

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞIT DİNAMİĞİ KONTROLCÜSÜ VE SANAL SENSÖRÜ
GELİŞTİRİLMESİ İÇİN ARAÇ İÇİ TEST VE DONANIM İÇEREN
SİMÜLATÖR ALTYAPISI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mutlu ŞENTÜRK**

Anabilim Dalı : Mekatronik Mühendisliği

Programı : Mekatronik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Levent GÜVENÇ

EKİM 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞIT DİNAMIĞI KONTROL CÜSÜ VE SANAL SENSÖRÜ
GELİŞTİRİLMESİ İÇİN ARAÇ İÇİ TEST VE DONANIM İÇEREN
SİMÜLATÖR ALTYAPISI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mutlu ŞENTÜRK
(518081024)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Eylül 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Ekim 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Levent GÜVENÇ (OKAN
ÜNİV.)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Bilin Aksun GÜVENÇ (OKAN
ÜNİV.)
Yrd. Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ (İTÜ)**

EKİM 2011

Anneme, Babama ve Kardeşime

ÖNSÖZ

Donanım içeren simülatörlerin otomotiv uygulamalarında kullanımı, sayı ve karmaşıklık olarak artan taşıt kontrolcü sistemleri ile birlikte artış göstermektedir. Taşıt aktif güvenlik sistemleri (ABS, ESP), motor ve vites kontrol ünitelerini geliştirme ve test etme aşamasında donanım içeren simülasyonlar önemli rol oynamaktadır. Buna rağmen gelişen sistemler ile birlikte HiL (Hardware-in-the-Loop) sistem adaptasyonu bir o kadar da zorlaşmaktadır. Bu çalışmada ticari taşıt yanal dinamiği kontrolcüsünün ve sisteme ait diğer sensör elemanlarının donanım içeren simülatör düzeneğinde test edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için MEKAR Donanım İçeren Simülatörünle çeşitli simülasyonlar koşturulmuş, HiL sisteminin son aşaması olan kalibrasyon sürecinde de TOFAŞ-Fiat fabrikasında taşıt testleri gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle Mekatronik Araştırmaları Laboratuvarı (MEKAR) bünyesinde bana çalışma ve araştırma yapma şansı tanıyan saygıdeğer danışmanım ve hocam Prof. Dr. Levent GÜVENÇ'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca çalışmamda bana destekte bulunan tüm MEKAR çalışanlarına da teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam esnasında deneysel test imkanlarını sağlayan TOFAŞ-Fiat otomobil firmasına ve tezimin son safhalarında laboratuvar olanaklarından faydalandığım OKAN Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dekanlığına da desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Son olarak, tüm öğrenim hayatım boyunca beni destekleyen ve sevgilerini esirgemeyen aileme en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.

Eylül 2011

Mutlu ŞENTÜRK
Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Konusu ve Amacı	1
1.2 Tezin Kapsamı	5
2. HİL SİSTEM YAPISI	7
2.1 Taşıt Elektroniği Geliştirme Yöntemi (V - Çevrimi)	7
2.2 Donanım İçeren Simülasyon.....	9
3. ESP HİL ELEMANLARI	11
3.1 Sensörler	12
3.1.1 Direksiyon açısı sensörü.....	12
3.1.2 Savrulma açısı hız sensörü (Yanal ve boyuna ivme ölçer grubu)	13
3.1.3 Fren basınç sensörü	14
3.1.4 Tekerlek hız sensörleri.....	14
3.2 Aktüatörler	15
4. TAŞIT MODELLERİ	19
4.1 Tek İzli Taşıt Modeli	19
4.2 CarMaker Taşıt Modeli.....	24
5. HİL SİSTEM ARAYÜZLERİ	27
5.1 CAN (Controller Area Network).....	27
5.1.1 Standartlaştırma;.....	28
5.1.2 CAN haberleşmesi.....	29
5.1.3 CAN düğümü	29
5.1.3.1 CAN kontrolcüsü.....	30
5.1.3.2 CAN alıcı-vericisi.....	30
5.1.4 CAN veri yolu	32
5.1.4.1 CAN veri yolu seviyeleri.....	32
5.1.4.2 CAN veri yolu mesaj iletimi.....	33
5.1.5 CAN mesaj çerçevesi.....	34
5.1.5.1 CheckSum CRC algoritması.....	35
6. SANAL SENSÖR TASARIMI	37
6.1 Giriş	37
6.2 Sanal Sensör Yapısı.....	39
6.3 Kinematik Tahmin.....	40
6.4 Dinamik Tahmin	42

6.4.1 Kalman filtresi	42
7. HiL SİMÜLASYON VE TAŞIT TEST SONUÇLARI.....	45
7.1 Benzetim Çalışması.....	45
7.2 MEKAR Donanım İçeren Taşıt Benzetimcisi	46
7.3 Benzetim Sonuçları	48
7.4 Donanım İçeren Benzetim Sonuçları	49
7.5 Gerçek Yol Testleri Sonuçları	51
8. SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR.....	59
EKLER	63

KISALTMALAR

ABS	: Antilock Brake System
ACC	: Adaptive Cruise Control
CAN	: Controller Area Network
DYC	: Direct Yaw Moment Control
EKÜ	: Elektronik Kontrol Ünitesi
ESC	: Electronic Stability Control
ESP	: Electronic Stability Program
HiL	: Hardware-in-the-Loop
LIN	: Local Interconnect Network
MIL	: Model-in-the-Loop
MPC	: Model Predictive Control
NHTSA	: National Highway Traffic Safety Administration
PWM	: Pulse Width Modulation
RCP	: Rapid Control Prototyping
RTI	: Real Time Interface
SIL	: Software-in-the-Loop
TCS	: Traction Control System
VDC	: Vehicle Dynamics Control
YSC	: Yaw Stability Control
UNECE	: United Nations Economic Commission for Europe

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Taşıt modeline ait temel parametreler.....	20
Çizelge 5.1 : 8-bit SAE J1850 CRC değerleri.	36

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : ESP kullanım oranları [3].....	3
Şekil 1.2 : Taşıt viraj karakteristiği [4].....	4
Şekil 2.1 : EKÜ geliştirme aşamaları (V çevrimi).....	7
Şekil 2.2 : Temel HiL sistem elemanları.....	9
Şekil 3.1 : ESP elemanları [7].....	11
Şekil 3.2 : Direksiyon açısı sensörü BOSCH [8].....	12
Şekil 3.3 : Savrulma açısı hız, yanıl ve boyuna ivme sensör grubu [8].....	13
Şekil 3.4 : CAN ağ geçidi.	14
Şekil 3.5 : Akıllı aktif tekerlek hız sensör sinyali, [1].	15
Şekil 3.6 : Solenoidler, valfler ve geri fönüş pompası [1].....	16
Şekil 3.7 : ESP ünitesi hidrolik şeması [17]	16
Şekil 3.8 : Solenoid valfler ve valf sinyal algılama ünitesi.	18
Şekil 3.9 : VDC ünitesi giriş çıkış sinyalleri [1].....	18
Şekil 4.1 : Tek izli taşıt modelinin kinematik diyagramı.....	19
Şekil 4.2 : Doğrusal olmayan tek izli taşıt modeli blok diyagramı [9]	22
Şekil 4.3 : CarMaker programı kullanıcı arayüzü.	25
Şekil 4.4 : CarMaker programı Simulink blokları ve kullanıcının eklediği bloklar. .	25
Şekil 5.1 : Geleneksel veri yolu ve bus ağı [21]	27
Şekil 5.2 : CAN ISO standartları [21]	28
Şekil 5.3 : CAN haberleşme ağı.	29
Şekil 5.4 : CAN kontrolcüsü.	31
Şekil 5.5 : CAN alıcı-vericisi.	31
Şekil 5.6 : CAN veri yolu.	32
Şekil 5.7 : CAN veri yolu gerilim seviyeleri [21]	33
Şekil 5.8 : Farklı CAN düğümlerinin yola veri yazma girişimleri.	33
Şekil 5.9 : CAN veri çerçevesi (Standart ve genişletilmiş formatlar).	34
Şekil 6.1 : BOSCH savrulma açısı hızı sensörü.	38
Şekil 6.2 : Sanal sensör genel yapısı.	39
Şekil 6.3 : Kinematik tahmin için taşıt şematik görünüşü, [12].....	41
Şekil 7.1 : Test manevraları: (a) Çift şerit değiştirme (b) Slalom.	45
Şekil 7.2 : Gerçek zamanlı MEKAR donanım içeren taşıt benzetimcisi.....	46
Şekil 7.3 : MEKAR taşıt simülatörünün çalışma diyagramı.....	47
Şekil 7.4 : Ani şerit değiştirme manevrası sonuçları.	48
Şekil 7.5 : Slalom manevrası sonuçları.	49
Şekil 7.6 : Donanım içeren ani şerit değiştirme manevrası sonucu.	50
Şekil 7.7 : Donanım içeren slalom manevrası sonucu.....	50
Şekil 7.8 : TOFAŞ Bursa test pisti.	51
Şekil 7.9 : MicroAutoBox ünitesi ile araca bağlanma.....	51
Şekil 7.10 : Simulink gerçek zamanlı CAN arayüzü blokları.....	52
Şekil 7.11 : Taşıt hızı (slalom testi).....	53

Şekil 7.12 : Direksiyon açısı (slalom testi).....	53
Şekil 7.13 : Taşıt yanal ivmesi (slalom testi).....	54
Şekil 7.14 : Sensör ve tahmin edilen savrulma açısal hızları (slalom testi).	54
Şekil 7.15 : Sabit dönüş manevrasının animasyonu.....	54
Şekil 7.16 : Taşıt hızı (sabit dönüş).....	55
Şekil 7.17 : Direksiyon açısı (sabit dönüş).....	55
Şekil 7.18 : Taşıt yanal ivmesi (sabit dönüş).....	56
Şekil 7.19 : Sensör ve tahmin edilen savrulma açısal hızları (sabit dönüş).	56

TAŞIT DİNAMIĞI KONTROLCÜSÜ VE SANAL SENSÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ İÇİN ARAÇ İÇİ TEST VE DONANIM İÇEREN SİMÜLATÖR ALTYAPISI

ÖZET

Bu tez çalışmasında otomotiv, uzay ve havacılık, savunma gibi bir çok sektörde yaygın olarak kullanılan donanım içeren simülatörler ele alınmıştır. Donanım içeren simülatörler, gerçek zamanlı simülasyon ve hızlı kontrolcü prototiplendirme teknikleri hakkında genel bilgilerin bulunduğu çalışmada ticari bir taşıt dinamiği kontrolcüsünün test edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca taşıt savrulma açışal hız sensörü verisinin tahmin edilmesi ve tasarlanan sanal sensörün HiL ortamında test edilmesi gerçekleştirilmiştir. Simülatör tasarım aşamaları anlatılmıştır.

Birinci bölümde donanım içeren simülatörlerin daha çok otomotiv alanındaki kullanımının kısa bir tarihçesi verilmiştir. Ayrıca çalışmada ele alınan taşıt dinamiği kontrolcüsünün (ESP) günümüzdeki kullanım oranları ve sistemin çalışma prensibi anlatılmıştır. HiL sisteminin yapısı ve getirdiği avantajlar ile sistem gereksinimleri ikinci bölümde üzerinde durulan konu olmuştur.

Üçüncü bölümde ESP sisteminin elemanları ve çalışma prensiplerinden bahsedilmiştir. ESP kontrol ünitesinin doğru ve hatasız şekilde çalışabilmesi için simülasyon ortamında yaratılıp ESP'ye iletilmesi gereken bilgiler verilmiştir. Sensör ve aktüatörlerden oluşan elemanların HiL sistemine nasıl entegre edilebileceği anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde kullanılan taşıt modelleri (Tek izli ve CarMaker paket programı) anlatılmıştır. Taşıt modelinden alınan veriler tasarımın ilk aşamalarında HiL donanımına yüklenmektedir. Gerçek taşıt uygulamasında en yakın sonucu almak için modelin yüksek doğrulukta olması gerekmektedir.

Beşinci bölümde HiL sisteminin sensörleri doğru şekilde simüle edebilmesi için gerekli olan arayüzlerden bahsedilmiştir. Daha çok kullanılan CAN (Kontrol Alan Ağı) üzerinde durulmuş, hattın fiziksel yapısı, mesaj çerçevesi ve çalışma mantığından bahsedilmiştir.

Altıncı bölümde örnek uygulama olarak sanal sensör tasarımı, bu tasarımın kinematik ve dinamik tahmin safhaları anlatılmıştır.

Yedinci bölümde uygulanan tahmin algoritmasının donanım içeren simülatörde gerçek zamanlı olarak test edilmesi ile elde edilen simülasyon ve deney sonuçları verilmiştir. TOFAŞ-Fiat test pistinde gerçekleştirilen taşıt testlerinden alınan veriler ile sanal sensör algoritması sınanmıştır. Sonuçlar bu bölümde yer almaktadır.

Tez sekizinci bölüm olan sonuçlar ve öneriler bölümüyle son bulmaktadır.

VEHICLE TEST AND HARDWARE-IN-THE-LOOP SIMULATOR INFRASTRUCTURE FOR VEHICLE DYNAMIC CONTROL AND VIRTUAL SENSOR DESIGN

SUMMARY

In this thesis, Hardware-in-the-Loop (HiL) simulators that have a lot of use in areas like automotive, aerospace and aeronautics and defense sectors are discussed. The aim of this thesis is to test a commercial vehicle dynamics control unit along with giving information about Hardware-in-the-Loop simulators, real time simulations and rapid control prototyping. Observer design for a vehicle yaw rate sensor and testing its validity with HiL simulations and actual vehicle tests are also presented.

In the first chapter, a brief review of the historical development of HiL simulators used in the automotive area is given. Also, working principals of a commercial vehicle dynamic controller is explained and its increasing usage rate is illustrated. HiL system architecture, its advantages and system requirements are the topics of the second chapter.

In the third chapter, ESP (Electronic Stability Program) system components and their working principles are mentioned. Required simulation messages that must be sent to the ESP unit are presented in order to make the unit work properly and correctly. How to incorporate sensors and actuators to the HiL system is presented.

The main topic of the fourth chapter is vehicle models (Single track and CarMaker commercial software) used in the early and final stages of the simulations. In the first stage of the work, vehicle data is gathered from the vehicle model and loaded to the HiL simulator. To be able to get realistic results as in an actual vehicle the vehicle model needs to be validated.

In the fifth chapter HiL system interfaces are investigated. CAN (Controller Area Network) interface is the main topic of this chapter as the most important information is transmitted through it. The structure of the CAN bus, its message frame and working principles are given.

In the sixth chapter virtual sensor design and its kinematic and dynamic estimation stages are explained.

In the seventh chapter, real time HiL simulation results are given. And finally the virtual yaw rate sensor algorithm is tested with actual vehicle data collected during actual vehicle tests which were held in the TOFAŞ-Fiat test track.

The paper ends with conclusion and recommendations in Chapter 8.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Konusu ve Amacı

Mekatronik elemanların sayısının artması ve bunun beraberinde elektronik taşıt sistemlerinin karmaşıklığının da artması neticesinde belirli elektronik kontrol üniteleri test aletleri ve teknolojileri geliştirilmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu sebeple teknoloji sağlayıcılar ve otomotiv üreticilerinin kendileri de dahil olmak üzere geliştirme süreci esnasında artan sayıda donanım içeren simülasyon sistemleri kullanılmaktadır. Donanım içeren simülasyon (HiL) sistemi gerçek elektronik kontrol ünite veya ünitelerini taşıt gerçek zamanlı modeline bağlamayı içerir. Bu şekilde her bir kontrol ünitesi sistematik şekilde test edilebilir.

Son zamanlardaki gelişmelerle birlikte otomotivde akıllı sensör ve aktüatörlerin kullanılması ve bunların bir kısmının kontrol ünitelerine entegre şekilde sunulması bir trend haline gelmiştir. Bu şartlar altında EKÜ'ler sadece basit analog veya dijital arayüzlere sahip olmaktan çıkmış aynı zamanda standart bazı protokoller ile (CAN vs.) bu sensörler ile haberleşebilir hale gelmişlerdir. Bu gelişmeler HIL simülasyonlarına özel bazı zorlukları da beraberinde getirmiştir [1].

“Hardware-in-the-Loop” kelimesi Türkçe'ye “Donanım İçeren Simülasyon” şeklinde çevrilebilir ki bu tezde bu haliyle kullanılmıştır. Bunların haricinde literatürde “Çevrimde Donanımsal Benzetim”, “Donanımla Benzetim” şeklinde kullanımları da mevcuttur.

Donanım içeren simülasyonun otomotiv uygulamalarında kullanılmaya başlama tarihi 1980'lere kadar uzanır. HiL sistemleri tekil sistem elemanlarının test edilmesi amacıyla daha çok üniversitelerde, araştırma laboratuvarlarında ve ileri mühendislik departmanlarında kullanılıyordu. 1990'larda taşıtlarda artan sayıda Elektronik Kontrol Ünitelerinin (EKÜ) kullanılmaya başlanması ile birlikte EKÜ'lerin test edilmesi üzerinde daha sık durulan bir durum haline geldi.

Artık kontrol ünitelerinin kendisi asıl test edilecek ürün olmuştur. HiL sistemleri sadece ileri mühendislik ve kontrol tasarımında değil aynı zamanda üretim geliştirme safhasında da yaygınlaşarak kullanılmaya başlandı. 1990'lar boyunca taşıtta kullanılan kontrol üniteleri ve dolayısıyla ağ yapılarının sayısı giderek arttı. O zamana kadar ECU'ları test etmek için kullanılan breadboard'lar yetersiz kalmaya başladı. Dolayısıyla bu cihazlar yerini tüm ECU çeşitlerini içeren ECU ağının otomatik testini mümkün kılacak laboratuvar araçlarına (ECU ağına bağlı HiL sistemleri) bıraktı [2].

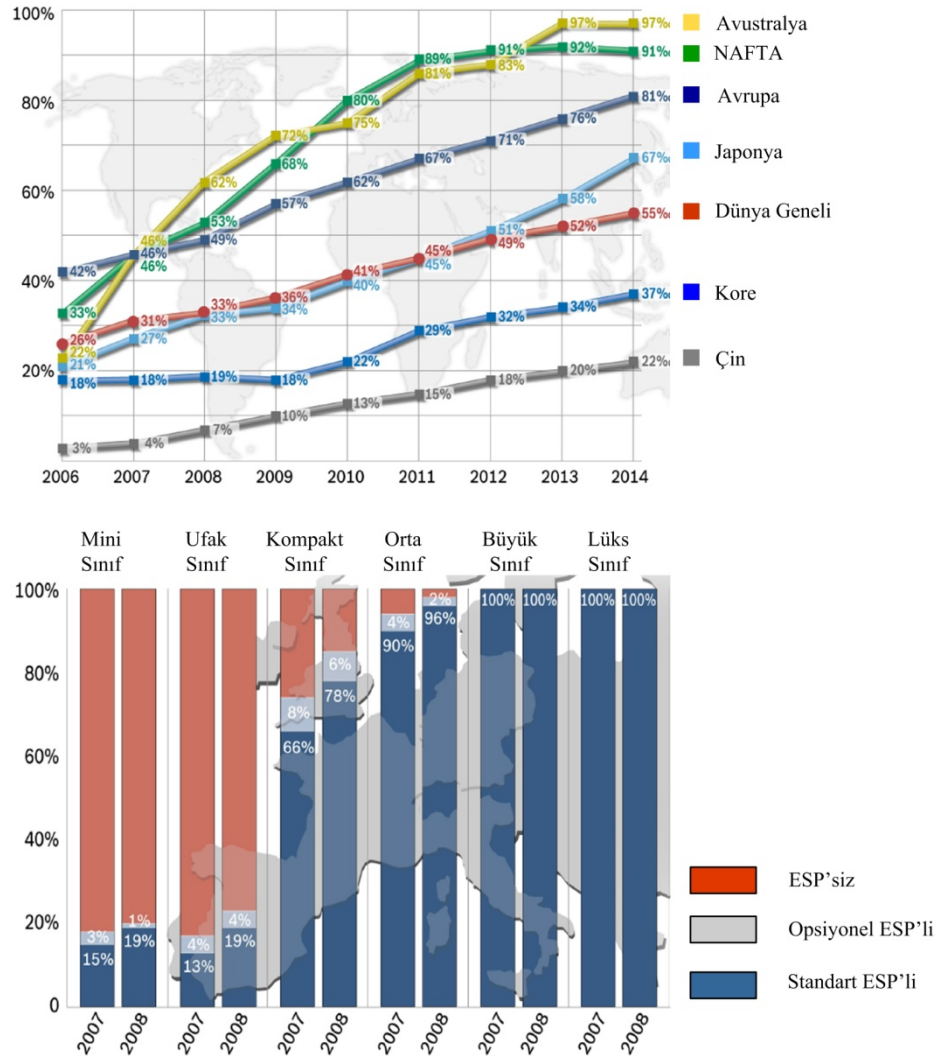
Kilitlenmeyi önleyici fren sistemleri "Anti-lock Brake Systems (ABS)" ilk kez 1979'da DaimlerChrysler tarafından sunulduğunda frenleme esnasında tekerleklerin kilitlenmesini önleyecek bir sisteme sahipti. Bu yetkinlik aracın direksiyon kontrolünün kaybolmasını engellediği gibi aynı zamanda lastik yol sürtünme katsayısını da optimize ettiğinden frenleme mesafesinde de iyileşme sağlıyordu. ABS ECU'sunun temel fonksiyonu tekerlek hızlarını kullanarak azami yol sürtünme sınırının aşılmamasını kontrol etmek ve gerekirse manyetik valfler yardımıyla fren basıncını düşürmektir. ABS ECU testleri için ilk HiL sistemleri 1980'lerin sonunda kurulmaya başlanmıştır. HiL teknolojisi gelişimini sürdürdükçe bu alanda bir çok yeni yayın daha yayınlanmıştır.

Tek başına ABS sistemi ile taşıtın savrulmasını engellemek sürücünün direksiyon hakimiyetine bağlıdır. ABS'den sonraki aşama taşıtın savrulmasını engellemek için ters yönde savrulma hareketini düzeltici bir moment oluşturmaktır. Bu karşı yöndeki moment tekil frenleme yapılarak sağlanabilir. 1990'ların ortalarında ilk VDC/ESP (Vehicle Dynamic Controller/Electronic Stability Program) ticari taşıtta uygulanmıştır.

Savrulma, meydana gelen trafik kazalarının ana nedenlerinden biridir. Savrulma hızı, aracın yanal hız parametresiyle birlikte araçta kararsızlığa (instability) yol açan en önemli parametredir. ESP®, kazalardaki ölüm ve yaralanmaları önemli ölçüde azaltır ve sürüş güvenliğine önemli bir katkı yapar. Araştırmalar ölümcül trafik kazalarının en az yüzde 40'ının savrulmalardan meydana geldiğini göstermektedir. ESP® savrulmaları yüzde 80'e kadar azaltabilir [3].

ESP® ile donatılmış araçların sayısı sürekli artmaktadır. 2008'in ilk yarısında, Avrupa'da trafiğe kaydedilen araçlardaki ESP® oranı yüzde 53'e yükselmiştir.

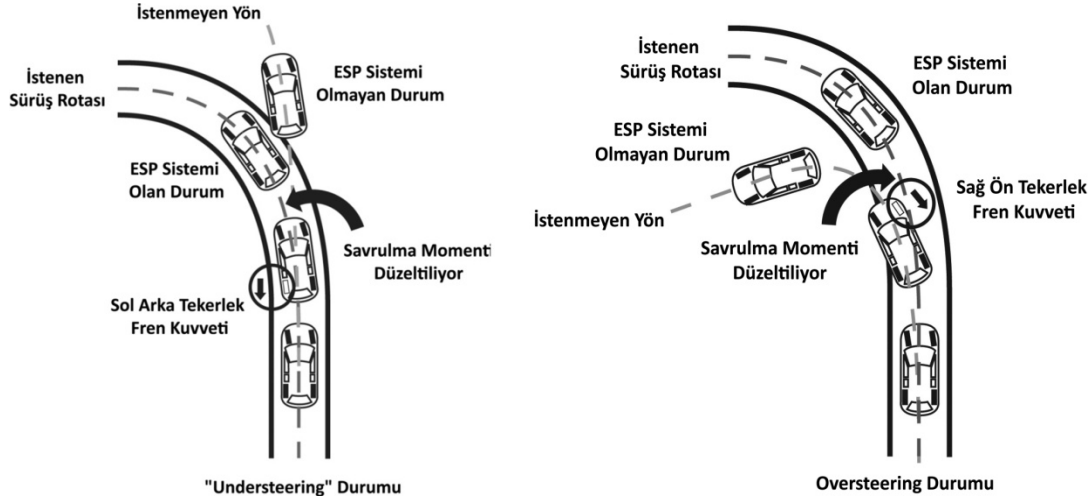
Dünyada ise bu oran şu an yaklaşık her üç araçtan biri şeklindedir. ESP®'nin kabul oranı ileriki yıllarda da artmaya devam edecektir. Şekil 1.1'de ESP kullanım oranlarının ülkelere göre ve araç tiplerine göre değişimi verilmiştir.



Şekil 1.1 : ESP kullanım oranları [3]

ESP® sistemi aracın istenilen yönden farklı bir doğrultuda seyrettiğini algılayarak fren sistemine, motora veya direksiyona müdahale ederek aracı yolda tutmaya çalışır. ABS ve TCS, aracın boyuna yöndeki dinamiklerine müdahale ederken, ESP® ek olarak yanal yöndeki dinamikleri geliştirir ve böylece tüm yönlerde kararlı bir sürüş sağlar.

Şekil 1.2'de aracın dönüş esnasında karşılaşılabileceği durumlar görülmektedir. Dönüşlerde eğer ön lastikler daha fazla kaymaya maruz kalırsa taşıt virajın dışına doğru yönelir. Sürücü yolda kalabilmek ve istenen doğrultuda ilerleyebilmek için daha fazla direksiyon girişi vermeli ya da aracın hızını azaltmalıdır.



Şekil 1.2 : Taşıt viraj karakteristiği [4]

Dönüşlerde arka lastikler daha fazla kayma üretirlerse bu kez araç viraj içine savrulur. Daha az bir direksiyon girişi ile araç daha çok yönlenmiş olur. Bu durum ilk bahsedilene göre daha tehlikeli olup savrulma sınırı aşıldıktan sonra araç kararlılığı kaybolabilir.

ESP sistemi bu gibi durumlarda devreye girerek taşıta müdahale eder. Müdahale tekil fren basınçlarına etki ederek ve böylece ters bir moment yaratarak yapılabileceği gibi, motor torkuna müdahale ederek taşıtın yavaşlaması da sağlanabilir.

ESP ünitesi taşıt üzerindeki direksiyon açısı sensörü, gaz pedalı konumu ve fren pedal basıncı bilgileri ile sürücünün gitmek istediği konumu algılar. Tekerlek hız sensörlerinden aldığı hız bilgileri ile taşıt hızını hesaplar ve savrulma açısal hız sensöründen taşıtın yanal dinamiği bilgilerini alarak taşıtın hareketini izler. Sürücünün gitmek istediği yön ile taşıtın hareketi arasında belli bir fark olduğu zaman ESP devreye girer [5].

