative adaptive cruise control, to create a control algorithm with interfering to required gas and braking system, which is necessary to control, and to develop its performance first with simulation later on with the tests performed on the vehicle.

Cooperative adaptive cruise control (CACC) is the advanced state of adaptive cruise control that is now available in all vehicles of today's market. Now with this technology, tracking control methods applied with sensors on vehicles, are performed via vehicles that are communicate with each other and data they sent to each other through modems.

In first chapter, development of intelligent transportation technology is discussed. GCDC competition is presented and contributions to CACC technology are described. Actual scenarios in GCDC competition are explicated as well as the required technical specifications of the vehicles while performing these scenarios. Literature review is also involved in this chapter.

In second chapter, required equipments, sensors and machines are presented in order to infrastructure of the vehicle. Design and manufacturing process of some of equipments are mentioned. Again, in this chapter, autonomous brake systems are addressed as well as the autonomous brake system which is designed and manufactured for our vehicle.

In third chapter, simulation studies prepared for vehicle models are referred. These models are one-track vehicle model and longitudinal vehicle model. Tests and modeling steps made for modeling engine and brake system is also explained.

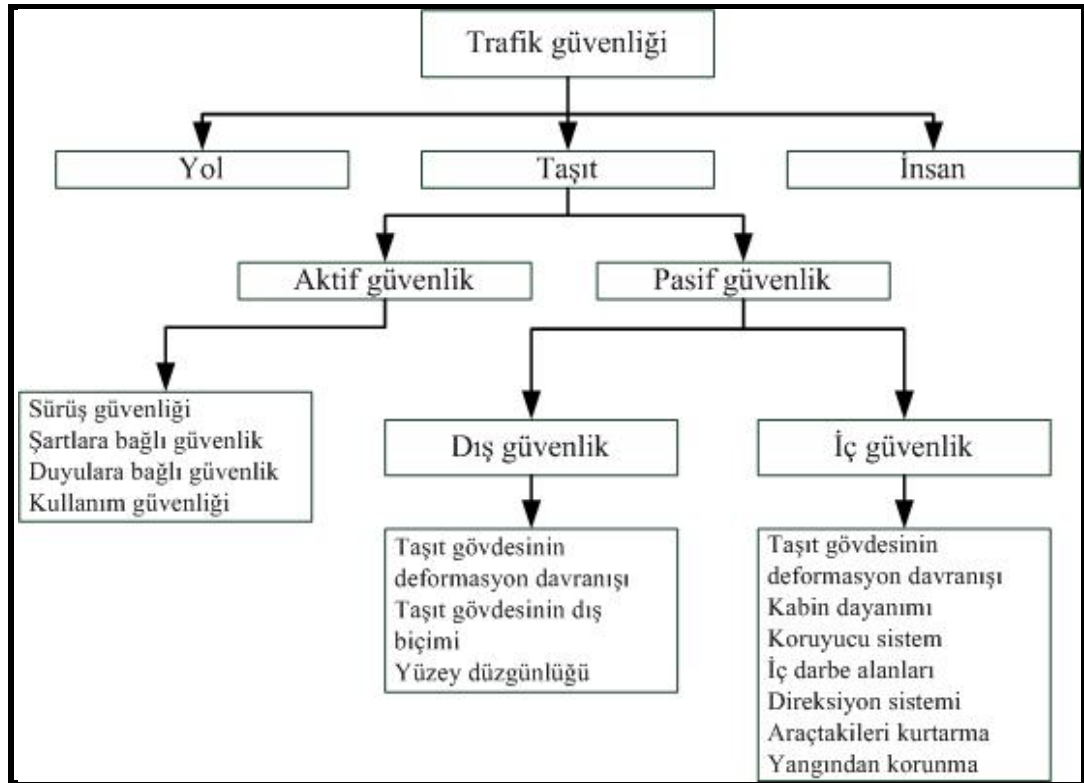
In fourth chapter, adaptive cruise control and cooperative adaptive cruise controller technologies are presented. Low-level controller's design is described and control methods that are used for CACC technologies are introduced.

In fifth and sixth chapters, CACC algorithms are tested by simulating. With the results of simulations, the tests are performed on vehicle. The results of the race are presented and comments made on the results.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

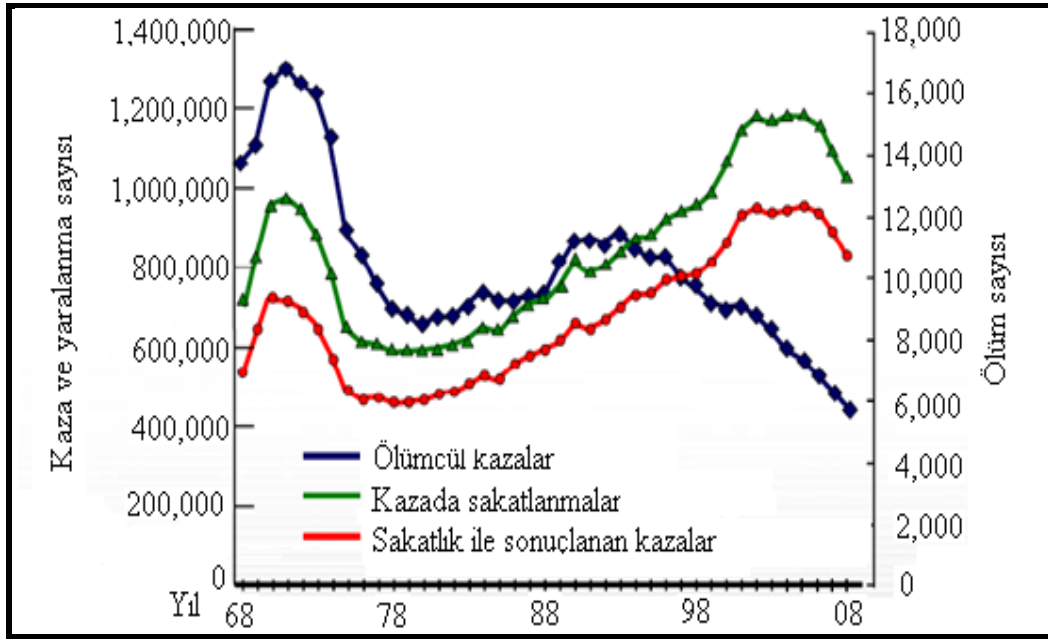
Taşıt güvenlik sistemlerinin önemi son yıllarda giderek artmakta olup, bu sistemler sayesinde kaza öncesinde kazanın oluşumunu engellemek ya da bu mümkün olamıyorsa kaza sonrası ölüm riskleri ve yaralanmaları en alt seviyelere indirmek amaçlanmaktadır. Bu yüzden taşıt güvenlik sistemleri aktif ve pasif güvenlik sistemleri olarak iki gruba ayrılmaktadır. Şekil 1.1’de aktif ve pasif güvenlik sistemlerinin içeriği görülebilmektedir.



Şekil 1.1 : Aktif ve pasif güvenlik sistemlerinin kapsamı [1].

Aktif güvenlik sistemleri taşıtın kontrol edilebilirliğini en üst düzeye çıkarmak suretiyle kaza oluşumu engellemeyi amaçlayan uygulamaları kapsamaktadır. Pasif güvenlik sistemleri ise kaza esnasında kazanın olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla araç üzerinde yapılan çeşitli yapısal uygulamaları kapsamaktadır. Tüm bu aktif ve pasif güvenlik sistemlerine rağmen sürüş denetiminin insan uygulayıcı

tarafından gerçekleştirilmesi nedeniyle kazaların oluşumundaki artış Şekil 1.2’den de görüleceği üzere kaçınılmazdır.



Şekil 1.2 : Kazalar ve sonuçlarının yıllara göre değişimi [2].

Taşıt güvenlik sistemlerinin kullanımının arttığı son yıllarda ölümle sonuçlanan kaza sayısında azalma olmasına rağmen kaza anında oluşan sakatlık ve kaza sonrası kalıcı sakatlık oluşum oranlarında artış görülmektedir buda taşıt güvenlik sistemlerinin kazaların oluşumunu insan kaynaklı etmenler nedeniyle tam olarak engelleyememesinden dolayı insan ve yol kaynaklı etmenlerinde trafik güvenliğinde denetim altına alınması gerekliliğini doğurmaktadır.

Taşıt güvenliğinin yanında trafik akış seyrinin iyileştirilmesi de önem arz eden konuların başında gelmektedir. Trafik seyir zamanının kısaltılması yakıt tasarrufu, çevre kirliliğinin azaltılması, trafik sıkışıklığının yarattığı stres faktörünün ortadan kaldırılması, trafikte harcanan zaman ve dolayısıyla maddi kayıpların ortadan kaldırılması anlamına gelmektedir [3].

Akıllı taşıt sistemlerinin başlangıcı sayılabilecek ilk teknoloji araç hızını istenen bir referans değere göre sabitleyebilen CC teknolojisidir (Bkz. Ek B) [4]. Bu teknolojiye araç hızı istenen değere göre kurulur ve araç bu hız değerini takip eder böylelikle araç sürücüsünün sürekli gaz pedalına basarak istediği hızı takip etmek için harcadığı çaba, aracın CC kontrolcüsüne devredilmiş olur. Hız sabitleyici yol üzerindeki taşıtları algılayamadığından, CC kontrollü aracın önüne çıkabilecek daha düşük

hızlarda seyir eden başka bir araç kaza riski yaratabilmektedir. Böyle bir duruma karşı sürücü dikkatli olmalı ve gaz veya fren pedallarına dokunmak sureti ile taşıtın denetimini üzerine almalıdır.

CC teknolojili taşıtlardan sonra ortaya çıkan bir diğer teknoloji ACC teknolojisi yani adaptif seyir kontrolü teknolojisidir. ACC teknolojisi, tıpkı CC sisteminde olduğu gibi önceden ayarlanan sabit bir hızı takip etmektedir. ACC sisteminin CC sisteminden farkı seyir esnasında genellikle aracın ön ızgarasının hemen arkasına yerleştirilmiş tarayıcılar vasıtasıyla ortamı tarayarak aracın önünde seyir eden diğer taşıtları algılayabilmesi ve buna karşılık uygun gaz ve belirli bir seviyeye kadar fren müdahalelerinde bulunabilmesidir [5, 6]. ACC teknolojinin kullandığı donanım nedeniyle, konvoy halinde seyir eden araçların kararlılığında, konvoydaki araç sayısı arttıkça azalma başlamaktadır.

İşte bu yüzden CACC teknolojisi ortaya çıkmıştır. Şekil 1.3'den görüleceği üzere CACC sayesinde taşıtlar birbirleri ile ve de yol üzerindeki altyapılarla iletişim kurarak yol bilgilerine, trafik bilgilerine, takip edilen araç ile ilgili bilgilere ve takip edilen araçtaki sürücünün yapmaya niyet ettiği hızlanma veya yavaşlama, şerit değiştirme vb. manevra bilgilerine de ulaşabilmektedir [3, 7]. Tüm bu bilgiler yoluyla konvoy halinde seyir eden araçların birbiri ile aralarındaki izleme mesafesi kısaltılabilmekte ve konvoy kararlılığı artırılabilir. Bunun sonucunda trafik sıkışıklığı önlenmekte ve yakıt tüketimi dolayısıyla salınım değerleri de düşürülebilmektedir. Bunun yanında araçlara etkiyen ve sürtünme dirençlerinin önemli bir bölümünü oluşturan rüzgâr direnci de azaltılmaktadır.

Bu şekilde ileri yardımcı sürüş sistemleri CC, ACC ile sağlanan faydalar ve kooperatif sürüş teknolojisinin birleşimi, sürücünün daha uygun sürüş kararları almasına ve böylelikle güvenli ve konforlu bir seyahat yapılmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 1.3 : CACC taşıtlar arası iletişim [8].

GCDC yarışması işte tüm bu teknolojilere uygulama alanı sunmakta ve bu teknolojilerin yarışarak gelişmesine olanak sağlamaktadır. GCDC yarışmasına katılmak için taşıtın CACC teknolojisi ile donatılması ve bu teknolojilerin performanslarının iyileştirilmesi çalışmanın genel hatlarını oluşturmaktadır.

1.2 GCDC Yarışması Nedir

GCDC yarışması CC ve ACC teknolojilerinin devamı niteliğindeki CACC teknolojisinin gelişiminin hızlandırılmasına ve dünyada bu sistemlerle uğraşan araştırmacıların birbirleri ile yarışarak teknolojilerini geliştirmelerine olanak tanıyan bir organizasyondur. GCDC organizasyonu ile araştırmacılar, diğer ekiplerin CACC teknolojisinde geldikleri noktaları görebilmekte ve birbirleri ile bilgi alışverişinde bulunabilmektedir.

GCDC yarışmasında, her takımın sağlamak zorunda olduğu belli başlı ön gereksinimler bulunmaktadır. Bu gereksinimleri sağlayan takımlar yarışmaya katılmaya hak kazanmakta ve belli başlı senaryoları gerçekleştirebilmektedirler. Bu senaryolar, akıllı taşıtların şehir trafiği ve otopan trafiğinde karşılaşılabilecek oldukları muhtemel senaryoları kapsamaktadır [9].

1.2.1 GCDC yarışmasına katılabilmek için ön gereksinimler

GCDC yarışmasına katılım için her takımın karşılamak zorunda olduğu gereksinimler sürücü, taşıt, algılayıcı, güvenlik, işlevsellik ve iletişim gereksinimleri olmak üzere beş temel grupta toplanır [9].

1.2.1.1 Sürücü gereksinimleri

GCDC yarışmasında sürücüler, herhangi bir olumsuz duruma karşı aracın kontrolünü üzerlerine almak zorunda olduklarından çeşitli koşulları sağlamalıdır. Sürücülerin sağlamak zorunda olduğu şartlar başlıca şunlardır:

- Geçerli bir ehliyete sahip olmalıdır.
- Geçerli bir pasaporta sahip olmalıdır.
- Fiziksel olarak zinde ve zihinsel olarak dikkati açık olmalıdır.
- İlaç ya da alkol etkisi altında olmamalıdır.
- Takımının yarış aracını iyi bir şekilde kontrol edebilmelidir ve sürüş kabiliyeti açısından tecrübeli olmalıdır.

- Organizasyon tarafından sağlanan güvenlik, yarışma kuralları ve talimatlardan haberi olmalıdır.
- Yarışma esnasında sürücü yardımcısı ile koordine çalışabilmelidir.
- Yarışmadan önce GCDC 2011 yarışması hakkında kendini çok iyi bilgilendirmiş olmalıdır.

1.2.1.2 Araç gereksinimleri

Öncelikli olarak, yarışmacıların araçlarının Hollanda trafik mevzuatına uygun olması gerekmektedir. Taşıt, boyuna yöndeki hareketini otonom bir şekilde gerçekleştirebilmelidir, yani taşıtın gaz, fren ve vites geçişleri, algılayıcılar, eyleyiciler ve iletişim sistemi vasıtasıyla tamamen otonom olmalıdır. Her taşıtın üzerinde yeşil ve kırmızı olmak üzere iki adet ışık bulunmalıdır. Bu ışıklardan yeşil olan otonom moda, kırmızı olan ise manüel moda karşılık gelmelidir. Bu ışıklar konvoy halinde yarışırken öndeki ve arkadaki araçlar tarafından kolaylıkla görülmelidir. Taşıtın üst, ön ve arka kısımlarına yapıştırılacak ve yüksekliği 30 cm'nin üzerinde olacak şekilde yerleştirilecek etiketler vasıtasıyla numaralandırılacaktır.



Şekil 1.4 : Araç donanım yerleşimi.

Taşıt kontrolcüsü gaz ve fren sistemine müdahalede bulunacaktır ve kontrolcü devrede iken aracın Şekil 1.4’de görülen yeşil ışığının yanması gerekmektedir. Direksiyon sisteminin denetimi her zaman sürücüde kalmalıdır. Ne zaman ki sürücü gaz veya fren pedalına basarsa araç manüel moda geçebilmeli ve aracın yeşil ışığı sönüp kırmızı ışığı devreye girmelidir.

Araç kontrolcüsü, taşıtı en çok 2 metre/s², en azından da 1,5 metre/s² ivme ile hızlandırabilmelidir. Yavaşlamada ise en çok -4,5 metre/s², en azından ise -4 metre/s² ivme ile yavaşlayabilmelidir. Otonom frenleme gerçekleştiğinde ise araçlarda bulunan standart kırmızı fren lambası yanabilmelidir. Taşıt frenleme testlerinde ise binek araçlar, manüel seyir hali devrede iken 40 km/saat hızda 11,9 metrede yani 5,2 metre/s² ivme ile durabilmelidirler. Ticari araçlar ise 40 km/saat hızda 13,8 metrede yani 4,5 metre/s² ivme ile durabilmelidirler.

Şekil 1.4’de görülen acil durum butonu kolaylıkla ulaşılabilir bir konuma yerleştirilmeli ve butona basıldığı zaman kontrolcü devreden çıkmalı, kırmızı ışık yanmalı ve araç manüel moda geçip sürücü tarafından kontrol edilebilmelidir. Böylelikle acil durumlarda sürücü, araca gerekli müdahaleleri yapabilmelidir.

CACC teknolojisi ile taşıtlar arası güvenli takip mesafesi araç hızı ile takip zamanının çarpımı ile belirlenir. Bu mesafeye güvenlik açısından sabit izleme mesafesi de eklenir. Burada, sabit boşluk mesafesi yarışma için en az 10 metre, hıza bağlı olarak araçlar arasındaki mesafeyi belirleyen izleme zamanı katsayısı ise en az 0,6 olmalıdır.

1.2.1.3 Algılayıcı gereksinimleri

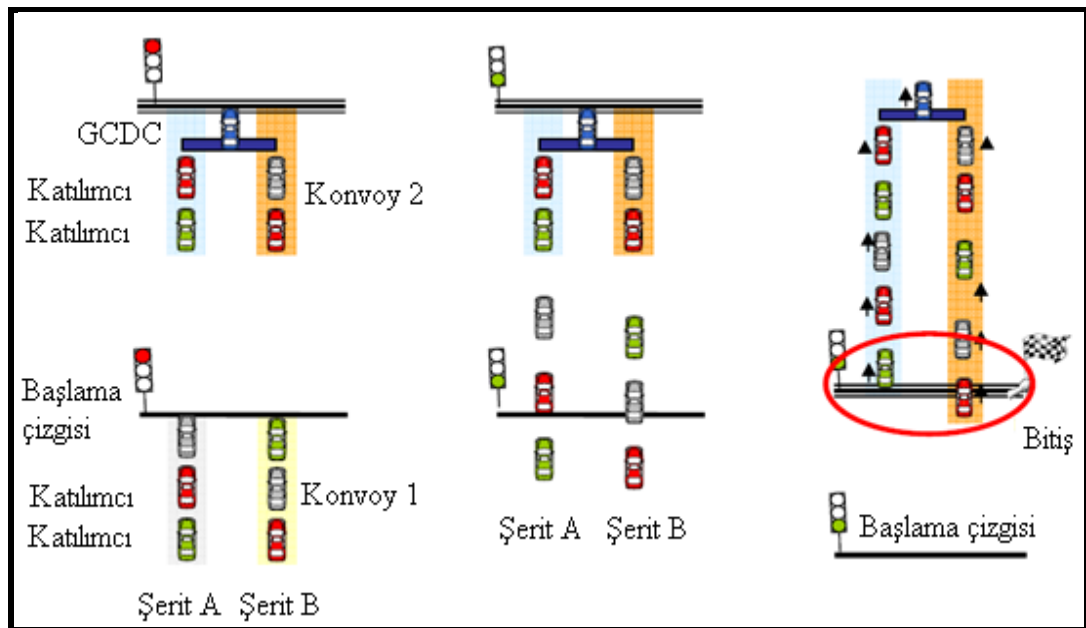
Yarış kuralları gereği kullanılan algılayıcılar (GPS, LIDAR, IMU vb.) belirli karakteristik özellikleri sağlayabilir olmalılardır ki o koşullar şunlardır:

- Hız doğruluğu 0,5 metre/s’nin altında olmalıdır.
- İvme doğruluğu 0,1 metre/s² nin altında olmalıdır.
- Yineleme hızı 10 Hz olmalıdır.
- Pozisyon doğruluğu günün saati, uydunun konumu, havanın durumu ve çevrenin etkileri değişebilmekle beraber $2DRMS \leq 1$ metre altında olmalıdır.
- İletişim sistemi 200 metre mesafe içerisinde iletişim yapabilir olmalıdır.

1.2.1.4 GCDC yarışma senaryoları

Yarışma senaryoları, CACC teknolojisinin trafikte karşılaşılabileceği bazı durumlar dikkate alınarak düzenlenmiştir. Örneğin taşıtların konvoy halinde ilerleyebilmesi, bu konvoylara katılma ve konvoydan ayrılma senaryoları, trafik ışıklarında durma ve kalkma gibi durumları içermektedir. CACC teknolojisi taşıtların birbirlerini konvoy halinde takip ederken ortaya çıkan ve kırbaç etkisi olarak adlandırılan etkiyi de ortadan kaldırmaktadır. Kırbaç etkisinde konvoyun en önündeki araç frene veya gaza bastığında arkasından gelen araçların bunu belirli gecikmelerle izlemesi sonucu oluşan bir etkidir. Örneğin, en öndeki araç frene bastığı anda bu etki belli gecikmelerle bir dalga gibi diğer araçlarında fren yapmasını gerektirir ve bu gecikmeler nedeniyle konvoyun arkasındaki araçlar daha keskin frenleme yapmaya zorlanırlar.

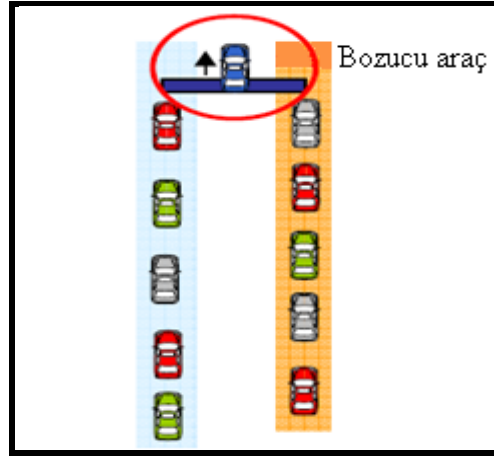
GCDC yarışmasında, insan operatör nedeniyle ortaya çıkan bu gecikmeleri ortadan kaldırarak, günümüzde ACC teknolojisinin kullandığı takip zamanı değerlerini 1 ile 3 değerlerinden 0,6'ya çekmek hedeflenmektedir. Böylelikle araçlar daha kısa izleme mesafeleri ile takip yaparken, taşıtlar aynı uzunluktaki trafik hattında daha fazla araç ile yol alabileceklerdir. Bu da trafik sıkışıklığını azaltacaktır. İşte bu noktada GCDC yarışmasında iki ana senaryo bulunmaktadır. Bunlar şehir içi ve otoban senaryolarıdır. Yarış öncelikle Şekil 1.5 de görüldüğü gibi şehir içi senaryo ile başlayacaktır.



Şekil 1.5 : Şehir içi senaryosunun tüm aşamaları [9].

Yarışmaya başlamadan önce her takım rastgele iki ayrı gruba ayrılır. Birinci grup şerit A'ya iki ayrı konvoy halinde dizilir. İkinci grupta şerit B'ye iki ayrı konvoy olarak dizilir. İki adet trafik ışığından konvoy 1'in trafik ışığı kırmızıdan yeşile dönünce yarış başlar. Konvoy 2, kırmızı ışıktaki konvoy 1'in onlara yaklaşmasını beklemektedir. Burada hedef, yeşil ışık yandığı anda konvoy 1'in kararlı bir şekilde kalkış yapması ve konvoyu bozmadan konvoy 2'ye yaklaşıp ona bağlanmasıdır. Şekil 1.5'deki bitiş çizgisini son arabanın geçmesi ile şehir içi bölümü biter ve otoban bölümü başlar.

Otoban bölümü konvoyların birleşmesi ile başlamaktadır. Tek bir konvoy haline gelen iki grup kırmızı ışığın yeşile dönmesi ile kararlı bir şekilde aralarında boşluk bırakmadan ve kırbaç etkisi göstermeden aynı anda harekete başlamalıdır.



Şekil 1.6 : Otoban bölümü [9].

Şekil 1.6 da en önde görülen GCDC yarışmasının lider aracının hız limiti 80 km/saat olacak ve konvoydaki diğer araçlara hızlanma ve yavaşlama ivmeleri ile trafikte karşılaşılan bozucu etkileri uygulayacaktır. Burada iki ayrı konvoydaki takımların kararlı bir şekilde birbirlerini takip etmeleri gerekmektedir.



Şekil 1.7 : Yarışmanın yapılacağı yol güzergâhı ve lider araç [9].

Hangi konvoy daha yakın izleme mesafesi ile yani daha küçük izleme zamanı ile yarışmayı bitirirse o konvoyun takımları o etap için tüm puanları alacaktır. Şekil 1.7’de yarışmanın etaplarının geçeceği A270 otobanı ve organizasyon tarafından hazırlanan ve konvoyda bozucu görevini üstlenecek olan lider araç görülmektedir.

1.3 Yarışmacı Takımlar ve Yarışmadan Bazı Fotoğraflar

GCDC yarışması için başta Türkiye olmak üzere Almanya, İsveç, Hollanda, Letonya ve İspanyadan yarışmacılar katılmıştır. GCDC yarışması sonucu oluşan sıralama Çizelge 1.1’deki gibidir. Yarışma esnasında haberleşme sorunlarından dolayı etapların hepsine katılamamaktan MEKAR takımının konvoy skorunda 7., ancak asıl performans değerlendirmesi olan hız profili takibinde 5. olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.1 : Skor tablosu.

Sıralama	Hız Takip Skoru	Konvoy Skoru	Toplam Skor
1	AnnieWAY (Almanya)	AnnieWAY (Almanya)	AnnieWAY (Almanya)
2	Halmstad (İsveç)	Halmstad (İsveç)	Halmstad (İsveç)
3	Chalmers (İsveç)	Chalmers (İsveç)	Chalmers (İsveç)
4	Scoop (İsveç)	Scoop (İsveç)	Scoop (İsveç)
5	MEKAR (Türkiye)	Autopia (İspanya)	Autopia (İspanya)
6	A-Team (Hollanda)	A-Team (Hollanda)	A-Team (Hollanda)
7	Autopia (İspanya)	MEKAR (Türkiye)	MEKAR (Türkiye)
8	Futurum (Hollanda)	Futurum (Hollanda)	Futurum (Hollanda)
9	Latvia (Letonya)	Latvia (Letonya)	Latvia (Letonya)

GCDC yarışmasında diğer takımlara nazaran maddi destek yetersizliğinin yanı sıra aracında ACC kontrolcüsünün olmaması ve araç üzerinde imalat işlemlerinde bulunulamaması gibi handikaplarına rağmen yarışmaya katılıp Türkiye’yi temsil edebilen MEKAR takımını yazar dışında, Prof. Dr. Levent GÜVENÇ, Doç. Dr. Bilin AKSUN GÜVENÇ, Yrd. Doç. Dr. Ahu Ece HARTAVİ KARCI, Yrd. Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ, Eray BOZKURT, İlker ALTAY, İsmail Meriç Can UYGAN, Kerim KAHRAMAN, Murat Can TURAN, Mutlu ŞENTÜRK, Mümin Tolga EMİRLER ve Ömer Şahin TAŞ oluşturmaktadır.

Ohio State üniversitesinden Prof. Dr. Ümit ÖZGÜNER, Dr. Keith REDMILL, Scott BIDDLESTONE MEKAR takımına belirli noktalarda öneriler sunan öğretim üyeleridir. TOFAŞ firmasından takıma araç desteğini araştırma-geliştirme mühendisi olarak görev yapmakta olan sayın Barış EFENDİOĞLU sağlamıştır.



Şekil 1.8 : TÜRK takımı MEKAR'ın otonom aracı.



Şekil 1.9 : Annieway, Hamstald, Chalmers, Scoop takımları.



Şekil 1.10 : Autopia, A-team, Futurum, Latvia takımları.

Şekil 1.11’de takımlar konvoy halinde otonom şekilde yarışırken görülmektedir.



Şekil 1.11 : GCDC yarışma etabında CACC araç konvoyu.

Araç testleri İstanbul Teknik Üniversitesi maslak kampusu içerisinde bulunan OTAM laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 1.8’de Türk takımı olarak MEKAR’ın yarış esnasında kullandığı kooperatif adaptif seyir kontrollü yarı otonom aracı görülmektedir. Yarışma sonuçlarına göre sırasıyla Şekil 1.9’da ve Şekil 1.10’da birinci, ikinci, üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı, sekizinci ve dokuzuncu olan takımların araçlarının resimleri görülmektedir.

1.4 Kapsam

Öncelikle taşıtın üzerine yerleştirilmesi gereken donanımlar için gerekli bağlantı düzeneği, aparat, tezgâh, tutucu gibi mekanik parçaların tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Araçta kullanılan algılayıcılar hakkında bilgi verilmiş daha sonrasında ise taşıtın dinamik modelinin parametreleri belirlenip otonom hızlanma ve yavaşlama için gerekli kontrolcü tasarlanmıştır.

Birinci bölümde çalışmanın amacı, GCDC yarışması hakkında bilgiler ve literatürde yapılan çalışmalar hakkında bilgiler bulunmaktadır. Yarışma ve araçların tanıtımı yapılmıştır.

İkinci bölümde taşıt üzerinde bulunan ve aracın kooperatif sürüşü esnasında yol üzerindeki araçlarla iletişim kurabilmesi, onları algılayabilmesi için gerekli donanımların özellikleri anlatılmıştır. Bu algılayıcılardan alınan bilgilerin işlendiği donanımlar ve bu donanımlarda işlenen bilgiye göre aracın uygun tepkileri verebilmesini sağlayan eyleyicilerin özellikleri açıklanmıştır. Algılayıcıların, yerleşimleri ve sabitleme aparatlarının tasarlanması ve imalatı hakkında bilgiler verilmiştir. Bazı algılayıcıların aparatları için birden fazla yöntem olması nedeniyle uygun olanın tasarlanması ve diğer yöntemler ile karşılaştırması da yapılmıştır. Taşıt fren sistemine müdahalede bulunmak için gerekli olan sistemin tasarım, imalatı ve fren sistemine müdahale için gerekli eyleyicinin seçimi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde araç CACC kontrolcüsünün sanal ortamda geliştirilebilmesi için gereken benzetim modeli oluşturulmuştur. Araç modeli olarak tek izli model ve boyuna modeller anlatılmıştır. Motor ve fren sisteminin modelleme aşamaları açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde CACC algoritması ele alınmıştır ve bu algoritma ile beraber çalışan alt seviye gaz ve fren sistemi kontrolcülerini tasarlanmıştır. Beşinci bölümde,

benzetim, yarış ve testlerden elde edilen sonuçlar derlenip, yorumlanmıştır. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları anlatılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

2. ARAÇ DONANIMLARI VE YERLEŞİMLERİ

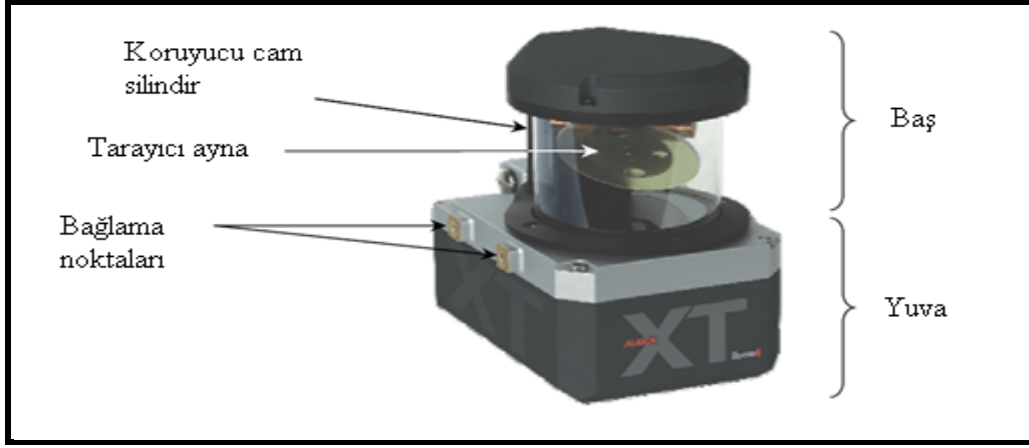
Kooperatif sürüş sistemlerinde taşıtlar seyir esnasında çeşitli bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Bunlar taşıtın kendi konumu, hızı, ivmesi ve yol durumu ile yol üzerindeki taşıtlardan alınan bilgilerdir. Bu bilgilerden bazıları çeşitli algılayıcılar vasıtasıyla taşıt tarafından elde edilebileceği gibi iletişim sistemleri yolu ile de yol üzerindeki araçlar bu bilgileri diğer araçlara yayınlatabilmektedirler. Taşıttan taşıta iletişim, kablosuz modemler vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir (Bkz. Ek A). Tüm bu bilgiler taşıtın kontrolcüsü tarafından değerlendirilip uygun hızlanma veya yavaşlama manevraları yapılmaktadır. Hızlanmak için gerekli işlem taşıtta bulunan elektronik gaz pedalı sayesinde kontrolcünün çıkışından alınan analog bir sinyal ile basitçe gerçekleştirilebiliyorsa da fren müdahalesi için bir eyleyiciye gereksinim duyulmaktadır. Aracın üzerine yerleştirilen sistemlerin ihtiyaç duyduğu gücü sağlayacak enerji kaynakları da araç üzerine donatılmalı ve uygun bağlantıları yapılmalıdır. Tüm bu sistemlerin kurulumu yapılırken, araç sağlayıcısı TOFAŞ firmasının taşıt üzerinde herhangi bir imalat işlemi yapılmaması isteği göz önünde bulundurularak taşıtın hiçbir noktası delinmemiş veya herhangi bir imalat işleminden geçirilmemiştir.

2.1 Algılayıcılar ve Yerleşimi

Araçta kullanılan algılayıcılar ortam tarayıcısı Lidar, atalet ölçme algılayıcısı IMU, küresel konumlandırma sistemi GPS ve pedal kuvvet algılayıcılarıdır.

2.1.1 Lidar ve araç üzerindeki yerleşimi

Yardımcı sürüş sistemlerinde ortamda bulunan nesnelerin tanımlanması önemli bir gereksinimdir. Bu nesneler duran ya da hareket halinde bulunan taşıtlar, yayalar, hayvanlar veya çeşitli engeller olabilirler. Ortam taramasında kullanılan birçok algılayıcı arasında Lidar, yüksek hassasiyeti, üstün çözünürlüğü ve yağmur, kar gibi olumsuz hava şartlarında dahi kullanılabilirliği ile diğer ortam tarayıcı algılayıcılara nazaran öne çıkmaktadır [10, 11].

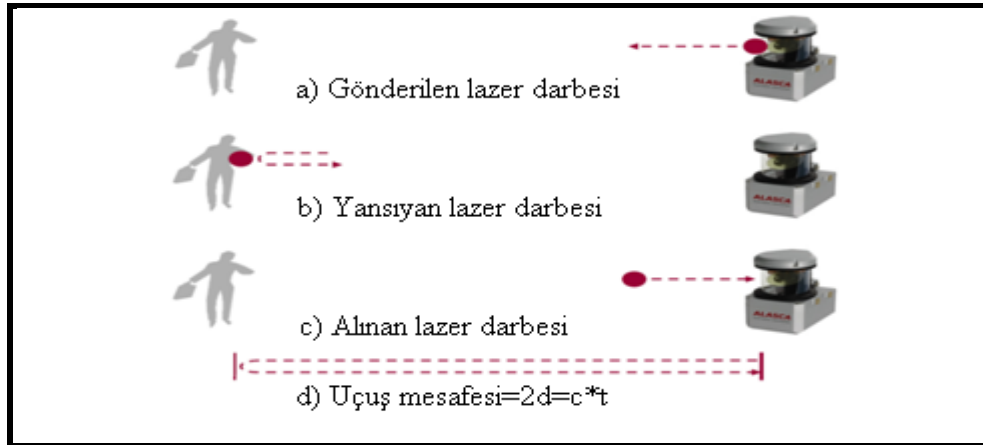


Şekil 2.1 : Alaska lidar bileşenleri [12].

Şekil 2.1’de IBEO firmasının Alaska model lidar algılayıcısı görülmektedir. Lazer algılayıcıların çalışma prensibi, gönderilen ışık süzmesinin uçuş zamanının hesaplanması yöntemine dayanır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi anlık olarak gönderilen lazer ışık darbeleri tarama bölgesindeki nesnelerden yansıtılarak geri dönerler. Bu gidiş-geliş zamanı hesaplanarak cismin uzaklığı kolaylıkla bulunabilmektedir [12].

$$d = \frac{c * t}{2} \quad (2.1)$$

Bu formülde d nesnenin lidar’a olan uzaklığı, c ışık hızı ve t lazer ışınının gidiş geliş süresidir.

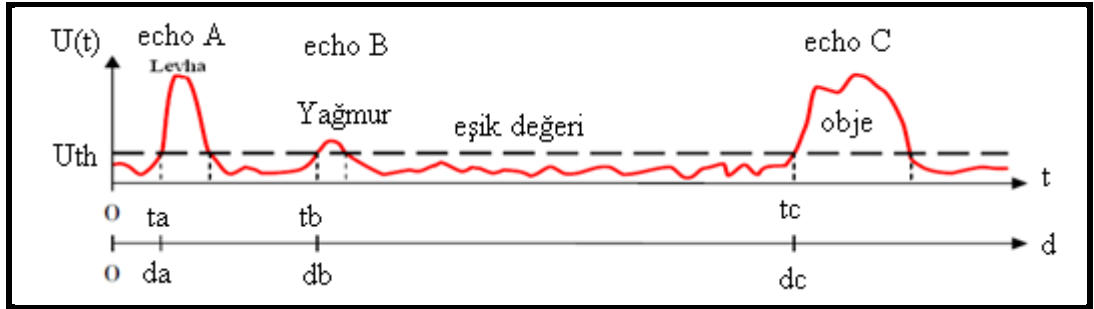


Şekil 2.2 : Uçuş zamanı ölçümü [12].

Lidar üzerinde bulunan dönel ayna vasıtasıyla aynadan yansıtılan lazer ışınları çevreyi, lidar’ın özeliğine bağlı olarak çeşitli açılarda tarama imkânına sahiptirler. Bu açılar, aynayı döndüren motorun üzerinde bulunan enkoder yardımıyla okunarak, ışınların hangi açılarda gönderildiği bilinir. Bu açı ve süre bilgisinin yardımıyla çevre

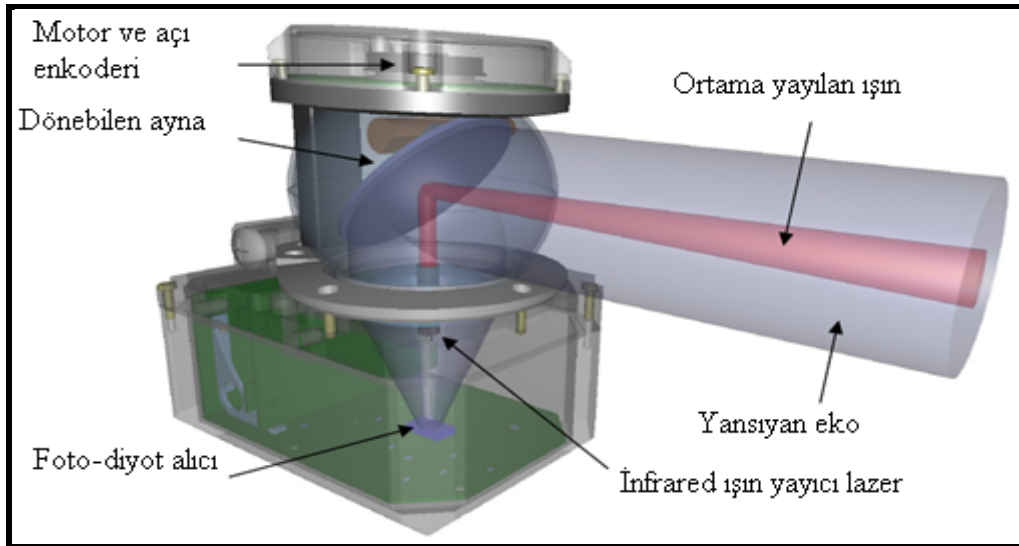
ortamda bulunan cisimlerin uzaklığı ile birlikte Lidar'a olan konumları da hesaplanabilmektedir.

Lidar üzerinde bulunan ve Şekil 2.4'de görülebilen foto-diyot algılayıcılar vasıtasıyla gelen ışınlar algılanıp belli bir voltaj seviyesine dönüştürülürler. Bu voltaj seviyesi önceden belirlenen ve Şekil 2.3'de görülen eşik değerini aştığında bu noktada bir cismin varlığı anlaşılmaktadır. Bu eşik değerinin kullanımı ile gürültü kaynaklarının yarattığı voltaj dalgalanmalarından dolayı hatalı nesnelerin algılanmasının da önüne geçilmiş olmaktadır.



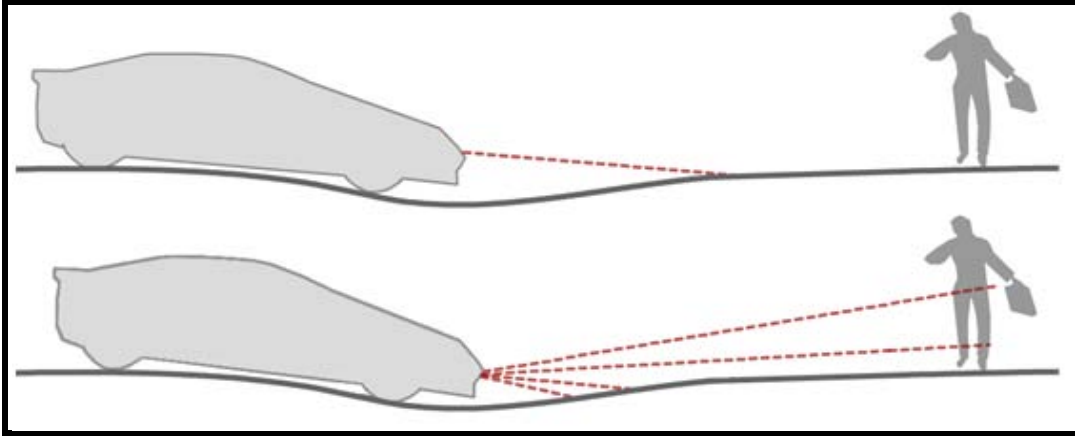
Şekil 2.3 : Foto-diyot alıcının arzu edilen eşik sinyal değeri [12].

IBEO firmasının Alaska model lazer tarayıcısı dört katmanda taramayı destekleyecek şekilde üretilmektedir. Dört adet katman, yol şartlarının uygun olmadığı durumlarda tarayıcının hatalı ölçüm yapmasının önüne geçmektedir.



Şekil 2.4 : IBEO-ALASCA lidar iç aksamı [12].

Şekil 2.5'den de görüleceği üzere yol durumundan dolayı tek katmanda tarama yapan lazer algılayıcılar yol eğimine göre hatalı bilgiler verebilirken çok katmanlı tarayıcılar bu gibi durumlarda daha üstün performans sağlamaktadırlar.



Şekil 2.5 : Çok katmanlı lazer tarayıcıların yol durumlarına göre üstünlükleri [12].

Lidar araç üzerinde çeşitli noktalara yerleştirilebilmektedirler. Örneğin Şekil 2.6 da Stanford takımına ait iki farklı araç görülmektedir. Burada sağ resimdeki aracın ön tamponun sağ, orta ve sol tarafında ızgara ve tampon arkasına gizlenmiş üç adet lazer tarayıcı bulunmaktadır. Sol resimde görülen diğer araçta ise aracın tavanına çeşitli açılarda yerleştirilmiş lazer tarayıcılar görülmektedir.



Şekil 2.6 : Stanford takımının araçları üzerindeki lidar algılayıcıları [13].

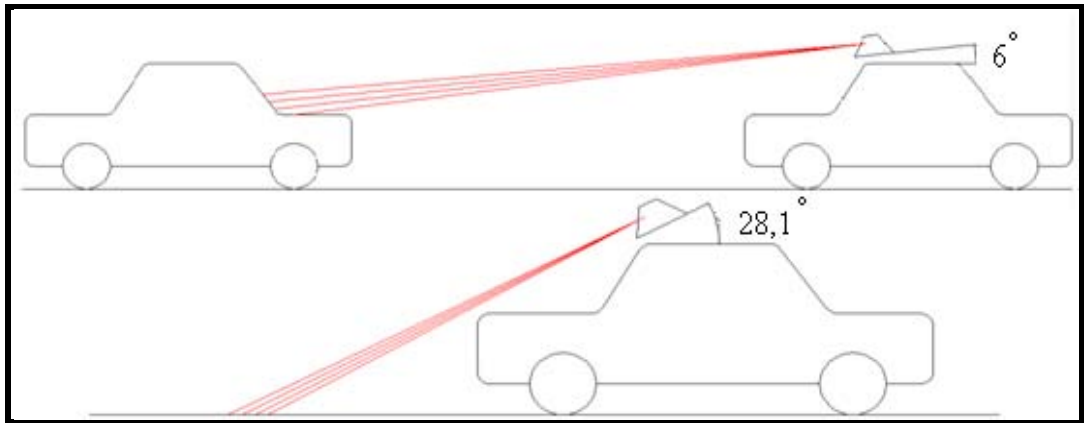
GCDC yarışmasında lider tarayıcısına gerek duyulmamaktadır çünkü her takım kendi ivme, konum ve hız bilgisini kablosuz modemler üzerinden yayınlamaktadır. Buna rağmen güvenlik açısından iletişim sorunları yaşandığı durumlarda lider kullanılması gerekebilmektedir.

Lidar tarayıcısının araç üzerine yerleşimi için ilk olarak aracın tavan bölümü uygun görülmüştür. Araca müdahalede bulunulamadığı için tavana yapılacak bir tabla vasıtası ile lidar algılayıcı araç tavanına konumlandırılabilir. Kolay monte edilebilirlik ve dayanıklı yapısı ile alüminyum sigma profiller bu iş için en uygun malzeme olarak seçilmiştir. Alüminyum profiller, araç için isteğe bağlı olarak üretilen ve Şekil 2.7’de görülen tavan çıtalrı sayesinde araca monte edilecektir.



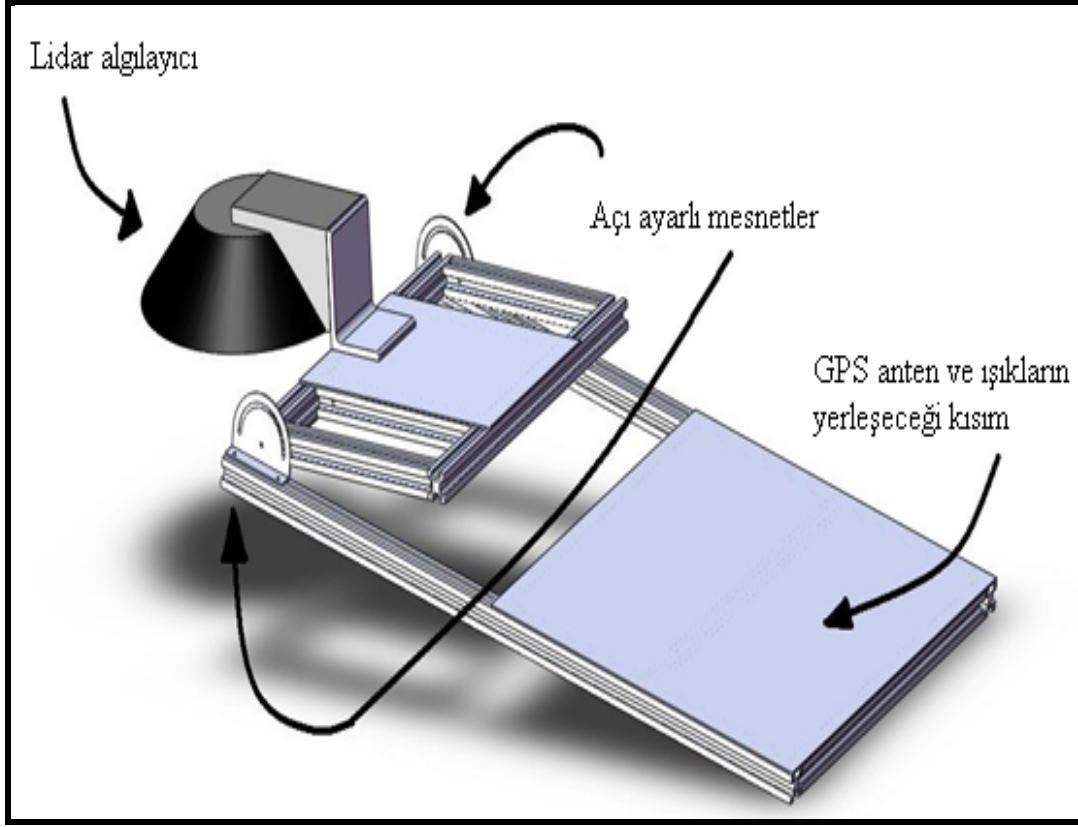
Şekil 2.7 : Tavan çıtaları.