ESP kullanımı trafik kazalarının gerçekleşmesini önleyerek ekonomik olarak da büyük faydalar sağlamaktadır. Baum vd.'nin 2007 yılında yaptığı çalışma sonuçlarına göre, hem can kaybı ve yaralanmalardan doğan iş gücü kayıpları, hem de mal zararlarından doğan kayıplar dikkate alındığında, taşıtlarda ESP kullanılarak İngiltere'de yıllık yaklaşık 1.6 milyar Avro, Almanya'da yaklaşık 4.7 milyar Avro, İtalya'da yaklaşık 1.8 milyar Avro, İspanya'da yaklaşık 1.8 milyar Avro, Fransa'da yaklaşık 1.6 milyar Avro ve sonuç olarak 25 Avrupa Birliği ülkesinde toplam 16 milyar Avroluk ekonomik kayıp geri döndürülebilirdi [6].

Yukarıda sayılan özelliklerinden dolayı, 2012 yılından itibaren genel olarak ESP olarak adlandırılan sistemlerin otomobil firmaları tarafından piyasaya yeni sürülecek tüm taşıtlarda bulundurulması bir zorunluluk olacaktır. Otomobil firmaları ESP ve benzeri kontrol ünitelerinin test edilmesi ve fonksiyonlarının sınanması için araştırma ve geliştirme faaliyetleri yürütmektedirler. Taşıt kontrolcü sistemleri ve diğer tekil sistemlerin tasarımı ve geliştirilmesi için donanım içeren simülatörler önemli rol oynamaktadır. Aynı zamanda sistemin getirdiği maliyet yükünü azaltmak için çalışmalar da yürütülmektedir (Örneğin sensör verilerinin – savrulma açısı hız sensörü- tahmin yoluyla hesaplanıp sensör maliyetinin azaltılması, sensörlerin birbirine veya kontrol ünitesine entegre olarak üretilmesi buna örnektir.) Bu gibi çalışmaların da gerçek taşıt ortamında test edilmesinden önce simülasyon ortamında performansının sınanıp HiL simülasyonları ile sonuçların desteklenmesi hızlı bir prototipleme imkanı sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında taşıt ESP sisteminin temel elemanlarından savrulma açısı hız sensörünün taşıtta bulunan mevcut diğer sensörler yardımıyla sanal olarak tasarlanması ve simülasyon sonuçlarının donanım içeren simülatörde sınanması amaçlanmıştır. Tahmin sonuçları öncelikli olarak laboratuvar ortamında kurulu dSPACE donanım içeren simülatöründe kıyaslanmış daha sonra taşıt testlerinde gerçek savrulma açısı hız sensörü by-pass edilerek gerçek taşıt testleri yapılmıştır.

Mevcut bir ESP kontrol ünitesinin çalışması için gerekli bütün sinyaller (tekerlek hız sinyalleri, direksiyon açısı sensörü, savrulma açısı hız sensörü, fren basıncı sensörü, CAN mesajları) HiL sistemi ile oluşturulmuş, sanal taşıt simülasyonları ile oluşturulan standart test manevralarında ESP ünitesinin çalışması test edilmiştir.

1.2 Tezin Kapsamı

Bu tez çalışmasında taşıt savrulma açısı hızının sanal olarak üretilmesi ve tasarımın HiL ortamında sınanması konusu üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde HiL sisteminin tanımı, geliştirme aşamaları, HiL sisteminin avantajları, sistem gereksinimleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde taşıt ESP sistemi ve fonksiyonları anlatılmış ESP sistemindeki sensör, kontrol ünitesi ve aktüatörler ve çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmiştir.

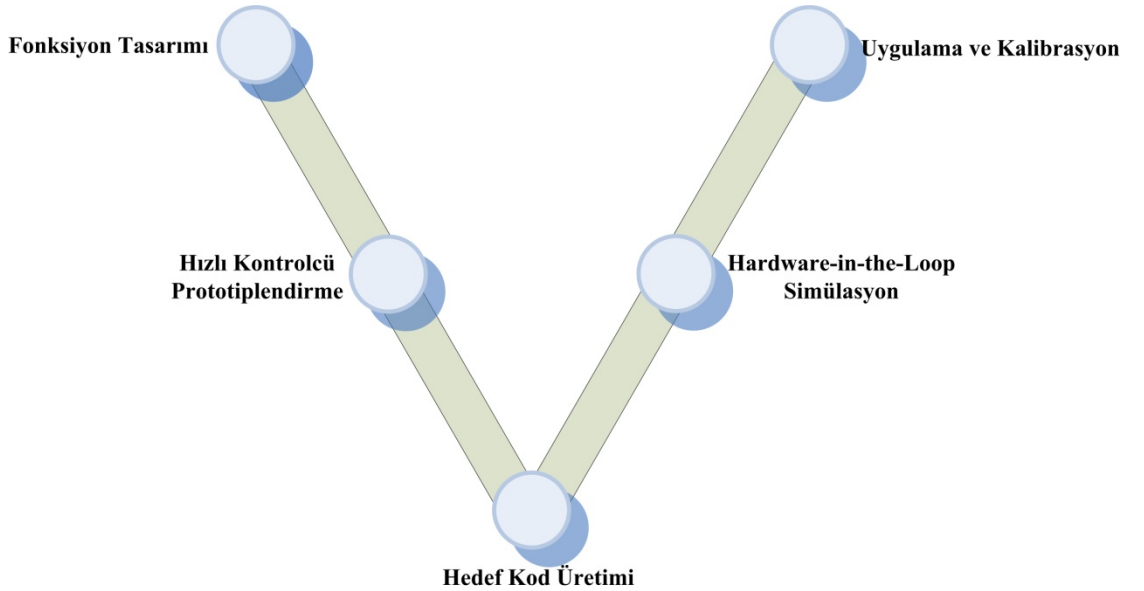
Dördüncü bölümde simülasyon çalışmalarında kullanılan taşıt modellerine ayrılmıştır. İlk uygulamalar tek izli taşıt modeli ile yapılırken sonrasında daha yüksek doğruluğa sahip CarMaker taşıt modeli ve arayüzü anlatılmıştır. Beşinci bölümde HIL simülatöründe kullanılan arayüzlerden (CAN, PWM, dijital-analog giriş/çıkışlar) bahsedilmiş ve gerekli sinyallerin nasıl üretileceği açıklanmıştır. Bu kısımda karşılaşılan zorluklar ve bunlara karşılık bulunan çözüm yöntemleri anlatılmıştır. Altıncı bölümde sanal sensör tasarımı ve yapısı verilmiştir. Sensörü meydana getiren kinematik ve dinamik tahmin kısımlarından bahsedilmiştir. Yedinci bölümde donanım içeren taşıt simülatörünün yapısı ve elemanları anlatılmış ve elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Bölüm son olarak gerçek taşıt ile yapılan yol testleri ve test sonuçlarının yorumlanması ile devam etmiştir.

2. HiL SİSTEM YAPISI

2.1 Taşıt Elektroniği Geliştirme Yöntemi (V - Çevrimi)

Taşıt elektroniği sistemlerinin yüksek karmaşıklığı dışında otomotiv elektronik sistemleri geliştirme yöntem yapısı da karmaşıktır. Dikkate alınması gereken birçok teknik ve organizasyonel yanlar vardır. Fonksiyonların, donanım ve yazılımın geliştirilmesi genelde değişik şirketler tarafından yapılabilir. Bu durum üretici ile teknoloji sağlayıcı arasında düzgün bir koordinasyon gerektirir. Aynı zamanda teknik zorluk seviyesi ve kontrol fonksiyonlarının farklı tedarikçilerden gelen birçok kontrol ünitesine dağıtılması gerçeği belli başlı bazı prosedürlerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır.

Otomotiv geliştirmede ve kısmi olarak elektrik/elektronik geliştirmede V çevrimi yaklaşımı esas alınır. Şekil 2.1’de Çevrim şeması verilmiştir. Şemada V - çevriminin muhtelif aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : EKÜ geliştirme aşamaları (V çevrimi)

Çevrime göre öncelikle kontrolcünün yapması gereken işlevler tespit edilir. Bu aşamada Matlab/Simulink gibi grafik tabanlı modelleme sistemleri kullanılarak yazılım modeli geliştirilir. Bu aşama model içeren simülasyonlarla ilerletilir. Yazılım modelleri görsel bazı taşıt modelleri ile doğrulanır (CarMaker, CarSim vb.) Bahsedilen taşıt modellerinin Simulink ile olan arayüzleri sayesinde modeller kolayca değiştirilebilir; mesela bazı taşıt alt sistemleri kullanıcının kendi tasarladığı modellerle değiştirilebilir.

Model içeren simülasyonlarda test edilen yazılım modelleri kontrolcü yazılımı ile değiştirilir ve simülasyon ortamına entegre edilir. Kontrolcü simülasyon ortamında sınanır. Uygulama hatalarının ortaya çıkarmak ve yazılım davranışını analiz etmek için ileride kullanılacak kod sanal taşıt ortamında tatbik edilir.

HiL elemanlarının test edilmesinin amacı üretilen programın kontrolcü donanımı ve işletim sistemi ile mükemmel bir şekilde etkileştiğinden emin olmaktır. Gerçek kontrol ünitesi taşıtın davranışını simüle eden ve gerçek zamanlı olarak gerekli ECU sinyallerini üretebilen HiL test ortamına entegre edilir. HiL test düzeneğinde performans ve güvenlik testleri yapılabilir. Güvenlik testleri elektriksel bir hata durumunda taşıtın davranışını sınamak için yapılır.

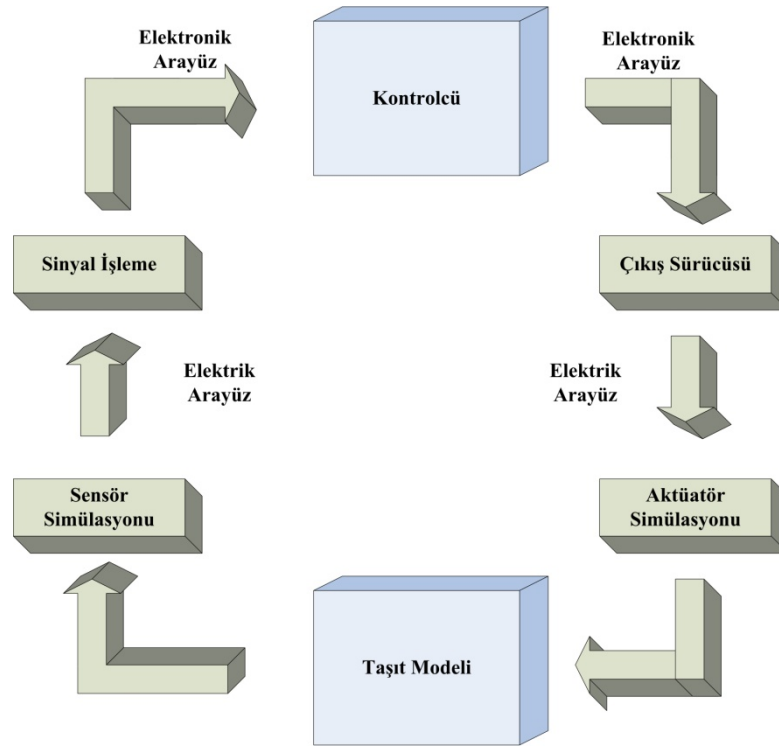
HiL simülasyonu çevrim içinde gerçek bir donanım içeren gerçek zamanlı simülasyon olarak da tanımlanabilir. Çevrim içindeki eleman gerçek bir kontrol ünitesi veya test edilecek başka bir donanım olabilir. HiL simülasyonundaki amaç elektronik kontrolcünün çalışmasını sağlayacak tüm sinyalleri üretmektir. Böylece kontrol ünitesi bu şekilde kandırılarak sanki gerçek sisteme bağlıymış gibi davranması sağlanır.

HiL simülasyonlarının test maliyetlerini azaltma ve test sırasında meydana gelebilecek kaza ve yaralanmaları önleme gibi avantajları vardır. Örnek olarak ESP veya ABS kontrol ünitesinin test edilmesi için gerçekleştirilecek standart bir manevrada taşıt sınır yol koşullarında sınanır. Bu gibi testler her ne kadar deneyimli sürücüler ve güvenlik önlemleri ile yapılıyor olsa da hem taşıt hem de sürücü için risk taşır. Benzer simülasyonların HiL ortamında yapılması durumunda bu riskler ortadan kaldırılmış ve olası yüksek maliyetli arıza ve kazalar önlenmiş olur. Zaman olarak da aynı testler HiL ortamında defalarca koşturulabilir.

Kalibrasyon aşamasında istenen sistem cevabı elde edilene kadar kontrol algoritması ve ECU parametreleri optimize edilir. Parametrelerin ayarlanması gerçek test ortamında veya HiL test düzeneğinde yapılabilir. Kalibrasyon sırasında kontrol giriş parametreleri, sabitler, kazançlar ve tablolar ayarlanabilir.

2.2 Donanım İçeren Simülasyon

Donanım içeren simülasyonlarda (HiL simülasyonları) gerçek taşıtın davranışı sanal ortamda simüle edilir. Gerçek taşıt elemanları elektriksel arayüzleri ile simülatöre bağlanır. Böylece gerçek zamanlı ortam davranışı yeniden üretilmiş olur.



Şekil 2.2 : Temel HiL sistem elemanları

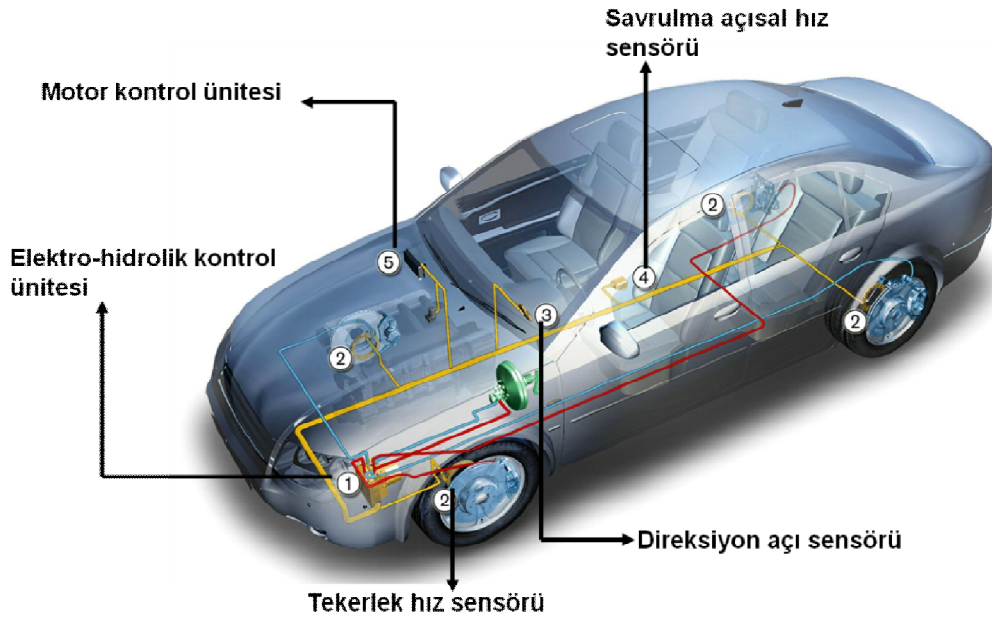
Şekil 2.2’de temel HiL sistem elemanları gösterilmiştir. Test edilecek kontrol ünitesi gerçek taşıt yerine simülasyon sistemine bağlanmıştır. Matlab/Simulink gibi modelleme ortamında geliştirilip tasarlanan taşıt modeli, sensör ve aktüatör modelleri simülasyonda çalıştırılır. Uygun C kodu otomatik olarak modelden üretilir ve gerçek zamanlı çalışan donanıma yüklenir. Gerçek zamanlı çalışan donanım elektriksel arayüz ile elektronik kontrol ünitesine bağlanır. Bunun için simülatörün gerekli giriş/çıkış’lara ve bazı özel arayüzlere sahip olması gerekir (CAN, PWM vs.)

Donanım içeren simülatör kullanımının pek çok avantajı vardır. Bazı temel olanları aşağıdaki gibidir:

- Kontrol ve regölasyon fonksiyonları gelişim periyodunun erken aşamalarında (prototip aracın hazırlanışından önce) test edilebilir. Dolayısıyla elektronik sistem çok erken yüksek dereceli olgunluğa erişmiş olur. Bu da ileriki geliştirme aşamaları için iyi bir başlangıç noktası oluşturur.
- Eşzamanlı mühendislik kullanımının amacı olan geliştirme sürecinin kısaltılması HiL simölasyon yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.
- Pahalı olabilecek yol testleri ya da sınır şartlarda sınanması gereken ve tehlikeli olabilecek deneyler kısmen laboratuvar ortamında gerçekleştirilebilir.
- Uç ya da olağan dışı çevre koşulları model parametreleri değiştirilerek ayarlanabilir. Örneğin düşük yol sürtünme katsayılarının geçerli olduğu kış testleri yılın herhangi bir zamanında yapılabilir.
- Gerçek taşıtta harap edici olabilecek arıza ve hatalar (sensör arızaları, CAN hattı arızaları, toprak hataları vb.) simüle edilip test edilebilir.
- HiL sistemi ile gerçekleştirilen deneyler gerektiği kadar çok sayıda yeniden üretilip tekrarlanabilir.

3. ESP HiL ELEMANLARI

ESP kontrol ünitesinin HiL ortamında çalıştırılması için taşıtta bulunan sensör ve aktüatörlerin arayüzlerini oluşturmak gerekir. ESP'nin sensörlerden farklı arayüzler ile okuduğu verilerin aynı arayüzlerin yaratılmasıyla doğru bir şekilde çalışması sağlanır. ESP kontrolcüsü aynı zamanda diğer taşıt kontrolcüleri ile de CAN hattı üzerinden haberleştiğinden bazı motor bilgileri simülasyonlarda yaratılıp ESP'ye gönderilmelidir.



Şekil 3.1 : ESP elemanları [7]

Şekil 3.1'de ESP'li bir taşıtta bulunan temel sensör ve aktüatörler gösterilmiştir. Tekerlek hız sensörleri ve savrulma açısız hız sensörü bilgilerinden ESP ünitesi taşıtın davranışını gözlemlerken direksiyon sensörü ve gaz pedal konumundan sürücü isteğini takip eder. Bu ikisi arasındaki fark belli bir limit değeri aştığında valfleri tekil frenleme kuvveti oluşturacak şekilde kumanda eder. ESP müdahalesi frenler dışında motor torku düşürme şeklinde de olabilir. ESP ünitesi motor kontrol ünitesi ile sürekli iletişim halinde olup birbirlerinin durumlarını gözlemlerler. ESP ünitesi olası bir motor müdahalesinde motordan geri besleme almalıdır.

3.1 Sensörler

Sensörler grubunda direksiyon açısı, savrulma açısal hızı (yanal ve boyuna ivme ölçer grubu), tekerlek devir (her tekerlek için) ve fren basınç sensörleri bulunur. Bu sensörler ESP sisteminin düzgün çalışabilmesi için gerekli olan elemanlardır. Sensörler aracılığı ile taşıtın gerçek davranışı ile sürücünün isteği algılanarak aktüatöre sinyal gönderilip gönderilmeyeceğine karar verilir.

3.1.1 Direksiyon açısı sensörü

Direksiyon açısı genelde direksiyon simidinden ölçülür ve ESP sistemine CAN hattı üzerinden aktarılır. Buna alternatif olarak enkoder tipi, sinyalleri arasında 90° faz açısı bulunan sensörler de ESP kontrolcüsüne direkt olarak bağlanabilir.



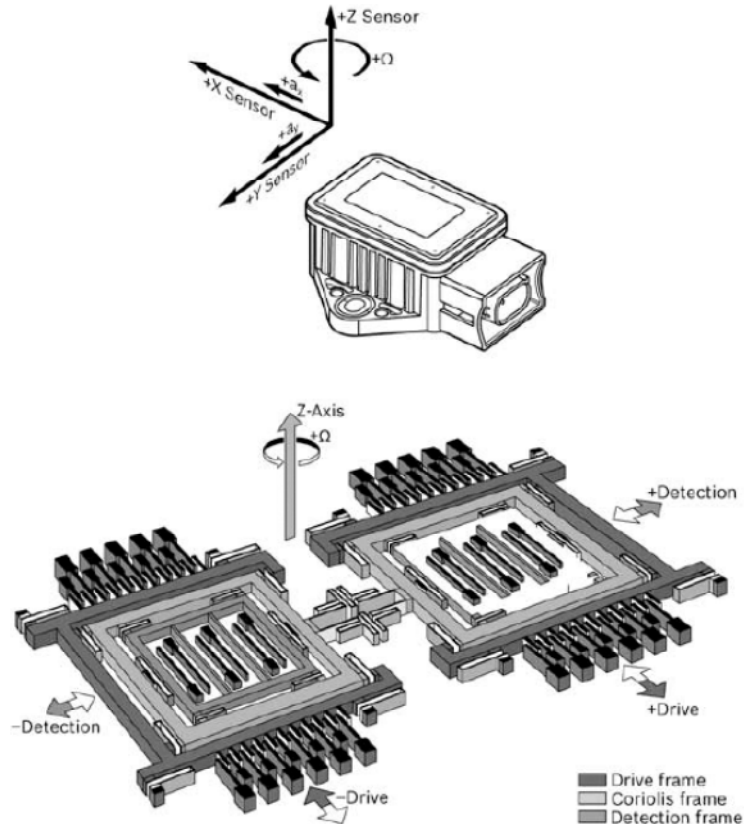
Şekil 3.2 : Direksiyon açısı sensörü BOSCH [8]

Sinyalin akla yatkın olması için ilk açılış esnasında gerekli bilgiler sensöre yollanır. Sıfır konumunda tüm 4 tekerlek hız sensörünün de aynı hızı algılaması gerekir. Normalde diagnostik cihazları ile sensör ile ESP kontrol ünitesinin birbirlerinden haberdar olması sağlanır.

Çalışma prensibi açısından direksiyon miline bağlı olan sensör içinde milden tahrik alan iki ayrı dişli bulunur. Bu ölçüm dişlilerinin içine entegre edilmiş anizotropik manyetik direnç elemanları sayesinde manyetik alandaki değişimler direncin de değişmesine sebep olur. Ölçülen analog değerler A/D dönüştürücü ile mikroişlemciye gönderilir. Ölçüm dişlileri farklı diş sayısına ve ölçüm yönüne sahiptir. Toplam direksiyon açısı iki açının toplanması ile elde edilir. CAN üzerinden direksiyon açısı ve açısal hız bilgileri ESP kontrolcüsüne gönderilir.

3.1.2 Savrulma açısai hız sensörü (Yanal ve boyuna ivme ölçer grubu)

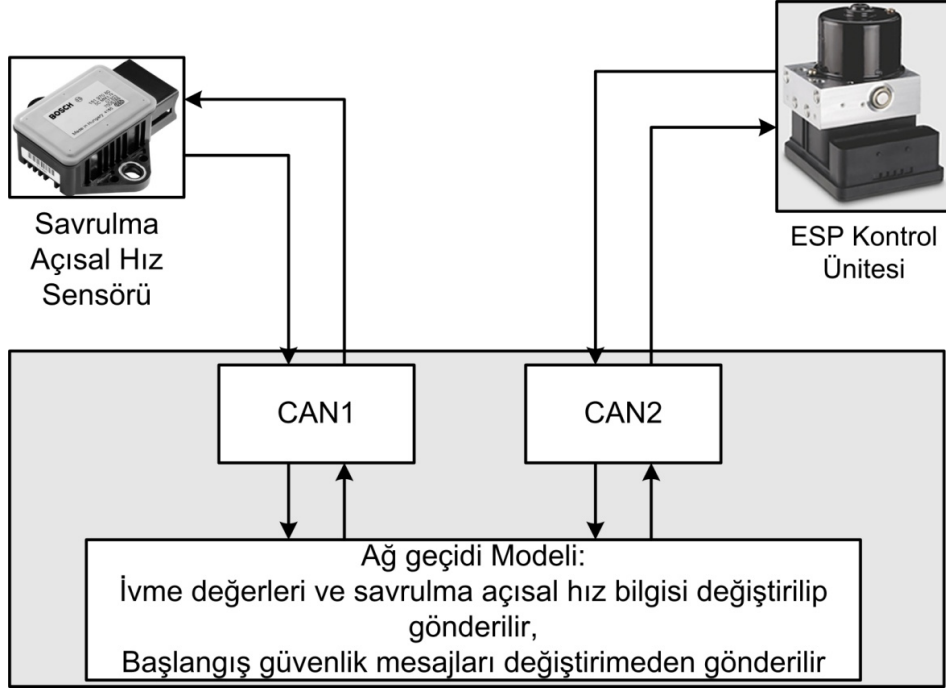
Taşıtın yanal ivmelenmesini ve savrulma açısai hızını algılamak için sensör grubu kullanılır. Bu mikroeletromekanik sensörler genelde aracın ortasında ağırlık merkezine yakın bir noktada konumlandırılır. Elde edilen veriler tekerlek hız sensöründen gelen veriler ile birlikte taşıtın gerçek hareketini tayin eder. Taşıtın gerçek hızı sürülen tekerleklerden ölçölür. Tüm tekerleklerden tahrikli taşıtlarda bu mümkün olmadığından sensör grubunda boyuna ivme sensörü de yer alır. Sensör grubu ESP kontrol ünitesine CAN hattı üzerinden bilgi alıp gönderir. ESP sisteminin çalışmasından önce geniş başlangıç sekanslarına tabi tutulur. Bazı sistemlerde bu sekanslar tekrarlanarak uygulanır.



Şekil 3.3 : Savrulma açısai hız, yanal ve boyuna ivme sensör grubu [8]

Savrulma açısai hızı değışkeni boyuna ve yanal ivme değışkenleri ile birlikte dinamik taşıt modelinde tanımlanmalı ve ESP modölüne doğru şekilde beslenmelidir. CAN arayüzüne sahip bir sensör ile bu durum daha da zorlaşır. Güvenlik nedeniyle ESP ünitesi her enerjilendiğine özel bir protokol başlatır ve sensör grubunun doğru bir şekilde cevap vermesini bekler. HiL sistemi için bu duruma çözüm olarak CAN ağ geçidi kullanılabilir. Gerçek ESP ünitesi ve gerçek sensör grubu mevcut ise

aralarındaki CAN hattına girilerek gerekli düzeltmeler yapılabilir. Önce sensörden gelen veriler CAN blokları ile okunur ve taşıt modelinden verilmesi istenen değerler değiştirilip diğer bilgiler aynı bırakılarak tekrar ESP'nin bağlı olduğu diğer CAN hattına yayınlanır. Günümüzde direkt olarak ESP ünitesinin içine entegre edilmiş sensör grupları da mevcuttur. Bu durum HiL simülasyonlarını daha da zorlaştırmaktadır.



Şekil 3.4 : CAN ağ geçidi.

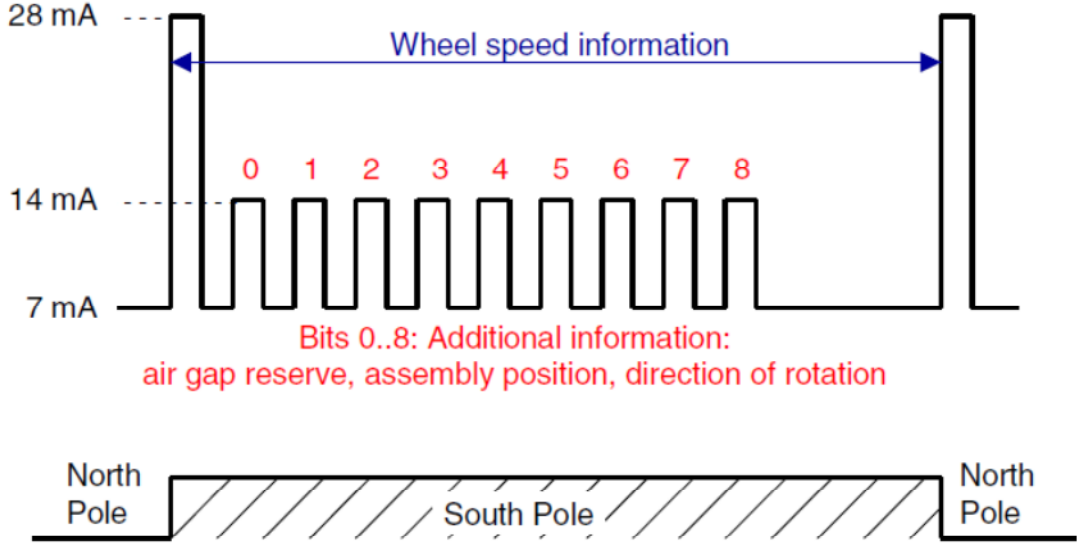
3.1.3 Fren basınç sensörü

Hidrolik sistem dahili ya da harici basınç sensörüne sahip olabilir. Yine de hem merkez silindir basıncı hem de her bir fren hattındaki hidrolik basıncı ESP için önemli ölçüm değişkenleridir. Sistem enerjilendiğinde yine benzer şekilde geniş açılma prosedürleri çalışır. Sensörün sınır değerini aşıp aşmadığı kontrol edilir. Fren basınç sensörü merkez silindir basınç değerinin bilgisini verir. Tekil fren basınç bilgileri için ayrıca sensör kullanılmaz. Tekil fren hattı basınçları bazı tahmin algoritmaları ile hesaplanabilir.

3.1.4 Tekerlek hız sensörleri

ESP uygulamalarında aktif, pasif veya akıllı aktif tekerlek devir sensörleri kullanılabilir. Değişken relüktans tipli pasif tekerlek hız sensörleri dönme hareketine karşılık sinüsoidal bir gerilim üretir. Bu sensörler günümüzde yerini akım arayüzlü

(7/14 mA ya da 7/14/28 mA) aktif sensörlere bırakmıştır. Aktif sensörler gürültü ve bozucu etmenlerden daha az etkilenirler. Bütün tip sensörler tekerlek hızına karşılık frekans üretirler.



Şekil 3.5 : Akıllı aktif tekerlek hız sensör sinyali, [1].

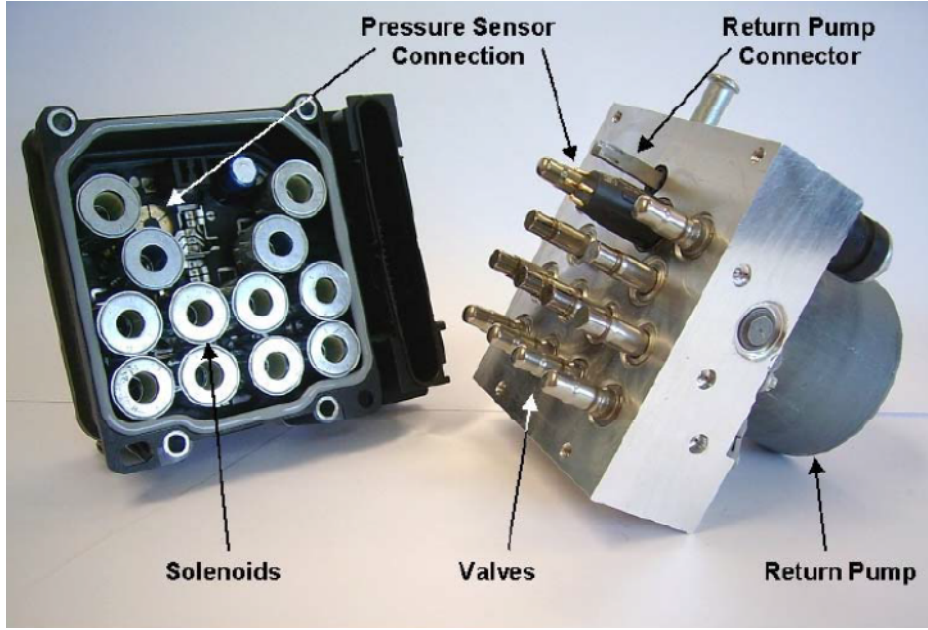
Şekil 3.5'te gösterildiği gibi bu tip sensörler kendi tanılama sistemlerine sahiptir. Tekerlek sensör verisi (frekans) 28 mA'lık pulslarda kodlanır. 7 mA ve 14 mA'lık pulslarda sensör ile okuduğu diş arasındaki hava boşluğu, sensör pozisyonu ve dönüş yönü gibi ek bilgiler kodlanır. Tekerlek sensör simülasyonu için tekerlek ve taşıt modelinden alınan bilgiler slave processor vasıtasıyla ESP kontrolcüsüne iletilir.

3.2 Aktüatörler

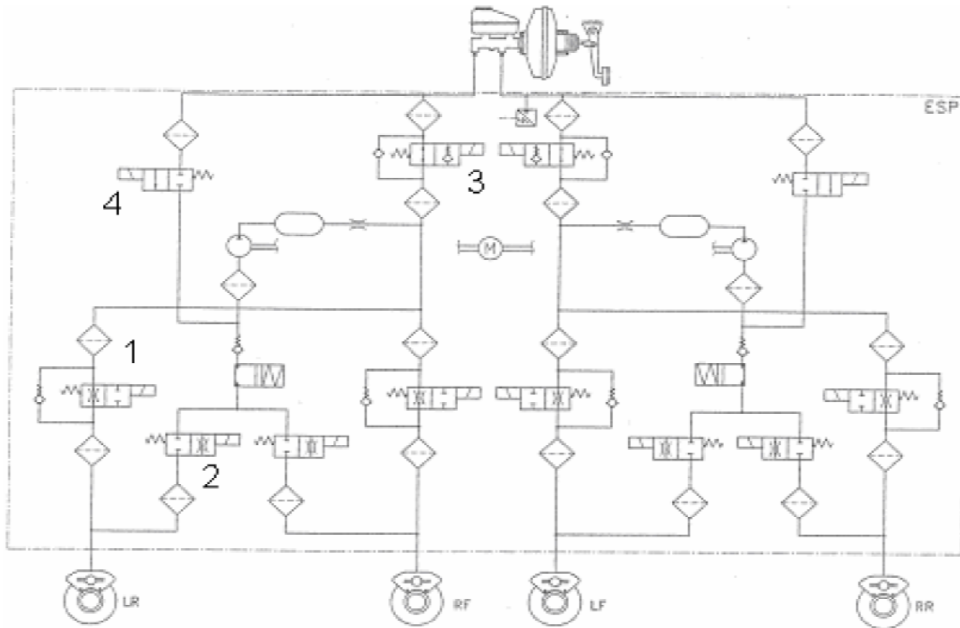
ESP sistemindeki aktüatörler frenleri kontrol eden solenoid valflerden ve geri dönüş pompasından oluşur. Günümüzdeki ESP sistemlerinde kontrolcü, kuvvetlendirici ve solenoid valfler tek bir ünite halinde elektro-hidrolik kontrol ünitesi olarak sunulmaktadır. Bu durumda HiL simülasyonları için valf aktivasyon sinyalinin toplanması sıkıntı yaratmaktadır. Valf sinyallerini okumak için hidrolik kısım ayrılmalı ve bunun yerine solenoid akımları ya da manyetik alanlarını ölçebilen bir valf sinyal algılama ünitesi kullanılmalıdır.

ESP hidrolik ünitesi, Şekil 3.6 ve 3.7'de gösterildiği gibi 12 elektrovalf (8 ABS elektrovalfi, 4 ESP elektrovalfi) ve motor pompası ile birlikte akümülatör ve geri dönüş valflerinden meydana gelir. ESP sistemi sürücü fren pedalına basmadan

tekerleklerdeki gerekli fren basıncını sağlayabilmelidir. Bunun için ilave 4 tane elektrovalf sisteme monte edilmiştir. Emme elektrovalfi (normal olarak kapalı) aktif hale geldiğinde basıncın artmasına ve tekerin/tekerlerin frenlenmesi için gerekli olan hava miktarının alınmasına müsaade etmektedir. Pilot elektrovalf (normalde açık) devreye sokulduğunda, ESP müdahalesi için gerekli olan ve aynı pompadan kaynaklanan ayarlanmış basıncın pompa-fren kaliperi devresi içinde tutulmasını sağlar [18].



Şekil 3.6 : Solenoidler, valfler ve geri fönüş pompası [1]



Şekil 3.7 : ESP ünitesi hidrolik şeması [17]

ESP sisteminin aktif olması durumunda valfler, pompa, akümülatörler ve hidrolik bağlantılardan oluşan sistemin amacı her bir tekerlek kaliperindeki basıncı kontrol etmektir. Tekerlek basıncını ve dolayısıyla fren torkunun regülasyonu giriş ve çıkış valflerinin belli sürelerle açılıp kapanmasıyla mümkün olmaktadır. Sistemin üç farklı çalışma modu bulunur: Basıncın artırılması, basıncın tutulması ve basıncın azaltılması.

ESP aktif hale geldiğinde motor pompası etkinleşir; normalde kapalı olan emme elektrovalfi konum değiştirerek açık hale gelir. Pilot elektrovalfi de beslenerek normalde açık konumundan kapalı hale gelir. Pompadan kaynaklanan basınç ile fren kaliperlerine ulaşılır. ABS valfleri ile basınç ayar yapılır. Mevcut basıncın tutulması için ilgili fren kaliperine ait giriş ve çıkış valfleri kapalı konumda tutulur.

Hidrolik pompa düşük basınç tarafındaki akümülatördeki geçici olarak depolanan hidroliğin merkez silindir rezervuarına geri pompalar. Hidrolik pompa bunun dışında sürücünün fren pedalına basmadığı durumlarda otonom frenlemeyi sağlamak için basınç oluşturmada kullanılır.

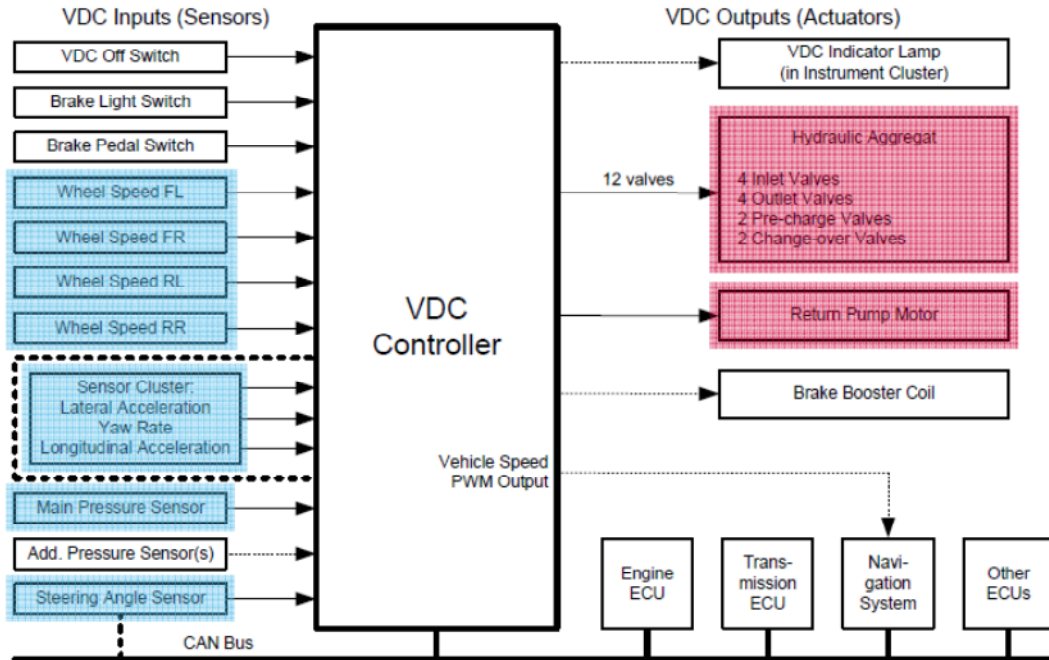
ESP müdahalesi esnasında tekerlek basıncını düşürmek için ABS valflerini modüle etmek gerekir. Aç/kapa solenoid valfler dalga genişlik modülasyonu (PWM; Pulse width modulation) sinyali ile sürülür. PWM sinyalinin frekans ve/veya kullanım oranı (duty cycle) ayarlanarak istenilen valf açıklığı elde edilir [19]. PWM ile ABS çıkış valfleri aktif hale getirilir. Valflerin çalışma frekansı da davranışlarını etkiler. Sabit bir kullanım oranı değerinde düşük çalışma frekanslarında valfler açılmaya yetecek zamanı bulamayabilir ve kaliper basıncı düzgün şekilde düşürülemez. Basınç gradyanı (bar/s) basınç seviyesine ve valf kullanım oranına bağlıdır [16].

HiL sisteminde tekerlek kaliperlerinden ölçülen fren basınçları hidrolik modele gönderilir. Basınçlar fren torkuna dönüştürülür. Tekil fren basınçlarının hesaplanması için öncelikle solenoid valflerin manyetik alan değişimleri Hall etkili sensörler yardımıyla okunur. Örnek solenoid okuma ünitesi Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Solenoidlerin manyetik alanının yönü ve büyüklüğüne bağlı olarak sensör gerilimi artar veya azalır. Okunan gerilim değerleri valf açıklığı ve fren basınçlarına dönüştürülerek taşıt modeline geri beslenmelidir. [13, 19]

VDC ünitesinin çalışması için gerekli olan tüm giriş – çıkış sinyalleri Şekil 3.9’da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8 : Solenoid valfler ve valf sinyal algılama ünitesi.



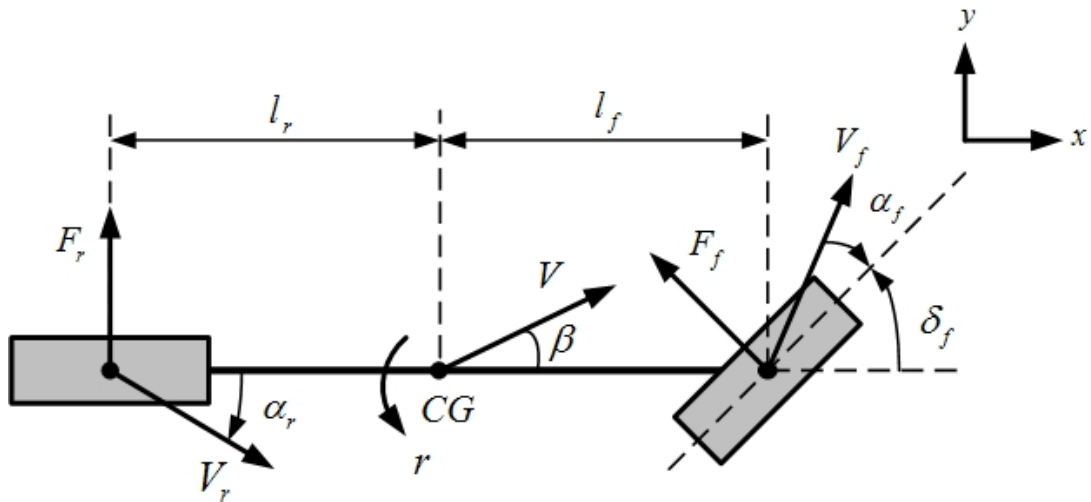
Şekil 3.9 : VDC ünitesi giriş çıkış sinyalleri [1]

4. TAŞIT MODELLERİ

Taşıt dinamiği davranışını doğru bir şekilde tanımlamak için uygun taşıt modelinin türetilmesi gerekmektedir. Öncelikle bisiklet modeli olarak da adlandırılan tek izli taşıt modeli denklemleri çıkarılmıştır. Bu model sanal sensör tasarımının dinamik bölümünde kullanılmıştır. CarMaker taşıt modeli ise daha yüksek serbestlik derecesine sahip olup daha yüksek doğrulukta sonuç verir.

4.1 Tek İzli Taşıt Modeli

Şekil 4.1’de gösterilen tek izli taşıt modeli taşıt yanal dinamiğini doğru olarak modelleyebilen en basit modeldir. Literatürde bisiklet modeli olarak da anılır. Adını aynı aks üzerindeki tekerleklerin tek bir noktadaymış gibi birleştirilmesinden alır. Ön ve arka tekerlekler tek bir tekerlekmış gibi modellenir [10, 11]. Model sadece yatay xy düzleminde harekete sahiptir. Taşıtın yalpa hareketi ve dikey yöndeki yer değiştirmeler eklenmemiştir. Model direksiyon müdahaleli ESP sistemleri için uygulanabilir iken tekil frenleme müdahalesinin olduğu ESP sistemleri için uygun değildir. Şekil 4.1’de tek izli taşıt modelinin kinematik diyagramı, Çizelge 4.1’de ise bu modele ait temel parametreler görülmektedir. Aşırı manevralar haricinde model doğru sonuçlar verir [9].



Şekil 4.1 : Tek izli taşıt modelinin kinematik diyagramı.

Çizelge 4.1 : Taşıt modeline ait temel parametreler.

Sembol	Tanım	Birim
r	Savrulma açısal hızı	rad/s
β	Şasi (taşıt) yana kayma açısı	rad
V	Ağırlık merkezindeki taşıt hızı	m/s
μ	Tekerlek – yol sürtünme katsayısı	-
$\alpha_f (\alpha_r)$	Ön (arka) tekerlek yana kayma açısı	rad
δ_f	Ön tekerleklerdeki dönüş açısı	rad
$c_{fo} (c_{ro})$	Ön (arka) tekerleklerdeki nominal dönüş sertliği	N/rad
m	Taşıt kütlesi	m
J	z eksenine göre taşıtın atalet momenti	Nm
$l_f (l_r)$	Ön (arka) aks – ağırlık merkezi mesafesi	m
$l_{wF} (l_{wR})$	Ön (arka) iz genişliği	m
R	Dinamik tekerlek yarıçapı	m

Taşıtın x eksenini etrafındaki yalpa hareketi y eksenini etrafındaki yunuslama hareketi ve boyuna tekerlek kuvvetleri ihmal edilmiştir. Boylamsal kuvvetler daha gerçekçi bir model oluşturmak için sonradan eklenebilir. Tek izli taşıt modeli 0.3 – 0.4 g yanal ivme değerlerine kadar yanal taşıt dinamiğini oldukça iyi yansıtmaktadır. Bu durum sanal sensör tasarımında ve taşıt yanal dinamiği kontrolcüsü tasarımında oldukça faydalı olmuştur.

Modellemede lastiklerin, lastik yana kayma açılarıyla orantılı olarak yanal kuvvet üretebildikleri varsayılmıştır. Dolayısıyla yanal kuvvetler (4.1) ve (4.2) denklemlerindeki gibi yazılabilir:

$$F_f = c_{fo}\mu\alpha_f \quad (4.1)$$

$$F_r = c_{ro}\mu\alpha_r \quad (4.2)$$

Burada c_{fo} ve c_{ro} sırasıyla ön ve arka tekerleklerin dönüş sertliklerini temsil eder. Formüldeki değerler iki yan tekerleklerin birleştirilmesinden dolayı normal tekerlek dönüş sertliğinin iki katı değer alır. α_f ve α_r ön ve arka tekerleklerin yana kayma açılarını ifade eder. İlişkinin doğrusallığı düşük kayma açıları için geçerlidir. Kayma açısı belli değer üzerinde olursa eğrisel tekerlek modelleri kullanılmalıdır. μ , tekerlek – yol sürtünme katsayısıdır.

Taşıtın ağırlık merkezi noktasının hızının atalet referans çerçevesine göre türevi alınır:

$$\underline{v} = v \cos \beta \hat{i} + v \sin \beta \hat{j}$$

$$\underline{\dot{v}} = \underline{a} = [\dot{v} \cos \beta - v(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \sin \beta] \hat{i} + [\dot{v} \sin \beta + v(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \cos \beta] \hat{j}$$

Newton hareket denklemlerini x ve y doğrultularında ve z eksenindeki dönmeye uygularsak aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\Sigma F_x = ma_x \quad (4.3)$$

$$\Sigma F_x = m[\dot{v} \cos \beta - v(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \sin \beta]$$

$$\Sigma F_y = ma_y \quad (4.4)$$

$$\Sigma F_y = m[\dot{v} \sin \beta + v(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \cos \beta]$$

$$\Sigma M_z = J\ddot{\psi} = J\dot{r} \quad (4.5)$$

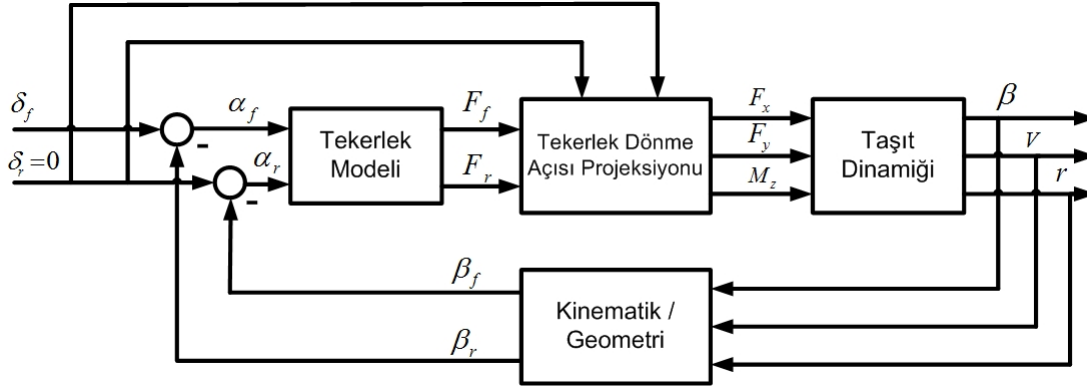
(4.3), (4.4) ve (4.5) no'lu denklemler düzenlenip matris halinde yazılırsa (4.6)'da gösterilen matris eşitliği elde edilir.

$$\begin{bmatrix} -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} mv(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \\ m\dot{v} \\ J\ddot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Matris denkleminin sol tarafındaki terimin determinanı 1'e eşittir. Matrisin tersi kendisine eşit olduğundan (4.6) matris denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} mv(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \\ m\dot{v} \\ J\ddot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Denklemden boyuna tekerlek kuvvetleri, yuvarlanma direnç kuvveti, aerodinamik direnç kuvveti ve yol eğiminden kaynaklanan yokuş direnç kuvveti hesaba katılmamıştır. Genel olarak doğrusal olmayan tek izli taşıt modeline ait blok diyagramı Şekil 4.2'deki gibidir.



Şekil 4.2 : Doğrusal olmayan tek izli taşıt modeli blok diyagramı [9]

Belli kabuller altında doğrusal olmayan modelden doğrusallaştırma yapılarak doğrusal modele geçilir. (4.7) denklemindeki β taşıt yana kayma açısı küçük olduğu varsayılırsa

$$\sin \beta = \beta, \quad \cos \beta = 1$$

şeklinde olur. Denklemden yerine yazılırsa

$$\begin{bmatrix} mv(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \\ m\dot{v} \\ J\ddot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\beta & 1 & 0 \\ 1 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Taşıt ağırlık merkezi hızının sabit olduğu kabulü yapılırsa, $\dot{v} = 0$ olur ve (4.8) denklemin düzenlenirse

$$\begin{bmatrix} mv(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \\ J\ddot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Tekerlek dönme açısı projeksiyonu orijinal tek izli modele göre (4.10)'daki gibidir:

$$\begin{bmatrix} \Sigma F_x \\ \Sigma F_y \\ \Sigma M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \delta_f & -\sin \delta_r \\ \cos \delta_f & \cos \delta_r \\ l_f \cos \delta_f & -l_r \cos \delta_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_f \\ F_r \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Yönlendirme açıları δ_f ve δ_r 'nin küçük olduğu varsayılırsa (4.10)'un doğrusallaştırılmış hali aşağıdaki gibi olur:

$$\begin{bmatrix} \Sigma F_y \\ \Sigma M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ l_f & -l_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_f(\alpha_f) \\ F_r(\alpha_r) \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

(4.11) ‘de belirtilen lastik yanal kuvvet değerleri yerine **(4.1)** ve **(4.2)** denklemlerindeki değerler yazılıp, α_f yana kayma açısı β_f ve δ_f yönlendirme açısı cinsinden yazılıp yerine konursa

$$F_f(\alpha_f) = c_{fo}\mu(\delta_f - \beta_f) \quad (4.12)$$

$$F_r(\alpha_r) = c_{ro}\mu(\delta_r - \beta_r) \quad (4.13)$$

$$\tan \beta_f = \tan \beta + \frac{\dot{\psi} l_f}{v \cos \beta} \quad (4.14)$$

$$\tan \beta_r = \tan \beta - \frac{\dot{\psi} l_r}{v \cos \beta} \quad (4.15)$$

(4.14) ve **(4.15)** denklemlerinde β_f, β_r açılarının küçük olduğu kabul edilirse doğrusallaştırılmış olarak aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$\beta_f = \beta + \frac{l_f \dot{\psi}}{v} \quad (4.16)$$

$$\beta_r = \beta - \frac{l_r \dot{\psi}}{v} \quad (4.17)$$

(4.9), **(4.11)**, **(4.13)** ve **(4.14)** denklemleri düzenlenirse aşağıdaki denklemler elde edilir,

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} mv(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \\ J\ddot{\psi} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} F_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ l_f & -l_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_f \mu \alpha_f \\ c_r \mu \alpha_r \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} mv(\dot{\beta} + \dot{\psi}) \\ J\ddot{\psi} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} F_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ l_f & -l_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_f \mu \left(\delta_f - \beta - \frac{l_f \dot{\psi}}{v} \right) \\ c_r \mu \left(\delta_r - \beta - \frac{l_r \dot{\psi}}{v} \right) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \beta \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = & \begin{bmatrix} \frac{-\mu}{mv} (c_f + c_r) & \frac{\mu}{mv^2} (-c_f l_f + c_r l_r) - 1 \\ \frac{\mu}{J} (-c_f l_f + c_r l_r) & \frac{-\mu}{Jv} (c_f l_f^2 + c_r l_r^2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \\ & + \begin{bmatrix} \frac{\mu c_f}{mv} & \frac{\mu c_r}{mv} \\ \frac{\mu c_f l_f}{J} & \frac{-\mu c_r l_r}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_f \\ \delta_r \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.19)$$

(4.19) tek izli aracın doğrusallaştırılmış durum uzay modelidir. Durumlar yana kayma açısı β ve savrulma açısal hızı $\dot{\psi}$ şeklindedir.