Tavan çıtaları üzerine gelecek tablanın ön kısmına lidar algılayıcı gelecektir. Bunun nedeni lidar'ın, aracın ön kısmını taraması gerekliliğidir. Aracın önü taranırken, lidarın tavan bölümünde bulunması nedeniyle lidarı sabitleyecek sistemin istenilen açılarda ayarlanabilmesi gerekmektedir. Alüminyum sigma profillerin yardımcı aparatlarından açılı ayar aparatı kullanılarak lidarın uygun açılarda sabitlenebilmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 2.8 : Lidar tarama açıları.

Şekil 2.8'deki gibi Lidar'a istenilen görüş açısını verebilmek için gerekli sistemin öncelikle SOLIDWORKS programı üzerinde tasarımı yapılmalıdır. Sistemi, bilgisayar ortamında oluşturup gerekli ölçü ve tasarım en uygunluğu gerçekleştirilmelidir. Üst tablanın, tasarım gereksinimlerini sağlayacak şekilde katı modeli oluşturulmuştur.



Şekil 2.9 : Araç üst tablasının üç boyutlu çizimi.

Şekil 2.9’da görüleceği gibi sistemin ön kısmı iki adet açı ayar aparatı sayesinde açısal serbestlik kazanmış olarak tasarlanmıştır. Sistemin arka bölümü ise sabit olup burası aracın yeşil ve kırmızı ışıklarının, RTK GPS ve DGPS algılayıcılarının ve modemnin konumlandırılacağı bölümdür.

Lidar araç üzerinde kullanılırken Şekil 2.8’den de görüleceği üzere ayarlanmak istenen açı değerine göre ya aracın burun kısmı taranabilirken daha ötesini taranamamakta ya da burundan öte olan bölge taranabilirken burun bölgesinde kör bölge yani taranamayan bölgeler kalmaktadır. Lidar araç üzerinde iken yapılan testlerde ise lidarın araç önünde algıladığı araçlara verdiği ID numaralarının, aynı araç için sürekli değiştiği gözlenmiştir. Tüm bu nedenlerden ötürü lidarı aracın ön kısmına alıp tarama açısını aracın boyuna eksenine paralel gelecek şekilde monte ederek hem kör noktalar ortadan kaldırılmış ve lidarın tüm tarama menzili kullanılabilinmiş hem de lidarın ID tanımlama problemi ortadan kaldırılacak şekilde algılayıcının yerleşimi sağlanabilinmiştir.

Şekil 2.10’da görüldüğü üzere aracımızın üst tabla sistemi imal edilip, montajı gerçekleştirilmiştir. Lidar aracın üst tablasında görülmektedir. Lidar sinyal kablosu aracın camından geçirilerek lidarın sinyal işleme ünitesine gönderilmektedir.



Şekil 2.10 : Lidar algılayıcı ve araç üzerine yapılan tabla.

Lidar tarayıcı aracın ön ızgarasına monte ederken karşılaşılan en önemli sorun araç sağlayıcısı olan TOFAŞ firmasının araç üzerinde herhangi bir imalat işlemine izin vermemesiydi. Bu nedenle araç üzerinde hali hazırda bulunan mesnetler kullanılmak suretiyle yeni bir lidar destek tablası tasarlanmıştır.

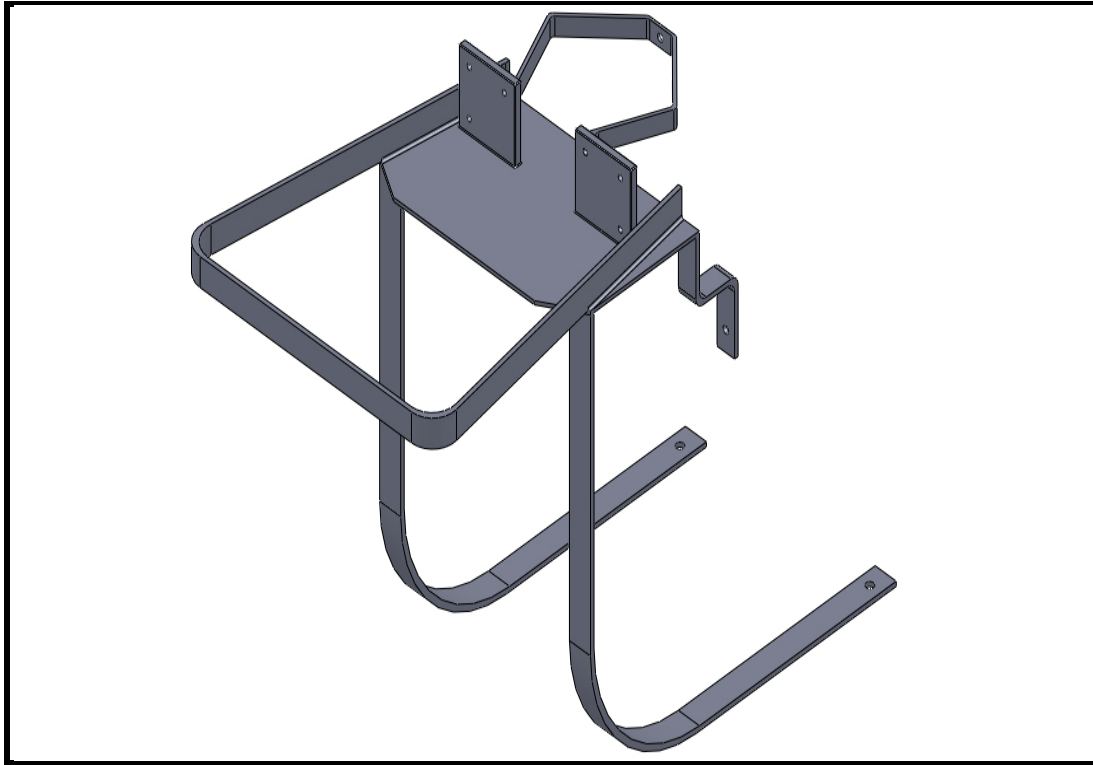


Şekil 2.11 : Kaput kilidi üzerindeki mesnet cıvatası.

Yeni tablanın, aracın ön ızgarasının bulunduğu bölgeye yerleştirilmesi planlanmıştır. Bunun için aracın üzerinde bulunan çeşitli mesnet noktaları incelenmiştir. İlk olarak

göze çarpan mesnet, Şekil 2.11’de görülen kaput kilidi üzerinde bulunan civatadır. Sistemi ikinci bir noktadan daha sabitlemek gerektiğinden aracın tamponun hemen altında bulunan saç parçadan yararlanmak düşünülmüştür. Bu saç parçanın üzerinde hali hazırda bulunan deliklerin kullanılması uygun olacaktır. Son olarak ön ızgaranın hemen arkasında bulunan soğutucunun sabitlendiği iki adet civatadan da mesnet alınarak sistem sabitlenecektir.

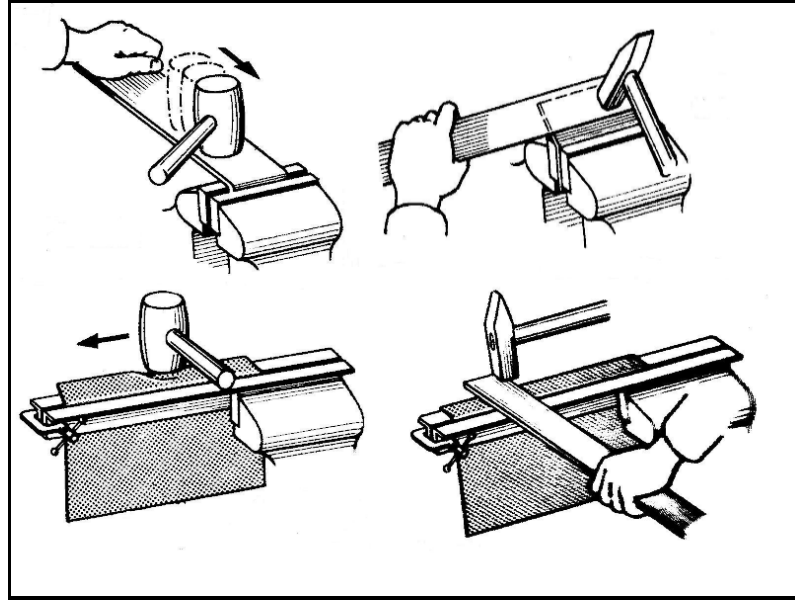
Lidarı ön ızgaraya monte etmek için tasarlanan sistemin katı model çizimi Şekil 2.12’de görülmektedir.



Şekil 2.12 : Lidar algılayıcı taşıyıcı sisteminin üç boyutlu çizimi.

Sistem, ilk örnek üretim olacağından imalatı için gerekli yöntemi eğme-bükme olarak tercih etmenin daha uygun olacağı kararlaştırılmıştır. Makine parçalarının eğme kuvvetleri tesiri ile bükülerek şekil değiştirilmelerine, bükme imalat yöntemi denir [14]. İlk örnek olarak üretilecek sistem için alınan ölçü ne kadar hassas da olsa sistemin son ebatları imalat aşamasında aracın üzerinde denenerek verilmelidir. Bu yüzden eğme bükme imalat yöntemi bu iş için en uygun bir yöntem olacaktır.

Şekil 2.13’den görüleceği üzere eğme-bükme işleminde mengene ile sabitlenen parçalar çekiç ya da malzemenin mukavemeti ve geometrisinin el verdiği ölçüde kol kuvveti ile bükülmektedirler.



Şekil 2.13 : Eğme bükme işlemi [14].

Eğer ki çekiç ya da kol kuvveti ile bükülemeyecek parçalar olursa o zaman malzemenin büküm bölgesinin oksijen kaynağı ile ısıtılıp yumuşatılması ile gerekli büküm işlemi rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 2.14 : Mengene ile bükme işlemine tabi tutulan lama destekler.

Şekil 2.14’de büküm işlemine tabii tutulan lama destekleri görmekteyiz. Bu ayaklar aracın altında bulunan saç parçaya sabitlenecektir ve sisteme alt kısmından destek olacaktır. Üst kısımda ise hem kaput kilidinin cıvatası hem de araç soğutucusunun cıvatalarına yapılan lama parçalar ve lidar tarayıcının oturacağı düzlem ile mesnet kulakları Şekil 2.15’de görülmektedir. Şekil 2.15’de sol üst resim, kaput altındaki cıvatayı göstermektedir hemen yanındaki resimde soğutucu cıvatalarından alınacak olan destek için kullanılan lama parça görülmektedir.



Şekil 2.15 : Lidar platformu imalat aşamaları.

Sol alt resimde araç altından gelen lama ayaklar ve lidarın oturacağı düzlem levha penseler ile sıkılarak sabitlenmiş bir şekilde görülmektedir. Bu iki parça kaynak ile birbirlerine kaynatılacaktır. Sağ alt resimde ise lidarın cıvata ile sabitleneceği kulaklar, düzlem levhanın üzerine kaynatılmıştır ve kaput kilidindeki cıvata ile sabitlenen lama destekler ile de bu kulaklar desteklenmiştir. Son olarak sistem, lidarı olası darbelere karşı korumak için etrafı lama U parça ile çevrilmiştir. Şekil 2.16 da sistemin bitmiş halini üzerinde lidar tarayıcı ile görmekteyiz.

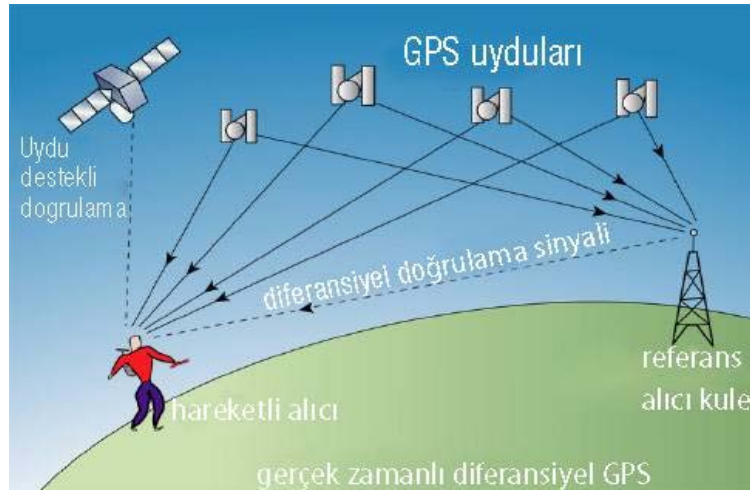


Şekil 2.16 : Lidar algılayıcı tablasının bitmiş hali.

Lidar için yapılan son sistem lidarın hem araçlara verdiği ID'leri kaçırma problemini çözmüş hem de taranamayan alan problemini ortadan kaldırarak lidarın aracın boyuna ekseninde tüm tarama menziline kullanımına olanak sağlamıştır.

2.1.2 GPS algılayıcıları ve yerleşimi

GPS uydu temelli radyo küresel konumlandırma sistemidir. GPS sistemi uydulardan yayınlanan konum sinyallerini kullanarak ölçüm yapar. Bu sinyaller atmosfer üzerinden geçerken bazı hatalar oluşur ve bu yüzden doğru veri alımı için en az dört adet uydu ile bağlantı kurmak gerekmektedir. GPS ölçümü, konumu hassas olarak bilinen uydulardan yayınlanan sinyallerin uçuş süresi ile hesaplanır ve saniyenin binde birinde yapılacak bir hata 300 km'lik bir sapmaya neden olabilmektedir [15]. Bu hatalar başlıca uydu yörünge hataları, sivil GPS alıcılarının hataya meyilli yapıları, atmosferik etkiler nedeniyle oluşan hatalar, alıcıların saatlerinden kaynaklanan hatalardır. GPS sinyallerindeki bu hata değerlerinin azaltılması için DGPS geliştirilmiştir. Bu sistemde dünya üzerinde konumu oldukça hassas olarak bilinen noktaya sabit bir GPS alıcısı yerleştirilir. Bu alıcı kendi konumunu hassasiyetle bildiğinden uydulardan kendisine gelen konum sinyalleri ile kendi konumunu karşılaştırır ve aradaki hatayı hesaplar. Bu hata değeri hareketli GPS alıcılarına düzeltme yapmaları için yayınlanır.



Şekil 2.17 : DGPS sisteminin yapısı [16].

Şekil 2.17'de görüldüğü gibi hareketli alıcı uydulardan gelen konum sinyali ve referans alıcıdan gelen hata değerini karşılaştırarak kendi konumunu bulmaktadır. Hareketli alıcı referans istasyonun 1-2 km yakın çevresinde olduğundan referans merkez ile benzer hata değerlerinde konum sinyali alır ama referans istasyonun

Çevresinden uzaklaştıkça hataya neden olan bozucuların etkileri de deği eceğinden hesaplanan konum değerinde de sapmalar olacaktır. RTK GPS, DGPS ile benzer çalışma prensibine sahiptir. RTK GPS algılayıcısının, DGPS den farkı, hata hesaplama algoritmasının başka bir yöntem kullanması ve çift frekans sistemi kullanmasıdır.

GPS sistemi uydu sayısına bağlı olarak hassasiyeti 30 metre ile 3 metre değerleri arasında değişebilmektedir. DGPS, bir metrenin altında ölçüm hassasiyetine sahip iken RTK GPS ise santimetre bazında ölçüm yapabilmektedir.

GCDC yarışmasında ise taşıtlar arası mesafe, hem güvenlik hem de performans açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu yüzden RTK GPS algılayıcısının, yarı  için kullanılması diğer GPS algılayıcılarına nazaran daha uygun olacaktır. RTK GPS fiyat itibari ile eri ilebilmesi g   bir algılayıcı olduğundan satın alma yerine kiralama yoluna gidilmiştir.



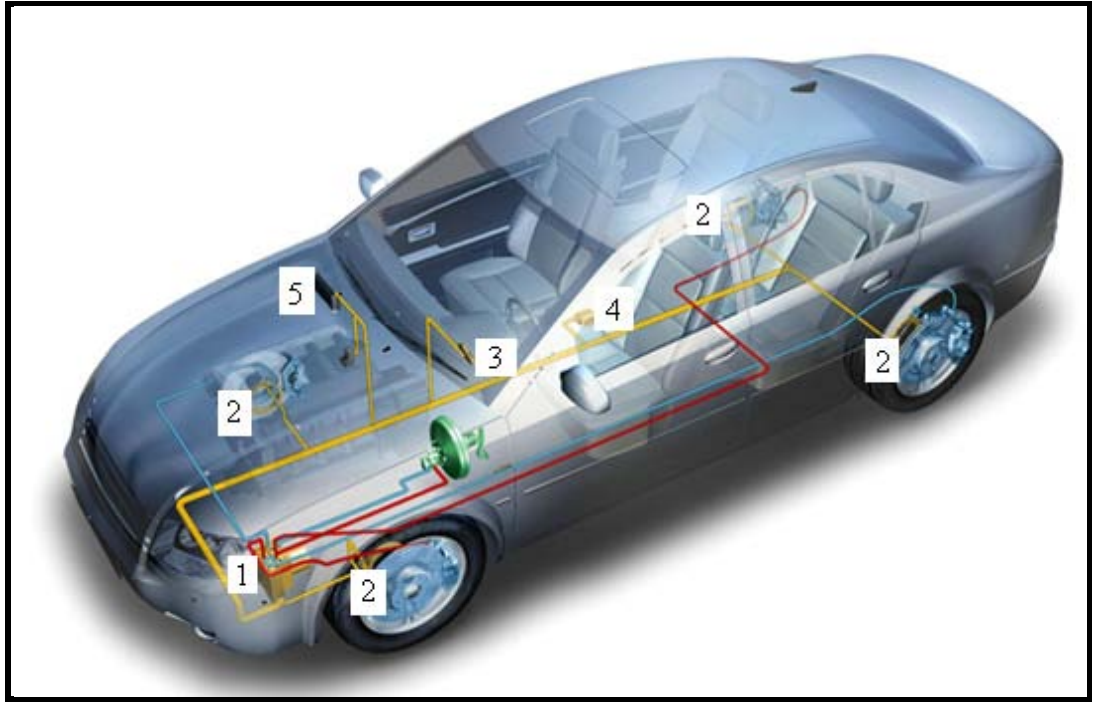
Şekil 2.18 : Trimble R6 RTK GPS araç üzerindeyken.

Şekil 2.18’de görülen RTK GPS alıcısı araç üzerine kurulan platforma 5/8 whit worth saplama ile monte edilmiştir. RTK GPS alıcısının saplama ile vidalandığı noktaya konulan somun ile sıkıştırılarak s r   esnasında oluşan titreşim nedeniyle alıcının yerinden çıkması  nlenmi tir.

2.1.3 Atalet  l  m algılayıcısı (IMU)

IMU, ivme l  r ile jiroskop algılayıcılarının birleşmesinden ortaya çıkmış bir algılayıcıdır. İvme l  lerin  l  t ę  ivme ile jiroskopun  l  t ę  açısal hızı bir arada  l  bilirler. IMU  l  m yapabildiği serbestlik derecesine göre ifade edilir. Örneğin

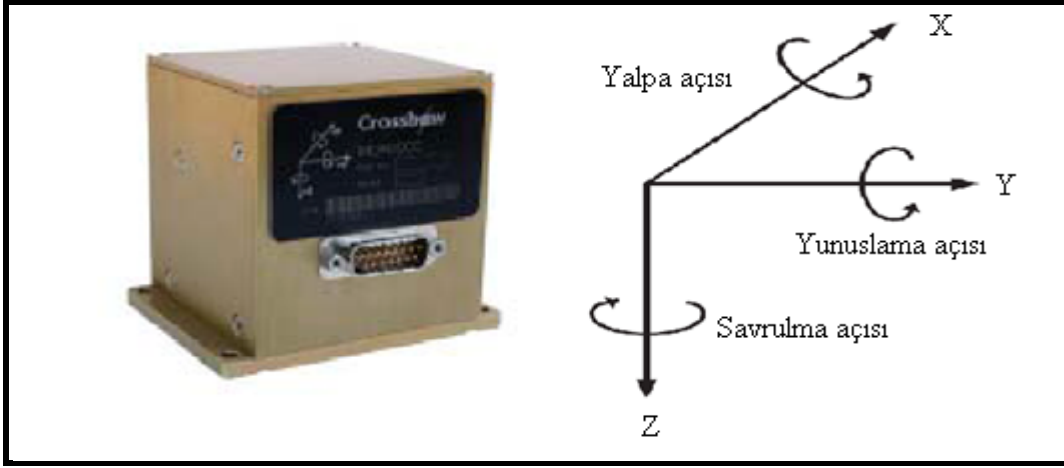
iki ekseninde açısal hız ve üç ekseninde ivme ölçen bir IMU algılayıcı beş serbestlik derecesine sahip IMU olarak ifade edilir.



Şekil 2.19 : Araç algılayıcı konumları [17].

Şekil 2.19 da görülen dört numaralı algılayıcı araç ivmesini ve yalpa açısal hızını (Yaw Rate) ölçen algılayıcıdır. Bu algılayıcı araç ağırlık merkezine konumlandırılır. TOFAŞ tarafından sağlanan aracın sahip olduğu ivmeölçer aracın kafa vurma açısı olarak tabir edilen açısını ölçer. Yokuş yukarı veya aşağıya doğru, araçlar kalkış yaptığında eğimi algılamak için kullanılırlar. Bu nedenden ötürü IMU kullanılarak daha hassas ivme değerleri elde edilebilmektedir. Bunun yanında GPS verisinin yol üzerinde bulunan köprü gibi bozucu etkenler nedeniyle kopması halinde CACC sistemi IMU dan gelen ivme verisi yardımıyla konum ve hız bilgilerini belli bir hata ile yayınlamaya devam edebilmektedir.

GCDC yarışması için kullanılacak olan IMU algılayıcı CROSSBOW firması tarafından üretilen IMU400 model IMU algılayıcıdır [16]. IMU400 6 serbestlik derecesinde ölçüm yapabilmektedir. Bunlardan üçü X-Y-Z eksenlerindeki ivmeler diğer üçü ise X-Y-Z eksenlerine göre açısal hızlardır. Şekil 2.20’de IMU algılayıcı ve dik koordinat sistemi görülmektedir. Taşıt üzerinde herhangi bir müdahalede bulunmadan IMU algılayıcıyı konumlandırılabilen en uygun bölge ön koltukların arasında ve hemen arkasında bulunan ve Şekil 2.21 de görülebilen bölgedir.



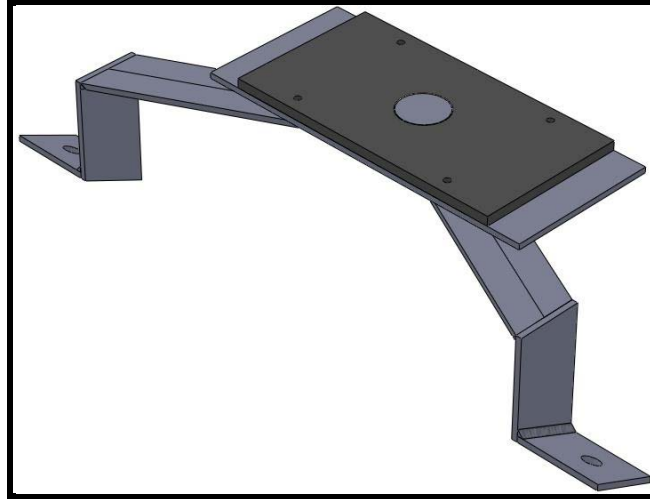
Şekil 2.20 : CROSSBOW marka IMU algılayıcı ve dik koordinat sistemi [18].

Bu bölge aracın ağırlık merkezine yakın bir noktada bulunmaktadır. Böylelikle yapılan ölçümlerin hassasiyeti kabul edilebilir değerler mertebesinde olur ya da ölçümler aracın ağırlık merkezine uzaklığına bağlı olarak düzeltilebilirler.



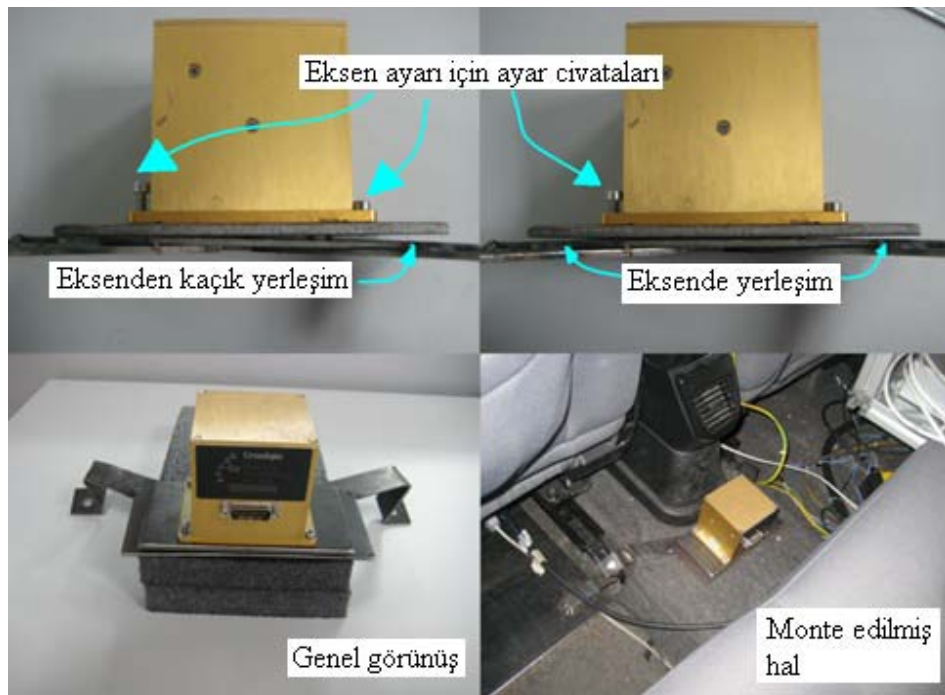
Şekil 2.21 : IMU algılayıcı yerleşimi.

Ön sağ ve ön sol koltuğun altında ve kızakların bitim bölgesinde bulunan saç parça üzerindeki kanallar kullanılarak sağ ve sol taraftan mesnet alınıp sistemin sabitlenmesi düşünülmüştür. Bunun yanında sistem, algılayıcının X-Y eksenine göre açısal olarak ayarlanabilecek şekilde yerleşimine izin vermelidir ki araç eksen ile algılayıcı eksen arasındaki kaçıklıklar telafi edilebilir olsun. Şekil 2.22’de görülen sistem iki adet sağa ve sola ayrılan kollar ve iki adet üst üste konumlandırılmış düzlem levhalardan oluşmaktadır. Kollar vasıtası ile sistem, aracın koltuk kızaklarına sabitlenecektir.



Şekil 2.22 : Atalet ölçme algılayıcısı aparatı üç boyutlu çizimi.

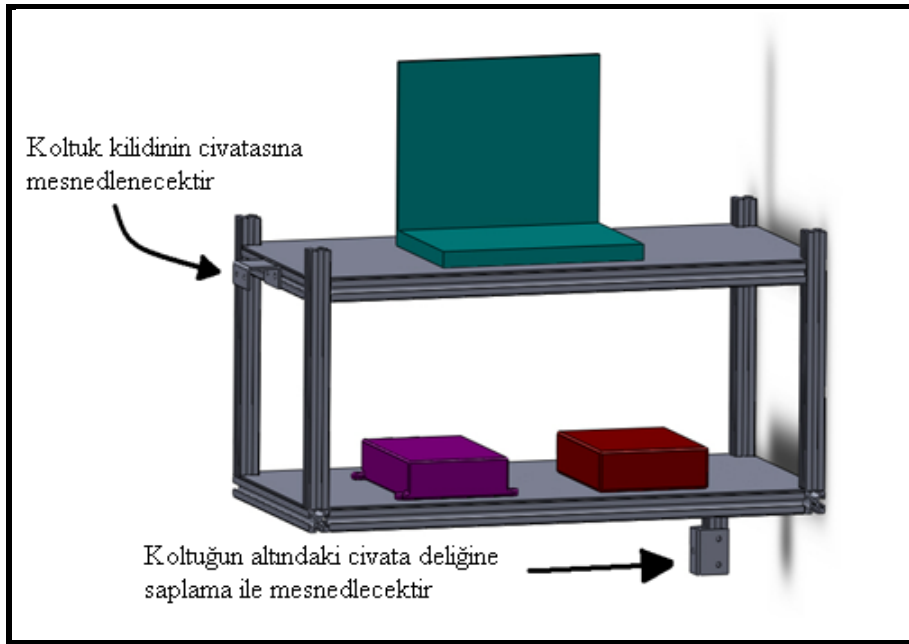
Üst üste iki adet levha kullanılmasının sebebi, diğer parçalar alttaki levhaya kaynak ile sabitlenirken üstteki levhanın bir pim yardımıyla alttaki levha ile boşluklu geçecek şekilde bağlanacak olmasıdır. Böylelikle kollar ve alt levha, sabit bir şekilde monte edilirken üstteki levha hareket edebilir olacak ve algılayıcının ekseninin ayarlanabilmesi için gerekli serbestlik sağlanmış olacaktır. Üst levhanın üzerine X ve Y eksenlerindeki kaçıklıkları da telafi edebilmesi için 4 adet M3 cıvata deliği açılmıştır. Üst levhanın eksen kaçıklığının fazla olduğu bölümün tersi tarafında bulunan cıvatalar sıkıştırılarak sistemin, kaçıklığının fazla olduğu yere doğru açısal olarak dönmesi ile eksen kaçıklığının alınması sağlanır.



Şekil 2.23 : IMU algılayıcı desteği imal edilmiş hali.

2.1.4 Araç içi tezgâhlar ve yerleşimi

Araç içerisinde kullanılacak olan algılayıcılar, işleyiciler, kontrol üniteleri, bilgisayarlar, elektriksel aksam ve de kullanıcılar için gerekli çalışma bölümleri oluşturması amacıyla tezgâhlar tasarlanmalıdır. Bu tezgâhlar araç hareket halinde iken sabitliğini koruyabilecek şekilde araca monte edilmeli ve araç bu gereksinimler karşılanırken herhangi bir imalat işlemine tabii tutulmamalıdır. Aracın arka koltuğu bu iş için en uygun yer olarak seçilmiştir. Arka koltuklar üç kişi için tasarlanmışlardır ve iki parça olarak imal edilmiştir. Bu parçalardan biri, iki kişilik diğeri ise tek kişiliktir. Bu tek kişilik koltuğun alt kısmının sökülmesi ve sırt kısmının sökülme alt kısma yatırılması ile ortaya çıkan bölüm donanımları alacak yeterlilikte boş alan sağlamaktadır. Tezgâhı buraya sabitleyebilmek için ise sökülme alt koltuktan arda kalan M8 civata deliğinin kullanılması uygun görülmüştür. Tezgâhı ikinci bir noktadan sabitleyebilmek için koltuğun sırt kısmını sabitleyen kilidin yanındaki civata deliğinin kullanılması düşünülmüştür. Tüm bu gereksinimler ve çözümler üzerine Şekil 2.24 de verilen üç boyutlu çizimdeki tasarım ortaya çıkarılmıştır.

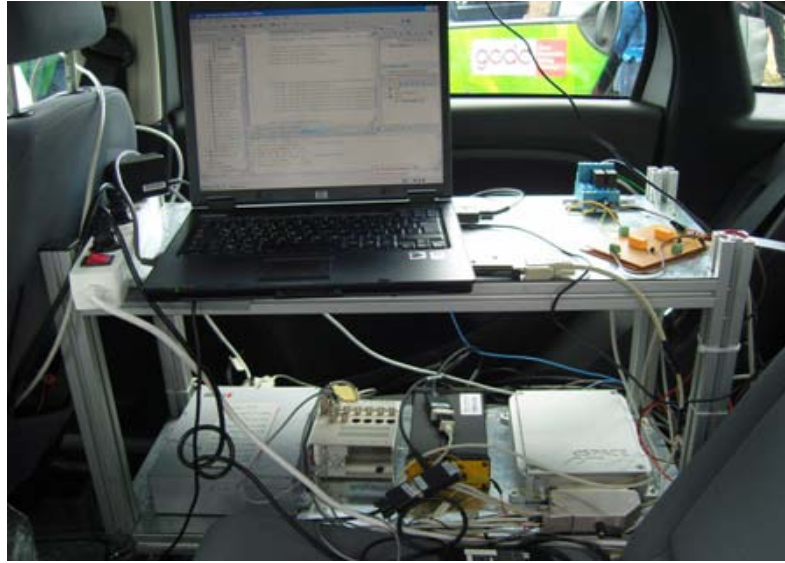


Şekil 2.24 : Araç içine konumlanacak tezgâhın üç boyutlu çizimi.

Güç birimleri aracın bagaj kısmına yerleştirileceğinden, bu birimler için ikinci bir tezgâhında imal edilmesi planlanmıştır. Bu tezgâhın araca sabitlenebilmesi için bagaj tavanında bulunan iki adet civatadan yararlanılması düşünülmüştür. Bu civatalara monte edilecek lama malzemeler ile sistem bagajın üst kısmından sabitlenecektir.

Tezgâhın alt kısmı ise galvaniz levha ile kapatılıp düzlemsel bir yüzey elde edilmiş ve bu yüzeyin üzerine cırt bantlar yapıştırılarak aracın hızlanma ve yavaşlama durumlarında, sistemin bagaj içerisinde sabit bir şekilde durması sağlanmıştır.

Güç sistemi için kullanılacak olan akülerin yerleşimde ise çelik levhalar bükülerek 6 adet akü için altlık yapılmıştır. Bu altıkların uygun bölgelerine açılan kanallardan geçirilen cırt bantlar ile aküler sabitlenmiştir. Levhaların altına cırt bant yapıştırarak sistemin kayması önlenmiştir. Bunun yanında akü altlıkları, bagaja yapılan tezgâha da cıvata yardımı ile sabitlenmiştir. Şekil 2.25 ve Şekil 2.26’da sırasıyla aracın içine ve bagajına yapılan tezgâhlar ile güç sistemi görülmektedir.



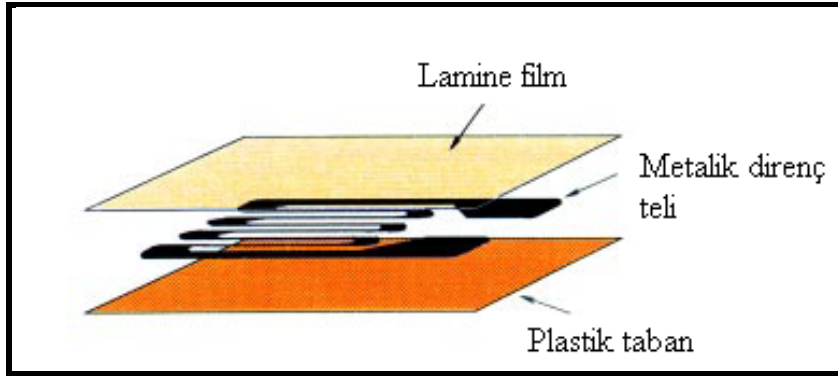
Şekil 2.25 : Araç arka koltuğundaki tezgâh.



Şekil 2.26 : Bagaja yerleştirilen tezgah ve güç sistemi.

2.1.5 Pedal kuvvet algılayıcısı ve yerleşimi

Pedal kuvvet algılayıcıları otomotiv uygulamalarında kullanılmak üzere üretilen özel kuvvet algılayıcılarıdır. Fren pedalı kuvvet algılayıcısı bir gerinim ölçerdir. Gerinim ölçer, Şekil 2.27’de görüldüğü gibi çok ince özel bir telin sarılıp, yaprak film ile kaplanması ile oluşturulur. Bu algılayıcı, direnç telinin üzerine uygulanan kuvvet ile telin üzerindeki voltajın değişimini algılayarak ölçüm yapar.



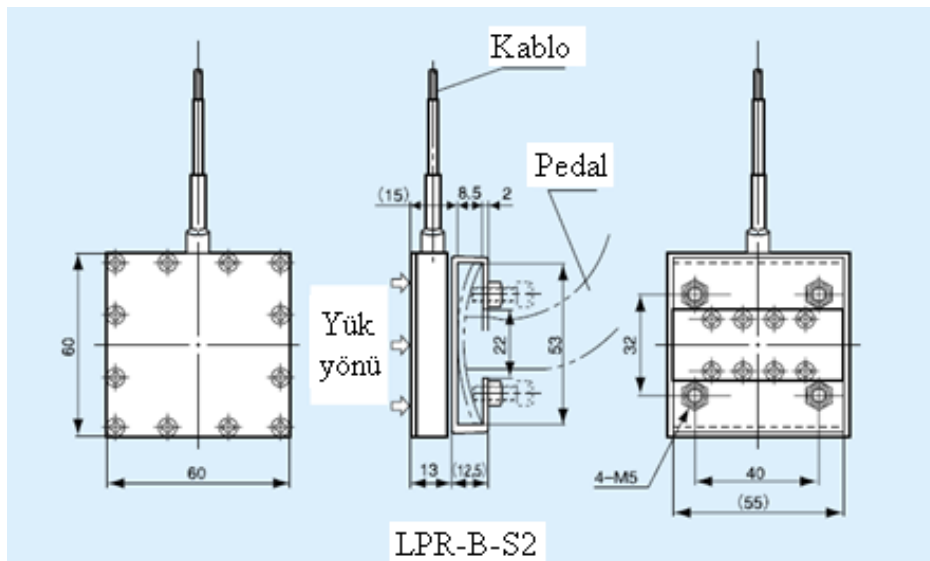
Şekil 2.27 : Gerinim ölçer (strain gauge) [19].

Pedal algılayıcısı, KYOWA firmasını ürettiği LPR-B-05KNS2 modelidir [20].

Çizelge 2.1 : Pedal algılayıcı özellikleri [20].

Kalibrasyon sabiti	0,08562kgf/mV
Ölçüm sapması	%0,03
Ölçüm aralığı	0 – 500Newton
Histerezis	%0,04

Pedal kuvvet algılayıcısının özellikleri Çizelge 2.1’deki gibidir.



Şekil 2.28 : KYOWA pedal algılayıcısı ölçüleri [20].

Gerinim ölçerler çok küçük voltaj değişim aralıklarında çalıştıklarından dolayı bu voltaj değişiminin kuvvetlendirilmesi gerekmektedir. Şekil 2.29’da görülen sinyal işleme birimi, KYOWA marka CDV-456B modelidir.



Şekil 2.29 : Pedal algılayıcısının sinyal işleyicisi.

Şekil 2.28’den de görüleceği üzere bu algılayıcı, pedal üzerine yerleştirilebilecek ölçülerde ve aparatları ile birlikte imal edilmiştir. Pedal algılayıcısı, yan bakış açısında görülen aparat üzerindeki cıvatalar vasıtasıyla aracın fren pedalına monte edilecektir. Fren pedalına herhangi bir müdahalede bulunmadan montaj işlemini gerçekleştirebilmek için pedal kauçuğunun altında bulunan delikler ve çeşitli kanallardan yararlanılacaktır. Şekil 2.30’da görüldüğü gibi 5mm’lik lama parça pedalın altına ve pedal kuvvet algılayıcısı da pedalın üzerine yerleştirilip vidalanarak algılayıcının montajı yapılmıştır. Algılayıcı, lama ve pedal arasına konulan sünger malzeme ile de pedalın üzerindeki esnek boyanın zarar görmesinin önüne geçilmiştir.



Şekil 2.30 : Fren pedal kuvveti algılayıcısı ve sabitleme laması.

Pedal kuvvet ölçme algılayıcısının kullanım nedeni, yarış kurallarına göre aracın istendiği anda sürücü tarafından gaz veya fren pedalına basılarak otonom seyir halinden çıkarılıp manüel seyir haline döndürülmesi yani sürücünün denetimine alınması gerekliliğidir. Ne zaman ki sürücü fren pedalına basarsa algılayıcı bu kuvveti algılayıp kontrolcüyü devreden çıkaracaktır.

Bunun için pedaldan gelen algılayıcı sinyali, MABX kontrolcüsünün devreden çıkarma (override) bloğu ile değerlendirilir. Override bloğu, pedal kuvvet algılayıcısından gelen sinyali, değeri önceden belirlenen eşik voltajı ile kıyaslar. Sinyal değeri, eşik voltajının altında ise CACC kontrolcüsünden gelen gaz veya fren isteğini araca göndermekte, eşik değerinin üzerinde ise o zaman aracı otonom seyir halinden çıkarmaktadır. Algılayıcı için konulan eşik voltaj değeri, istenmeden algılayıcıya az miktarda temas halinde otonom seyir halinin devreden çıkmaması için gereklidir ayrıca ortamda bulunan mevcut gürültülerde hatalı sinyaller oluşturması nedeniyle algılayıcının, sistemi istenmeyen durumlarda devreden çıkarmasına neden olabilmektedir.

2.2 Otonom araç sistemleri

Taşıt testleri için kullanılan robotlar, insan uygulayıcıların gaz veya fren pedalı için gereken kuvvetleri her deney için aynı değerde tekrar edememesi nedeniyle kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra deneyler esnasında oluşabilecek bazı durumlarda hayati tehlikelerin bulunuyor olması da bu robotların kullanım nedenlerindendir [21]. Bu sistemlerde amaç aracın insan sürücü tarafından kullanımında oluşacak çeşitli senaryolarda vereceği tepkiyi test etmek olduğundan fren sistemi içerisinde herhangi bir bileşene değil de doğrudan fren pedalına müdahalede bulunurlar.



Şekil 2.31 : Horiba firmasının ADS-7000 test robotu [22].

Şekil 2.31 de görülen robot, Horiba firmasının ürettiği ADS-7000 model robotudur [22]. ADS-7000 robotu, salınım ölçümü, salınım tahammül ve yakıt tüketimi testleri için üretilmiştir. Aracın fren sisteminin yanında gaz, debriyaj ve vitesine de müdahalede bulunabilmektedir. Tüm eyleyiciler DC servo motor ile kontrol edilmektedir. ADS-7000'in donanım özellikleri Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 : ADS-7000 robotunun özellikleri.

Eyleyici	Kurs	Uygulama Kuvveti
Gaz	200 mm	160 N
Fren	200 mm	220 N
Debriyaj	200 mm	410 N
Vites Değiştirici	X eksen 250 mm Y eksen 200 mm	220 N

Bir diğer fren sistemine müdahale edebilen robot da Stähle firmasının ürettiği SFP 2000FF ve SFP 2000RP model otonom sürüş robotlarıdır [23]. Şekil 2.32'den de görüleceği üzere robot fren sisteminin yanında gaz, debriyaj, vites ve direksiyon sistemlerine de müdahalede bulunmaktadır. Direksiyona müdahalede bulunulabilme özeliği ile SFP model robotlar hem taşıt testlerinde hem de otonom sürüş sistemlerinde kullanılabilmektedir. Tüm eyleyiciler DC servo motor aracılığıyla ile kontrol edilmektedir.



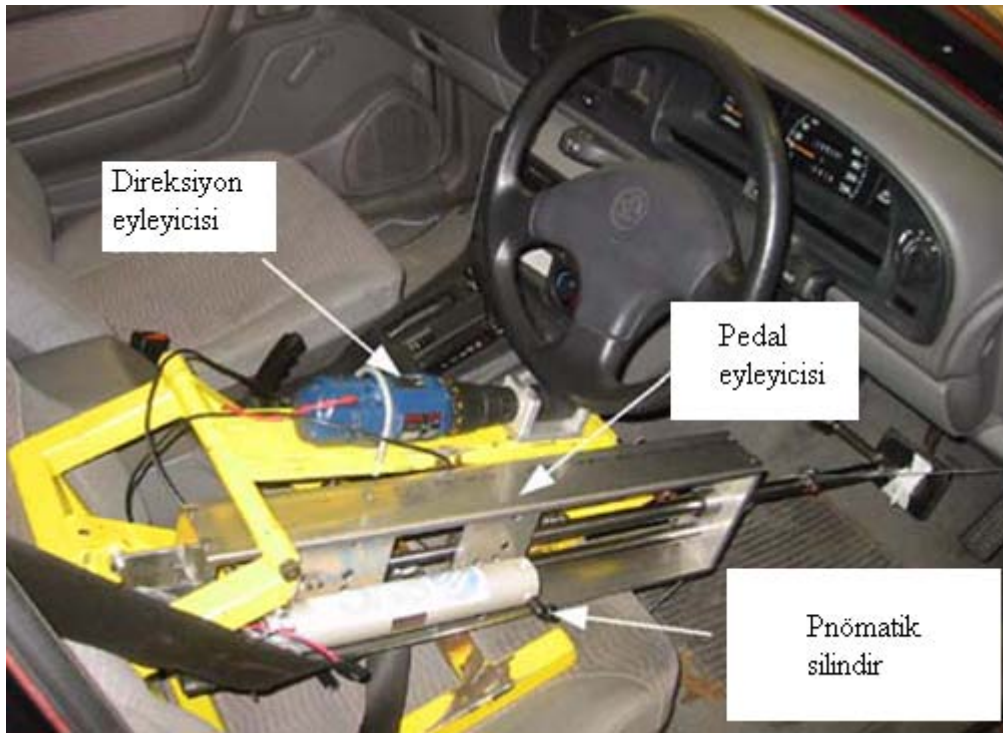
Şekil 2.32 : SFP 2000RP otonom sürüş robotu [23].

SFP 200RP'nin donanım özellikleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : SFP 2000RP robotunun özellikleri.

Eyleyici	Kurs	Uygulama Kuvveti
Gaz	150 mm	100 N
Fren	150 mm	350 N
Debriyaj	200 mm	200 N
Vites Değiştirici	X eksen 250 mm Y eksen 200 mm	250 N
	Açısal Hız	Nominal Moment
Direksiyon	1086 Derece/saniye	28 Nm

Auckland üniversitesinde, Horiba ve Stähle firmasının ürettiği robotlara benzer bir robot tasarlanmıştır [24, 25]. Şekil 2.33'de görülen robotta eyleyici olarak 12V DC servo motorlar gaz ve fren sistemlerine müdahale ederken, bir başka DC servo motor ise direksiyonu ucunda kauçuk sürtünme malzemesi bulunan bir motor ile kontrol etmektedir. Sistem diğer iki robottan farklı olarak tam frenleme ihtiyacı için havalı bir silindir kullanmaktadır.



Şekil 2.33 : Auckland üniversitesinin ürettiği robot sürücü [24].

Şekil 2.34'deki Froude Hoffman firmasının “Robot Driver” adını verdiği ürünü yukarıda anlatılan robotlara benzer bir sistemdir [25]. “Robot Driver” adlı ürün vites değiştirme hızını kontrol edebilmekte ve vites değişim konumlarını otomatik olarak algılayabilmektedir.