4.2 CarMaker Taşıt Modeli

CarMaker yazılımı klasik taşıt dinamiği simülasyonlarının dışında geniş bir uygulama alanında kullanılabilen, yüksek serbestlik dereceli, yüksek güvenilirlikli ve gerçekçi taşıt modelleri içeren ticari bir yazılımdır. CarMaker taşıt modelleri, basit motor dinamiği, tekerlek dinamiği, direksiyon sistemi dinamiği, boyuna ve yanal taşıt dinamiği modelleri içermektedir. Ayrıca programda bir sürücü modeli, çeşitli yol ve çevre modelleri bulunmaktadır [12]. Şekil 4.3'te CarMaker programı kullanıcı arayüzü görülmektedir.

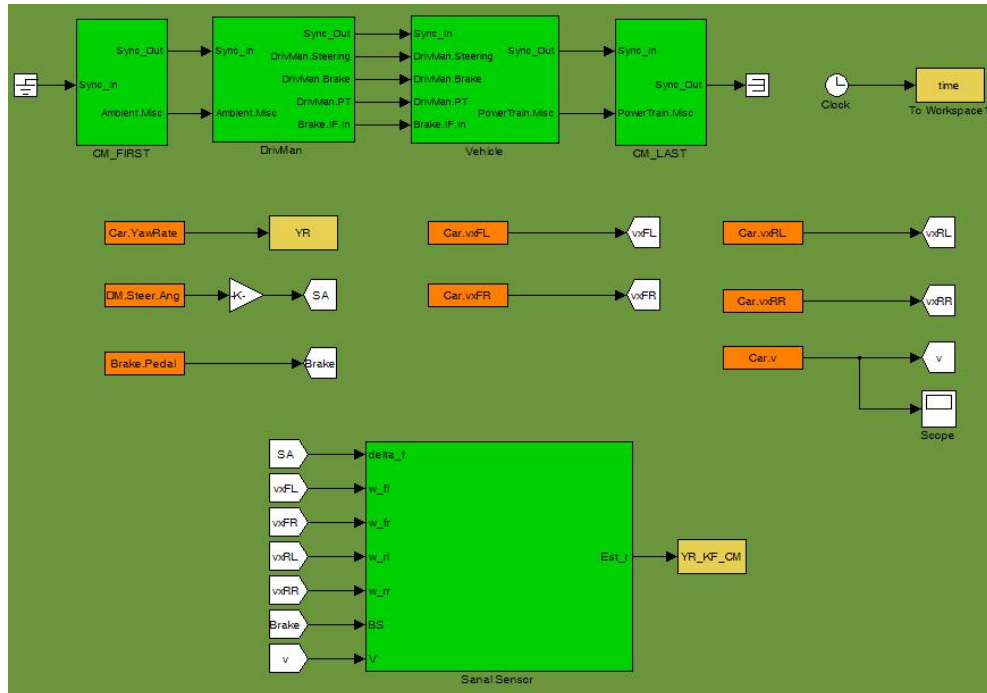
CarMaker programı, Matlab/Simulink ile uyumlu olarak çalışan bir programdır. Programa ait modeller Simulink blokları kullanılarak oluşturulmuştur. Böylece kullanıcı kendi tasarımı olan kontrolcüler ve gözetleyicileri yüksek gerçeklikteki CarMaker modellerinde, gerçek taşıt testlerinden önce deneyebilmektedir. Şekil 4.4'te CarMaker taşıt modellerine ait bloklar ve sonradan kullanıcı tarafından eklenen Simulink blokları görülmektedir.

CarMaker programında çeşitli markalardan araçlara ait hazır taşıt parametreleri olduğu gibi, program yardımıyla yeni taşıtlarda oluşturulabilmektedir. Sanal sensör tasarımında deneysel verilerle uyumun sağlanması için deneylerin yapıldığı taşıta ait parametreler sisteme girilerek deneysel taşıt bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Çalışmadaki donanım içeren simülasyonlarda ise CarMaker/HiL programı kullanılmıştır. Bu CarMaker sürümü sayesinde taşıt modelleri gerçek zamanlı olarak dışarıdan donanım ve insan müdahalesine (direksiyon, gaz ve fren) uygun bir şekilde çalıştırılmıştır.

CarMaker/HiL ile dSpace sistemleri uyumlu halde çalıştırılarak taşıt simülatörü oluşturulmuştur, gerçek zamanlı donanım içeren benzetimler yapılmıştır. Bu konuyla ilgili detaylar ilerleyen bölümlerde verilmiştir.



Şekil 4.3 : CarMaker programı kullanıcı arayüzü.



Şekil 4.4 : CarMaker programı Simulink blokları ve kullanıcının eklediği bloklar.

CarMaker programı iki ana bölümden oluşmaktadır, birinci bölüm sanal taşıt ortamı, ikinci bölüm ise CarMaker arayüz araç kutusudur. Sanal taşıt ortamı, sanal taşıt, yol ve sürücü birimlerinden oluşmaktadır.

Sanal taşıt, taşıtın hareket denklemlerini ve kinematikini belirten matematiksel modelleri içermektedir. Bu matematiksel model seçilen taşıtla ilgili parametreler kullanılarak parametrik halde çalıştırılmaktadır. Sanal taşıt, aktarma organları, tekerlekler, taşıt şasisi, frenler gibi tüm alt bölümleri içermektedir. Sanal taşıt ortamı bölümünün sanal yol kısmı ise ya CarMaker’da hazır olarak bulunan yol segmentleri ya da gerçek bir yoldan alınan veriler kullanılarak iki şekilde oluşturulabilir.

Sanal sürücü ise gerçek sürücü davranışlarını simüle eden bilgisayar tabanlı bir sürücüdür. CarMaker’da sanal sürücü birimi iki farklı yöntemle oluşturulmuştur, bu yöntemler temel kontrol metodu ve IPG Driver’dır.

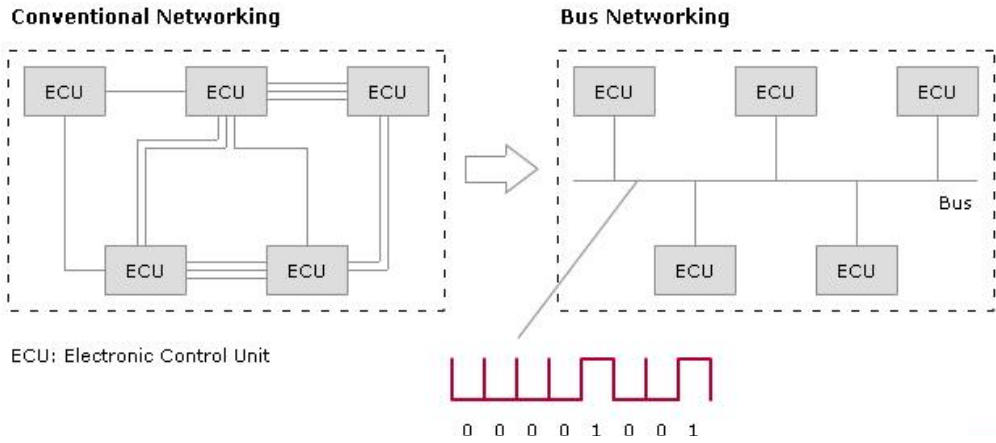
Temel kontrol metodunda, benzetim süresine göre sürücü davranışları önceden sisteme girilmektedir. IPG Driver ise pist özelliklerine, taşıt hareketlerine ve izlenmesi istenen yola göre direksiyon açısı ve torkunu, pedal pozisyonlarını, vites seçimlerini yapabilecek şekilde tasarlanmış, gerçek sürücü davranışlarını simüle eden oldukça etkili ve kullanışlı bir sürücü modelidir. Program içinde IPG Driver modülüne taşıtın izlemesi gereken yol, istenen hız, taşıt durumları (boyuna ve yanal ivme değerleri vb.) girmekte ve bu sürücü modelinden ihtiyaç duyulan pedal pozisyonları, vites seçimi, direksiyon açısı ve torku gibi bilgiler alınmaktadır.

CarMaker programının ikinci ana bölümü ise CarMaker arayüz araç kutusudur. Bu arayüzle benzetimler başlatılıp durdurulabilir, benzetime ait parametreler değiştirilebilir, çeşitli test manevraları seçilebilir, benzetime ait animasyonlar izlenebilir ve taşıta ait çeşitli parametrelerin değişimi benzetim sırasında gerçek zamanlı olarak görülebilir [12].

5. HİL SİSTEM ARAYÜZLERİ

5.1 CAN (Controller Area Network)

Kontrol alan ağı (CAN) yüksek güvenlikli, gerçek zamanlı dağıtılmış kontrolü destekleyen seri bir haberleşme protokolüdür. CAN (Controller Area Network) taşıtlarda elektronik kontrol üniteleri ve sensörler arasında güvenli veri alış-verişi sağlamak için kullanılır [20].



Şekil 5.1 : Geleneksel veri yolu ve bus ağı [21]

CAN standardı geliştirilmeden önce kontrol üniteleri arasındaki veri alış-verişi geleneksel yollarla yani yayınlanacak her bir sinyal için ayrı bir fiziksel bağlantı ile tek tek yapılmaktaydı. Sonra kontrol ünitelerinin koordine edilmesinin taşıt fonksiyonelliğini son derece arttıracakı görüldü. (Şekil 5.1)

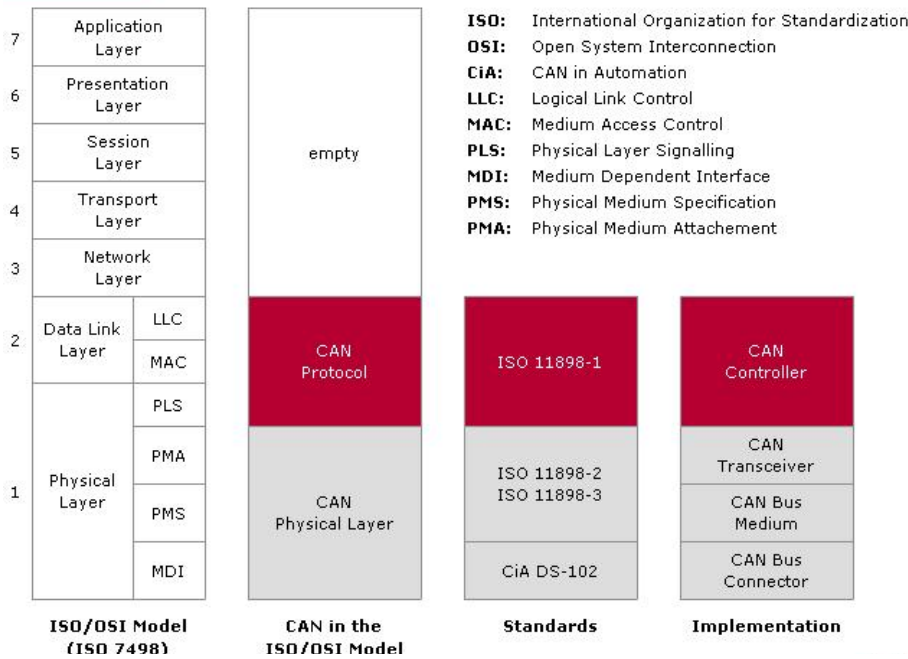
Yine de yoğun kablolama uğraşı sınırlı sayıda veri alış-verişine izin veremekteydi. Bu durum taşıtlarda seri haberleşme sistemi geliştirilmesine yol açtı. Bosch 1980'lerin başında böyle bir seri haberleşme sistemi geliştirmeye başlanmıştır. Geliştirilen sisteme kontrol alan ağı (Controller Area Network) adı verildi. CAN hedef kullanım alanının gerçek zamanlı gereksinimlerinin karşılanabildiği güvenli veri iletimi olarak nitelenebilir. CAN taşıtlardaki karmaşık kablolama gereksinimini ortadan kaldırmaktadır. Taşıt ağırlığı ve yerden de tasarruf edilmesini sağlar.

5.1.1 Standartlaştırma;

CAN teknolojisi 1994'ten beridir standart hale getirilmiştir ve dört ISO dökümanında açıklanmıştır. ISO 11898-1 CAN protokolünü tanımlar. Referans veri haberleşme modeli ile ilişkili olarak CAN protokolü sadece Data Link Katmanını (MAC-Medium Access Control, LLC-Logical Link Control) ve Fiziksel Katmanını (PLS-Physical Signaling) kapsar. CAN ISO standartları Şekil 5.2'de şematik olarak gösterilmiştir.

Can protokolü donanım içine uygulanır. Sadece CAN mesajlarının nasıl kullanıldığına göre pek çok farklı CAN kontrolcüsü mevcuttur. Bu farklılıklar kendini Obje Katmanında (Object Layer) gösterir. Can kontrolcülerinde obje depolayabilme kabiliyetinde olanlar (Full CAN Controller) ile obje depolamayanlar (Basic CAN Controller) olmak üzere bir ayırım mevcuttur.

İki ISO dökümanı ISO 11898-2 ve ISO 11898-3 veri iletişimi için referans modelinin iki alt katmanını kapsar. PMA (Physical Medium Attachment) ve PMS (Physical Medium Specification). Bunlar iki farklı CAN fiziksel katmanını tanımlar: yüksek hızlı CAN fiziksel katmanı ve düşük hızlı CAN fiziksel katmanı. Aralarındaki fark gerilim seviyeleri ve veri iletim hızından kaynaklanır.



Şekil 5.2 : CAN ISO standartları [21]

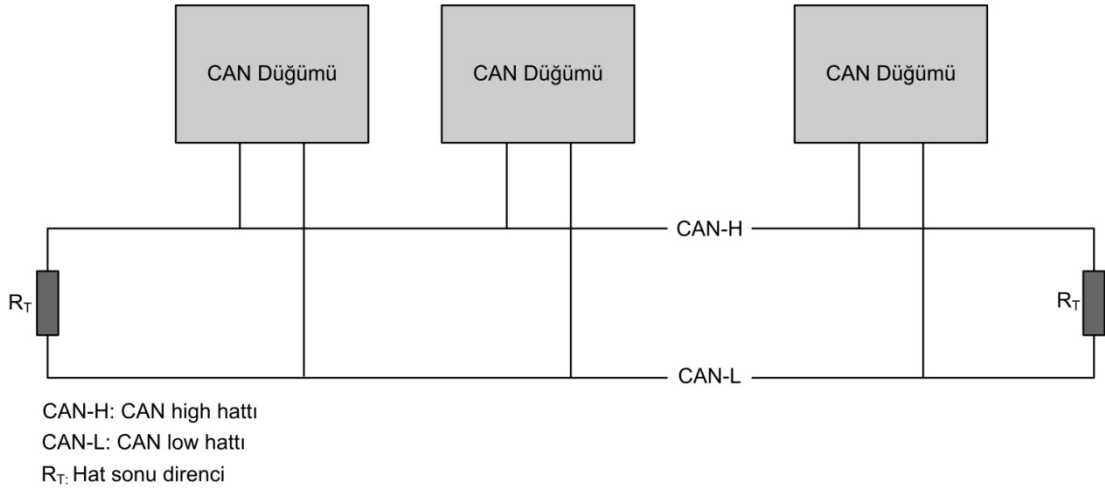
ISO 11898-3 125 kbit/sn'ye kadar veri hızına izin verir. Öncelikli olarak taşıt konfor sistemlerinin birbirleriyle olan iletişimde kullanılır. ISO 11898-2, 1 Mbit/s'ye

kadar olan veri hızlarını destekler. Dolayısıyla ISO 11898-2 güç iletimi ve şasi sistemleri alanında kullanılır.

ISO 11898-1 olaya dayalı iletişimi tanımlar. Yüksek bus yüklemelerinde bu durum gecikmelere sebep olabilir. (Özellikle düşük öncelikli CAN mesajları için) ISO 11898-4 Data Link Katmanının bir uzantısıdır ve CAN bazlı ağlara zaman tetiklemeli iletişim opsiyonunu ekler.

5.1.2 CAN haberleşmesi

CAN hattı birbirine fiziksel iletim aracı ile bağlı olan CAN düğümlerinden oluşur. Elektronik Kontrol üniteleri CAN arayüzleri ile CAN hattına bağlanırlar. Uygulamalarda ekransız twisted çiftli kablo kullanılır. Genelde kablo kesit alanı 0.34 mm^2 ile 0.6 mm^2 arasında değişir. Hat direnci $60 \text{ m}\Omega$ dan az olmalıdır.



Şekil 5.3 : CAN haberleşme ağı.

Azami veri hızı 1 Mbit/s 'dir. En fazla 40m 'ye kadar olan hat uzantılarına izin verilir. CAN hattı sonunda hat sonlandırma dirençleri ile geçici sinyaller ve yansımalar engellenir. ISO 11898'e göre bir hatta en fazla 32 CAN düğümüne izin verilir.

5.1.3 CAN düğümü

Araçların artan elektronikleştirilmesi ile birlikte yazılımların karmaşıklığı ve sayısı da artmaktadır. Bazı lüks araçlarda 1000'den fazla yazılım fonksiyonu bulunmaktadır. Bazı veriyolu sistemlerinde 70'den fazla elektronik kontrol ünitesi çalışmaktadır. CAN hattında görevini yerine getiren her bir kontrol ünitesi CAN düğümü olarak adlandırılır.

5.1.3.1 CAN kontrolcüsü

CAN haberleşmesine katılmak isteyen bir elektronik kontrol ünitesinin CAN arayüzüne sahip olması gerekir. Bu arayüz CAN kontrolcüsü ve CAN alıcı-vericisinden oluşur (Şekil 5.4). CAN kontrolcüsü, CAN protokolünde öngörölmüş haberleşme fonksiyonlarını karşılar.

CAN alıcı-vericisi CAN kontrolcüsünü fiziksel iletim aracına bağlar. Genelde iki eleman optik veya manyetik ayırım ile elektriksel olarak izole edilmiştir. Böylece CAN hattındaki aşırı gerilim durumlarında CAN alıcı-vericisi zarar görse de CAN kontrolcüsü ve Host korunmuş olur.

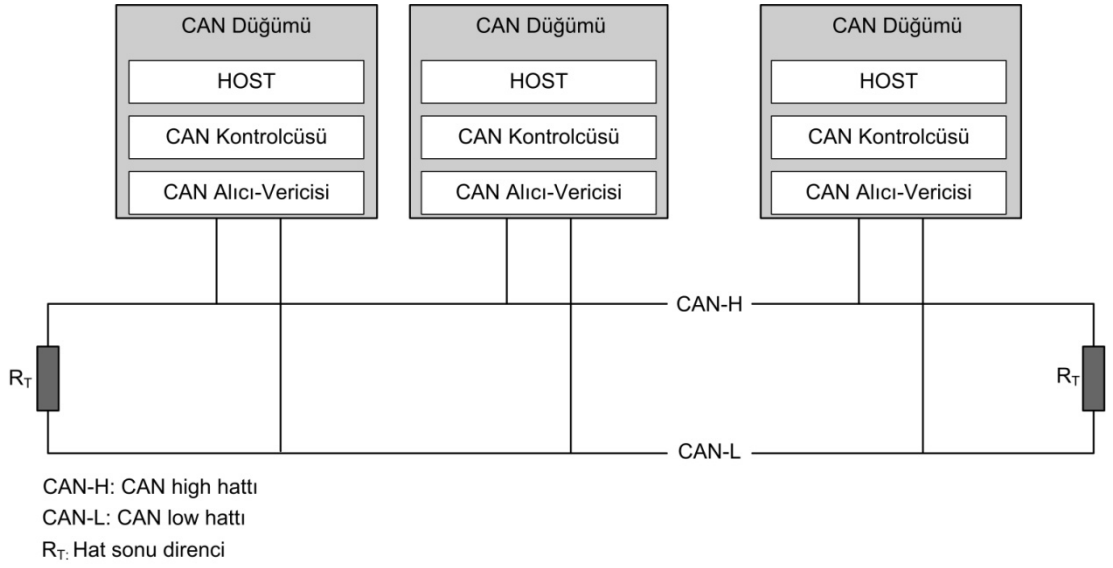
CAN hattında bulunan CAN düğümleri gönderdikleri veya aldıkları mesaj sayılarına göre ayrılırlar. Gönderilen ve alınan mesajların frekanslarında da büyük farklılıklar mevcuttur. Örnek olarak bir CAN düğümü 5 farklı CAN mesajını herbiri 10 milisaniyelik bir çevrimde alabilirken, başka bir CAN düğümü her 100 milisaniyede bir CAN mesajına ihtiyaç duyabilir. Bu bariz farklılık iki temel CAN kontrolcü yapısı olmasına sebebiyet vermiştir: Nesne depolamalı ve nesne depolamasız.

CAN kontrolcü tipinden bağımsız olarak CAN kontrolcüsü entegre veya tek başına yonga (chip) elemanı olarak kullanılabilir. Bu durumda mikrokontrolcü CAN kontrolcüsüne hafıza yongası şeklinde davranır. Bağımsız versiyon daha esnek çözüm sunarken entegre versiyon daha az yer kaplama ve mikrokontrolcü ile daha hızlı ve güvenilir iletişim sağlama avantajına sahiptir.

5.1.3.2 CAN alıcı-vericisi

CAN alıcı-vericisinde iki bus pin bulunur: CAN high (CANH) hattı için ve CAN low (CANL) hattı için. İki hat olmasının sebebi CAN hattındaki fiziksel sinyal iletiminin simetrik olmasıdır. Bu sayede elektromanyetik uyumluluk sağlanabilir.

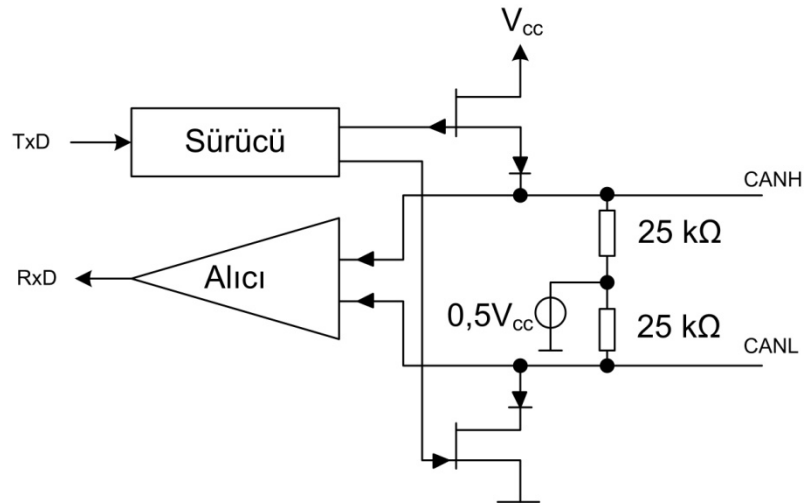
Yüksek hızlı ve düşük hızlı olmak üzere iki tip CAN alıcı-vericisi mevcuttur. Yüksek hızlı CAN alıcı-vericileri 1Mbit/sn'lik veri taşıma hızını destekler. Düşük hızlı CAN alıcı-vericileri 125 kbit/s'ye kadar olan veri hızını destekler. Yine de düşük hızlı CAN alıcı-vericileri hataya dayanıklı bir veryolu arayüz düzeni sunar.



Şekil 5.4 : CAN kontrolcüsü.

Şekil 5.5'te CAN alıcı-verici düzeni temel yapısı ile görülmektedir. Her iki çıkış transistörü de bloke durumda iken iki CAN hattı da aynı potansiyeldedir ($0.5 \cdot V_{CC}$) ve diferansiyel gerilim sıfırdır. İki transistör de ilettime geçtiğinde iki hat arasında yük direncinin bir fonksiyonu olan bir diferansiyel gerilim oluşur. ISO 11898-2'ye göre bu gerilim 2 Volt olmalıdır. Buna uygun olarak hattın yaklaşık 35mA akım geçer.

Azami CAN düğüm sayısı ISO 11898'e göre 32 olarak belirtilmiştir. Pratikte CAN düğümleri sayısı CAN alıcı-verici performansına ve CAN ağı tipine bağlı olarak değişir. Örneğin TJA1050 yüksek hızlı CAN alıcı-vericileri ile 110 CAN düğümü tek bir ağı bağlanabilir.

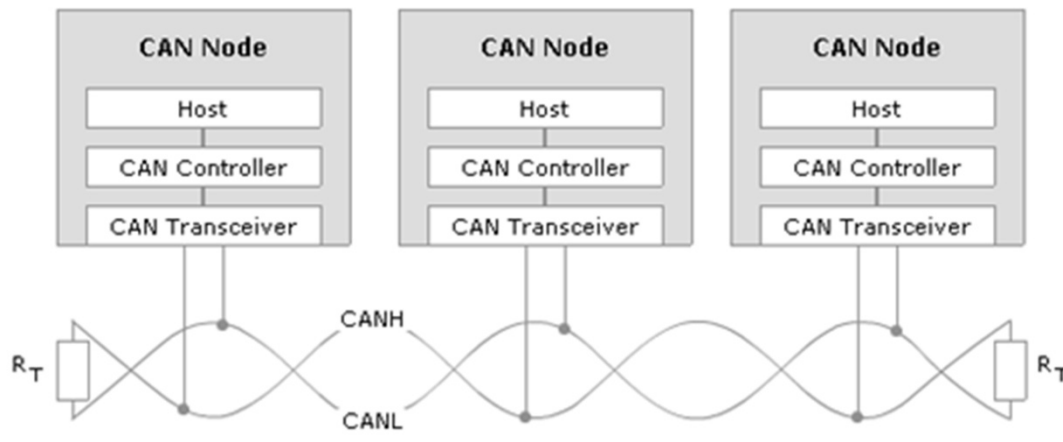


Şekil 5.5 : CAN alıcı-vericisi.

5.1.4 CAN veri yolu

CAN veri yolundaki fiziksel sinyal iletimi diferansiyel gerilim iletimine dayalıdır. Bu anahtarlama elemanları, ateşleme sistemleri ve motorlardan indüklenen gerilim girişimlerinin etkilerini bertaraf eder. Dolayısıyla CAN veri yolu iki hattan meydana gelmiştir: CAN yüksek hattı (CANH)ve CAN düşük hattı (CANL)

İki hattın bükümlü olması manyetik alan etkilerini azaltır. Bu yüzden fiziksel iletim ortamında çift bükümlü iletkenler kullanılır.