Şekil 2.34 : Freug Hoffman firmasının otonom araç robotu [25].

AB Dynamics adlı firmanın robotları gaz ve fren sistemi için doğrusal eyleyiciler yerine 4 kol mekanizmalarından yararlanmaktadır [26, 28]. Kurs ve uygulayabildiği kuvvet değerleri diğer robotlara göre kıyaslandığında AB Dynamics firmasının robotları daha yüksek performans sağlamaktadır. Şekil 2.35’de gaz, fren debriyaj ve direksiyon sistemleri için geliştirilmiş robotlar görülmektedir.

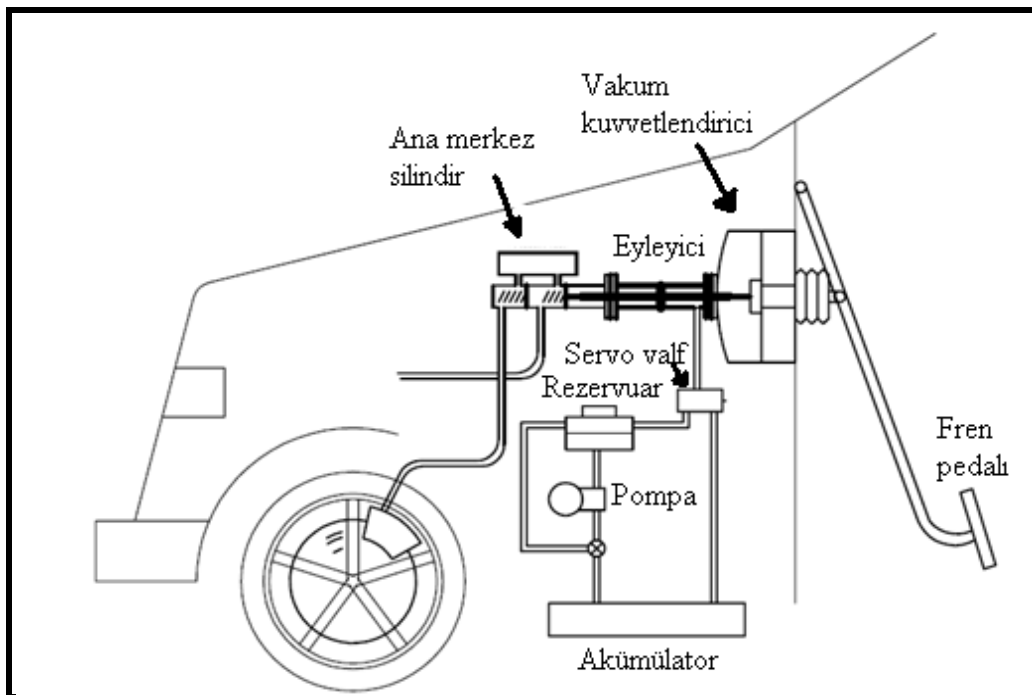


Şekil 2.35 : AB Dynamics firmasının otonom araç robotları [27].

2.2.1 Fren sistemine müdahale

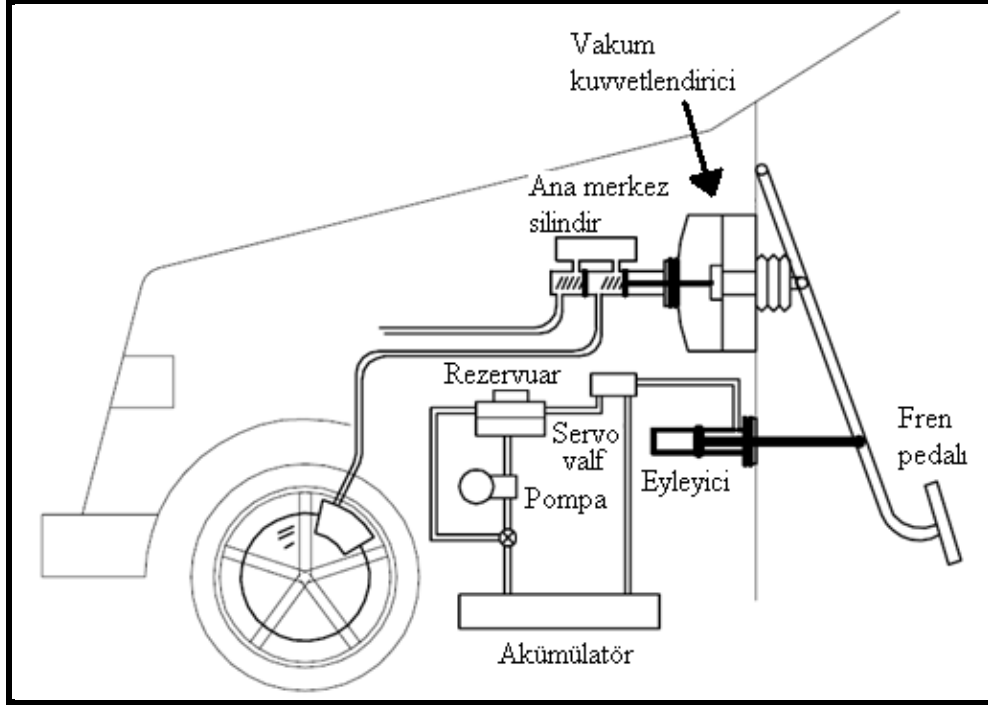
Fren sistemleri araçların yavaşlayabilmelerini sağlayan sistemlerdir. Uygulamada havalı veya hidrolik güç ile çalışan çeşitli fren sistemleri mevcuttur [29]. Fren sistemleri sürücü tarafından fren pedalına uygulanan kuvvet ile çalışmaktadır. Otonom fren sistemlerinde ise sürücü yerine sistemin çeşitli eyleyiciler ile çalışması gerekmektedir. Bu eyleyicilerden bazıları otonom sürüş sistemleri bölümünde anlatılan robotların fren mekanizmasına müdahale eden kısımlarına benzer yapıdadır.

Bunların dışında frenin hidrolik hattına müdahalede bulunan sistemlerde mevcuttur. Şekil 2.36'da görülen bu sistemlerde, fren isteğini motorun emme borusu ya da vakum pompasından aldığı basınç kuvveti yardımıyla arttıran vakum kuvvetlendirici (Vacuum Booster) ile ön ve arka fren disklerine ne kadar hidrolik basılabileceğini ayarlayan ana merkez silindirin (Master Cylinder) arasına yerleştirilen eyleyici ile fren sistemine müdahalede bulunmaktadır [30]. Hidrolik devre için gerekli basınç ikinci bir pompa yardımıyla sağlanır. Basınçlı hidrolik sıvı, akümülatörde toplanır. Aşırı basınç oluşması durumunda rahatlatma valfi ile sistemdeki fazla basınç alınmaktadır. Sistemde bulunan servo valf sayesinde gerekli hidrolik basınç ayarlanmaktadır. Taşıt otonom seyir halinde hareket ederken bu sistem eğer ki yetersiz frenleme yaparsa, bu durumda sürücü tarafından pedala müdahale etmek sureti ile sisteme daha fazla frenleme yaptırılabilir. [30].



Şekil 2.36 : Doğrudan hidrolik eyleyicili otonom fren sistemi [30].

Fren pedalına müdahalede bulunan otonom fren sistemlerin de ise fren pedalına bağlanan hidrolik ya da pnömatik bir eyleyici ile pedalı çekerek frenleme yapılabilinmektedir [30-33]. Şekil 2.37 de görülen devrede fren pedalını hareket ettiren eyleyici kendisi için gereken hidrolik gücü, motor üzerine bağlanan yardımcı bir kayış ile çalışan pompa tarafından basınçlandırılan akışkanın akümülatörde toplanması ile elde etmektedir.



Şekil 2.37 : Fren pedalına hidrolik eyleyici ile müdahale edilmesi [30].

Fren pedalına müdahale etmek için tercih edilen diğer bir yöntem de pedala bağlanan bir tel aracılığıyla frenleme yapmaktır [28, 34-39]. Bu yöntem ile çalışan çeşitli tasarımlar başarıyla uygulanmıştır. Örneğin, VEHICO firmasının ürettiği fren pedal robotu fren pedalının üzerine yerleştirilen bir DC motor aracılığıyla taşıta otonom frenleme yaptırabilmektedir [39]. DC motorun çıkış mili üzerindeki kasmağa sarılı çelik tel, fren pedalının hemen altında bulunan zemin bölgesinde herhangi bir noktaya sabitlenebilmektedir. Motor milinin dönmesi ile beraber çelik tel, kasnak üzerinde sarılarak fren pedalına basma kuvveti uygular ve taşıt yavaşlamaya başlar. CP 800 model fren eyleyicisi 800N’luk kuvveti 50cm/saniye hızla uygulayabilme kapasitesine sahiptir ve toplam ağırlığı 1kg’dır. Sistem GCDC yarışma şartları için çok uygun tasarıma sahiptir. Sürücüyü rahatsız edecek herhangi bir engel oluşturmamaktadır. Acil durumlarda sürücü pedala fazladan fren kuvveti de uygulayabilmektedir. Tüm bu kompakt yapı ve tatmin edici performans değerlerine

rağmen fiyatı itibari ile yarışma için kullanılamamıştır. Şekil 2.38’de Vehico firması tarafından geliştirilen CP800 fren pedal eyleyicisi görülmektedir.



Şekil 2.38 : Vehico firmasının ürettiği fren pedal eyleyicisi [39].

Fren sistemine DC motor ve pedala monte edilen çelik tel kullanılarak müdahale eden bir başka tasarımda Asya Teknoloji Enstitüsü tarafından yapılmıştır [34, 35]. Bu çalışmada pedalın hemen alt noktasına DC motor monte edilmiştir. Çelik tel ise DC motor çıkış mili üzerindeki kasnağa bağlanmıştır ve tel, buradan koruyucu esnek spiral boru ile fren pedalının altında bulunan kasnağa iletilmiştir. Çelik tel, bu kasnak üzerinde 90 derece açı yaparak fren pedalının hemen altına bağlanmıştır. Bu sistem, ucuz ve kolay üretilebilir bir sistemdir. Şekil 2.39’de Asya Enstitüsü tarafından geliştirilen otonom fren sistemi görülmektedir.



Şekil 2.39 : Asya Teknoloji Enstitüsü otonom fren sistemi [34].

Kookmin üniversitesi otomotiv mühendisliği bölümünün tasarladığı otonom fren sistemi motorun ve çelik çekme telinin konumlandırılması itibari ile GCDC yarışması için önemli avantajlar sağlamaktadır [36]. Şekil 2.40’da görülen sistemde

DC motor koltuğun altına yerleştirilerek taşıt içerisinde gizlenirken, çelik çekme teli araç döşemesinin altından geçirilerek gizlenebilmiştir.



Şekil 2.40 : Kookmin üniversitesinde yapılan otonom fren sistemi [36].

Tam otonom araçların belli etapları en kısa sürede geçmek için yarıştığı DARPA yarışmasına katılmak için AUSTIN takımının hazırladığı otonom aracın fren sisteminde de fren pedalına, çelik kablo ile çekilerek müdahale edilmektedir [38]. Bu sistemde, DC motordan elde edilen dairesel hareketi doğrusal harekete çeviren eyleyici kullanılmıştır. Bu eyleyicinin avantajı, çelik telin dairesel motorlarda kullanılan kasnaklardan çıkma problemini ortadan kaldırıyor olmasıdır. Doğrusal eyleyici bir kızak üzerinde kayacak şekilde tasarlanmıştır. Araç otonom seyir halinde çalışırken elektromanyetik bir mıknatıs kızak üzerindeki sistemi ileriye doğru çekip orada sabitlemektedir. Ne zaman ki tehlikeli bir durum ile karşılaşıldığında acil durum düğmesine basılması ile elektromanyetik mıknatısın gücü kesilir ve doğrusal eyleyicinin arkasına bağlanan bir yay sistemi geriye doğru çekerek araca tam frenleme yaptırır. Şekil 2.41’de Austin takımının fren sistemi tasarımı görülmektedir.



Şekil 2.41 : Austin takımının hazırladığı otonom fren sistemi [38].

2.2.2 Otonom fren sistemi tasarımı ve imalatı

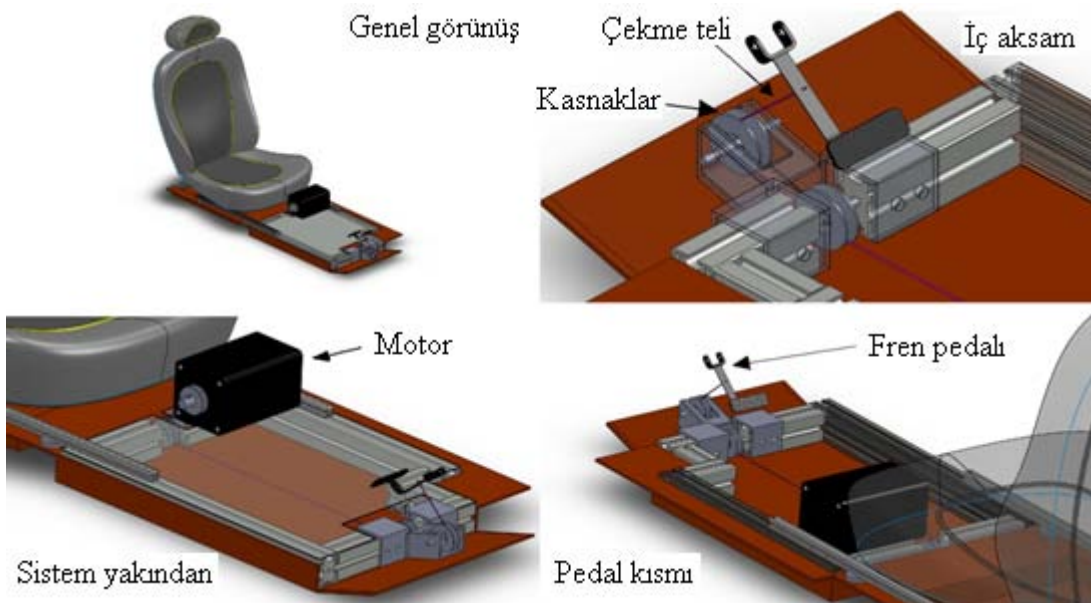
Otonom fren sistemi tasarımı ve imalatı için anlatılan robotlar ve otonom fren sistemlerinden yola çıkılarak çeşitli tasarımlar yapılmıştır. Bu tasarımlar yeni

fikirlerin ortaya çıkması ile güncellenerek araca uygulanan sisteme kadar geliştirilmiştir.

Fren sistemi tasarımında çözülmesi gereken ilk problem uygun mesnet noktalarının bulunarak aracın herhangi bir noktasına delik delme, kaynak vb. imalat işlemleri uygulanmadan sistemin montajının yapılabilmesidir. Bir diğer kistas ise bu mesnetler ve sistemin yapısı sürücüye rahatsızlık vermemeli ve onun hareket kabiliyetini kısıtlamamalıdır. Sistem GCDC yarışması için gerekli olan $-4,5 \text{ metre/s}^2$ ivmeyi sağlamak için gerekli olan frenleme kuvvetini üretebilecek kapasitede olmalıdır. Bunun için aracın fren testlerinin yapılması gerekmektedir.

2.2.2.1 İlk fren sistemi tasarımı

Yukarıda anlatılan kısıtlardan yola çıkılarak araç içerisinde çeşitli mesnet noktaları aranmıştır. İlk olarak sürücü koltuğunun altında bulunan 4 adet civatadan destek alınarak sistemin sabitlenmesi düşünülmüştür. Şekil 2.42’de görüldüğü üzere, koltuğun altında bulunan karşılıklı ikişer adet civatalar arasına alüminyum sigma profiller konularak iki adet kolon oluşturulmuştur. Kolonlar koltuk sistemini yükseltmektedirler. Kolonların hemen altına kolonlardan destek alarak sürücünün kullandığı bölgenin etrafında dolaşmak sureti ile fren pedalının altına kadar ulaşan alüminyum profil çerçeveler konulması tasarlanmıştır. Koltuk tarafında ve de pedalın altına gelen noktalarda iki adet kasnak, alüminyum profillerin alın yüzeylerinde bulunan deliklere oturan miller yardımıyla monte edilmiştir.



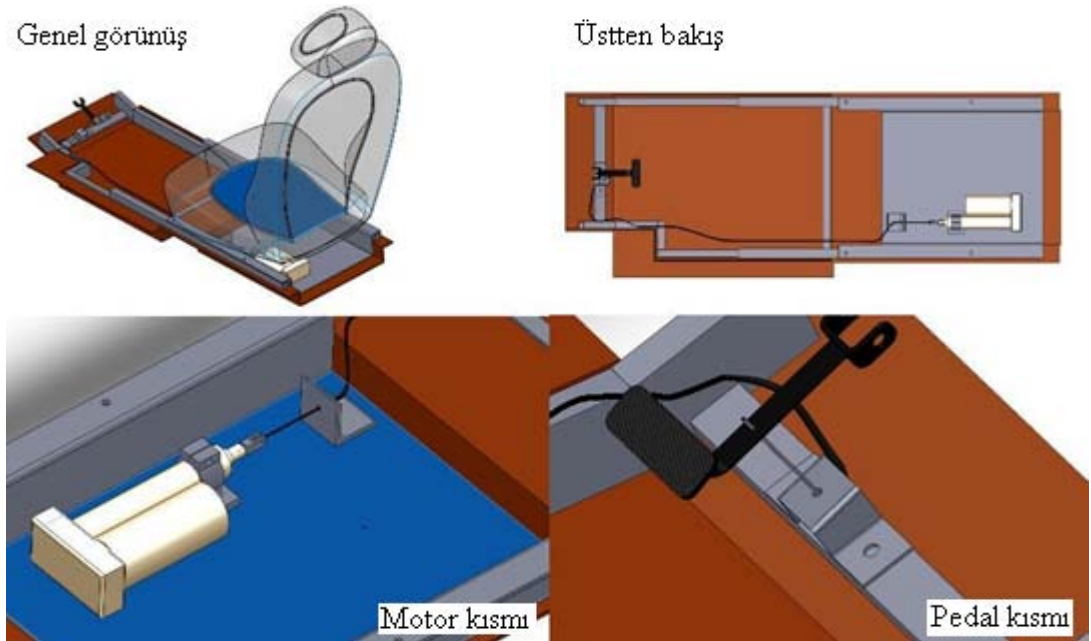
Şekil 2.42 : İlk fren sistemi üç boyutlu çizimi.

Motorun, sürücüyü engellememesi için, sürücü koltuğunun hemen altına yerleştirilmesi düşünülmüştür. Çerçeve sistemi çelik levha ile kaplanarak çekme telinin sürücünün ayağının altında sürücüyü engellemesinin önüne geçilmiş olacaktır. Bu levhanın üzerinde sürücünün ayaklarının kaymaması için de levhanın kauçuk malzeme ile kaplanması gerekecektir.

2.2.2.2 İkinci fren sistemi tasarımı

İlk sistemin, yapısal özellikleri gereği bazı eksikleri bulunmaktadır. Bunlar, sürücünün ayaklarının hemen altında bulunan zeminin kasnak ve çekme telinin bu kısımdan geçmesi nedeniyle yükselmesi ve sürücünün ayakları ile pedal seviyesinin değişmesidir. Bunun yanında motorun konumlandırılması itibari ile daha uygun bir noktaya yerleştirilmesi de sürücü konforunu arttıracak niteliktedir.

Bu noktalar göz önüne alındığında ilk olarak çelik telin, sürücünün ayaklarının hemen altından geçip fren pedalının altındaki kasnaktan dolaşarak fren pedalına ulaşmaya kadar izlemiş olduğu yolun değiştirilmesi gerekmektedir. Fren pedalına çelik teli istenilen güzergâha göre ulaştırmak amacıyla fren teli koruyucu spirali kullanılması düşünülmüştür. Böylece spiral sayesinde çelik tel, fren sisteminin çevresinde dolandırılmak suretiyle sürücüye engel teşkil etmeden fren pedalına bağlanabilecektir.



Şekil 2.43 : İkinci fren sistemi üç boyutlu çizimi.

Şekil 2.43’de ikinci fren sisteminin üç boyutlu çizimi görülmektedir.

Motor ise sürücü koltuğunun hemen önündeki bölgeden alınıp sürücü koltuğunun altında bulunan kısma yerleştirilerek ergonomik bir tasarım elde edilmiş olmaktadır. Koltuğun altında bulunan cıvata deliklerine monte edilecek olan bükümlü levhanın üzerine de doğrusal motor gelecektir. Doğrusal motorun ucuna bağlanan çelik tel spiral kılıf ile sistemin çevresinden dolandırılarak fren pedalına monte edilecektir. Doğrusal motor kullanılması çelik telin kasnaktan çıkma problemini ortadan kaldırmaktadır.

2.2.2.3 Üçüncü fren sistemi tasarımı

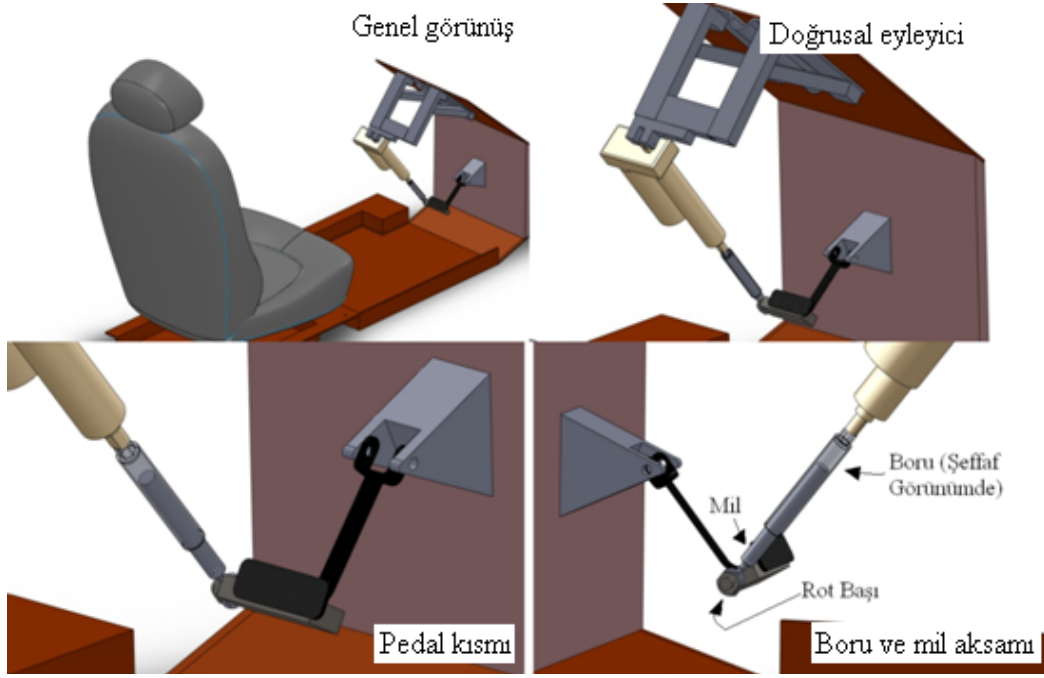
Engelli araçlarında, sürücünün engel durumuna göre çeşitli sistemler kullanılmaktadır [40, 41]. Örneğin, ayaklarından engelli sürücüler için yapılan sistemlerde pedallara, direksiyon altına veya direksiyon milinin bağlandığı araç şasisine monte edilen sistemler yardımıyla müdahalede bulunulur. Şekil 2.44’de engelli araçlar için yapılan fren sistemi görülmektedir. Bu tasarımdan yola çıkarak GCDC yarışması için otonom fren yapabilecek yeni bir sistem tasarlanmıştır.



Şekil 2.44 : Engelli araçları için tasarlanan sistem [41].

Öncelikli olarak sistem için mesnet noktaları bulunmalıdır. Direksiyon sisteminin hemen altında bulunan 4 adet cıvata yardımıyla sistemin sabitlenmesi düşünülmüştür. Çelik profil malzemeler ile oluşturulacak kafes sistem üzerine doğrusal motor yerleştirilecektir. Doğrusal motorun tahrik kutusunun arka kısmında görülen pim ile motor açısıl dönme serbestlik derecesine sahip olacak şekilde monte edilecektir. Motorun çıkış milinin ucuna boru profil malzeme monte edilecektir. Boru profilin içinde fren pedalına rot başı ile bağlanan mil hareket edecektir. Bu milin boru profil içinde hareket edecek şekilde tasarlanması ile herhangi bir acil durum ihtimalinde sistem çalışmaz ise sürücü tarafından fren pedalına basıldığı zaman, mil sistemden bağımsız şekilde boru profilin içinde hareket edebilecektir.

Böylelikle fren pedalı, sürücünün uyguladığı kuvvet ile daha fazla frenleme etkisi oluşturulabilmektedir. Sistem, otonom seyir halinde motor mili ucundaki boru profile kuvvet uygular iken, boru profilde içinde bulunan mile bu kuvveti aktaracaktır ve boru profilin içindeki milde pedala gerekli kuvveti uygulayarak araca frenleme yaptıracaktır. Milin ucundaki rot başı eksenindeki kaçıklıkları karşılarken aynı zamanda pedal ile mil arasında açısız dönme serbestlik derecesi de sağlamaktadır.

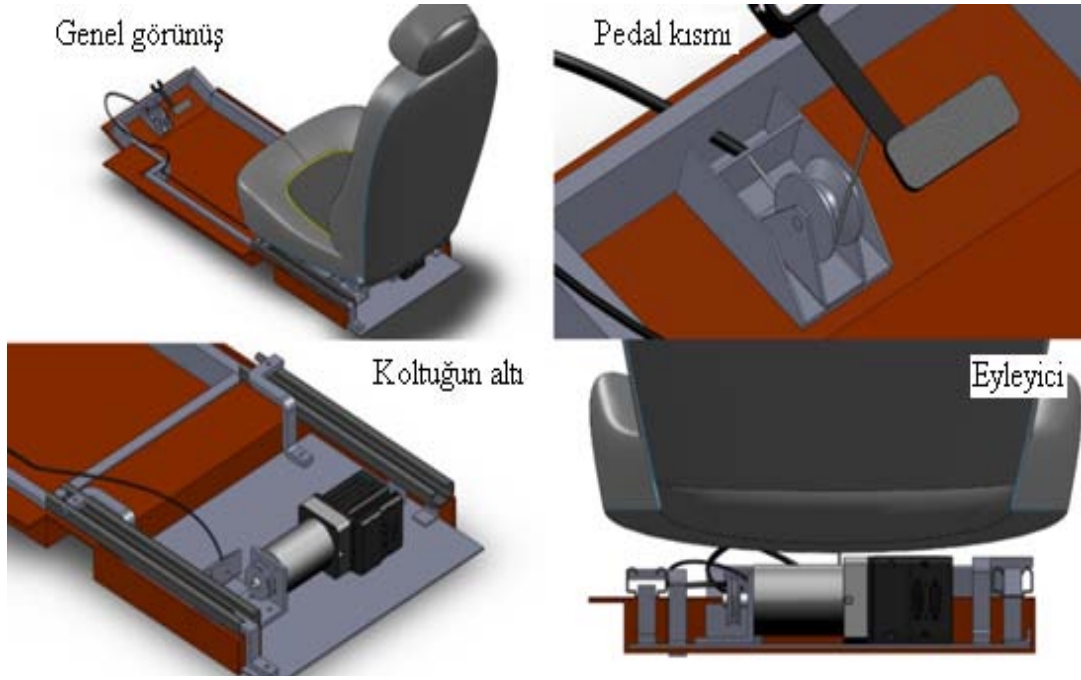


Şekil 2.45 : Üçüncü fren sisteminin üç boyutlu çizimi.

2.2.2.4 Dördüncü fren sistemi tasarımı

Doğrusal motor, fiyatı nedeniyle kullanılamadığından sistemin tekrar dönel motor ile tasarlanması gerekliliği doğmuştur. İkinci tasarıma benzer bir tasarımın bazı önemli değişiklikler yapılmak sureti ile performansının artırılması sağlanacaktır. Bu sistemler arasından diğerlerine nazaran daha üstün olduğu düşünülen dördüncü sistemin imalatı yapılacaktır. Öncelikle, sürücü koltuğunun altında bulunan destek profilleri kaldırılacaktır. Sistem, destek noktası olarak koltuğun hemen altında bulunan ve döşemenin altına gizlenmiş olan iki adet cıvata deliğinden yararlanılarak monte edilecektir. Koltuğun altına yerleştirilen ve gene koltuk cıvatalarına sabitlenen levha ise, yeni bulunan cıvata deliklerinden, koltuğun dördüncü ve yatay konumlandırılmış cıvatasından ve koltuk rayı üzerinde bulunan delikten monte edilecektir.

Şekil 2.46'da sistemin son halinin üç boyutlu çizimi görülmektedir.



Şekil 2.46 : Dördüncü fren sisteminin üç boyutlu çizimi.

Şekil 2.47’de görülen mesnetler kullanılarak sistem desteklenmiştir.



Şekil 2.47 : Otonom fren sistemi için kullanılan mesnetler.

Fren pedalının hemen altında bulunan nokta çekme teline uygulanan kuvvetten ötürü sehim yapabileceğinden buranın da araç üzerinde bulunan mesnetler yardımıyla desteklenmesi gerekmektedir. Bunun için, aracın otomatik vites olması sebebiyle boş

bırakılan debriyaj pedalının mesnet deliğinin kullanılması düşünülmüştür. Şekil 2.48’den görüldüğü gibi debriyaj pedalı üzerindeki delikten yararlanılarak fren sistemi daha sabit hale getirilmiştir. Çekme telinin sürtünme nedeniyle fren sistemini belli bir pozisyonda sabitlemesi önlemek için Şekil 2.48’deki çekme yayı da sisteme eklenmiştir.

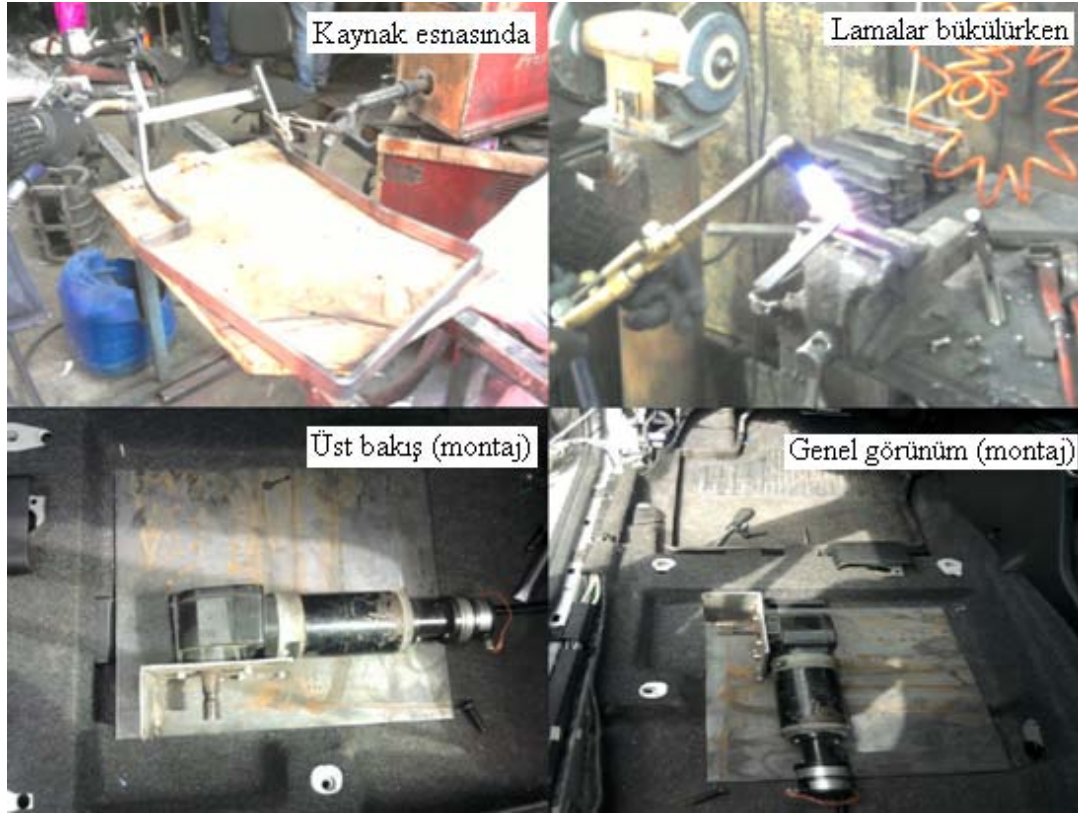


Şekil 2.48 : Debriyaj pedalı mesnedi.

Son olarak imalat işlemlerinin kolaylığı ve sistemin mukavemeti açısından alüminyum profil yada kutu çelik profiller yerine soğuk çekme lama malzemelerin kullanılması tercih edilecektir. Bu malzemeler ısıtılarak ya da çekiçle vurulmak sureti ile kolaylıkla şekil alabilmekte ve soğuk çekme işlemi ile üretildiklerinden dolayı malzemenin pekliği artmaktadır.

Fren sisteminin imalatı eğme-bükme işlemi ile yapılmıştır. Bu yöntem daha önce anlatıldığı gibi araç üzerinde ölçü alınıp, malzemelerin gerekli noktalarından bükülmesi ile yapılır. Bükme işleminden sonra bükülen malzeme araç üzerinde ölçü kontrolüne tutulur. Eğer ölçü istenildiği gibi değilse gerekli ölçü farkı kadar tekrar bükülür. Böylelikle sistem aracın ölçülerine uygun şekilde imal edilir. Eğme ve bükme işleminde üretim hassasiyetleri ön planda değildir. Bükülen malzemeler daha sonra kaynak işlemi ile birbirlerine kaynatılırlar. Kaynak yöntemi olarak elektrik ark kaynağı ve MIG kaynağı kullanılmıştır.

Oksijen kaynağı ise daha çok malzemenin ısıtılıp bükülmesi esnasında kullanılmıştır. Şekil 2.49’da fren sisteminin imalat aşamaları görülmektedir.



Şekil 2.49 : Fren sisteminin imalat aşamasındaki resimleri.

Koltuğun hemen altında bulunan motor sabitleme flanşı, 3 farklı motor sabitlenebilecek şekilde tasarlanmıştır. Otonom fren sisteminde kullanılan eyleyici SMART Motor firmasının, SM34165DT model DC servo motorudur. Bu motorun seçilme nedeni, ölçüleri itibari ile araç koltuğunun altına kolaylıkla yerleştirilebilirken, güç itibari ile de tatmin edici performans sağlamaktadır. Motorun hemen önüne konulan redaktör ise APEX Dynamics firmasının PG-060 modelidir. Çizelge 2.3’de motor ve redaktörün özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4 : SM34165DT ve PG-060 redaktör özellikleri.

	Motor
Nominal Devir	5100 rpm
Moment	1,45 Nm
Güç	615 Watt
Voltaj	24 volt
Ortalama Akım	15,5 amper
	Redaktör
Çevrim oranı	15

Şekil 2.50’de otonom fren sistemin son hali ve Smart motor görülmektedir.



Şekil 2.50 : Otonom fren sistemi ve Smart motor.

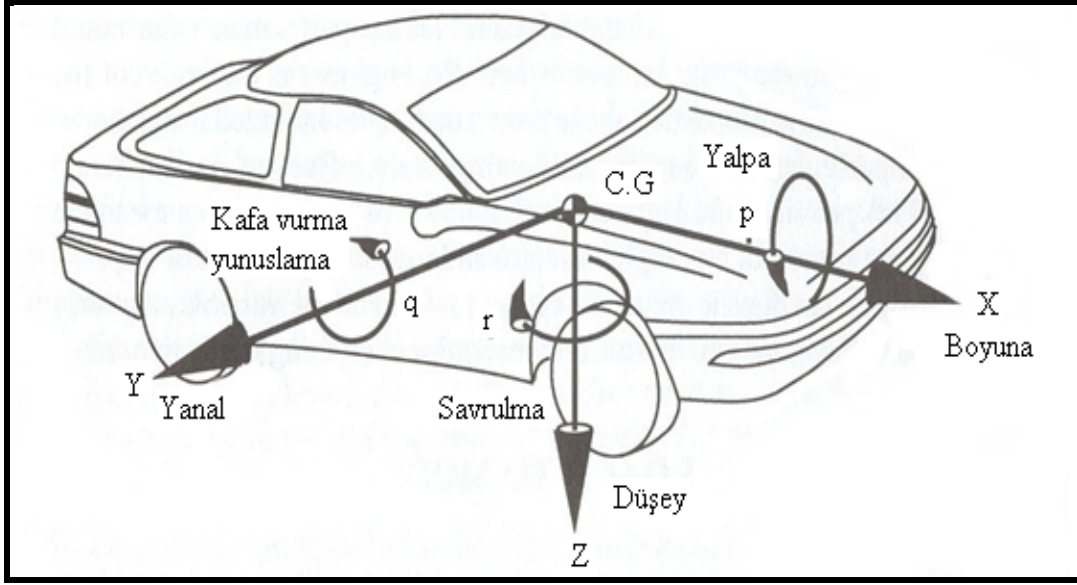
3. TAŞIT DİNAMİĞİ MODELİ

Taşıt dinamik denklemleri ile araçların dinamik davranışları bilgisayar ortamında modellenenmektedir. Bu modeller, araçların dinamik davranışlarının matematiksel ifadeler ile tanımlanması ile oluşturulurlar. Bu ifadelerin hassasiyeti, benzetim sonunda elde edilen sistem cevaplarının da gerçek sisteme yaklaşmasını sağlamaktadır. Böylelikle, uzun, yorucu ve masraflı araç testleri yerine bilgisayar ortamında saniyeler içerisinde gerçeğe yakın sonuçlar alınarak araçların performansları iyileştirilebilir, elde edilen sonuçlar üzerinden testlere başlanarak gereksiz zaman kaybı önlenir. Bu bölümde, GCDC yarışmasında kullanılacak aracın boyuna kontrolcü tasarımı için benzetim modeli oluşturulacaktır. Yarışma, düz bir otoyol üzerinde gerçekleşeceğinden tek izli taşıt modeli adı verilen ve en basit hali ile üç serbestlik derecesine sahip araç modelinin üzerine boyuna model eklenerek benzetimler yapılacaktır.

3.1 Araç Modellemesine Giriş

Araç modeli için öncelikle aracın hareket dinamiğini içeren model kurulmalı ve daha sonra bu modele aracın çeşitli bileşenlerinin dinamiği eklenmelidir. Bunlar, boyuna, yanal ve savrulma dinamikleri ve bunlara eklenecek olan motor, fren sistemi, tekerlekler gibi bileşenlerin dinamikleridir. Tüm bu modellerin eklenmesi ile oluşturulan sisteme ayrıca çeşitli direnç dinamikleri de eklenerek modelin istenen hassasiyette sonuçlar verebilmesi sağlanabilmektedir.

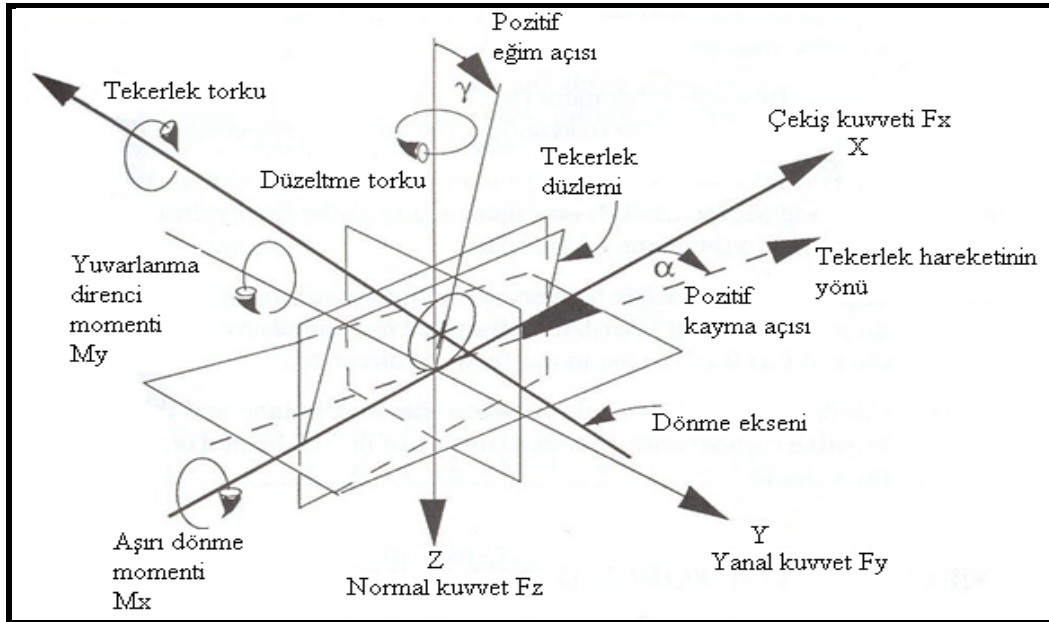
Tüm bunlardan önce araca ve küresel koordinatlarda uygun eksen takımlarının tanımlanması gerekmektedir. SAE tarafından taşıtlar için belirlenen standart eksen takımı Şekil 3.1’de görüldüğü gibidir. Bu eksen takımında X eksenini doğrultusu, boyuna eksen ve bu eksene göre dönme açısı da yuvarlanma ya da yalpalama açısı olarak adlandırılır. Y eksenini doğrultusuna yanal eksen ve bu eksene göre dönme açısına da kafa vurma açısı denir. Z eksenini doğrultusu ise aracın düşey eksenini ve bu eksene göre dönme açısına savrulma açısı denir. Eksen takımı aracın ağırlık merkezine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.1 : SAE standartlarına göre araç eksen takımı [42].

Aracın şasisine bağlı ancak şasiden ayrı olarak hareket edebilen lastikler içinde ayrı bir eksen takımı belirlenmelidir. Tekerleğin yaptığı hareket kendi eksen takımına göre tanımlanıp daha sonra araç ve en sonunda sabit eksen takımına göre ifade edilebilmektedir.

Şekil 3.2’de SAE standartlarına göre tekerlek eksen takımını görmekteyiz.



Şekil 3.2 : SAE standartlarına göre tekerlek eksen takımı [42].

Buna göre:

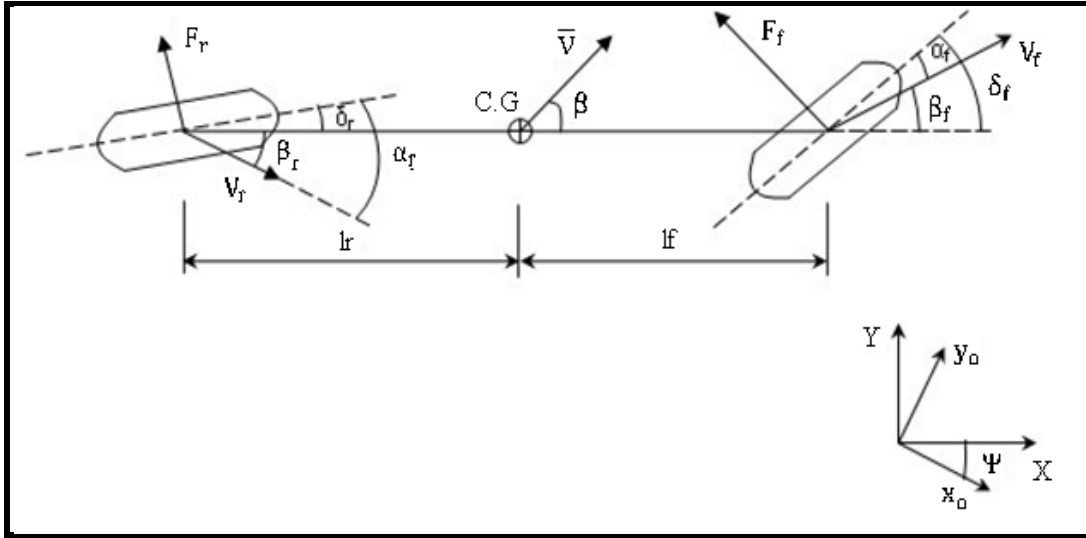
- Tekerlek düzlemi, dönme eksenine normal doğrultudaki tekerleğin merkez eksenidir.

- Tekerlek merkezi, tekerlek düzlemi ile dönme eksenindeki kesişim noktasıdır.
- Tekerlek temas noktasının merkezi, tekerlek düzlemi ile dönme ekseninin yol düzlemi üzerindeki yansımasının ara kesitidir.
- Yüklü tekerlek çapı, tekerlek düzleminde tekerlek merkezinin, tekerlek temas merkezine olan mesafesidir.
- Boyuna kuvvet (F_x), yol tarafından lastik üzerine uygulanan, yol düzlemi üzerindeki kuvvet bileşenidir ve tekerlek düzlemi ile yol düzleminin kesişim noktasına paraleldir.
- Yanal kuvvet (F_y), yol tarafından lastik üzerine uygulanan, yol düzlemi üzerindeki kuvvet bileşenidir ve tekerlek düzlemi ile yol düzleminin kesişim noktasına diktir.
- Normal kuvvet (F_z), yol tarafından lastik üzerine uygulanan ve yol düzlemine dik olan kuvvettir.
- Aşırı dönme momenti (M_x), yol tarafından lastiklere uygulanan ve yol düzlemi ile tekerlek düzleminin kesişim noktasına paralel olan moment ifadesidir.
- Yuvarlanma direnci momenti (M_y), yol tarafından yol düzleminde lastiklere uygulanan ve yol düzlemi ile tekerlek düzleminin kesişim noktasına dik olan momenttir.
- Düzeltme (Hizalama) momenti (M_z), yol tarafından lastiklere uygulanan ve yol düzlemine dik momenttir.
- Kayma açısı (α), tekerleğin boyuna doğrultusu ile hız doğrultusu arasındaki açıdır.
- Eğim açısı (γ), tekerlek düzlemi ile dikey eksen arasındaki açıdır. Araç üreticileri tarafında uygun değerlerde seçilirler.

3.2 Doğrusal Olmayan Tek İzli Araç Modeli

Tek izli araç modeli aracın öndeki ve arkadaki tekerleklerini, gene önde ve arkada tek bir tekere indirgeme kabulünü yapmaktadır. Tek izli araç modeli bu yüzden bisiklet modeli olarak bilinmektedir. Bisiklet modelinde, aracın boyuna, yanal ve savrulma dinamikleri dikkate alınmaktadır. Tek izli araç modeli için kurulan denklemler yanal dinamik ile ilgilidir ancak boyuna yöndeki dinamiği tanımlayan

denklemler de modele eklenerek boyuna dinamik, tek izli araç modeli ile beraber modellenenmektedir [43].



Şekil 3.3 : Tek izli araç modeli [44].

Tek izli araç modeli, aracın yalpa yani (X) eksenini etrafındaki dönme ve kafa vurma yani (Y) eksenini etrafındaki dönme modelini içermemektedir. Şekil 3.3’de kullanılan parametreler Çizelge 3.1’de açıklanmıştır.

Çizelge 3.1 : Bisiklet modelinde kullanılan parametreler [44].

C.G	Aracın ağırlık merkezi	x_0, y_0	Yere sabit eksen takımı
$\bar{V}$	Ağırlık merkezine ait hız vektörü	X-Y	Şasi eksen takımı
β	Yanal kayma açısı	$\bar{V}_f$	Ön tekerlek hız vektörü
l_f	Ön aks-ağırlık merkezi mesafesi	$\bar{V}_r$	Arka tekerlek hız vektörü
l_r	Arka aks-ağırlık merkezi mesafesi	α_f	Ön teker yanal kayma açısı
F_f	Ön teker yanal kuvveti	α_r	Arka teker yanal kayma açısı
F_r	Arka teker yanal kuvveti	β_f	Ön teker hızı-şasi arasındaki açı
δ_f	Ön teker yönelim açısı	β_r	Arka teker hızı-şasi arasındaki açı
δ_r	Arka teker yönelim açısı	Ψ	Savrulma (Dönme) açısı

Aracın ağırlık merkezindeki hız vektörü ile aracın boyuna eksenini arasındaki açı şasinin yana kayma açısını (β) göstermektedir. $x_0 - y_0$ eksen takımı yer üzerinde istenilen bir noktaya konumlandırılmış eksen takımıdır. Savrulma açısı (Ψ) araç üzerinde konumlandırılmış eksen ile yer üzerinde konumlandırılan eksen arasında ve dikey eksene göre dönme miktarıdır. Ön ve arka tekerleklerdeki yanal kayma açıları, tekerleğin merkez düzlemi doğrultusu ile tekerlek hızının doğrultusunun aracın boyuna eksenine göre yaptığı açılarının farkıdır.

Buna göre:

$$\alpha_f = \delta_f - \beta_f \quad (3.2)$$

$$\alpha_r = \delta_r - \beta_r \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır. Denklemlerdeki f ve r ifadeleri ön ve arka tekerlekleri temsil etmektedir. Burada δ_f ve δ_r tekerleklere sürücü tarafından direksiyon ile uygulanan dönme açılarıdır. Yalnızca ön tekerler aracılığı ile yönlendirilen araçlar için δ_r açısı sıfır olur. Tekerlekler üzerindeki hız vektörü ile tekerlek merkez düzlemi arasındaki açı düşük hızlarda sıfır kabul edilerek denklemler kinematik olarak çözülebilirler. Yüksek hızlarda ise lastikler üzerindeki kuvvetler hızın karesi ile orantılı olarak arttığından bu yaklaşım artık kabul görmez.

Bu kayma açılarına bağlı olarak deneysel sonuçlar şunu göstermiştir ki küçük kayma açılarında yanal tekerlek kuvvetlerinin kayma açısı ile doğru orantılı olarak değişmektedir [45]. Buna göre, yanal tekerlek kuvvetleri ön ve arka tekerler için şu şekilde:

$$F_f = C_{\alpha f} \mu (\delta - \beta_f) \quad (3.3)$$

$$F_r = C_{\alpha r} \mu (-\beta_r) \quad (3.4)$$

ifade edilebilir. Bu ifadelerdeki $C_{\alpha f}$ ve $C_{\alpha r}$ terimleri, ön ve arka lastikler için dönüş sertliğini ifade etmektedirler. δ açısı ön tekerler ile yönlendirilen araç için direksiyon açısıdır. β_f ve β_r açıları ise ön ve arka tekerlek hızlarının araç boyuna eksenine göre yaptığı açıdır.

μ terimi, lastik ile yol arasındaki sürtünme katsayısıdır. Bu değer:

$$\mu = \begin{cases} 1 & \text{Kuru yol için} \\ 0,5 & \text{Islak yol için} \\ 0,15 & \text{Buzlu yol için} \end{cases} \quad (3.5)$$

alınabilir.

Araç merkezindeki hız denklemi yazılırsa eğer:

$$\bar{V} = V \cos \beta \hat{i} + V \sin \beta \hat{j} \quad (3.6)$$

elde edilir. İfadenin türevi bize aracın kütle merkezindeki ivmesini verecektir:

$$\begin{aligned} \bar{a} = \frac{d\bar{V}}{dt} = [\dot{V} \cos \beta - V(\sin \beta)\dot{\beta}] \hat{i} + V \cos \beta \frac{d\hat{i}}{dt} \\ + [\dot{V} \sin \beta + V(\cos \beta)\dot{\beta}] \hat{j} + V \sin \beta \frac{d\hat{j}}{dt} \end{aligned} \quad (3.7)$$

3.7'nolu denklemde bulunan $\frac{d\hat{i}}{dt}$ ve $\frac{d\hat{j}}{dt}$ ifadeleri birim vektörlerin türevleri olup şasi eksen takımının yer düzleminde konumlandırılan eksene göre zamana bağlı açısal değişimini ifade etmektedir. Bu iki ifadenin türevi çözümlenirse eğer:

$$\frac{d\hat{i}}{dt} = \dot{\Psi} \hat{k} * \hat{i} = \dot{\Psi} \hat{j} \quad (3.8)$$

$$\frac{d\hat{j}}{dt} = \dot{\Psi} \hat{k} * \hat{j} = -\dot{\Psi} \hat{i} \quad (3.9)$$

elde edilir. Denklem 3.8 ve 3.9, ivme ifadesi olan denklem 3.7'de yerine konulursa eğer aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\begin{aligned} \bar{a} = \frac{d\bar{V}}{dt} = [\dot{V} \cos \beta - V(\sin \beta)\dot{\beta}] \hat{i} + V \cos \beta \dot{\Psi} \hat{j} \\ + [\dot{V} \sin \beta + V(\cos \beta)\dot{\beta}] \hat{j} - V \sin \beta \dot{\Psi} \hat{i} \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} = [\dot{V} \cos \beta - V(\sin \beta)\dot{\beta} - V(\sin \beta)\dot{\Psi}] \hat{i} \\ + [\dot{V} \sin \beta + V(\cos \beta)\dot{\beta} + V(\cos \beta)\dot{\Psi}] \hat{j} \end{aligned} \quad (3.31)$$

$$= a_x \hat{i} + a_y \hat{j} \quad (3.42)$$

3.12 denklemindeki $\hat{i}$ ve $\hat{j}$ birim vektörleri ile çarpılan ifadeler, sırasıyla aracın şasisine konumlandırılan eksene göre x ve y eksenlerindeki ivmeleri ifade etmektedirler. Tek izli model için dinamik denklemler boyuna, yanal eksenler ve savrulma momenti yani düşey ekseninde dönme hareketine göre yazılırsa eğer,

Araç boyuna eksenine göre kuvvet denklemi:

$$\sum F_x = ma_x \quad (3.13)$$

$$m[\dot{V} \cos \beta - V(\sin \beta)\dot{\beta} - V(\sin \beta)\dot{\Psi}] = F_x \quad (3.14)$$

Araç yanal eksenine göre kuvvet denklemi:

$$\sum F_y = ma_y \quad (3.15)$$

$$m[\dot{V} \sin \beta + V(\cos \beta)\dot{\beta} + V(\cos \beta)\dot{\Psi}] = F_y \quad (3.16)$$

Araç düşey eksenine göre dönme (Savrulma) moment denklemi:

$$I_z \ddot{\Psi} = M_z \quad (3.17)$$

olarak ifade edilir. Denklemlerdeki $\ddot{\Psi}$ ifadesi aracın savrulma açısal ivmesini, I_z aracın dikey eksene atalet momentini ve m aracın kütlesini belirtmektedir. Denklemler matris biçiminde yazılırlarsa:

$$\begin{bmatrix} -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} mV(\dot{\beta} + \dot{\Psi}) \\ m\dot{V} \\ I_z \ddot{\Psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadenin tersi kendisine eşit olduğundan matris biçimi şu şekilde yeniden düzenlenebilir:

$$\begin{bmatrix} mV(\dot{\beta} + \dot{\Psi}) \\ m\dot{V} \\ I_z \ddot{\Psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Araç dinamik denklemlerindeki kuvvet ve moment ifadeleri, kuvvet koordinat dönüşümü ya da tekerlek dönme açısı yansıması olarak ifade edilir ve tekerlek üzerindeki boyuna ve düşey kuvvetlerin etkisine göre de yazılabilirler [43]. Buna göre:

$$F_x = -\sin \delta_f F_f - \sin \delta_r F_r \quad (3.20)$$

$$F_y = \cos \delta_f F_f + \cos \delta_r F_r \quad (3.21)$$

$$M_z = l_f \cos \delta_f F_f - l_r \cos \delta_r F_r \quad (3.22)$$

olarak ifade edilir. Denklemlerin matris olarak ifade edilmesi halinde:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \delta_f & -\sin \delta_r \\ \cos \delta_f & \cos \delta_r \\ l_f \cos \delta_f & -l_r \cos \delta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_f \\ F_r \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

şeklini almaktadır. Aracın kütle merkezindeki hız bileşeninin ön ve arka tekerleklerle indirilmesi ile, yanal tekerlek kuvvetlerinin hesabı için kullanılan, araç şasisinin boyuna eksenini ve tekerlek hız vektörü arasındaki açı hesaplanabilir. Öncelikle aracın ön ve arka tekerleklerindeki hız vektörlerinin eşitlikleri,

Ön tekerlekler için:

$$V_f = V + \dot{\Psi} \hat{k} \times l_f \hat{i} \quad (3.24)$$

$$V_f = V + \dot{\Psi} l_f \hat{j} \quad (3.25)$$

Arka tekerlekler için:

$$V_r = V + \dot{\Psi} \hat{k} \times (-l_r \hat{i}) \quad (3.26)$$

$$V_r = V - \dot{\Psi} l_r \hat{j} \quad (3.27)$$

şeklinde yazılabilir. V, V_f ve V_r sırası ile aracın kütle merkezindeki, ön ve arka tekerlerindeki hız vektörleridir. Boyuna eksenindeki ön, arka tekerler ve kütle merkezindeki hız bileşenleri irdelendiğinde birbirlerine eşit oldukları görülür.

Buradan şu eşitlik ifadesi:

$$V_r \cos \beta_r = V \cos \beta = V_f \cos \beta_f \quad (3.28)$$

şeklinde yazılabilir. Bu hız vektörlerinin yanal eksenindeki (y eksenindeki) bileşenleri yazılırsa:

Ön teker için yanal hız eşitliği,

$$V_f \sin \beta_f = V \sin \beta + l_f \dot{\Psi} \quad (3.29)$$

Arka teker için yanal hız eşitliği,

$$V_r \sin \beta_r = V \sin \beta - l_r \dot{\Psi} \quad (3.30)$$

şeklinde ifade edilebilir. Boyuna ve yanal hız ifadeleri ön ve arka tekerler için oranlığında tekerlek hız vektörü ile şasi eksen takımının boyuna eksenini arasındaki açı bulunabilir.

Buradan ön teker için boyuna ve yanal hız ifadeler oranlanırsa eğer,

$$\frac{V_f \sin \beta_f}{V_f \cos \beta_f} = \frac{V \sin \beta + l_f \dot{\Psi}}{V \cos \beta} \quad (3.31)$$

$$\tan \beta_f = \tan \beta + \frac{l_f \dot{\Psi}}{V \cos \beta} \quad (3.32)$$

$$\beta_f = \tan^{-1} \left[\tan \beta + \frac{l_f \dot{\Psi}}{V \cos \beta} \right] \quad (3.33)$$

olarak bulunur. Arka teker için aynı işlemler tekrarlanırsa eğer,

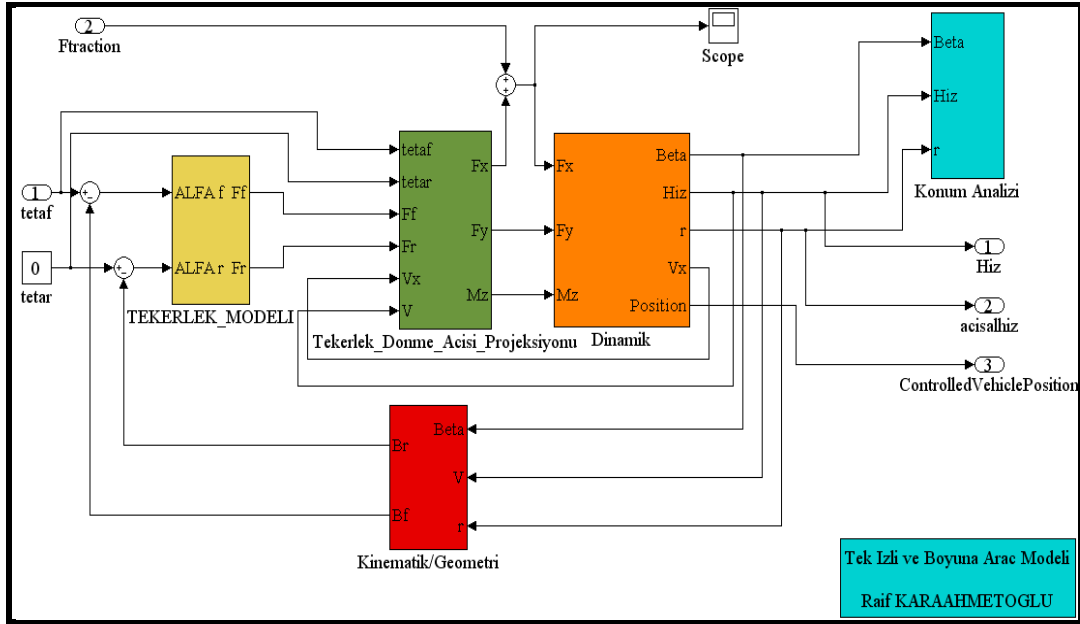
$$\frac{V_r \sin \beta_r}{V_r \cos \beta_r} = \frac{V \sin \beta - l_r \dot{\Psi}}{V \cos \beta} \quad (3.34)$$

$$\tan \beta_r = \tan \beta - \frac{l_r \dot{\Psi}}{V \cos \beta} \quad (3.35)$$

$$\beta_r = \tan^{-1} \left[\tan \beta - \frac{l_r \dot{\Psi}}{V \cos \beta} \right] \quad (3.36)$$

olarak bulunur.

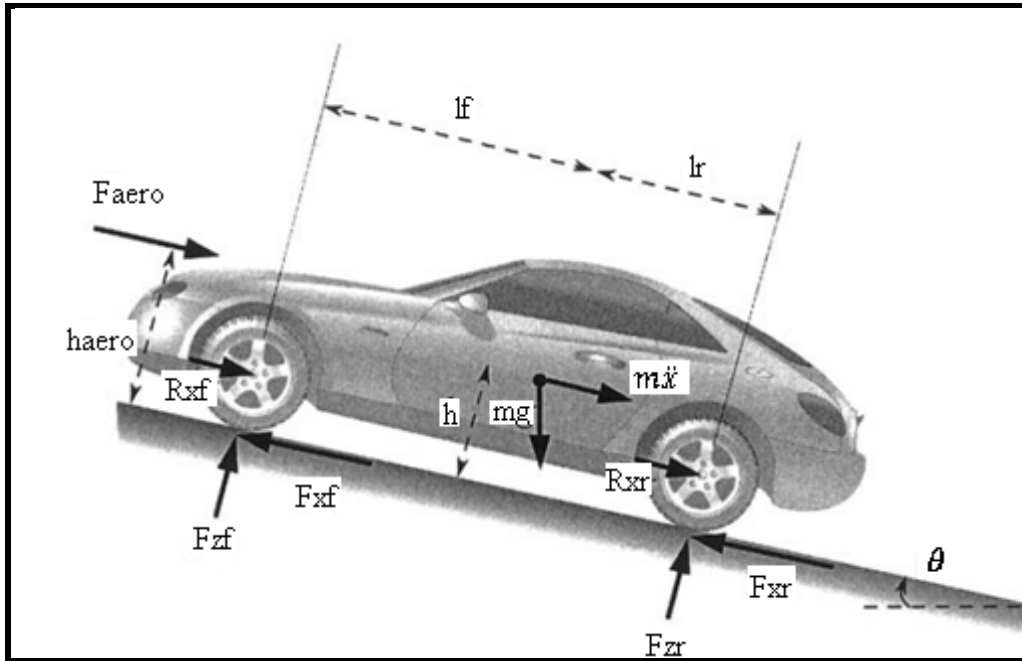
Şekil 3.4 de tek izli araç modelinin SIMULINK blokları görünmektedir.



Şekil 3.4 : Tek izli araç modeli SIMULINK blokları.

3.3 Boyuna Taşıt Modeli

Şekil 3.5’de görüldüğü üzere araç boyuna yönde hareket halinde iken çeşitli kuvvetlerin etkisinde seyir etmektedir. Bu kuvvetler eğimli yolda yer çekimi etkisi ile oluşan eğim direnci, lastiklerin elastik yapısı nedeniyle oluşan yuvarlanma direnci ve rüzgâr direnci gibi çeşitli kuvvetleri kapsamaktadır.



Şekil 3.5 : Boyuna yönde araca etkiyen kuvvetler [45].

Bu kuvvetler altında, boyuna taşıt dinamik eşitliği şu şekilde yazılabilmektedir,

$$ma_x = F_{xf} + F_{xr} - F_{aero} - R_{xf} - R_{xr} - mg \sin \theta \quad (3.37)$$

Bu ifadede geçen terimler;

- F_{xf} , ön tekerlek üzerine etkiyen boyuna lastik kuvvetidir.
- F_{xr} , arka tekerlek üzerine etkiyen boyuna lastik kuvvetidir.
- F_{aero} , rüzgâr direnci kuvvetidir.
- R_{xf} , ön tekerlek üzerine etkiyen yuvarlanma direnci kuvvetidir.
- R_{xr} , arka tekerlek üzerine etkiyen yuvarlanma direnci kuvvetidir.
- $mg \sin \theta$, ifadesi ise aracın kütlesi nedeniyle üzerine etkiyen yerçekimi kuvvetinin eğim dolayısıyla tekerleklerle boyuna yönde yansımasıdır.

3.3.1 Rüzgâr direnç kuvveti

Ortamda bulunan hava içerisinde hareket halinde olan taşıtlar, hava ile girdikleri etkileşim nedeniyle sürtünme kuvvetlerine maruz kalırlar. Modellemelerde, hava direncinin sadece boyuna yöndeki etkisi dikkate alınmaktadır.

$$F_{aero} = 0.5\rho C_d A_f (V_x + V_{rüzgar})^2 \quad (3.38)$$

Rüzgâr direnç kuvveti eşitliğinde kullanılan parametreler şöyle açıklanabilir,

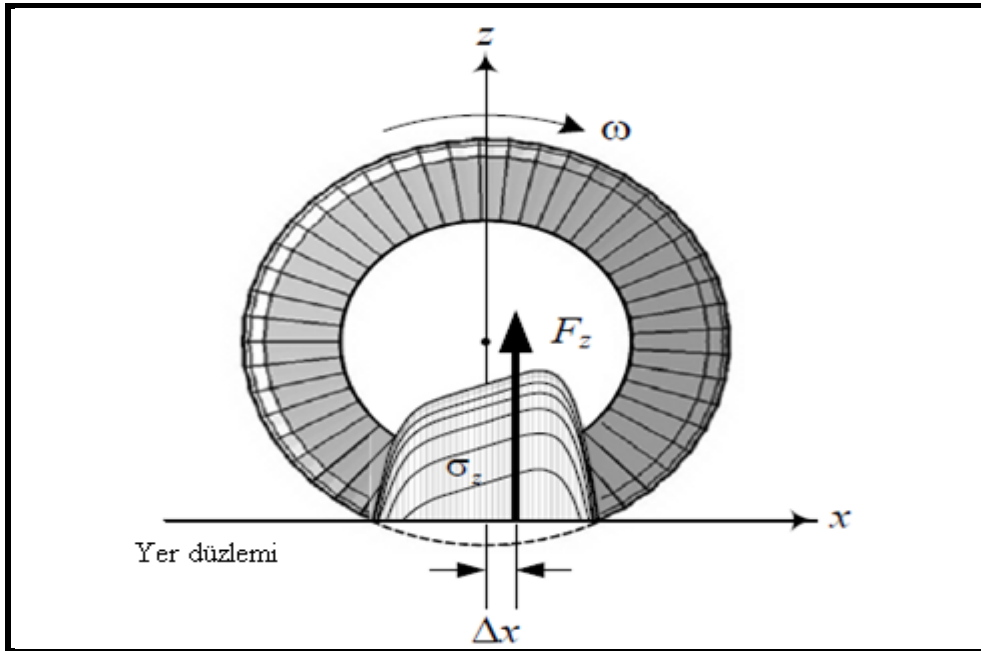
- ρ , havanın yoğunluğudur. 15 °C de ve 101,32 kPa basınçta 1,225 kg/m³ alınabilir.
- C_d , aracın aerodinamik sürtünme katsayısıdır. Binek araçlar için 0,28 ile 0,35 değerleri arasında değişmektedir. Yokuş aşağı testleri uygulanarak araçların sürtünme katsayıları bulunabilir.
- A_f , aracın ön yansımaya alanıdır. Binek araçlar için $A_f = 1.6 + 0.00056(m - 765)$ olarak hesaplanabilir.
- V_x , aracın boyuna yöndeki hızıdır. metre/s cinsinden ifade edilir.
- $V_{rüzgar}$, aracın boyuna yönündeki rüzgârın hızıdır. metre/s cinsinden ifade edilir. Aracın hızının tersi yönündeki rüzgâr hızı pozitif, araç hızı ile aynı yöndeki rüzgâr hızı negatif alınır.

3.4 Yuvarlanma Direnci

Lastik ve yol üzerinde, araç hareket halinde iken yere normal doğrultudaki kuvvetlerin etkisi ile deformasyonlar meydana gelmektedir. Yol üzerindeki deformasyonlar ihmal edilebilir. Lastik üzerindeki deformasyon ise yol ile temas yüzeyi arasındaki bölgeye lastiğin dönmesi ile giren malzemenin gerinmesi ile oluşur. Bu gerinim enerjisi, malzeme temas bölgesinden çıktığında tam olarak geri kazanılamaz ve bu kayıp enerji lastiğin temas yüzeyindeki kuvvet dağılımını bozar ve buda yuvarlanma direnci adı verilen bir etki oluşturur. Yuvarlanma direnci şu formül ile modellenir,

$$R_{xf} + R_{xr} = f(F_{zf} + F_{zr}) \quad (3.39)$$

Formüldeki f terimi yuvarlanma direnci katsayısıdır. Genellikle 0,01 ile 0,04 arasında değişen değerler alır. Binek araçlar için bu değer 0,015 alınabilir [45]. F_{zf} ve F_{zr} terimleri lastikler üzerine yer düzlemine göre normal doğrultuda etkiyen kuvvetlerdir.



Şekil 3.6 : Yuvarlanma direncinin tanımlanması [46].

Şekil 3.6’da normal kuvvetin (F_z), tekerin hızına bağlı olarak dikey eksen den sapması (Δx) görülmektedir. Bu sapma ile oluşan moment ($F_z \times \Delta x$) boyuna yönde yuvarlanma direnç kuvvetine neden olur.

3.4.1 Lastikler üzerindeki normal kuvvetlerin hesabı

Şekil 3.5’de görüldüğü üzere normal kuvvetler tekerlekler ile yer arasında, tekerlek eksenine dik olarak etki ederler. Bu etki aracın kütlesi, araç içerisindeki yük dağılımı, aracın boyuna ivmesi, hava sürtünme kuvveti ve yolun eğim açısına bağlıdır. Ön tekerlekler üzerindeki normal kuvvet hesabı için ön tekerin yer ile temas noktasına göre moment alınırsa,

$$F_{zr}(l_f + l_r) - F_{aero}h_{aero} - ma_x h - mgh \sin \theta - mgl_f \cos \theta = 0 \quad (3.40)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik için aracın kafa vurma açısının sıfır olduğu kabulü yapılır. Buradan,

$$F_{zr} = \frac{F_{aero}h_{aero} + ma_x h + mgh \sin \theta + mgl_f \cos \theta}{l_f + l_r} \quad (3.41)$$

olarak bulunur. Arka tekerlere göre moment alınırsa eğer,

$$F_{zf}(l_f + l_r) + F_{aero}h_{aero} + m\ddot{x}h + mgh \sin \theta - mgl_r \cos \theta = 0 \quad (3.42)$$

şeklinde ifade edilir. Buradan ön teker üzerindeki normal kuvvet,

$$F_{zf} = \frac{-F_{aero}h_{aero} - ma_x h - mgh \sin \theta + mgl_r \cos \theta}{l_f + l_r} \quad (3.43)$$

olarak bulunur.

3.5 Eğim Direnci

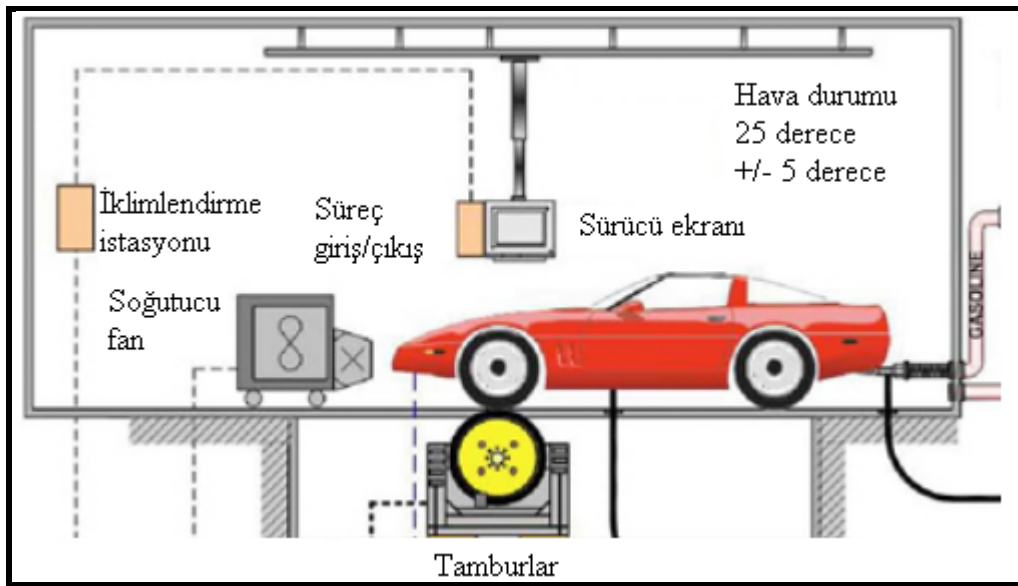
Taşıt eğimli bir yolda ilerlerken, yerçekimi ile oluşan kuvvetin bileşeni düşey ve boyuna eksende etki etmeye başlar. Bu düşey eksende oluşan etki araç üzerinde bir direnç kuvveti meydana getirir. Bu direnç kuvveti şu formül ile ifade edilebilmektedir,

$$F_{eğim} = mg \sin \theta \quad (3.44)$$

Bu kuvvet taşıt eğim çıkarken negatif yönde tesir ediyorsa da eğim inişlerinde pozitif etki yapmaktadır.

3.6 Motor Modeli

İçten yanmalı motor, aracın hareketi için gerekli olan gücün üretildiği kısımdır. Bu motorlar ısı enerjisini, piston ve krank mekanizması vasıtası ile hareket enerjisine çeviren sistemlerdir. İçten yanmalı motorların modelinde parametrik yöntemler vardır ancak bu modellerin oluşturulma aşamaları biraz zahmetlidir. Bunun yerine motorun deneysel sonuçları ile elde edilen veriler ile oluşturulan statik motor haritalarını kullanmak hızlı ve hassas model oluşumuna izin vermektedir [44, 47]. Motor haritası için gerekli motor verileri araç şasi testleri sonucu elde edilir. Şekil 3.7’de GCDC yarışmasında kullanacağımız aracımızın şasi test düzeneği şeması görülmektedir. Şasi test düzeneğinde önden çekişli arabamızın çekiş tekerleri, test düzeneğinin altında bulunan ve Şekil 3.8’de görülebilen tamburların üzerine getirilerek araç sabitlenmektedir. Motora verilen gaz girdileri ile tekerlerden elde edilen kuvvet değerleri bu tambura bağlı algılayıcılar tarafından algılanarak ekrana gönderilmektedir. Bu kuvvet değerleri aracın belli gaz açıklığında ve belli motor devirlerinde adım adım yapılır. Tüm bu sonuçlar kayıt edilerek aracın motor haritası elde edilmiş olur. Araç motor şasi testleri İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde kurulan ve araç testleri üzerine uzmanlaşmış OTAM laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7 : Motor test düzeneği [48].

Motor testi esnasında araç tekerleri motordan gelen güç ile tamburlar üzerinde dönerken aracın şasisi durmaktadır. Bu nedenle normal sürüş şartlarında ortaya çıkan rüzgâr etkisi ile motorun soğuması bu noktada gerçekleşemediğinden aracın önüne konulan bir fan ile aracın tekerlerinin hızına uygun gerekli rüzgâr etkisi sağlanarak normal yol şartlarındaki soğutma etkisi yaratılmaktadır. Şekil 3.9’de rüzgâr türbinini görmekteyiz.

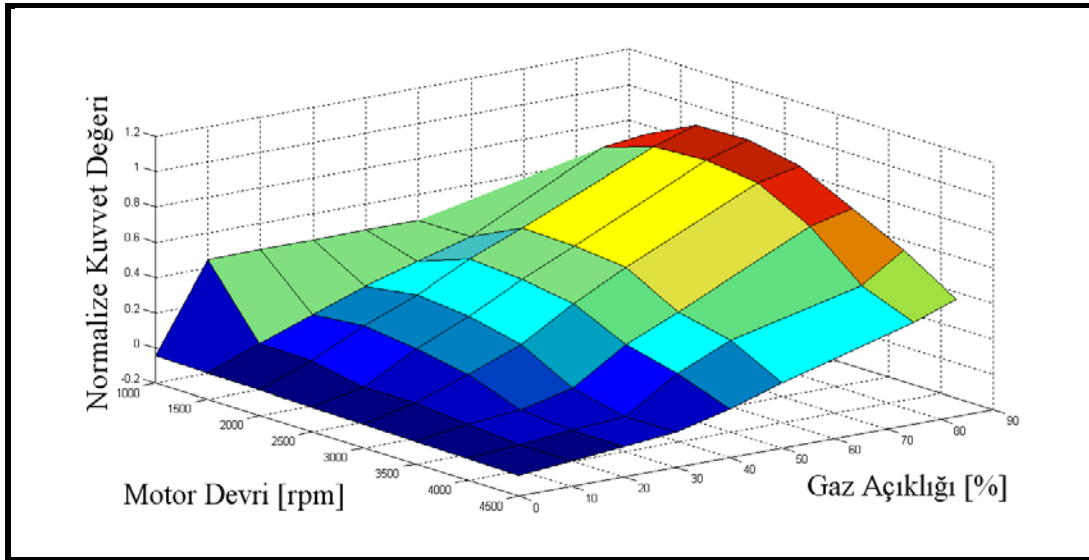


Şekil 3.8 : OTAM test düzeneği tamburu.



Şekil 3.9 : OTAM motor test düzeneği rüzgâr türbini.

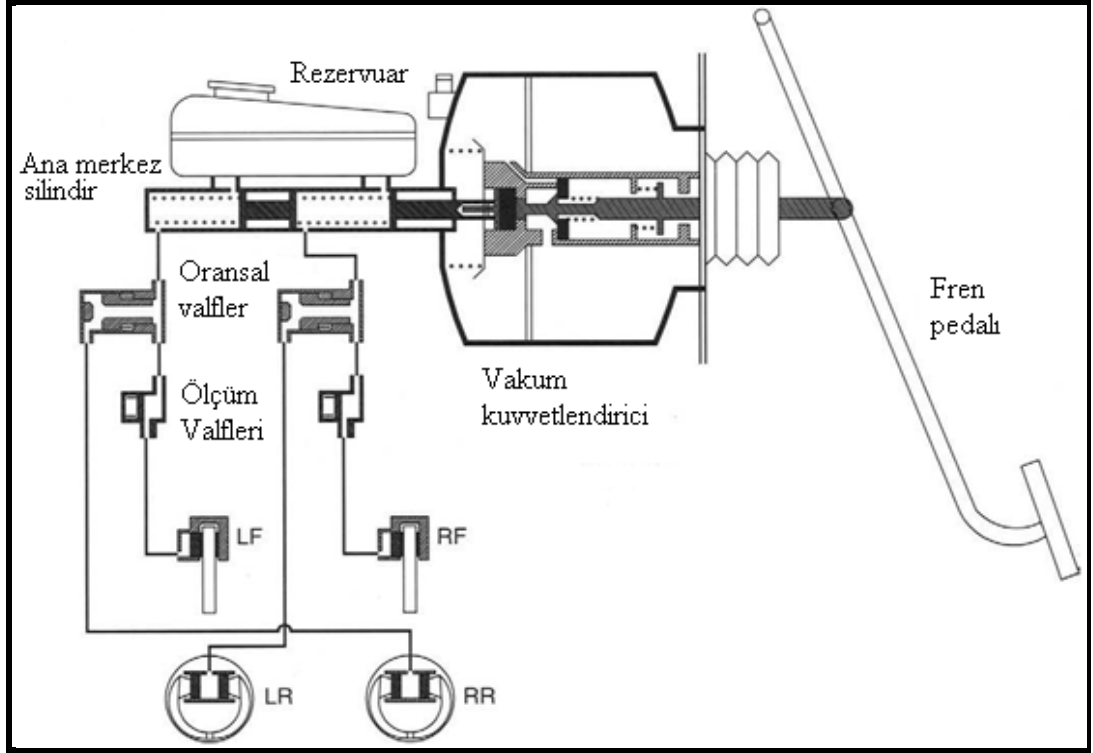
Motor haritası kullanarak yapılan modelde, motorun devri ve gaz pedalının konumu girdi olarak haritaya verilirken, çıktı olarak ise motor moment değeri elde edilmektedir. Bunun için, tamburdan elde edilen kuvvet değerleri tambur çapı, vites oranı, diferansiyel oranı ve gerekli verim değerleri ile bölünerek elde edilir. Bu değerleri kullanmadan tekerden elde edilen kuvvet değerleri de doğrudan kullanılabilir. Motor haritasına, negatif moment değerleri eklenmesi ile birlikte araca gaz girdisi olmadığı durumlarda motorun sürtünmeleri ve diğer etkenler nedeniyle oluşan yavaşlatma etkileri de modellenebilmektedir. Şekil 3.10’da aracın moment haritası görülmektedir. Testlerden elde edilen sonuçlar ile oluşturulan motor haritasındaki moment eksen değerleri araç sağlayıcısı firmanın gizlilik ilkeleri nedeniyle normalize edilerek yayınlanmaktadır.



Şekil 3.10 : Araç motor haritası.

3.7 Fren Sistemi Modeli

Aracın hızlanmasını sağlayan tahrik sistemi ile birlikte yavaşlamak ve durmak için gerekli olan fren sisteminin modelinin de çıkarılması gerekmektedir. Fren sistemleri, pedala sürücü tarafından uygulanan kuvveti, vakum yükseltici yardımı ile kuvvetlendirerek ana merkez silindrine aktarır. Bu silindir, hidrolik basıncını uygun oranlarda bölerek ön ve arka teker balatalarına giden hidrolik hattına aktarır. Basınçlandırılan hidrolik sıvısı, üzerindeki basıncı fren diskleri ve kampanalar içindeki balatalara iletir. Balatalar, hidrolik sıvısından aldıkları basınç ile fren diskleri üzerinde sürtünme kuvveti yaratarak araçları frenlemektedirler. Şekil 3.11’de fren sisteminin şeması görülmektedir.

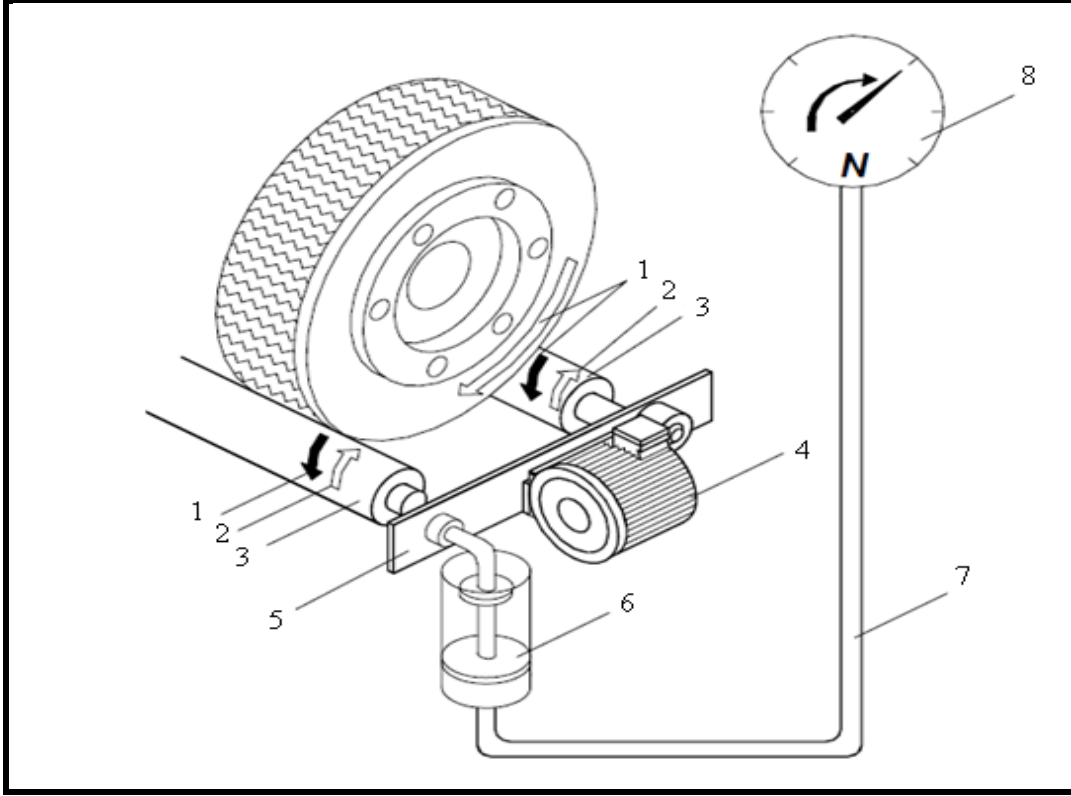


Şekil 3.11 : Fren sistemi şeması [31].

Şekil 3.11 fren sistemi içerisindeki karmaşık yapıyı göstermektedir. Bu karmaşık yapı, doğası gereği dinamik davranışında doğrusaldan sapmalar göstermektedir. Modellenmesi zaman alıcı ve zahmetli olan fren dinamiği modeli yerine fren sisteminin haritalarını çıkarmak hassas sonuçlar elde edilmesini ve modelleme zamanının azaltılmasını sağlamaktadır. Fren sistemi, verilerinden elde edilecek olan fren haritası tamburlu fren test cihazı yardımıyla yapılmaktadır. Şekil 3.12’de cihazın şeması görülmektedir. Düzenek üzerindeki bir numaralı ok fren momentini, iki numaralı ok döndürme momentini, üç numaralı ok tambur çiftini, dört numaralı ok şanzımanlı elektrik borusunu, beş numaralı ok moment kolunu, altı numaralı ok hidrolik kuvvet ölçüm kutusunu, yedi numaralı ok hidrolik borusunu ve sekiz numaralı ok fren kuvveti gösterge cihazını belirtmektedir [49].

Test için öncelikle aracın lastikleri, tamburlu cihazın üzerine çıkarılır. Cihaz üzerinde bulunan motorlar vasıtası ile lastikleri belli hız değerlerinde döndürmeye başlarlar. İstenilen hıza ulaşıldığında fren pedalına kuvvet uygulanarak cihazın motorları tarafından döndürülen tekerlerin durdurulması sağlanır. Bu işlem esnasında tamburlar üzerindeki kuvvet değerleri ölçülerek fren sisteminin uyguladığı kuvvet algılanır. Bu işlem, pedala uygulanan kuvvetler belli aralıklarla arttırılarak tekrarlanır. Bu sırada lastik kuvvetinin yanı sıra fren pedalına uygulanan kuvvet ve

ana merkez silindirindeki basınçlarda ölçülmektedir. Şekil 3.13’de araç fren test düzeneğinde görülmektedir.

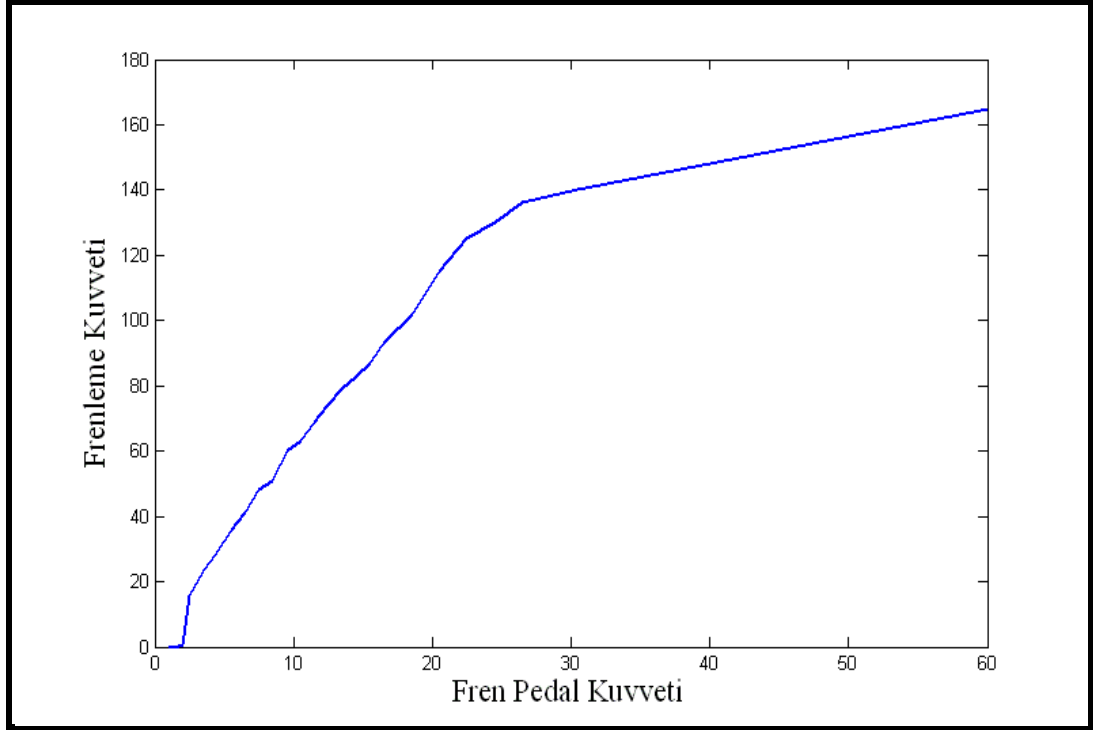


Şekil 3.12 : Fren test düzeneği [49].

Şekil 3.14’de fren sisteminden elde edilen veriler ile oluşturulan ve fren pedalına göre ana merkez silindirin basınç değişimini gösteren grafik görülmektedir. Sistemde belli miktarda ölü bölge bulunmaktadır. Belli bir basınca kadar fren pedalına uygulanan kuvvet ile ana merkez silindir basıncı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Vakum yükselticinin doyuma ulaşması ile bu eğrinin eğimi azalmaktadır.



Şekil 3.13 : Araç fren testinde iken.



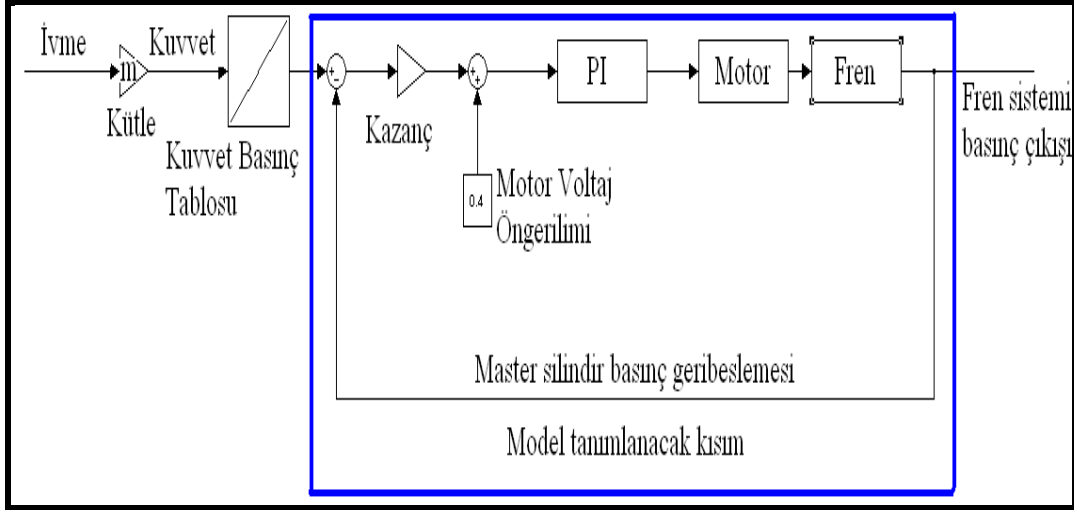
Şekil 3.14 : Ana merkez silindir basıncı ile fren pedal kuvveti grafiği.

Fren pedal kuvveti ile fren balatalarına etkiyen frenleme basıncı arasındaki grafik aynı eğilimi göstermektedir yalnızca ön ve arka tekerlere giden frenleme basıncının dağılımı ana merkezin basınç dağıtım oranına bağlı olarak değişmektedir.

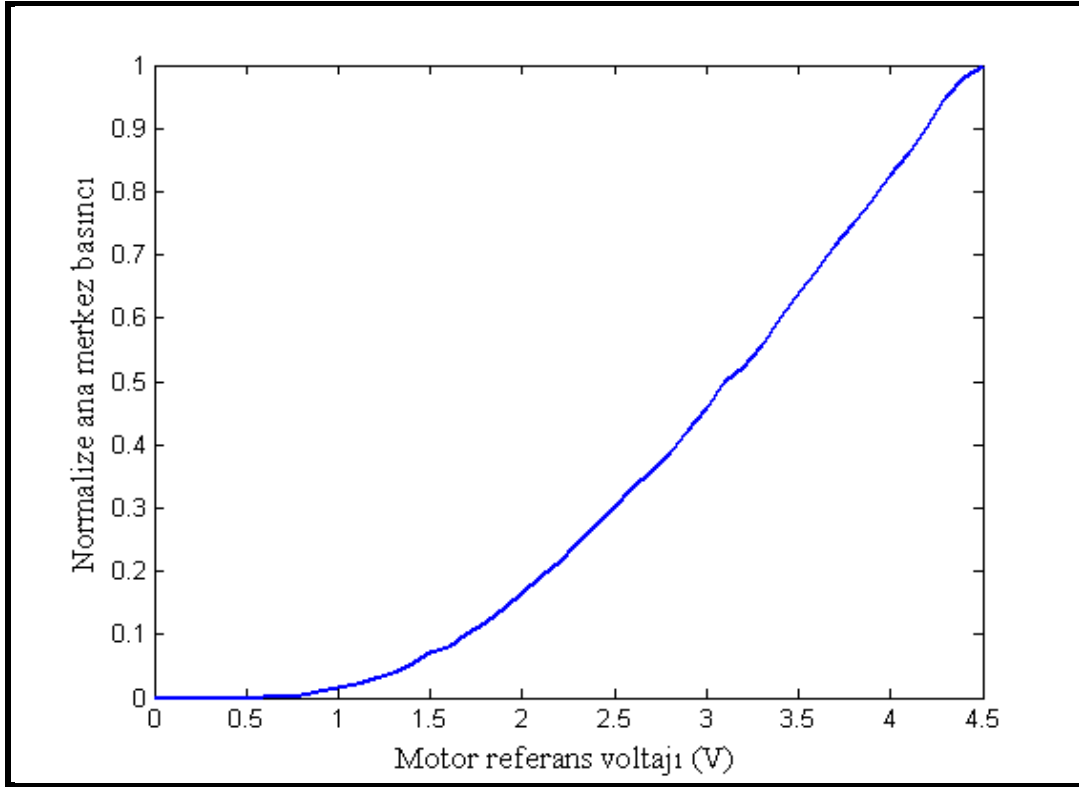
Fren sisteminin haritası elde edildikten sonra benzetimde kullanılmak üzere sistemin modelinin çıkarılması gerekmektedir. Daha önce anlatılan otonom frenleme sisteminin dinamikleri ile aracın fren hattının dinamikleri modelde bir arada temsil edilmelidir. Şekil 3.15’de görüldüğü üzere otonom fren sisteminin frenleme basınç girdisinden fren basınç çıkışına kadar olan kısmının sistem tanımlama yöntemleri ile modeli çıkarılmalıdır. Aracın frenlemesi için gerekli yavaşlama ivme referansı, aracın kütlesi ile çarpılarak gereken frenleme kuvveti Newton’un ikinci yasasına göre elde edilmektedir.

$$F = ma \quad (3.45)$$

Bu kuvvet değeri, fren haritasından geçirilerek gerekli frenleme basınç değeri elde edilmiş olur. Motorun istenilen basınç değerini verecek kadar fren pedalına ne kadar müdahale edeceğini saptamak için motora verilen referans voltajı ile aracın CAN hattından okunan ana merkez basınç değerleri elde edilir. Şekil 3.16’da elde edilen bu grafik görülmektedir.