CAN-H: CAN high hattı

CAN-L: CAN low hattı

R_T : Hat sonu direnci

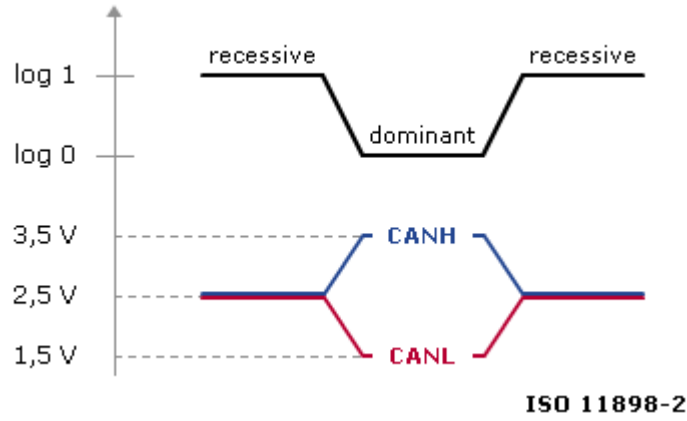
Şekil 5.6 : CAN veri yolu.

Sonlu sinyal yayılma hızından kaynaklı olarak yansıma etkileri artan veri hızı ve hat eklentileri ile birlikte çoğalır. Sonlandırma dirençleri ile iletişim kanalının sonunu sonlandırarak yüksek hızlı CAN ağındaki yansımalar engellenmiş olur. Hat sonlandırma dirençlerinin değeri hattın karakteristik empedansına göre belirlenir. Bu değer $R_T=120\Omega$ 'dur.

5.1.4.1 CAN veri yolu seviyeleri

CAN ağındaki fiziksel sinyal iletimi diferansiyel sinyal iletimine dayanır. Diferansiyel gerilim seviyeleri kullanılan veri yolu arayüzüne bağlıdır.

Yüksek hızlı CAN hattı için ISO 11898-2'ye göre 0.5V'tan düşük diferansiyel gerilimler için lojik 0 atanır. 0.9 V'tan daha fazla gerilim farkında yüksek hızlı CAN alıcı-vericisi dominant duruma geçer ve lojik 1 atanır. Nominal gerilim değerleri baskın durum için 3.5 V, çekinik durum için 1.5 V'tur.

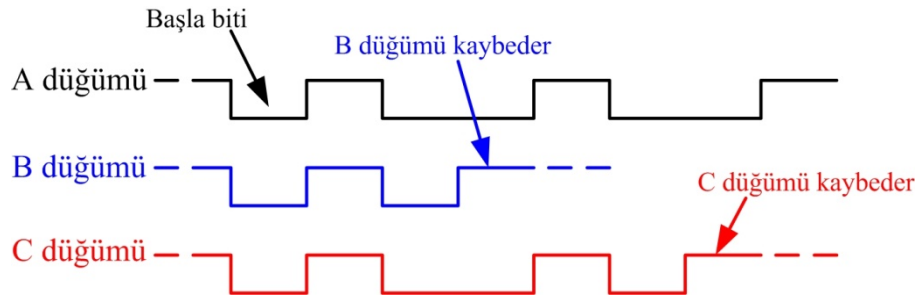


Şekil 5.7 : CAN veri yolu gerilim seviyeleri [21]

CAN hattına bağlı olan düğümlerden herhangi biri ilettime geçtiğinde CAN veri yolu da baskın veri yolu seviyesi durumuna geçer (lojik 0). Hattın çekinik durumda olması bütün CAN düğümleri hatta çekinik seviye bilgisi (lojik 1) göndermesi durumunda gerçekleşir.

5.1.4.2 CAN veri yolu mesaj iletimi

CAN-Bus ile veri iletimi mesaj önceliği prensibine göre yapılır. Yolda iletilen bütün bitler baskın ve çekinik olarak tanımlanır. Bütün düğümler (node) veri yolunu aynı anda dinleyebilir ve aynı anda ilettime geçebilirler. Bu düğümler motor kontrol ünitesi, transmisyon kontrol ünitesi, elektronik stabilite kontrolcüsü ve bu ünitelerin iletişimde olduğu sensörlerdir.



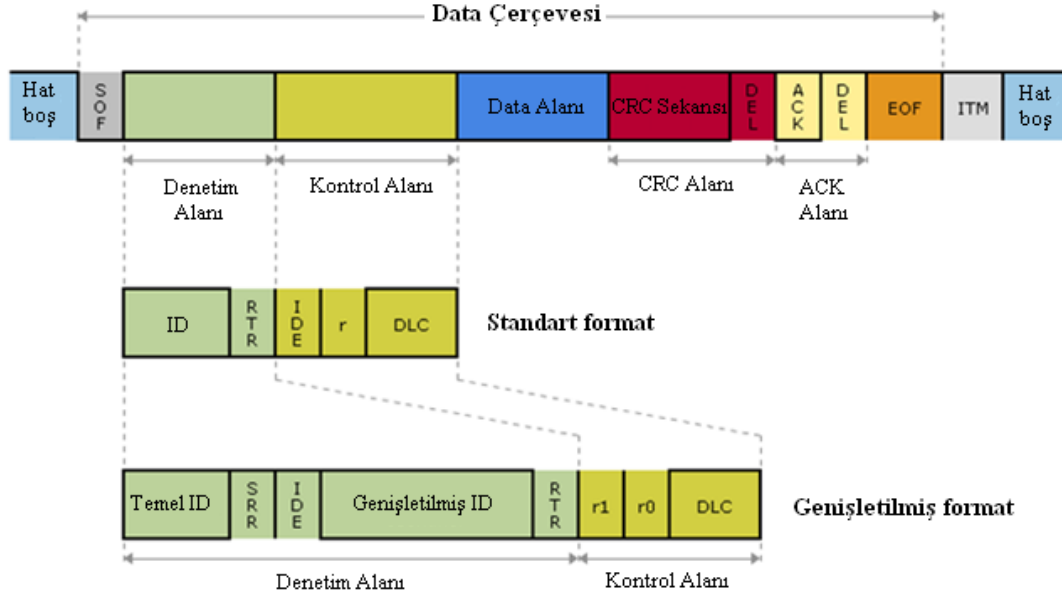
Şekil 5.8 : Farklı CAN düğümlerinin yola veri yazma girişimleri.

İki düğüm aynı anda mesaj yayınlamaya çalışırsa mesaj önceliği olan baskın bit galip gelir ve CAN hattına yayın yapar. Her bir düğüm yayınladığı mesajın veriyolu üzerinde gözüküp gözükmediğini gözlemler. Düşük öncelikli çekinik mesaj göndermeye çalışan düğüm veri yolunun dominant olduğunu gözlemler ve yayını keser. Sonraki periyotta tekrar yayın yapar.

Lojik 0'ın lojik 1'e baskın gelmesi sonucu küçük mesaj ID'sine sahip mesajlar öncelik kazanırlar. Bir düğüm tarafından mesaj gönderilmesi kararlaştırıldığında mesaj yol boşalana kadar bekletilir. Her düğüm yolu devamlı izlemektedir. Yol boşaldıktan sonra düğüm yola başla işaretini vererek mesajı yollamaya başlar. Eğer yol boşaldığında birden fazla düğüm yola mesaj yazmaya başlarsa düşük ID'li mesaj yazan düğüm yolu ele geçirir ve diğer düğümler aradan çekilerek tekrar göndermek üzere yolun boşalmasını beklerler.

5.1.5 CAN mesaj çerçevesi

Veriyolunda mesajlar çerçevelere bölünerek iletilir. İki tip mesaj türü mevcuttur: veri çerçevesi (message frame) ve istek çerçevesi (remote transmit request frame). Bunun dışında CAN2.0A ve CAN2.0B olmak üzere iki farklı CAN standardı mevcuttur. Mesaj çerçeveleri sırasıyla standart format ve genişletilmiş format olarak adlandırılır. İki yapının birbirinden farkı mesaj ID alanının genişletilmiş formatta daha fazla olmasıdır. Dolayısıyla CAN2.0B protokolünde daha fazla mesaj tanımlanabilir. CAN veri çerçevesi Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : CAN veri çerçevesi (Standart ve genişletilmiş formatlar).

Her çerçeve SOF (Start of Frame) sinyali ile başlar. Bu sinyal 1 bit genişliğindedir ve baskındır. Daha sonra 12 bitlik denetim alanı gelir. İlk 11 biti mesaj ID alanıdır ve bu alandaki değerler ile mesajlar etiketlenir. Bu alanın son biti olan RTR (Remote

Transmission Request) sıfır (dominant) ise gönderilen çerçeve veri çerçevesidir. Bu bir 1 ise çerçeve istek çerçevesidir.

Denetim alanından sonra kontrol alanı gelmektedir. Bu alanın ilk biti IDE olarak adlandırılır. Bu bitin ardından kullanılmayan rezerve alan gelmektedir. Daha sonra dört bitlik DLC alanı gelir. DLC alanı gönderilen verinin kaç byte olduğunu belirtir. Kontrol alanını veri alanı takip eder. Veri alanı en fazla sekiz byte olabilir. Veri alanını CRC alanı takip etmektedir. Bu alan 15 bitlik CRC (Cyclic Redundancy Check) bilgisi ile çekinik CRC Delimiter bitinden oluşur.

5.1.5.1 CheckSum CRC algoritması

Direksiyon açısı sensörü ve savrulma açısal hız sensörünün CAN üzerinden gönderdiği veri geçerliliğini sınaama mesajlarının simülatör üzerinden hesaplanıp yayınlanması:

Checksum adından anlaşılacağı gibi bitlerin toplanması ile oluşturulur. En basit checksum iletilen mesaj içerisindeki byte'ları toplayarak gerçekleştirilir. Hesaplanan değer yayınlanan mesajın sonuna eklenerek alıcıya gönderilir. Alıcı tarafı da aynı toplama mantığı ile gelen verinin ilk byte'larını toplayıp çıkan sonucu verinin sonundaki checksum mesajı ile kıyaslar. Eğer bir farklılık varsa iletim esnasında veri kaybı yaşanmış demektir.

Bahsedilen checksum algoritması basit ikili toplama mantığı ile çalışır. Bu özellik hesaplama işlemini görece olarak ucuz yapmasına rağmen bazı donan ımsal hataların farkedilmeden iletilmesine izin verebilir. İletilen mesajdaki hata yakalama oranı arttırılmak istenirse Checksum algoritmasının daha karmaşığı ve hata tespitinde daha güvenilir olan CRC (cyclic redundancy check) kodları kullanılır.

CRC kontrolü toplama yerine bölme işlemi üzerine kuruludur. CRC algoritmasının hata algılama kapasitesi kullanımını daha da yaygın hale getirmiştir. CRC algoritmasının yapısı daha karmaşıktır. CRC algoritmasındaki temel matematiksel işlem modül-2 bölme işlemidir. Farklı CRC formülasyonları mevcut olsa da temel matematiksel işlemler aynıdır:

- Mesaj bitleri sonuna n adet sıfır biti eklenecek şekilde sıralanır. Bu arttırılmış sayı işlemin bölünen kısmıdır.
- Önceden belirlenmiş n+1 bitlik seri generatör polinomu olarak adlandırılır ve bölen kısımdır

- Checksum ise bölme işleminden sonuçlanan n bitlik kalandır.

Başka bir deyişle arttırılmış mesaj generatör polinomuna bölünür, katsayı çıkarıldığında geri kalan checksum mesajı olur.

Savrulma açısal hız sensörü 8-bit SAE J1850 CRC hesaplama algoritmasını kullanmaktadır. CRC bölüm polinomu $x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ şeklindedir. Modul-2 bölme işlemi sonucu kalan polinom son olarak XOR'lanarak CRC bulunur. Çıkan değer mesaj ile birlikte alıcıya iletilir. [22, 23, 24 ,25]

Çizelge 5.1 : 8-bit SAE J1850 CRC değerleri.

Tanım	Değer
CRC sonuç biti	8 bit
CRC polinomu	1Dh
Başlangıç değeri	FFh
Giriş data yansıması	Yok
Çıkış data yansıması	Yok
XOR değeri	FFh
Check	4Bh
Magic check	C4h

6. SANAL SENSÖR TASARIMI

6.1 Giriş

Yol taşıtlarında savrulmanın önlenmesi ve taşıtın kararlı bir şekilde dönüşleri sağlanması son zamanlarda önemle üzerinde durulan bir konu olmuştur. Meydana gelen kaza ve yaralanmaların önemli bir kısmının taşıt hakimiyetinin kaybedilmesi yüzünden oluştuğu düşünülürse taşıt dinamiği kontrolünün önemi bir kez daha ortaya çıkar. Bu sebepten ötürü otomotiv üreticileri taşıtlarda aktif güvenlik sistemlerinin kullanımı ile taşıt kararlılığını sağlama yoluna gitmişlerdir. Pek çok farklı firma farklı isimlerde savrulma taşıt dinamiği kontrolcüsü geliştirmiştir. Bunlar arasında en çok bilineni Bosch'un geliştirdiği ESP (Elektronik Stabilite Programı) sistemidir. Bunun dışında VDC (Taşıt Dinamik Kontrolcüsü), ESC (Elektronik Stabilite Kontrolü), YSC(Savrulma Stabilite Kontrolü) gibi farklı isimlerde ürünler de mevcuttur. ESP ve türevi sistemlerin kullanım oranı ve gelişimi giderek artış göstermektedir.

Taşıt dinamiği kontrolcülerin pek çok ülkede kullanımının bir opsiyon olmaktan çıkıp zorunluluk haline geleceği düşünülürse ESP ve benzer sistemlerin kurulu olacağı araç sayısı daha da artacaktır. Bu yüksek kullanım oranının beraberinde getireceği maliyet yükünü azaltmak için otomotiv üreticileri maliyet azaltma yolları aramaktadırlar.

Taşıt savrulma dinamiği kontrolcüsünün ihtiyaç duyduğu en önemli parametrelerden biri savrulma açısız hız bilgisidir. Bu bilgi savrulma açısız hız sensörü ile ölçülür. Bu sensörlerin çalışma prensibi ve tipleri Bölüm 3.1.2'de verilmiştir.

Savrulma açısız hız sensörü genelde sensör grubu olarak üretilip aynı zamanda yanal ve boyuna ivme bilgilerini de ölçme kabiliyetine sahiptir. Bu çalışmada kullanılan BOSCH marka savrulma açısız hız sensörü de benzer şekilde taşıt yanal ve boyuna ivme değerlerini ölçme kapasitesine sahiptir. Son zamanlarda bu sensör grubunun maliyetini düşürme çabaları devam etmektedir. Sensör grubunun direkt olarak ESP kontrol ünitesinin içine entegre edildiği sistemler geliştirilmiştir.



Şekil 6.1 : BOSCH savrulma açısall hızı sensörü.

Öte yandan savrulma açısall hız bilgisinin sensör yerine ABS ve ESP sistemlerinde hali hazırda bulunması gereken diğer sensör verileriyle tahmin edilmesi mümkündür. Taşıtl tekerlek hız sensörleri ve direksiyon açıl sensörü verilerinden savrulma açısall hızının kinematik tahmini yapılabilir. Literatürde ölçümü zor veya maliyetli olan bazı taşıtl değişkenlerinin hesabı ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bu değişkenler genelde taşıtl savrulma açısall hızı, yana kayma açısı veya ölçülmesi zor olan lastik-yol sürtünme katsayısı olabilir [26, 27, 28].

Genelde yapılan benzer çalışmalarda savrulma açısall hızı taşıtlın kinematik özellikleri kullanılarak ya da savrulma açısall hız sensörünün yerine konulan başka sensörlerden alınan verilerden yararlanarak gerçekleştirilmiştir. Yardımcı sensör olarak ivmeölçer kullanılmıştır. Yapılan kinematik tahmin kısmından sonra tahmin verisi bir filtreden geçirilip gürültü etmenlerinin etkisi sınırlandırılabilir.

Gözetleyici kullanılarak yapılan savrulma açısall hızı tahmini çalışmalarda farklı tipte gözetleyiciler kullanılmıştır, bunlar Luenberger gözetleyicisi, Kalman filtresi, geliştirilmiş (extended) Kalman filtresi, kayan ufuklu gözetleyici (moving horizon observer), kayan kipli gözetleyici (sliding mode observer) olarak sayılabilir [28, 29].

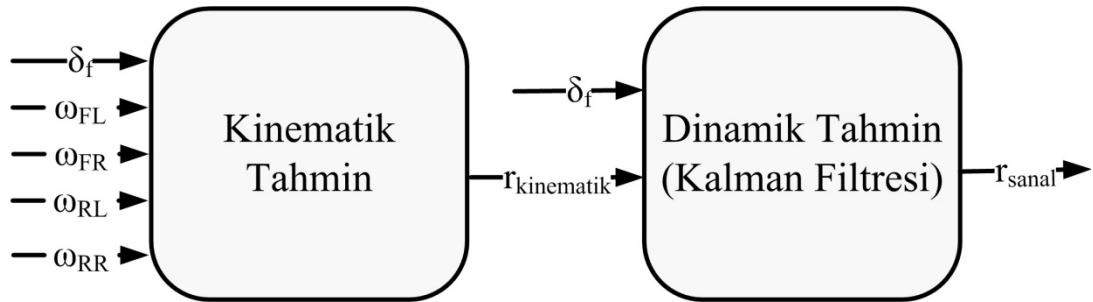
Bu çalışmada kullanılan savrulma açısall hızı tahmincisi için taşıtta bulunan 4 ayrı tekerlek hız sensörü verisi kullanılarak kinematik tahmin yapılmış, taşıtl dinamiği baz alınarak da dinamik tahminci ile birleştirilmiştir. Sanal sensörü oluşturan kinematik

tahmin ve dinamik tahmin bölümlerinin ayrıntılı açıklaması ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

Tez çalışmasının bu aşamasında kinematik tahmin kısmında Tolga Emirler'in (Emirler, 2010) yüksek lisans tez çalışması, dinamik tahmin ve gözetleyici tasarlanması kısmında Kerim Kahraman'ın (Kahraman, 2011) yüksek lisans tez çalışması esas alınmıştır. Bu tezde bahsi geçen tezlerdeki (Emirler, 2010, Kahraman, 2011) algoritmaların simülasyonları tekrar edilmiş ve ek çalışma olarak tez kapsamında hazırlanan donanım içeren simülatör ve araç içi test ortamları kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde Emirler (2010) ve Kahraman (2011) tezlerinden alınan algoritmalar tekrar anlatılacaktır.

6.2 Sanal Sensör Yapısı

Savrulma açısal hız tahmini kinematik tahmin ve dinamik tahmin aşamalarından oluşur. Taşıt tekerlek hız sensörlerinden alınan tekerlek hız bilgileri ile direksiyon açısı sensöründen gelen direksiyon açısı bilgileri kinematik tahmin algoritmasının girişlerini oluşturur. Kinematik tahmin algoritmasıyla hesaplanan kinematik savrulma açısal hız değeri tekerlek sensörlerinin yapısı sebebiyle gürültülüdür. Bu gürültünün filtrelenmesi için dinamik tahmin algoritması kullanılır.



Şekil 6.2 : Sanal sensör genel yapısı.

Şekil 6.2'de sanal sensör tahmin algoritmasının genel yapısı gösterilmiştir. Kinematik tahmin kısmında ABS'li araçlarda bulunan tekerlek devir sensörlerinden alınan tekerlek hız bilgileri kullanılır. Bu sensörlerin sinyalleri genelde gürültü içerir. Dolayısıyla hesaplanan savrulma açısal hız değeri taşıt dinamiği kontrolcülerinde kullanılmaya uygun değildir. Bu kinematik savrulma açısal hızı tahmin değerine dinamik taşıt etkileri dahil edilip tekerlek devir sensörlerinden gelen gürültüler filtrelenirse daha kullanışlı olan sanal savrulma açısal hızı elde edilir. Dinamik

tahmin kısmının girişine tahminin ön tekerleklerden yapılması durumunda tekerlek dönüş açısı δ_f de eklenmelidir.

6.3 Kinematik Tahmin

Günümüzde üretilmekte olan taşıtların büyük bir çoğunluğunda ABS antiblokaj fren sistemi bulunmaktadır. Sistem frenleme esnasında tekerleklerin kilitlenmesini önleyerek taşıtın kontrol edilebilir kalmasını ve sürücü tarafından yönlendirilmesi mümkün kılmaktadır. ESP sisteminde olduğu gibi sistem girişlerinin bir kısmını tekerlek devir sensörlerinden alınan tekerlek hız bilgileri oluşturur. Tekerleklerdeki hız farkına bakılarak frenleme müdahalesinin gerekliliğine karar verilir ve fren kaliper basıncı kontrol edilir..

Bu çalışmada, ABS sisteminin yaygınlığı düşünülerek taşıta yeni bir sensör eklenmeden taşıt savrulma açısal hızının tahmin edilmesine çalışılmıştır. Bu şekilde daha önce bahsedilen ek sensör eklenerek yapılan savrulma açısal hız tahmincisine göre daha ekonomik bir çözüm üretilmiş olur.

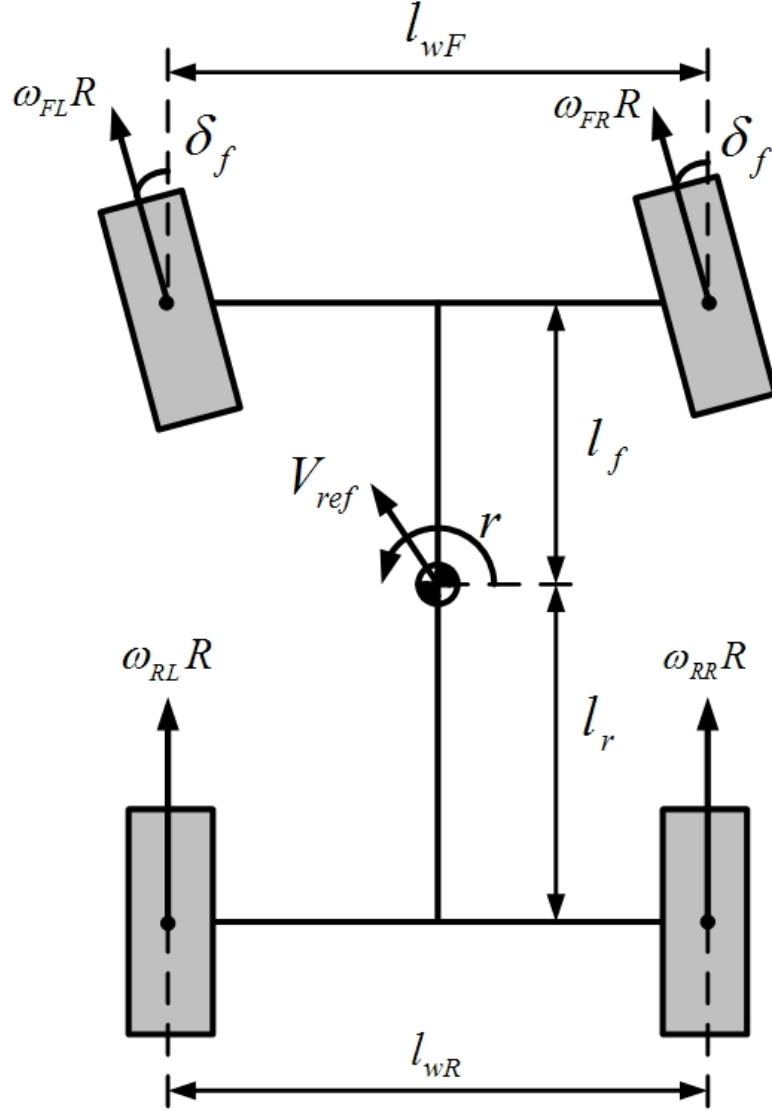
Savrulma açısal hızı teorik olarak tekerlek hızlarından, tekerlek dönüş açılarından ve taşıta ait dinamik tekerlek yarıçapı, taşıt ön ve arka aksına ait iz genişlikleri gibi bilgilerden tahmin edilebilir [31]. Şekil 6.3’de görülen taşıt için arka tekerleklerden **(6.1)** nolu denklem ve ön tekerleklerden ise **(6.2)** nolu denklem kullanılarak tahmin yapılabilir. Ön tekerleklerden tahminde ön tekerleklerin direksiyon dönüş açısı bilgisine ihtiyaç vardır, ancak bu bilgi ABS’li taşıtlarda mevcut bulunan direksiyon dönüş açısını okuyan sensör yardımıyla tespit edilebilir. Ön tekerleklerin dönüş açısı da, direksiyon dönüş açısının direksiyon – tekerlek aktarma organı çevrim oranına bölünmesiyle elde edilebilir.

$$r = \frac{\omega_{RR}R - \omega_{RL}R}{l_{wR}} \quad (6.1)$$

$$r = \frac{\omega_{FR}R - \omega_{FL}R}{l_{wF} \cos \delta_f} \quad (6.2)$$

Burada ω_{FL} , ω_{FR} , ω_{RL} , ω_{RR} sırasıyla ön sol tekerlek açısal hızını, ön sağ tekerlek açısal hızını, arka sol tekerlek açısal hızını ve arka sağ tekerlek açısal hızını gösterir.

Formülde l_{wF} ve l_{wR} ön ve arka taşıt iz genişliklerini göstermektedir. Ön tekerleklerden yapılan tahminde direksiyon açısı da dikkate alınmalıdır.



Şekil 6.3 : Kinematik tahmin için taşıt şematik görünüşü, [12].

(6.1) ve (6.2) denklemlerindeki savrulma açısal hız hesapları taşıtın ivmelenme ve frenleme durumlarındaki kayma miktarları da dikkate alınarak yeniden hesaplanırsa daha doğru sonuçlar alınacağı görülmüştür [31].

$$\lambda_i = \frac{w_i R_w - V_i}{V_i}, w_i R_w - V_{xi} < 0 \text{ (frenleme)} \quad (6.3)$$

$$\lambda_i = \frac{w_i R_w - V_i}{w_i R_w}, w_i R_w - V_{xi} \geq 0 \text{ (ivmelenme)} \quad (6.4)$$

Konuyla ilgili formüsel hesaplar Emirler (2010) yüksek lisans tez çalışmasında bululabilir.

6.4 Dinamik Tahmin

Kinematik tahmin ile elde edilmiş savrulma açışal hızı, taşıt savrulma dinamiği kontrol sistemlerinde kullanılacak yeterlilikte değildir [36]. Bu yüzden hem kinematik olarak elde edilen tahmini filtrelemek, hem de taşıt dinamiğinin tahmine olan etkisini hesaplamaların içine katmak için, bu çalışmada dinamik tahmin gerçekleştirilmiştir. Dinamik tahminde pek çok gözetleyici kullanılabilir. Bu tezde kaynak olarak gösterilen Kahraman (2011) yüksek lisans tezindeki Kalman filtresi deneylerde kullanılmıştır.

6.4.1 Kalman filtresi

Kalman filtresi bir prosesin durumlarını hatanın karesinin ortalamasını minimize edecek şekilde, etkili ve tekrarlanan biçimde tahmin edilmesini sağlayan matematiksel denklemler setidir. Kalman filtresi bütün filtreler arasında tahmin hatasının varyansını minimize eden tek filtredir. Kalman filtresi gömülü kontrol sistemlerinde sıkça kullanılmaktadır. Bunun sebebi bir prosesi değişkenini kontrol edebilmek için öncelikle hassas bir tahmine ihtiyaç duyulmasıdır [32, 33].

Kalman filtresi Rudolph Kalman tarafından tasarlandıysa da bazen Richard Bucy'nin konu üzerindeki çalışmaları nedeniyle Kalman – Bucy filtresi olarak da anılır. Algoritmanın kökleri Karl Gauss'un en küçük kareler yöntemine kadar uzanır. İlk olarak Apollo uzay programı dahilinde uzay gemisi navigasyon problemini çözmek için geliştirilmiştir. O zamandan bu yana pek çok muhtelif alanda uygulamalarda kullanılmıştır [33].

Kalman filtresinde amaç, x_k sistem durumlarının, sistem dinamiği ve sistemden alınan gürültülü sensör bilgileri kullanılarak tahmin edilmesidir [35]. Kontrol edilen ayrık zamanlı sistemin durum denklemleri (6.5) ve (6.6)'da gösterildiği gibidir.

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \quad (6.5)$$

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (6.6)$$

Burada k zaman indeksini, x_k sistem durumunu, u sistem girişini z_k ölçülen çıkışı belirtir. w_k sistem gürültüsünü v_k ise ölçüm gürültüsünü ifade eder. Her ikisi de beyaz gürültüdür ve birbirlerinden bağımsızdır. Kalman filtresi algoritması bazı kabuller altında uygulanır. Sistem ve ölçüm gürültülerinin ortalama değerlerinin sıfır olduğu varsayılır. Sistem ve ölçüm gürültülerinin kovaryansları Q ve R , ()'deki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} E[w_k w_k^T] &= Q \\ E[v_k v_k^T] &= R \\ E[v_k w_k^T] &= 0 \end{aligned} \tag{6.7}$$

Kalman filtresi tahmin ve düzeltme olmak üzere iki aşamadan meydana gelir. İlk aşamada sistemin dinamik modeli kullanılarak ölçülemeyen durumlar tahmin edilmektedir ve hata kovaryansı hesaplanmaktadır. İkinci aşamada ise Kalman filtresi kazancı hesaplanmakta, yapılabilen sensör ölçümleri ile durumların tahminleri güncellenmekte ve hata kovaryansı yenilenerek tekrar birinci aşamaya geçilmektedir. Bu prosedür her zaman aralığında tekrarlanmaktadır. Kalman filtresinin yapısı Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

Tahmin denklemleri;

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + B\hat{u}_{k-1} \tag{6.8}$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \tag{6.8}$$

Düzeltilme denklemleri;

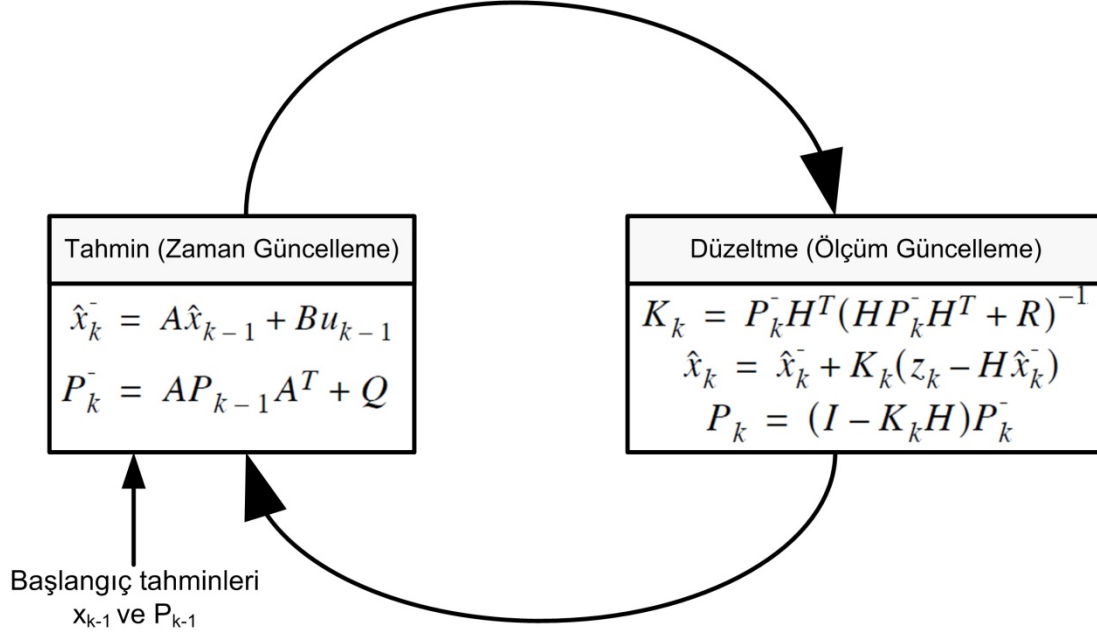
$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} \tag{6.9}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1}^- + K_k (z_k - H\hat{x}_k^-) \tag{6.10}$$

$$P_k = (I - K_k H) P_k^- \tag{6.11}$$

Buradaki K_k matris Kalman kazancı, P_k matrisi tahmin hata kovaryansı olarak adlandırılır. Denklem (6.9)'da görüldüğü gibi ölçüm gürültü kovaryansı R arttıkça K_k azalmaktadır. Dolayısıyla bir sonraki $\hat{x}_k$ değeri hesaplanırken ölçümünden gelen z_k 'nin etkisi azalır. Ölçüm gürültüsünün sıfıra yaklaşması durumunda ise bu durumun tersi

geçerli olur. Öte yandan tahmin hata kovaryansı P_k 'nin sıfıra yaklaşması durumunda K_k kazancının etkisi azalır. Başka bir ifadeyle ölçüm hata kovaryansı R sıfıra yaklaşırken gerçek ölçüm değeri z_k 'nin güvenilirliği daha fazla olurken öngörülen ölçüm değeri $H\hat{x}_k^-$ 'nin güvenilirliği azalır. Üstün Kalman filtresi performansı sağlamak için Q ve R filtre parametrelerinin ayarlanması gerekmektedir.



Şekil 6.4 : Kalman filtresi çevrimi.

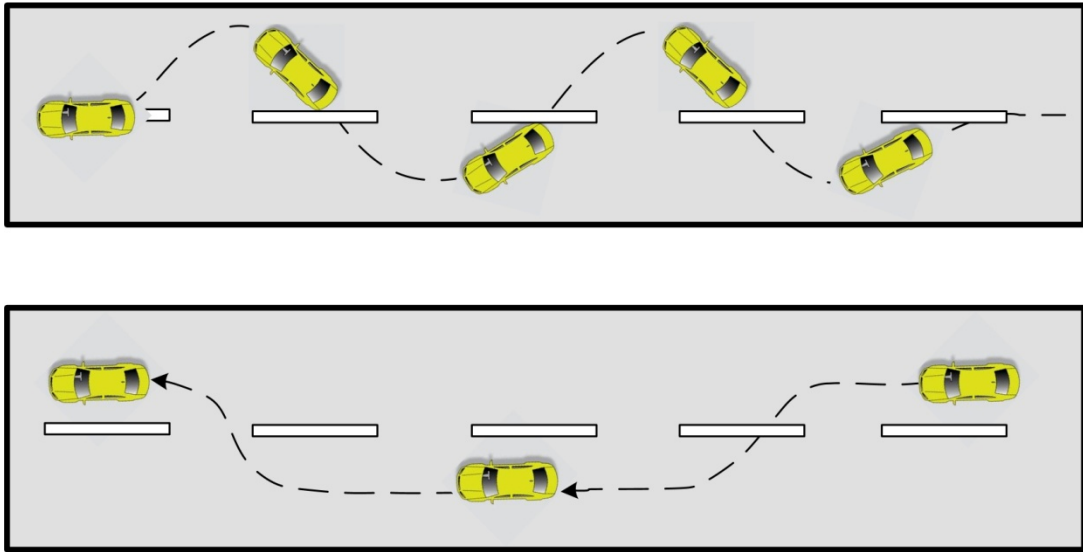
Bu tezdeki simülasyon ve deneysel çalışmalarda kullanılan kinematik ve dinamik tahmin algoritmalarıyla ilgili daha detaylı bilgi Emirler (2010) ve Kahraman (2011) tezlerinde bulunabilir.

7. HİL SİMÜLASYON VE TAŞIT TEST SONUÇLARI

Bu bölümde sanal sensör tahmincisinin donanım içeren simülatörde, standart savrulma mavevraları uygulanarak test edilmesi ve simülasyon sonuçlarının yorumlanması anlatılmıştır. Bölümün sonunda gerçek taşıt içi test ve veri toplama sistemi ile yapılan test sonuçları verilmiş ve sanal sensör benzetimcisinin gerçek sensör verisiyle ne kadar uyduğu irdelenmiştir.

7.1 Benzetim Çalışması

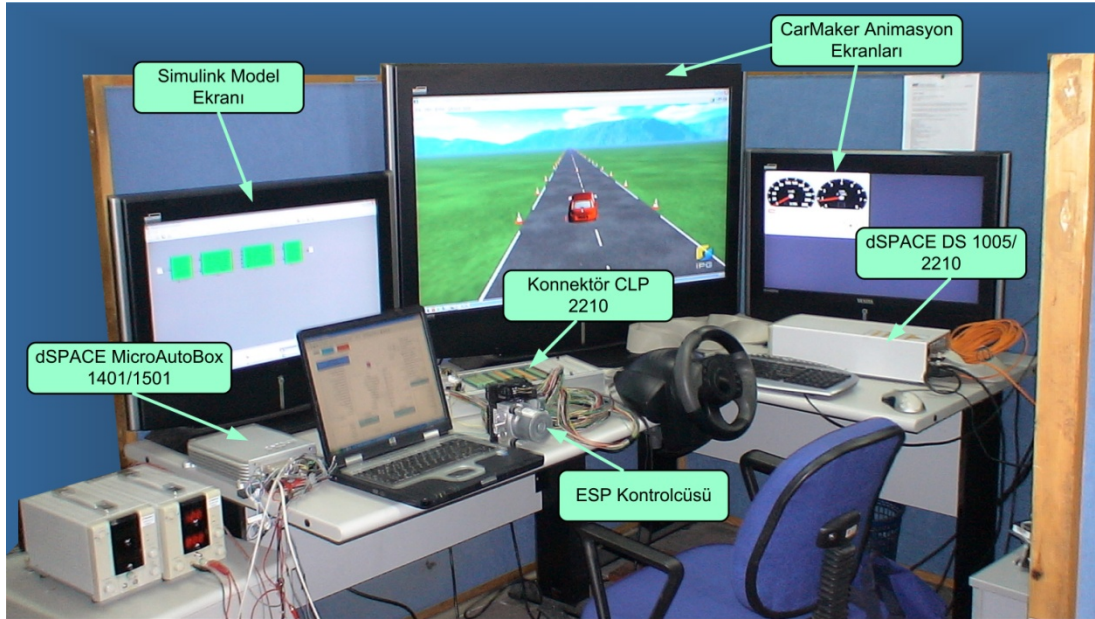
Sanal Savrulma Açısal Hız Sensörü tahmincisi performansı öncelikle bilgisayar sümülasyonları ile daha sonra donanım içeren simülasyon ortamında standart taşıt manevralarına tabi tutularak denenmiştir. Benzetimlerde standart taşıt manevraları olarak çift şerit değiştirme manevrası ve slalom manevrası kullanılmıştır. Şekil 7.1’de bu manevralara ait şematik bir çizim verilmiştir. Savrulma açısal hızı tahmini, sonuçları hem yüksek güvenilirlikli CarMaker taşıt modeli için verilmiştir. Donanım içeren simülatörde yapılan testle sonucunda performansı sınanan tahminci algoritması bölüm sonunda anlatılacağı üzere gerçek taşıt testlerinde de denenerek sonuçlar açıklanmıştır.



Şekil 7.1 : Test manevraları: (a) Çift şerit değiştirme (b) Slalom.

7.2 MEKAR Donanım İçeren Taşıt Benzetimcisi

Donanım içeren taşıt simülatörleri, gerçek taşıt testlerinin getirdiği maliyet ve tehlikeler göz önünde bulundurulduğunda kontrolcü ve tahminci algoritmalarının geliştirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Standart taşıt test manevraları arka arkaya hızlı bir şekilde koşturularak normalde çok uzun zaman alabilecek manevralar gerçekleştirilebilir. HiL ortamında yapılan denemelerle daha sonraki yol testerinde karşılaşılabilecek zorluklar önceden görülerek ve hatalara karşı hazırlıklı hale gelinir. Bu amaca uygun olarak Şekil 7.2’de görülen MEKAR donanım içeren taşıt benzetimcisi savrulma açısı tahmininde kullanılacak hale getirilmiştir. Taşıt benzetimcisinin kullanıcı biriminde güç geri beslemeli bir direksiyon, fren ve gaz pedal sistemi ile üç büyük ekran bulunmaktadır. Bu ekranlar ile çevre ve araç koşulları sürücüye yansıtılmakta ve önemli taşıt parametreleri gerçek zamanda gözlemlenmektedir.

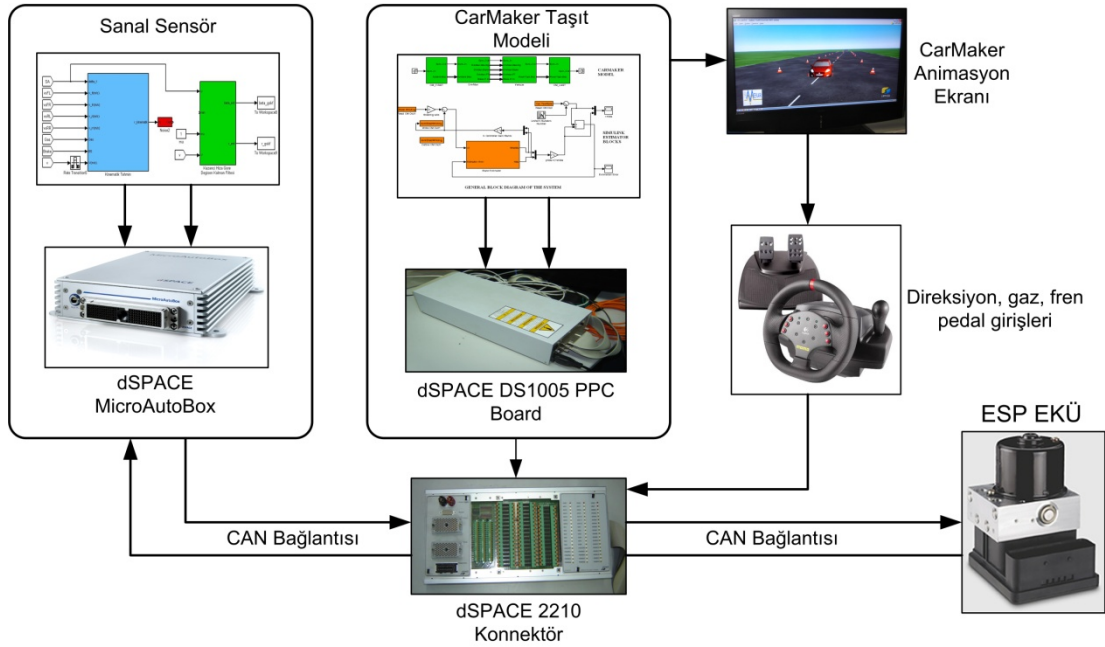


Şekil 7.2 : Gerçek zamanlı MEKAR donanım içeren taşıt benzetimcisi.

Hazırlanan tüm araç modelleri ve sanal sensör gerçek zamanlı olarak dSPACE DS 1005 ve DS 2210 sistemleri ve sanal sensör hesabı için dSpace microautobox kullanılarak çalıştırılmış ve test edilmiştir. Burada DS 1005 ana işlemci, DS 2210 ise CAN iletişimini de sağlayabilen bir I/O kartıdır. Kullanılan Tofaş-Fiat Linea’nın araç modeli Carmaker HiL yazılımında oluşturulmuş ve DS 1005 ve DS 2210 dan oluşan sistemde gerçek zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Araç hızı, direksiyon açısı ve tekerlek açısı gerçek zamanlı simülasyonlarda Carmaker HiL modeli çıkışı olarak

alınmış ve aracın ESP elektronik kontrol ünitesine ve dSpace microautobox'ta gerçek zamanlı olarak çalışan sanal savrulma açısall hız gözetleme algoritmasına aktarılmıştır. dSpace microautobox'ta hesaplanan sanal savrulma açısall hızı ESP elektronik kontrol ünitesinin savrulma açısall hızı sensörü girişine iletilmiştir. Anlatılan bu simülasyon sistemi bilgi akışı şema olarak Şekil 7.3'te verilmiştir. Kullanılan yapı sanal sensörün araç testlerinde uygulanacağı şekle uygundur. Dolayısıyla donanım içeren simülasyon ortamındaki algoritma geliştirme ve test çalışmaları bittiğinde geliştirilmiş son sanal sensör algoritmasını içeren dSpace microautobox genel amaçlı kontrol ünitesi simülasyon düzeneğinden sökülüp benzer şekilde test aracına bağlanarak yol testleri aşamasına hızla geçilebilir. Bu çalışmada da bu yöntem kullanılmıştır [37].

Tüm araç modelleri ve sanal sensör önce Simulink'te oluşturulmuş sonra Mathworks Real Time Workshop kullanılarak koda çevrilmiştir. dSPACE gerçek zamanlı arayüzü ile (Real Time Interface – RTI) üretilen kod DS 1005'e ve microautobox'a yüklenmiştir. CarMaker HiL yazılımı ise CarMaker modellerinin gerçek zamanlı çalıştırılmasında kullanılmıştır.



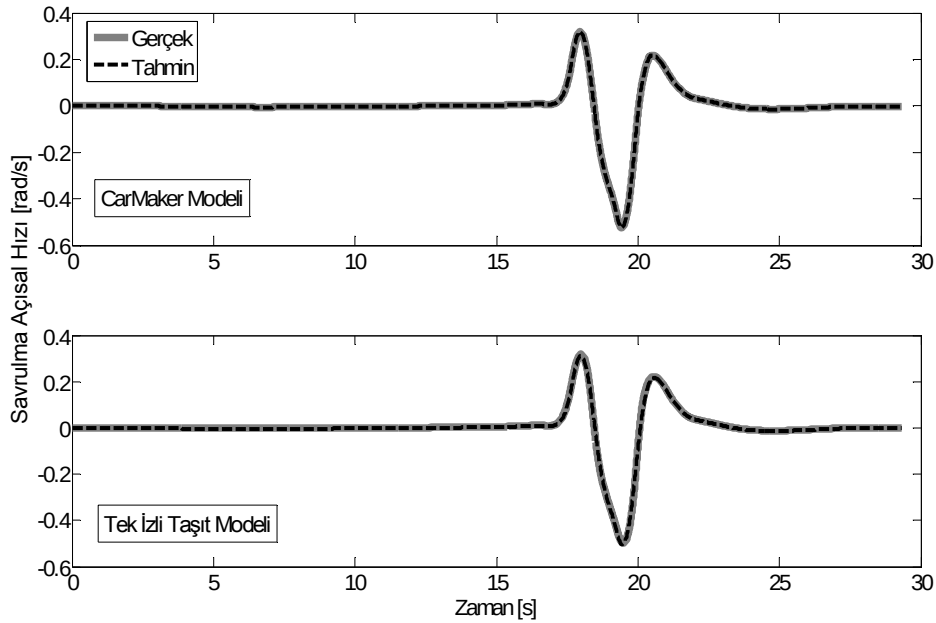
Şekil 7.3 : MEKAR taşıt simülatörünün çalışma diyagramı.

Simülasyon sisteminde gerektiğinde sürücü girişi için kullanılmak üzere: güç geri beslemeli bir direksiyon simidi, fren ve gaz pedal sistemi bulunmaktadır. Üç büyük ekran ile çevre ve araç koşulları sürücüye yansıtılmış ve önemli araç parametreleri

gerçek zamanlı gözlemlenmiştir. Gerçek yol testlerinden önce, araç modeli dSPACE DS 1005'te çalıştırılırken, sanal sensör dSPACE MicroAutoBox'ta gerçek zamanlı çalıştırılmış ve iletişim CAN seri iletişim hattı üzerinden sağlanmıştır. Böylece donanım içeren araç simülasyonu, gerçek yol testleri öncesi oldukça gerçekçi simülasyon testleri yapılmıştır.

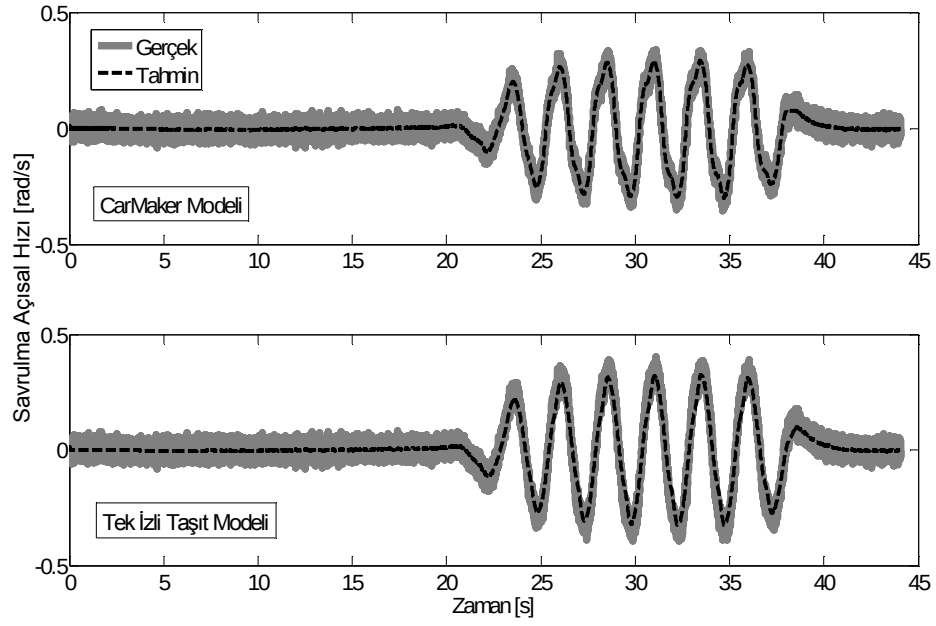
7.3 Benzetim Sonuçları

Bilgisayar ortamında yapılan benzetimler, CarMaker ve Matlab/Simulink programı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 7.4'te ani şerit değiştirme manevrası sonuçları ve Şekil 7.5'da slalom manevrası sonuçları görülmektedir. Sanal sensörün dinamik tahmin bölümünün (Kalman filtresi) gürültü filtreleme özelliğini de sınamak üzere slalom manevrası sonuçlarında, kinematik tahmin öncesinde tekerlek hız bilgilerine beyaz gürültü eklenmiştir. Böylece tekerlek hızı sensör gürültüsünün mevcut olduğu durumdaki sonuçlar incelenmiştir.



Şekil 7.4 : Ani şerit değiştirme manevrası sonuçları.

Şekil 7.4, Şekil 7.5'de görülen şekillerde gerçek ile ifade edilen sinyaller CarMaker ve tek izli taşıt modellerinden direkt okunan savrulma açısal hızlarını göstermektedir. Tahmin olarak ifade edilen sinyaller ise sanal sensör ile elde edilen savrulma açısal hızını göstermektedir.

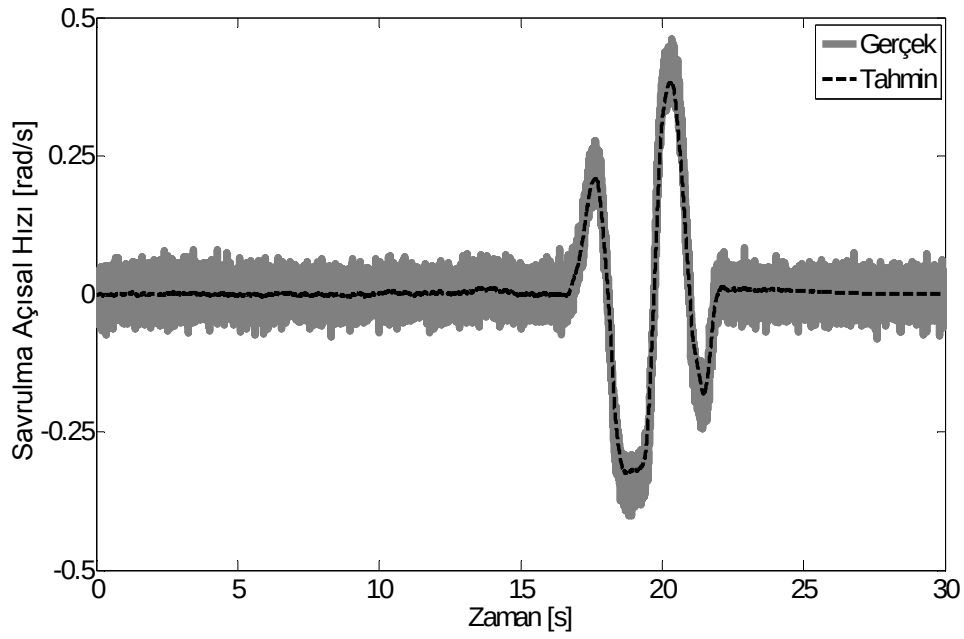


Şekil 7.5 : Slalom manevrası sonuçları.

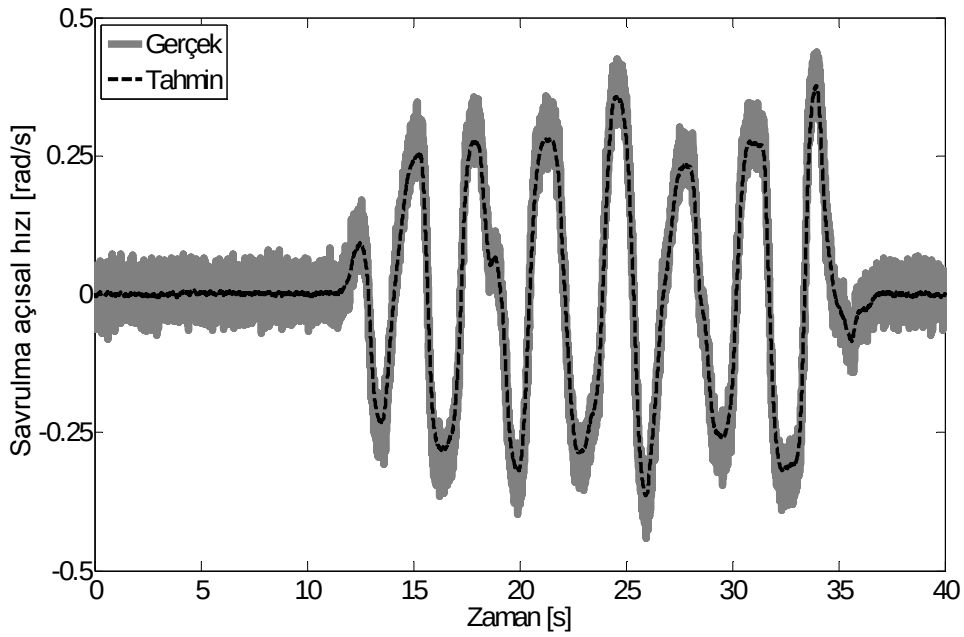
Şekil 7.5’de gerçek ile gösterilen sinyal, taşıt modellerinden elde edilen savrulma açısal hızına beyaz gürültü eklenmiş halidir. Bu gürültü modellerden elde edilen tekerlek hızı bilgilerine de eklenmiş ve bu gürültülü tekerlek hızı bilgileri ve diğer gerekli bilgiler (tekerlek dönme açıları, taşıt parametreleri vb.) sanal sensörde kullanılarak tahmin gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde sanal sensörün gürültü filtreleme özelliği de test edilmiştir. Sonuç olarak bakıldığında bilgisayar ortamında yapılan benzetim sonuçları oldukça başarılı bulunmuştur.