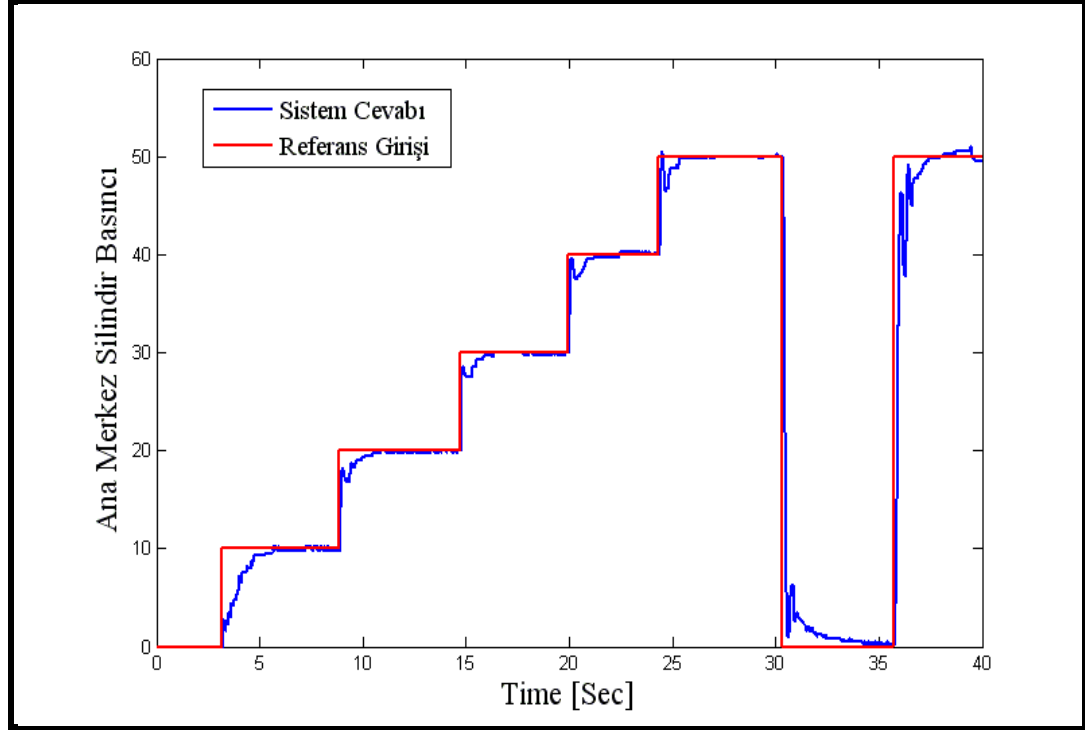
Şekil 3.15 : Otonom frenleme bloğu.



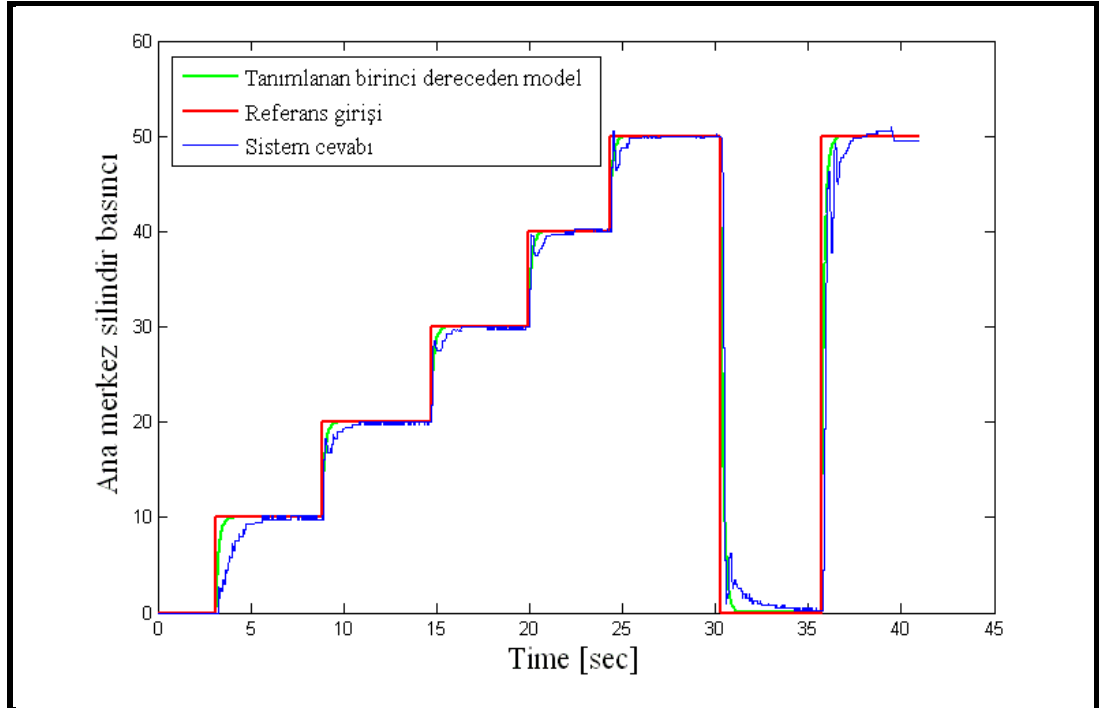
Şekil 3.16 : Ana merkez silindir basıncı ile motor voltaj grafiği.

Bu grafiğe göre, ana merkez silindir basıncı ile motor referans voltajı arasında neredeyse doğrusal bir ilişki vardır. Bu eğrinin eğimi kullanılmak sureti ile basınçtan motor için gerekli olan voltaj değerine geçiş yapılabilir. Fren sistemine manüel basınç değerleri verilerek, sistemin buna karşılık ürettiği basınç değerleri Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, sisteme verilen girişler karşısında alınan cevapların dinamiğinde doğrusal olmayan dinamiklerin mevcut olduğu

görülmektedir. Sistemin verdiği cevap doğrusal olmayan etkiler içerse de genelde birinci dereceden sistem davranışına benzer cevaplar vermektedir. Bunun yanında sistemin belli bir gecikme değerine de sahip olduğu görülür.



Şekil 3.17 : Otonom fren sistemi manuel referans girişi ve cevabı.



Şekil 3.18 : Tanımlanmış model cevabı.

Bu değerler ile MATLAB programının System Identification araç kutusu yardımıyla sistemin transfer fonksiyonu elde edilebilmektedir. Grafik için yapılan incelemeler doğrultusunda tanımlanacak modelin birinci derece ve ölü zaman içerecek şekilde seçilmesi uygundur. Sonuç olarak, birinci, ikinci, üçüncü dereceden modellerde denenerek yapılan tanımlama işlemlerinde birinci dereceden sistemin hem basit hem de yüksek dereceden modeller ile aynı seviyede sistemi tanımlayabildiği görölmüşür. Şekil 3.18’de tanımlanan modelin cevabı görölmektedir.

Tanımlanan birinci dereceden gecikmeli modelin transfer fonksiyonu şöyledir.

$$G_{fren} = \frac{1}{0.15211s + 1} e^{-0.086486s} \quad (3.46)$$

4. CACC KONTROL ALGORİTMASI

Yolların kapasitelerini arttırmak ve trafik sıkışıklığı gibi birçok problemi çözmek için en iyi yol, taşıtların kısa izleme mesafelerinde konvoy halinde seyir edebilmelerini sağlamaktır. Adaptif seyir sistemleri (ACC), radar ya da lidar benzeri tarayıcı algılayıcılar vasıtası ile araçların önlerini tarayarak gerekli bilgileri alırlar. Bu bilgiler konum ve hız bilgileri olmaktadır. Konum ve hız bilgileri ile öndeki aracın hızını takip edebilmekte ve bununla beraber istenen izleme mesafesinde takip yapılabilmektedir. ACC sisteminde bulunan kısıtlar nedeniyle bazı durumlarda yeterli performans sağlanamamaktadır. Bu nedenle, ortaya yeni bir teknoloji olan Kooperatif Adaptif Seyir Kontrolcüsü (CACC) çıkmıştır. Bu bölüm ACC sistemi hakkında bilgiler verip, CACC sisteminin bu teknolojiye getirdiği üstünlükler ve yenilikler anlatılacaktır. Bununla beraber CACC benzetim sonuçları ve GCDC yarışında elde edilen verilerin yorumları yapılacaktır.

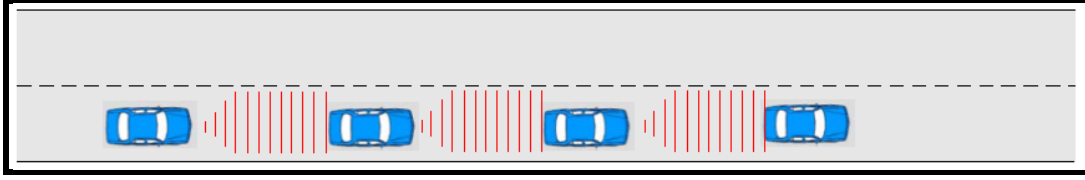
4.1 Adaptif Seyir Kontrolcüsü (ACC)

Adaptif seyir kontrolcüsü (ACC), standart seyir kontrolcü sistemlerinin ilerletilmiş halidir. ACC sisteminde geleneksel seyir kontrol sistemlerinden farklı olarak önde bir araç olduğu durumlarda izleyen taşıt kendi hızını öndeki araca göre uyarlamakta ve sürücü tarafından belirlenen izleme mesafesi ile takip yapmaktadır. ACC sistemleri ile donatılmış araçlar, seyir halinde iken genel olarak şu durumlarla karşılaşılır:

Birinci durumda, aracın önünde başka bir aracın olmaması durumunda, standart seyir kontrol sistemlerinde bulunan önceden ayarlanmış hız değerini takip ederler.

İkinci durumda ise ne zaman ki önlerinde bir araç olduğu verisi tarayıcı tarafından algılanırsa, ACC devreye girerek öndeki aracın hız ve konum bilgisine göre izleyen aracı uygun izleme mesafesinde takip eder ve öndeki aracın hızını izleyecek şekilde kontrol eder.

Şekil 4.1'deki gibi ACC sistemi, araçlar arası izleme mesafesinin hesaplanan değerden az olması durumunda sisteme frenleme yaptırmaktadır.



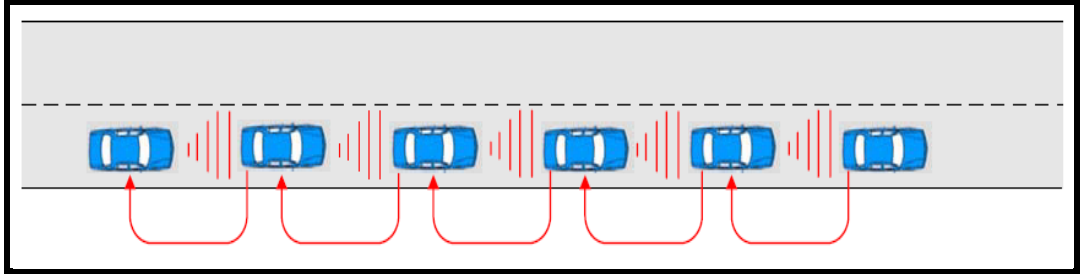
Şekil 4.1 : ACC ile donatılmış araç konvoyu [50].

Frenleme belli seviyeyi aştığında ACC sistemi sürücüyü uyarmaktadır. ACC, sürücü tarafından gaz veya fren pedalına basılması ile devre dışı bırakılabilir. Taşıt pazarındaki ACC teknolojisi trafik hızının 40 km/saat den daha fazla hızla aktığı durumlarda devreye girebilmektedirler [50]. Bu yüzden dur ve kalk teknolojisine sahip araçlar üreilmeye çalışılmaktadır ancak hali hazırda bu tip sistemler pazara çıkmış durumda değildir.

Son zamanlarda ortaya çıkan taşıttan taşıta iletişim sistemleri ile ACC donanımlı araçların gereksinim duyduğu veriler taşıt üzerindeki algılayıcılar ile değil de doğrudan öndeki araçların bu verileri yayınlaması ile elde edilmektedir. İşte bu taşıtlar arası iletişim sisteminin ortaya çıkması kooperatif adaptif seyir sistemlerini doğurmuştur.

4.2 Kooperatif Adaptif Seyir Kontrolcüsü (CACC)

Taşıttan taşıta iletişim sistemlerinin trafik akışını, güvenliğini ve sürücü konforunu iletirmek açısından seyir kontrol sistemlerine önemli bir ivme kazandırmıştır. Bu sistem ile taşıtlar seyir kontrolü için gerekli konum ve hız verilerinin yanında diğer önemli verileri de alabilme imkânına kavuşurlar (Bkz. Ek C). Konum ve hız verilerinden başka ivme verisinin de elde edilebilir olması konvoy kararlılığını arttırmada yardımcı olmaktadır. Bu veriler sadece takip halindeki aracın hemen önündeki araçtan değil de, konvoy üzerindeki diğer araçlardan da elde edilir. Yol üzerindeki diğer şeritlerde seyir eden araçlarında bilgilerine ulaşılabilmesi ile şerit değiştirme, kavşaklarda ani karşılaşma, araçlarda hatalı durumların oluşması vb. gibi durumlarda trafik akışı ve güvenliği üst seviyelere çıkmaktadır. Şekil 4.2’de CACC donanımlı araçların oluşturduğu konvoy görülmektedir. ACC teknolojisinde kullanılan ortam tarayıcılarının menzilleri 100 metre civarındadır. Oysaki CACC teknolojisinde bu bilgiler modemler vasıtası ile çok daha geniş menzillerde her bir araca yayınlanabilmektedir. Öndeki aracın konum ve hız bilgisi radar veya lidar gibi algılayıcılar ile elde edildiği takdirde verilerin üzerinde gürültü oluşmaktadır.



Şekil 4.2 : CACC ile donatılmış araç konvoyu [50].

Algılayıcı sinyallerinin uçuş süresi, sinyal iletimi ve sinyalin işlenmesi sürecinde oluşan gecikmelerde ACC teknolojisinin öndeki aracın hızlanma ve yavaşlama gibi eylemlerine daha geç tepki vermesine neden olmaktadır. CACC teknolojisinde ise, gelen veriler iletişim sistemi üzerinden sağlandığından daha temiz ve daha hızlı aktarılmaktadır.

Takip mesafesi, izleyen aracın hızı ile takip zamanı katsayısının çarpımı ile elde edilmektedir [51].

$$d_{takip} = v_i \times t_{takip\ zamanı} \quad (4.1)$$

Bu formüle göre, izleyen aracın hızı ile doğru orantılı olarak izleme mesafesi de artmakta ya da azalmaktadır. Takip zamanı değerleri ACC donanımlı araçlarda 1 ila 2 saniye değerleri arasında değişirken, CACC ile donatılan araçlarda bu değer 0,6 saniye olarak GCDC yarışmasında başarıyla denenmiştir ve hedefi de 0,5 saniyedir [50].

4.3 Otonom Taşıt Takip Kontrol Yapıları

ACC ve CACC ile donatılmış araçlar benzer kontrol yöntemlerine sahiptirler. Aralarındaki fark ise ACC teknolojisine sahip araçların gerekli verileri taşıt üzerindeki tarayıcıdan alıyor olması, CACC ile donatılan araçların ise bu bilgileri kablosuz modemler aracılığıyla alıyor olmasıdır. CACC donanımlı araç konum ve hız verilerinin yanında ivme verilerine de ulaşabilmektedir.

Otonom kontrol yapısı genel itibari ile üst ve alt seviye kontrolcü olmak üzere iki farklı katmandan oluşur. Üst seviye kontrolde, çeşitli kontrol yapıları kullanılarak aracın önündeki aracı uygun konum ve hızda takip edebilmesi için gereken ivme değeri hesaplanmaktadır. Hesaplanan ivme değeri alt seviye kontrolcüye

gönderilerek burada gerekli motor gücü veya fren kuvveti değerleri hesaplanır [52, 53].

Otonom taşıt takip kontrolcü yapısı için çok çeşitli kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan en temel sayılabilecek kontrolcü yapısı PD ve PI tip kontrolcü yapısıdır. PD ve PI kontrol yapıları, bağıl konum ve bağıl hız verilerini oransal ve türev ya da entegral katsayıları ile çarparak gereken ivme işaretini üreten kontrol yapılarıdır. Bunun yanında, öncü aracın ivme sinyalinin kullanılması ile de takip edilen araç için arzu edilen ivme referansı oluşturulmaktadır [3, 34, 35, 50, 54]. Gene aynı verileri kullanarak oluşturulmuş bir diğer kontrol yapısı da sabit zaman aralığı olarak adlandırılan yöntemdir [45, 55-58]. Bir diğer yöntem ise kontrol işareti ile eyleyici kapasitesi arasında en uygun değerlere göre tasarım yapan LQR kontrolcü yapısıdır [51-53, 59-61]. Bunların dışında kayma tip kontrol ve model kestirimi yapan kontrol yöntemleri de literatürde mevcuttur.

4.4 Alt Seviye Kontrolcü Tasarımı

Alt seviye kontrolcü, üst seviye kontrolcünden gelen ivme referansından hızlanma ya da yavaşlama kuvvetini elde edip fren yada gaz sistemlerini harekete geçirmektedir (Bkz. Ek D). Motor ve fren için gereken kuvvet Newton'un ikinci hareket yasasına göre aracın kütlesi ile ivmesinin çarpımı yardımı ile bulunur.

Önceki bölümlerde anlatılan motor tablosu, motorun ürettiği moment değerine göre değil de doğrudan lastikler üzerine aktardığı kuvvete göre hazırlandığından gereken kuvvet değeri aracın aktarma organlarındaki kayıplara bakılmaksızın doğrudan kullanılmıştır. Bunun için, testler aracın üçüncü vitesinde yapıldığı için üçüncü vites de seyir halinde iken motor tablosundan alınan kuvvet değerlerini vites çevrim oranının 1 olduğu düşünülerek doğrudan kullanılmalıdır. Birinci, ikinci, dördüncü ve beşinci vitesler için bu viteslerdeki vites oranları, üçüncü vitesin vites oranı ile bölünerek hesaba katılmalıdır. Şöyle ki, aracın vites aktarma oranları Çizelge 4.1'de gösterildiği gibidir. Çizelge 4.1'de verilen vites oranı değerleri üçüncü vitesin vites oranına bölündüğü takdirde araç üçüncü vites de iken, lastiklerinden alınan kuvvet değeri tablodan çıkan kuvvet değeri ile aynı olur yani deneyden elde edilen kuvvet değeridir. Aracın vitesi üçüncü vitesten başka viteslere geçtiği takdirde o vitesin oranları, üçüncü vitesin oranına bölünüp, tablodan elde edilen kuvvet değeri ile çarpılır böylece düzeltilmiş vites değerleri ile kuvvet tablosu kullanılmış olur.

Böylelikle, üçüncü vites için yapılan deneysel kuvvet verileri doğru bir şekilde diğer vites oranlarına da aktarılır.

Çizelge 4.1 : Vites oranları ve düzeltilmiş vites oranları.

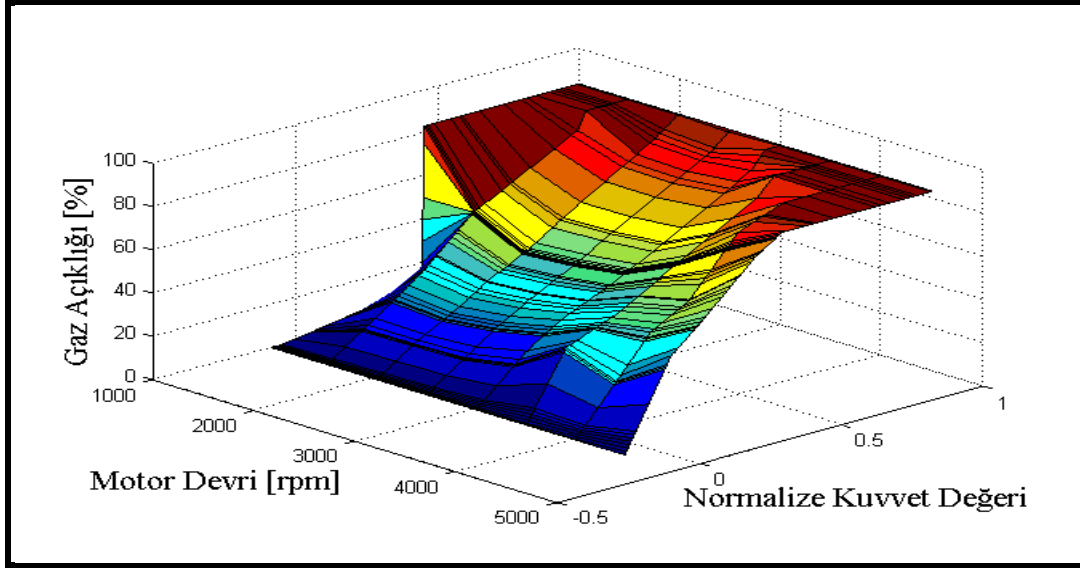
Vites Değeri	Vites Oranı	Düzeltilmiş Vites Oranı
1	4,273	4,273/1,444= 2,9591
2	2,238	2,238/1,444= 1,5499
3	1,444	1,444/1,444=1
4	1,029	1,029/1,444=0,7126
5	0,767	0,767/1,444= 0,5312

Burada, her bir vites seviyesinin aktarma verimi değerlerinin aynı olduğu kabul edilmektedir. Pratikte bu değerler birbirlerine çok yakındırlar.

Motor tablosu iki farklı girişe sahiptir. Bunlardan ilki motorun devri değeri ise sürücünün gaz pedalına basma oranıdır. Motor devri, aracın hızına ve vites oranına bağlı olarak elde edilebilir. Gaz pedal oranı ise motorun belirli devirde hangi kuvvet için hangi miktarda gaz girişine ihtiyaç duyduğunun bilinmesine bağlıdır. Bunu sağlamanın yolu motorun ters kuvvet haritasının oluşturulmasıdır. Motor haritasına iç değerlendirme yöntemi uygulanarak motorun ters haritası elde edilebilir [62]. Tablonun oluşturulmasında ilk adım tüm motor devirlerinin bir eksene ve diğer tüm kuvvet değerlerinin de diğer bir eksene yazılmasıdır. Bu değerlere karşılık gelen gaz açıklık oranları da hangi kuvvet ve devir değerine karşılık geliyorsa o noktalara yerleştirilir. Değerler tabloya yerleştirildikten sonra fark edileceği üzere son tabloda her kuvvet değerine karşılık bir gaz açıklığı değeri bulunmamaktadır. Bu noktada iç değerlendirme yöntemi ile bu gaz açıklıkları da doldurulmalıdır. Diyelim ki aynı devir üzerinde iki adet kuvvet değerine (F_1, F_2), iki adet gaz açıklığı tam olarak denk gelsin (θ_1, θ_2), eğer ki bu iki kuvvet değeri arasında bir F_3 kuvveti varsa bu kuvvete karşılık gelecek gaz açıklığı (θ_3),

$$\theta_3 = \frac{F_3 - F_1}{F_2 - F_1} \times (\theta_2 - \theta_1) + \theta_1 \quad (4.2)$$

formülü ile bulunur. Böylelikle tüm ara kuvvet ve motor devri değerlerine karşılık gelen gaz oranları belirlenmiş olmaktadır. Gaz oranları, benzetim ortamında motor düz kuvvet tablosuna, araçta ise gaz sinyal voltajına çevrilmelidir. İşlemler gerçekleştirildikten sonra elde edilen ters kuvvet haritası Şekil 4.3’de görülmektedir.

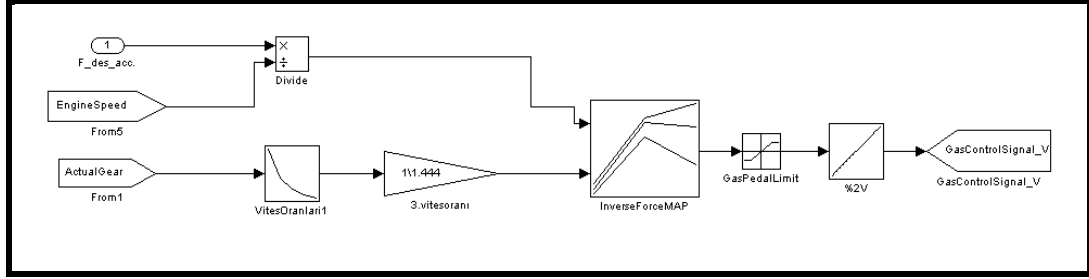


Şekil 4.3 : Ters motor tablosu.

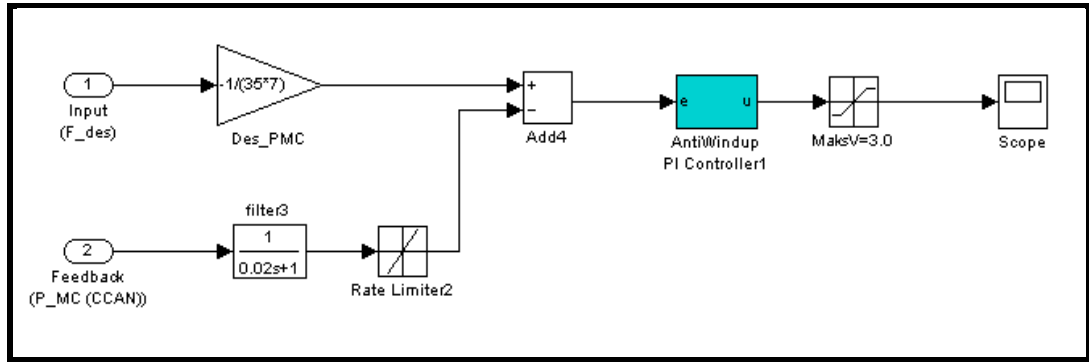
Harita üzerindeki kuvvet eksen değerleri destekleyici firmanın gizlilik ilkeleri nedeniyle normalize edilerek yayınlanmaktadır. Haritanın dikey eksenini gaz açıklık oranı, yatay eksenleri ise devir ve kuvvet değerlerini gösterir. Gaz oranı benzetimler için kullanılabilir bir değerdir ancak araç için bu gaz oranı değerinin aracın gaz voltaj değerine göre oranlanıp MABX kontrolör çıkışından aracın gaz pedalı girişine beslenmesi gerekmektedir. Bunun için, gaz pedalının %0 ile %100 gaz açıklık oranı, aracın gaz besleme voltajı olan 0,5 volt ile 2 volt değerlerine oranlanmalıdır. %0 ile %100 gaz açıklığı oranı 0 volt ile 1,5 volt arasında çıkış sağlayacak şekilde bir katsayı ile çarpılıp sonuca 0,5 volt bias eklenmesi ile çıkışta istenen gaz sinyali elde edilebilmektedir.

Frenleme için gereken kuvvetin belirlenmesi motor için yapılan yöntemin bir benzeri olmaktadır. Frenleme ivme isteği üst kontrolcü tarafından hesaplanarak alt seviye kontrolcüye gönderilir. Alt seviye kontrolcünde bu frenleme ivmesi Newton'un ikinci yasasına göre aracın kütlesi ile çarpılarak gereken kuvvet değerine çevrilebilmektedir. Bu kuvvet değeri fren testlerinden elde edilen tablo yardımıyla ana merkez silindir basıncına çevrilmektedir. Tablodaki fren kuvveti grafiğinin doğrusal olması sebebiyle tablo yerine, tablonun eğimi ile kuvvet değeri çarpılarak istenen ana merkez basıncıda bulunabilir. Aracın CAN hattından gelen ana merkez silindir basıncı geri besleme yapılarak uygun hata işareti üretilip kontrolcüye gönderilmektedir. Kontrolcünün çıkışı, voltaj sinyali olarak motora 1,3 voltluk bias eklenerek gönderilmektedir ki bu bias değeri motoru sıfır konuma götürür. Motora giden sinyal 3 voltluk doyum bloğu ile kısıtlanarak aşırı frenleme yapılması

önlenmiştir. Böylece frenleme alt seviye kontrolcüsü de tamamlanmış olmaktadır. Şekil 4.4’de ve Şekil 4.5’de sırasıyla gaz ve fren alt seviye kontrolcü blokları görülmektedir.



Şekil 4.4 : Alt seviye gaz kontrolcüsü.



Şekil 4.5 : Alt seviye fren kontrolcüsü.

4.5 Üst Seviye Kontrolcü Tasarımı

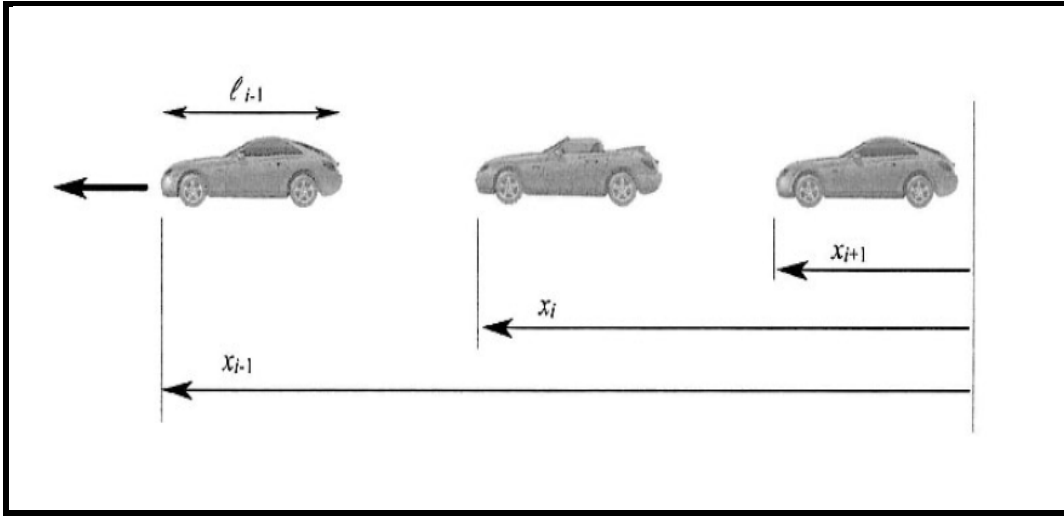
Üst seviye kontrolcü, öndeki taşıtı izlemek için gerekli ivme sinyalini üretmektedir. Bu ivme sinyali, öndeki aracın ve izleyen aracın konum, hız ve ivme bilgileri ile hesaplanarak alt seviye kontrolcüye gönderilir (Bkz. Ek E).

Öndeki aracı izlemek için çeşitli kontrolcü yapıları kullanılmaktadır. Bunlar daha öncede bahsedildiği üzere sabit zaman aralığı kontrolcü yapısı [45], konvansiyonel kontrolcü yapısı [50] ve LQR kontrolcü yapısıdır [51, 59, 61].

4.5.1 Sabit zaman aralığı kontrolcü tasarımı

SZA kontrolcüsü hem taşıtın kendi karalılığını hem de bu taşıtların oluşturduğu konvoyun kararlılığını sağlayabilmektedir. SZA kontrolünde araçlar arasındaki mesafe izleyen aracın hızı ile takip zaman katsayısı çarpılmak sureti ile bulunur. Böylelikle artan konvoy hızlarında taşıtlar arası mesafede artarak yeterli frenleme

mesafesinde izleme yapılmış olur. Şekil 4.6'da konvoy halinde ilerleyen taşıtlar görülmektedir.



Şekil 4.6 : Konvoy halinde seyir [45].

Üst seviye kontrolcü için araçlar arası mesafe şu şekilde tanımlanır,

$$\varepsilon_i = x_i - x_{i-1} + l_{i-1} \quad (4.3)$$

Burada,

x_i ve x_{i-1} sırasıyla takip eden ve öncü araçlardır.

l_{i-1} önde seyir eden aracın üzerindeki GPS anteninin konumu ile aracın arka tamponu arasındaki mesafedir.

Taşıtlar arası mesafe hatası ise şu şekilde,

$$\tau_i = x_i - x_{i-1} + l_{i-1} + d_{takip} + d_{sabit} \quad (4.4)$$

tanımlanmaktadır. Burada d_{takip} arzu edilen hıza bağlı taşıtlar arası mesafedir ve şu şekilde,

$$d_{takip} = v_i \times t_{takip \text{ zamanı}} \quad (4.5)$$

ifade edilebilir. d_{sabit} , sürekli durumda taşıtlar arasındaki güvenli izleme mesafesidir. Daha önce de bahsedildiği üzere arka araç hızının sabit bir zaman değeri

ile çarpılması sonucu izleme mesafesi elde edilmektedir. Bu izleme zamanı, ACC donanımlı araçlar için 1 saniye ila 2 saniye arasında değerler alabilirken, CACC donanımlı araçlar için 0,5 saniyeye kadar indirilebilir [50]. Sürekli halde takip eden aracın hızı 30 metre/s olduğu durumda, takip zamanı 0,6 saniye ise iki araç arasındaki takip mesafesi de 18 metre olacaktır.

SZA kontrolcüsü için önerilen kontrol kuralı,

$$a_i = -\frac{1}{t_{tz}} (\dot{\epsilon}_i + \lambda \tau_i) \quad (4.6)$$

olarak tanımlanmaktadır [56]. Burada $\dot{\epsilon}_i$ ifadesi araçlar arasındaki hız hatasını belirtmektedir. İki araç arasındaki mesafe hatası (τ_i) ise bir λ katsayısı ile çarpılarak konum hata sinyali hassas olarak ayarlanabilmektedir. λ katsayısının sıfırdan büyük değerleri için taşıtlar arası mesafe hatası τ_i sıfıra yaklaşmaktadır.

Bu kontrol kuralı ACC donanımlı araçlar için tasarlanmıştır. ACC araçların konum ve hız sinyallerini kullanılabilmesi yüzünden öncü aracın ivmesi ile ilgili herhangi bir kontrol ifadesi bulunmamaktadır. CACC donanımlı araçların ivme bilgisine de ulaşabilmesi bize bu kontrol yapısına öndeki aracın ivme sinyalini de besleyebilme imkânı sunmaktadır.

İvme sinyalinin de beslenmesi ile sabit zaman aralığı kontrolcüsü,

$$a_i = -\frac{1}{t_{tz}} (\dot{\epsilon}_i + \lambda \tau_i) + K_{ivme} * a_{i-1} \quad (4.7)$$

olarak tanımlanmaktadır. a_{i-1} ifadesi öncü araçtan gelen ivme bilgisini temsil etmektedir. İvme verisi takip eden aracın ivme verisi ile geri besleme yapılmadan sisteme beslendiğinden K_{ivme} ile çarpılarak öncü aracın ivme verisinin hata sinyali üzerindeki etkisi de oranlanmış olacaktır.

4.5.2 Konvansiyonel kontrolcü tasarımı

Bir diğer kontrolcü yöntemi de konvansiyonel kontrol yöntemidir. Bu kontrol yapısında konum, hız ve ivme bilgileri belli katsayılar ile çarpılarak öncü aracı takip edebilmek için gerekli ivme değeri hesaplanmaktadır. Bu kontrolcü yönteminde konum, hız ve ivme verileri kazanç katsayıları ile çarpılmaktadır. Hangi hata

değerine daha fazla önem verileceğine göre uygun katsayı değerleri ayarlanabilir. Konvansiyonel kontrolcü yapısında öncü aracı takip için gereken ivme değeri şu matematiksel ifade aracılığıyla:

$$a_i = K_{ivme}a_{i-1} + K_{konum}(x_{i-1} - d_{takip} - l_{i-1} - d_{sabit}) + K_{hiz}(v_{i-1} - v_i) \quad (4.8)$$

tanımlanmaktadır [50]. Bu ifade içinde geçen terimler şunlardır:

- K_{ivme} , öncü araç ivmesi kazanç katsayısıdır.
- K_{konum} , konum hata katsayısıdır.
- K_{hiz} , hız hata katsayısıdır.

Konum ve hız hatası geri besleme yapılırken, öncü araç ivmesi ileri besleme ile sisteme beslenmektedir. Bu yüzden ivme katsayısı genellikle 1 alınır [50]. İvme katsayısı geri beslemesiz olduğundan bu değeri 1'in üzerinde almak takip mesafesi hatasını arttırabilecek sonuçlar ortaya çıkarabilmektedir.

4.5.3 Lineer optimal kontrolcü tasarımı

Taşıt izleme için kullanılan lineer en uygun kontrolcü tasarımı için oluşturulan durum uzayı modeli şu şekilde,

$$\dot{x} = Ax + Bu + \Gamma w \quad (4.9)$$

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} a_{i-1} \quad (4.10)$$

yazılabilir [61]. Bu ifadedeki durum ve giriş matrisleri şöyle,

$$x = \begin{bmatrix} (d_{takip} + d_{sabit}) - (x_{i-1} - x_i - l_{i-1}) \\ v_{i-1} - v_i \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

tanımlanmaktadır. Durum matrisinin birinci satırındaki $d_{takip} + d_{sabit}$ ifadesi taşıtların sağlaması gerekli mesafedir. $x_{i-1} - x_i - l_{i-1}$ ifadesi ise taşıtlar arasındaki gerçek mesafedir. Bu iki değer arasındaki fark konum hatasını oluşturmaktadır. $v_{i-1} - v_i$ ifadesi öncü ve takip halindeki araçların birbirleri arasındaki hız farkını

ifade etmektedir. Durum geri besleme kontrolcü tasarımı izleme mesafe hatasını ve hız hatasını en küçültecek şekilde oluşturulmalıdır. u sisteme verilen referans ivmedir ve $u = -K_{lqr}x$ olarak tanımlanır ve LQR kontrolcü için maliyet fonksiyonunu en küçükleştirecek şekilde seçilmelidir. Maliyet fonksiyonu şu şekilde,

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (4.12)$$

ifade edilir. Q ve R matrisleri şöyle,

$$Q = \begin{bmatrix} \partial_1 & 0 \\ 0 & \partial_2 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$R = r \quad (4.14)$$

tanımlanmaktadır [63]. Q matrisi içindeki ∂_1 ve ∂_2 katsayıları araçlar arasındaki izleme mesafesi ile hız hataları arasında bağlı önemi belirlerken, R matrisi enerji tüketimini belirlemeye yarar. Yani bu katsayıların uygun değerlerde seçimi sürüş konforu ve performans arasında mübadele yapmayı sağlar. Takip halindeki araç için gerekli ivme referansını bulmak için maliyet fonksiyonun çözülmesi gereklidir. Ricatti'nin indirgenmiş matris eşitliği şu şekilde,

$$A^T P + P A - P B R^{-1} B^T P + Q = 0 \quad (4.15)$$

ifade edilir. Bu eşitlikten pozitif tanımlı Hermitian matrisi P çözümlenebilir. Kazanç matrisi K , şu eşitlik,

$$K = R^{-1} B^T P \quad (4.16)$$

ile ifade edilir. Ricatti'nin indirgenmiş matris eşitliğinden çekilen P matrisi kazanç ifadesinde yerine yazılırsa araçlar arası takip için gereken ivme referans sinyalinin konum ve hız hata kazanç katsayıları bulunmuş olur.

Son olarak kontrol sinyali yazılırsa eğer,

$$u = a_{i-1} = k_1((d_{takip} + d_{sabit}) - (x_{i-1} - x_i - l_{i-1})) + k_2(v_{i-1} - v_i) + a_{i-1} \quad (4.17)$$

olarak ifade edilebilir. Öndeki aracın ivmesi LQR parametrelerinin hesabında dikkate alınmamaktadır sadece ileri besleme yapılarak LQR kontrolcüsünün hesapladığı ivme referans değerinin üzerine eklenmektedir. Parametreleri hassas olarak ayarlayabilmenin kolaylığı nedeniyle lineer optimal kontrolcü yapısı yarış esnasında kullanılmıştır.

4.5.4 İvme referansının sınırlandırılması

Hesaplanan ivme referansı bazı durumlarda izleyen aracı aşırı hızlanma ve yavaşlamaya maruz bırakabilmektedir. Bazı çalışmalarda taşıtın içinde bulunan yolcular için yavaşlama ivmesinin 2,5 metre/s² olması konforlu yolculuk için ideal değer olarak belirtilmiştir [51]. GCDC yarışması için bu sınırlar +2 metre/s² ile -4,5 metre/s² arasında değişmektedir. Bunu sağlamak için kontrolcüden alınan ivme referansının hemen önüne bir doyum bloğu konulur. Bu doyum bloğu sayesinde sınırların dışında bir ivme referansı üretilse dahi limit noktalarındaki değerlerin üstünde ivme referansı sisteme beslenemeyecektir.

5. BENZETİM, TEST VE YARIŞMA SONUÇLARI

GCDC yarışmasında kullanılacak araç için oluşturulan model yardımıyla kontrolcü yapıları benzetim ile bilgisayar ortamında test edilmiştir. Bilgisayar ortamında performansı istenilen düzeye getirilen kontrolcü araç üzerinde denenmiştir. Yarışta kullanılan kontrolcü zaman yetersizliği yüzünden pek fazla geliştirilememiştir. Bu bölümde benzetim ve yarışta elde edilen sonuçlar verilip performansları karşılaştırılacaktır. Son olarak da yarıştan sonra yapılan yol testleri ile performansı geliştirilen kontrolcü ile elde edilen sonuçlar verilecektir.

5.1 Benzetim Sonuçları

Benzetim sonuçları, daha önce anlatılanlar ışığında oluşturulan üç ayrı kontrolcü yapısının sonuçlarını içermektedir. Simülasyonlarda takip zamanı yarış için hedeflenen değer olan 0,6 saniye alınmıştır. Simülasyonlarda, yarışma esnasında GCDC aracının, yarışmacı araçlara bozucu etki olarak uyguladığı hız profili kullanılmıştır. Benzetim sonuçları öncelikle CACC aracı için yapılacak sonrasında ise ACC teknolojisi ile konvoy kararlılığı karşılaştırılacaktır.

Bu bölümde kullanılan modelde CACC araçlar için haberleşme gecikme zamanı 20 milisaniye, ACC araçlar için ise 500 milisaniye değerlerinde alınmıştır [50, 64].

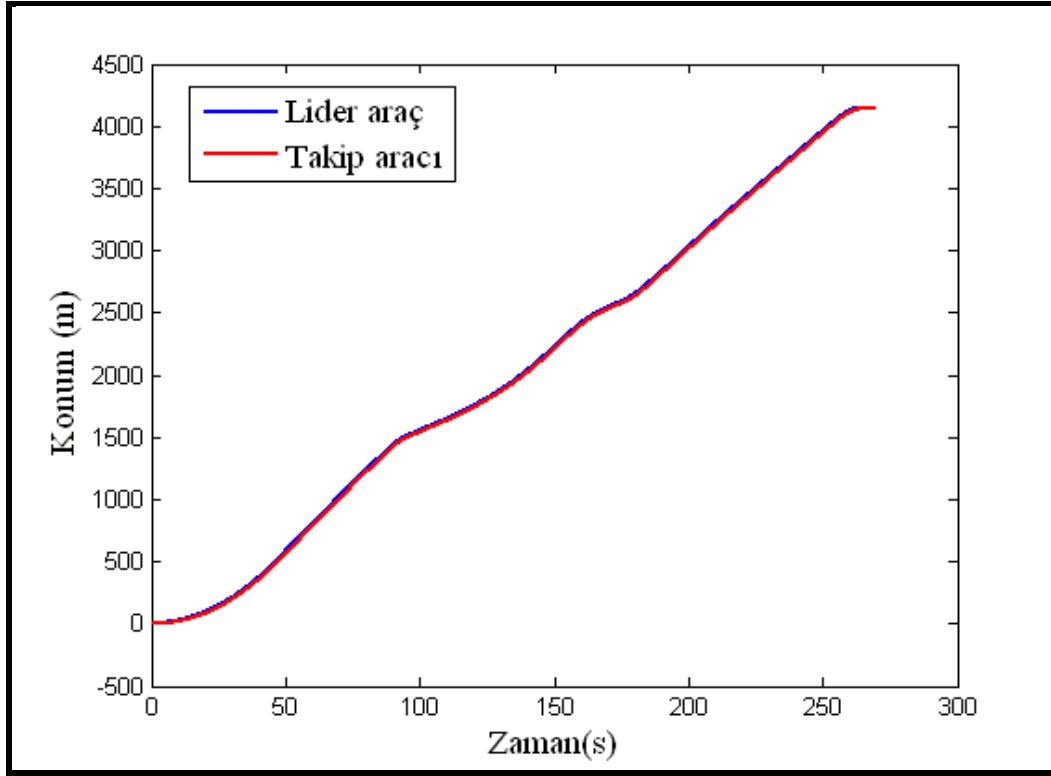
5.1.1 Sabit zaman aralığı kontrolcüsü benzetim sonuçları

SZA kontrolcüsü için konum hatasını oranlayan katsayı $\lambda = 0,6$ alınmıştır. Bu değer için elde edilen konum, hız, takip mesafesi ve ivme sonuçları sırasıyla Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 görülmektedir.

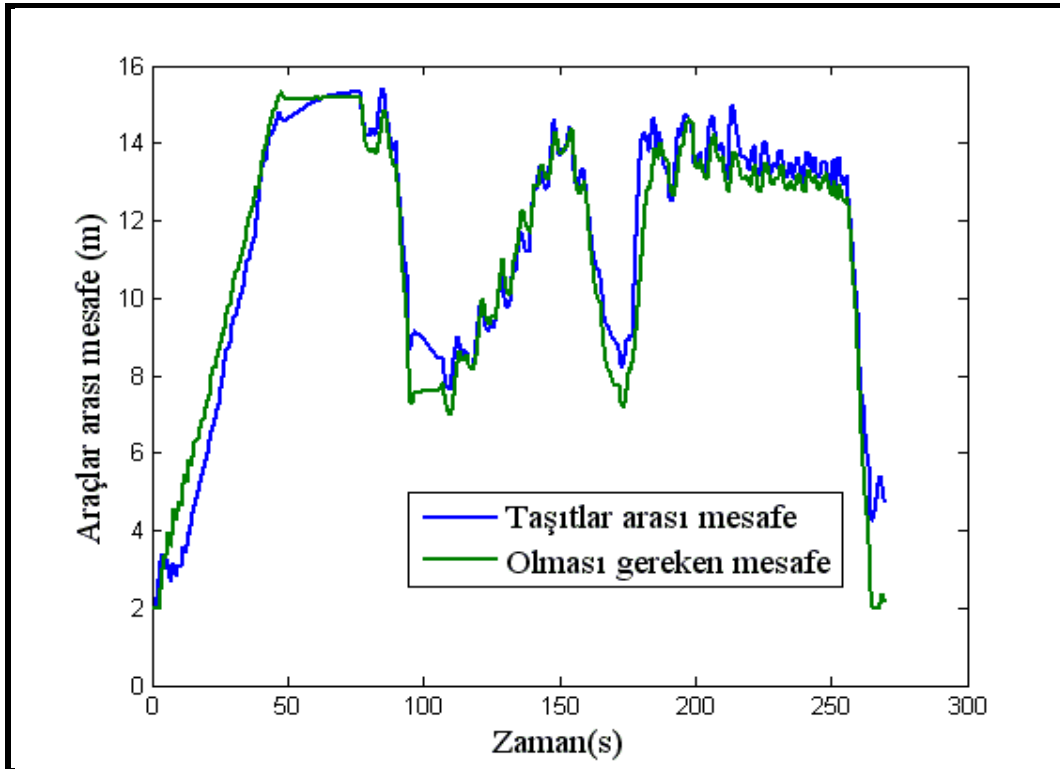
Şekil 5.1'deki pozisyon verilerinden de görüleceği üzere SZA kontrolcüsü ile yapılan benzetimde araçlar arası mesafenin korunduğu görülmektedir.