7.4 Donanım İçeren Benzetim Sonuçları

Bu bölümde daha önce anlatılan MEKAR gerçek zamanlı taşıt benzetimcisi tez yazarı tarafından kullanılarak donanım içeren testler gerçekleştirilmiştir. Testlerde ani şerit değiştirme manevrası, sekiz manevrası ve slalom manevrası gerçek sürücü tarafından gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Donanım içeren testlerde, yüksek serbestlik dereceli CarMaker taşıt modeli kullanılmıştır. Sanal sensörün kinematik tahmin bölümünden önce, tekerlek hızlarına beyaz gürültü eklenerek CarMaker modelinden gelen tekerlek hızları gürültülü hale getirilmiştir. Bu şekilde önceki bölümde sadece slalom testi için yapılan sanal sensörün gürültü filtreleme özelliği, bu bölümde tüm manevralarda sınanmıştır.



Şekil 7.6 : Donanım içeren ani şerit değiştirme manevrası sonucu.

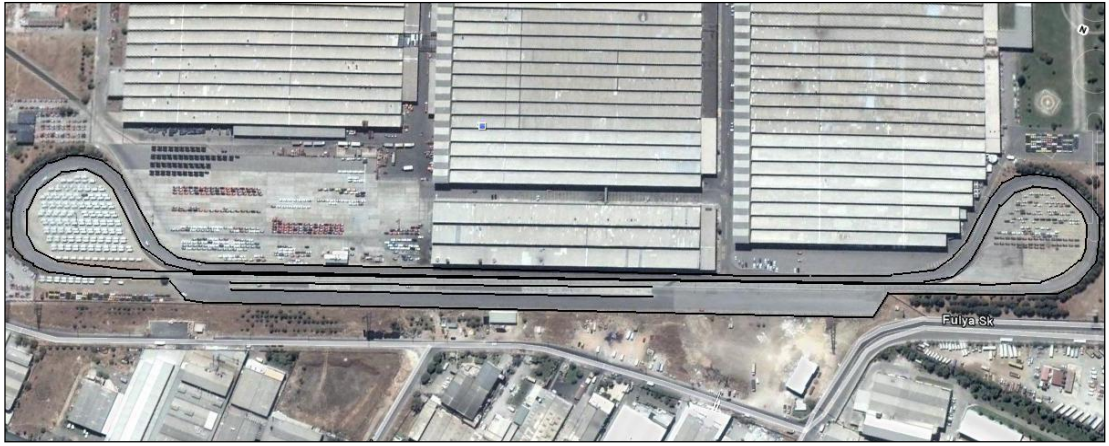


Şekil 7.7 : Donanım içeren slalom manevrası sonucu.

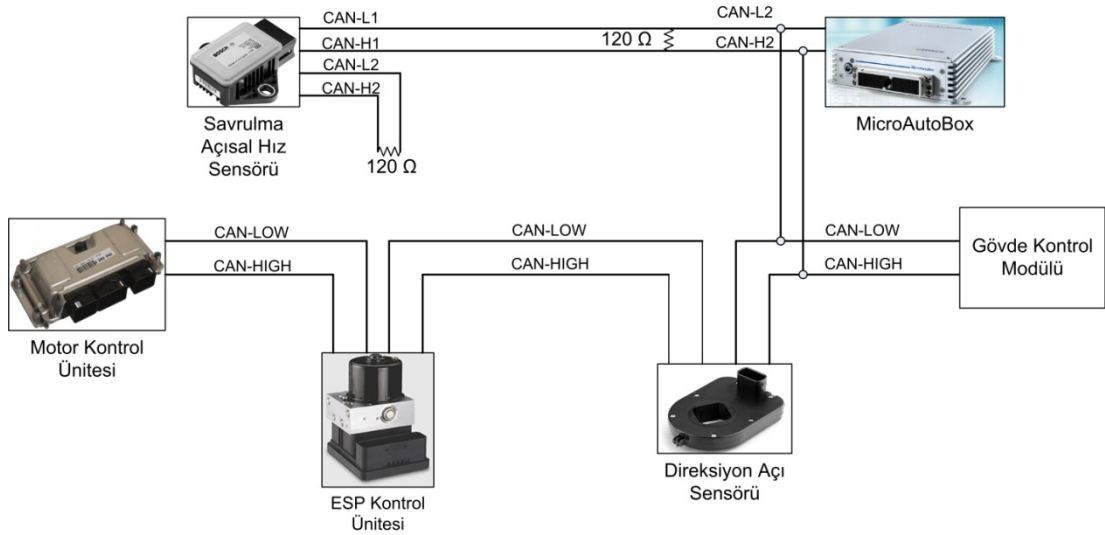
Şekil 7.6, ve Şekil 7.7’de gösterilen donanım içeren test sonuçlarına bakıldığında, gerçek ve tahmin değerleri hemen hemen tüm manevralarda üst üstedir. Bu sonuçlara göre gerçek yol testleri öncesi, donanım içeren testlerde sanal sensör tahminleri oldukça başarılı bulunmuştur.

7.5 Gerçek Yol Testleri Sonuçları

Donanım içeren testlerin başarıyla tamamlanması sonrası sanal sensör gerçek taşıt testlerinde sınanmıştır. Deneysel çalışmalarda Fiat Linea marka araç kullanılmıştır. Testler Şekil 7.8’de gösterilen TOFAŞ Bursa test pistinde, test sürücüler tarafından gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sanal sensör, dSPACE MicroAutoBox hızlı prototiplendirme ünitesi yardımıyla taşıt CAN hattı üzerinden Şekil 7.9’daki gibi taşıta bağlanmıştır.



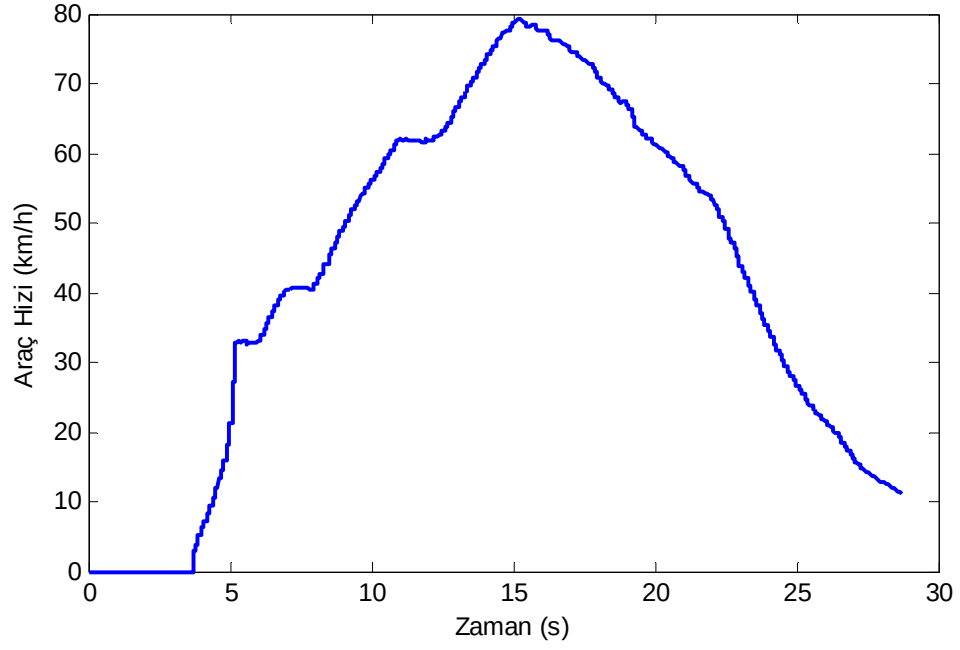
Şekil 7.8 : TOFAŞ Bursa test pisti.



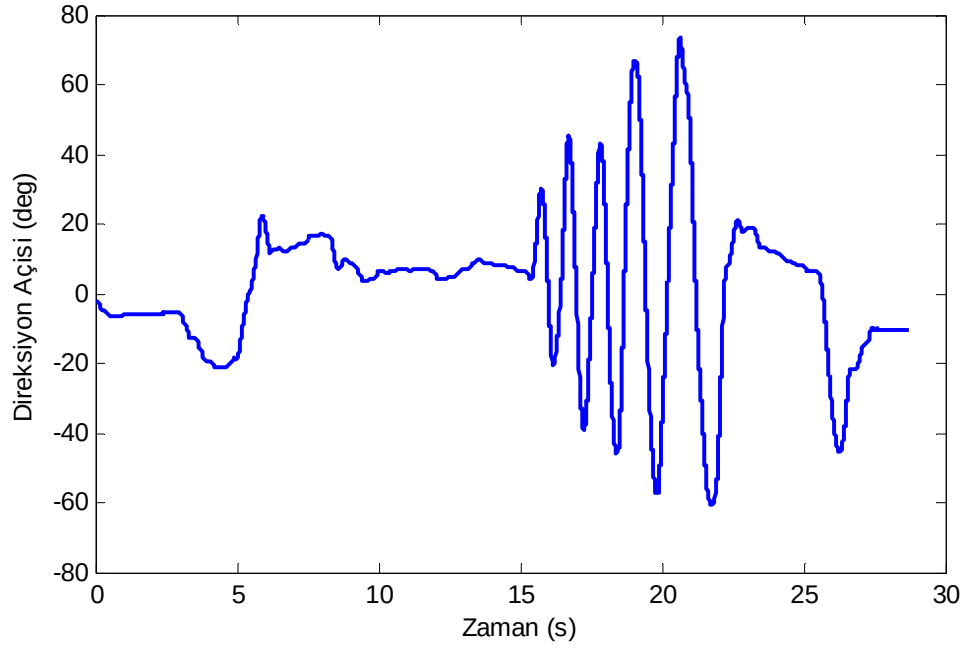
Şekil 7.9 : MicroAutoBox ünitesi ile araca bağlanma.

Sanal sensörün tekerlek hızları ve direksiyon açısından hesapladığı savrulma hızı bilgisi dSpace MicroAutoBox (MABX) ile araç CAN hattına (EOBD konnektör vasıtasıyla) yayınlanmaktadır.

Gerçek savrulma açısı hız sensörünün araç C-CAN hattıyla bağlantısı kesilmiş ve ESP kontrol ünitesi ile direksiyon sensörünün bağlantıları birleştirilmiştir. Bu şekilde

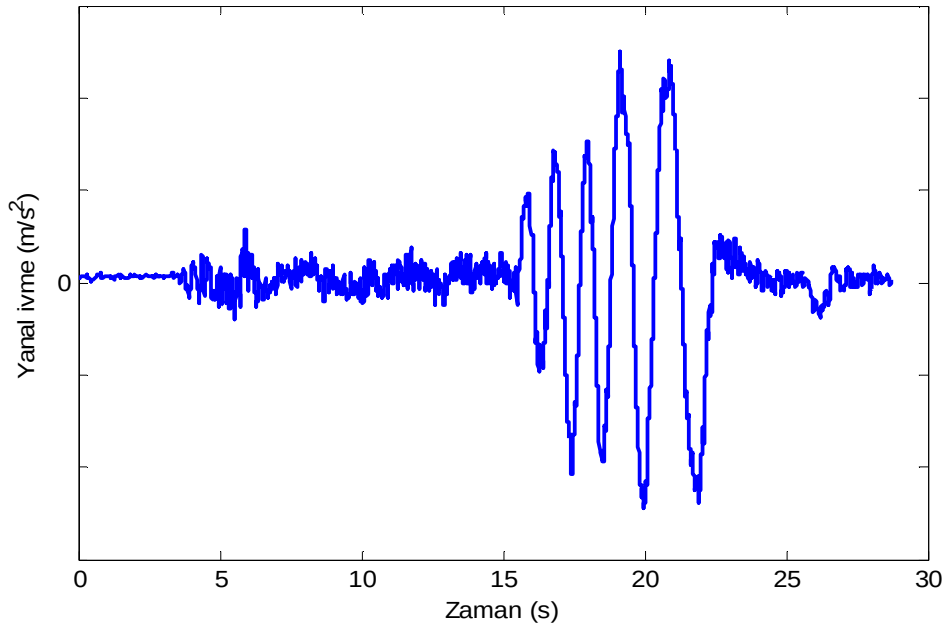


Şekil 7.11 : Taşıt hızı (slalom testi).

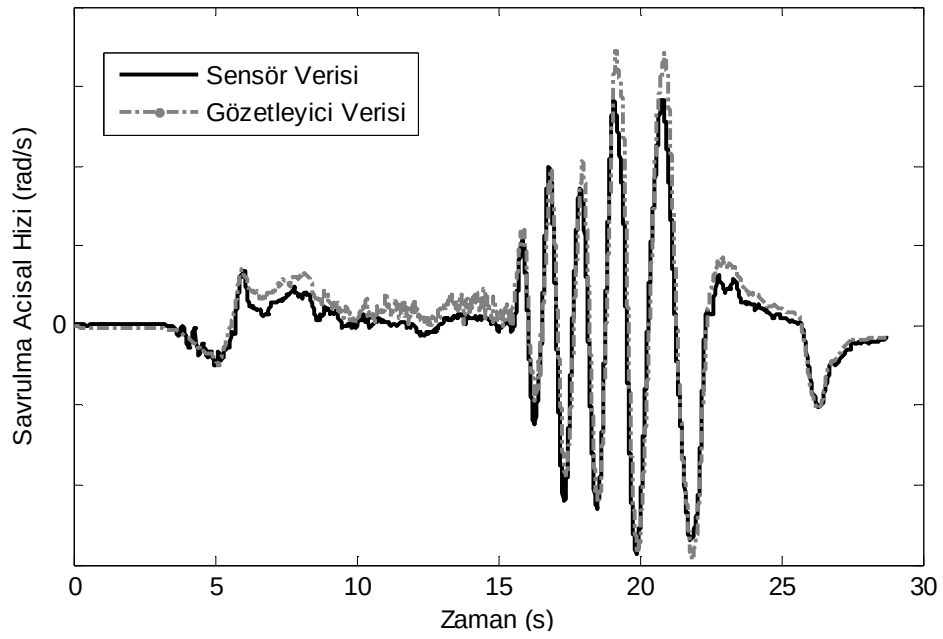


Şekil 7.12 : Direksiyon açısı (slalom testi).

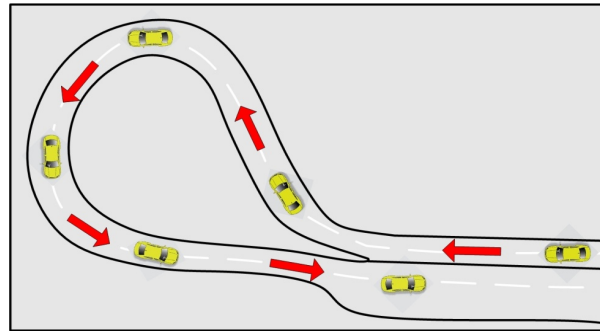
Şekil 7.11, Şekil 7.12 ve Şekil 7.13'te slalom manevrası esnasındaki taşıt hızı, direksiyon açısı değişimi ve yanıl ivme değeri gösterilmiştir. Gerçek savrulma açısal hız sensöründen okunan değeri ile hesaplanan değeri değişim grafiği Şekil 7.14'te gösterilmiştir. Söz konusu slalom manevrası için Şekil 7.14'te görüldüğü gibi tahmin verisi ile gerçek sensör verisi yüksek oranda uyumaktadır.



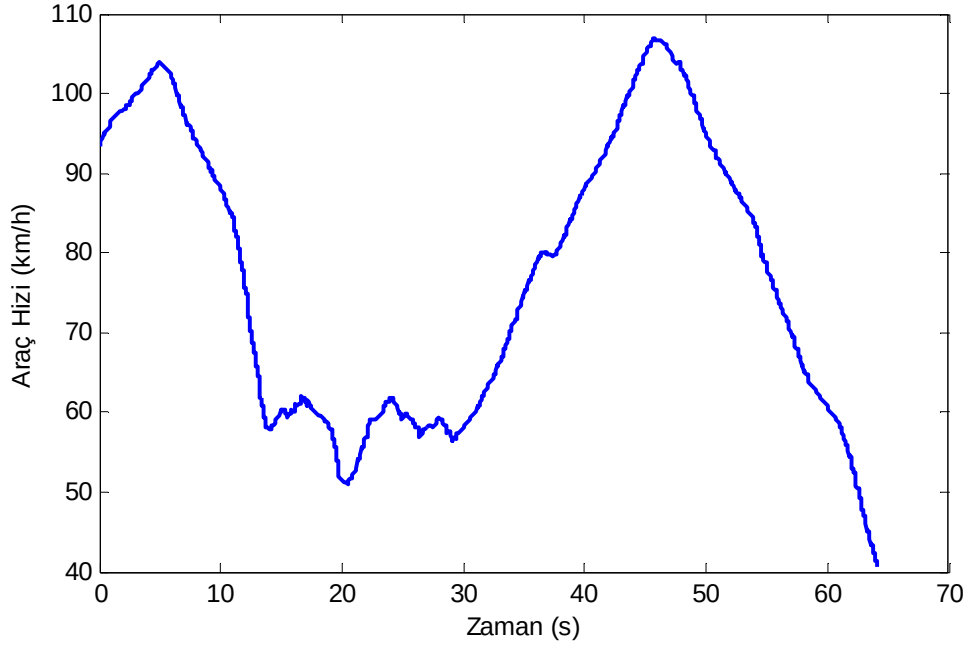
Şekil 7.13 : Taşıt yanal ivmesi (slalom testi).



Şekil 7.14 : Sensör ve tahmin edilen savrulma açısız hızları (slalom testi).

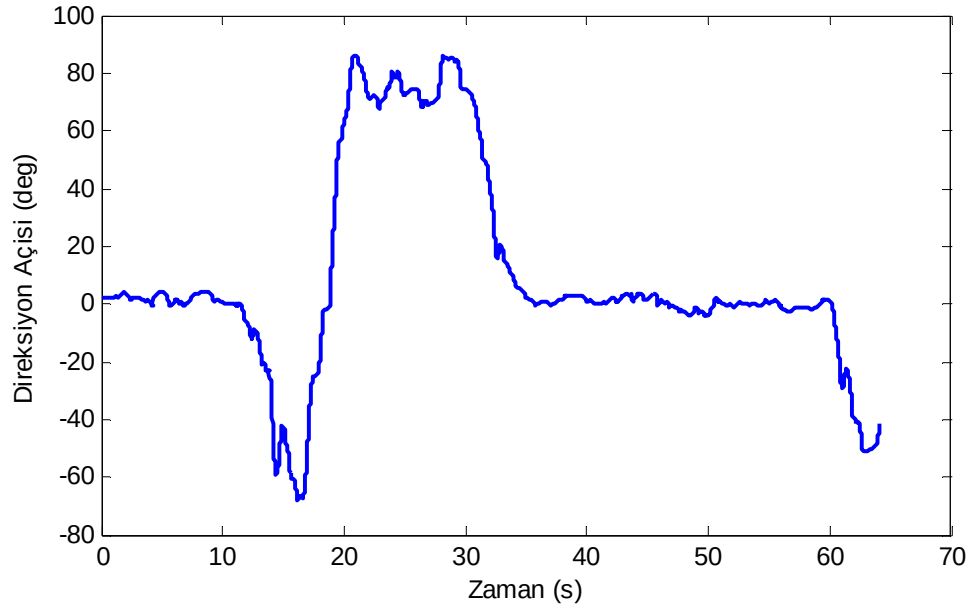


Şekil 7.15 : Sabit dönüş manevrasının animasyonu.

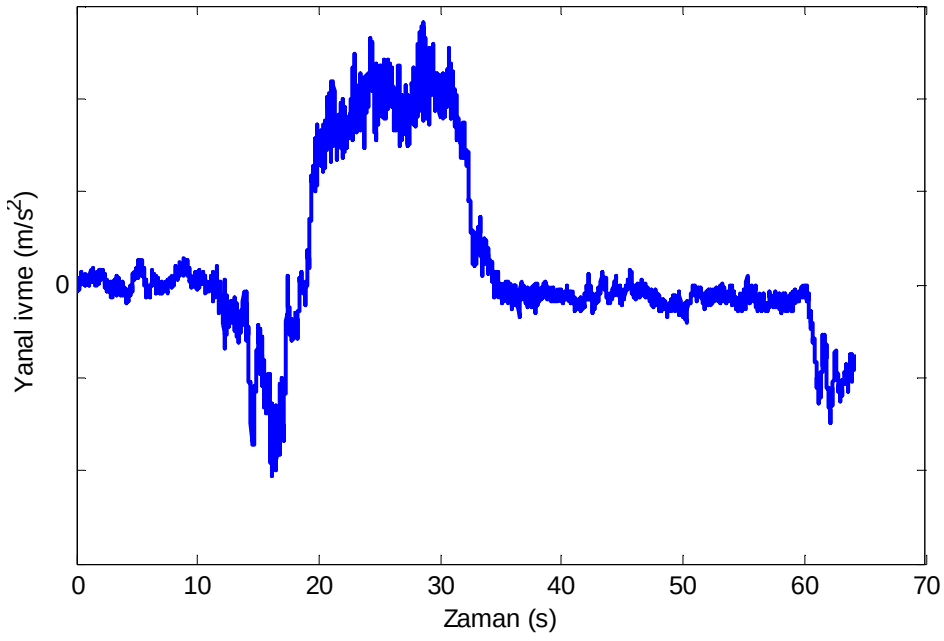


Şekil 7.16 : Taşıt hızı (sabit dönüş).

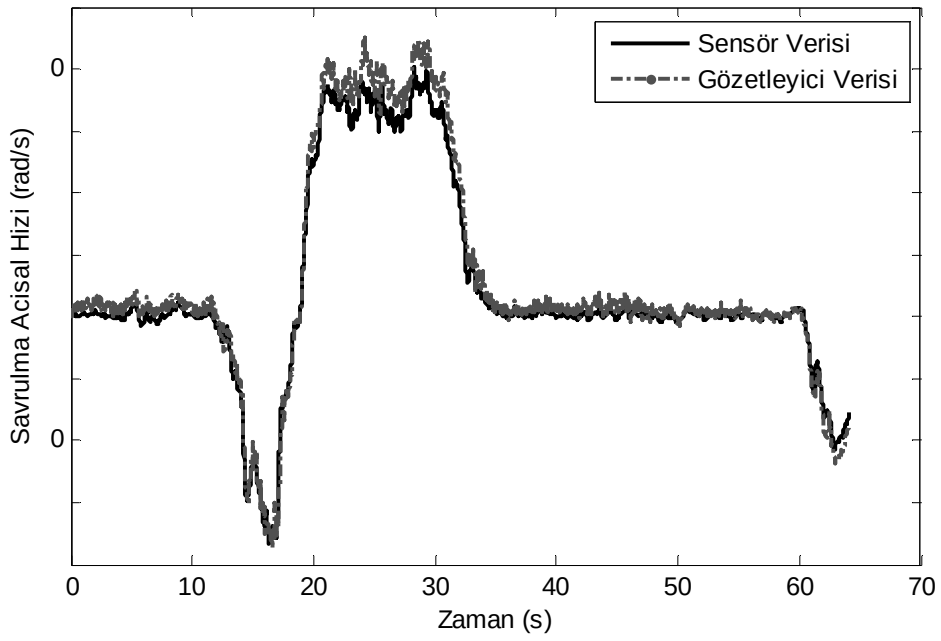
Şekil 7.15’te TOFAŞ Test pistinden bir kısım alıntılanmıştır. Manevra standart test manevralarından fishhook manevrasına benzemektedir [38]. Test sırasındaki taşıt hızı, direksiyon açısı ve yanal ivme verileri Şekil 7.16, Şekil 17.17 ve Şekil 17.18’de gösterilmiştir. Şekil 7.19’da görüldüğü gibi gerçek sensör verisi ile sanal sensör savrulma açısı hız bilgisi birbirleriyle örtüşmektedir. Böylece vaerr



Şekil 7.17 : Direksiyon açısı (sabit dönüş).



Şekil 7.18 : Taşıt yanal ivmesi (sabit dönüş).



Şekil 7.19 : Sensör ve tahmin edilen savrulma açısal hızları (sabit dönüş).

Her iki test manevrası için de tahmin edilen savrulma açısal hız bilgisini gerçek sensör verisinden biraz daha yüksek çıktığı söylenebilir. Bu durum kimi durumlarda ESP'nin gereksiz yere çalışmasına neden olabileceği öngörülebilir. Buna rağmen güvenlik açısından daha emniyetli olduğu söylenebilir.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada donanım içeren simülasyon sistemleri, gerçek zamanlı simülasyon üzerinde durulmuştur. Otomotiv sektöründe artan miktarda gömülü sistem kullanımı ile birlikte donanım içeren simülatörlerin tasarımıda gerek maliyet gerek zaman olarak kattığı avantajlar ortaya konmuştur.

Ticari bir taşıt dinamiği kontrolcüsünün donanım içeren simülasyonda test edilmesi için gerekli olan arayüzler ve bu arayüzler yardımıyla sinyallerin yaratılıp ESP EKÜ'süne bağlanması anlatılmıştır. ESP EKÜ'sünün doğru ve hatasız şekilde çalışması için gerçek taşıtta bulunan sensör ve kontrol ünitelerinden gelen sinyallerin donanım içeren simülatörde de üretilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda ESP sisteminin sensör ve aktüatörlerden oluşan elemanlarının çalışma prensipleri, ESP ünitesi ile olan sinyal arayüzlerinden bahsedilmiştir. Bu sinyallerin büyük bir kısmının iletiminde ve kontrol ünitelerinin aralarındaki veri alış – verişinde kullanılan CAN kontrol alan ağı detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Taşıt savrulma açısı hız tahmin algoritması kinematik tahmin ve dinamik tahmin kısımlarıyla birlikte verilmiştir.

Örnek uygulamada taşıt savrulma açısal hız sensörü bilgisinin tahminci algoritma ile hesaplanması ve taşıt testlerinden önce algoritmanın sınanması için kurulan donanım içeren simülatör yapısı anlatılmıştır. Gerçek sensör ile hesaplanan değerler HiL sisteminde karşılaştırılmıştır. Donanım içerisindeki elemanlar ve çalışma mantıklarından bahsedilmiştir. Taşıt testleri için gerçek savrulma açısal hız sensörünün bypass edilip prototip kontrolcü MABX ile taşıt CAN veriyoluna nasıl bağlanacağı gösterilmiştir. Gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilen testlerde toplanan verilerden gerçek sensör ile hesaplanan savrulmam açısal hız değerlerinin tutarlılığı şekillerle gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Schuette, H., Waeltermann, P.**, 2005. Hardware-in-the-Loop Testing of Vehicle Dynamics Controllers-A Technical Survey, *SAE Paper*, No. 2005-01-1660.
- [2] **Lamberg, K., Waeltermann, P.**, Using HIL Simulation to Test Mechatronic Components in Automotive Engineering, "Translations of Einsatz der HIL-Simulation zum Test von Mechatronik-Komponenten in der Fahrzeugtechnik", *published for the 2nd Congress on Mechatronik im Automobil*, Haus der Technik, Munich, 15/16 Nov. 2000.
- [3] **Url-1** <<http://www.bosch-esperience.com>>, alındığı tarih 03.05.2011.
- [4] **UNECE Vehicle Regulations No:13**, 2008.
- [5] **van Zanten, A.T., Erhardt, R., and Pfaff, G.**, 1995. VDC, the Vehicle Dynamics Control System of Bosch, *SAE Technical Paper*, No. 950759.
- [6] **Frampton, R., and Thomas, P.**, 2007. Effectiveness of electronic stability control systems in Great Britain, Loughborough University, Vehicle Safety Research Centre, Technical report PPAD 9/33/99.
- [7] **Url-2.** <http://www.racq.com.au/motoring/cars/safer_cars/safety_fact_sheets
- [8] **Url-3.** <<http://rb-aa.bosch.com/boaasocs/index.jsp>>
- [9] **Güvenç, L.**, 2006. Vehicle Control Systems Lecture Notes, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.
- [10] **Aksun, Güvenç, B.**, 2006. Taşıt Sistem Dinamiği ve Kontrolü Ders Notları, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.
- [11] **Gillespie, T.D.**, 1993, Fundamentals of vehicle dynamics, Society of Automotive Engineers, Inc.
- [12] **Url-4** < <http://www.ipg.de/210+M5f09b274fe7.html?&L=0>>
- [13] **Witter, H.-J., Heiden, M.**, 2009. ABS/ESP ECU Testing with Sophisticated HIL Simulation Methods, *SAE Paper*, No. 2009-26-079.
- [14] **Sorniotti, A.**, 2004, Hardware in the Loop for Braking Systems with Anti-lock Braking System and Electronic Stability Program, *SAE Paper*, No. 2004-01-2062.
- [15] **van Zanten, A.T., Erhardt, R., Lutz, A., Neuwald, W., and Bartels, H.**, 1996, Simulation for the Development of the Bosch-VDC, *SAE Technical Paper*, No. 960486.

- [16] **Sorniotti, A., Velardocchia, M.,** 2004, Hardware-In-The-Loop (HIL) Testing of ESP (Electronic Stability Program) Commercial Hydraulic Units and Implementation of New Control Strategies, *SAE Paper*, No. 2004-01-2770.
- [17] **Sorniotti, A., Mastorakis N.E.,** 2006, A methodology to investigate the dynamic characteristics of ESP hydraulic units – part 1: Hydraulic tests, *Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics*, Elounda, Greece, August 21-23, 2006 (pp266-274).
- [18] **CarMaker Reference Manual Version 2.2.8.**
- [19] **Branciforte, M., Meli, A., Muscato, G., Porto, D.,** 2010, ANN and non-integer order modeling of ABS solenoid valves, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*.
- [20] **CAN Specification 2.0, Part A.**
- [21] **Url-5** < https://www.vector.com/vl_einfuehrungcan_portal_en.html>
- [22] **SAE Standard J1850 Class B Data Communication Network Interface.**
- [23] **Url-6** < <https://www.can-cia.org/>>.
- [24] **Url-7** < <http://www.autosar.org/index.php?p=0&up=0>>.
- [25] **Specification of CRC Routines V4.1.0, R4.0, Rev 2**
- [26] **Kiencke, U., and Daiß, A.,** 1997. Observation of lateral vehicle dynamics, *Control Engineering Practice*, Vol. 5, No. 8, pp.1145-1150.
- [27] **Cherouat, H., Braci, M., and Diop, S.,** 2005. Vehicle velocity, side slip angles and yaw rate estimation, *IEEE International Sym. of Industrial Electronics (ISIE)*, June 20-23.
- [28] **Samadi, B., Kazemi, R., Nikraves, K. Y., and Kabganian, M.,** 2001. Realtime estimation of vehicle state and tire road friction forces, *Proceedings of the American Control Conference (ACC)*, June 25-27, Arlington VA.
- [29] **Sivashankar, N., and Ulsoy, A. G.,** 1998. Yaw rate estimation for vehicle control applications, *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, Vol. 120, pp. 267-274.
- [30] **Chee, W.,** 2005. Yaw rate estimation using two 1axis accelerometers, *Proceedings of the American Control Conference (ACC)*, Portland, USA.
- [31] **Emirler, M. T.,** 2010, Taşıt Savrulma Açısız Hızının Sanal Sensör Kullanılarak Tahmin Edilmesi ve Taşıt Yanal Dinamiğinin Kontrolü, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [32] **Welch, G., Bishop, G.,** 2006, An introduction to the kalman filter. *Technical Report TR95-041*, Department of Computer Science, University of North Carolina at Chapel Hill.
- [33] **Simon, D.,** Kalman Filtering, *Embedded Systems Programming*, vol. 14, no. 6, pp. 72-79, June 2001

- [34] **Grewal, M. S., Andrews, A. P., 2001.** Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB., John Wiley & Sons, Inc.
- [35] **Kahraman, K., 2010,** Yol Taşıtları İçin Savrulma Açısal Hız Tahmini, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [36] **Ghoneim, Y. A., and Chin, YK., 2001.** Active brake control having yaw rate estimation, *US Patent*, No: 6169951 B1.
- [37] **Şentürk, M., Emirler, M.T., Kahraman, K., Güvenç, L., Güvenç, B.A. and Efendioğlu, B., 2010,** Binek araçlarında sanal savrulma açısal hız ölçeri uygulaması, *OTEKON 2010 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 07-08 Haziran
- [38] **A Demonstration of the Dynamic Tests Developed for NHTSA's NCAP Rollover Rating System, Phase VIII of NHTSA's Light Vehicle Rollover Research Program, August 2004**
- [39] **DS1005 PPC Board Features Release 6.5**
- [40] **DS210 HIL I/O Board Features Release 6.6**
- [41] **MicroAutoBox 1401/1501, 1401/1504, 1401/1507, 1401/1505/1506 and 1401/1505/1507 Hardware Installation and Configuration Release 6.6**

EKLER

EK A : dSPACE DS1005 PPC BOARD

EK B : dSPACE DS2210 HIL I/O BOARD

EK C: dSPACE MicroAutoBox (MABX)

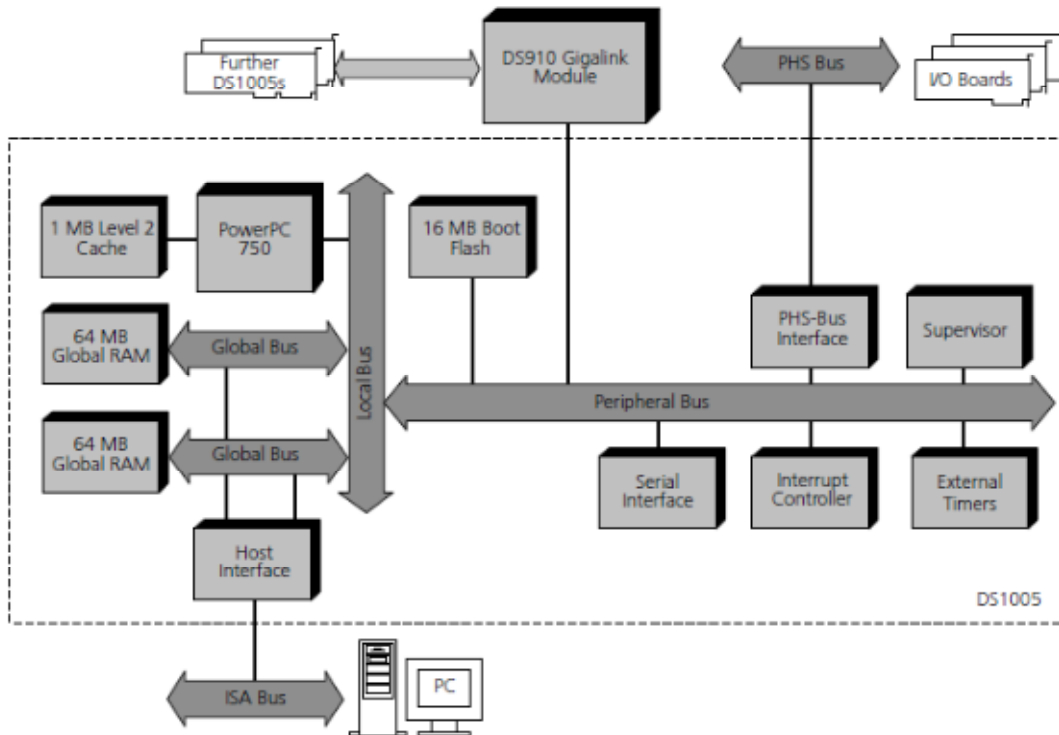
EK A

DS1005 PPC kartı hızlı kontrolcü uygulamalarında kullanılabilen yüksek işlemci gücüne sahip bir sistemdir. 1 GHz'lık PowerPC 750GX işlemciye sahiptir. Bu özellik çoğu durum için yeterli olduğu gibi gerektiğinde çok işlemcili uygulamalarda da kullanılabilir. DS1005 direk olarak tüm dSPACE kartlarına PHS ve PHS++ arayüzleri ile bağlanabilir. PHS++, PHS ile uyumlu olup DS2211 gibi giriş/çıkış kartları ile daha hızlı iletişim sağlar.



Şekil A.1 : DS1005 PPC donanımı [39]

Şekil A.1'de gösterilen DS1005 PPC donanımı gerçek zamanlı sistemin hesaplama gücünü sağlamanın yanı sıra giriş/çıkış kartına ve host PC'ye arayüz oluşturur.

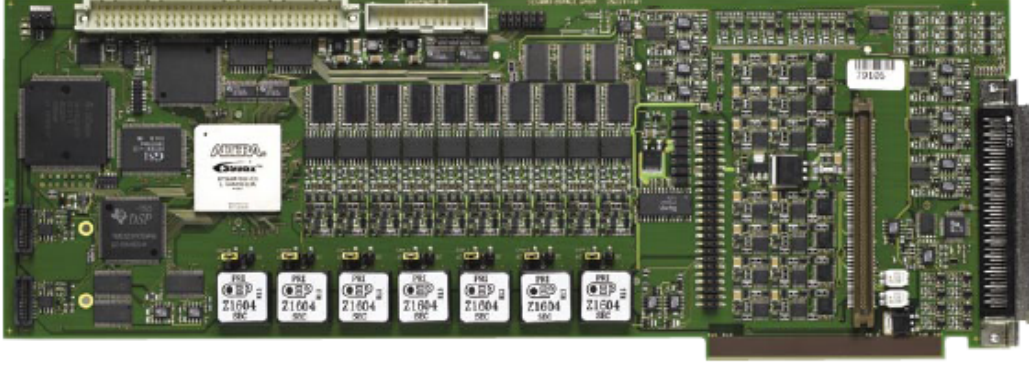


Şekil A.2 : DS1005 donanımı blok diyagramı [39]

DS1005 PPC kartı Simulink Real – Time Interface gerçek zamanlı arayüz blokları ile programlanabilir. Simulink blokseti bütün dSPACE giriş/çıkış kartlarına erişim sağlar. Gerekli C kodunun derlenmesi öncesi gereken simülasyon zamanı, çözücü tipi gibi ayarlar da Simulink ortamında yapılabilir. DS1005 donanımı blok diyagramı Şekil A.2’de gösterilmiştir.

EK B

DS2210 HIL I/O Kartı özellikle otomotiv uygulamaları için kullanılan temel giriş çıkış kartıdır. DS2210 HIL I/O kartı daha çok içten yanmalı motor ve taşıt dinamiği uygulamaları sinyal simülasyonu ve ölçümü için uyarlanmıştır. Farklı sinyal çeşitleri tek bir kartta toplanmıştır. DS2210 HIL I/O kart donanımı Şekil B.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil B.1 : DS 2210 donanımı [40]

DS1005 işlemci kartıyla birlikte DS2210 dSPACE Simülator’ün donanımsal çekirdeğini oluşturur. İşlemci kartı gerçek zamanlı modelin hesaplamalarını gerçekleştirirken DS2210 gerekli giriş/çıkış sinyallerin ölçümü ve uyarılması işini yapar.

DS2210 kartının işlevsel üniteleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

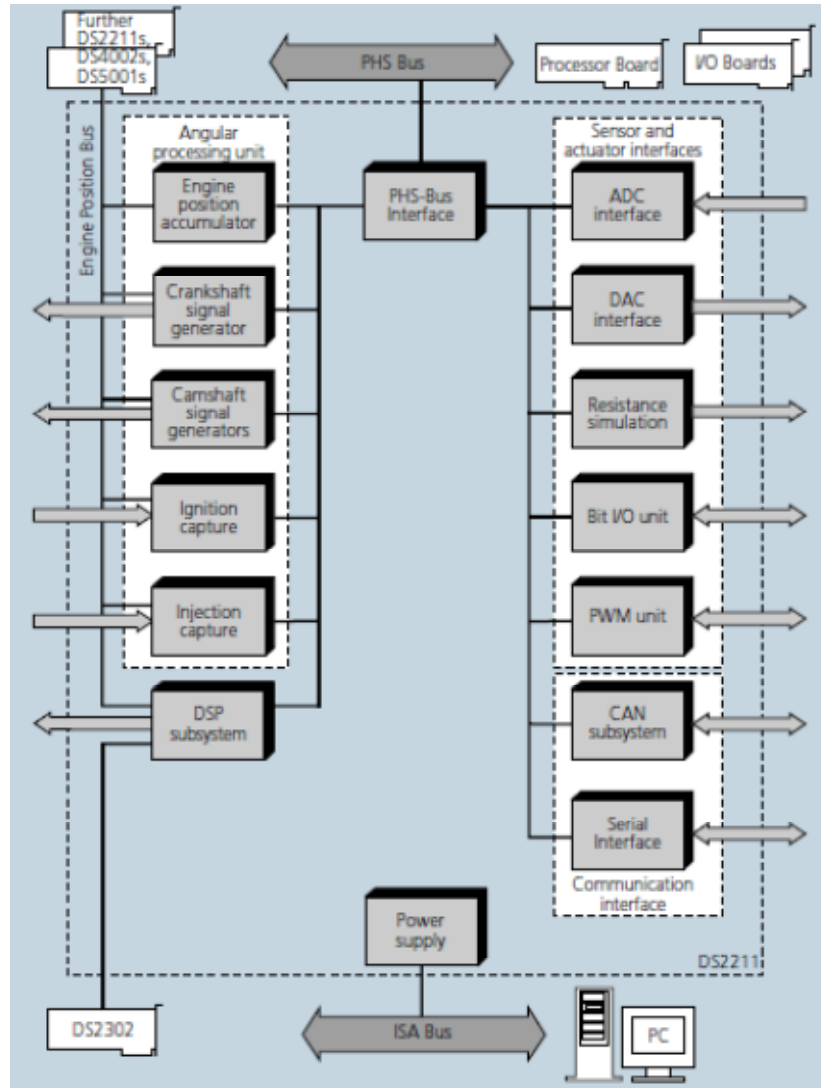
Açısal işleme ünitesi; kartın en önemli özelliklerinden biridir. Motor HIL uygulamalarını gerçekleştirir.

- Krank mili ve kam mili sinyal üretimi
- Buji olay ölçümü
- Enjeksiyon darbe pozisyon ve yakıt miktarı ölçümü
- Vuruntu sensör simülasyonu

Sensör ve aktüatör arayüzü; A/D dönüşüm, dijital giriş/çıkış, tekerlek sensör sinyal üretimi gibi bir seri otomotiv giriş/çıkış fonksiyonunu sağlayacak şekilde sensör ve aktüatör arayüzü içerir.

DSP altsistemi; vuruntu sensör simülasyonu ve tekerlek sensör simülasyonu uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. TMS320C31 Texas Instruments Dijital Sinyal İşlemcisi üzerine kuruludur.

Haberleşme arayüzü; standart seri haberleşme arayüzleri dışında (RS232, RS422) DS2210 kartı CAN altsistemini de içerir. Siemens 80C167 mikrokontrolcüsü üzerine kurulu arayüz 2 CAN hattı sağlar. Sistem mimarisi ve fonksiyonel birimler Şekil B.2’de gösterilmiştir.



Şekil B.2 : DS2210 sistem mimarisi [40]

ADC Ünitesi;

- 16 giriş (ADC1 ... ADC16),
- 12 – bit çözünürlük,
- 0 ... 20 V ölçüm aralığı

DAC Ünitesi;

- 12 tek kutuplu analog çıkış (DAC1 ... DAC12),
- 12 – bit çözünürlük,
- 0 ... V_{REF} aralığında diferansiyel sinyal üretimi ($V_{REF} = 5 \dots 10 \text{ V}$)

D/R Çevirici;

- Direnç çıkışı veren sensör simülasyonu,
- 16 – bit çözünürlüklü 6 bağımsız kanal,
- $15 \Omega \dots \infty$ direnç aralığı,
- 250 mW maksimum çıkış gücü, $\pm 80 \text{ mA}$ maksimum çıkış akımı

Bit I/O Ünitesi;

- 16 ayrık dijital giriş, 16 ayrık dijital çıkış,
- 12 V uyumluluklu giriş kanalları
- $\pm 50 \text{ mA}$ maksimum akım çıkış akımı

PWM Sinyal Ölçümü;

- 14 – bit veya 16 – bit çözünürlüklü 8 kanal
- Frekans veya PWM sinyal ölçümü
- 0 ... 100% duty cycle aralığı ve 0.01 ... 20 kHz PWM frekans aralığı (16 – bit için)

PWM Sinyal Üretimi;

- 14 – bit veya 16 – bit çözünürlüklü 6 kanal
- Kare dalga veya PWM sinyal üretimi
- 0 ... 100% duty cycle aralığı ve 0.01 ... 20 kHz PWM frekans aralığı (16-bit için)
- $\pm 50 \text{ mA}$ çıkış akımı

Frekans Ölçümü;

- Kare dalga frekansı ölçümü için 8 bağımsız kanal
- 0.3 mHz ... 20 kHz ölçüm aralığı (21 – bit için)

Kare Dalga Sinyal Üretimi;

- Kare dalga sinyali üretimi için 6 bağımsız kanal
- 0.3 mHz ... 20 kHz ölçüm aralığı (20 – bit için)
- ± 50 mA maksimum çıkış akımı

Seri Arayüz;

- Seçilebilir alıcı – verici modu (RS232, RS422)
- RS232 için 115.2 kBd, RS422 için 1 MBd’a kadar baud rate aralığı
- Seçilebilir sayıda data, parite ve stop biti

CAN Arayüzü;

- İki bağımsız CAN hattı arayüzü (ISO/DIS 11898)
- İki CAN kontrolcüsünü destekler: CAN 2.0A (11 – bit id) ve CAN 2.0 B (29 – bit id)

Slave DSP özellikleri;

- Vuruntu sensör simülasyonu
- Tekerlek sensör simülasyonu

EK C

MicroAutoBox (MABX) bypass ve fullpass senaryolarında hızlı prototipleme gerçekleştirebilecek gerçek zamanlı bir sistemdir. MABX şasi kontrolü, güç aktarma, gövde kontrolü ve sürüş kontrolü gibi pek çok hızlı kontrol prototipleme uygulamasında kullanılabilir. Şekil C.1’de MABX donanımı görülmektedir.



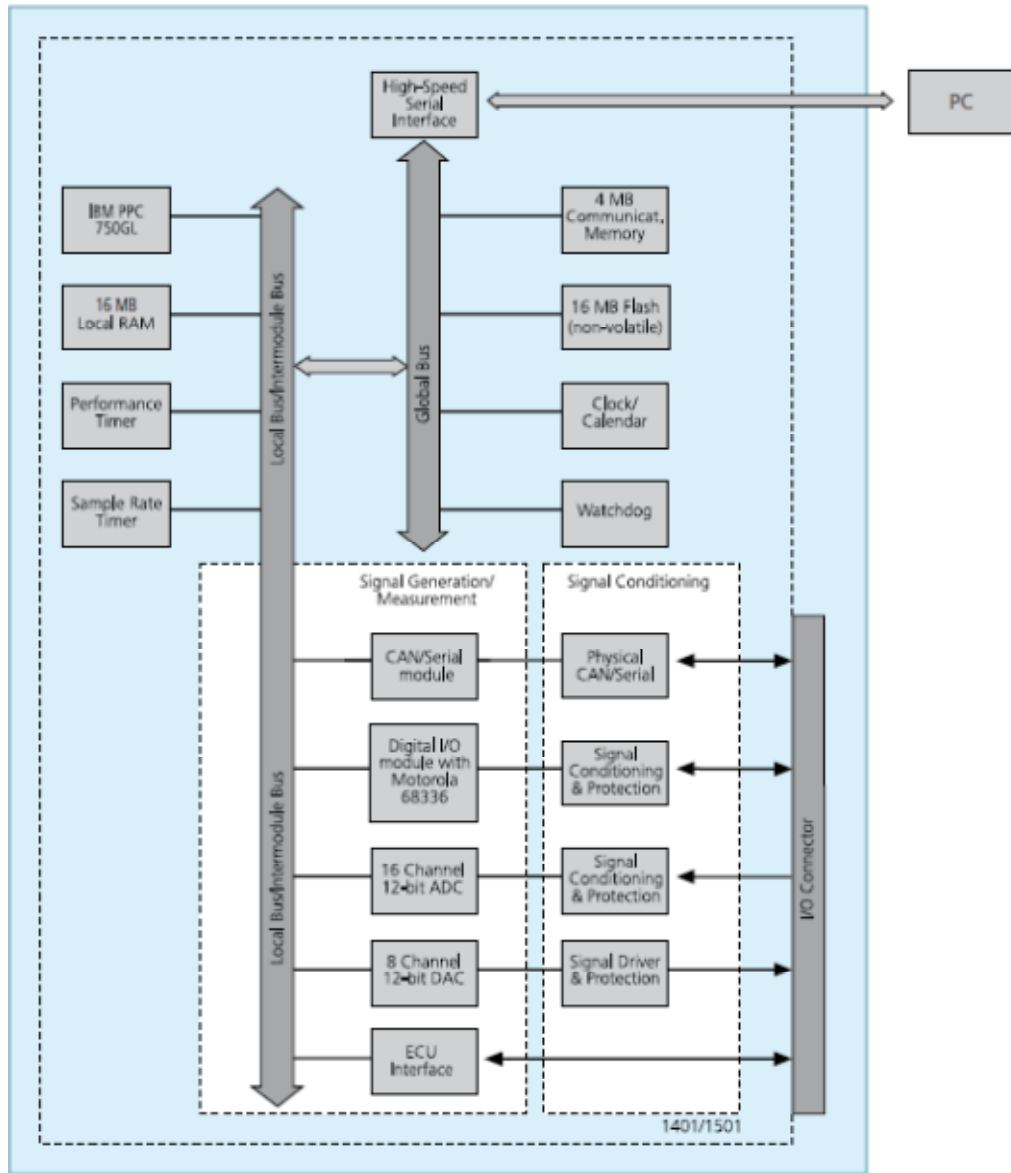
Şekil C.1 : dSPACE MicroAutoBox (MABX) [41]

MABX standart giriş/çıkış arayüzlerinin dışında otomotivde sıkça kullanılan temel bus sistemlerinden CAN, LIN, K/L Line ve FlexRay arayüzlerine sahiptir. Yüklenen programlar kalıcı hafızasında depolanır, bu şekilde enerjilenmesi ile birlikte çalışmaya başlar. Farklı giriş/çıkış fonksiyonları ve arayüzlere sahip olması bakımından 4 çeşit MABX bulunur. 1401/1501, 1401/1504, 1401/1505/1507 ve 1401/1507. Bütün çeşitlerinde CAN hattı, LIN hattı ve K/L hattı bulunur.

PC ile PCMCIA, PCI ve ISA bağlantıları ile haberleşebilir. Bilgisayar MABX’e program yüklemek ve gerektiğinde kaydedilen verilerin incelenmesi için kullanılır. Gerçek araç ECU’su gibi kullanıcı müdahalesi olmaksızın uzun süre çalışabilir. Şekil C.2’de MABX donanım diyagramı gösterilmiştir.

MABX, IBM PPC 750GL, 800 MHz işlemciye sahiptir. 16 MB kalıcı hafızaya sahiptir. Flight recorder özelliği ile uzun süreli veri kaydı yapılabilir. Analog giriş, analog çıkış, dijital giriş/çıkış, PWM ölçüm/üretim gibi sinyal üretim ve okuma girişleri mevcuttur.

ECU bypass uygulamalarında kullanımı mümkündür. Tasarlanan yeni kontrol stratejilerinin denenmesi için mevcut ECU MABX’e bağlanır. Orijinal ECU mevcut fonksiyonlarını sürdürürken yeni algoritmalar MABX’te hesaplanır. Gerekli girişler ve sonuç dataları MABX ile ECU arasında değiş tokuş edilir.



Şekil C.2 : MABX donanım diyagramı [41]

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mutlu ŞENTÜRK

Doğum Yeri ve Tarihi: Şumnu, 14/09/1985

Lisans Üniversitesi: Yıldız Teknik Üniversitesi

Elektrik Mühendisliği (2003 – 2008)

Yıldız Teknik Üniversitesi

Makina Mühendisliği (2004 – 2008)

Yayın Listesi:

- Efendioğlu B., Emirler M.T., **Şentürk M.**, Kahraman K., Güvenç L., Güvenç B.A., “Virtual Yaw Rate Sensor Design Using Matlab / Simulink,” *14th Conference for Computer Aided Engineering and System Modelling*, Ankara, Turkey (November 05-06, 2009)
- Emirler M.T., Kahraman K., **Şentürk M.**, Güvenç B.A., Güvenç L., Efendioğlu B., “Sanal Sensör Kullanılarak Taşıt Savrulma Açısız Hızının Tahmin Edilmesi,” *TOK 2009, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, İstanbul, Türkiye (2009)
- **Şentürk M.**, Emirler M.T., Kahraman K., Güvenç L., Güvenç B.A., Efendioğlu B., “Binek Araçlarında Sanal Savrulma Açısız Hız Ölçeri Uygulaması” *OTEKON 2010 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi* Bursa, Türkiye (2010)
- **Şentürk M.**, Uygan İ.M.C., Güvenç L., “Mixed Cooperative Adaptive Cruise Control For Light Commercial Vehicles,” *2010 IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC2010)*, İstanbul
- Kahraman K., Emirler M.T., **Şentürk M.**, Güvenç B.A., Güvenç L., “Estimation of Vehicle Yaw Rate Using a Virtual Sensor with a Speed Scheduled Observer,” *6th IFAC Symposium Advances in Automotive Control (AAC 2010)*, Munich
- **Şentürk M.**, Turan M.C., Tekin A., Sönmez Ü., Kahraman K., Bozkurt E., “Magnetic Pulse Driven Semi Compliant Four Bar Mechanism,” *ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA 2010)*, İstanbul, Türkiye