Şekil 5.2'deki hız grafikleri ise SZA kontrolcünün hız hatası bakımından yeterli performans gösterdiği görülmektedir. Hız hatası 3,4 km/saat ile -2,4 km/saat arasında değişmektedir. Özellikle genel hızlanma ve yavaşlama eğilimlerinin bittiği noktalarda hız hataları en yüksek değerlerine ulaşmaktadır.

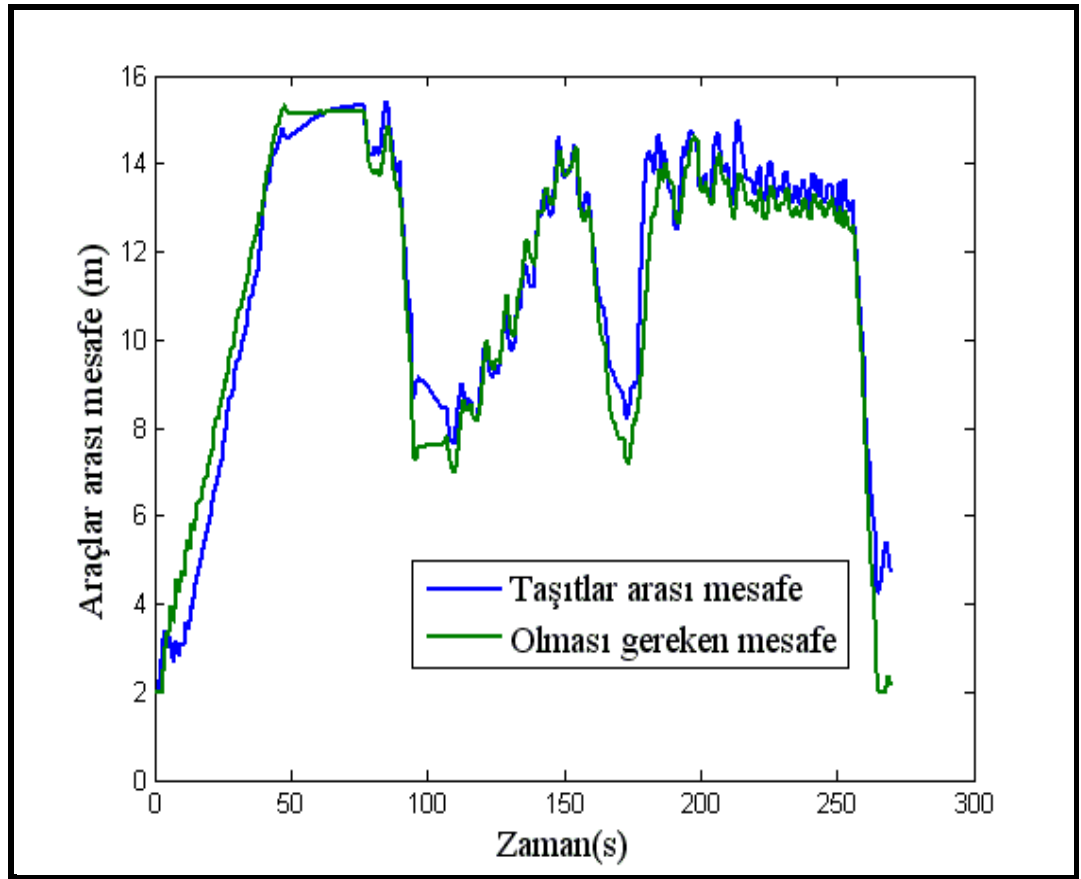
Şekil 5.3'deki grafikten hız farkları nedeniyle oluşan taşıtlar arasındaki mesafenin 2 metre ile -3,4 metre arasında değiştiği gözlenmektedir.



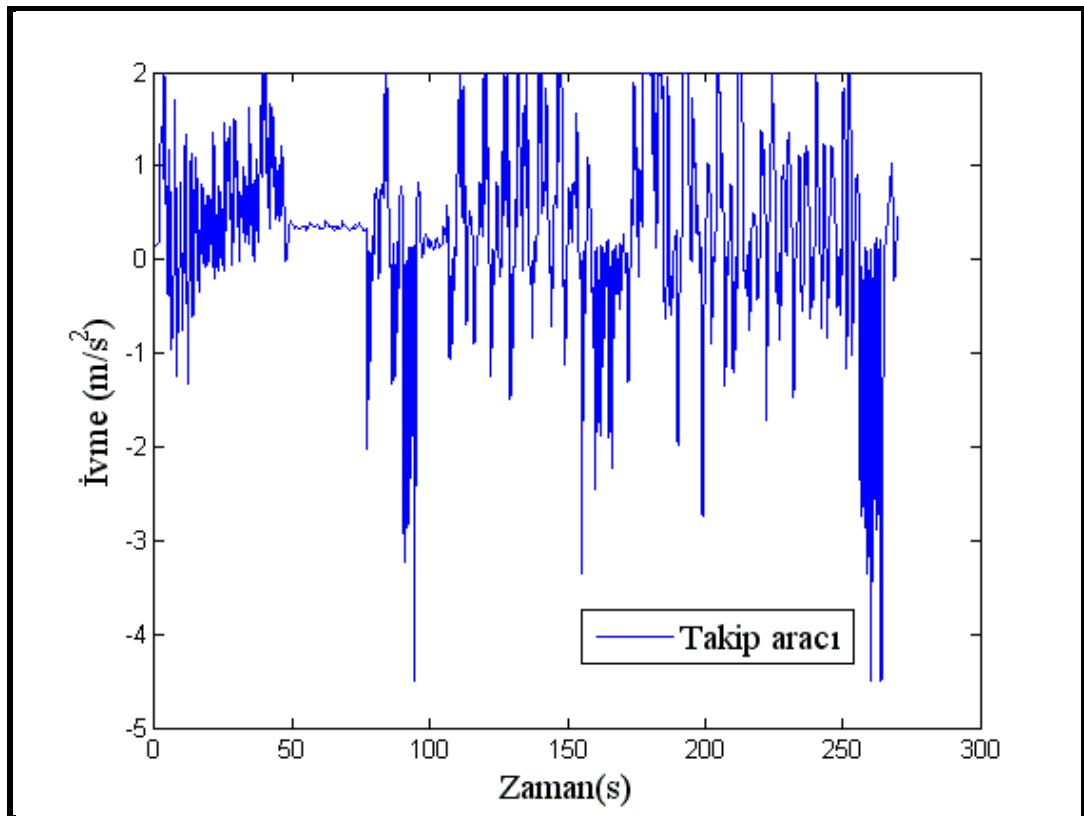
Şekil 5.1 : SZA kontrolcü taşıt konumları.



Şekil 5.2 : SZA kontrolcü taşıt hızları.



Şekil 5.3 : SZA kontrolcü gerçekleştirilen mesafe ve istenilen mesafe.



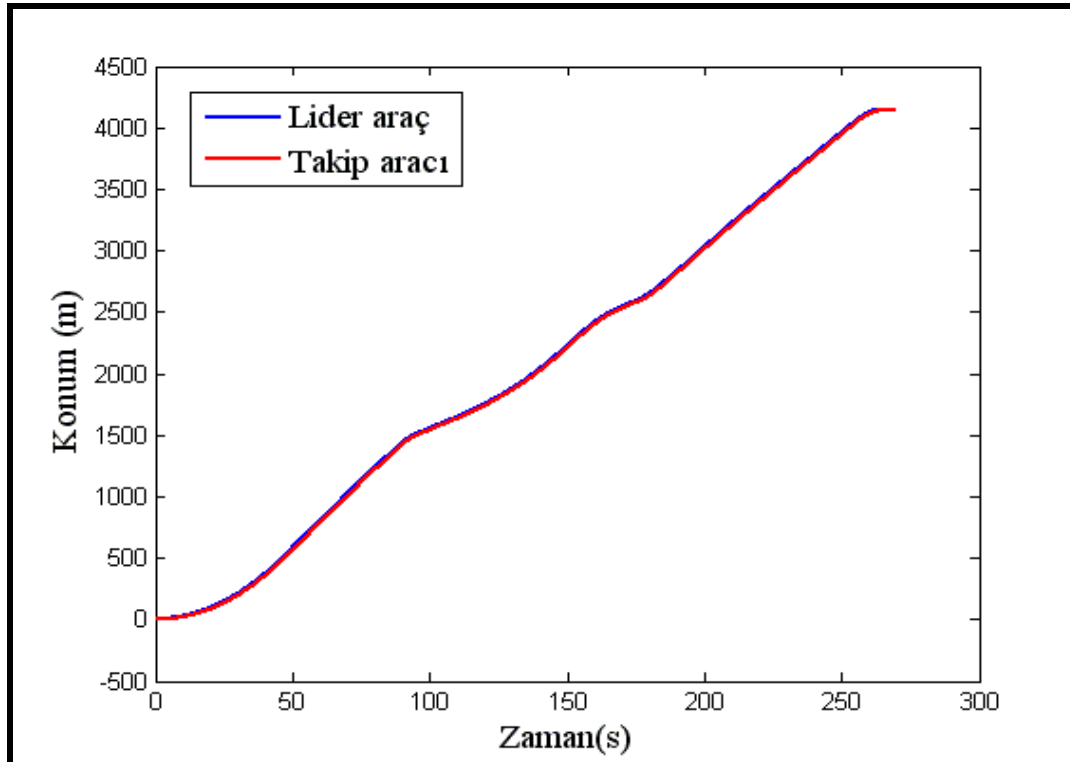
Şekil 5.4 : SZA kontrolcü ivme referansı.

Şekil 5.4’de doyma bloğunun çıkışından alınan ivme referansında, taşıtın 2 metre/s²’lik ivme sınırında özellikle yüksek frekanslardaki hız değişimlerinin olduğu 100. ile 150. ve 200 ile 250. saniyeler arasında sık sık çıkmak zorunda kaldığı görülmektedir. 4,5 metre/s² frenleme ivme referansın da ise sınırların çok da aşılmadığı görülmektedir. Frenleme dinamiğinin, hızlanma dinamiğinden daha hızlı olduğu düşünülürse frenleme ivmesi sınırlarında görülen referans değerinin az olması sürüş konforunu da artırmaktadır.

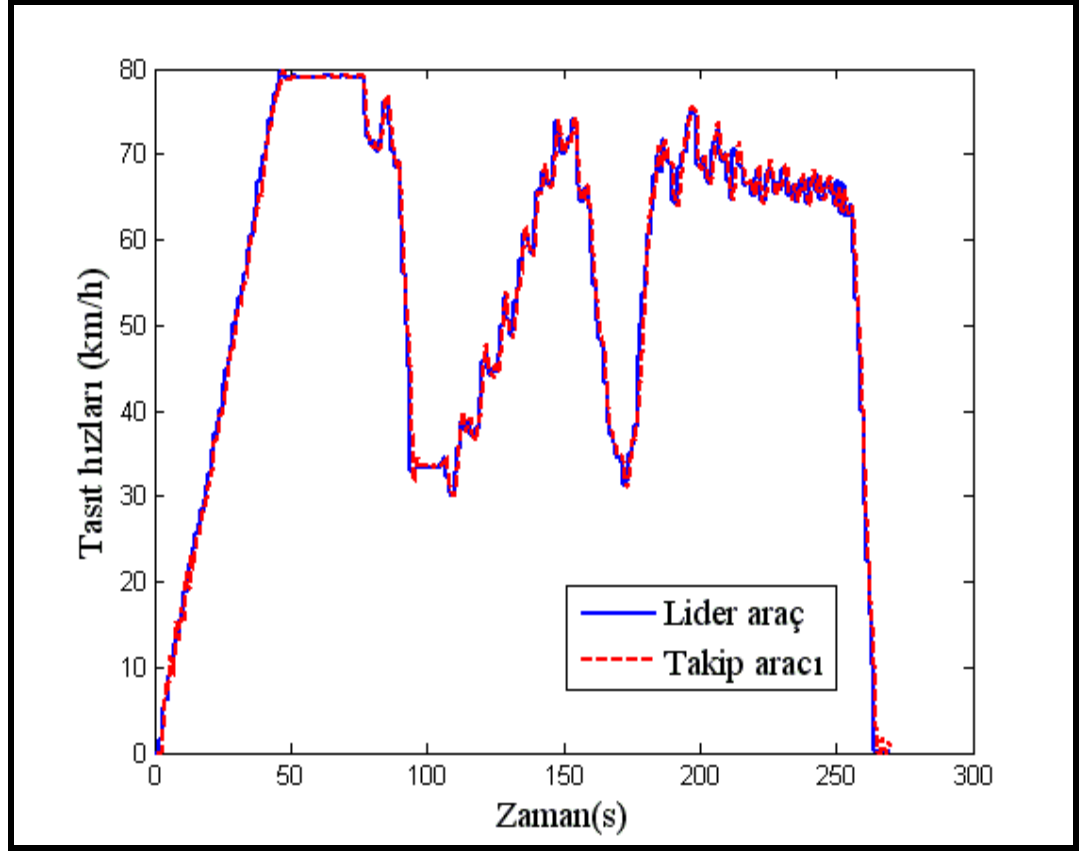
5.1.2 Konvansiyonel kontrolcü benzetim sonuçları

Konvansiyonel kontrolcü için konum hatasını oranlayan katsayı $K_{konum} = 0,9$ alınmıştır. Hız hatasını oranlayan katsayı $K_{hız} = 1,9$ alınmıştır. İvme değerini oranlayan katsayı ise $K_{ivme} = 1$ olarak alınmıştır. Bu değerler için elde edilen konum, hız, takip mesafesi ve ivme grafikleri sırasıyla Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 görülmektedir. Şekil 5.5’deki konum grafiğinde taşıtlar arası mesafenin kararlı şekilde korunduğu görülmektedir.

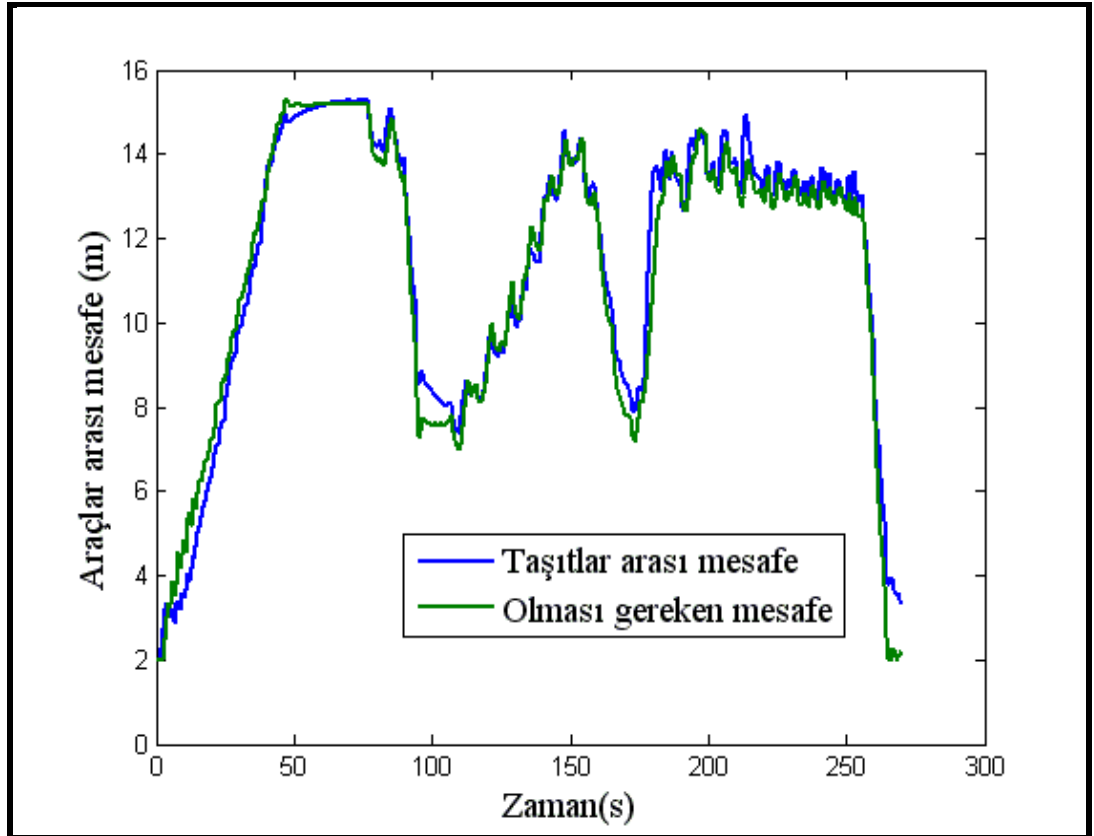
Şekil 5.6’daki hız grafiğinde ise takip eden aracın hızı lider aracın hızı ile örtüşmektedir. Hız hatası farkı 2,3 km/saat ile -3,4 km/saat arasında değişim göstermektedir.



Şekil 5.5 : Konvansiyonel kontrolcü taşıt konumları.



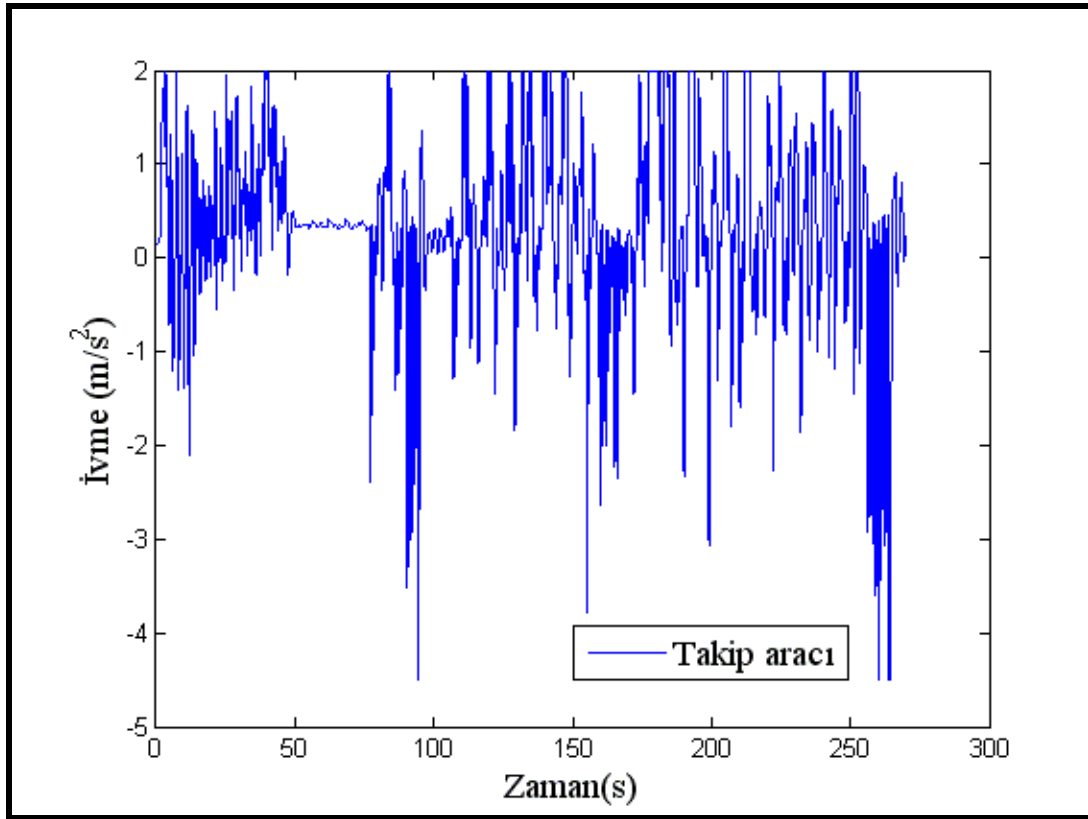
Şekil 5.6 : Konvansiyonel kontrolcü taşıt hızları.



Şekil 5.7 : Konvansiyonel kontrolcü gerçekleşen mesafe ve istenilen mesafe.

Şekil 5.7'deki araçlar arasında arzu edilen mesafe değeri, ani yavaşlama ve hızlanmalarda dahi taşıtlar arası mesafe farkının 2,5 metreden fazla açılmadığı ve yine -1,5 metreden de fazla kapanmadığı görülmektedir. Araçlar arası mesafe başlangıçtan itibaren 5 saniye içerisinde istenen değerlerde seyretmeye başladığı görülmektedir.

Şekil 5.8'deki ivme referansı değerleri doyma sınırlarının içinde bulunmaktadır. Bu değerlerin, yüksek frekanslar da hız dalgalanmaları içeren lider araç hız profiline ayak uydururken gereken ivme referansını aşım yapmadan sağlayabildiği aynı zamanda da sürüş konforu sınırlarına da çok fazla yaklaşmadığı görülmektedir.

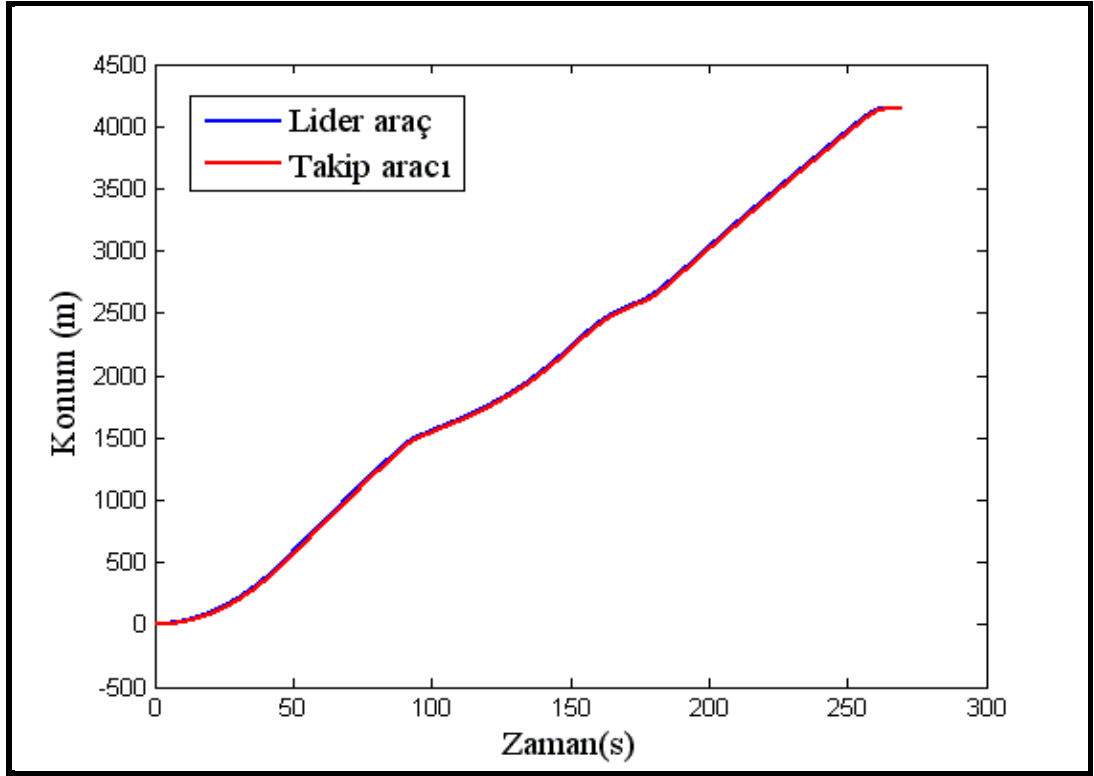


Şekil 5.8 : Konvansiyonel kontrolcü ivme referansı.

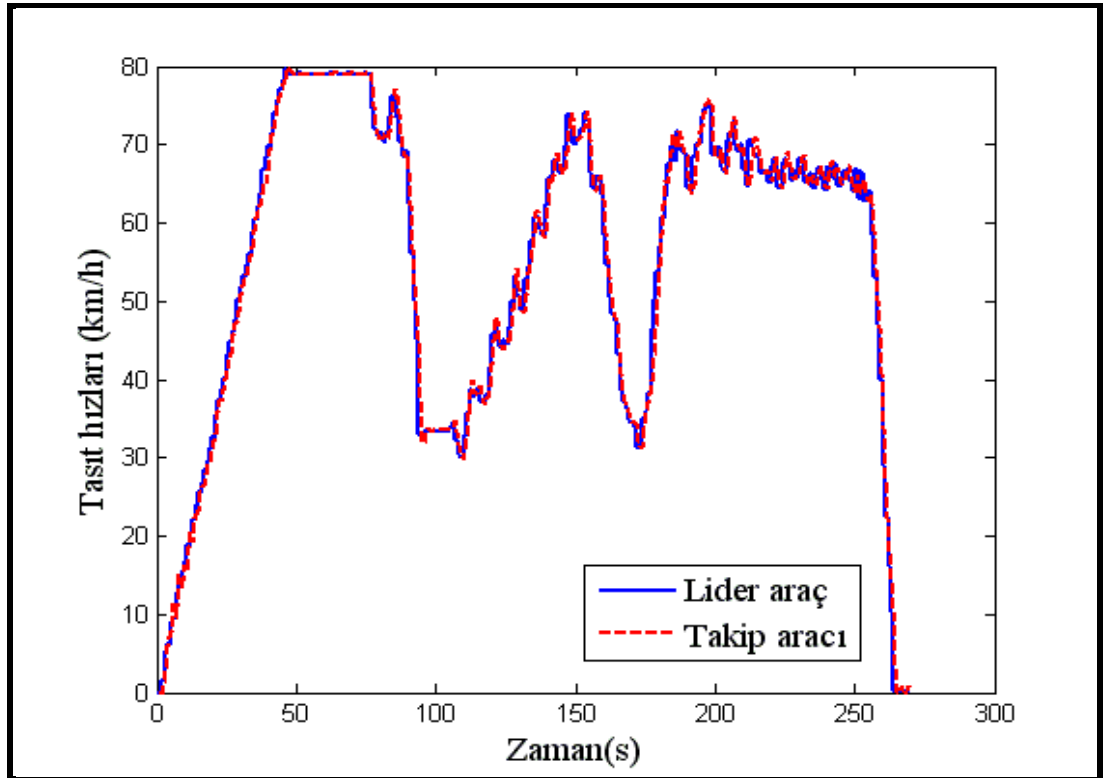
5.1.3 LQR kontrolcü benzetim sonuçları

LQR kontrolcü için konum ve hız hataları arasında istenen referansa önem verecek olan Q matrisinin ve referans sinyali oranlayan R matrisinin seçilmeleri gerekmektedir. Q ve R matrisleri benzetim çalışmalarında şu değerlerde, $Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1,25 \end{bmatrix}$, $R = [2]$ seçilmiştir. Bu değerler için elde edilen konum, hız, takip mesafesi ve ivme grafikleri sırasıyla Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de

görülmektedir. Konum grafiğinde taşıtların birbirlerini kararlı şekilde izledikleri görülmektedir.

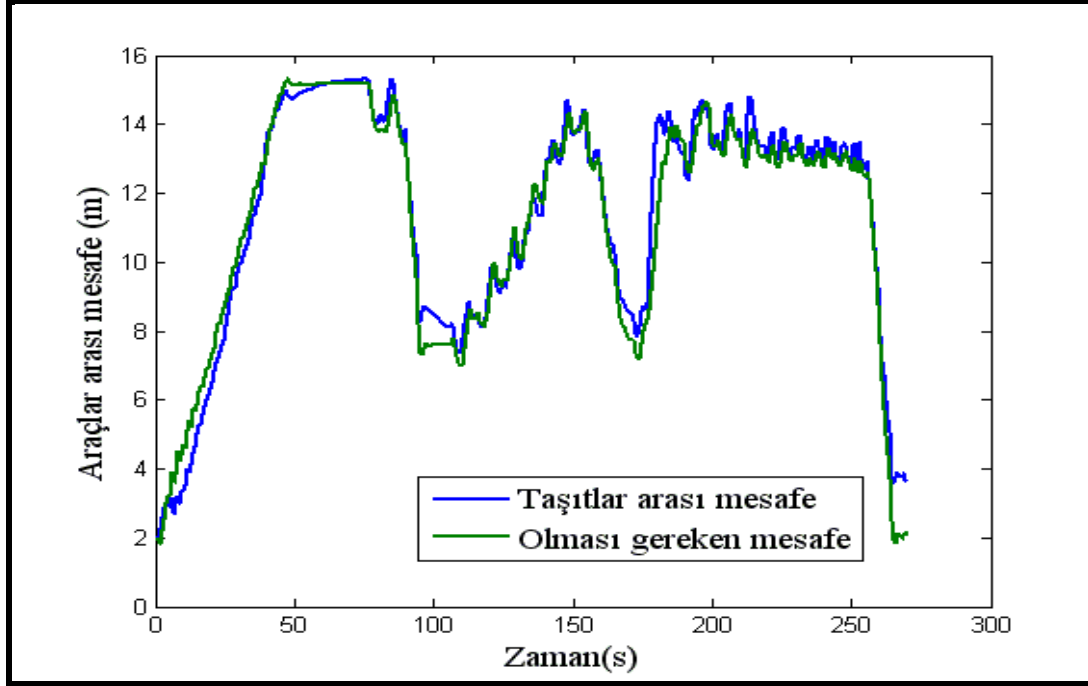


Şekil 5.9 : LQR kontrolcü taşıt konumları.

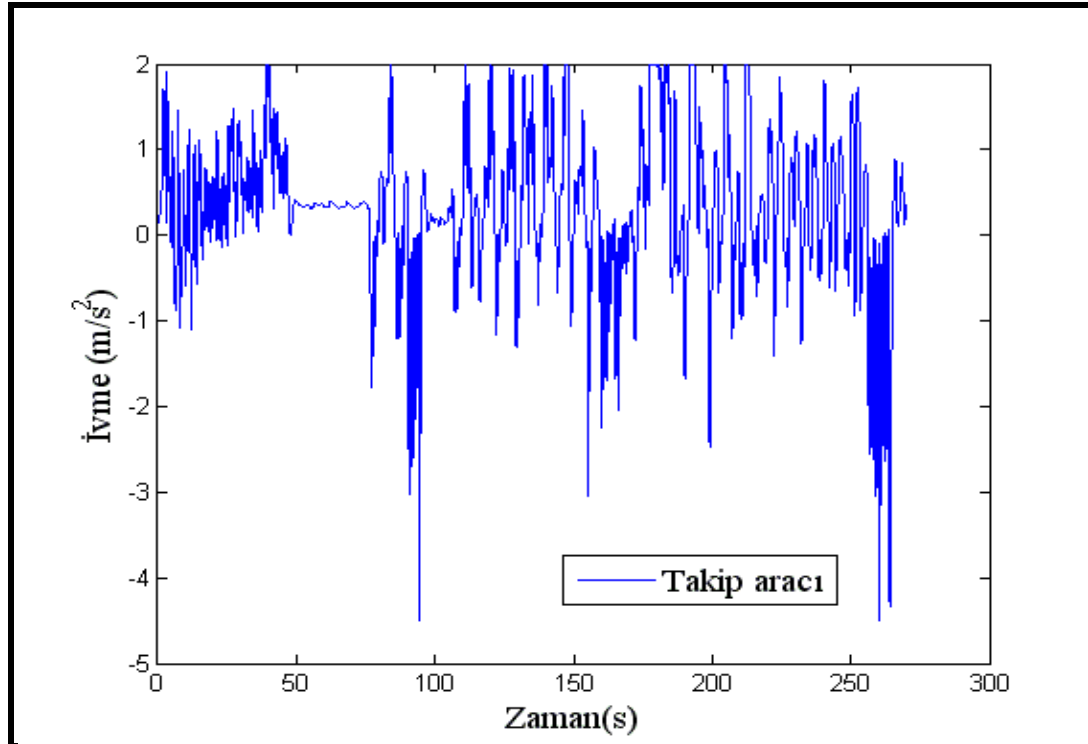


Şekil 5.10 : LQR kontrolcü taşıt hızları.

Hız grafiğinde lider araç hızının önemli ölçüde takip edilebildiği görülmektedir. 50. ve 100. saniyelerdeki hızlanma ve yavaşlamaların sonlandığı noktalarda aşımaların olduğu görülmektedir. Taşıtların hız farkı 2,4 km/saat ile -3,4 km/saat arasında değerler almaktadır.



Şekil 5.11 : LQR kontrolcü gerçekleşen mesafe ve istenilen mesafe.



Şekil 5.12 : LQR kontrolcü ivme referansı.

Şekil 5.11'deki takip mesafesi değerlerinin 1,5 metre ile -3 metre arasında değiştiği görülmektedir.

LQR kontrolcüsünün ivme referans değerlerinin doyum sınırlarında değerler aldığı görülmektedir. Hızlanma sınırına, özellikle hız grafiğindeki yüksek frekans bölgelerinde sıklıkla ulaşıldığı görülmektedir. Yavaşlama için gereken ivme sınırına da özellikle 100. ve 270. saniyelerde gerçekleşen uzun frenleme sürecinde ulaşıldığı görülmektedir.

5.1.4 CACC ve ACC performans karşılaştırması

CACC teknolojisi kendisinden önceki ACC teknolojisinin geliştirilmiş şeklidir. CACC teknolojinin kullandığı iletişim sisteminde gecikmelerin az olması nedeniyle tepki zamanları da kısalmaktadır. ACC donanımlı araçlar üzerlerinde bulunan Lidar tarayıcılar vasıtasıyla konum ve hız bilgilerini elde ederler. Bu algılayıcılar gürültü kaynaklarına, parazitlere ve hassasiyetten sapmalara açıktırlar. Bu nedenle bu algılayıcılardan gelen verilerin kullanılmadan önce yoğun şekilde süzülmesi gerekmektedir [64]. Bu bölümde de daha önce bahsedildiği gibi haberleşme gecikmesi 20 milisaniye ve Lidar algılayıcının gecikmesi ise 500 milisaniye alınmıştır.

Bu bölümde CACC ve ACC donanımlı 5 araçlık konvoy oluşturulmuştur. Her bir kontrolcü için konvoy uzunluklarının olması gereken konvoy uzunluğundan sapması hesaplanmış ve karşılaştırılması yapılmıştır. Araçlar arası konvoy hata değeri şu şekilde hesaplanmaktadır [65].

$$E_{OKH} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (L(k) - L_w(k))^2 \quad (5.1)$$

Burada,

- L , gerçekleşen konvoy uzunluğudur.
- L_w , olması gereken konvoy uzunluğudur ve 5.2'nolu formül ile ifade edilir.
- n , örnekleme sayısıdır.

Olmaması gereken konvoy uzunluğu öncü aracın hızına bağlı olarak oluşan izleme mesafesini izleyen araçların yakalayabilmesi ile sağlanır ve şu şekilde ifade edilir.

$$L_w(k) = d_{sabit} * (N - 1) + t_{takip\ zamanı} * v_1(k) * (N - 1) + \sum_{i=1}^N l_i \quad (5.2)$$

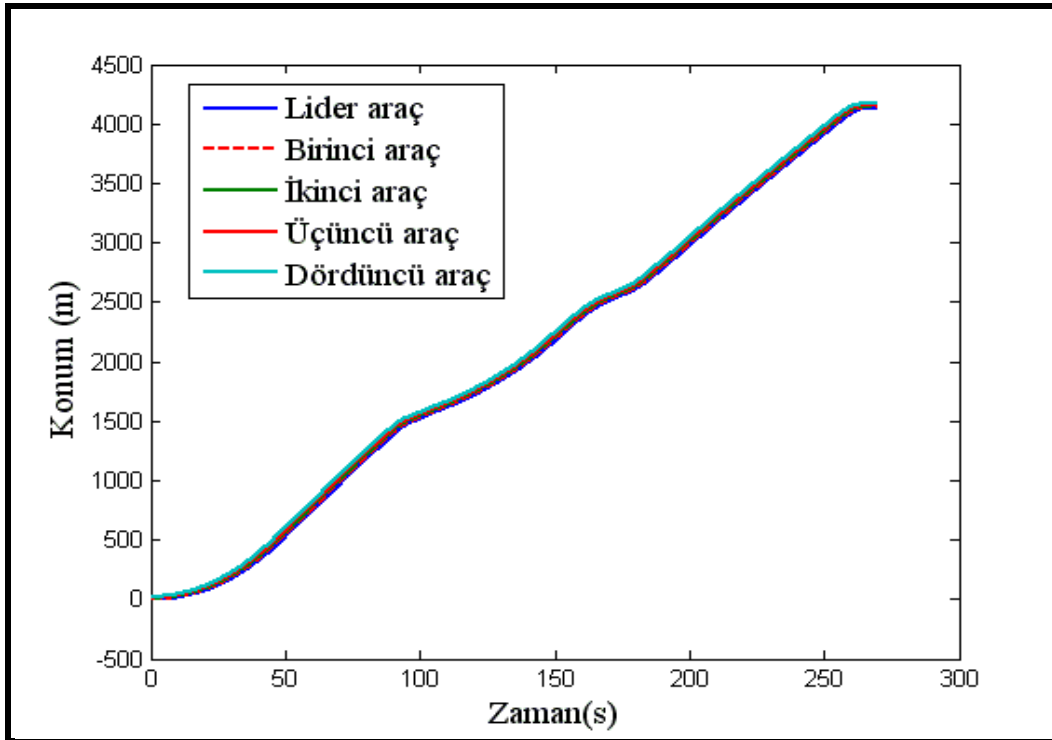
5.2 ifadesinin daha önce açıklanan ifadelerden geriye kalan terimleri şunlardır:

- N , konvoydaki araç sayısıdır.
- l_i , konvoydaki araçların uzunluğudur.

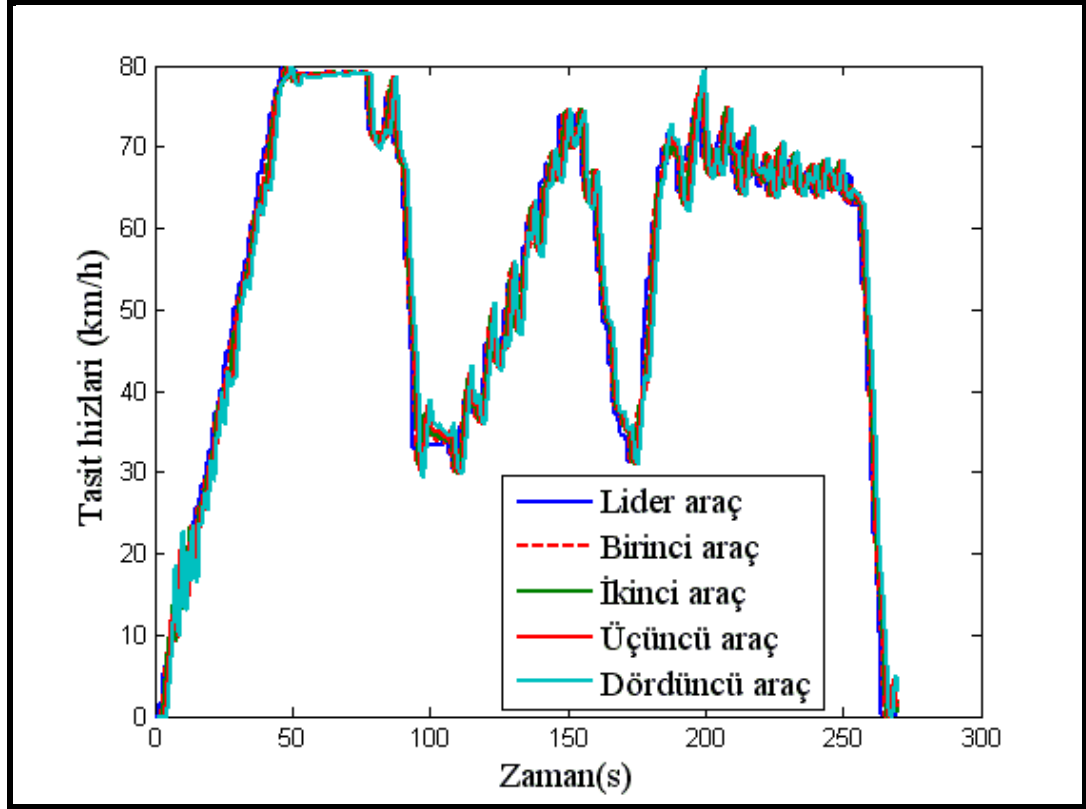
Konvoy uzunluk hatası formülü ortalama karesel hata olarak (OKH) da adlandırılır ve hatanın karesini toplamak sureti ile büyük hataya daha çok önem vermektedir. Bunun yanında konvoy uzunluk hatası için ortalama mutlak sapma değeri de hesaplanabilir. OMS şu formül ile ifade edilir.

$$E_{OMS} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |(L(k) - L_w(k))| \quad (5.3)$$

Bu formüle göre pozitif veya negatif hatalar yani konvoyun olması gerekenden uzun veya kısa olması ile oluşan farkın mutlak değeri alınıp toplanarak örnekleme zamanına bölünür böylece ortalama mutlak sapma bulunmuş olur. Bu değerlere göre CACC ve ACC teknolojileri konvoy benzetim sonuçlarına göre kıyaslanmıştır.



Şekil 5.13 : SZA kontrolcüsü CACC konvoyu konum benzetim sonucu.



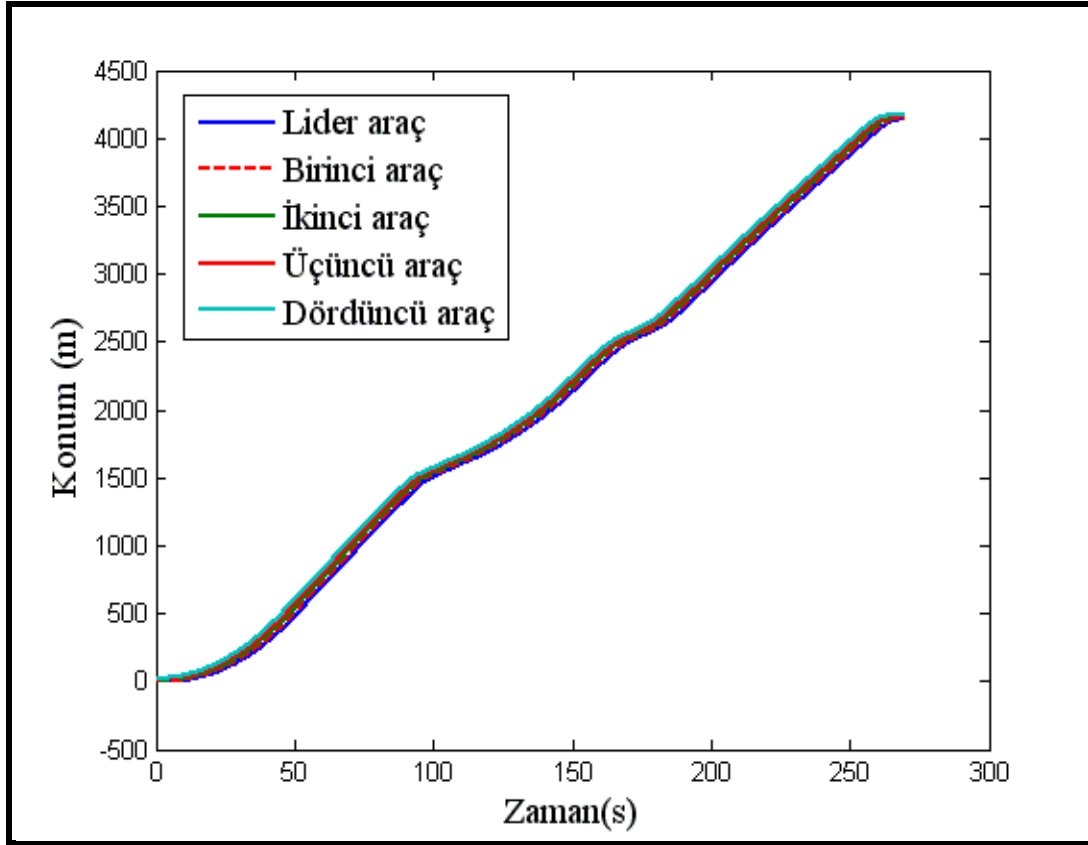
Şekil 5.14 : SZA kontrolcüsü CACC konvoyu hız benzetim sonucu.

Şekil 5. 13’de CACC donanımlı araçlar ile gerçekleştirilen benzetim sonuçlarına göre araçların konum değişimleri görülmektedir. Konvoyun kararlı şekilde hareket ettiği görülmektedir. Konvoy uzunluğunun olması gereken uzunluktan sapması OKH’ya göre 11,96 metre, OMS’ya göre 1,946 metre olarak elde edilmektedir.

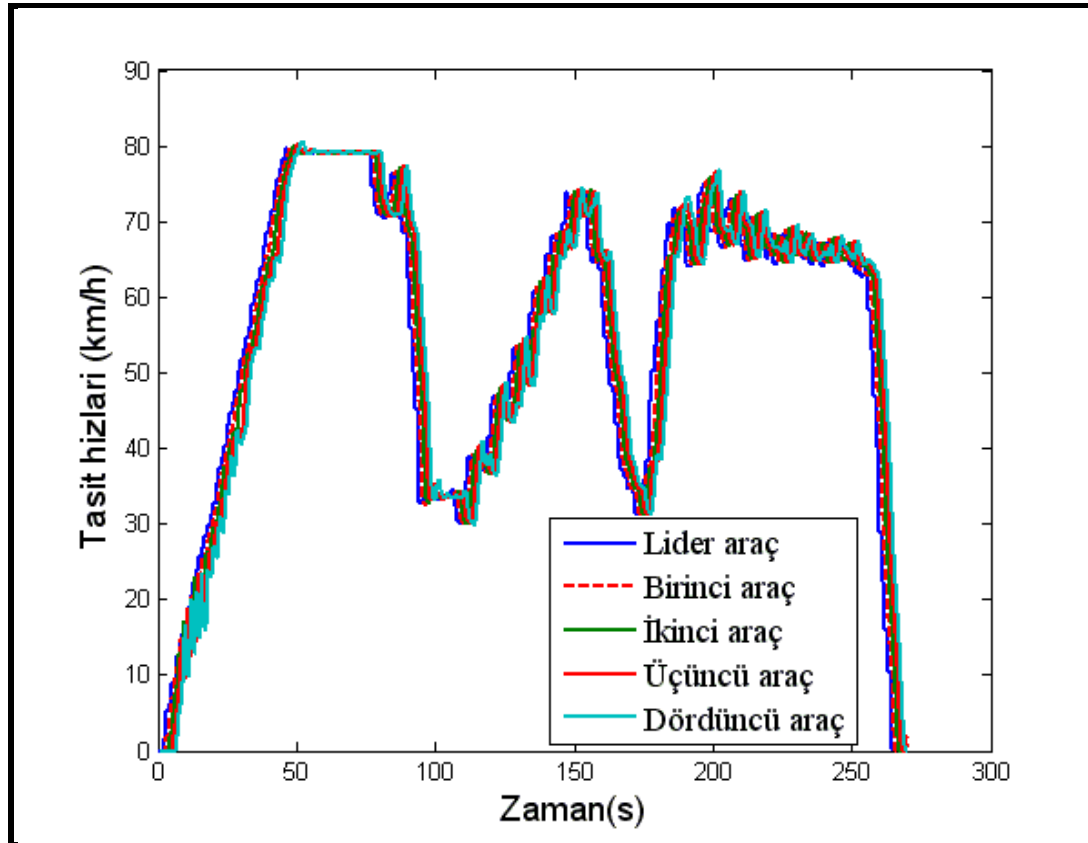
Şekil 5.14’deki grafikte 5 araç ile yapılan konvoy benzetim sonuçlarından konvoyun hız profilini kararlı bir şekilde takip edebildiği görülmektedir. 10. saniye civarında araçların takip mesafesini yakalamaya çalıştıklarından belli bir salınım yaptıkları görülüyor. Öncü araç ile en arkadaki araç arasında hız farkının +5 ile -3 km/saat arasında değiştiği gözlenmektedir.

Şekil 5.15’deki grafikte ACC konvoyunun SZA kontrolcüsü ile daha açık aralık ile takip yaptığı görülmektedir. Gecikme zamanının yüksek olmasından dolayı ACC kontrolcü ile yapılan izleme mesafesi hatasının OKH’ya göre 632,8 metre, OMS’ye göre 16,56 metre olarak elde edilmektedir.

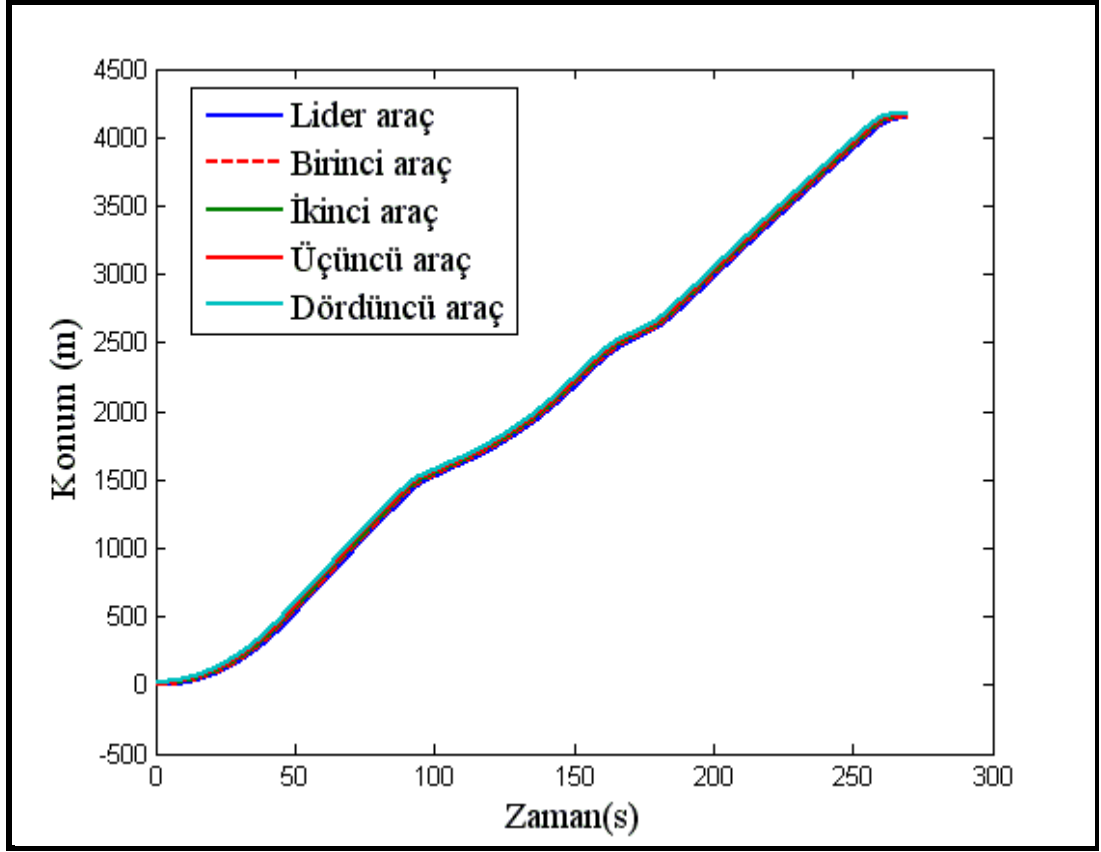
Şekil 5.16’daki hız grafiğinde hız hatasının 18 km/saat ile -12 km/saat arasında değiştiği gözlenmektedir. Bu hız farkının CACC ile karşılaştırıldığında 3 kat fazla olduğu görülmektedir. ACC kontrolcüsünün 10. saniye civarında daha az salınım yaptığı da görülmektedir



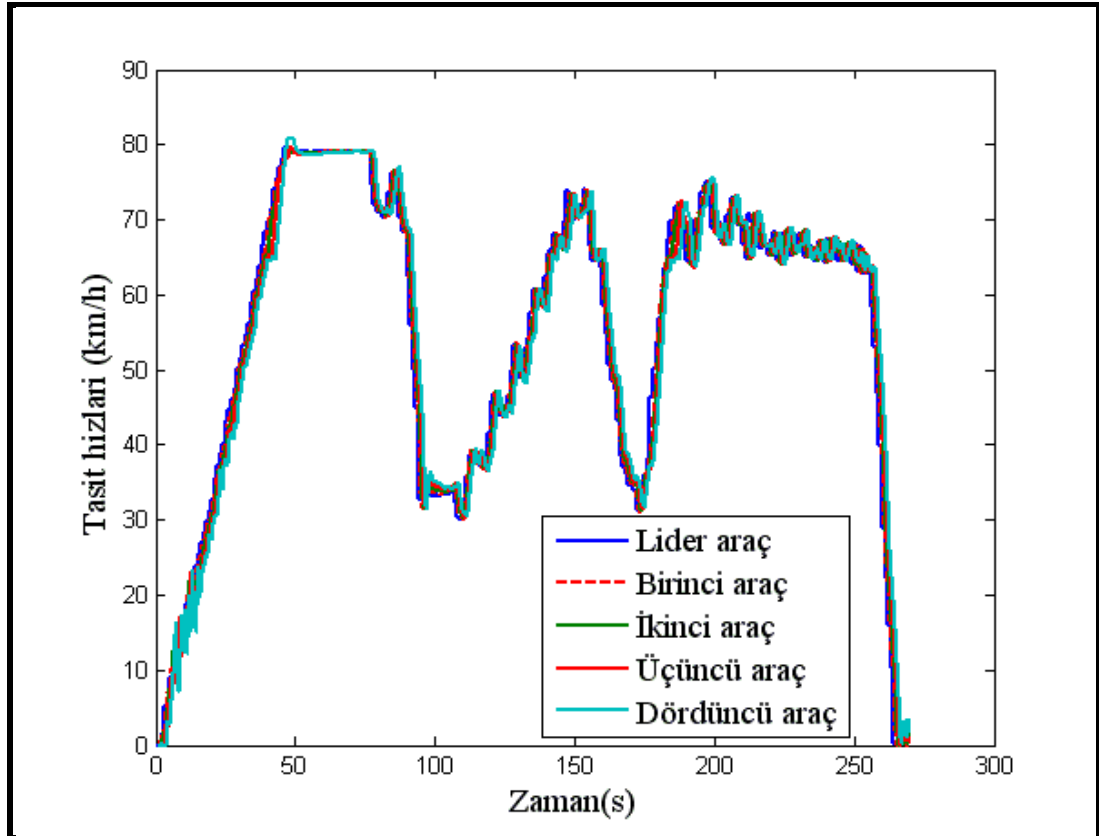
Şekil 5.15 : SZA kontrolcüsü ACC konvoyu konum benzetim sonucu.



Şekil 5.16 : SZA kontrolcüsü ACC konvoyu hız benzetim sonucu.



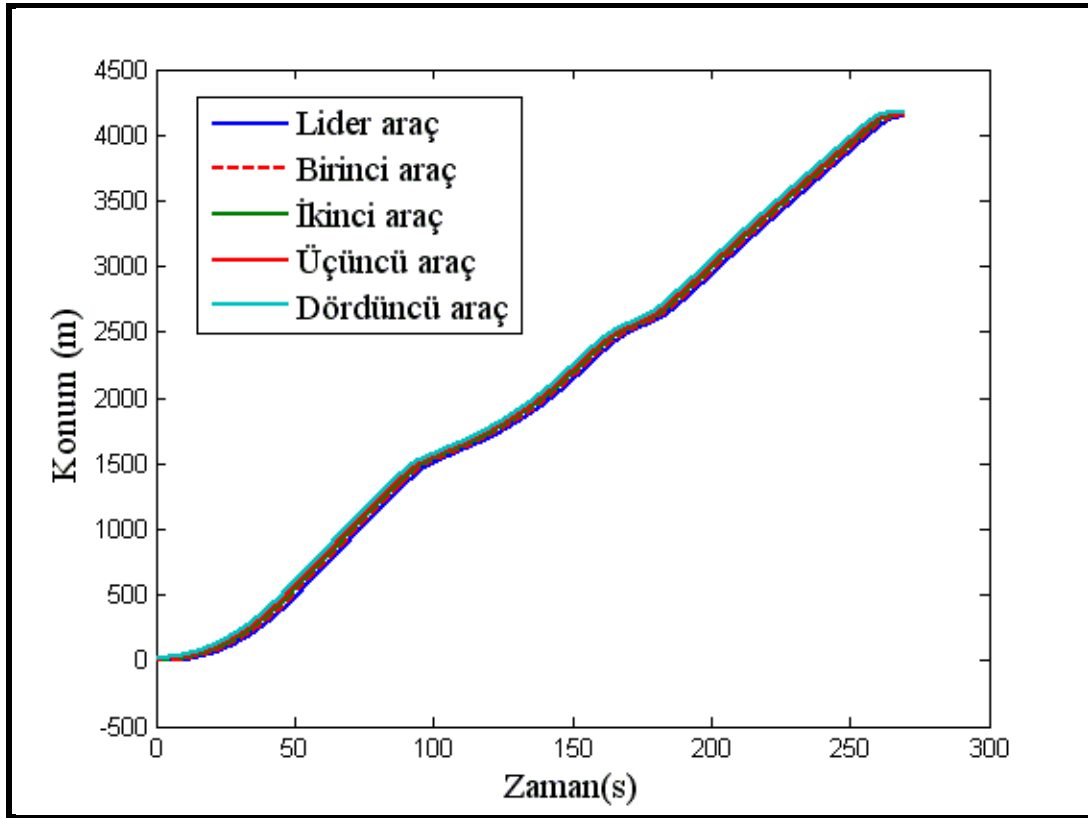
Şekil 5.17 : Konvansiyonel kontrolcü CACC konvoyu konum benzetim sonucu.



Şekil 5.18 : Konvansiyonel kontrolcü CACC konvoyu hız benzetim sonucu.

Şekil 5.17’de CACC donanımlı araçların konvansiyonel kontrolcü ile elde edilen konum grafikleri görülmektedir. Araçlar arası takip mesafesinin olması gereken değere yakın bir şekilde izlendiği görülmektedir. Konvoyun olması gereken uzunluktan sapması OKH’ye göre 7,245 metre, OMS’ye göre 1,488 metre olarak benzetim sonucundan elde edilmiştir.

Şekil 5.18’deki hız grafiğinde hız hatası takip değerinin +8 km/saat ile -9 km/saat değerleri arasında kalmaktadır.

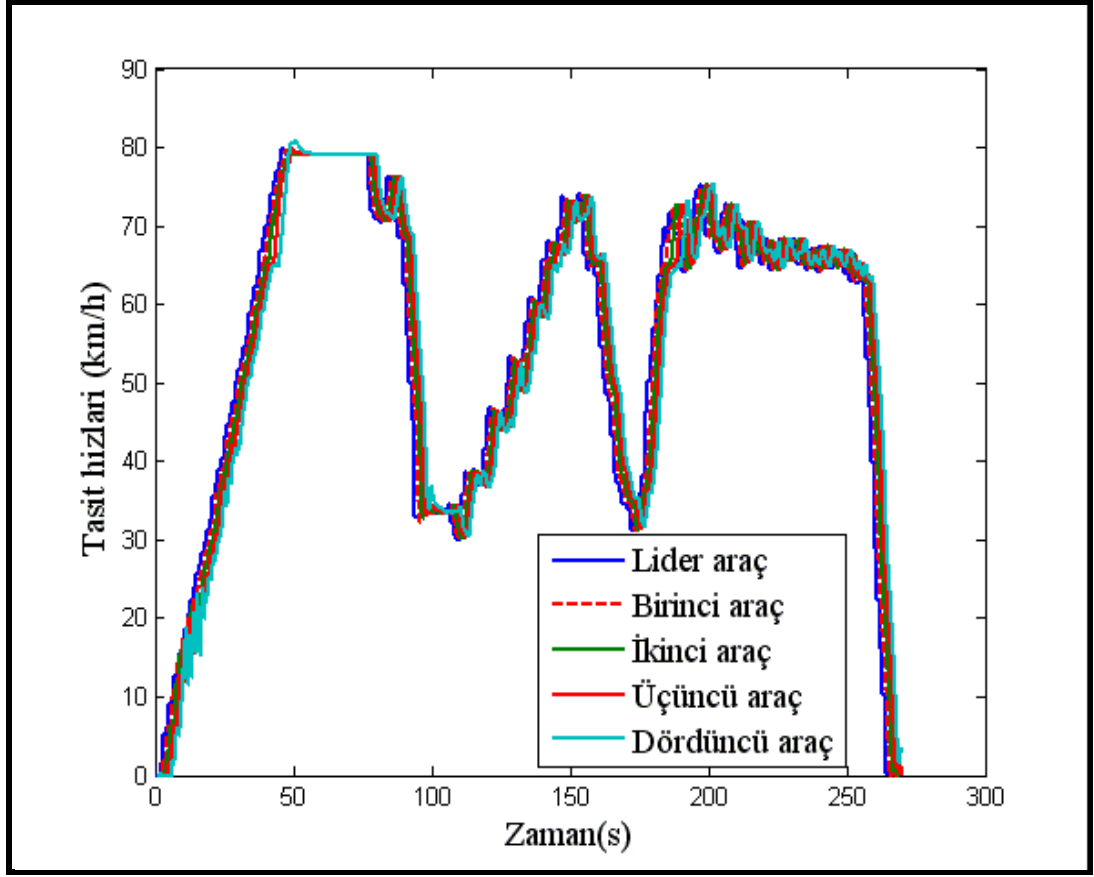


Şekil 5.19 : Konvansiyonel kontrolcü ACC konvoyu konum benzetim sonucu.

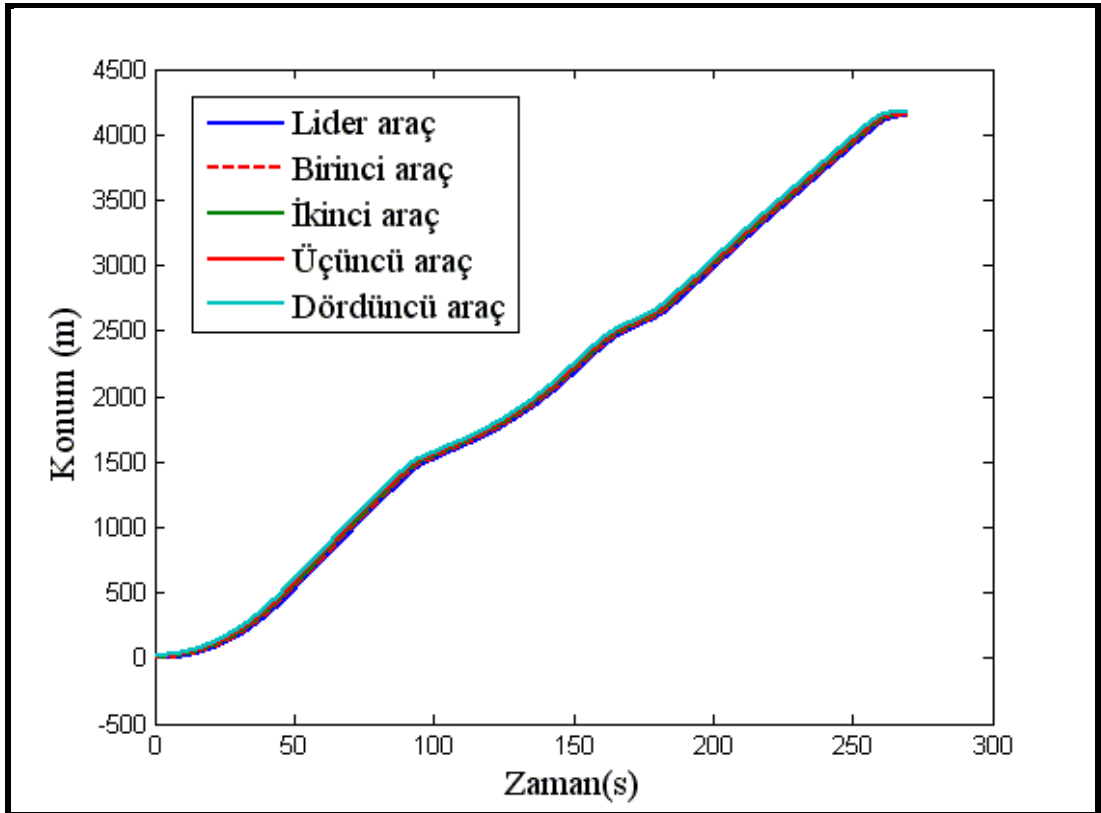
Şekil 5.19’deki konum grafiğinde ACC donanımlı araçların Konvansiyonel kontrolcü ile elde edilen konum grafikleri görülmektedir. Konvoy uzunluğunun istenen değerden sapması OKH’ya göre 592 metre, OMS’ya göre 16,03 metredir.

Şekil 5.20’ye göre hız takibi hatası 20 km/saat ile -17 km/saat arasında değişmektedir.

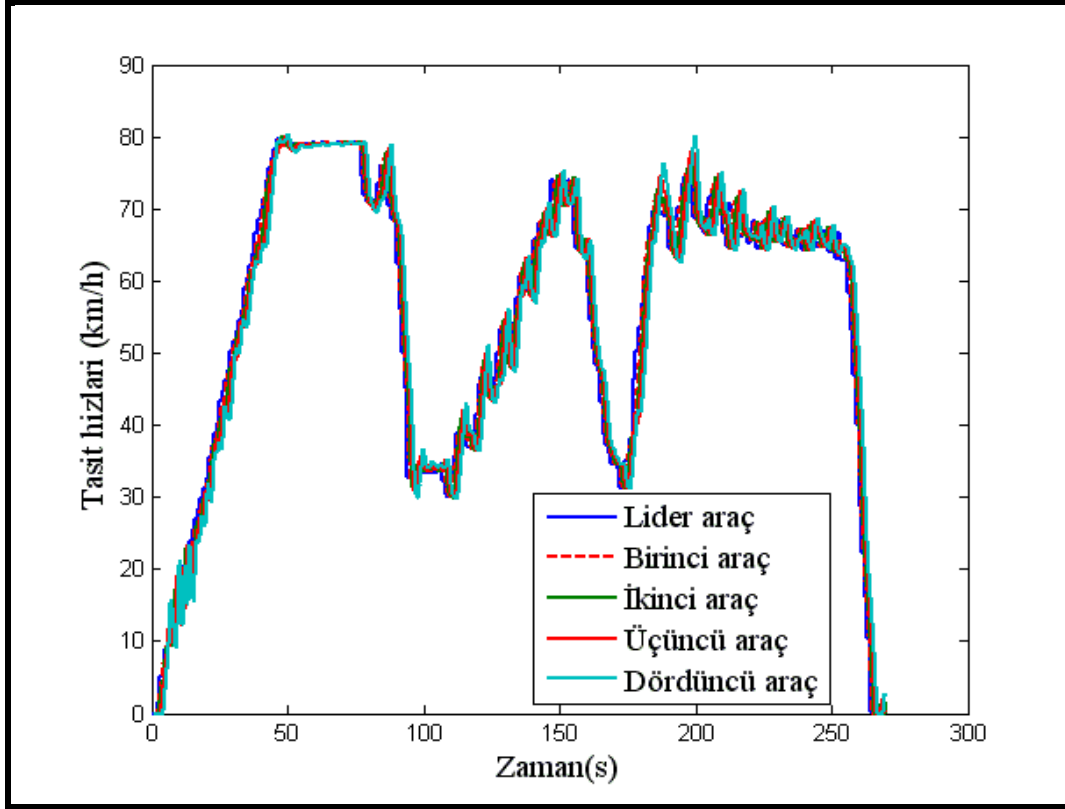
Şekil 5.21’deki grafikte CACC donanımlı araçların LQR kontrolcü ile elde edilen konum grafikleri görülmektedir. Bu grafiğe göre konvoy uzunluk hataları OKH’ya göre 7,253 metre, OMS’ya göre 1,548 metre olarak benzetim sonuçlarından elde edilmektedir.



Şekil 5.20 : Konvansiyonel kontrolcü ACC konvoyu hız benzetim sonucu.

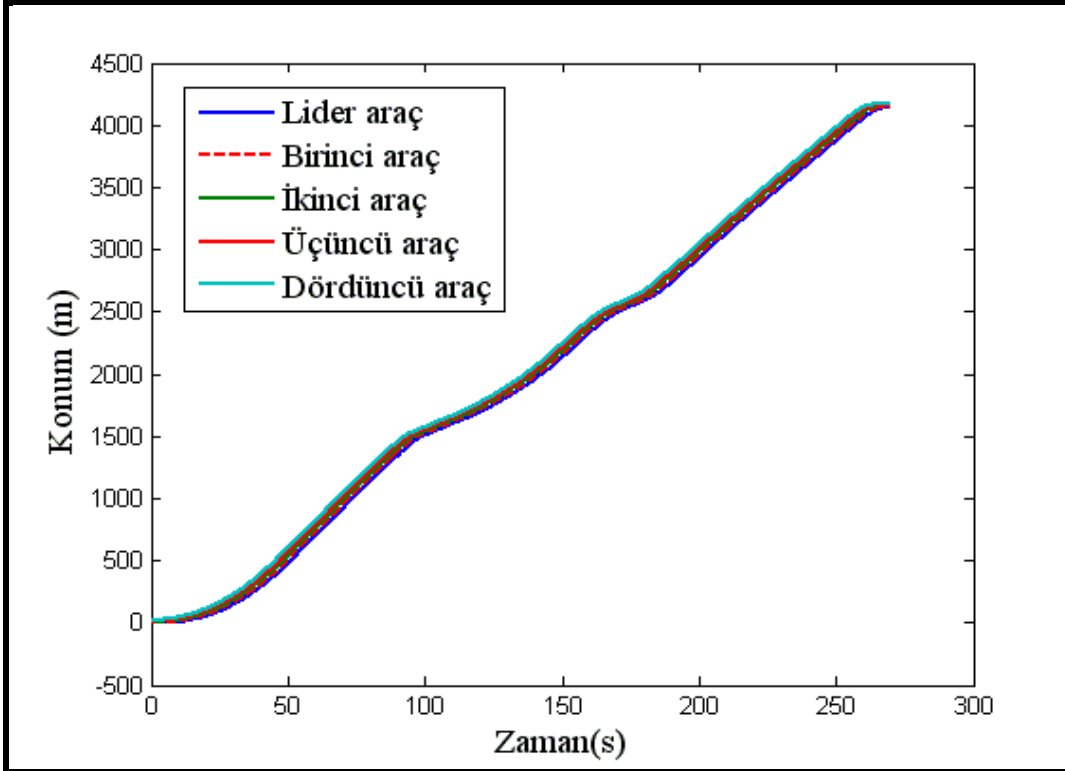


Şekil 5.21 : LQR kontrolcü CACC konvoyu konum benzetim sonucu.

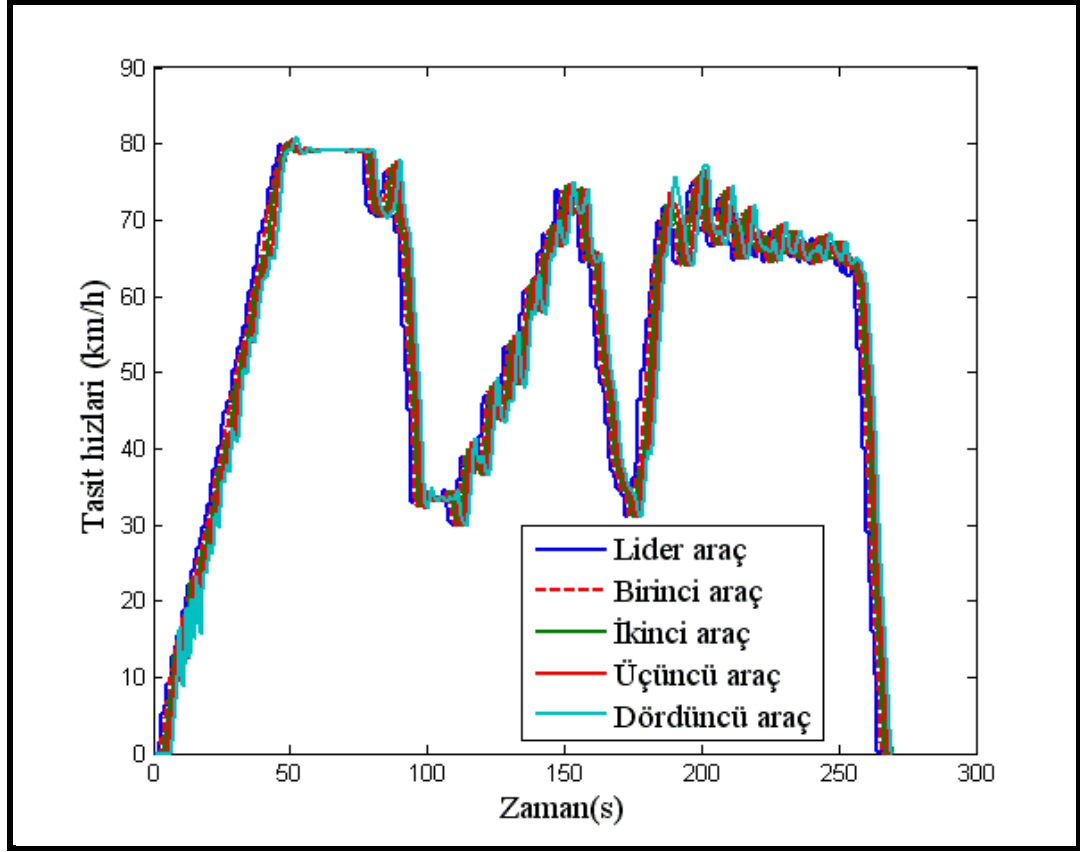


Şekil 5.22 : LQR kontrolcü CACC konvoyu hız benzetim sonucu.

Şekil 5.22'deki hız grafiğine göre hız farkları 10 km/saat ile -8 km/saat arasında değişmektedir.



Şekil 5.23 : LQR kontrolcü ACC konvoyu konum benzetim sonucu.



Şekil 5.24 : LQR kontrolcü ACC konvoyu hız benzetim sonucu.

Şekil 5.23'deki grafikte ACC donanımlı araçların LQR kontrolcü ile elde edilen konum grafikleri görülüyor. Bu grafiğe göre konvoy uzunluk hataları OKH'ya göre 608,7 metre, OMS'ya göre 16,23 metre olarak benzetimden elde edilmektedir.

Şekil 5.24'deki hız grafiğine göre hız farkları 16 km/saat ile -13 km/saat arasında değişmektedir.

Çizelge 5.1 : CACC ve ACC performans karşılaştırması.

Kontrolcü	CACC		ACC	
	OKH (metre)	OMS (metre)	OKH (metre)	OMS (metre)
SZA	11,96	1,946	632,8	16,56
Konvansiyonel	7,245	1,488	592	16,03
LQR	7,253	1,548	608,7	16,23

Çizelge 5.1 de her bir kontrol yöntemi ile elde edilen konvoy uzunluk hataları verilmiştir. Buradan anlaşılacağı üzere CACC teknolojisi, ACC'ye göre çok daha başarılı olmaktadır. Trafik akışının artması için, birim mesafede ACC'ye göre CACC teknolojisinde daha çok araç seyir edebilmektedir. CACC donanımlı konvoy daha az hata yaptığı için sürüş güvenliği açısından da ACC donanımlı konvoyla göre üstünlük sağlamaktadır.

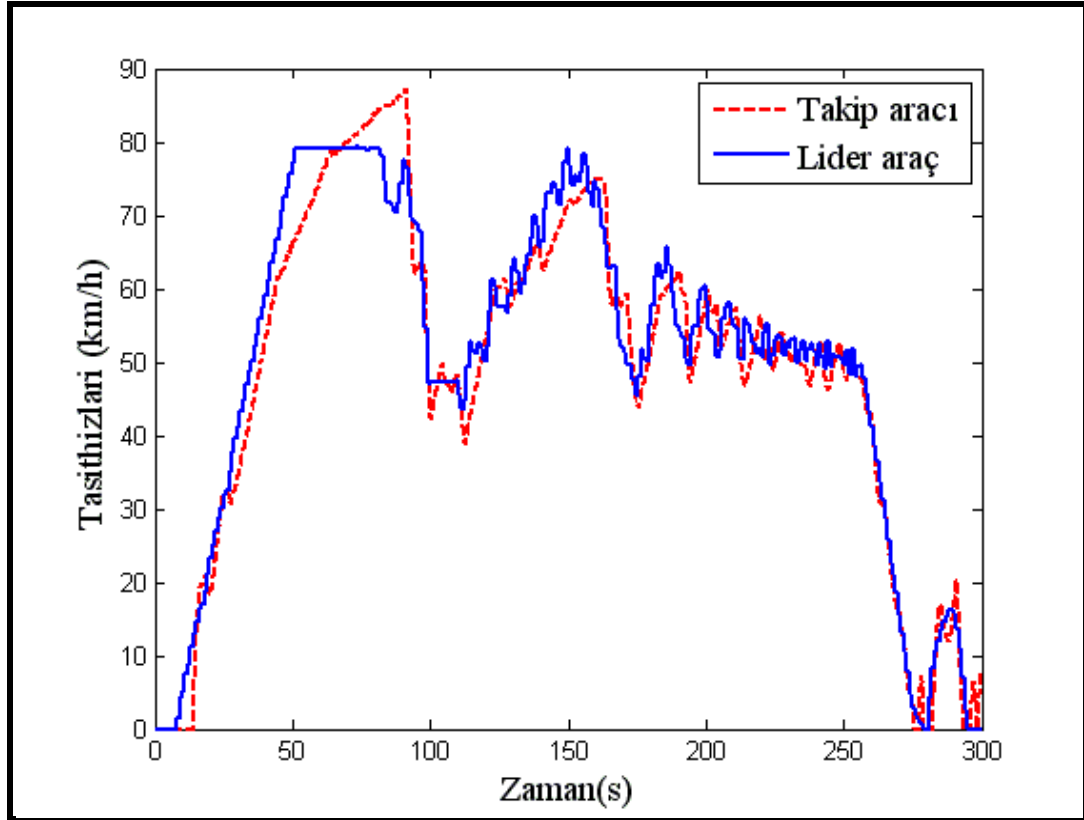
5.2 Yarışma Sonuçları

Bu kısımda ele alınan veriler yarışmada yarışacak aracımızın yeterlilik testlerinde ve iki gün süren GCDC yarışmasının ilk gününde alınan verileri kapsamaktadır. Yarışmanın ikinci gününde yapılan etaplarda çeşitli aksaklıklar nedeniyle veriler toplanamamıştır.

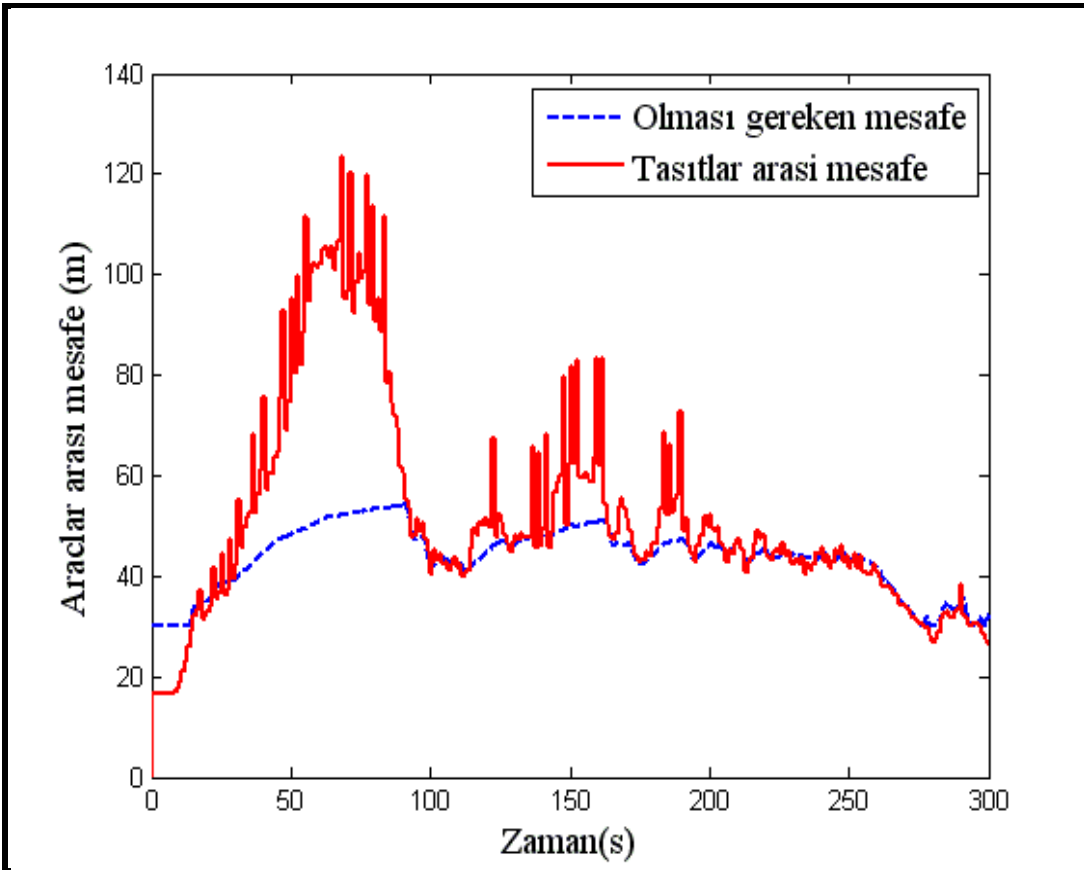
Yarışın kuralları gereği araçlar içerisindeki yarışmacılar arasındaki iletişim radyo aracılığıyla yapılacak iken telsiz sistemine dönülmüştür. Telsiz sistemi kullanıldığı anda aracın pedalına yerleştirilen pedal kuvvet algılayıcısının sinyal voltajı üzerine bias ekleyerek kontrolcünün devre dışına çıkmasına neden olmaktaydı. Bunun yanında, araçların birbirleri ile olan iletişimde ise hatalar ile karşılaşıldığından yarış esnasında elde edilen sonuçların performansının bir miktar geride kaldığı gözlemlenmiştir. Yarışma için kullandığımız aracımızın 1,3 dizel motor olması ve aracın ekipmanlar ve araç içerisindeki yarışmacıların ağırlıkları nedeniyle araç yükleme kapasitesini aşacak şekilde yüklenmesi aracın dinamiğini ağırlaştırmıştır. Aracın dolu ağırlığı yarışma esnasında 1711 kg'dır. Veriler, 1 saniye örnekleme zamanı ile toplanmıştır.

Öncelikle araç gereksinimlerinin kontrolü için yapılan test sonuçlarını görmekteyiz. Şekil 5.25'de araç ilk kez GCDC lider aracının arkasında gene GCDC hız profilini takip ederken görülmektedir. Bu grafikten görüleceği üzere ilk testlerde aracımızın hız profilini 0. ile 50. ve 100. ile 150. saniyeler arasında gerçekleşen hızlanmalarda geride kaldığı görülmektedir. Bu testten hemen sonra kontrolcünün hız katsayısı arttırılarak aracın hız profilini takip etmekte daha atılgan olması sağlanmıştır. 250. saniyeden sonra gerçekleşen yavaşlama birebir takip edilebilmiştir.

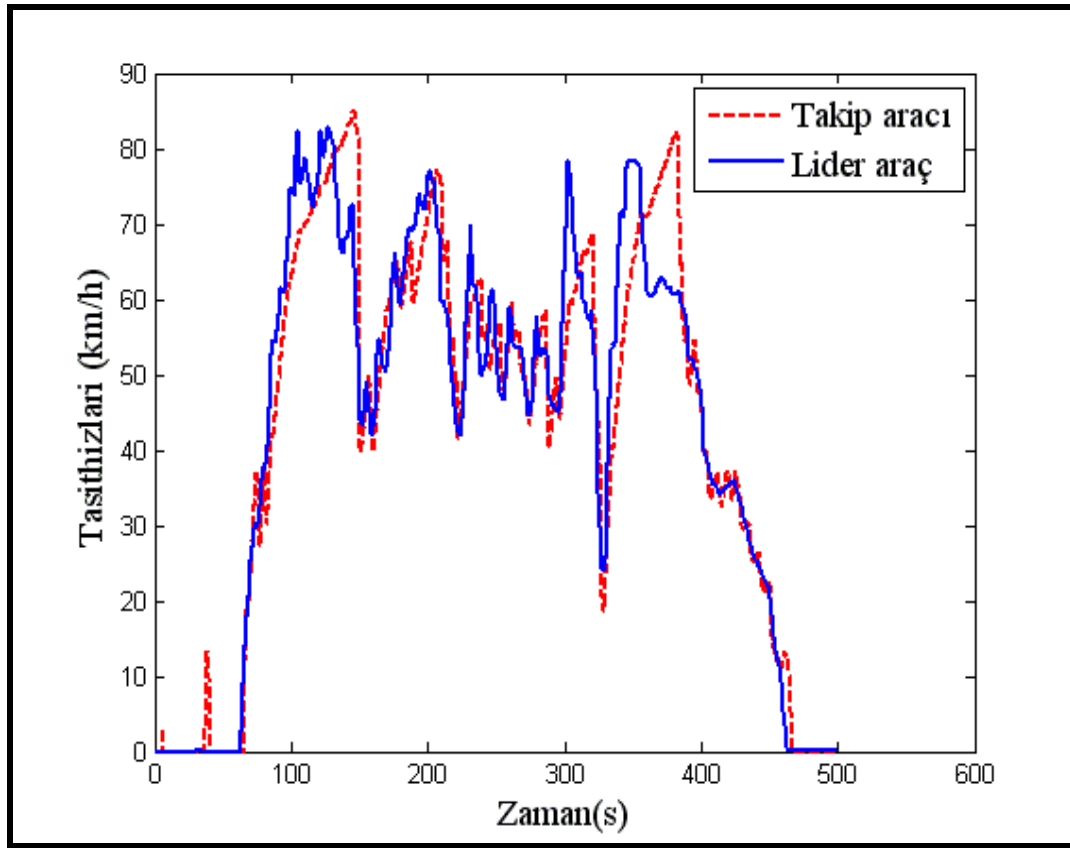
Şekil 5.26'de görülen takip mesafesi grafiğinde ise aracın ilk hızlanma periyodunda geride kalması nedeniyle 20. ile 100. saniyeler arasında takip mesafesinin giderek arttığı görülmektedir. Bu mesafenin frenleme yapıldığı anlarda giderek kapandığı gözlenmektedir. Aracın binek araç olması ve ekonomik etmenler göz önünde bulundurularak tasarlanmış olması nedeniyle vites geçişlerinin motor yüksek devirlerde olmadığı zamanlarda gerçekleşmesine neden olmaktadır. Bunun önüne geçilmesi ancak otomatik vites sistemine müdahale edilmesi ile mümkündür. Bu noktada araç sağlayıcı firma TOFAŞ'ın gizlilik ilkeleri nedeniyle otomatik vites bilgileri elde edilememiştir.



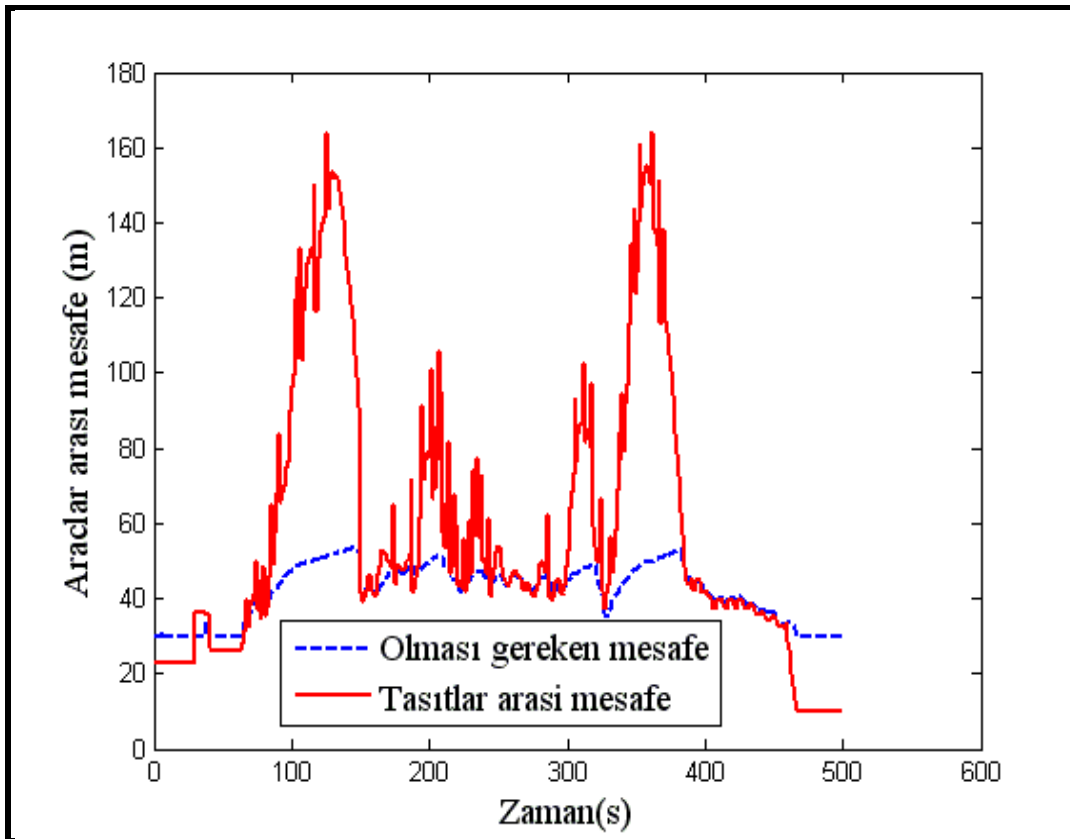
Şekil 5.25 : 13.05.2011 tarihli, GCDC lider aracı ile alınan hız verisi.



Şekil 5.26 : 13.05.2011 tarihli, GCDC lider aracı ile alınan mesafe farkı verisi.



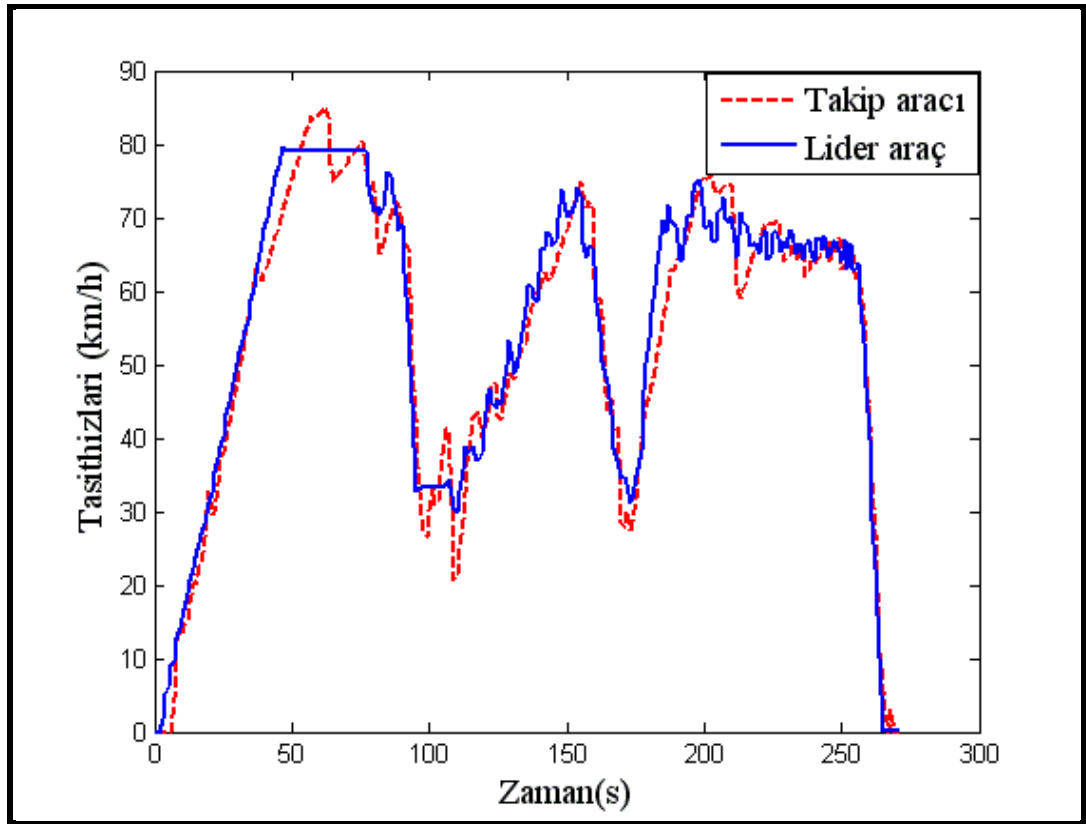
Şekil 5.27 : 13.05.2011 tarihli, hazırlık konvoyundan alınan hız verisi.



Şekil 5.28 : 13.05.2011 tarihli, hazırlık konvoyundan alınan mesafe farkı verisi.

Şekil 5.27'deki hız profili GCDC için gerekli testlerin geçilmesinin hemen ardından yapılan ve GCDC yarışmacılarının test yapmak için oluşturdukları konvoydan alınmış veri sonuçlarıdır. Bu hız profiline bakıldığında GCDC profiline benzemediği görülmektedir. Hız profili öndeki yarışmacının manüel olarak oluşturduğu profildir. 60. ile 100. saniyeler arasındaki hızlanma GCDC profilinden daha atılgandır ve daha iyi takip edilmiştir. Frenlemenin bu test içinde birebir takip edildiği görülmektedir.

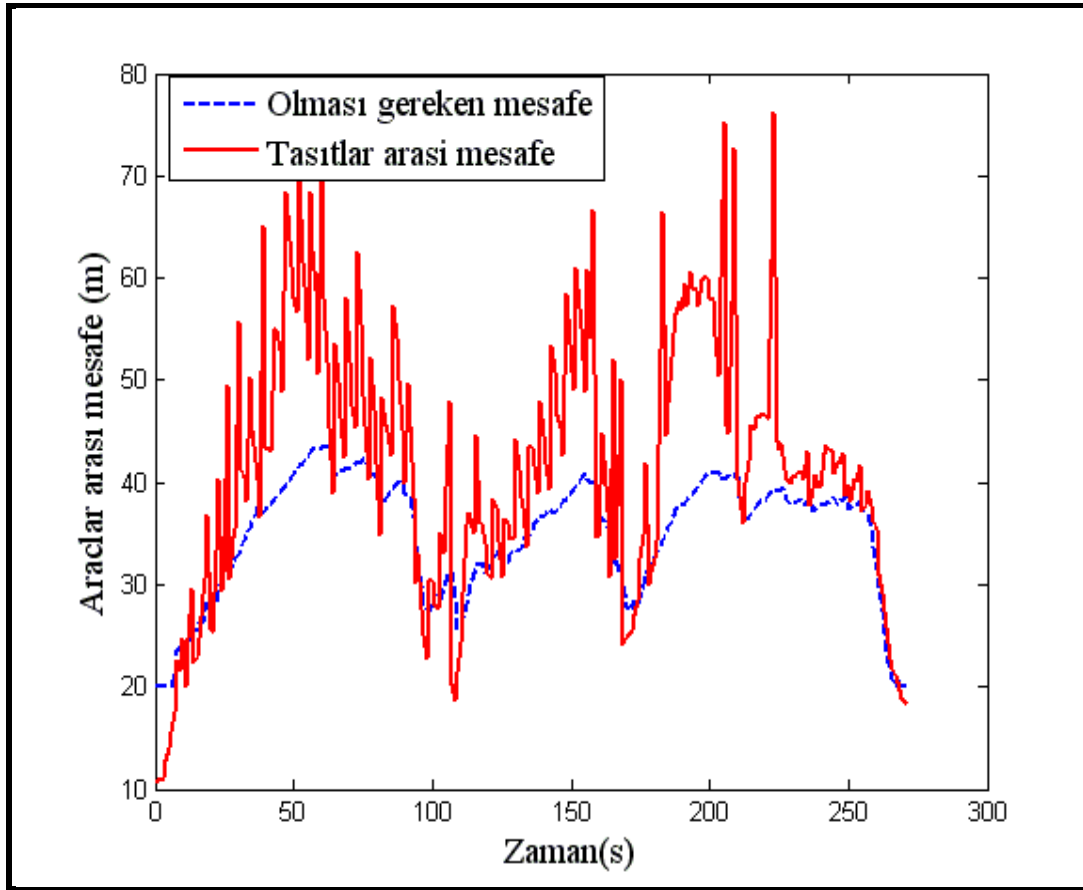
Şekil 5.28'deki takip mesafesinin, yarışmasının sınırları dışında gerçekleştirilen aşırı hızlanmalar haricinde takip mesafesini korumada yeterli olduğu görülmektedir.



Şekil 5.29 : 14.05.2011 tarihli, birinci yarış etabından alınan hız verisi.

Şekil 5.29'deki hız grafiği 14.05.2011 cumartesi günü yapılan yarış etaplarından alınmıştır. GCDC hız profilinin yarışma esnasında daha iyi takip edildiği görülmektedir. Hız farklarının 5 km/saat ile -10 km/saat arasında değiştiği görülmektedir. Bu farklar sırasıyla 50. ve 110. saniyeleri arasında olmaktadır. Yüksek frekanslı hızlanma ve yavaşlamaların olduğu süreçler de hız takibi yeterince iyi yapılamamıştır. Frenlemeler de gösterilen performans bu etap için de lider araç profili ile birebir örtüşmektedir. Hız farkları yüzünden oluşan konum hatasının da artması nedeniyle bu etap esnasında konvoy kararlılığı bir miktar azalmıştır.

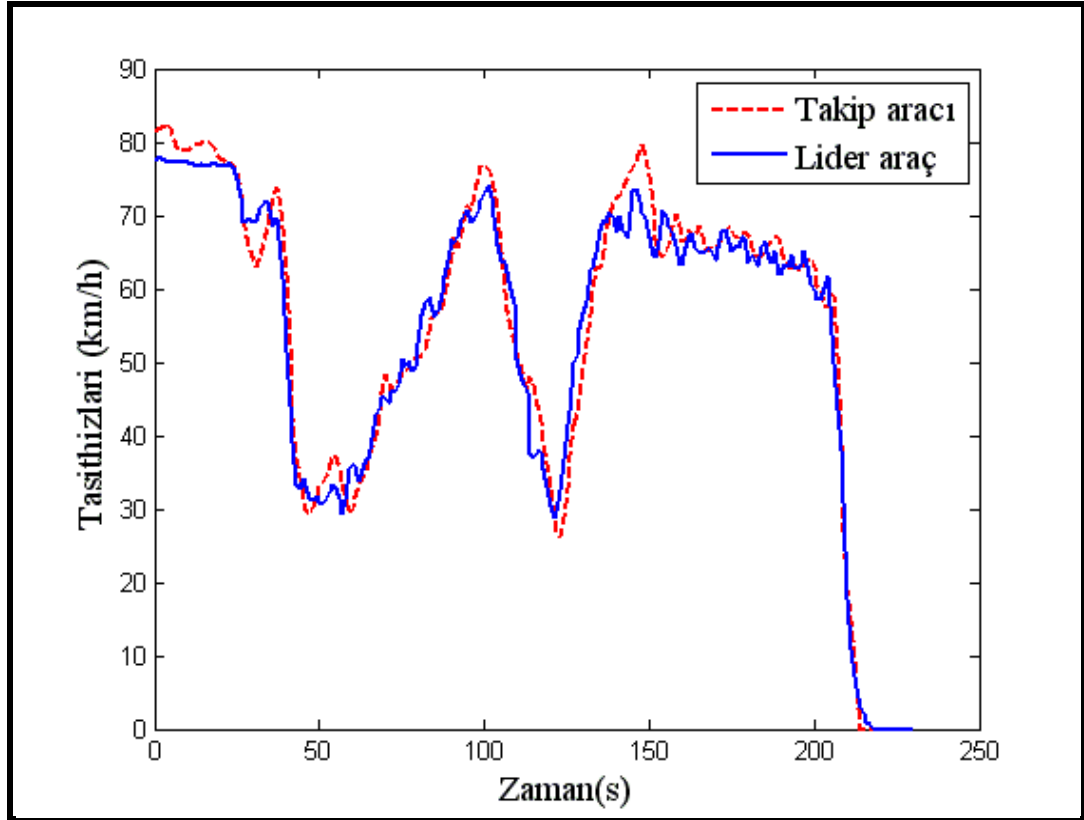
Şekil 5.30’de araçlar arası takip mesafeleri verilmiştir. Takip mesafesinin, 30. ile 50. ve 170. ile 200. saniyeler arasında hız takibinde geride kalınmasından dolayı takip mesafesinin de yakalanamadığı görülmektedir. Frekansı yüksek hızlanma ve yavaşlama bölgelerinde takip mesafesinin olması gereken mesafeye yakın seyrettiği görülmektedir. 250. saniyeden sonraki frenleme sürecinde takip mesafesinin birebir izlendiği görülmektedir. 90., 110. ile 170. saniyelerdeki takip mesafelerinin aşım yaptığı da görülmektedir.



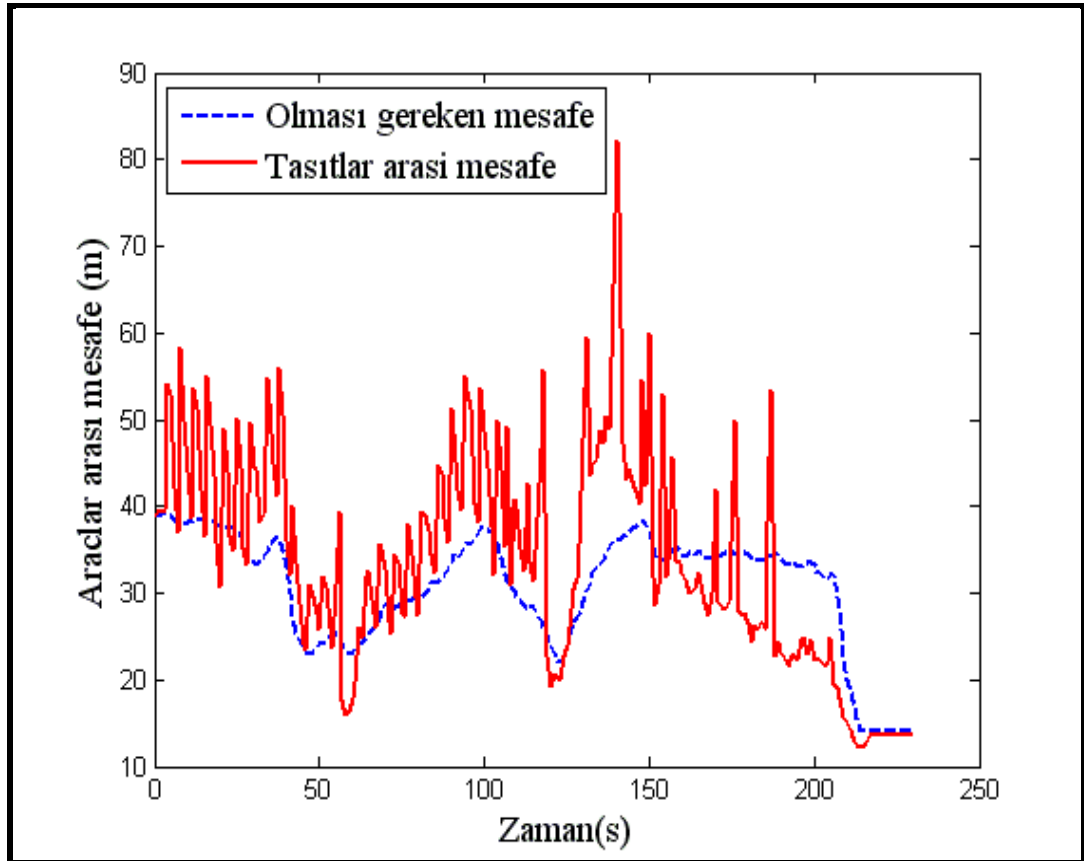
Şekil 5.30 : 14.05.2011 tarihli, birinci yarış etabından alınan mesafe farkı verisi.

Şekil 5.31’de GCDC yarışmasının cumartesi günü yapılan etaplarından alınmıştır. Grafikten de görüleceği üzere etap başlangıcında iletişim problemi nedeniyle veri kaydında problemler yaşanmıştır. Hız verileri incelendiğinde bu etap da hız takibi performansının çok iyi olduğu gözlenmiştir. Hız hatası, 9 km/saat ile -7 km/saat arasında değişmektedir.

Şekil 5.32’deki taşıtlar arası mesafe grafiğinin de ise taşıtlar arası izleme mesafesinin olması gereken mesafeye yakın seyrettiği görülmektedir. 125. ve 150. Saniyeler arasında bazı aşımaların olduğu da fark edilmektedir.



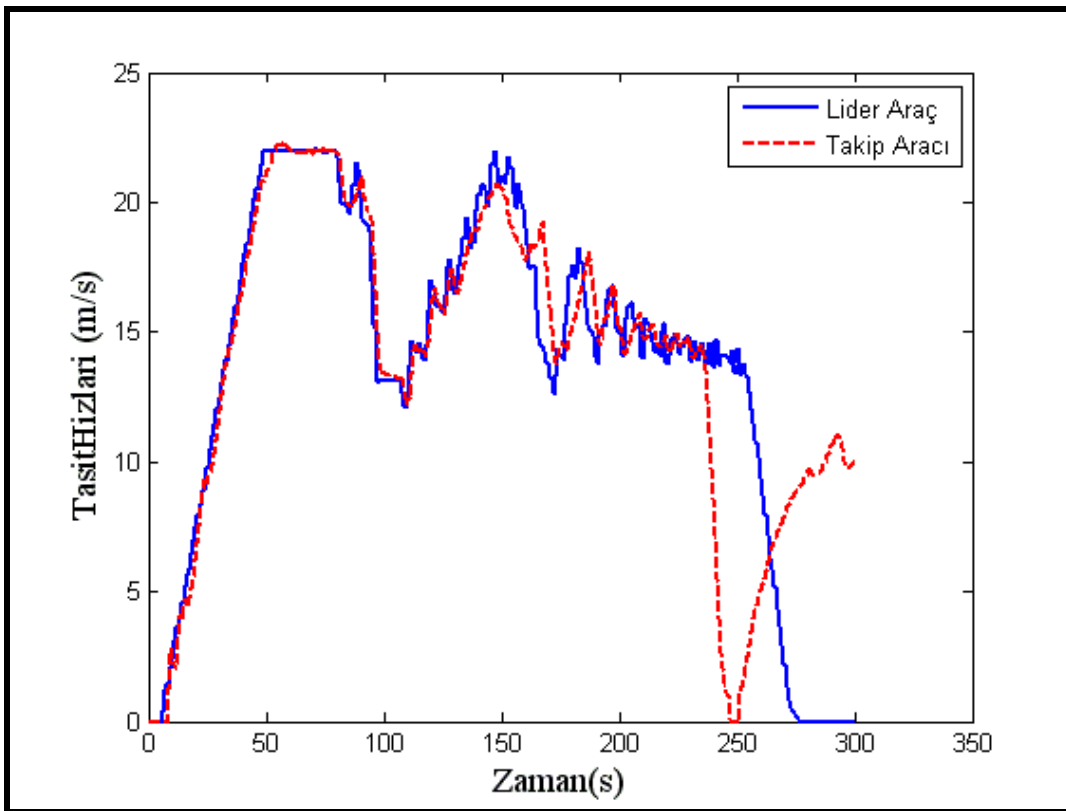
Şekil 5.31 : 14.05.2011 tarihli, ikinci yarış etabından alınan hız verisi.



Şekil 5.32 : 14.05.2011 tarihli, ikinci yarış etabından alınan mesafe farkı verisi.

5.3 Yarışma Sonrası Yapılan Testler ve Sonuçları

Araç üzerinde performans geliştirmek amacıyla Formula 1 Tuzla pistinin etrafında çeşitli testler gerçekleştirilmiş. Bir etap için kaydedilmiş GCDC lider araç verileri sanal taşıt gibi kullanılmıştır. Lider araç verisi yaklaşık olarak 4,5 dakika sürmektedir. Bu süre boyunca kat edilen mesafe 4 km'yi bulmaktadır. Tuzla pistinde bu kadar uzun ve düz bir yol olmadığından ve de yol üzerinde eğimler bulunduğundan gerçekleştirilen testlerdeki sonuçlar Helmond A-270 otobanında alınan verilerden daha kötü şartlar altında yapılmıştır. Örnekleme zamanı ise bu testler için 0,01 saniyedir.



Şekil 5.33 : Tuzla pisti hız grafiği.

Şekil 5.33'de Tuzla pistinde yapılan testlerde elde edilen hız grafiği görülmektedir. Grafiğin hız eksenini burada metre/s cinsindendir. Hız takibinin bu grafikte yarışmaya göre çok daha iyi yapıldığı görülmektedir. Özellikle 50. saniyeye kadar olan sürekli hızlanma periyodunun Hollanda'daki test ve yarış verilerindeki hız takiplerine nazaran daha yakın takip edildiğini göstermektedir. 50. saniye den sonra aracın hızının lider araç hız referansına göre daha az aşım yapması da bu farkın az olmasındandır. 150. Saniyeden başlayan ve 175. Saniyeye kadar süren yavaşlama

esnasında aracın hızında sapmalar görülmektedir. Bu sapmalar pistin eğimli bölgesine gelindiğinden kaynaklanmaktadır. Yüksek frekanslardaki hız takibi oldukça yeterlidir. Yaklaşık 4 km/ saat hız farkı geçilmemiştir. Test alanı yeterli uzunlukta olmadığından tüm sanal hız profili takip edilememiştir. 250. saniyeden sonraki taşıt hızları arasındaki fark bu sebepten oluşmaktadır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında CACC donanımlı aracın altyapısı oluşturulmuş, gaz ve fren sistemlerine müdahalede bulunularak aracın otonom sürüş yapabilmesi sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan aracın sadece CC teknolojisine sahip olması nedeniyle aracın fren sistemine dışarıdan müdahalede bulunabilmek için gerekli otonom fren sistemi tasarlanıp başarıyla uygulanmıştır.

Aracın mekanik altyapısı için gerekli olan algılayıcı destek birimlerinin imalatı yapılmıştır. Bu mekanik sistemlerin tasarımları ve çizimleri gerçekleştirilmiştir. Aracın tüm mekanik sistemi, araca herhangi bir imalat işlemine tabii tutulmadan gerçekleştirilebilmiştir.

Otonom fren sistemleri incelenerek çeşitli tasarımlar yapılmıştır. Bu tasarımlar arasından maliyet ve tasarım ön şartlarını karşılaması açısından en uygun sistem araca uygulanmıştır. Araca uygulanan fren sistemi yarıştan elde edilen sonuçlardan da görüldüğü üzere tatmin edici performans göstermiştir. Araca müdahale etmeden fren sisteminin tasarımının ve imalatının yapılabilmesi, aşılması güç bir problem olsa da üstesinden gelinmiştir. Fren sisteminde kullanılan çelik tel ile spiral tüp arasında oluşan sürtünmeler sebebiyle fren telinde takılmalar meydana gelmiştir. Bu problem, fren pedalına, karşı yay eklenmesi ile çözülmüştür. Problemin giderilmesinde teflon kaplı tüplerin denenmesi ile sürtünme kuvvetlerinin ne derecede azaltılabileceği araştırılmalıdır.

CACC donanımlı aracın benzetimi yapılarak aracın performansı ve kontrolcü yapıları sınanmıştır. Benzetim sonuçları ile yarıştan elde edilen sonuçlar birbirlerine pekte yakın değildir. Aradaki farkların oluşum nedenleri yarışma esnasında haberleşme sisteminde karşılaşılan hatalar ve de aracın vites sisteminin ve aktarma organlarının benzetim ortamında destekleyici firmanın gizlilik ilkeleri nedeniyle modellenememiş olmasıdır. Tuzla pistinde yapılan testten elde edilen sonuç ise benzetim sonuçları ile örtüşmektedir. GCDC yarışmasında denenmek istenen takip mesafesi zamanı olan 0,6 saniye başarı ile test edilmiştir. Bu takip zamanı ile konvoy halinde seyir eden araçlar arası takip mesafeleri kısaltılarak trafik akışı arttırılmıştır. 0,6 saniyelik takip

zamanı ile seyir halinde iken konvoy birleşme ve kopma senaryolarında araçların ani tepkiler vermesi sürücü konforunu etkilemektedir. Bunun için bu gibi senaryolar üzerinde durulmalıdır.

Yol şartlarının müsait olmadığı karlı ve yağmurlu hava şartlarında veya yol yapısının kaygan olduğu durumlarda araçlar yolun sürtünme katsayısını tahmin ederek güvenli frenleme mesafesi ile takip zamanından elde edilen uygun takip mesafeleri arasında mübadele yapmalıdır. Yol eğim açısının tahminin yapılması ile eğimli yollarda araçların daha dinamik cevaplar verebilmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Yüzügüllü, İ.**, 2006. Taşıt güvenlik sistemlerinin taşıt alımında müşteri kararına etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- [2] **Url-1** <<http://www.gcddc.net>>, alındığı tarih 15.10.2010.
- [3] **Arem, B.V., Driel, C.J.G., and Visser, R.**, 2006. The impact of cooperative adaptive cruise control on traffic-flow characteristic, *IEEE Transactions Intelligent Transportation Systems*, **7**, no. 4, 429-436.
- [4] **Shaout, A. and Jarrahz M. A.**, 1997. Cruise Control Technology Review, *Pergamon Computers Electronic Engineering*, **23**, no. 4, 259-271.
- [5] **Software System Safety Working Group**, 2005. Adaptive cruise control system overview, *5th Meeting of the U.S. Software System Safety Working Group*, Anaheim, USA, 12-14 April.
- [6] **Güvenç, B. A. and Kural, E.**, 2006. Adaptive cruise control simulator: a low-cost, multiple-driver-in-the-loop simulator, *IEEE Control Systems Magazine*, **26**, no.3, 42-55.
- [7] **Raza, H. and Ioannou, P.**, 1996. Vehicle following control design for automated highway systems, *IEEE Control Systems Magazine*, **16**, no. 6, 43-60.
- [8] **Url-2** <<http://afdelingen.kiviniirja.net>>, alındığı tarih 09.08.2011.
- [9] **Kwakkernaat, M. and Hair-Buijssen S.**, (2011). GCDC 2011 rules and technology document, Netherlands. http://www.gcddc.net/mainmenu/Home/technology/Rules_and_Technology/Rules_%26_Technology_Document_v2_23022011, alındığı tarih 17.08.2010.
- [10] **Velupillai S. and Güvenç L.**, 2009. Laser scanners for driver-assistance systems in intelligent vehicles, *IEEE Control Systems Magazine*, **29**, no. 2, 17-19.
- [11] **Sosa, R. and Velazquez, G.**, 2007. Obstacles detection and collision avoidance system developed with virtual models, *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, Beijing, China, 13-15 December.
- [12] **Scholz, J., Willhoeft, V., Schulz, R. and Kluge, T.**, 2006. *ALASCA User Manual*, Ibeo Automobile Sensor GmbH, Hamburg, Germany.
- [13] **Thrun, S., Montemerlo, M., Dahlkamp, H., Stavens, D., Aron, A., Diebel, J., Fong, P., Gale, J., Halpenny, M., Hoffman, G., Lau, K., Oakley, C., Palatucci, M., Pratt, V. and Stang, P.**, 2006. Stanley: the robot that won the darpa grand challenge, *Wiley InterScience Journal of Field Robotics*, **23**, no. 9, 661-692.
- [14] **MEGEP**, 2007. *Metal teknolojisi eğme bükme, mesleki ve teknik eğitim okulları ders notları*, Millî Eğitim Basım Evi, Ankara, Türkiye.

- [15] **Frederic, G., S.**, (2011). GPS: theory, practice and applications, PHDOnline, USA. <http://www.pdhonline.org/courses/l116/l116content.pdf>, alındığı tarih 09.08.2011.
- [16] **Url-3** <<http://www.teknokulis.com>>, alındığı tarih 23.06.2011.
- [17] **Url-4** <<http://www.racq.com.au>>, alındığı tarih 23.06.2011.
- [18] **Url-5** <<http://www.xbow.com>>, alındığı tarih 09.01.2011.
- [19] **Url-6** <<http://www.kyowa-ei.co.jp>>, tarih 25.01.2011.
- [20] **Url-7** <<http://www.solteccorp.com>>, tarih 09.08.2011.
- [21] **Shoval, S., Zybur, J., V. and Grimaudo, D., W.**, 1998. Robot driver for guidance of automatic durability road (adr) test vehicles, *IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Leuven, Belgium, 16-20 May.
- [22] **Url-7** <<http://www.horiba.com>>, alındığı tarih 23.10.2010.
- [23] **Url-8** <<http://www.stahle.com>>, alındığı tarih 23.10.2010.
- [24] **Namik, H., Inamura, T. and Stol, K.**, 2006. Development of a robotic driver for vehicle dynamometer testing, *Australasian Conference on Robotics and Automation*, Auckland, New Zealand, 06-08 December.
- [25] **Wong, N., Chambers, C., Stol, K. and Halkyard, R.**, 2008. Autonomous vehicle following using a robotic driver, *15th International conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice*, Auckland, New Zealand, 02-04 December.
- [26] **Url-9** <<http://www.froudehofmann.com>>, alındığı tarih 28.10.2010.
- [27] **Url-10** <<http://www.abd.uk.com>>, alındığı tarih 28.10.2010.
- [28] **Alt, B. and Svaricek, F.**, 2010. Second-order sliding modes control for in-vehicle pedal robots, *International Workshop on Variable Structure Systems*, Mexico City, Mexico, 26-28 June.
- [29] **Limpert, R.**, 1999. *Brake Design and Safety Second Edition*, SAE, Danvers, USA.
- [30] **Maciuca, D., B.**, 1997. Nonlinear robust and adaptive control with application to brake control for automated highway systems, *PhD. thesis*, University of California, Berkeley, USA.
- [31] **Maciuca, D., B.**, 2001. *Intelligent vehicle technologies*, Butterworth Heinemann, Oxford, Great Britian.
- [32] **Hildebrandt, A., Sawodny, O., Tmtscbel, R. and Augsburg, K.**, 2004. Nonlinear control design for implementation of specific pedal feeling in brake-by-wire car design concepts, *American Control Conference*, Boston, USA, 30 June- 2 July.
- [33] **Wu, W.-c. and Shih, M.-c.**, 2003. Simulated and experimental study of hydraulic anti-lock braking system using sliding-mode pwm control, *Pergamon Mechatronics*, **13**, no. 4, 331-551.
- [34] **Benalie, N., Pananurak, W., Thanok, S. and Parnichkun M.**, 2009. Improvement of adaptive cruise control system based on speed

- characteristics and time headway, *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, St. Louis, USA, 10-15 October.
- [35] **Pananurak, W., Thanok, S. and Parnichkun, M.**, 2009. Adaptive cruise control for an intelligent vehicle, *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, Bangkok, Thailand, 22-25 February.
- [36] **Jang, J.-H., Park, M.-W., Lee, J.-y. and Lee, J.-s.**, 2009. Design and control of unmanned ground vehicle using suv, *ICROS-SICE International Joint Conference*, Fukuoka International Congress Center, Japan, 18-21 August.
- [37] **Bouhraoua, A., Merah, N., AlDajani, M. and ElShafei, M.**, 2010. Design and implementation of an unmanned ground vehicle for security applications, *7th International Symposium on Mechatronics and its Applications*, Sharjah, UAE, 20-22 April.
- [38] **Brogdon, J., Dunlap, R., Dyson P., Martin-de-Nicolas, A., Martin-de-Nicolas, J., Martin-de-Nicolas, Ju., McCauley, D., Miner, D., O'Quin, J., Polkowski, S. and Roever, J.**, 2005. Austin robot technology, inc. technical paper, Defense Advanced Research Projects Agency, USA. <http://archive.darpa.mil/grandchallenge05/TechPapers/Austin_Robot_Technology.ppd> alındığı tarih 21.08.2010.
- [39] **Url-11** <<http://www.vehico.de>>, alındığı tarih 18.10.2010.
- [40] **Wada, M. and Kameda, F.**, 2009. A joystick car drive system with seating in a wheelchair, *35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*, Porto, Portugal, 3-5 November.
- [41] **Url-12** <<http://mekaniktorna.blogcu.com>>, alındığı tarih 14.11.2010
- [42] **Gillespie, T., D.**, 1992. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE, Pennsylvania, USA.
- [43] **Aksun Güvenç, B.**, 2004. *Taşıt sistem dinamiği ve kontrolü ders notları*, İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul, Türkiye.
- [44] **Yiğit, T.**, 2004. Araç dinamiği modelleri geliştirilmesi ve savrulma - devrilme engelleyici kontrolde kullanımları, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [45] **Rajamani, R.**, 2006. *Vehicle Dynamics and Control*, Springer, New York, USA.
- [46] **Jazar, R., N.**, 2009. *Vehicle Dynamics: Theory and Applications*, Springer, New York, USA.
- [47] **Şentürk, M., Uygan, İ., M., C. and Güvenç, L.**, 2010. Mixed cooperative adaptive cruise control for light commercial vehicles, *IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC)*, İstanbul, Türkiye, 10-13 October.
- [48] **Url-13** <<http://www.otam.com.tr>>, alındığı tarih 10.07.2011.
- [49] **Bayrakçeken, H. ve Altıparmak, D.**, 2007. Fren test cihazı tasarımı ve frenleme kuvveti ölçüm ve modellemesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 22, no. 1, 21-26.

- [50] **Visser, R.**, 2005. Co-operative driving on highways, *MSc Thesis*, University of Twente, Netherlands.
- [51] **Yi, K., Hong, J. and Kwon Y., D.**, 2011. A vehicle control algorithm for stop-and-go cruise control, *Journal of Automobile Engineering*, **215**, no. 10, 1099-1115.
- [52] **Filho, S., C., T. and Donha, D., C.**, 2004. Automobile stop-and-go cruise control system tuned by genetic algorithms, *ABCM Symposium Series in Mechatronics*, Sao Paulo, Brazil, 10-14 November.
- [53] **Yi, K. Lee, S. and Kwon Y., D.**, 2001. An investigation of intelligent cruise control laws for passenger vehicles, *Journal of Automobile Engineering*, **215**, no. 2, 159-169.
- [54] **Yi, K., Ryu, N., Yoon, H., J., Huh, K., Cho, D. and Moon, I.**, 2002. Implementation and vehicle tests of a vehicle stop-and-go cruise control system, *Journal of Automobile Engineering*, **216**, no. 7, 537-544.
- [55] **Wang, J., and Rajamani, R.**, 2002. Adaptive cruise control system design and its impact on highway traffic flow, *Proceedings of the American Control Conference*, Anchorage, Alaska, 8-10 May.
- [56] **Ioannou, P., A. and Chien, C., C.**, 1993. Autonomous intelligent cruise control, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **42**, no. 4, 657-672.
- [57] **Zhao, J., Oya, M. and Kamel A., E.**, 2009. A safety spacing policy and its impact on highway traffic flow, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Xi'an, SHAANXI CN, 3-5 June.
- [58] **Santhanakrishnan, K. and Rajamani, R.**, 2000. On spacing policies for highway vehicle automation, *Proceedings of the American Control Conference*, Chicago, Illinois, 28-30 June.
- [59] **Chang, A.T.S.**, 1994. ADVANCE-F's car-following on vehicle cruise and automatic speed control, *Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings of the Digital Object Identifier*, Paris, France, 26-29 October.
- [60] **Hashimoto, N., Ozguner, U. and Sawant, N.**, 2011. Evaluation of control in a convoy scenario, *Intelligent Vehicles Symposium (IV), IEEE Digital Object Identifier*, Baden-Baden, Germany, 5-9 June.
- [61] **Moon, S., Moon, I. and Yi, K.**, 2008. Design, tuning and evaluation of a full-range adaptive cruise control system with collision avoidance, *Control Engineering Practice*, **17**, no. 4, 442-455.
- [62] **Kural, E.**, 2006. Adaptif Seyir Sistemleri Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [63] **Ogata, K.**, 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*, Pearson, New Jersey, USA.
- [64] **Nowakowski, C., Shladover, S., E. and Cody, D.**, 2010. *Cooperative adaptive cruise control: testing drivers' choices of following distances*, California Path Program Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley, USA.

- [65] **Ploeg, J. and Nunen, E., V.**, 2011. Judging workshop, *GCDC Technology Workshop 2011*, Helmond, Netherlands, 21 January 2011.

EKLER

EK A.1 : Sistem yapısı

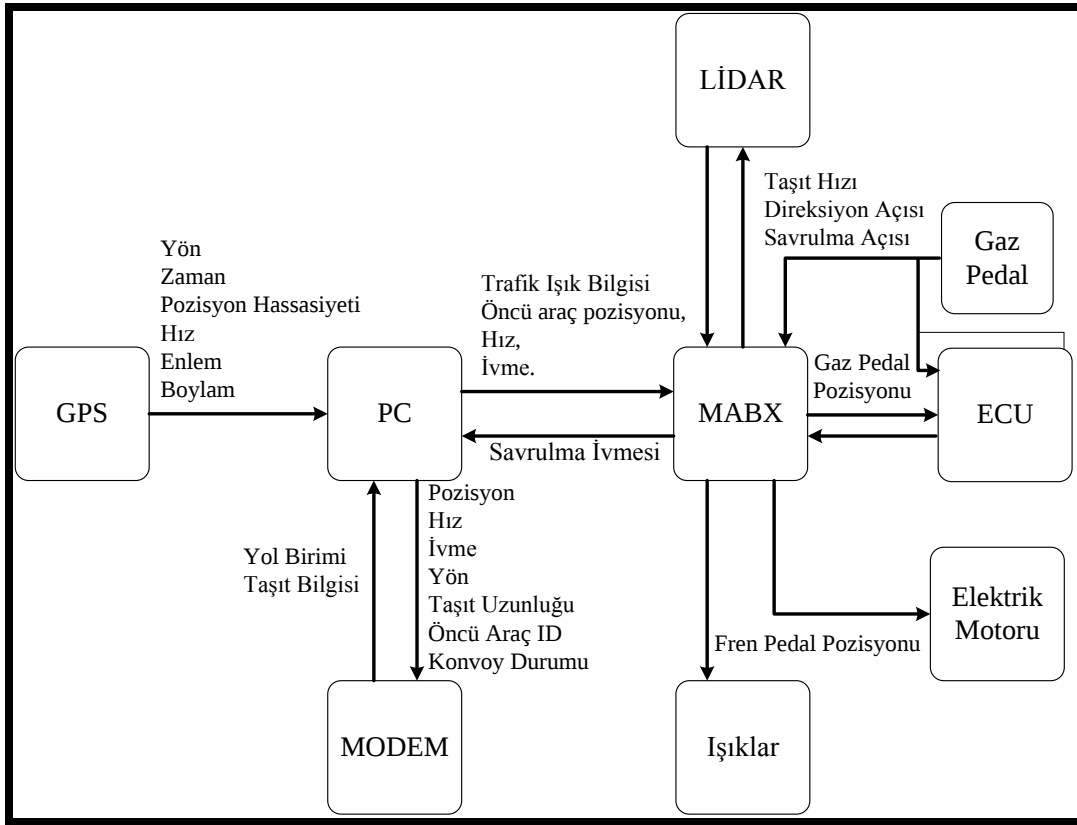
EK B.1 : CC algoritması

EK C.1 : CACC algoritması

EK Ç.1 : Alt seviye kontrolcü

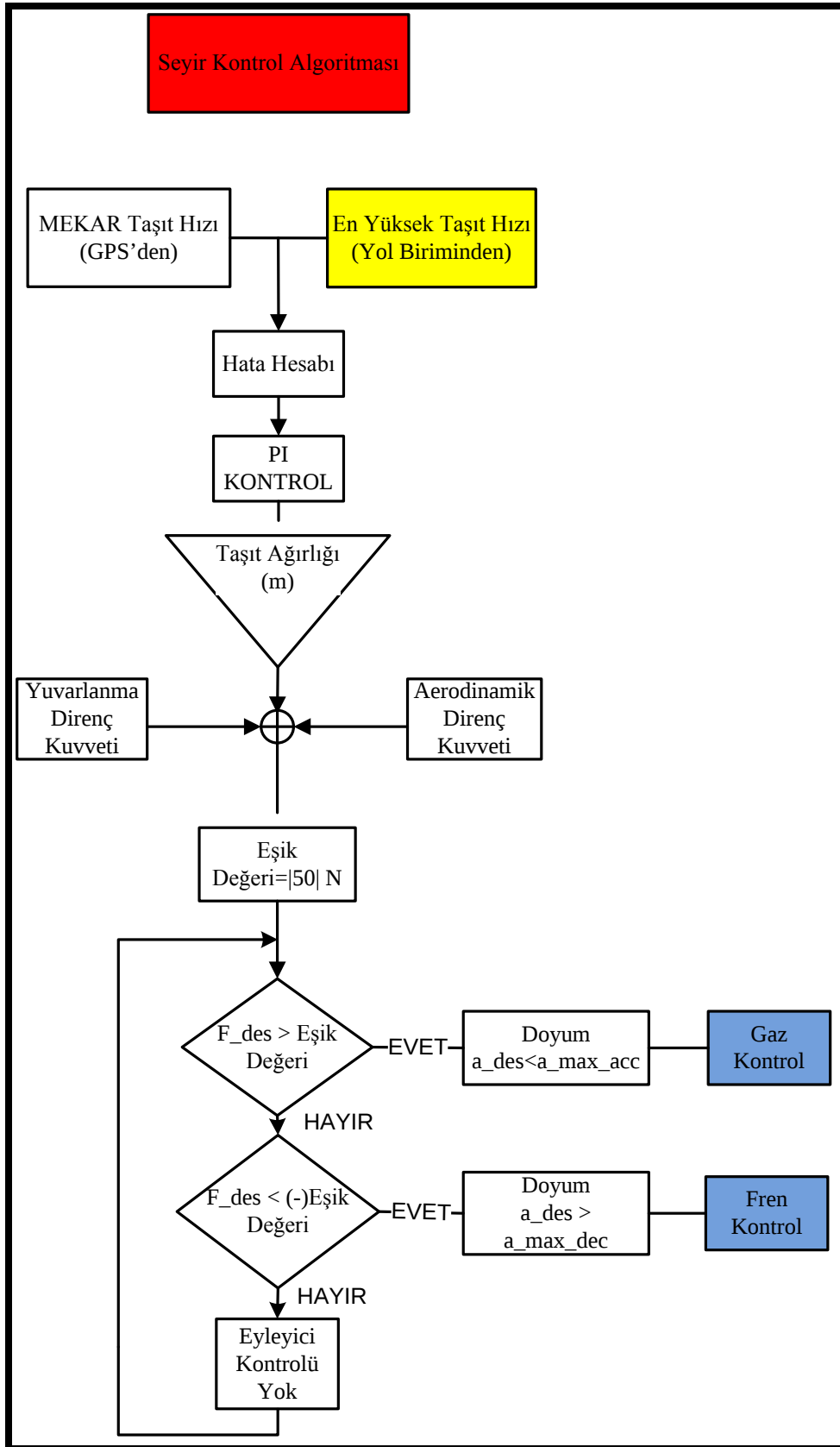
EK D.1 : Üst seviye kontrolcü

EK A.1



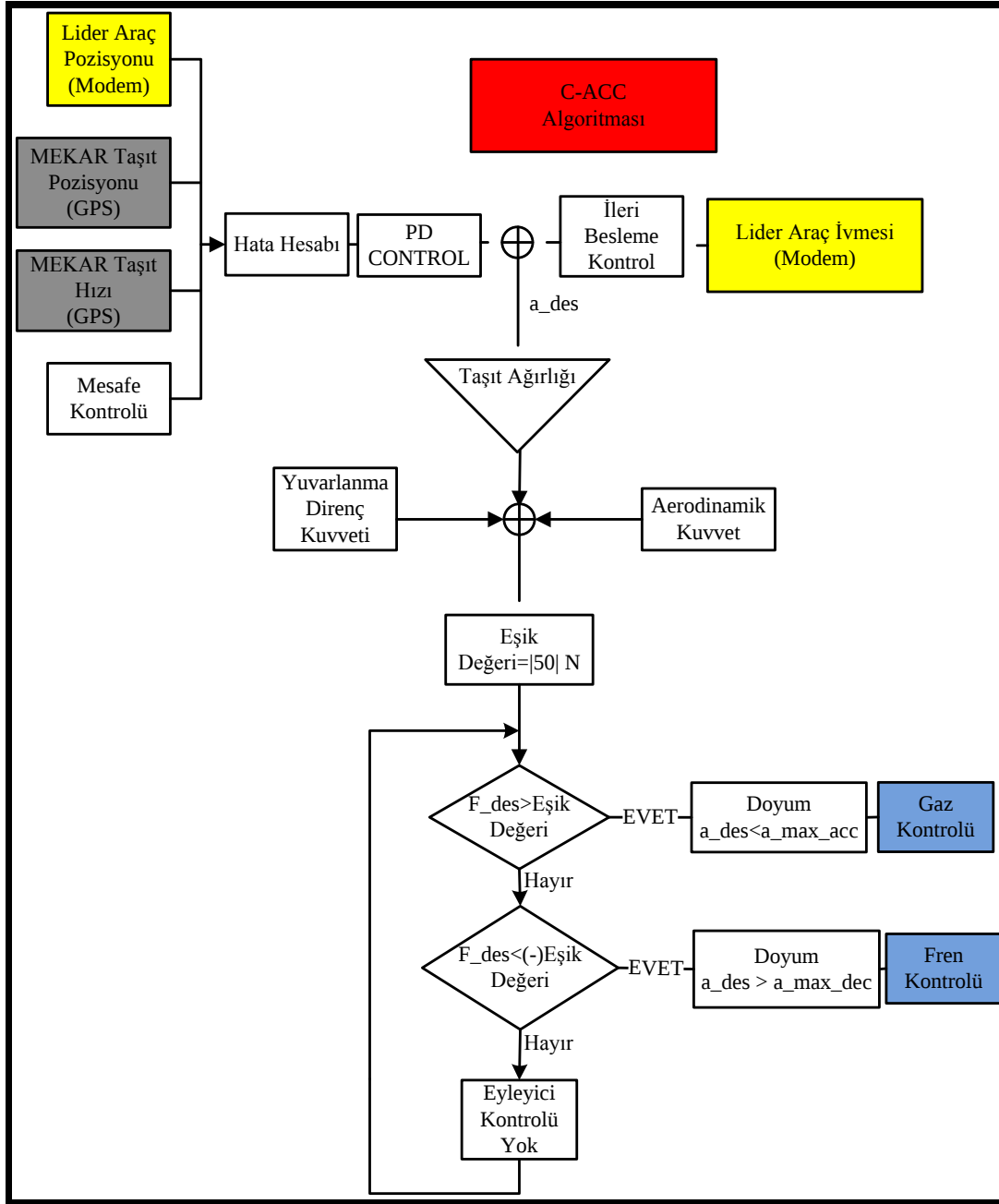
Şekil A.1 : Üst seviye kontrolcü.

EK B.1



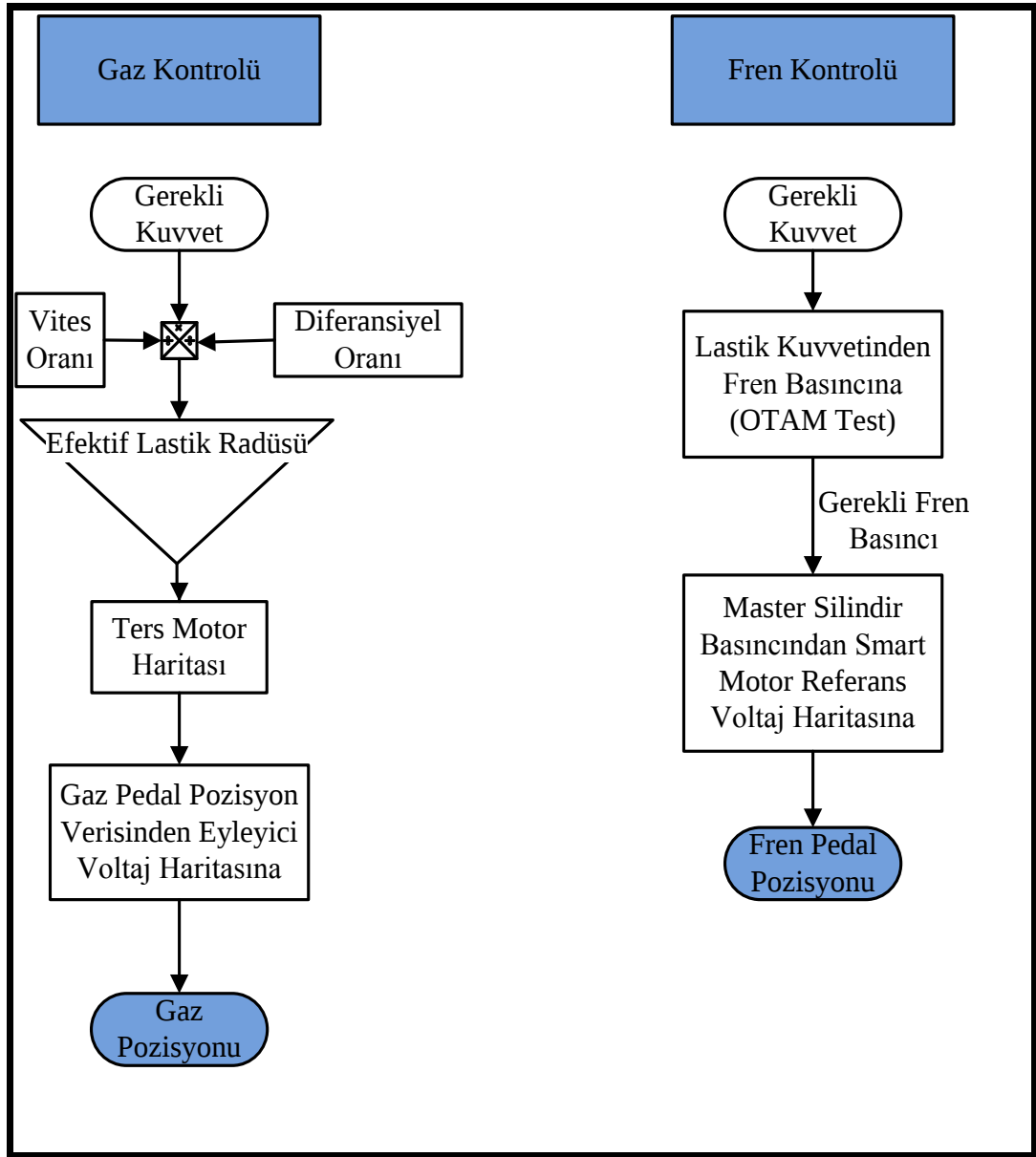
Şekil B.1 : CC algoritması.

EK C.1



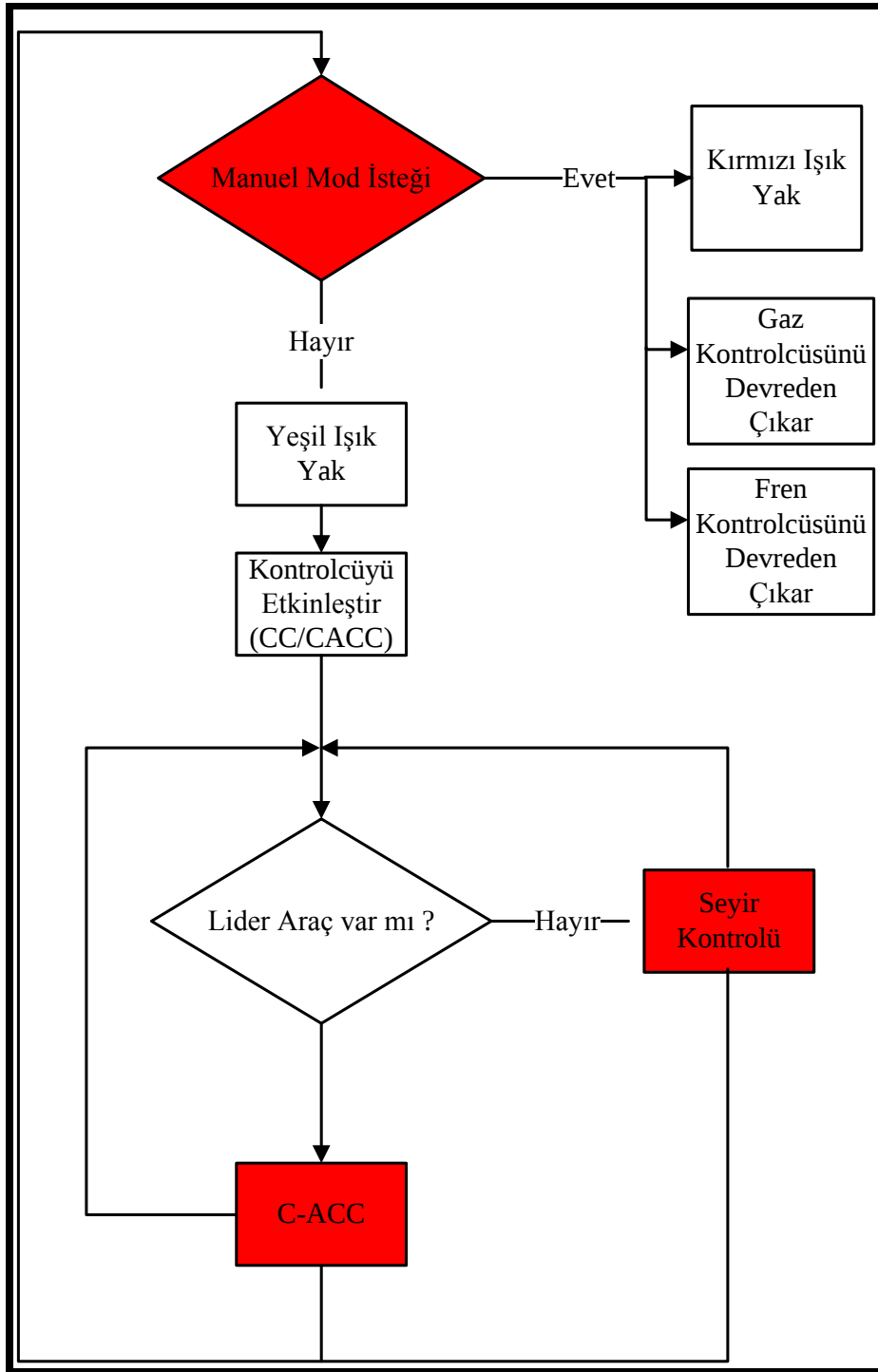
Şekil C.1 : CACC algoritması.

EK Ç.1



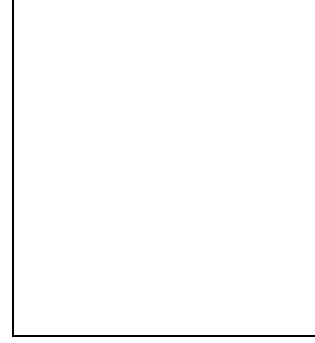
Şekil Ç.1 : Alt seviye kontrolcü.

EK D.1



Şekil D.1 : Üst seviye kontrolcü.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Raif KARAAHMETOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 10.03.1986

Adres: Okan üniversitesi, Tuzla kampusu, Mühendislik Fakültesi, Mekar laboratuvarı,
34959, Tuzla / İSTANBUL.

Lisans Üniversite: Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü.

Yayın Listesi: