İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MELEZ ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN MODELLENMESİ BENZETİMİ VE KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Meriç Can UYGAN

Anabilim Dalı : Kontrol ve Otomasyon

Programı : Kontrol ve Otomasyon

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Turan SÖYLEMEZ

AĞUSTOS 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MELEZ ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN MODELLENMESİ BENZETİMİ VE KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail Meriç Can UYGAN
(504061117)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Temmuz 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Ağustos 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet Turan SÖYLEMEZ (İTÜ)
Eş Danışman : Prof. Dr. Levent GÜVENÇ(İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İbrahim EKSİN (İTÜ)
Doç. Dr. Salman KURTULAN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Deniz YILDIRIM(İTÜ)

AĞUSTOS 2009

Doğanın dengelerini korumak için çalışan tüm insanlara,

ÖNSÖZ

FOHEV II projesi kapsamında yapmış olduğum çalışmalarda bana olan güveni nedeniyle Prof. Levent Güvenç'e, yardımları nedeniyle Doç. Dr Tankut Acarman'a ve Dr. Ahu Ece Hartavi Karcı'ya, üzerimdeki emekleri nedeniyle başta Doç Dr. Mehmet Turan Söylemez olmak üzere tüm İTÜ Kontrol Mühendisliği bölümü öğretim üyelerine ve bana vermiş olduğu desteği nedeniyle eşime ve bu projeyi hayata geçirdiği için Ford Otosan'a teşekkür ederim.

AĞUSTOS 2009

İsmail Meriç Can Uygan

Kontrol ve Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. MELEZ ELEKTRİKLİ ARAÇ MİMARİSİ VE MODELLENMESİ **7**
2.1 Melez Elektrikli Araç Mimarileri 7
2.1.1 Seri Melez Elektrikli Araçlar 7
2.1.2 Paralel Melez Elektrikli Araçlar 8
2.1.3 Seri Paralel Melez Elektrikli Araçlar 10
2.2 Melez Elektrikli Araç Modelleme 10
2.3 Boyuna Araç Dinamiği 11
2.3.1 Rüzgar Direnci 12
2.3.2 Yuvarlanma Direnci 12
2.3.3 Yokuş Direnci 12
2.4 İçten Yanmalı Motor Modellenmesi 13
2.5 Güç Aktarım Organlarının Modellenmesi 14
2.6 Elektrik Motorları Modellenmesi 14
2.7 Batarya Modellenmesi 16
3. MELEZ ARACIN BİLEŞENLERİNİN BOYUTLANDIRILMASI **17**
3.1 İçten Yanmalı Motor Seçimi 17
3.2 İçten Yanmalı Motor Boyutlandırılması 17
3.3 Elektrik Motoru Seçimi 18
3.4 Elektrik Motoru Boyutlandırılması 19
3.5 Batarya Seçimi 20
3.6 Batarya Boyutlandırma 21
3.7 FOHEV II' nin Boyutlandırılması 21
3.7.1 İçten Yanmalı Motor Boyutlandırma 21
3.7.2 Elektrik Motoru Boyutlandırması 22
3.7.3 Batarya Boyutlandırması 23
4. DONANIM İÇEREN SİMÜLASYON **27**
4.1 CarMaker 29
4.2 CarMaker Araç Modelinde Yapılan Değişiklikler 31
4.3 CAN Haberleşmesi 33
5. KONVANSİYONEL ARACIN MELEZLEŞTİRİLMESİ **37**
5.1 Elektrik Motorları Ve Batarya Entegrasyonu 38
5.2 Şanzıman Sistemi Modifikasyonu 40

5.3 Elektromekanik Kavrama Entegrasyonu 40
5.4 Gaz Pedalı Modifikasyonu 41
5.5 Kontrol Sistem Entegrasyonu 42
6. MELEZ ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİNİN OPTİMİZASYONU 45
6.1 Çalışma Modları 46
6.1.1 Paralel Şarj Modu 46
6.1.2 Asist Modu 47
6.1.3 Sessiz Sürüş Modu 47
6.1.4 Gerikazanımlı Frenleme Modu 48
6.2 Optimizasyon Problemi Performans İndeksi 48
6.3 Kısıtlar 51
6.4 Melez Araç Kontrolünde Kullanılan Yöntemler 52
6.5 MOES Algoritması 52
6.6 MOES Algoritmasının Uyarlamalı Hale Getirilişi 56
6.6.1 Sürü Optimizasyonu Algoritması 57
7. BENZETİM SONUÇLARI VE DENEYSEL VERİLER 61
7.1 Simülatör Verileri ile Deneysel Verilerin Karşılaştırılması 61
7.2 Algoritmanın İşleyişi 62
7.3 Sürü Algoritmasında Yakınsama 63
7.4 Sürü Algoritmasında Adaptasyon 65
7.5 Yakıt Tüketimi 66
7.5.1 Yakıt Tüketimi Testi 67
7.6 Performans 69
8. SONUÇ VE ÖNERİLER 71
KAYNAKLAR 75
EKLER 77

KISALTMALAR

AB : Avrupa Birliği
ECE : Avrupa Şehiriçi Test Çevrimi
GKF : Geri Kazanımlı Frenleme
FOHEV II : Ford Ikinci Melez Elektrikli Araç Projesi
MOES : Genel Verimi En İyileme Stratejisi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : AB ülkelerinde CO_2 salınımı bazlı vergilendirme [2] 4
Çizelge 1.2 : AB ülkelerinde CO_2 salınımı bazlı teşvikler [2]..... 5
Çizelge 2.1 : Melez araç mimarilerinin serbestlik dereceleri 7
Çizelge 3.1 : Dizel motor benzin motoru karşılaştırması 17
Çizelge 3.2 : Melez elektrikli araçlarda kullanılan batarya türleri [10] 20
Çizelge 3.3 : FOHEV II tasarım kriterleri 21
Çizelge 4.1 : Standart CAN mesaj içeriği [12] 34
Çizelge 7.1 : Hafif ticari araçların emisyon ve yakıt tüketimi test çevrimleri.....67
Çizelge 7.2 : Melez araç ile konvansiyonel aracın yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması 69
Çizelge 7.3 : Melez araç ile konvansiyonel aracın performanslarının karşılaştırılması 69
Çizelge C.1 : UQM Marka PowerPhase 75 Elektrik Motoru Özellikleri [5] 93
Çizelge C.2 : GAIA Marka 45 Ah HP Batarya Hücresi Özellikleri [11].....94
Çizelge C.3 : FOHEV II Baz Araç Özellikleri 95
Çizelge C.4 : Dspace Marka MicroAutobox Mikroişlemci Özellikleri 96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Tarihteki ilk melez araç [1] 2
Şekil 1.2 : IEEE veritabanında 'melez araç' ifadesini içeren yayınların sayısının yıllara göre değişimi 3
Şekil 2.1 : Seri melez elektrikli araç mimarisi 8
Şekil 2.2 : Paralel melez elektrikli araç mimarisi 9
Şekil 2.3 : Seri paralel melez elektrikli araç mimarisi 9
Şekil 2.4 : Düz araç modeli 10
Şekil 2.5 : Tersine araç modeli 11
Şekil 2.6 : Eğimli yolda araca etkiyen boyuna kuvvetler 11
Şekil 2.7 : İçten yanmalı motorun tork haritası 13
Şekil 2.8 : İçten yanmalı motorun verim haritası 13
Şekil 2.9 : FOHEV-II Mimarisi 14
Şekil 2.10 : Elektrik motorları hız-tork eğrisi [5] 15
Şekil 2.11 : Elektrik motorları verim haritası [5] 15
Şekil 2.12 : Batarya modeli 16
Şekil 3.1 : Elektrik motorlarının sınıflandırılması 19
Şekil 3.2 : ECE çevrimi 22
Şekil 3.3 : ECE çevriminde birinci elektrik motoru için gerekli frenleme gücü 23
Şekil 3.4 : ECE çevriminde ikinci elektrik motoru için gerekli frenleme gücü 23
Şekil 3.5 : Deşarj derinliği batarya kapasitesi ilişkisi 25
Şekil 3.6 : Deşarj derinliğine bağlı olarak batarya ömrü [11] 25
Şekil 3.7 : Şarj seviyesine bağlı olarak şarj ve deşarj dirençlerinin değişimi [11] 26
Şekil 4.1 : Melez elektrikli araç donanımla benzetim deney seti 27
Şekil 4.2 : FOHEV-II donanımla benzetim şeması 28
Şekil 4.3 : CarMaker genel kullanıcı arayüzü 29
Şekil 4.4 : CarMaker'da parametrelerin güncellenmesi 30
Şekil 4.5 : CarMaker'da araç haraketinin görselleşmesi 30
Şekil 4.6 : CarMaker araç modeli 31
Şekil 4.7 : CarMaker 4x4 araç mimarisi 31
Şekil 4.8 : Diferansiyel torklarına müdahale 32
Şekil 4.9 : İçten yanmalı motor parametrelerinin ayarlanması 32
Şekil 4.10 : İçten yanmalı motorun torkunun düzeltilmesi 33
Şekil 4.11 : İşaretlerinin kuantalanmasının etkisi 35
Şekil 5.1 : Ford ikinci melez elektrikli aracı FOHEV-II 37
Şekil 5.2 : FOHEV-II bileşenlerinin araç içindeki konumları 38
Şekil 5.3 : Elektrik motorları entegrasyonu 39
Şekil 5.4 : Batarya entegrasyonu 39

Şekil 5.5 : Yeni şanzıman diferansiyel sistemi 40
Şekil 5.6 : Elektromekanik kavrama sistemi 41
Şekil 5.7 : Gaz pedalı ara devresi 42
Şekil 5.8 : FOHEV II melez tahrik sistemi donanımı 43
Şekil 5.9 : Melez kontrol sistemi bağlantı şeması 44

Şekil 6.1 : FOHEV II enerji akış diyagramı 46
Şekil 6.2 : Paralel şarj modu enerji akışı 46
Şekil 6.3 : Asist modu enerji akışı 47
Şekil 6.4 : Sessiz mod enerji akışı 47
Şekil 6.5 : Gerikazanımlı frenleme modu enerji akışı 48
Şekil 6.6 : Şarj sırasında enerji akış diyagramı 54
Şekil 6.7 : Deşarj sırasında enerji akışı 55
Şekil 6.8 : Şarj seviyesi korunumu 56
Şekil 6.9 : Sürü Algoritmasında Partikül Hareketi 58
Şekil 7.1 : Araç hızı karşılaştırılması 61
Şekil 7.2 : Elektrik motoru torku karşılaştırılması 62
Şekil 7.3 : ECE çevrimi paralel şarj modu 63
Şekil 7.4 : Aynı girişlerle üretilen 1000 örnek 64
Şekil 7.5 : 1000 örneğe ait histogram 65
Şekil 7.6 : Paralel şarj torkuna ortalama deşarj verimi etkisi 65
Şekil 7.7 : ECE çevrimi yakıt ekonomisine ortalama deşarj verimi etkisi 66
Şekil 7.8 : Yakıt tüketimi testlerinde kullanılan çevrim 68
Şekil 7.9 : Yakıt tüketimi testinde deneysel araç hızının simülasyon ile karşılaştırması 68
Şekil 7.10 : Baz araç ile 0-100km/h hızlanma testleri 70
Şekil 7.11 : Melez araç ile 0-100km/h hızlanma testleri 70
Şekil A.1 : Amerika'da Kullanılan Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Çevrimleri 79
Şekil A.2 : Avrupa'da Kullanılan Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Çevrimleri 80
Şekil A.3 : Japonya'da Kullanılan Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Çevrimleri 81

MELEZ ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN MODELLENMESİ BENZETİMİ VE KONTROLÜ

ÖZET

Doğanın dengelerinin giderek bozulduğu günümüzde doğa dostu teknolojilere ihtiyaç giderek artmıştır. Küresel ısınmaya karşı alınacak tedbirlerin başında gelen karbon emisyonu problemine karşı alınacak önlemlerin başında taşıtların emisyon miktarlarının azaltılması yer alır. Bu konuda orta vadede atılabilecek en iyi adım fosil yakıtlı araçların melezleştirilmesinden geçer. Bu tezde melez araçların modellenmesi ile benzetimi üzerinde çalışılmış ve bu araçların kontrolünde kullanılacak yeni bir kontrol algoritması geliştirilmiştir.

İlk bölümde, melez elektrikli araçlarla ilgili genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, melez araç mimarileri tanıtılmış ve melez araçları oluşturan elemanların nasıl modellendiği gösterilmiştir. Üçüncü bölümde melez araç bileşenlerinin boyutlandırılması anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, laboratuvarda kurulan melez araç simülatörü tanıtılmış beşinci bölümde konvansiyonel aracı melezleştirilirken yapılanlar anlatılmış ve altıncı bölümde yeni geliştirilen optimizasyon algoritması açıklanmıştır. Yedinci ve sekizinci bölümlerde elde edilen sonuçlar verilmiş ve bu sonuçlar yorumlanarak konuyla ilgili yapılması öngörülen çalışmalara yer verilmiştir.

MODELLING SIMULATION AND CONTROL OF HYBRID ELECTRICAL VEHICLES

SUMMARY

Nowadays the stability of nature is getting lost. This is why the humanity needs to develop more nature friendly technologies. The first precaution to prevent global warming is reducing carbon emission. With this scope, the best thing to do in the middle term is the hybridization of classical vehicles. In this thesis, hybrid vehicle modelling and simulation are investigated and a new control algorithm is developped.

In the first section, general information on hybrid electric vehicles is given. In the second section, modeling the components of hybrid electric vehicle is discussed. In the third section, sizing of hybrid components is described. In the fourth section, hybrid vehicle simulator is explained. In the fifth section, the modifications proposed on the base vehicle are described. In the sixth section, the new control algorithm is explained. In the seventh section, simulation results and experimental data are compared. As conclusion, in nineth section, achieved results are commented upon and possible directions of future works are discussed.

1. GİRİŞ

Enerji kaynağı olarak birden fazla enerji çeşidi kullanan araçlara melez araçlar denilmektedir. Bu tezin kapsamında elektrik ve fosil yakıt enerjilerini kaynak olarak kullanan melez araçlar üzerinde çalışılmıştır.

Melez araçlarda emisyon iki şekilde düşürülmektedir. Bunların ilki fosil yakıt motorunun araç hızı ve ivmelenme gibi aracın durumlarından bağımsız olarak düşük emisyon üretecek şekilde çalışması bir diğeri de uygun durumlarda sadece elektrik enerjisi ile çalışılarak sıfır emisyonun sağlanmasıdır.

Gerekli elektrik enerjisi araçta dışarıdan şarj yoluyla elde edilebileceği gibi aracın içinde de fosil yakıtlı motor aracılığıyla üretilebilir. Gerekli elektrik enerjisinin üretilmesi sırasında fosil yakıt temelli motor aracı sürmekte de kullanılıyorsa bu işleme melez araç terminolojisinde paralel şarj denilmektedir. Fosil yakıt temelli içten yanmalı motor aracı sürmekte kullanılmıyor sadece elektrik motorları için gerekli elektrik enerjisini üretiyor ise buna seri şarj denilir. Aracın mimarisi uygun şekilde olduğunda seri ve paralel şarjın ikisi de aynı araçta yapılabilir. Bu tür karmaşık mimariler yakıt tüketiminin ve zararlı gaz emisyonunun azaltılmasında sahip olduğu fazladan serbestlik derecesi sayesinde avantaj sağlar ama melez araç kontrolü probleminin zorlaşmasına neden olur.

Melez araçlarda yakıt tüketiminin azaltılabilmesinin tek sebebi içten yanmalı motorların uygun çalışma koşullarında yüksek verimle çalıştırılması değildir. Elektrik motorları generatör olarak da çalıştırılabildiklerinden frenleme enerjisi bu araçlarda fren balatalarında ısıya dönüştürülüp kaybedilmek yerine elektrik motorlarında elektrik enerjisine dönüştürülüp ileride kullanılmak üzere depolanabilir.

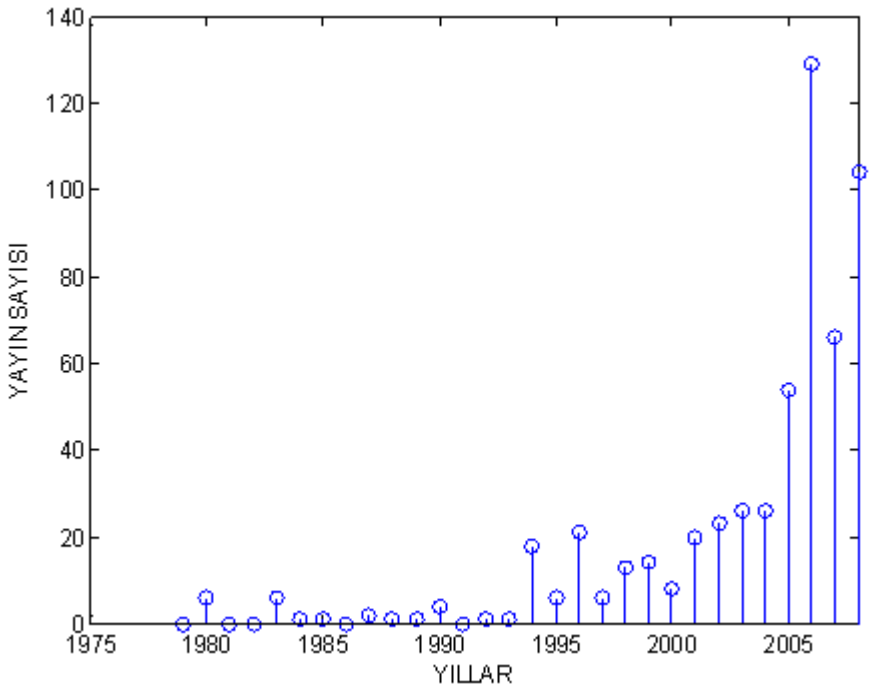
Özellikle düşük hızlarda normal araçlara göre oldukça düşük zararlı gaz emisyonuna ve yakıt tüketimine sahip araçlar otomotiv sektörü için orta vadede önemli bir çevreci teknoloji çözümü olarak yer almaktadır.

Tarihteki ilk melez aracı 27 yaşındayken Ferdinand Porsche yapmıştır. 1902 yılında üretilen bu araca "Mixte-Wagen" adı verilmiştir. Viyanalı bir fayton üreticisi olan Ludwig Lohner ile birlikte çalışan Porsche günümüzde seri melez araç kategorisine sokabileceğimiz bir araç üretmişlerdir. Bu araçta içten yanmalı motorun tahrik ettiği bir generatörün ürettiği elektrik enerjisi tekerleklerde bulunan dört elektrik motorunun çalıştırılmasında kullanılıyordu (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 : Tarihteki ilk melez araç [1]

Melez araçlarla ilgili çalışmalar özellikle 1990'lı yılların sonunda ivme kazanmıştır. IEEE veritabanında melez araç anlamına gelen 'hybrid vehicle' ifadesini içeren yayınların yıllara göre sayısına bakıldığında üstel bir artış görülmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 : IEEE veritabanında 'melez araç' ifadesini içeren yayınların sayısının yıllara göre değişimi

Günümüzde ticarileşmiş pek çok melez araç bulunmaktadır. Toyota'nın Toyota Prius modeli, Honda'nın Honda Insight modeli ile Honda Civic Hybrid serileri melez araçlara örnek olarak verilebilir. Melez araçların klasik araçların halen tümüyle yerini alamamaların sebeplerinden biri otomotiv şirketlerinin gerekli teknolojik yatırımları karşılamaktan kaçınmaları ve melez araçları şarj edecek dolum istasyonlarının oluşturacağı altyapının eksik olmasıdır. Bu altyapının oluşturulması için devletlerin önemli ölçüde yatırım yapmaları gerekmektedir. Melez araçların yaygınlaşmamasındaki bir diğer sebep de klasik araçlara karşı sahip olduğu fiyat dezavantajıdır. Buna karşı günümüzde pek çok devlet çevreci araçları teşvik etmek için vergilendirme sistemini gaz salınımına göre düzenlemiştir. Bu ülkeler çevreci araçlara vergi indirimi yaparak ve çevreci olmayan araçlardan ilave vergiler alarak çevreci araçların fiyat dezavantajını ortadan kaldırmaya çalışmaktadır (Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2). Devletlerin yanısıra bazı belediyeler de çevreci araçlardan otopark ücreti almayarak bu araçların satışını teşvik etmeye çalışmaktadır.

Çizelge 1.1 : AB ülkelerinde CO_2 salınımı bazlı vergilendirme [2]

	CO_2 Salınımı	Ülkelerin Aldığı Vergiler
İsveç	> 100g/km	g/km başına SEK 15
İrlanda	> 225g/km < 120g/km	%36 Kayıt vergisi %14 Kayıt vergisi
İngiltere	> 255g/km < 100g/km	£ 400 £ 0
İspanya	> 200g/km < 120g/km	%14.75 vergi artışı %0 vergi artışı
Fransa	> 250g/km < 160g/km (Her yıl -5g/km)	€ 2,600 0
Finlandiya	> 360g/km < 60g/km	%48.8 Kayıt vergisi %12.2 Kayıt vergisi
Almanya	> 120g/km < 120g/km	Yıllık g/km başına € 2 € 0
Avusturya	>180g/km >160g/km	Limiti aşan g/km başına € 25 g/km başına € 25
Romanya	Melezler Euro 4 ve 5	€ 0 € 0
Güney Kıbrıs	> 250g/km < 120g/km	%20 vergi artışı %30 vergi indirimi
Malta	> 150g/km > 100g/km	€ 180 € 100

Çizelge 1.2 : AB ülkelerinde CO_2 salınımı bazlı teşvikler [2]

	CO_2 Salınımı	Ülkelerin Verdiği Teşvikler
Hollanda	Kendi sınıfından %20 az	€ 1,600
İrlanda	Hibritler	€ 2,500
Belçika	< 105g/km < 115g/km	%15 indirim %3 indirim
İspanya	< 140g/km	€ 10,000
Fransa	< 60g/km < 160g/km	€ 5,000 € 1,000
Portekiz	< 140g/km	€ 1,000
Lüksemburg	< 120g/km < 150g/km	€ 2,500 € 1,500
Avusturya	<120g/km Alternatif yakıtlar	€ 300 € 500
İsveç	Melezler,Elektrikliler Alternatif yakıtlılar	SEK 10,000
Güney Kıbrıs	< 120g/km Elektrikli Melezler	€ 683 € 683 € 1196
İtalya	< 140g/km	€ 1,500

2. MELEZ ELEKTRİKLİ ARAÇ MİMARİSİ VE MODELLENMESİ

Melez elektrikli araçların sahip oldukları serbestlik derecesi mimarilerine bağlı olarak değişmektedir. Melez araçlarda serbestlik derecesi arttıkça yakıt ekonomisi potansiyeli de artmaktadır. Değişik mimarilere ait serbestlik dereceleri Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 : Melez araç mimarilerinin serbestlik dereceleri

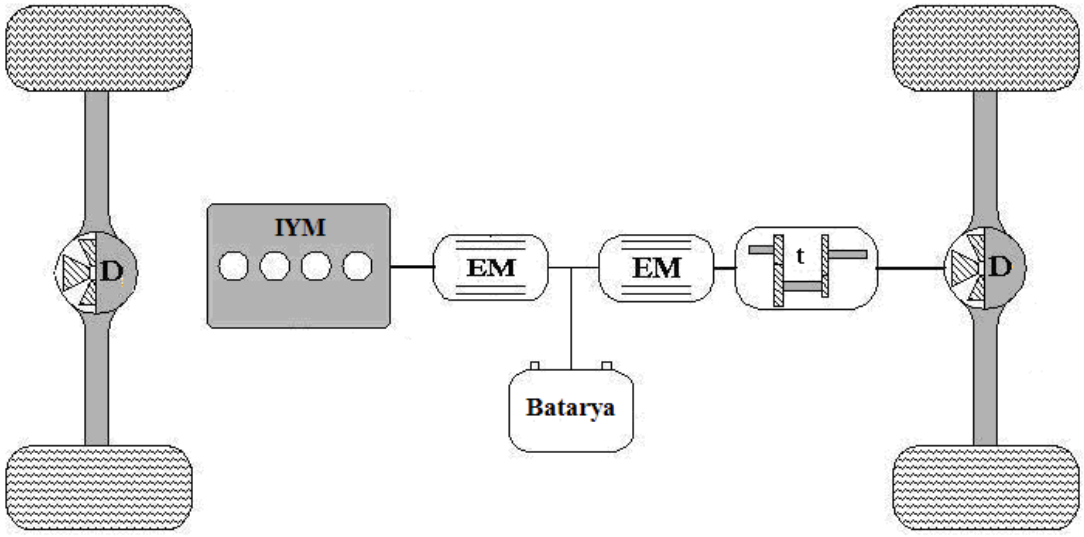
Mimari	Serbestlik derecesi
Konvansiyonel	0
Seri	1 ila 4
Paralel	1 ila 4
Seri paralel	2 ila 5

2.1 Melez Elektrikli Araç Mimarileri

Melez elektrikli araçların mimarileri seri, paralel ve seri paralel olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılabilir [3].

2.1.1 Seri Melez Elektrikli Araçlar

Seri melez araçlarda aracın tahrik edilmesi sadece elektrik motoru ile yapılır. İçten yanmalı motor bir generatör aracılığıyla bataryayı şarj ederek, aracı tahrik etmek için gerekli elektriksel enerjinin üretilmesini sağlar. Bu mimaride içten yanmalı motor ile tekerlekler arasında herhangi bir mekanik bağlantı yoktur. İçten yanmalı motor ile üretilen mekanik enerji önce elektrik enerjisine sonra tekrar mekanik enerjiye dönüştürüldüğü için bu tasarımda kayıplar diğer mimarilere nazaran daha fazladır (Şekil 2.1).



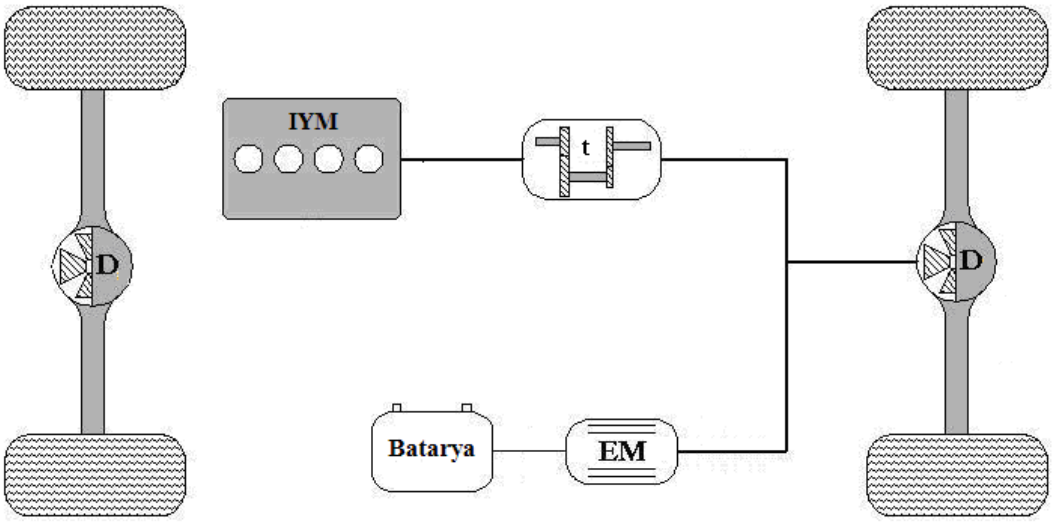
Şekil 2.1 : Seri melez elektrikli araç mimarisi

Seri melez araçlarda sürücünün güç talebi elektrik motoru ile karşılanırken, elektrik motoru için gerekli elektrik enerjisi içten yanmalı motor ve generatör ikilisi tarafından üretilir. Aynı değerde elektrik gücü üretmek için içten yanmalı motor ve generatör ikilisi farklı hız ve tork kombinasyonları ile çalışabileceklerinden seri melez araçların serbestlik derecesi konvansiyonel araçlara göre bir fazladır. Seri melez araçlarda aracı sürmede birden fazla elektrik motoru kullanılabilir. Araca ilave edilen her elektrik motoru ilave bir serbestlik derecesi sağlar. Ön ve arka akslara iki ayrı elektrik motoru eklendiğinde aracın serbestlik derecesi iki, her tekerleğe ayrı bir elektrik motoru eklendiğinde aracın serbestlik derecesi dört olacaktır.

2.1.2 Paralel Melez Elektrikli Araçlar

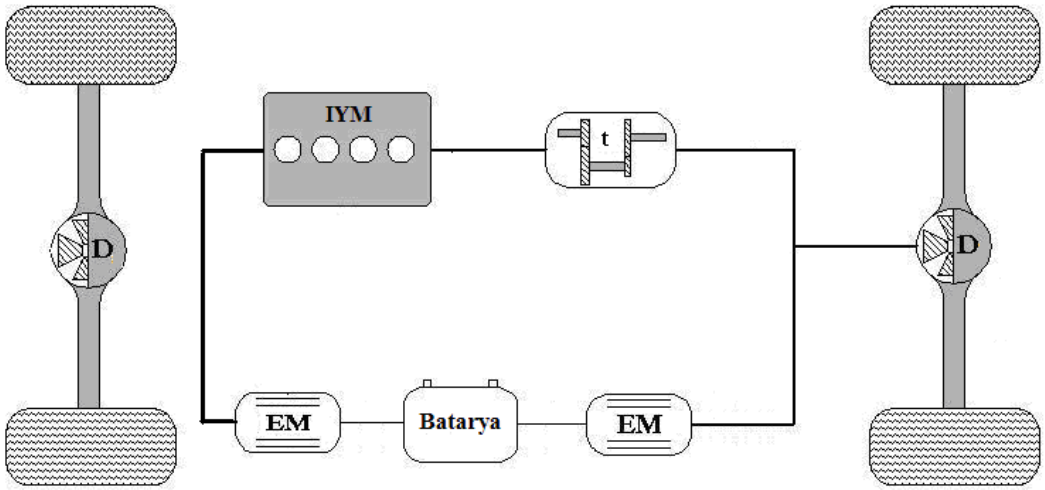
İçten yanmalı motorun tekerleklerle mekanik bağlantısının olması tüm paralel melez elektrikli araçların ortak özelliğidir [4]. Paralel melez elektrikli araçların mimarisi içten yanmalı motorun ve elektrik motorunun ayrı ayrı veya birlikte aracı sürmesine olanak verir (Şekil 2.2).

Bu mimaride içten yanmalı motor sürücünün güç talebinden daha fazla ya da daha az güç üretebilir. Sürücünün güç talebi ile içten yanmalı motorun güç üretimleri aralarındaki fark elektrik motoru ile bataryayı şarj etmede veya deşarj etmede kullanılır.



Şekil 2.2 : Paralel melez elektrikli araç mimarisi

Böylece toplamda yine sürücünün güç talebi karşılanmış olur. İçten yanmalı motorun üreteceği güç miktarı sürücü talebinden bağımsız olduğu için bu araçlarda konvansiyonel araçlara ilave bir serbestlik derecesi bulunur. Paralel melez araçlarda araca eklenecek her elektrik motoru seri melez araçlarda olduğu gibi bir serbestlik derecesi artışına neden olur. Bu mimaride içten yanmalı motoru kapatıp sadece elektrik motoru ile aracı sürerek sıfır emisyonu sağlamak da mümkündür.



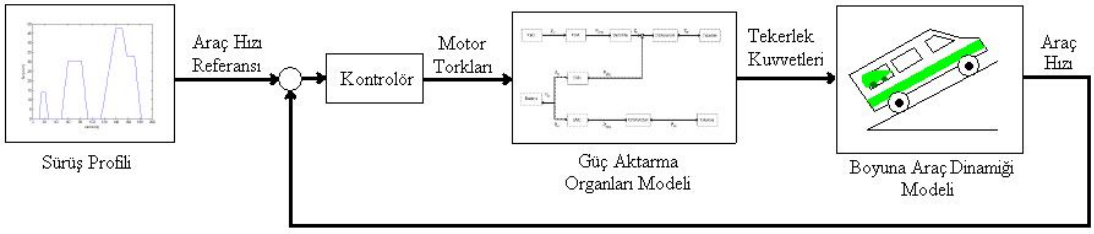
Şekil 2.3 : Seri paralel melez elektrikli araç mimarisi

2.1.3 Seri Paralel Melez Elektrikli Araçlar

Seri paralel melez elektrikli araç mimarisi seri ve paralel melez elektrikli araç mimarilerinin tek bir yapıda birleştirildiği mimaridir. Paralel melez elektrikli araçlardan farklı olarak bu araçlarda araç dururken de giderken de seri elektrik motoru bataryayı şarj etmede kullanılabilir (Şekil 2.3). Bu yüzden bu araçların serbestlik dereceleri paralel melez araçlara nispeten bir fazladır.

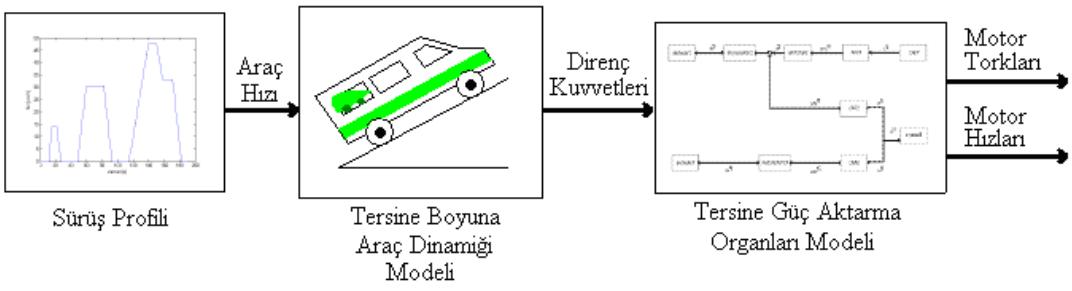
2.2 Melez Elektrikli Araç Modelleme

Melez elektrikli araç modellemede farklı amaçlarla kullanılmak üzere iki farklı modelleme tarzı kullanılmaktadır. Düz araç modeli denilen modellemede belli bir sürüş profili için bir hız kontrolörü gerekli motor torklarını üretir. Üretilen motor torklarının tekerleklerde oluşturacakları kuvvetler güç aktarma organları modelinde üretildikten sonra boyuna araç dinamiğinin ürettiği direnç kuvvetlerinden yararlanılarak araç hızı hesaplanır. Bu hesaplanan araç hızı ile referans hızın farkı hız kontrolöründe kullanılır. Düz araç modeli yakıt tüketimi optimizasyona yönelik geliştirilen güç dağıtımı algoritmalarının benzetiminde kullanılmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Düz araç modeli

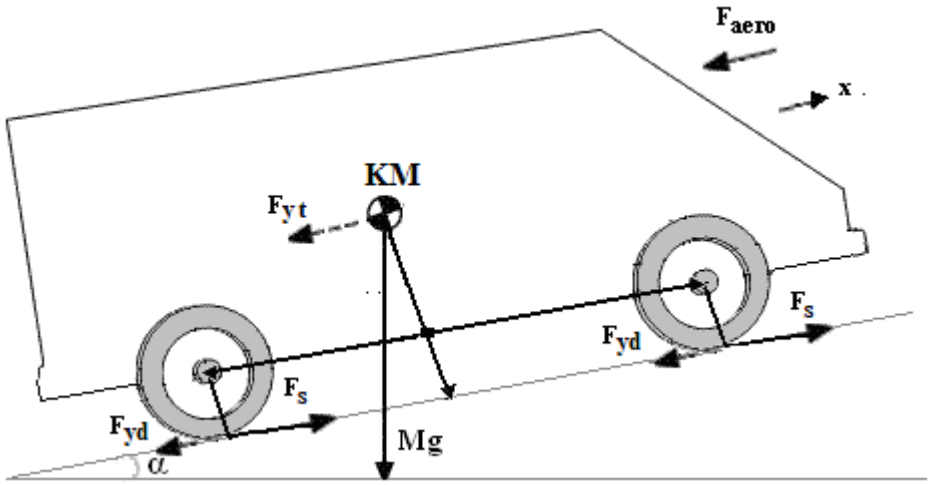
Melez araç modellemede kullanılan bir diğer modelleme yöntemi de tersine modellemedir. Bu modelleme tarzında nedenselliğe göre ters olarak modelleme yapıldığından bu modele tersine araç modeli denilmektedir. Belli bir sürüş profili için araç hızının ortaya çıkaracağı direnç kuvvetleri hesaplanarak bu direnç kuvvetlerine karşı koyacak sürücü kuvvet elde edilir. Tekerleklerde bu sürücü kuvveti oluşturacak motor kuvvetleri ters araç modeli ile hesaplanır. (Şekil 2.5) Tersine araç modeli belli bir hız profilinde sürüş için bir araçta hangi güce sahip motorlara gereksinim olduğunu bulmada kullanılabilir. Belli bir sürüş profilinde ne kadar gerikazanımlı frenleme enerjisi kazanılabileceği de yine tersine araç modeli ile bulunur.



Şekil 2.5 : Tersine araç modeli

2.3 Boyuna Araç Dinamiği

Taşıtın modellenmesinde ve kontrol algoritmasının geliştirilmesinde taşıtın boyuna dinamiğinden faydalanılmıştır. Boyuna olarak araca üç çeşit direnç kuvveti etkimektedir. Bunlar rüzgar direncinin oluşturduğu aerodinamik kuvvet, yoldaki eğimden kaynaklanan yokuş tırmanma direnci ve tekerlerde oluşan yuvarlanma direncidir. Tekerlere etkiyen sürücü kuvvetler ve frenleme kuvvetleri de boyuna dinamiği oluşturan diğer kuvvetlerdir. Aracın noktasal bir cisim kabulü ile tüm bu kuvvetlerin aracın kütle merkezine etkidiği varsayılmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Eğimli yolda araca etkiyen boyuna kuvvetler

$$\sum F_x = \lambda M\ddot{x} \tag{2.1}$$

$$M\ddot{x} = \begin{cases} F_s - (F_{aero} + F_{yd} \pm F_{yt}), \ddot{x} > 0 \\ F_f - (F_{aero} + F_{yd} \pm F_{yt}), \ddot{x} < 0 \end{cases} \tag{2.2}$$

Burada x aracın boyuna doğrultudaki konumunu belirtirken F_s sürücü kuvveti, F_{aero} aerodinamik kuvveti, F_{yd} yuvarlanma direncini, F_{yt} yokuş tırmanma direncini, F_f frenleme kuvvetini ifade eder. Burada M ile ifade edilen değer aracın kütlesi λ ise dönen kütle faktörüdür. Aracın ivmelenmesinde aracın kendi kütlesi gibi dönen aktarma organlarının sahip oldukları atalet de direnç oluşturur. Bu nedenle dönen aktarma organlarının ataletleri tekerleklere indirgenerek aracın kütle merkezinde bulunan ilave bir kütle gibi hesaplara girer.

2.3.1 Rüzgar Direnci

$$F_{aero} = \frac{1}{2} A \rho C_D V_b^2 \qquad \textbf{(2.3)}$$

Burada A aracın ön cephe alanını, ρ hava yoğunluğunu, C_D aerodinamik direnç katsayısını ve V_b aracın hızına göre bağıl rüzgar hızını ifade etmektedir.

2.3.2 Yuvarlanma Direnci

$$F_{yd} = P^{\alpha} W^{\beta} (a + bV + cV^2) \qquad \textbf{(2.4)}$$

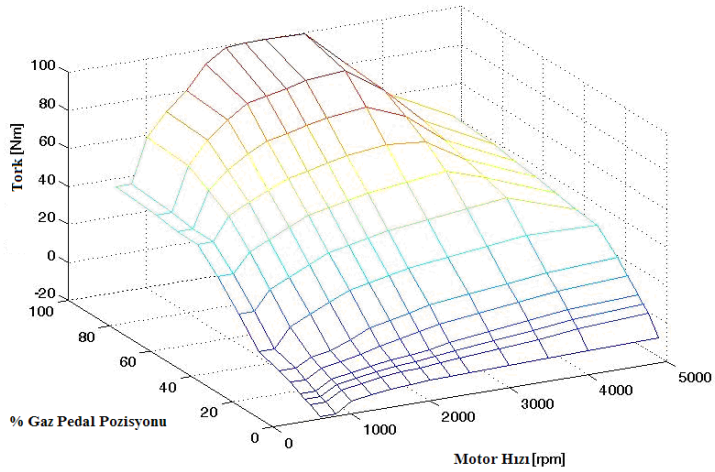
Burada P tekerlek basıncını, W tekerlekler üzerindeki yükü, α , β , a, b ve c deneysel yöntemler ile elde edilmiş katsayıları ve V araç hızını ifade etmektedir.

2.3.3 Yokuş Direnci

$$\mathrm{F_{yt}} = \mathrm{Mg}\sin(\alpha) \qquad \textbf{(2.5)}$$

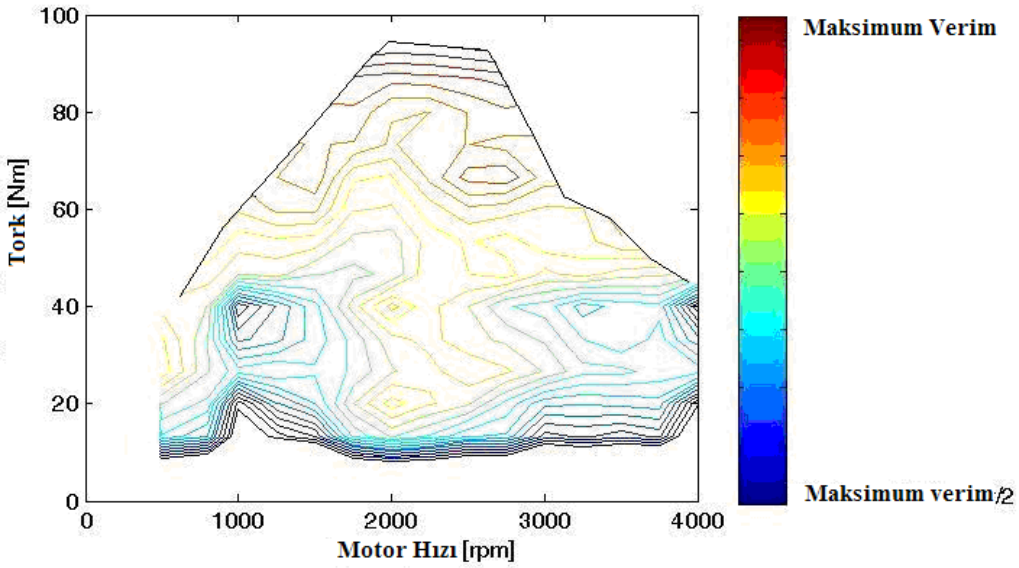
Burarada M aracın kütlesini, α yokuş eğimini ifade etmektedir.

2.4 İçten Yanmalı Motor Modellenmesi



Şekil 2.7 : İçten yanmalı motorun tork haritası

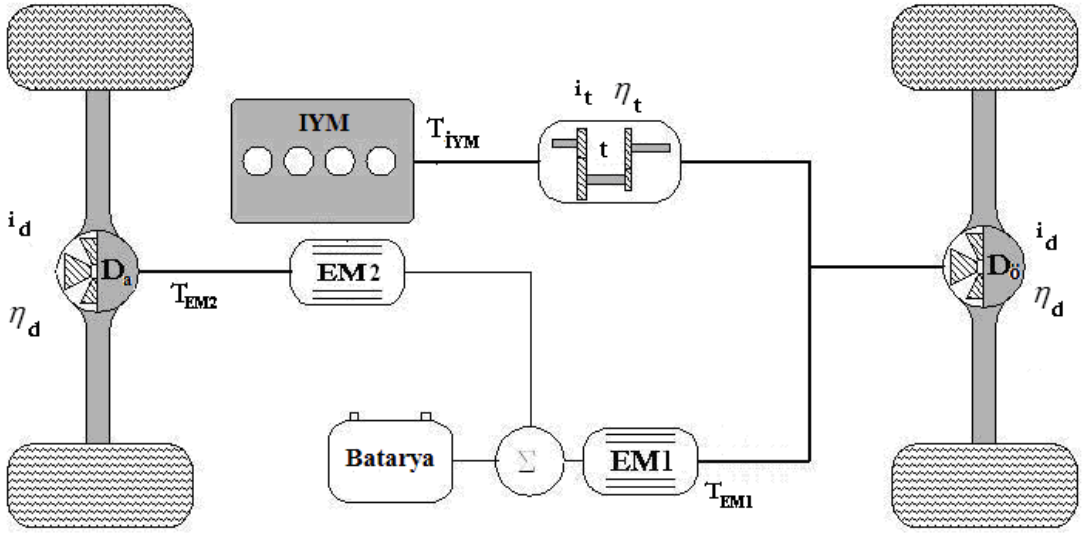
İçten yanmalı motor modellemede sadece içten yanmalı motora ait tork ve yakıt tüketim haritaları dikkate alınmıştır. Bu haritalar sürekli hal durumuna ilişkin büyüklükleri belirtmektedir. Yakıt tüketimi üzerine etkisi düşük olduğundan içten yanmalı motorun geçici hal davranışı modellenmemiştir. İçten yanmalı motorun ürettiği tork motorun hızının ve gaz pedalı konumunun bir fonksiyonu iken (Şekil 2.7) yakıt tüketiminden yola çıkılarak hesaplanan içten yanmalı motor verimi içten yanmalı motorun torkunun ve hızının bir fonksiyonudur (Şekil 2.8). Genel olarak içten yanmalı motorlar düşük güçte ve düşük hızda verimsiz olarak çalışırlar.



Şekil 2.8 : İçten yanmalı motorun verim haritası

2.5 Güç Aktarım Organlarının Modellenmesi

Melez elektrikli araç paralel olarak adlandırılan mimariye sahiptir (Şekil 2.9). Bunun sebebi elektrik motorları ve içten yanmalı motorun birlikte aracın tekerlerine tork aktarabilmeleridir. Bu mimari aracın sadece içten yanmalı motorla veya sadece elektrik motorlarıyla sürülebilmesini sağladığı gibi içten yanmalı motorun aynı anda hem aracın sürülmesinde hem de bataryanın şarj edilmesinde kullanılabilmesini sağlar.

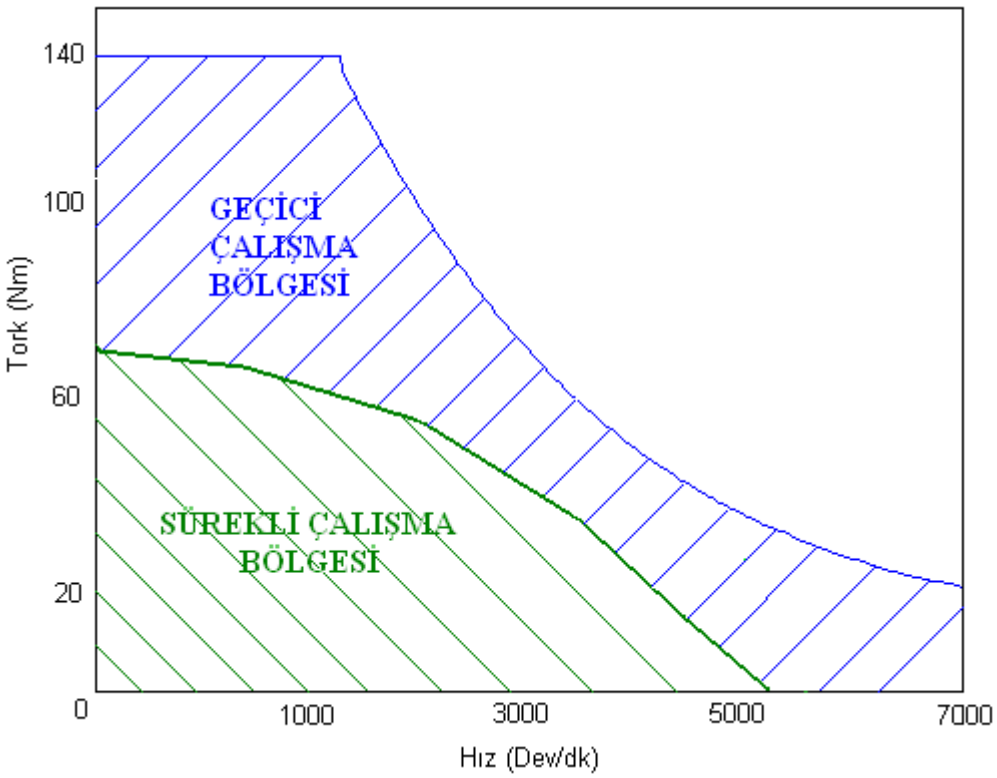


Şekil 2.9 : FOHEV-II Mimarisi

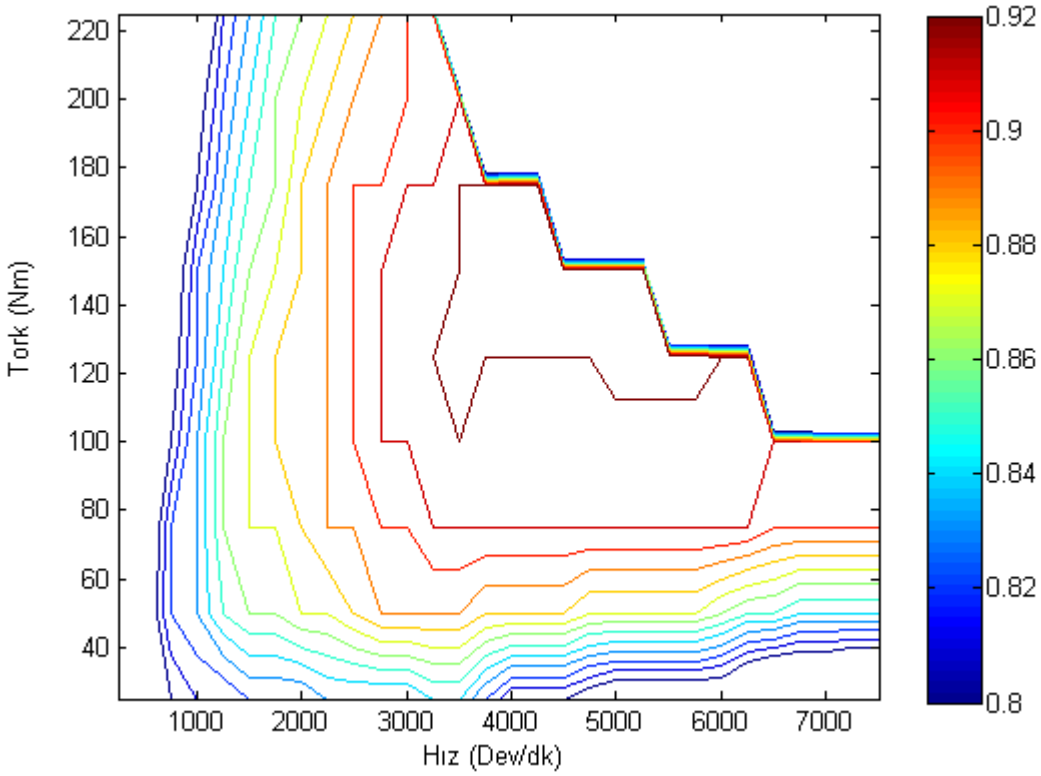
Aracın mimarisi içinde bulunan diferansiyel, şanzıman gibi güç aktarma organları basitlik açısından sıcaklıktan bağımsız olarak sabit bir verime sahip kazanç elemanları olarak modellenmişlerdir. Şekil 2.9'da $T_{İYM}$ içten yanmalı motorun torkunu, T_{EM1} birinci elektrik motorun torkunu, T_{EM2} ikinci elektrik motorun torkunu, i_t şanzıman kazancını, η_t şanzıman verimi, i_d diferansiyel kazancını, η_d diferansiyel verimi göstermektedir.

2.6 Elektrik Motorları Modellenmesi

Şekil 2.10'da elektrik motorunun sürekli ve geçici çalışma bölgeleri gözükmektedir. Elektrik motorlarının dinamiğinin yakıt tüketimine olan etkisi ihmal edilebilecek kadar az olduğu için bu dinamik gözardı edilmiştir ve motorların modellenmesinde sadece motorların tork ve hızlarının fonksiyonu olarak sabit bir verim haritası kullanılmıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.10 : Elektrik motorları hız-tork eğrisi [5]

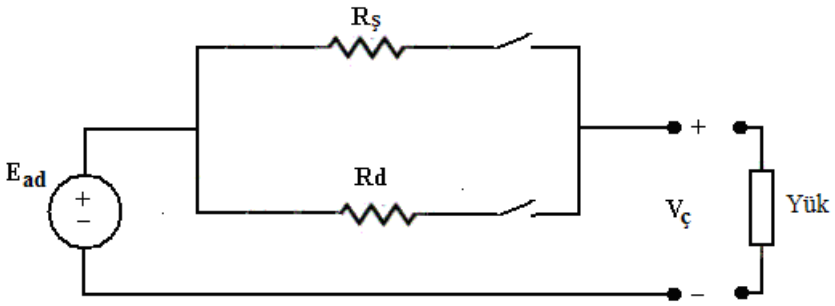


Şekil 2.11 : Elektrik motorları verim haritası [5]

2.7 Batarya Modellenmesi

Batarya grubu Şekil 2.12'de gösterilen eşdeğer devre modeli kullanılarak modellenmiştir. pack. Bu modelden yola çıkılarak batarya verimi değişik akım ve açık devre gerilimi değerleri için hesaplanmış **(2.6)** ve tablo haline getirilmiş ve yakıt tüketimini en iyileme algoritmasında bu tablo kullanılmıştır.

Bataryanın şarj seviyesinin gerçek zamanlı hesaplanmasında da sıfıra yakın düşük akım değerleri için açık devre gerilimine bağlı olarak sabit bir tablo kullanılırken sıfırdan farklı akım değerleri için akımın integrali kullanılmıştır.



Şekil 2.12 : Batarya modeli

$$\eta_b = \begin{cases} \dfrac{E_{ad} I_b}{(E_{ad} I_b - I_b^2 R_d)}, I_b < 0 \\ \dfrac{E_{ad} I_b}{(E_{ad} I_b + I_b^2 R_ş)}, I_b \geq 0 \end{cases} \qquad \textbf{(2.6)}$$

Bu denklemde η_b batarya verimini belirtirken E_{ad} açık devre gerilimini, I_b batarya akımını, $R_ş$ şarj direncini, R_d deşarj direncini ifade etmektedir.

3. MELEZ ARACIN BİLEŞENLERİNİN BOYUTLANDIRILMASI

Konvansiyonel bir aracın melezleştirilmesinde bazı bileşenlerin olası alternatifler arasından seçilmesi ve boyutlandırılması gerekmektedir. Bu bileşenler içten yanmalı motor, elektrikli tahrik sistemi ve batarya sistemidir.

3.1 İçten Yanmalı Motor Seçimi

Melez elektrikli araçların tahrik sistemi elektriksel ve konvansiyonel güç aktarım sistemlerinden oluşmaktadır. Konvansiyonel güç aktarım sisteminde içten yanmalı motor ve yakıt deposu bulunur. Ticarileşen melez araçlar içerisinde Toyota Prius, Honda Insight ve Nissan Tino'da benzinli motor kullanılmaktadır. Buna karşılık Ford Prodigy, DC ESX3 ve GM Percept'de dizel motor kullanılmaktadır [6]. İçten yanmalı motor seçimini etkileyen pek çok kriter bulunmaktadır. Bu kriterlerin başında enerji yoğunluğu, verim, emisyon, ağırlık ve maliyet gelir [7]. Benzinli ve dizel motorların karşılaştırması Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Dizel motor benzin motoru karşılaştırması

	Dizel Motor	Benzin motoru
Maliyet	-	+
Enerji yoğunluğu	+	-
Emisyon	-	+
Verim	+	-
Ağırlık	-	+

3.2 İçten Yanmalı Motor Boyutlandırılması

Tahrik sistemi performans gereksinimlerine uygun bir şekilde güç isteğini karşılayabilecek kapasitede olmalıdır. Taşıtın maksimum güç gereksiniminin belirlenmesinde basit olarak boyuna taşıt dinamiğinden faydalanılabilir. Bir araca ilişkin boyuna dinamik denkleminden yola çıkılarak belli bir hızda taşıtın tekerleklerinden aktarması gereken güç **(3.1)**'de ifade edilmiştir.

$$P = V(F_{aero} + F_{\gamma d} + F_{yt}) \tag{3.1}$$

Paralel melez elektrikli araçlar için, bu güç talebi güç aktarma organlarının verimleri de göz önüne alınarak elektrik motoru ile içten yanmalı motor tarafından birlikte karşılanmalıdır.

Bir taşıtın performans kriterlerini taşıtın hızlanma karakteristiği ve yokuş tırmanma yeteneği oluşturmaktadır. Hızlanma karakteristiği düz yolda belli bir hızdan başka bir hıza ulaşması için gerekli minimum zaman cinsinden verilebilir. Araçların hızlanma karakteristikleri genellikle 0 km/saat hızdan 40 km/saat hıza ulaşma zamanı, 0 km/saat hızdan 100 km/saat hıza ulaşma zamanı ve 100 km/saat hızdan 120 km/saat hıza ulaşma zamanı şeklinde verilir.

Bir taşıtın hızlanırken maruz kaldığı kuvvetlerden faydalanılarak düz yolda V_1 hızından V_2 hızına çıkma süresi

$$t_{v_1 \to v_2} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\lambda M}{F_s - P^{\alpha} W^{\beta}(a + bV + cV^2) - 0.5\rho C_D A V^2} dv \tag{3.2}$$

şeklinde ifade edilir.

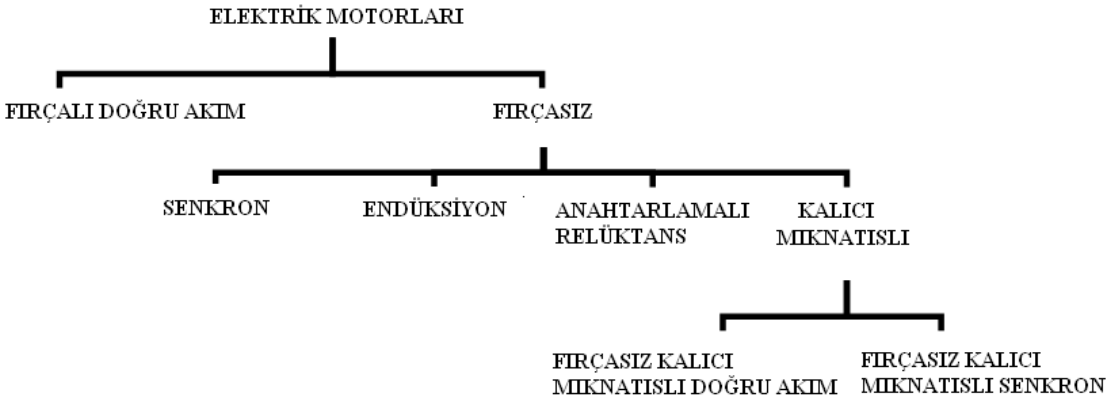
Bir aracın yokuş tırmanma yeteneği ise belli bir V_3 hızında çıkabileceği maksimum yokuş eğimi olarak tanımlanır.

$$\sin\alpha\big|_{v_3} = \frac{F_s - P^{\alpha} W^{\beta}(a + bV + cV^2) - 0.5\rho C_D A V^2}{Mg} \tag{3.3}$$

3.3 Elektrik Motoru Seçimi

Elektrik motorunun seçimi performans, paketleme, güç yoğunluğu, verim, maliyet, ve bakım gerektirme gibi özellikler gözönüne alınarak yapılır.

Elektrik motorları Şekil 3.1'de olduğu gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 3.1 : Elektrik motorlarının sınıflandırılması

Fırçalı motorlar yapısal basitliğe sahiptirler ancak fırça-kollektör sistemi periyodik olarak bakım istemektedir. Bunun nedeni ise fırça kolektör ikilisinin ısı iletimi ve sürtünmeden dolayı zamanla yıpranmasıdır. Fırçasız motorlarda ise bu türden sorunlar bulunmamakla beraber anahtarlama işlemi mekanik olarak değil elektronik olarak yapılmaktadır. Fırçasız motorlarda rotor kısmında kayda değer bir ısı oluşmamakta ve fırça yıpranması gibi bir sorun ortaya çıkmamaktadır.

Asenkron makinalar melez elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan bir motor türü olup bundaki temel etken düşük maliyet ve yüksek güvenilirliliktir.

Melez elektrikli araçlarda kullanılan diğer bir elektrik motoru türü ise anahtarlamalı relüktans motorlarıdır. Bu motorların kullanımındaki başlıca sorun titreşim ve gürültü seviyelerinin yüksek olmasıdır. Buna karşın bu motorlar oldukça basit olup düşük üretim maliyetine sahiptirler.

Melez elektrikli araçlarda tercih edilen ve bir başka elektrik motoru türü de kalıcı mıknatıslı senkron motorlar ile fırçasız doğru akım motorları arasında benzerlikler bulunmaktadır. Her iki motorun rotorları kalıcı mıknatıslardan oluşmuş olup benzer şekilde kontrol edilirler. Aralarındaki temel fark kalıcı mıknatıslı senkron motorlar sinüs biçimli bir akımla sürülürken fırçasız doğru akım makinaları kare dalga şeklinde akımla sürülürler. Bu durum her iki motor tipi için farklı geribesleme yapılmasına ve üretilen momentlerin farklı olmasına neden olur [8].

3.4 Elektrik Motoru Boyutlandırılması

Seri melez elektrikli araçlar için elektrik motoru boyutlandırması elektrikli taşıtlar için olduğu gibidir. Aracın tahriki sadece elektrik motoru ile yapıldığından aracın

yük karakteristiği ve performans gereksinimleri elektrik motorunun boyutlarını belirler. Paralel melez elektrikli araçlar için ise performans gereksinimlerini karşılamak için içten yanmalı motor ve elektrik motoru birlikte veya ayrı ayrı kullanılabilirler.

Elektrik motorları için performans ve yokuş tırmanma yeteneği hesapları içten yanmalı motorlar için yapıldığı gibi yapılır. Fakat melez araçlarda elektrik motorlarının sadece performans gereksinimlerini karşılamaları yeterli değildir motorlarının aynı zamanda yakıt ekonomisini yükseltebilmek açısından gerikazanımlı frenleme için de yeterli güçte olmaları gerekir [9].

3.5 Batarya Seçimi

Uygun batarya seçiminde ömür, enerji yoğunluğu, verim, ağırlık, boyut, hafıza, gerilim seviyesi ve maliyet gibi özellikler gözönüne alınır. Çizelge 3.2'de farklı batarya türlerinin özelliklere görülmektedir.

Çizelge 3.2 : Melez elektrikli araçlarda kullanılan batarya türleri [10]

	NiCd	NiMH	Kurşun Asit	Li-iyon	Li-iyon polimer	Alkalin
Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	45–80	60–120	30–50	110–160	100–130	80
İç Direnç (mOhm)	100 ila 200	200 ila 300	<100	150 ila 250	200 ila 300	200 ila 2000
Çevrim Ömrü	1500	300 ila 500	200 ila 300	500 ila 1000	300 ila 500	5
Hızlı Şarj Süresi	1saat	2-4saat	8-16saat	2-4saat	2-4saat	2-3saat
Aşırı Şarj Dayanımı	Orta	Düşük	Yüksek	Çok düşük	Düşük	Orta
Nominal Hücre Gerilimi	1.25V	1.25V	2V	3.6V	3.6V	1.5V
Yük Akımı - tepe değer - en uygun	 20C 1C	 5C 0.5C altı	 5C 0.2C	 >2C 1C altı	 >2C 1C altı	 0.5C 0.2C altı
Çalışma Sıcaklığı	-40 ila 60°C	-20 ila 60°C	-20 ila 60°C	-20 ila 60°C	0 ila 60°C	0 ila 65°C

3.6 Batarya Boyutlandırma

Batarya boyutlandırmada kullanılan kriterlerin ilki bataryanın hem şarj hem de deşarj esnasında elektrik motorlarının maksimum güç ihtiyacını karşılayabilmesidir. Bir diğer kriter, bataryanın şarj edilmeden belirlenen standart bir çevrim için, belli bir sessiz sürüş menzilini kapasite olarak sağlayabilmesidir. Ayrıca batarya ömrü de kullanım tarzına bağlı olarak bataryanın kapasitesinin bir fonksiyonudur. Bu yüzden seçilen batarya kapasitesi bataryanın ömrünü de belirleyecektir.

3.7 FOHEV II' nin Boyutlandırılması

FOHEV II' de Çizelge 3.3'te verilen değerler başlangıç tasarım hedefi olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 : FOHEV II tasarım kriterleri

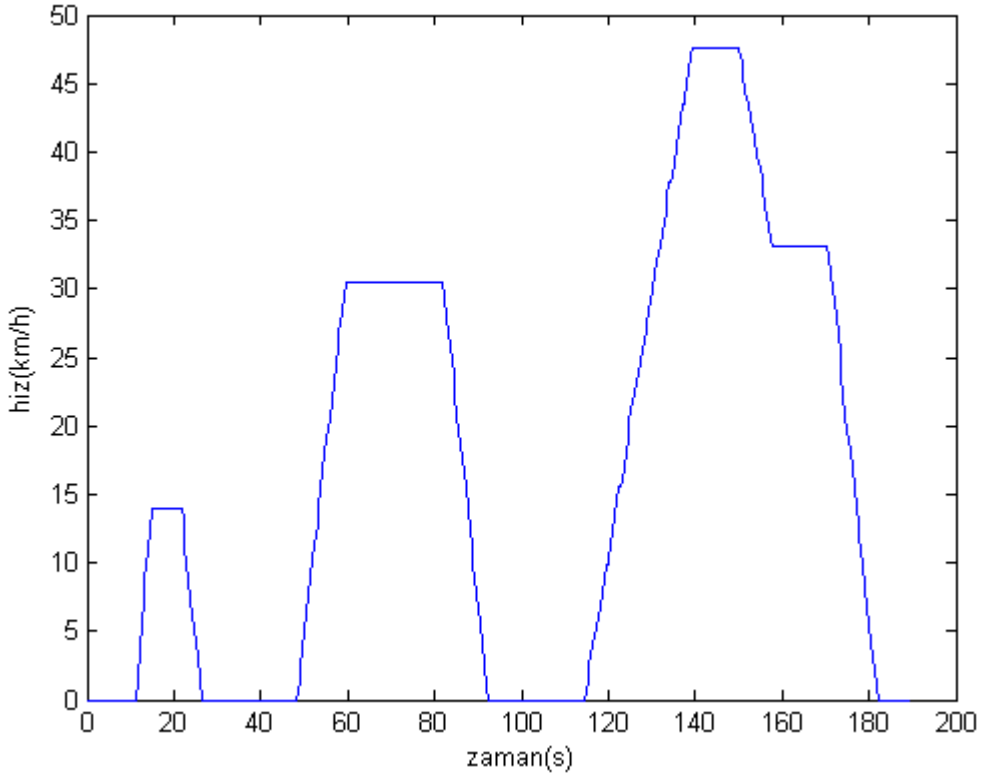
Mimari tipi	Paralel melez araç
İçten yanmalı motor tipi	Dizel
Önden tahrik	IYM ve EM1
Arkadan tahrik	EM2
Batarya tipi	Lityum iyon
Elektrik motoru tipi	Fırçasız doğru akım motoru
Dizel modda maksimum hız	150 km/saat
Melez modda maksimum hız	180 km/saat
0-40 km/saat Hızlanma Süresi	≤4 s
0-100 km/saat Hızlanma Süresi	≤10 s
80-120 km/saat Hızlanma Süresi	≤7 s
% Cinsinden yokuş çıkma yeteneği	30
Elektrik modunda menzil	100 km
Elektrik modunda batarya ömrü	3000 çevrim

3.7.1 İçten Yanmalı Motor Boyutlandırma

Temel olarak içten yanmalı motor ile elektrik motoru belirlenmiş olan çevrimin gerektirdiği güç ihtiyacını karşılamalıdır. Buna ek olarak taşıtta kullanılacak olan içten yanmalı motor taşıtın belirlenen maksimum hıza ulaşmasını da sağlayacak güce sahip olması gerekmektedir. Çizelge 3.3'te verilen kriterden yola çıkılarak içten yanmalı motorun gücü yapılan benzetimler sonucu 75kW olarak bulunmuştur. Bu benzetimlerde içten yanmalı motorun gücü istenen kriteri sağlayana kadar düşük bir güç değerinden iteratif olarak arttırılmıştır.

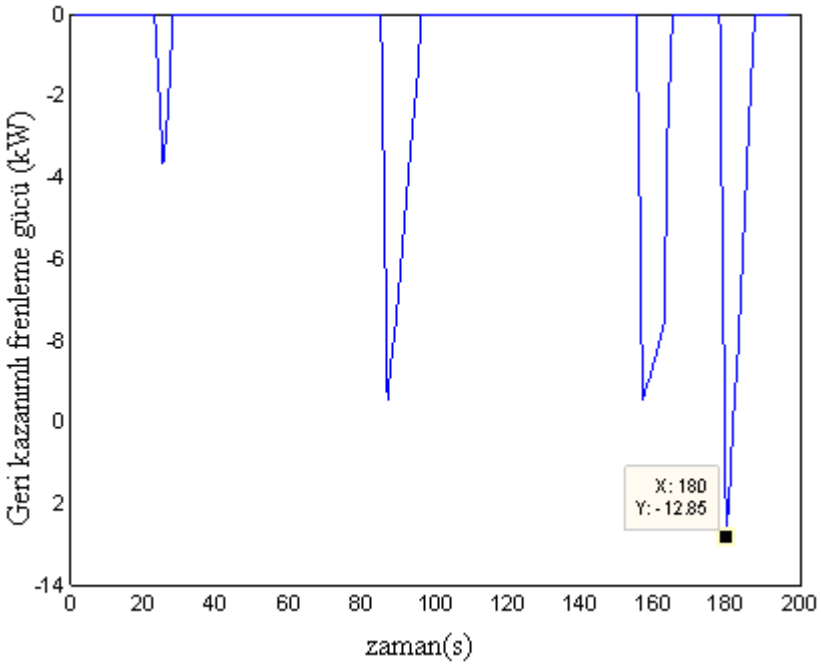
3.7.2 Elektrik Motoru Boyutlandırması

İlk önce paralel melez elektrikli araçlar için ECE çevrimi (Şekil 3.2) baz alınarak geri kazanımlı frenleme için gerekli güç miktarı hesaplanmıştır. Bu amaçla tersine araç modelinden faydalanılmış ve frenleme için gerekli güç miktarı taşıtın kütle dağılımına göre ön ve arka tekerlere bölüştürüldükten sonra kayıplar da göz önüne alınarak belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda elektrik motorlarına ilişkin güç değerleri ön elektrik motoru için 12.85kW arka elektrik motor için ise 7.208kW olarak belirlenmiştir (Şekil 3.3),(Şekil 3.4).

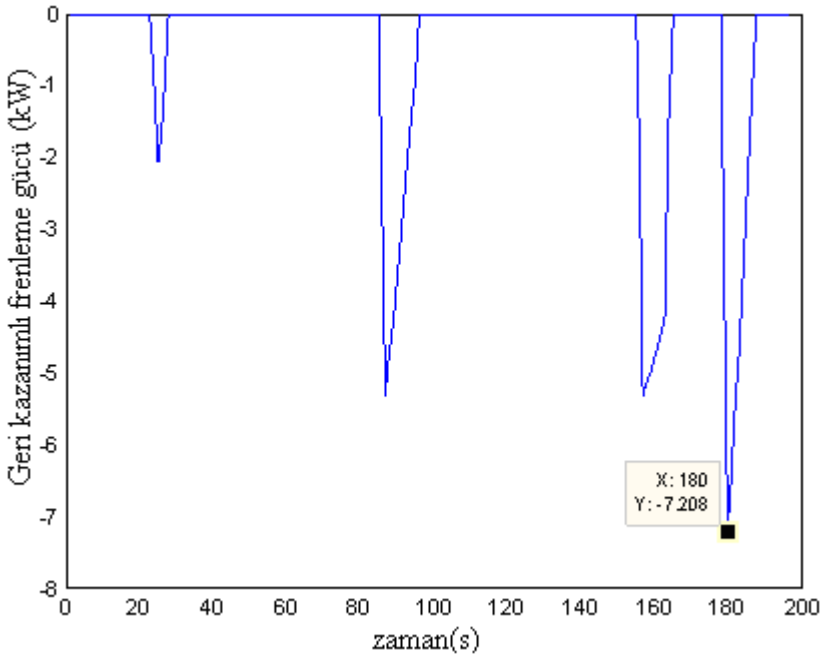


Şekil 3.2 : ECE çevrimi

Bir önceki adımda belirlenen elekrik motorları güçleri başlangıç değerleri olarak alınarak iteratif bir şekilde aracın ön ve arka kütle dağılımı nispetinde elektrik motorlarının gücü arttırılarak Çizelge 3.2'deki performans kriterlerinin tümünün gerçekleşmesi sağlanmıştır. Ön elektrik motoru için 16kW arka elektrik motoru için 9 kW değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.3 : ECE çevriminde birinci elektrik motoru için gerekli frenleme gücü



Şekil 3.4 : ECE çevriminde ikinci elektrik motoru için gerekli frenleme gücü

3.7.3 Batarya Boyutlandırması

Sadece elektrik motorlarıyla sessiz sürüş için gerekli batarya gücünün hesaplanmasında tersine araç modelinden faydalanılmıştır. Gerekli güç miktarı aracın kütle dağılımına göre ön ve arka tekerlere bölüştürüldükten sonra kayıplar da göz önüne alınarak tekerleklerde bu gücü oluşturmak için bataryanın elektrik motorlarına

aktarması gereken güç değeri belirlenmiştir. Hesaplamalar sonucunda ECE çevriminde maksimum güç gereksinimi 20.3kW olduğundan batarya gücünün bu değerden daha düşük olmaması gerektiği belirlenmiştir. Fakat bulunan bu limit performans değerleri için bulunan toplamda 25 kW'lık limitin altında olduğu için bu limit boyutlandırmada etkin olmamıştır..

ECE çevriminin güç gereksiniminin integrali alınarak aracın çevrimdeki enerji ihtiyacı belirlenir. ECE çevrimi için katedilen birim mesafe başına gerekli elektrik enerjisi e , ECE çevrimi için enerji gereksinimi E_{ECE}'nin ECE çevriminde katedilen mesafe L_{ECE}'ye bölümüyle bulunur.

$$e = \frac{E_{ECE}}{L_{ECE}} \tag{3.4}$$

Katedilen birim mesafe başına gerekli elektrik enerjisi e hedeflenen sessiz sürüş menzili L ile çarpılarak gerekli toplam elektrik enerjisi

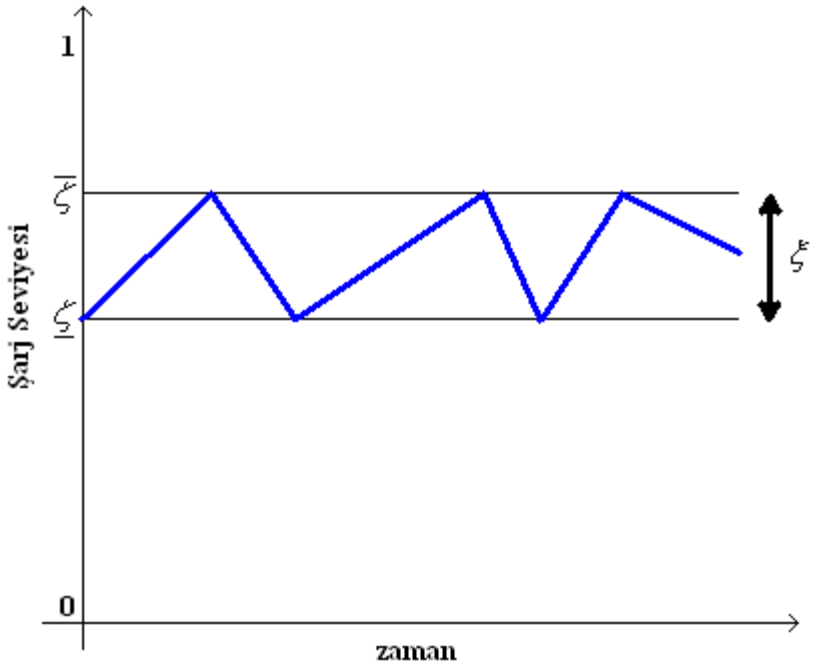
$$E_g = Le = 1656Wh \tag{3.5}$$

şeklinde bulunur.

Deşarj derinliği ξ bataryanın şarj ve deşarj esnasında tüm kapasitesinin ne kadarının kullanıldığının ifadesidir (Şekil 3.5). Deşarj derinliğinin enerji olarak gerekli elektrik enerjisi miktarı E_g'yi karşılaması gerekmektedir.

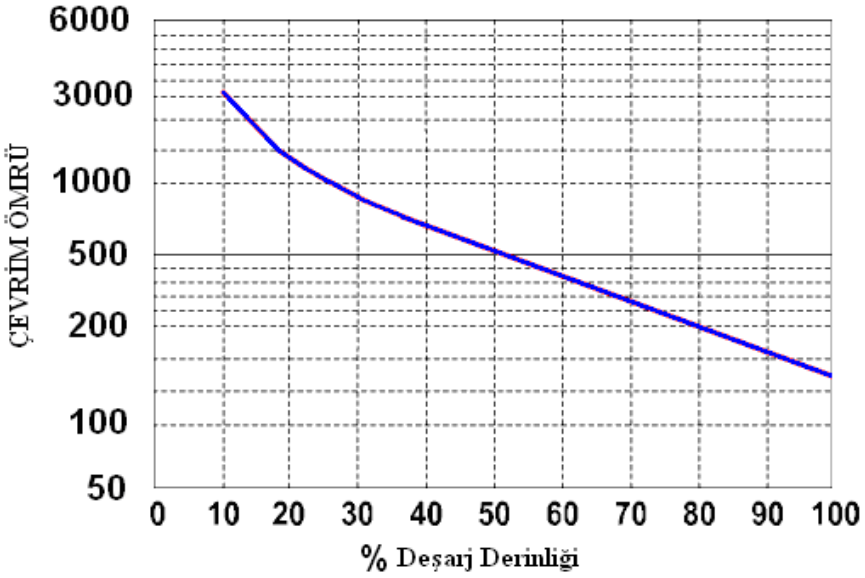
$$\xi = \overline{\zeta} - \underline{\zeta} \tag{3.6}$$

Burada $\overline{\zeta}$ batarya kullanımı için kullanıcı tarafından belirlenen maksimum şarj seviyesi $\underline{\zeta}$ minimum şarj seviyesidir.



Şekil 3.5 : Deşarj derinliği batarya kapasitesi ilişkisi

Bataryanın ömrü deşarj derinliğinin bir fonksiyonudur. Gerekli deşarj derinliğinin belirlenmesi için bataryanın çevrim ömrü ile deşarj derinliği arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekir. FOHEV II'de kullanılan batarya için deşarj derinliği ile çevrim ömrü arasındaki üstel ilişki Şekil 3.6'da verilmiştir.



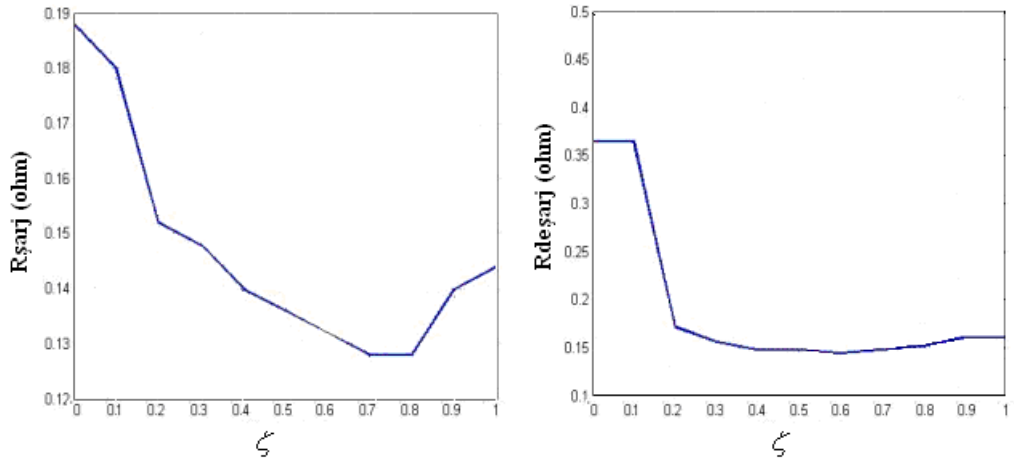
Şekil 3.6 : Deşarj derinliğine bağlı olarak batarya ömrü [11]

Şekil 3.6'dan bataryanın 3000 çevrim ömrü olması için %10 deşarj derinliğine sahip olması gerektiği görülmektedir. Bu durumda $\xi = 0.1$'dir. Bataryanın sahip olması gereken kapasite E_B, denklem **(3.7)** ile gerekli elektrik enerjisi miktarı ve deşarj derinliği cinsinden bulunur.

$$E_B = \frac{E_g}{\xi} \qquad \textbf{(3.7)}$$

Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler 16560Wh kapasite ve 25kW güce sahip bir bataryanın tasarım kriterlerini sağlamak için yeterli olduğunu göstermektedir.

Bataryanın verimli olarak çalışmasını sağlayabilmek için çalışma bölgesi olarak veriminin yüksek olduğu batarya iç direncinin düşük olduğu şarj seviyesi seçilmelidir. Şekil 3.7'de kullanılan bataryanın iç direnci ile şarj seviyesi arasındaki ilişkisi gösterilmiştir.



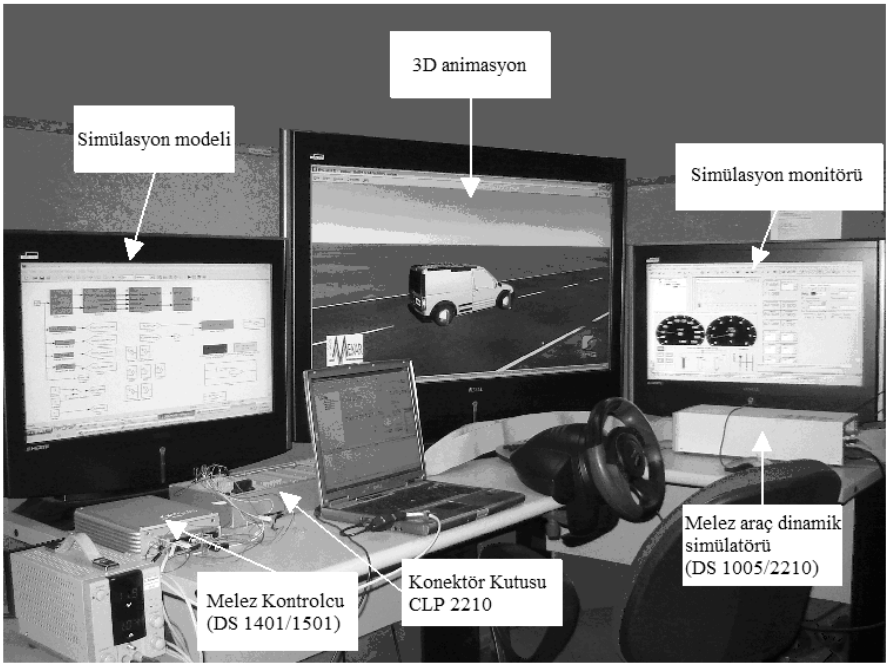
Şekil 3.7 : Şarj seviyesine bağlı olarak şarj ve deşarj dirençlerinin değişimi [11]

Şekil 3.7'den de gözüktüğü üzere %10 olan şarj deşarj aralığını şarj seviyesinin %70 olduğu bölge civarında seçmek uygun olacaktır.

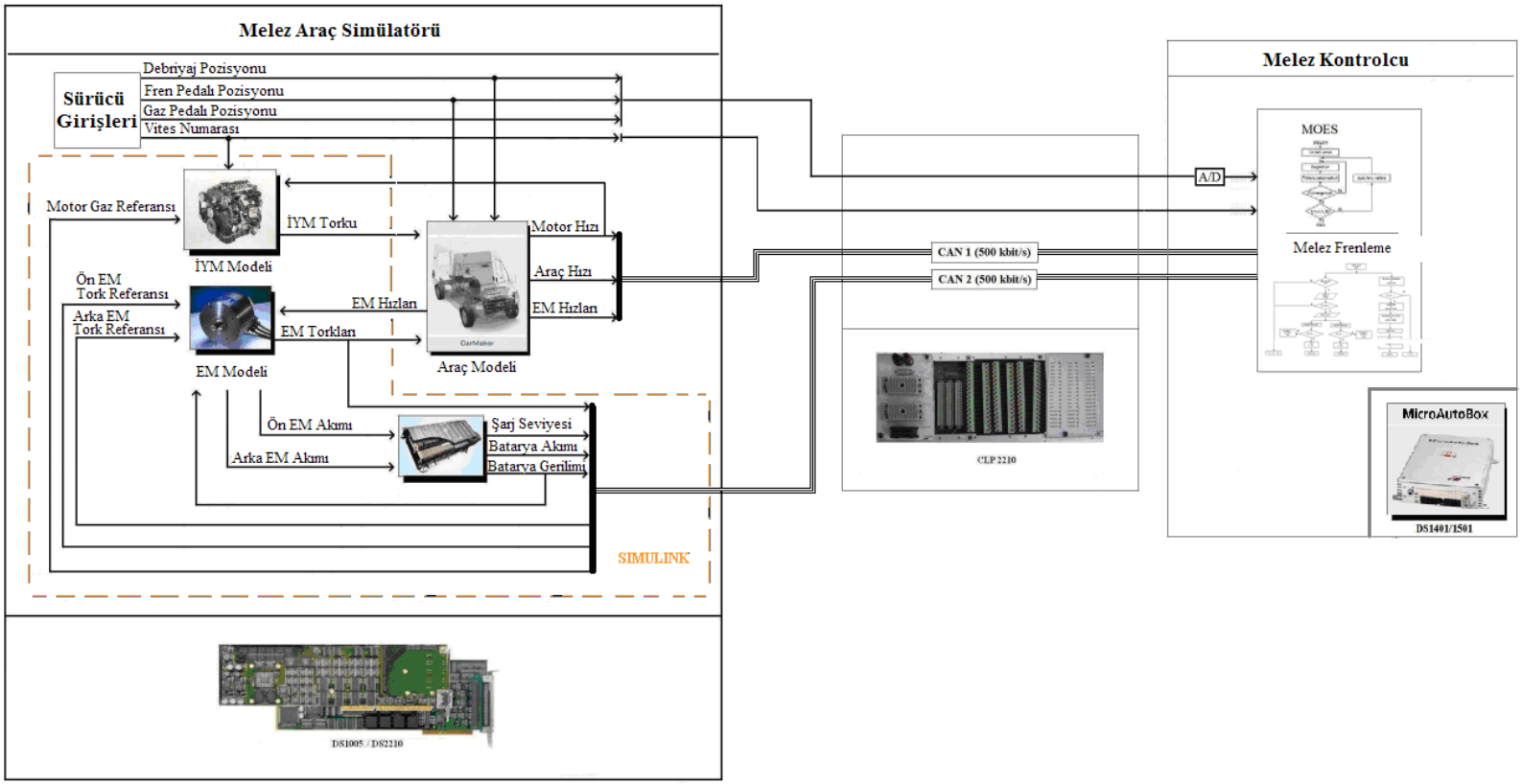
4. DONANIM İÇEREN SİMÜLASYON

Geleneksel taşıt geliştirme süreci prototip araçlarla yapılan yol testleri ile yapılmaktadır. Bu yaklaşım maddi açıdan külfetli olduğu kadar aynı zamanda çok zaman alıcı bir yöntemdir. Ayrıca taşıtların maruz kalabileceği tüm olası değişik yol şartlarını gerçekleştirmek oldukça zordur. Bu sebeplerden ötürü otomobil üreticileri araç geliştirmede, algoritma üretiminde ve testlerde donanımla benzetim (HIL) yöntemine başvurmaktadır. FOHEV II kapsamında da kontrol stratejisinin geliştirilmesinde ve testlerinde donanımla benzetim yönteminden yararlanılmıştır. Bu durum yapılması gerekli yol testleri sayısını azaltmış algoritma geliştirme süresini kısaltmıştır.

Şekil 4.1'de melez kontrolör geliştirmede kullanılan donanımla benzetim düzeneği gözükmektedir.



Şekil 4.1 : Melez elektrikli araç donanımla benzetim deney seti



Şekil 4.2 : FOHEV-II donanımla benzetim şeması

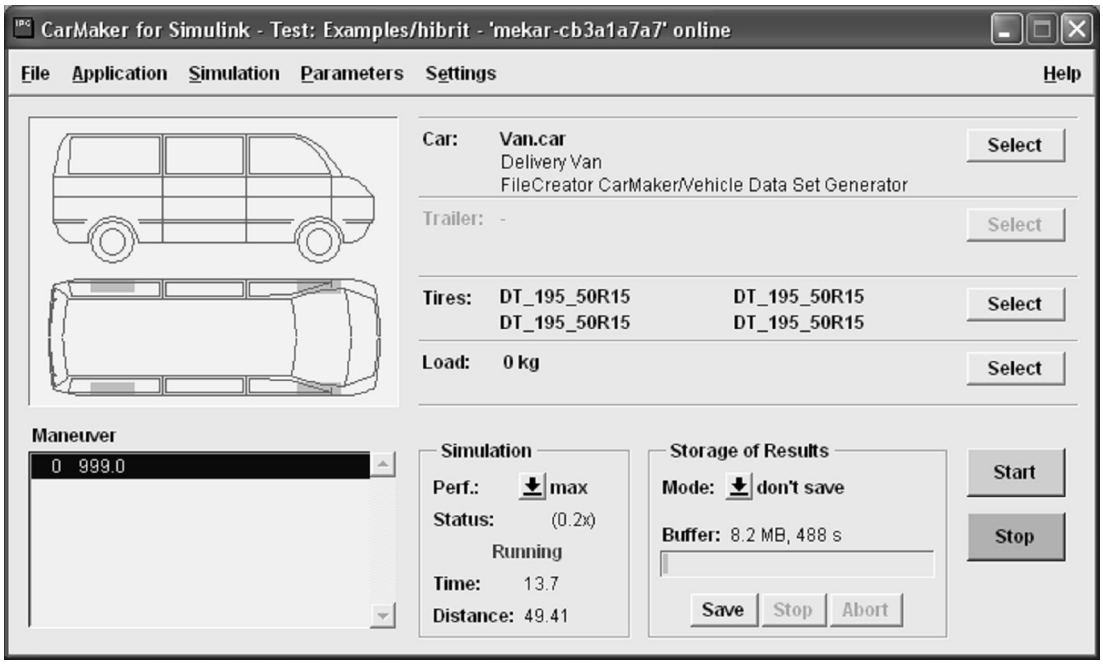
Bu simülatörde melez kontrolör olarak dSpace microautobox kullanılmıştır. Dinamik araç modeli dSpace 1005 işlemcisinde gerçek zamanlı çalıştırılırken bağlantılar DS2210 kartı üzerinden sağlanmıştır. Simülatörün geri kalan kısmını işaret koşullama devreleri ile direksiyon ve pedal donanımı ile monitörler oluşturmaktır. Sistemdeki değişkenler dSpace Controldesk, RTI ile Mathworks Simulink ve "Real Time Workshop" yazılımları kullanılarak gözlenlenmiştir.

Simülatörde melez kontrolörün taşıttaki içten yanmalı motor kontrolörünün, elektrik motorları ve batarya sürücüleri ile CAN haberleşmesi, pedal girişleri ile analog bağlantı birebir taklit edildiği için kontrolör araç üzerinde çalıştırılabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 4.2'de simülatörün tüm bağlantılarına ilişkin diyagram gösterilmektedir.

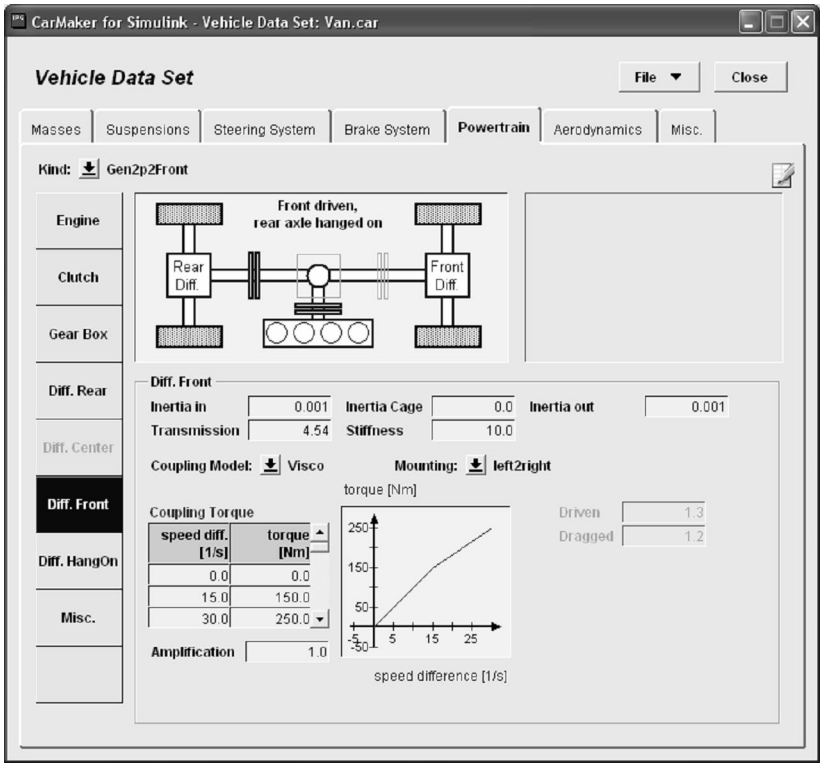
4.1 CarMaker

Dinamik araç modeli olarak CarMaker yazılımından faydalanılmıştır. CarMaker otomotiv alanında kullanılan bir simülasyon programıdır. Program yüksek güvenilirliğe sahip bir araç modelini içerir. Programın kullanıcı arayüzü Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



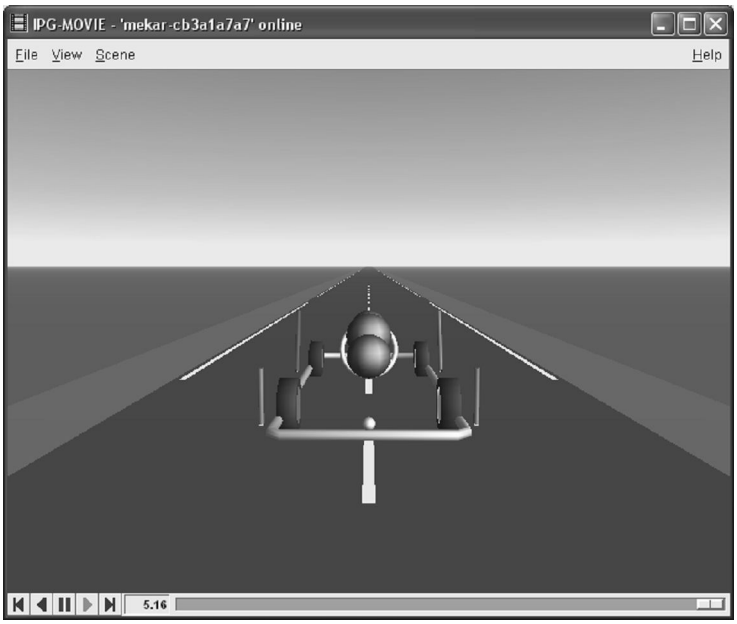
Şekil 4.3 : CarMaker genel kullanıcı arayüzü

CarMekar araç modelinde araca ilişkin çok sayıda parametreyi değiştirmek mümkündür. Şekil 4.4'de aracın parametrelerinin nasıl değiştirildiği gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : CarMaker'da parametrelerin güncellenmesi

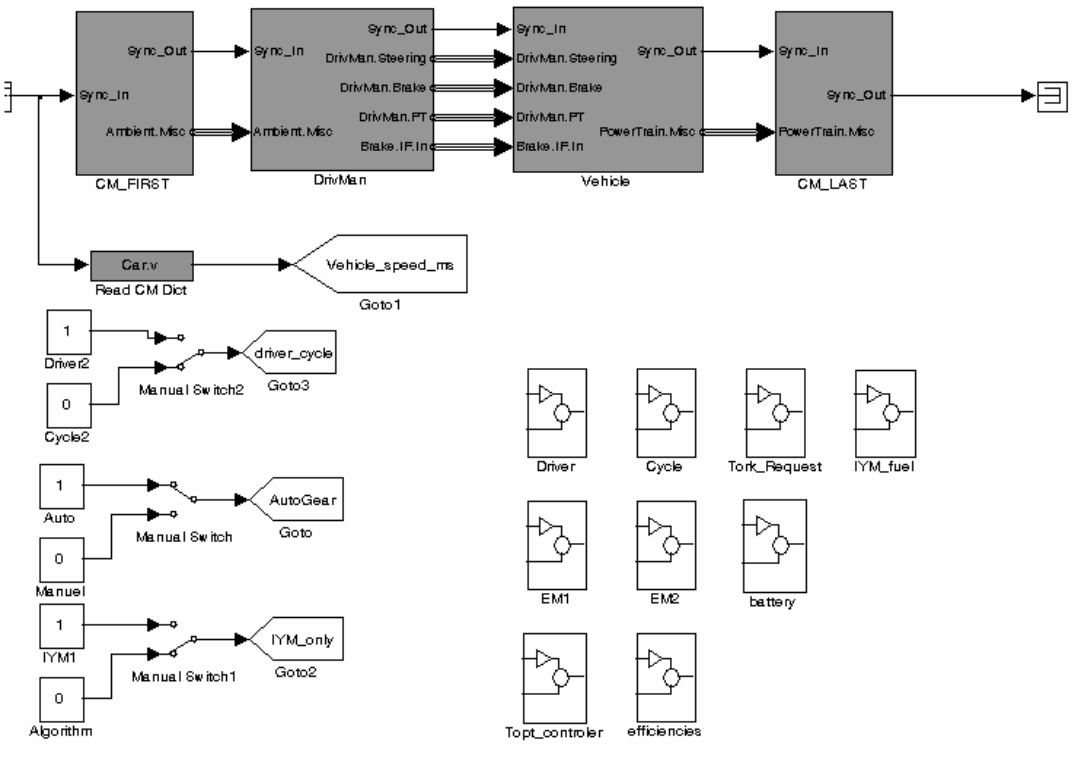
Program Şekil 4.5'de görüldüğü üzere aracın haraketleri ve tekerleklere etkiyen boyuna, yanal ve dikey kuvvetleri görselleştirmeyi de sağlamaktadır.



Şekil 4.5 : CarMaker'da araç haraketinin görselleşmesi

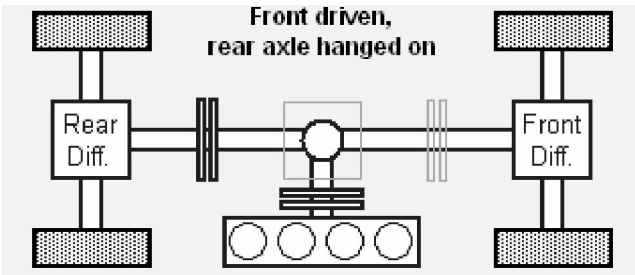
4.2 CarMaker Araç Modelinde Yapılan Değişiklikler

Carmaker araç modeli Simülink ortamında modüllerden oluşur. Modelde değişlik yapmak için modüller arasında iletilen işaretlere müdahalede bulunulur. Elektrik motoru ve batarya modelleri CarMaker'da bulunmadığı için bunlar ayrıca modellenip modele ilave edilmiştir. Şekil 4.6'da gri renkli bloklar CarMaker araç modelini, beyaz bloklar modele ilave edilen blokları göstermektedir.



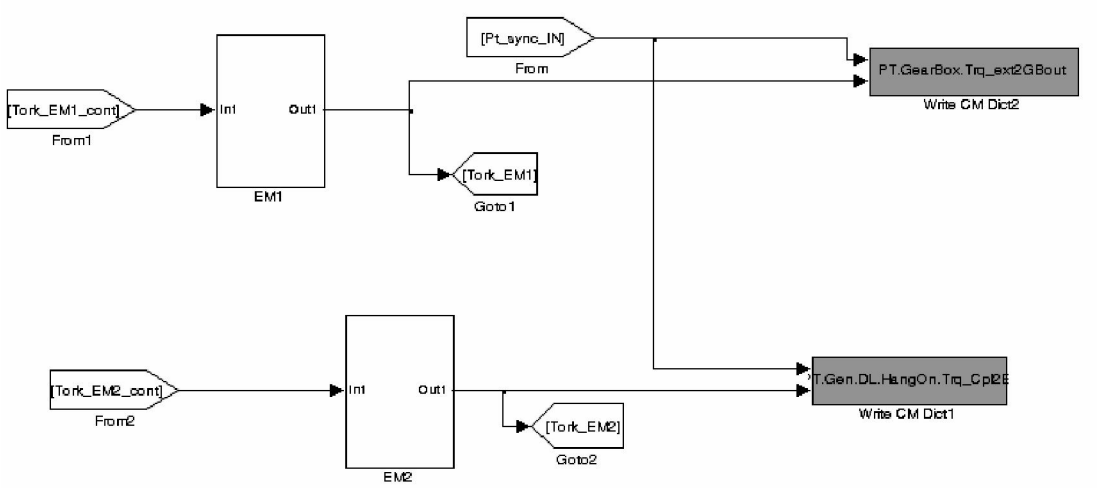
Şekil 4.6 : CarMaker araç modeli

Melez araç mimarisi CarMaker programında bulunan alternatif araç modelleri arasında olmadığı için var olan bir 4x4 araç mimarisi üzerinde değişiklik yapılarak melez araç mimarisi elde edilmiştir.



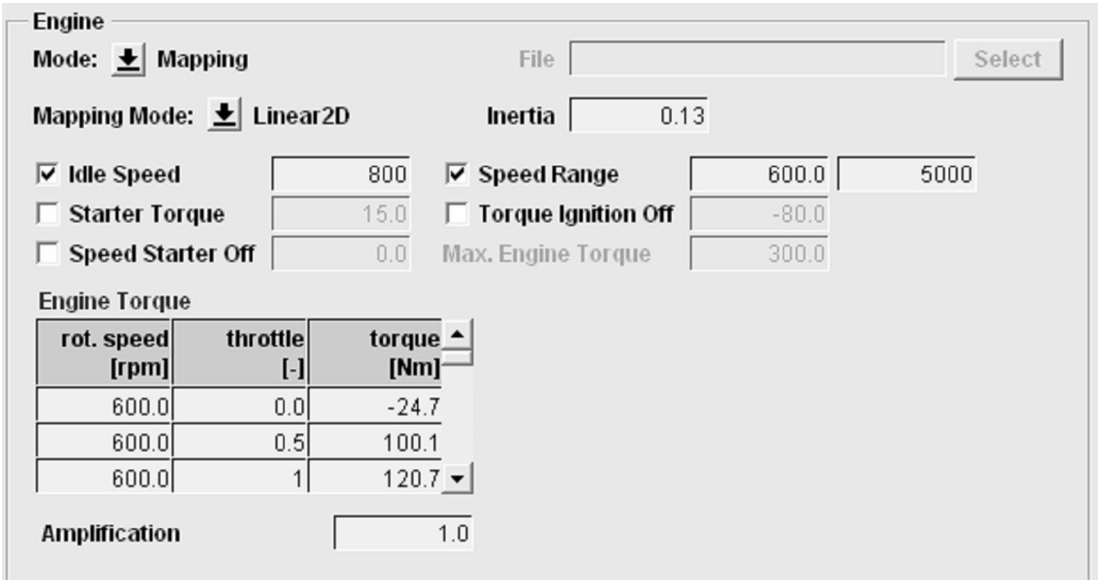
Şekil 4.7 : CarMaker 4x4 araç mimarisi

Şekil 4.7'de gösterilen araç modelinde aracın ön ve arka akslarını ayıran kavrama üzerinden tork iletimi sıfırlanmış ve arka elektrik motorunun ürettiği tork, araç modelinde arkada bulununan diferansiyele harici bir kuvvet olarak uygulanmıştır (Şekil 4.8).

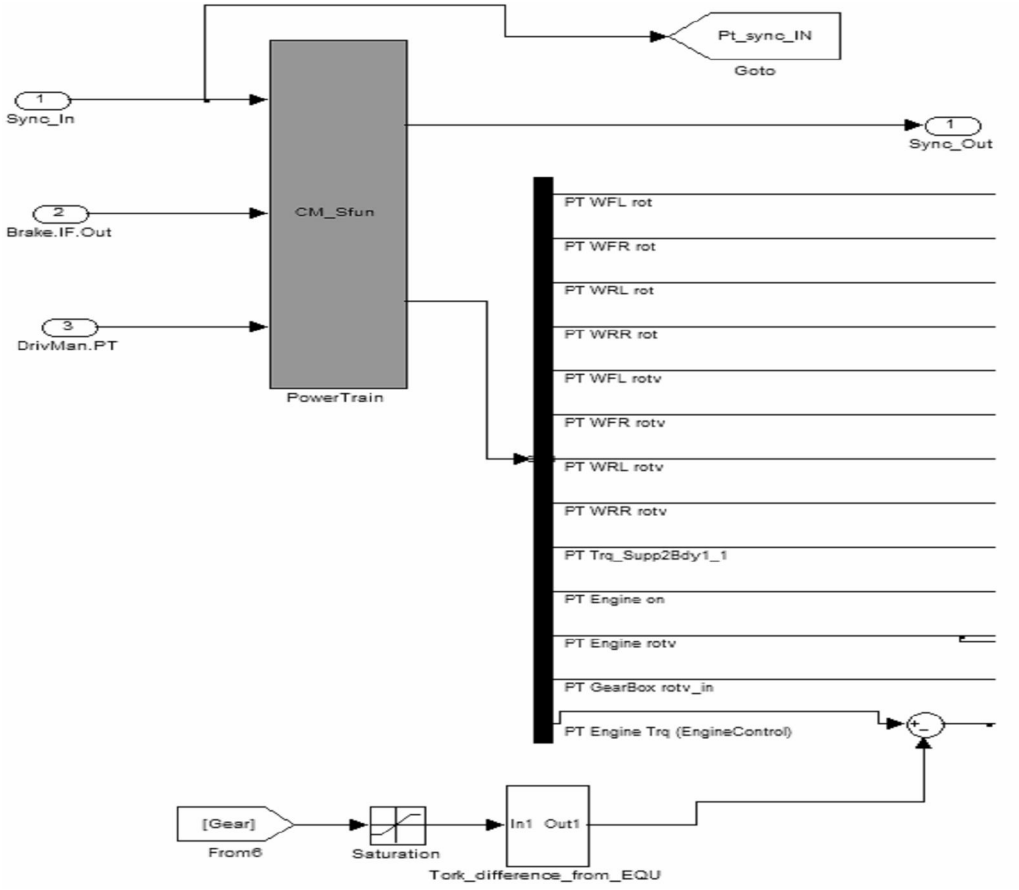


Şekil 4.8 : Diferansiyel torklarına müdahale

CarMaker programında içten yanmalı motorun ürettiği tork viteslere göre değişmediği için (Şekil 4.9) içten yanmalı motorun ürettiği torka simulink modeli üzerinden viteslere göre değişen bir tork işareti eklenmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.9 : İçten yanmalı motor parametrelerinin ayarlanması



Şekil 4.10 : İçten yanmalı motorun torkunun düzeltilmesi

4.3 CAN Haberleşmesi

Şekil 4.2'de gösterildiği gibi melez araç simülatöründe haberleşme CAN protokolü ile yapılmaktadır. FOHEV II aracında da haberleşmeler CAN üzerinden yapıldığı ve araç üzerindeki haberleşmeye birebir uyulduğu için kontrolör üzerinde geliştirilen algoritma araca hemen uygulanabilmektedir. Böylece kontrolör donanımının geliştirilen algoritmayı çalıştırmada yeterli olup olmadığı veya haberleşmeyle ilgili olası bir sorunun varlığı daha yol testleri yapılmadan ortaya çıkarılabilmekte ve tasarım süresi kısaltılmaktadır.

CAN protokolü seri sayısal bir haberleşme yöntemidir. Otomotiv sektörü başta olmak üzere robotik ve otomasyon alanlarında yaygın kullanıma sahiptir. CAN haberleşmesinde sahip olunan hata denetimi yetenekleri sayesinde hatalı veri iletimi olasılığı çok düşüktür. Ayrıca verilerin diferansiyel bir şekilde sayısal iletilmesi gürültüye, elektromanyetik girişime karşı dayanıklılık sağlar.

CAN haberleşme hattına bağlı tüm modüller aynı hat üzerinden veri alır ve veri gönderirler. Herhangi bir veriye ihtiyacı olan modül bu veriye ilişkin kimliği hatta bırakır. Bu veriyi yayınlayabilecek olan modül bu kimliği algıladıktan sonra aynı kimlikli veriyi CAN hattında yayınlar.

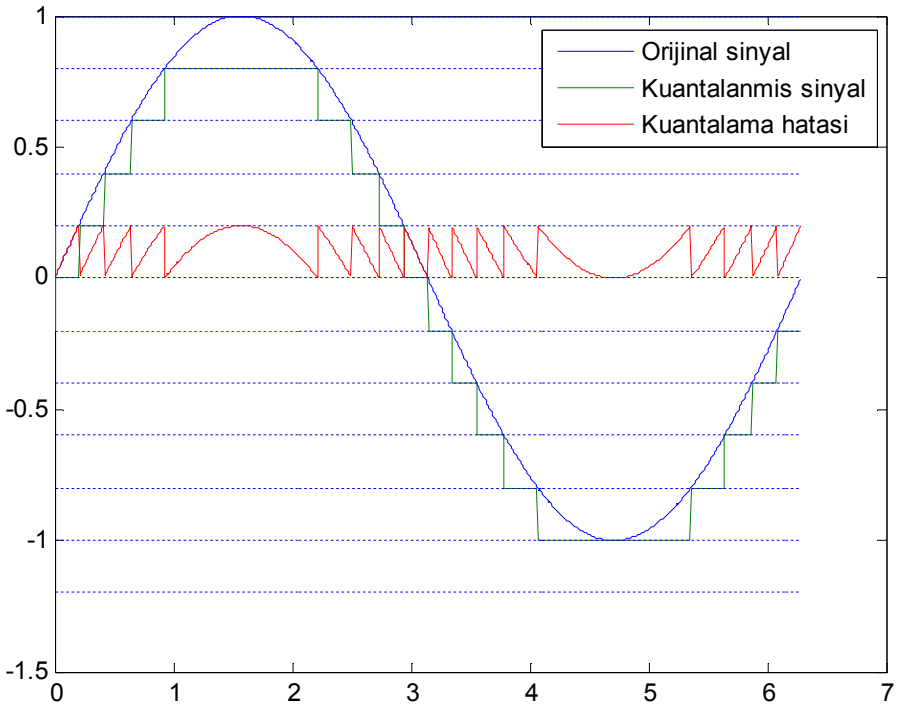
Bazı veriler de CAN hattında herhangi bir talep olmaksızın periyodik olarak yayınlanırlar.

Tüm veriler aynı veri hattı üzerinden iletildiklerinden verilerin kimlik numaraları verilerin önemlerine göre sıralı olarak verilir. Örneğin daha yüksek öneme sahip, bir hava yastığı verisi ile motor sıcaklık göstergesine ait bir veri aynı anda iletilmeye çalışılırsa hava yastığının çalışmasına ait veri daha düşük bir kimlik sayısına sahip olduğu için önce iletilir. Standart bir CAN mesajının içeriği Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Standart CAN mesaj içeriği [12]

Alan	Boyut (bit)	Kullanımı
Başlangıç biti	1	CAN mesajının başlatır
Mesaj tanımı	11	Mesajı tanımlayan sayıdır
Veri talebi	1	Eğer veri talep ediliyorsa 1 değeri alır
Rezerve bit (r0)	1	0 değerindedir
Veri uzunluğu	4	Verinin kaç bayt uzunluğunda olduğunu gösterir
Veri	0 ila 8 bayt	İletilen verinin kendisidir
Döngüsel artık denetimi	15	Hata denetiminde kullanılır
Ayıraç	1	1 değerindedir
Mesaj alındı biti	1	Mesajı gönderen 1 olarak gönderir alıcılar 0 değerini üretir
Ayıraç	1	1 değerindedir
Bitiş biti	7	1 değerindedir

Simülatörde ve araçta verilerin ayrık ve sayısal olarak iletilmeleri kontrol işaretlerinin, referansların ve sensör bilgilerinin kuantalanmış ve ayrık olarak iletilmelerine sebep olur. Kuantalamanın sisteme etkisi kuanta genişliğinde bir gürültünün sisteme enjekte edilmesiyle eşdeğerdir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 : İşaretlerinin kuantalanmasının etkisi

5. KONVANSİYONEL ARACIN MELEZLEŞTİRİLMESİ

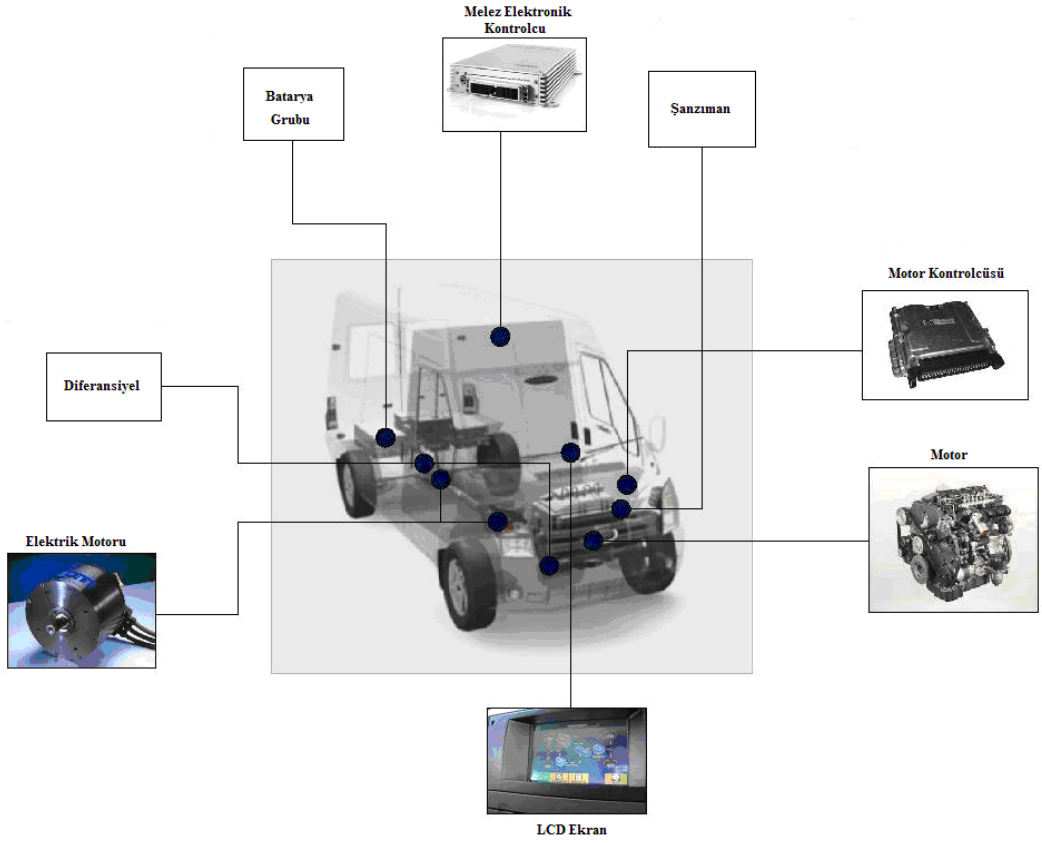
FOHEV-II projesi kapsamında 2.4L‘lik 130PS gücünde dizel motora sahip Ford Transit marka bir araç melezleştirilmiştir (Şekil 5.1). Baz araca batarya, elektrik motorları ve sürücüleri, elektromekanik kavrama, melez kontrolör, vites sensörü ve LCD gösterge takılmıştır. Melez elektrikli aracın ilave bileşenleri ve araç içindeki konumları Şekil 5.2’de görülmektedir. İşaret koşullamada kullanılan devreler, sensörler ve güç elektroniği dönüştürücüleri Şekil 5.2’de gösterilmemiştir.



Şekil 5.1 : Ford ikinci melez elektrikli aracı FOHEV-II

Yeni ilave edilen parçalar aracın altına ve sürücü kısmının tavanındaki kapalı kısma yerleştirildiklerinden melez araç LCD gösterge haricinde orijinal araç ile tamamen aynı görünüşe ve sıfır kargo hacmi kaybına sahiptir (Şekil 5.1). Melez araç biri ön diferansiyele diğeri de arka diferansiyele bağlı iki elektrik motoruna sahiptir. Bu iki elektrik motoru sayesinde araç hem önden çekişli hem de arkadan itişli olarak kullanılabildiği gibi frenleme esnasında da hem önden hem de arkadan gerikazanımlı frenleme yapılması mümkün olmaktadır. Yeni eklenen batarya grubu elektrik motorları için gerekli enerjinin üretilmesinde ve depolanmasında kullanılmaktadır. Orijinal aracın ön ve arka akslarının bağlantısının ayrılması, ayrılan bağlantı noktasına elektrik motorlarının bağlanması, elektrik motorlarının ve sürücülerinin

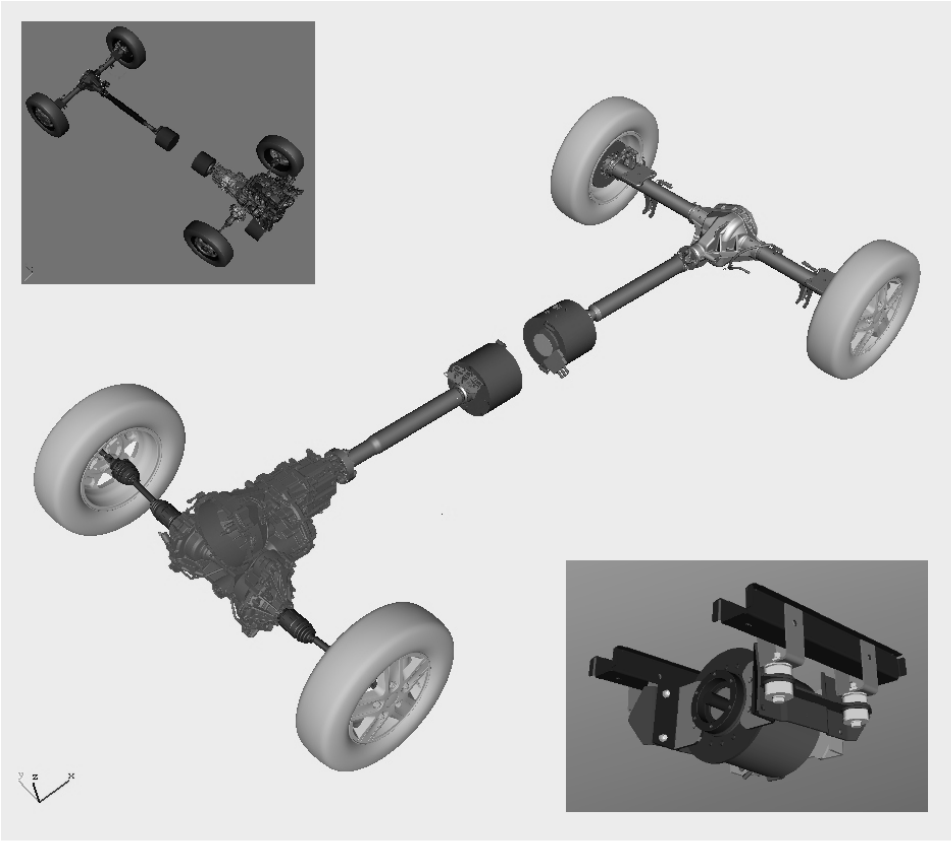
yerleştirilebilmesi için yakıt deposunun küçültülmesi ve egzos sisteminin yeniden konumlandırılması araçta yapılan mekanik değişimleri oluşturmaktadır.



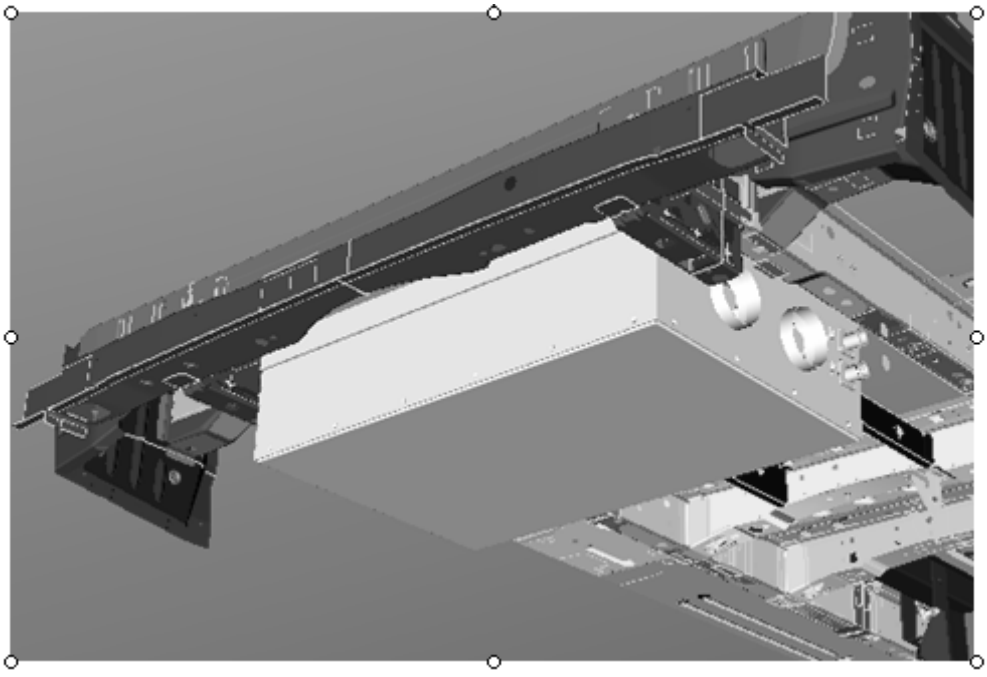
Şekil 5.2 : FOHEV-II bileşenlerinin araç içindeki konumları

5.1 Elektrik Motorları Ve Batarya Entegrasyonu

Ele alınan baz araç 4 çeker bir araçtır. Elektrik motorlarının yerleştirilmesi için ön ve arka dingilleri birleştiren aks orta kısmından ikiye ayrılmış ve ayrılan her iki uca birer elektrik motoru yerleştirilmiştir (Şekil 5.3). Batarya sistemi sürücüsü, hücreleri ve soğutucusuyla birlikte aracın altında en arkada yer alacak şekilde monte edilmiştir (Şekil 5.4).



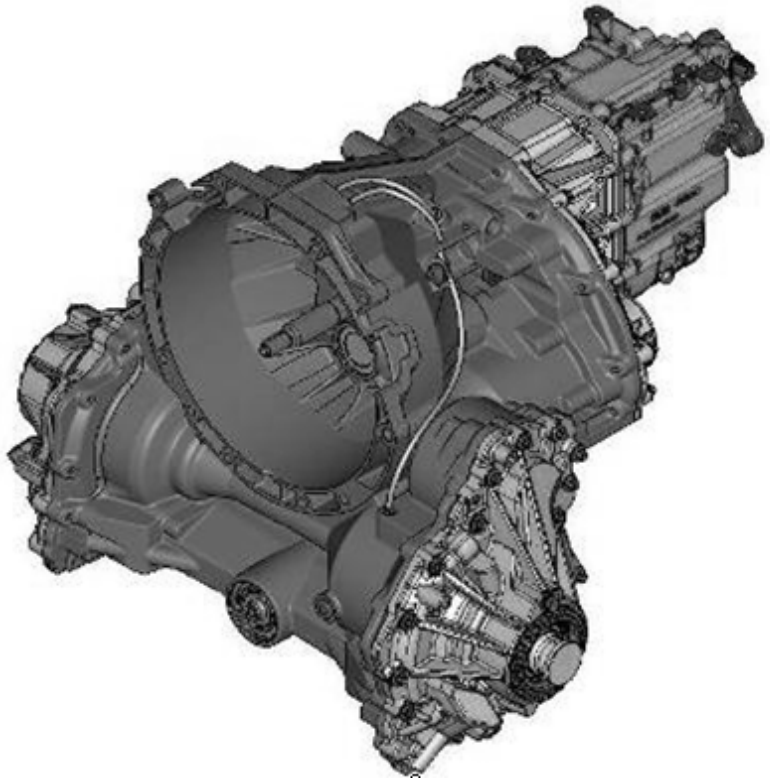
Şekil 5.3 : Elektrik motorları entegrasyonu



Şekil 5.4 : Batarya entegrasyonu

5.2 Şanzıman Sistemi Modifikasyonu

Aracın ön tarafındaki birinci elektrik motorunun diferansiyelle olan bağlantısını sağlamak için şanzıman sisteminde değişiklik yapılmak zorunda kalınmıştır. Yeni sistemde şanzımanın çıkış dişlisi ile elektrik motorunun aksına bağlı dişliler diferansiyelin ayna dişlisi üzerinden birleşmektedir. Böylece hem paralel şarj yapılması hem de sadece ön elektrik motoruyla sürüş ve gerikazanımlı frenleme yapmak mümkün olmaktadır (Şekil 5.5).

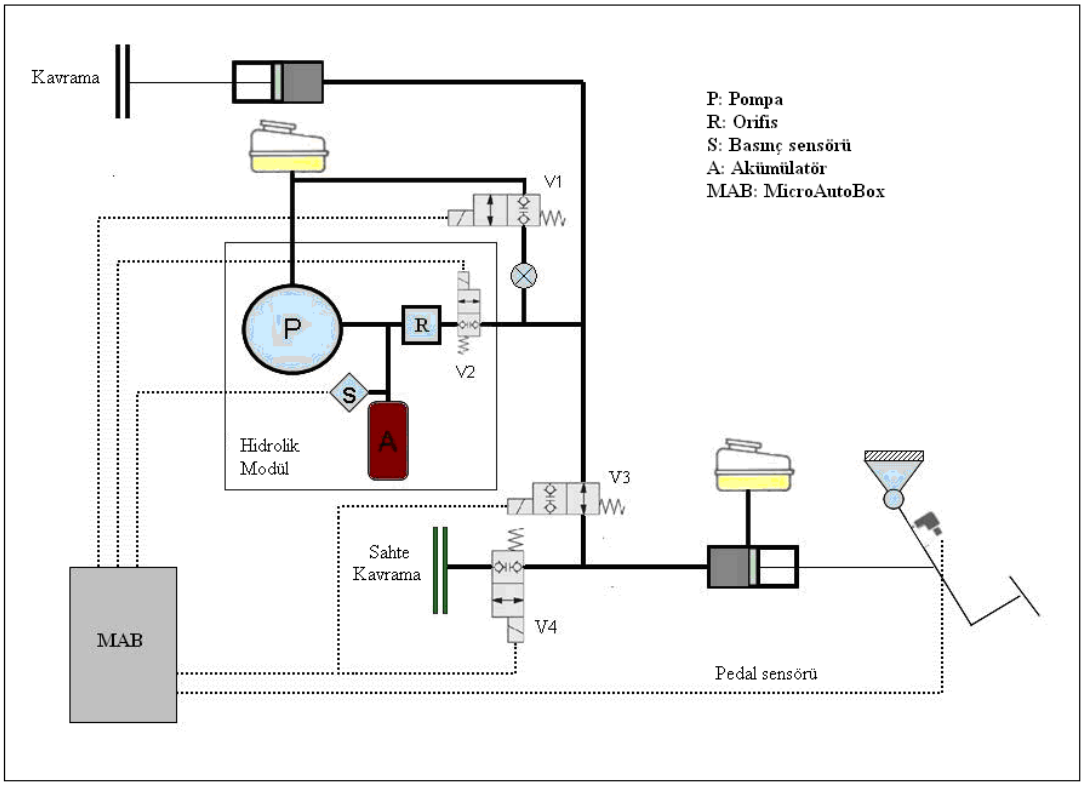


Şekil 5.5 : Yeni şanzıman diferansiyel sistemi

5.3 Elektromekanik Kavrama Entegrasyonu

Baz aracın şanzıman sistemi manuel olduğu için sadece elektrik motorlarıyla sessiz sürüş sırasında motorun kapatılması vitesin boşa alınamaması nedeniyle mümkün olamamaktadır. Bu sebeple araçta elektromekanik kavrama sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen kavrama sistemi (Şekil 5.6) aracın üzerinde bulunan kavrama sistemine ilaveten bir sahte kavramaya ve hidrolik pompası ile hidrolik kontrol valflerine sahiptir. Gerçek kavramanın kontrolü üç yollu bir valf aracılığıyla sürücüye verilmekte veya sürücünün kontrolünden çıkarılmaktadır. Gerçek kavramanın kontrolü sürücüden alındığında sürücü debriyaj pedalı ile sahte kavramayı kontrol

etmektedir böylece debriyaj pedalı hissiyatı kaybedilmemiş olur. Bu esnada melez kontrolör hidrolik pompasının akümülatörde oluşturduğu yüksek basınçlı hidrolik ile kavramayı ayırabilmekte veya basınç tahliye valfi ile yüksek basınçlı hidrolik rezervuara tahliye edilerek kavrama birleştirilebilmektedir.

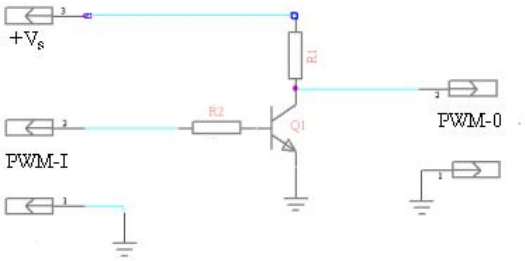


Şekil 5.6 : Elektromekanik kavrama sistemi

5.4 Gaz Pedalı Modifikasyonu

Baz aracın normal çalışma durumunda, gaz pedalının sensöründen çıkan analog ve dijital gaz pedal pozisyonu bilgisi elektronik kontrol birimi tarafından işlenerek aracın hız ve güvenlik durumları da göz önüne alınarak bir tork referansı değerine dönüştürülür. Dijital çıkışta işaret darbe genişlik modülasyonu kullanılarak iletilir. Sensörün iki ayrı şekilde gaz sinyali yollaması güvenlik amaçlıdır. Oluşturulan referans tork değerini üretmek için gerekli kontrol işaretleri kontrolör tarafından motora uygulanır. Melez araçta içten yanmalı motor istenilen tork değerinde çalıştırılabilmek için gaz pedal sensörü ile elektronik kontrol birimi arasındaki bağlantı kesilmiştir. Melez araçta gaz pedal sensörünün ürettiği analog ve dijital gerilim dSPACE MicroAutoBox marka melez kontrolör tarafından okunup, elektrik motorları ve içten yanmalı motor arasındaki gerekli güç dağıtımı hesaplanır ve içten

yanmalı motor tarafından üretilmesi istenen tork değerinin gerilim karşılığı bulunarak elektronik kontrol biriminin ilgili girişlerine uygulanır. Yalnız melez kontrolörün dijital çıkışları ile aracın elektronik kontrol birimi dijital girişleri arasında gerilim seviyesi uyuşmazlığı olduğu için bir aradevre kullanılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 : Gaz pedalı ara devresi

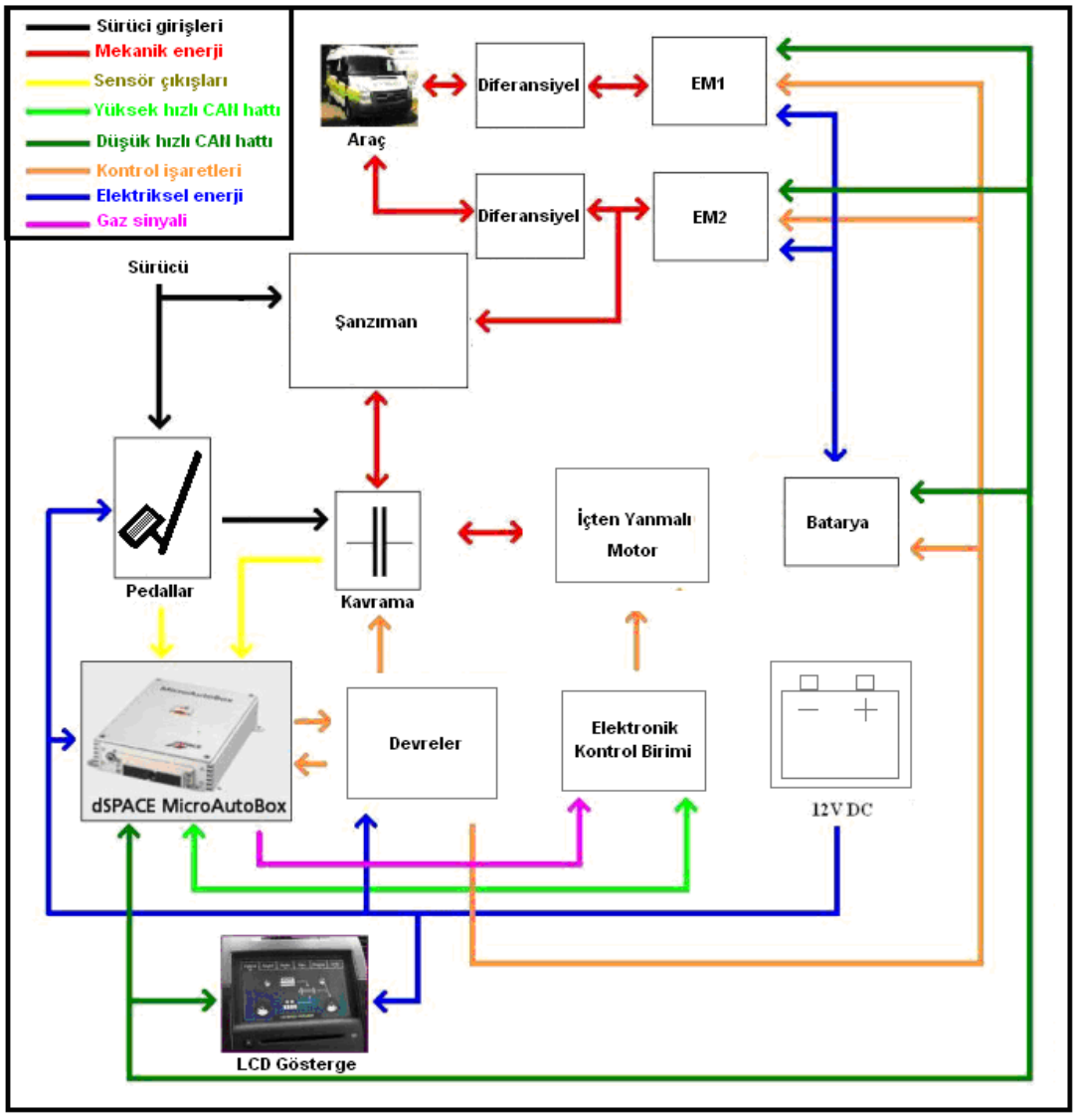
5.5 Kontrol Sistem Entegrasyonu

Baz aracın üzerinde bulunan elektronik kontrol birimi ile aracın melez bileşenlerini kontrol etmede kullanılan melez kontrolör birbirleri ile CAN protokolü ile seri olarak haberleşmektedir. Elektrik motorlarının ve bataryanın sürücüsüyle melez kontrolör yine CAN hattı üzerinden haberleşmektedir. Melez kontrolör araç hızı, tekerlek hızları, içten yanmalı motor hızı, kontak anahtarı pozisyon bilgisi gibi verileri aracın elektronik kontrol biriminden CAN haberleşmesi aracılığı ile edinir. Elektrik motorlarının komuta edilmesi de yine CAN haberleşmesi ile gerçekleşir. LCD gösterge ile haberleşme de CAN hattı üzerinden yapılmaktadır (Şekil 5.8 ve Şekil 5.9).

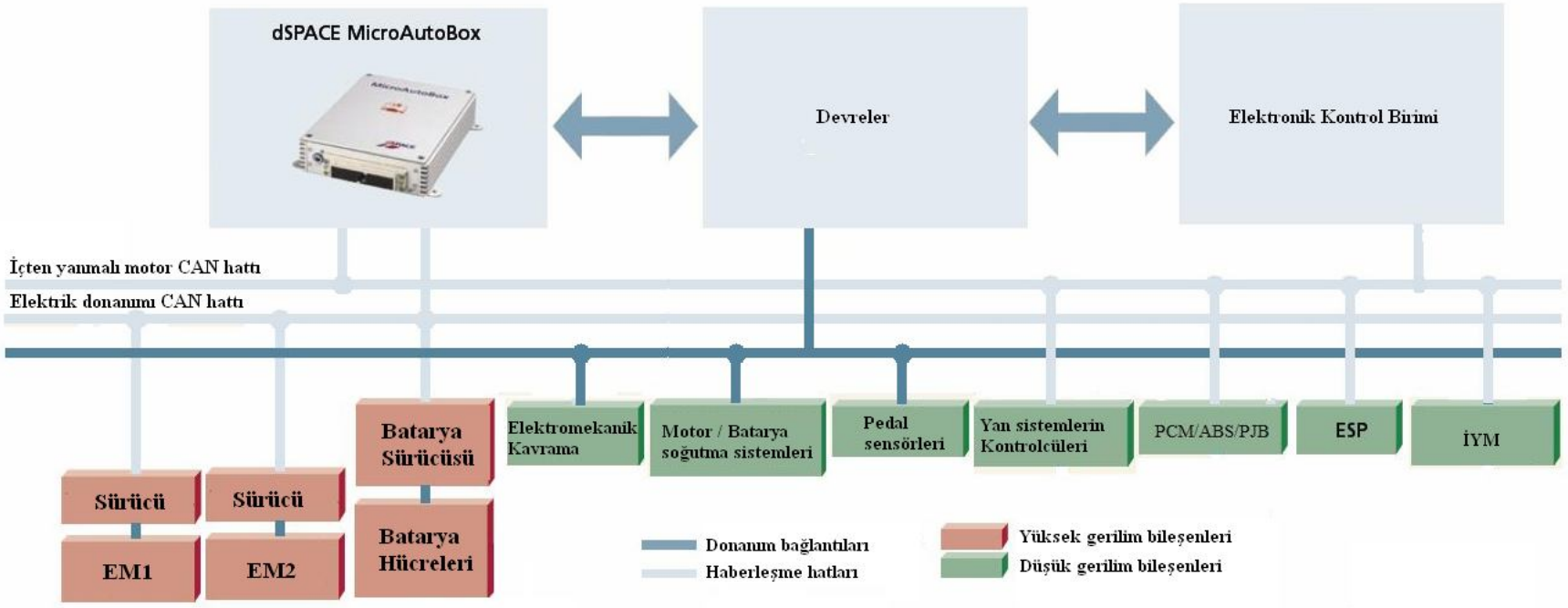
Aracın gaz pedal sinyali, vites sensörü ve debriyaj, fren pedallarına yerleştirilen konum sensörlerinin ürettikleri analog işaretler melez kontrolör tarafından okunmaktadır. Böylece sürücü girişleri melez kontrolör tarafından kullanılabilir hale gelir. Melez kontrolörde bulunan kontrol yazılımı ile sürücüden gelen güç talebi içten yanmalı motor ve elektrik motorları arasında paylaştırılıp içten yanmalı motorun üretmesi gereken torka tekabül eden gerilim değeri aracın elektronik kontrol biriminin ilgili girişlerine uygulanır.

Elektromekanik kavrama sistemini kontrol eden valfler ile elektrik motorlarının ve bataryanın sürücülerinin beslemelerini kontrol eden röleler melez kontrolörün dijital çıkışları ile komuta edilir. Röleleri sürmede melez kontrolörlerin dijital çıkışları

yeterli akımı sağlayamadığı için yine aradevreler kullanılmıştır. Elektrik motorlarının ve bataryanın oluşturdukları hata sinyalleri sürücü beslemeleri kesildiğinde silindiğinden, melez kontrolörün herhangi bir hata durumunda sistem kapanmadan önce varolan hatayı kaydetmesini sağlamak amacıyla bir aradevre hazırlanmıştır. Bu devre sayesinde sistem açıldıktan sonra melez kontrolör çalışmaya başlamaktadır ve melez kontrolör bir kez çalışmaya başladıktan sonra melez kontrolörün ilgili çıkışı sıfırlanmadan sistem kapansa bile melez kontrolör çalışmaya devam etmektedir. Böylece hata kaydı yapılması mümkün olur.



Şekil 5.8 : FOHEV II melez tahrik sistemi donanımı

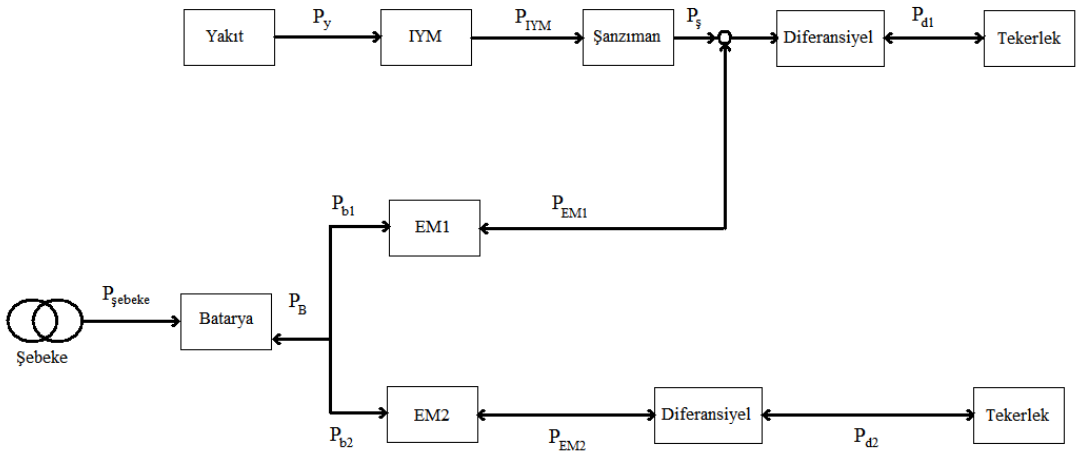


Şekil 5.9 : Melez kontrol sistemi bağlantı şeması

6. MELEZ ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİNİN OPTİMİZASYONU

Melez elektrikli bir araçta güç aktarma organları ve elektrik donanımı hem enerji akışı hem de enerji depolama için birden fazla seçeneğin oluşmasını sağlar. Yakıt ekonomisi sağlamak, aracın hızlanma, tırmanma gibi performans özelliklerini arttırmak ve aynı zamanda düşük emisyon değerlerinin yakalanabilmesi doğru zamanda doğru enerji akış kombinasyonunun seçilmesi ve sistemin tüm eyleyicilerinin en uygun değerlerle çalıştırılmaları ile mümkün olabilmektedir. Melez elektrikli araçların güç yönetimi algoritmaları tüm bu en iyileme kriterlerine uygun hareket ederken aynı zamanda sürüş konforundan ve güvenlikten ödün vermemelidir.

En genel haliyle melez araçlara ilişkin enerji akış şeması Şekil 6.1'de gözükmektedir. Bu şekilde P_y, tüketilen yakıtın güç karşılığını, P_{IYM}, içten yanmalı motorun ürettiği mekanik gücü, $P_ş$, şanzıman çıkışındaki gücü,. P_B, bataryanın ürettiği elektrik gücünü, P_{b1}, birinci elektrik motoruna aktarılan elektrik gücünü, P_{b2}, ikinci elektrik motoruna aktarılan elektrik gücünü, P_{EM1} ve P_{EM2} sırasıyla birinci ve ikinci elektrik motorlarının ürettikleri mekanik gücü, P_{d1} ve P_{d2} de sırasıyla ön ve arka akslara aktarılan tahrik güçlerini, $P_{şebeke}$ aracı şarj etmek için elektrik şebekesinden çekilen gücü temsil etmektedir. Bu sistemde içten yanmalı motorda sadece tek yönlü enerji akışı mümkün iken elektrik motorları hem generatör hem de motor olarak çalıştırılabildikleri için elektrik motorları üzerinden enerji akışı çift yönlü olabilmektedir. $P_{şebeke} \neq 0$ olduğu durumlar şarjlı melez araçları oluşturur. Şarjlı melez araçlarda hem şebekeden çekilen elekrik enerjisi hem de fosil kaynaklı yakıtın yakılması ile elde edilen enerji birincil enerji kaynakları olarak kullanılmaktadır. $P_{şebeke} \equiv 0$ olduğu şarjsız melez araçlarda ise birincil enerji kaynağı fosil kaynaklı yakıttır. Bu araçlarda elektrik enerjisi fosil yakıt kullanılarak elde edilir ve daha sonra kullanılır. Şekil 6.1'de gözüken sistem bir paralel melez araç mimarisidir ama $P_{d1} \equiv 0$ seçilerek bir seri melez araç mimarisi elde etmek de mümkündür.



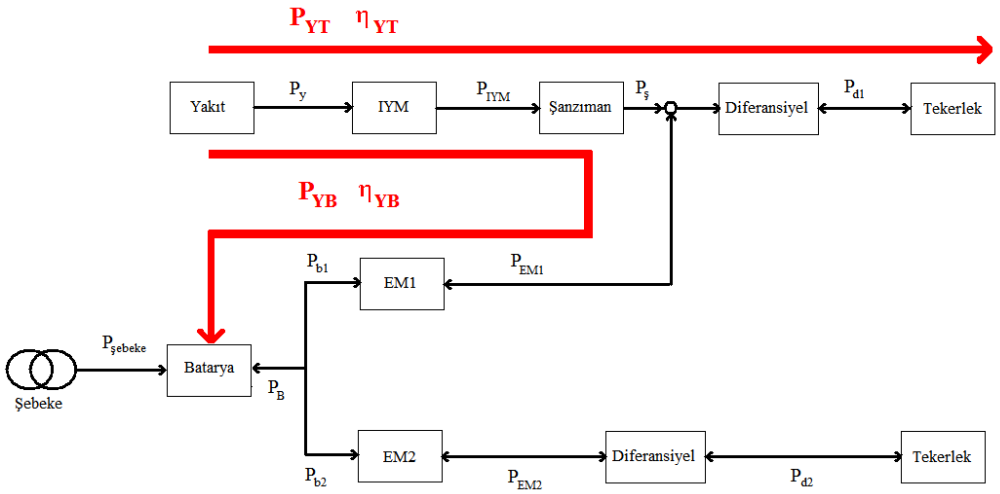
Şekil 6.1 : FOHEV II enerji akış diyagramı

6.1 Çalışma Modları

Şekil 6.1'de gösterilen FOHEV II melez araç mimarisi paralel melez araç olarak kullanıldığında dört çalışma modunda çalışılmasını mümkün kılmaktadır. Bu çalışma modları paralel şarj, asist, sessiz sürüş modları ile geri kazanımlı frenleme modudur.

6.1.1 Paralel Şarj Modu

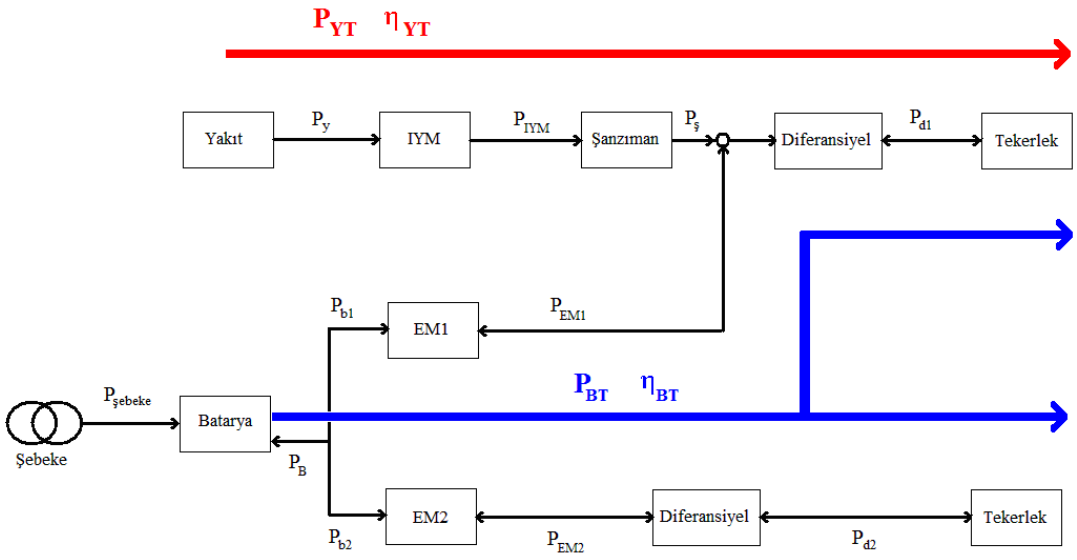
Bu modda içten yanmalı motorun enerjisinin bir kısmı aracı tahrik etmede kullanılıp diğer bir kısmı ile de aynı anda birinci elektrik motoru aracılığıyla batarya şarj edilmektedir. İçten yanmalı motorun sürücünün güç talebinden daha fazla güç üretmesi içten yanmalı motorun daha verimli çalışmasını sağlamakta ve yakıt ekonomisi sağlamaktadır. Şekil 6.2'de bu moda ilişkin enerji akışı gösterilmektedir.



Şekil 6.2 : Paralel şarj modu enerji akışı

6.1.2 Asist Modu

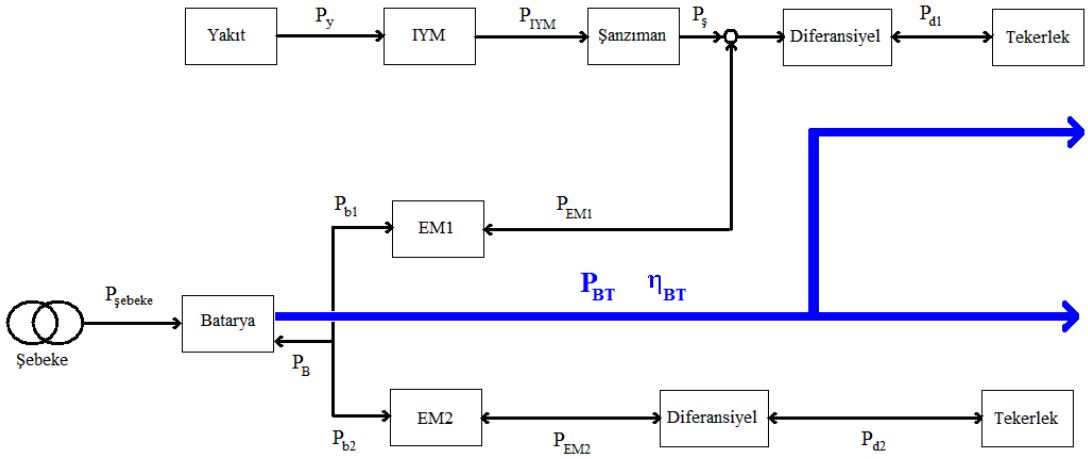
Bu modda içten yanmalı motor ve elektrik motorları birlikte aracı tahrik etmede kullanılmakta ve bu sayede sadece içten yanmalı motor ile ulaşılamayan hızlanma ve yokuş tırmanma performans değerlerine ulaşılmaktadır. Şekil 6.3'de bu moda ilişkin enerji akışı gösterilmektedir.



Şekil 6.3 : Asist modu enerji akışı

6.1.3 Sessiz Sürüş Modu

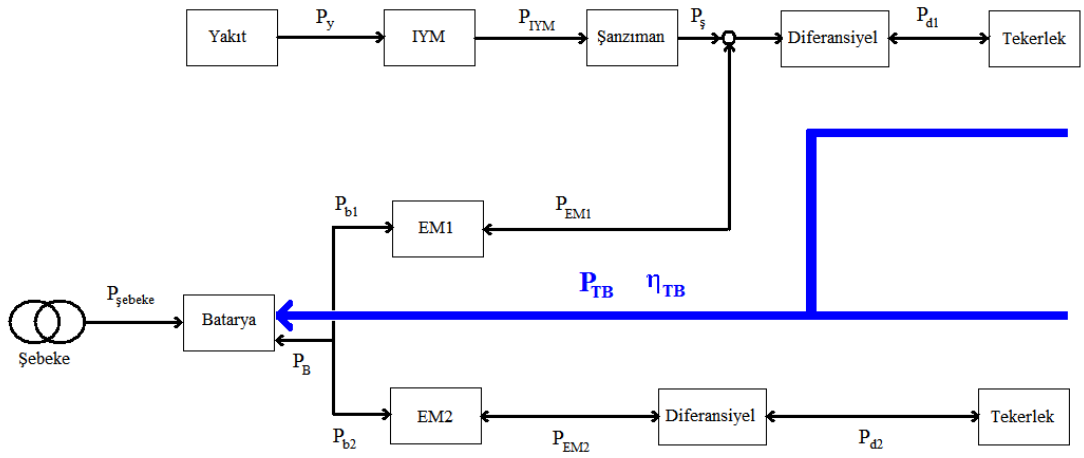
Bu modda içten yanmalı motor kapatılarak sadece elektrik motorları ile araç tahrik edilmektedir. Bu sayede sıfır gaz salınımı ile sürüş mümkün olmaktadır. Şekil 6.4'de bu moda ilişkin enerji akışı gösterilmektedir.



Şekil 6.4 : Sessiz mod enerji akışı

6.1.4 Gerikazanımlı Frenleme Modu

Bu modda aracın kinetik enerjisi frenleme sırasında fren balatalarında ısıya dönüştürülüp kaybedilmek yerine elektrik motorları generatör olarak kullanılarak bataryada depolanmaktadır. Bu depolanan enerji ilerde aracı tahrik etmede kullanılacağından yakıt ekonomisi sağlamaktadır. Şekil 6.5'de bu moda ilişkin enerji akışı gösterilmektedir.



Şekil 6.5 : Gerikazanımlı frenleme modu enerji akışı

6.2 Optimizasyon Problemi Performans İndeksi

Melez araçların kontrolü probleminde yakıt tüketimi ile emisyon minimize edilmeye çalışılırken bataryanın şarj seviyesinin korunması ve yolcu konforunun da kaybedilmemesi istenir. **(6.1)** ve **(6.2)**'de T sürelik bir yolculuk esnasında yakıt tüketimi ve emisyon için oluşturulabilecek performans indeksleri gözükmektedir.

$$J_y = \int_0^T \dot{m}_y(t,u(t))dt \qquad \textbf{(6.1)}$$

Burada sistemdeki eylecilerin yani içten yanmalı motorun ve elektrik motorlarının ürettikleri kuvvetler kontrol edilecek değişkenleri oluşturmaktadır ve $u(t)$ ile gösterilmektedir. Anlık yakıt tüketimi gr cinsinden toplam yakıt miktarı m_y'nin türevi ile ifade edilmektedir. m_y kontrol değişkenlerinin ve zamanın bir fonksiyonudur. Anlık yakıt tüketiminin tüm yolculuk süresi boyunca integrali

performans indeksinin yakıt tüketimini enazlamak için kullanılan terimi J_y'yi oluşturur.

$$J_s = \int_0^T m_g(t,u(t))dt \qquad \textbf{(6.2)}$$

Anlık gaz salınım miktarı m_g gr cinsinden kontrol değişkenlerinin ve zamanın bir fonksiyonudur. Anlık gaz salınımının tüm yolculuk süresi boyunca integrali performans indeksinin zehirli gaz salınımını enazlamak için kullanılan terimi J_s'yi oluşturur.

Batarya şarj seviyesi ζ sembolü ile gösterilmiştir. ζ bataryada bulunan anlık elektrik yükü miktarının bataryanın tüm kapasitesine oranıdır.

$$\zeta(t) = \frac{q(t)}{Q} = \frac{q(0) + \int_0^t I(\tau)d\tau}{Q} \qquad \textbf{(6.3)}$$

Burada Q coulomb cinsinden batarya kapasitesini, $I(t)$ t anındaki batarya akımını, $q(t)$ anlık batarya yükünü ifade eder. Bataryanın şarj seviyesinin belli değerlerin içinde kalması, optimizasyon problemi açısından önemlidir çünkü bataryaların verimleri şarj seviyelerinin bir fonksiyonundur ve ancak belli şarj seviyelerinde bu verim maksimum olur. Çalışma bölgesi olarak bataryanın veriminin maksimum olduğu şarj seviyesi değerinin civarında çalışmak yakıt ekonomisini arttırmaktadır. Bunun yanında bataryanın sağlıklı kullanılabilmesi açısından da bataryanın şarj seviyesi korunumu önemlidir. Bataryanın aşırı boşaltılması bataryanın kapasitesinin geridönüşü olmayacak şekilde azalmasına, bataryanın aşırı şarj edilmesi de bataryanın oluşacak fazla ısı nedeniyle fiziksel hasar görmesine neden olur.

Aracın sürüş çevrimi başlangıcında şarj seviyesinin uygun bir değerde olduğu varsayımı altında sürüş sonunda şarj seviyesi değişiminin olabildiğince az olması, mümkünse hiç olmaması istenir. Bu yüzden optimizasyon probleminde performans indeksinde şarj değerinin kendisi değil sürüş başında ve sonunda aldığı değerlerin farkı performans indeksinde kullanılır. T sürelik şürüş esnasında şarj değişimi

$$\Delta\zeta = \zeta(T) - \zeta(0) = \frac{q(0) + \int_0^T I(\tau)d\tau}{Q} - \frac{q(0)}{Q} = \frac{\int_0^T I(\tau)d\tau}{Q} \quad \textbf{(6.4)}$$

Şeklinde ifade edilebilir. Performans indeksine batarya şarj seviyesini korumak için eklenecek terim J_ϕ şarj seviyesi değişiminin bir fonksiyonu olmalıdır (6.5).

$$J_\phi = \phi(\Delta\zeta) \quad \textbf{(6.5)}$$

$\phi(\Delta\zeta)$ şeklinde gösterilen bu fonksiyon için çeşitli alternatifler bulunabilir. Denklem 6.6'da olduğu gibi şarj değişimi negatif bir ağırlıklandırmayla lineer bir şekilde cezalandırılabilir bu durumda bataryanın şarjı ödüllendirilmiş deşarjı da cezalandırılmış olur. Batarya seviyesi korunmak isteniyorsa **(6.7)** ve **(6.9)**'da olduğu gibi lineer veya karesel olarak hem şarj hem de deşarj cezalandırılabilir. Hem şarjı hem de deşarjı cezalandırmak için aynı ω ağırlığı kullanılabilceği gibi **(6.8)**'de olduğu gibi şarj için ayrı deşarj için ayrı ağırlıklar da kullanılabilir.

$$\phi(\Delta\zeta) = -\omega\Delta\zeta \quad \textbf{(6.6)}$$

$$\phi(\Delta\zeta) = \omega|\Delta\zeta| \quad \textbf{(6.7)}$$

$$\phi(\Delta\zeta) = \begin{cases} \omega_{şarj}\Delta\zeta, \Delta\zeta > 0 \\ \omega_{deşarj}\Delta\zeta, \Delta\zeta < 0 \end{cases} \quad \textbf{(6.8)}$$

$$\phi(\Delta\zeta) = \omega\Delta\zeta^2 \quad \textbf{(6.9)}$$

Optimizasyon probleminin performans indeksine eklenebilecek bir diğer terim ile de yolculuk konforunu arttırmak amaçlanabilir. Kontrol değişkenlerinin türevinin anlık mutlak değerlerinin tüm sürüş boyunca integrali performans indeksine eklenirse kontrol değişkenlerindeki hızlı değişimlerin azaltılması ve yolculuk konforunun arttırımı sağlanabilmektedir **(6.10).**

$$J_k = \int_0^T |\dot{u}(t)|\,dt \quad \textbf{(6.10)}$$

Burada J_k performans indeksine konforu arttırmak için eklenen terimi ifade etmektedir. Bahsi geçen tüm terimlerin keyfi ağırlıklandırılmış toplamı optimal kontrol probleminin performans indeksini oluşturur **(6.11).**

$$J = \alpha J_y + \beta J_s + \gamma J_k + \theta J_\phi, 0 \le \alpha, \beta, \gamma, \theta \le 1 \quad \textbf{(6.11)}$$

6.3 Kısıtlar

Sistemdeki eyleyicilerin üretebilecekleri güç değerleri sınırlı olduğundan üretilecek kontrol işaretlerinin bu sınırlar dahilinde olmaları gerekmektedir.

$$\underline{u}(t) \le u(t) \le \overline{u}(t) \quad \textbf{(6.12)}$$

Burada, $\underline{u}(t)$ kontrol işaretlerinin alabileceği minimum değeri, $\overline{u}(t)$ alabilecekleri maksimum değeri ifade eden fonksiyonlardır.

Bataryanın şarj seviyesinin $\underline{\zeta}$ alt limiti ile $\overline{\zeta}$ üst limiti değerleri arasında kalması gereklidir.

$$\underline{\zeta} \le \zeta(t) \le \overline{\zeta} \quad \textbf{(6.13)}$$

Melez aracın çalışma modundan bağımsız olarak sürücünün talep ettiği güç miktarının sağlanması gerekmektedir. Optimallik göz önüne alınarak sürücünün talep ettiğinden az veya fazla güç oluşturulması sürüş hissiyatını bozacaktır **(6.14).**

$$P(t) = P'(t) \equiv f(t, u(t), V(t)) \quad \textbf{(6.14)}$$

Burada $P(t)$ sürücünün güç talebini, $P'(t)$ üretilen güç miktarını, $V(t)$ araç hızını ifade etmektedir. Araçta üretilen güç miktarı aracın hızının ve kontrol değişkenlerinin bir fonksiyonudur ve her zaman için sürücünün güç talebine eşit olmak zorundadır.

Yakıt tüketimi gözetilerek aracın modellenmesinde çoğunlukla statik modeller kullanıldığında sadece iki dinamik kısıt oluşmaktadır. Bunlar aracın iki durumu olan batarya şarj seviyesi ve araç hızıdır **(6.15)**, **(6.16)** .

$$\dot{\zeta}(t) = g(t, u(t), \zeta(t)) \quad \textbf{(6.15)}$$

$$\dot{V}(t) = h(t, u(t), V(t)) \quad \textbf{(6.16)}$$

6.4 Melez Araç Kontrolünde Kullanılan Yöntemler

Melez araçlarda yakıt optimizasyonu için pek çok yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemleri kullandıkları bilgi gereksinimine göre üç sınıfta toplayabiliriz.

Bunları ilki geçmiş, şu anki ve gelecek verileri kullanan algoritmalardır [13]. Dinamik programlama ve eşdeğer yakıt tüketimi algoritmaları bu algoritmalara örnek gösterilebilir. Global minimumu bulan bu algoritmalar sonlu bir geleceğe ait tüm hızlanma verilerine gereksinim duymaktadır. Ayrıca bu hızlanma değerinin zamana göre değil konuma göre ifade edilmesi gerekmektedir. Bu haliyle bu algoritmalar gerçek zamanlı uygulamalar için uygun olmamaktadır. Fakat belli bir güzergahta belli bir çevrimi sürekli aynı şekilde giden araçlarda kullanılabilirler. Ayrıca 'offline' olarak kullanıldıklarında geliştirilen gerçek zamanlı çalışabilecek diğer algoritmalarının başarımını test etmede ve melez araç mimarilerininin yakıt ekonomisi potansiyellerini karşılaştırmada referans olarak kullanılabilirler.

Melez araçlarda kullanılan bir diğer algoritma grubu geçmişteki ve şimdiki verileri kullanan algoritmalardır. Yakın geleceğe ait verileri öngörü yaparak elde eden model öngörücülü kontrol yöntemleri kullanan algoritmalar [14] ve gelecekteki belirsizlikleri bazı parametrelerdeki belirsizliklere indirgeyip bu parametreleri güncelleyen uyarlamalı algoritmalar bu sınıftadır [15] [16].

Melez araçlarda belli bir çevrime göre üretilen kurallara göre anlık zamanla değişmeyen algoritmalar da kullanılmıştır ama bu algoritmalar çevrime özgü olmakla beraber farklı çevrimlerde optimal olmayan sonuçlar vermektedir [17] [18] [19] [20].

6.5 MOES Algoritması

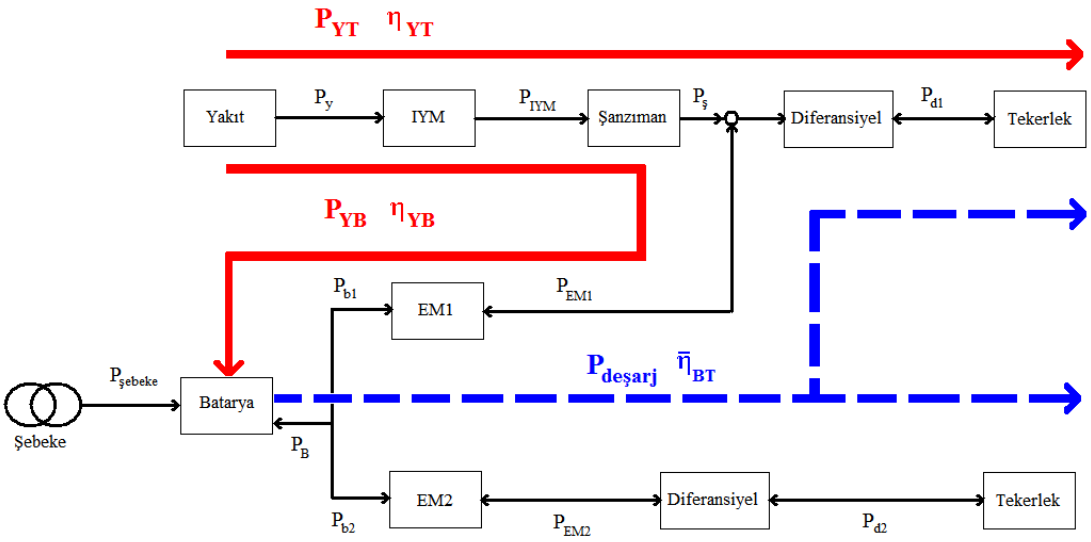
Ford ikinci melez elektrikli araç projesi (FOHEV-II) kapsamında oluşturulan güç yönetimi algoritmasına "genel verimi en iyileştirme stratejisi" anlamında MOES adı verilmiştir. Bu algoritmayı diğer benzerlerinden ayıran özellik performans indeksinde batarya için belli bir şarj seviyesinden sapmayı cezalandırmak yerine

bataryadaki şarj değişimini cezalandırmaktır. Bu algoritmada, anlık yapılan bir işlem batarya şarj seviyesinde x birimlik bir değişime sebep oluyorsa gelecekte bu x birimlik değişimi geri alırken ne kadar daha kayıp yapılacağı göz önüne alınmaktadır. Gelecekte yapılacak kayıplar ortalama verimler kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu haliyle MOES algoritması kontrol değişkenlerini belirlerken batarya şarj seviyesi korunumunu gözönüne almaz. Şarj seviyesi korunumu modlar arası geçişleri kontrol eden bir üst seviye kontrolöre bırakılmıştır. MOES algoritmasında geleceğe ilişkin belirsizlik benzer eşdeğer değer yakıt tüketimi algoritmalarından farklı olarak bir yerine üç parametredeki belirsizliğe indirgenmiştir. Bu parametreler ortalama şarj verimi, ortalama deşarj verimi ve gerikazanımlı frenleme oranıdır. Optimal kontrol girişleri kontrolörün bellek ve işlem kısıtları yüzünden 'offline' olarak önceden hesaplanıp tablolar olarak kullanılmaktadır. Bu tablolar oluşturulurken sabit kabul edilen edilen parametreler belli bir çevrime göre optimize edilip hesaplar bu çevrime göre yapılmaktadır. Bu haliyle MOES algoritması çevrime özgü bir algoritma olup farklı çevrimlerde optimal olmayan sonuçlar üretebilmektedir [21].

İlk haliyle bu algoritmada sürücüden gelen anlık tork isteğini karşılayabilecek tüm olası seçenekler içinde sistemin genel verimini maksimum kılacak seçenek eyleyicilerin üretecekleri tork değerlerini belirlemiştir.

Sessiz sürüş modunda taşıtı sürmek için yalnız elektrik motorları kullanılırken paralel şarj modunda içten yanmalı motor hem aracın sürülmesinde hem de bataryanın şarj edilmesinde kullanılmıştır. Melez aracın her iki çalışma modu için de genel verimi hesaplamak için yakıt deposundan tekerlere olan nihai enerji akışı bataryadaki şarj seviyesini sabit tutacak şekilde sanal bir enerji akışı ile tamamlanmıştır. Böylece genel verimi, anlık kayıpları ve batarya şarj seviyesindeki değişimi gelecekte geri alırken yapılacak kayıpları da enazlayarak, arttırma yoluna gidilmiştir **(6.17)** , **(6.20).** Sanal yollara ait verimler bu yollara ait n adet eski verim değerinin bu yollardan akan güç miktarı ile ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmıştır **(6.18)**, **(6.21).** Bu denklemlerde Δt örnekleme periyodunu belirtirken, t_f hesaplama anını ifade etmektedir. Deşarj esnasında, ortalama şarj verimi hesaplanırken $\frac{1}{1-R_{GKF}}$ ile bir ağırlıklandırma yapılmıştır. R_{GKF} gerikazanımlı frenleme oranını ifade etmektedir. Bu oran bataryada bulunan toplam enerjinin yüzde

kaçının gerikazanımlı frenleme ile elde edilmiş olduğunu verir. Gerikazanımlı frenleme ile elde edilen enerjinin bedava olduğu yani yakıt tüketimi karşılığı olmadığı düşünüldüğünden ortalama şarj veriminde gerikazanımlı frenleme oranı nispetinde büyütme yapılmıştır **(6.21)**. Optimum tork değerleri çözüm uzayı içindeki birbirlerinden eş uzaklıklı noktalar kümesi içinde arandıktan sonra en iyi değerler tablolaştırılarak algoritmada kullanılmıştır **(6.19)** ve **(6.22).**

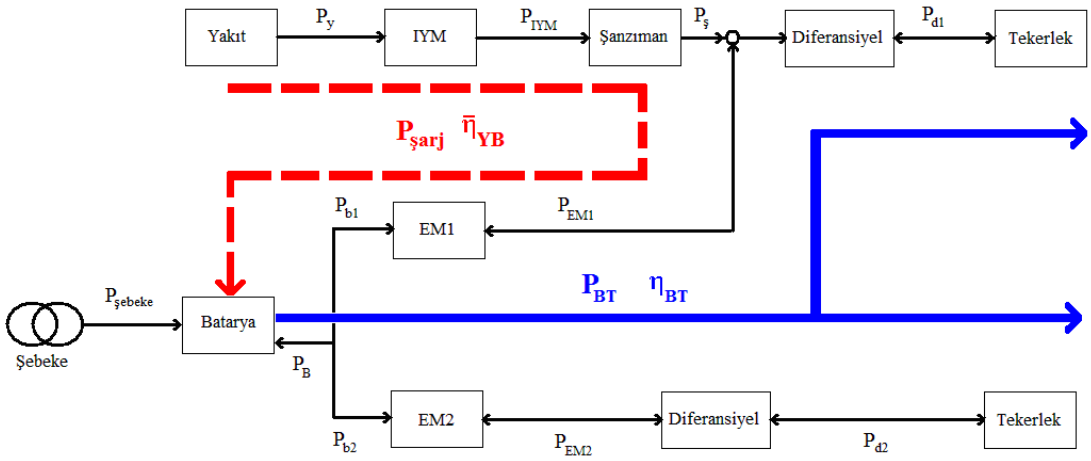


Şekil 6.6 : Şarj sırasında enerji akış diyagramı

$$\eta_{\text{paralelşarj}} = \frac{\text{Sürüş Gücü}}{\text{Yakıt Gücü}} = \frac{P_{deşarj}\bar{\eta}_{\text{BT}} + P_{YT}\eta_{YT}}{P_{YB} + P_{YT}} = \frac{P_{YB}\eta_{YB}\bar{\eta}_{\text{BT}} + P_{YT}\eta_{YT}}{P_{YB} + P_{YT}} \qquad \textbf{(6.17)}$$

$$\bar{\eta}_{\text{BT}} = \frac{\sum_{k=1}^{n} P_{BT}(t_f - k\Delta t)\eta_{BT}(t_f - k\Delta t)}{\sum_{k=1}^{n} P_{BT}(t_f - k\Delta t)} \qquad \textbf{(6.18)}$$

$$T_{EM1} = \arg\max_{T_{EM1}\in[T_{EM1\min}, T_{EM1maks}]}(\eta_{\text{paralelşarj}}) \qquad \textbf{(6.19)}$$



Şekil 6.7 : Deşarj sırasında enerji akışı

$$\eta_{\text{sessiz}} = \frac{\text{Sürüş Gücü}}{\text{Yakıt Gücü}} = \frac{P_{BT}\eta_{\text{BT}}}{P_{şarj}} = \frac{P_{şarj}\bar{\eta}_{\text{YB}}\eta_{\text{BT}}}{P_{şarj}} = \bar{\eta}_{\text{YB}}\eta_{\text{BT}} \qquad \textbf{(6.20)}$$

$$\bar{\eta}_{\text{YB}} = \frac{1}{(1-R_{GKF})} \frac{\sum_{k=1}^{n} P_{YB}(t_f - k\Delta t)\eta_{YB}(t_f - k\Delta t)}{\sum_{k=1}^{n} P_{YB}(t_f - k\Delta t)} \qquad \textbf{(6.21)}$$

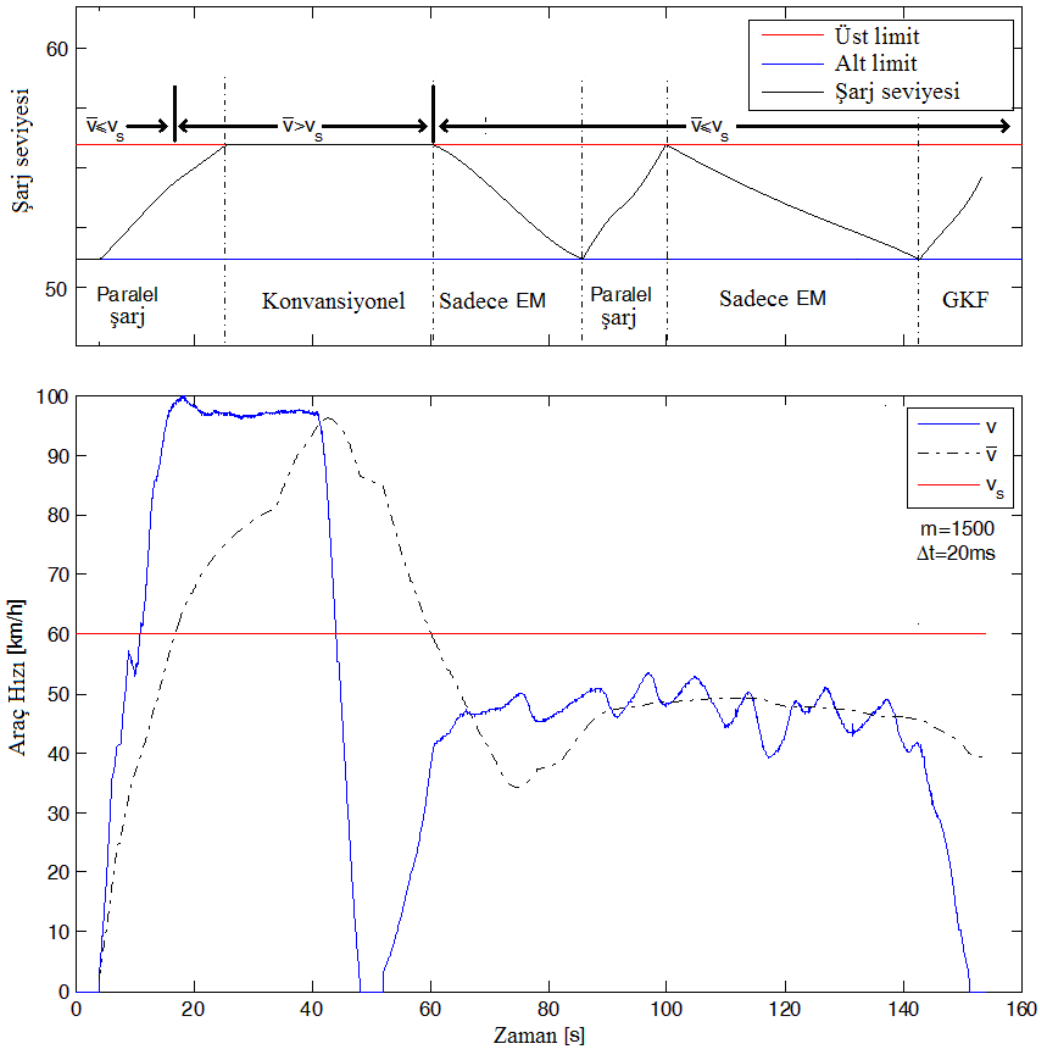
$$(T_{EM1}, T_{EM1}) = \arg\max_{T_{EM1}\in[T_{EM1\min}, T_{EM1maks}], T_{EM2}\in[T_{EM2\min}, T_{EM2maks}]} (\eta_{\text{sessiz}}) \qquad \textbf{(6.22)}$$

Bataryadaki şarj seviyesini belli limitler içinde tutacak kontrol algoritması sürüş konforunu arttırmak için modlar arası geçişi minimize edecek şekilde aç kapa kontrol mantığı ileçalışmaktadır. Fakat belli bir hız değerinin üzerinde elektrik motorları ile gitmek çok verimsiz olduğundan üst seviye şarj seviyesi kontrolörü ortlama hız belli bir değerin üzerindeyken deşarj yapılmasına izin vermemektedir. Aracın çalışması sırasında aracın ortalama hızı $\bar{v}$ önceden belirlenmiş belirli bir v_s hızının altındaysa şarj seviyesi alt limite ulaşırsa batarya grubu şarj seviyesi üst limite ulaşıncaya kadar şarj edilir eğer üst limite ulaşılmışsa batarya grubu alt şarj limitine kadar deşarj edilir. Eğer ortalama hız limit değer olan v_s'in üzerindeyse batarya üst şarj limitine kadar şarj edilir ama üst limite ulaşıldıktan sonra ortalama hız tekrar v_s değerinin altına düşmeden batarya şarj veya deşarj edilmez (Şekil 6.8).

Ortalama araç hızı **(6.23)** kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\bar{V} = \frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m} V(t - k\Delta t) \qquad \textbf{(6.23)}$$

Bu denklemde m örnek sayısını, Δt, V araç hızı için örnekleme periyodunu ifade etmektedir.



Şekil 6.8 : Şarj seviyesi korunumu

6.6 MOES Algoritmasının Uyarlamalı Hale Getirilişi

MOES algoritmasında sürüş çevrimindeki belirsizlikler ortalama şarj ve deşarj verimleri ve alınabilecek gerikazanımlı frenleme enerjisi şeklinde üç değişkene indirgenmiştir. Optimal kontrol işaretleri tüm olası sürücü girişleri için önceden hesaplanıp tablolaştırılırken belirsizlikleri ifade eden değişkenler sabit kabul edilmiştir. Belli bir çevrime göre yakıt ekonomisini optimize edecek şekilde en

uygun değerlerde seçilen bu değişkenler nedeniyle optimizasyon algoritmasının başka sürüş çevrimlerinde kullanımı optimallikten uzaklaşmaya neden olabilmektedir. Bu değişkenlerin tüm olası değerleri için tablolar oluşturmak aşırı bellek gereksinimi oluşturacaktır. Tabloları oluştururken yapılan hesaplamaları gerçek zamanlı yapabilmek için sürü optimizasyonu adı verilen bir nümerik yöntemden faydalanılmıştır. Sürüş çevrimindeki belirsizleri ifade eden değişkenler yolculuk esnasında güncellemekte ve yeni aldıkları değerlere göre optimum kontrol işaretleri yeniden hesaplanmaktadır.

6.6.1 Sürü Optimizasyonu Algoritması

Sürü algoritması popülasyon temelli bir algoritma olduğu için yapısal olarak genetik algoritmaya benzemektedir. Sürüyü oluşturan bireyler doğada kuşların yem bulmada kullandıkları yöntemi taklit ederek çözüm uzayının içinde değişik yönlerde dolaşırlar. Sürü algoritması türev alınmasını gerektirmemesi, süreksizlik içeren sistemlerde de kullanılabilmesi ve konveks olmayan problemleri de çözebilmesiyle öne çıkmaktadır. Lokal minimumlardan kurtulabilme ve çok boyutlu problemlerde hızlı çözüm üretme gibi özelliklere sahiptir [22].

Algoritmanın kullanımında başlangıç olarak sürüyü oluşturan bireyler çözüm uzayı içinde rasgele konumlara atılmaktadır **(6.24).**

$$x_0^i = \underline{u}(t) + \lambda(\overline{u}(t) - \underline{u}(t)) \qquad \textbf{(6.24)}$$

Burada x_0^i i'inci bireyin başlagıç koordinatını belirtirken λ, 0 ile 1 değerleri arasında normal dağılıma sahip bir raslantı değişkenidir.

Bireylerin başlangıç hızları da benzer şekilde rasgele olarak atanmaktadır **(6.25).**

$$v_0^i = \frac{\underline{u}(t) + \lambda(\overline{u}(t) - \underline{u}(t))}{\Delta t} \qquad \textbf{(6.25)}$$

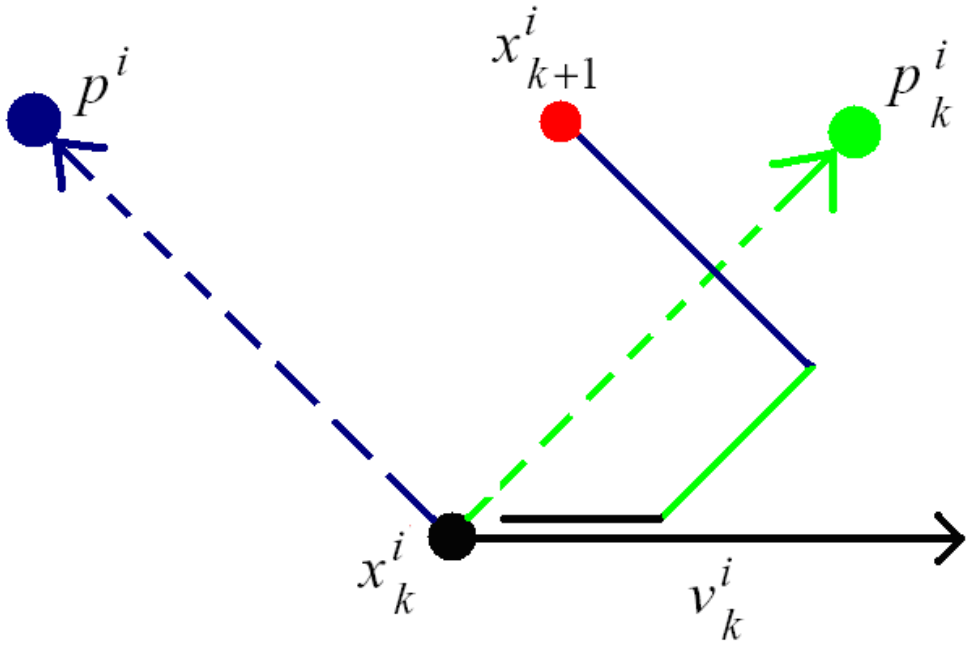
Burada v_0^i i'inci bireyin başlagıç hızını belirtirken λ, 0 ile 1 değerleri arasında normal dağılıma sahip bir raslantı değişkenidir.

Bireylerin hareketleri daha sonraki algoritma adımlarında hem bireyin kendi hareketine hem de sürü içerisindeki liderin hareketine bağlıdır. Bireyin hareket denklemi **(6.26)**'da verilmiştir.

$$v_{k+1}^{i} = W v_{k}^{i} + c_1 \frac{(p_{k}^{i} - x_{k}^{i})}{\Delta t} + c_2 \frac{(p^{i} - x_{k}^{i})}{\Delta t} \qquad \textbf{(6.26)}$$

Burada W bireyin eylemsizliği, p_k^i bireyin hareket geçmişinde bulduğu en optimum noktanın, p^i ise sürü liderinin bulduğu en optimum noktanın koordinatlarıdır.

x_k^i bireyin o an için bulunduğu noktadır. c_1 bireyin kendi özgüvenini, c_2 bireyin sürü liderine olan güvenini temsil etmede kullanılan ağırlıklardır. W ne kadar büyük seçilirse birey sahip olduğu hızı korumaya çalışacaktır. c_1 ve c_2 ağırlıklarının seçimine bağlı olarak bireyler ya daha çok sürü liderini takip etme ya da daha çok kendi başına tarama yapma eğiliminde olacaktır. Bu ağırlıklara bağlı olarak bireyin yaptığı hareket Şekil 6.9'da gösterilmektedir [23].



Şekil 6.9 : Sürü Algoritmasında Partikül Hareketi

Her algoritma adımında bireyler güncellenen hızları yönünde bir adım atarlar **(6.27).** Ve atılan her adım sonrası hızlar yeniden güncellenir. Algoritmanın işleyişi sırasında

herhangi bir birey liderin bulduğu değerden daha optimum bir değer bulursa sürüde lider konumuna yükselir.

$$x_{k+1}^{i} = x_{k}^{i} + v_{k+1}^{i}\Delta t \qquad \textbf{(6.27)}$$

Her algoritma adımı sonrası en optimum değerdeki iyileşme belli değerin altında kalırsa algoritma sonlandırılır **(6.28).**

$$\Delta\psi(p^{i}) < \varepsilon \qquad \textbf{(6.28)}$$

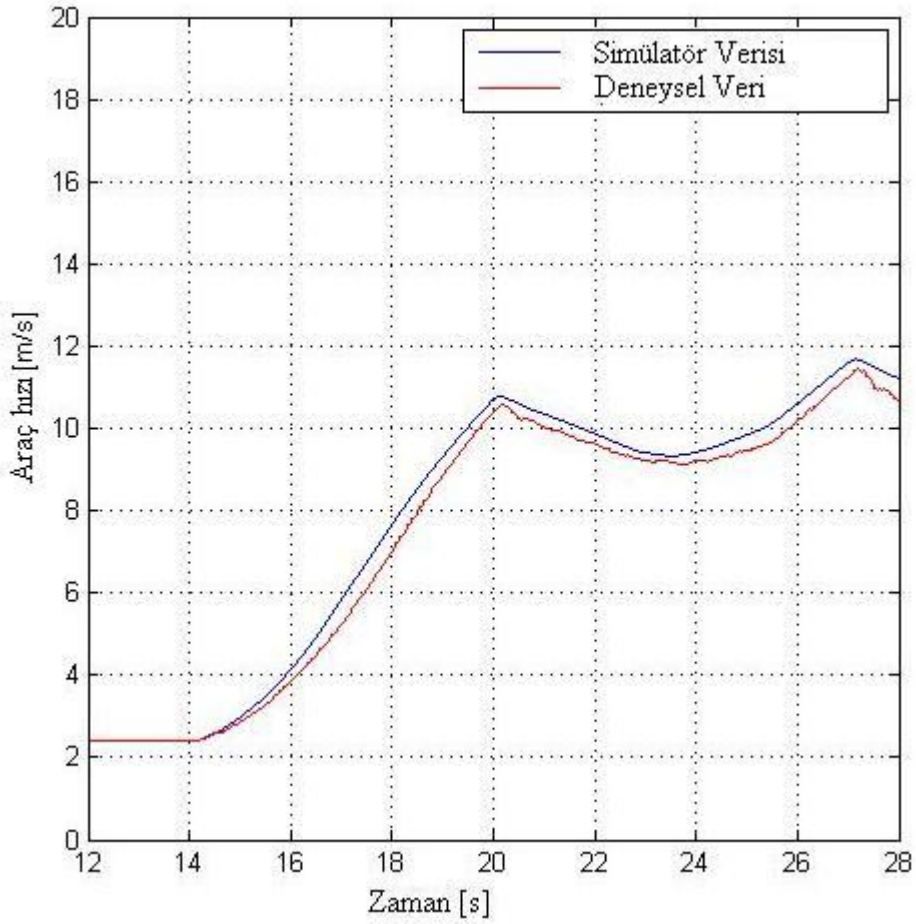
Burada $\Delta\psi(p^{i})$ sürü liderinin bulduğu optimum değerdeki iyileşmeyi ifade etmektedir. ψ performans indeksidir.

7. BENZETİM SONUÇLARI VE DENEYSEL VERİLER

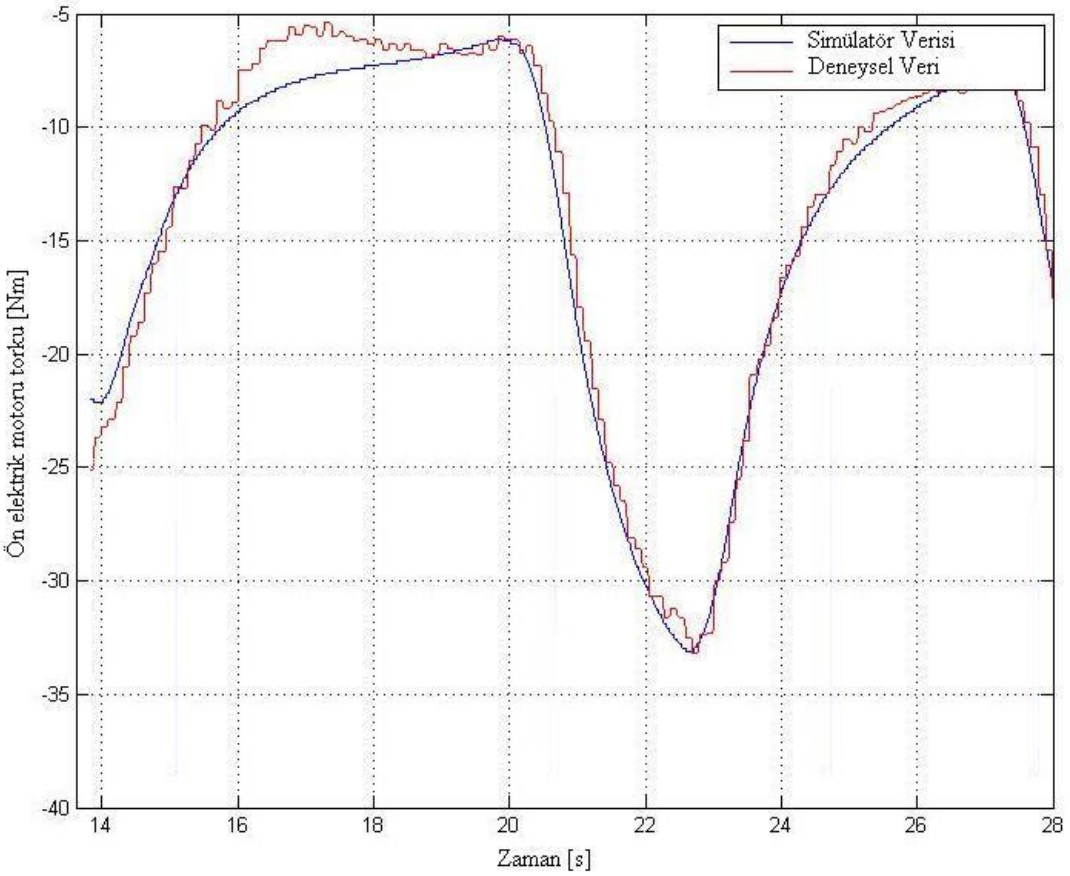
Algoritmanın işleyişiyle, araç performansı ve yakıt ekonomisi ile ilgili simülasyon ve deneyler yapılmıştır.

7.1 Simülatör Verileri ile Deneysel Verilerin Karşılaştırılması

Melez araç simülatörü ile elde edilen veriler, prototip melez araçtan elde edilen deneysel verilerle uyumludur. Aynı sürücü girişleri için hem melez araç için hem de simülatör için aracın hızlanma profilleri Şekil 7.1'de, ön elektrik motoru tarafından üretilen tork grafikleri Şekil 7.2'de gözükmektedir.



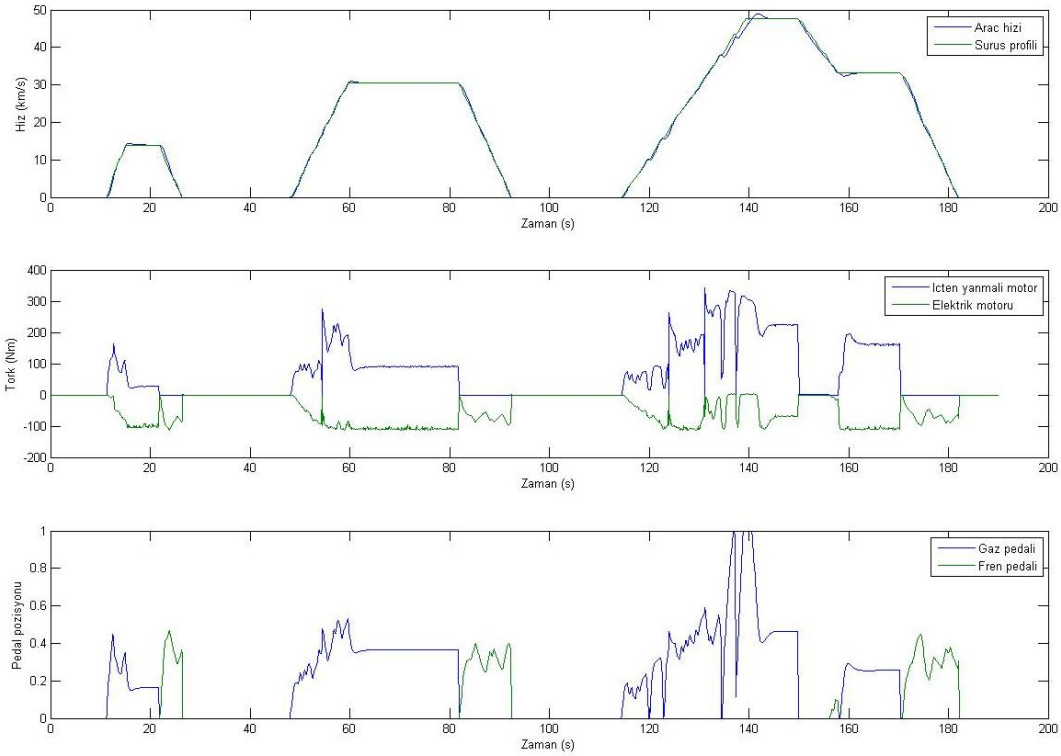
Şekil 7.1 : Araç hızı karşılaştırılması



Şekil 7.2 : Elektrik motoru torku karşılaştırılması

7.2 Algoritmanın İşleyişi

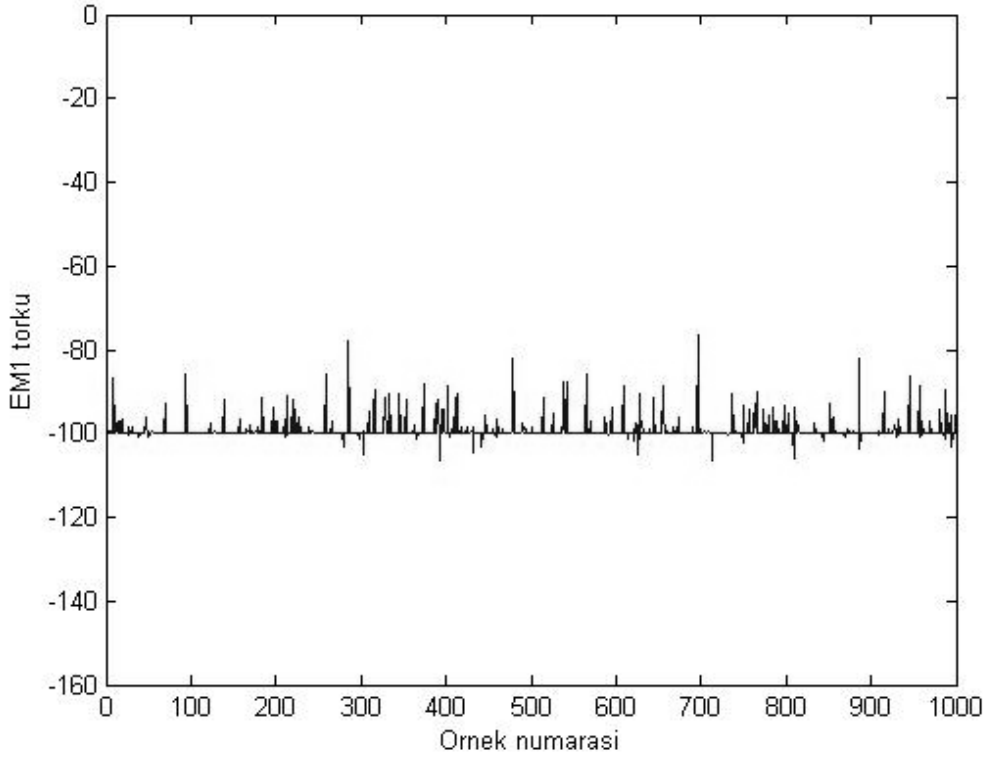
Algoritmanın işleyişiyle ilgili bir grafik Şekil 7.3'te gözükmektedir. Bu simülasyonda bir hız kontrolörü gaz, fren ve debriyaj girişlerini kontrol ederek aracın verilen ECE sürüş profiline göre hızlanmasını ve yavaşlamasını sağlamıştır. Güç dağıtımı algoritmasının optimal tork değerleri ile pararlel şarj yaptırdığı görümektedir.



Şekil 7.3 : ECE çevrimi paralel şarj modu

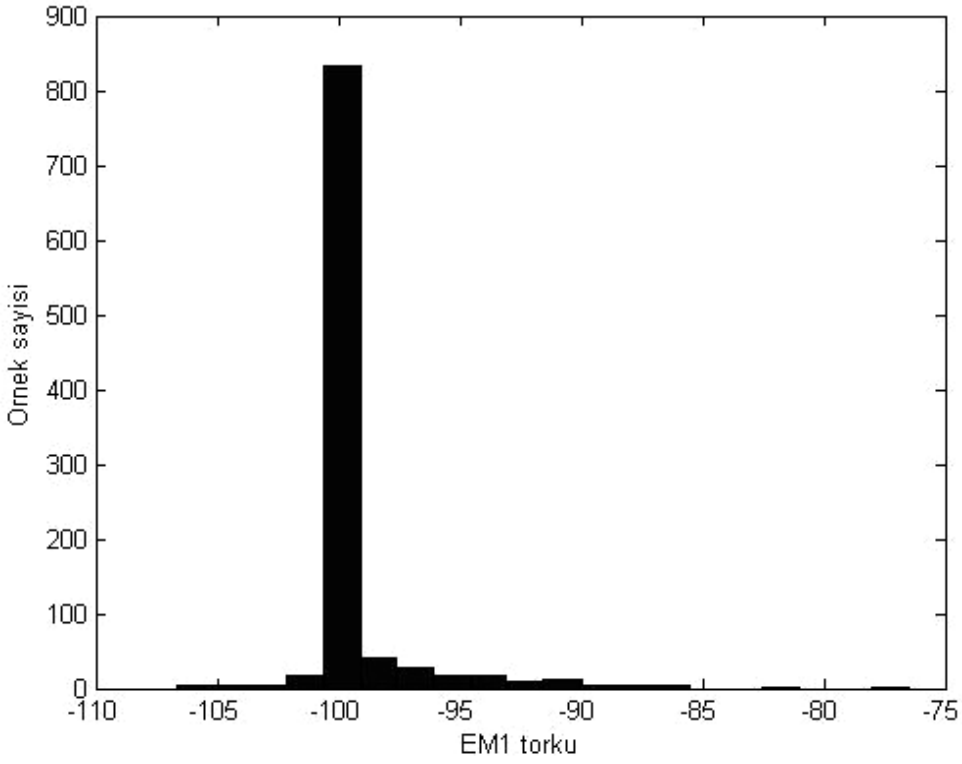
7.3 Sürü Algoritmasında Yakınsama

Sürü algoritmasıyla aynı giriş değerleri için 1000 defa çözüm ürettirip üretilen çözümler karşılaştırılmıştır (Şekil 7.4). Bazı örnekler haricinde sürü algoritmasının statik tablolar tarafından üretilen 100 Nm'lik değere yakınsağı görülmektedir.



Şekil 7.4 : Aynı girişlerle üretilen 1000 örnek

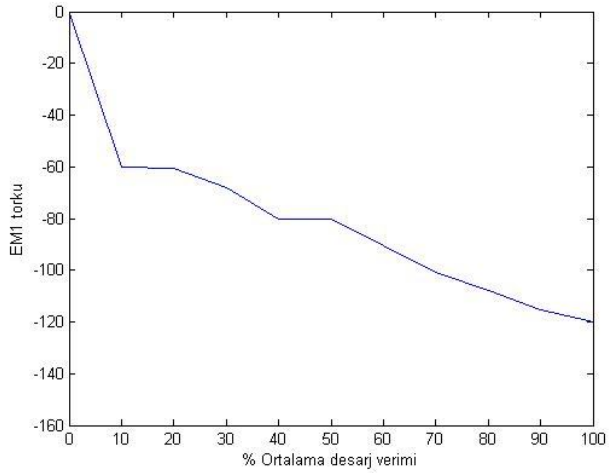
Bir önceki örnekteki yakınsamanın başarımını test etmek için elde edilen değerlerin histogramı çizilmiştir (Şekil 7.5). Örneklerin %80'inden fazlasında doğru değere yakınsama sağlanmıştır. Örneklerin %98.7'si yüzde beşlik hata bandı içindedir. Ve örneklerin standart sapması 2.3 Nm'dir.



Şekil 7.5 : 1000 örneğe ait histogram

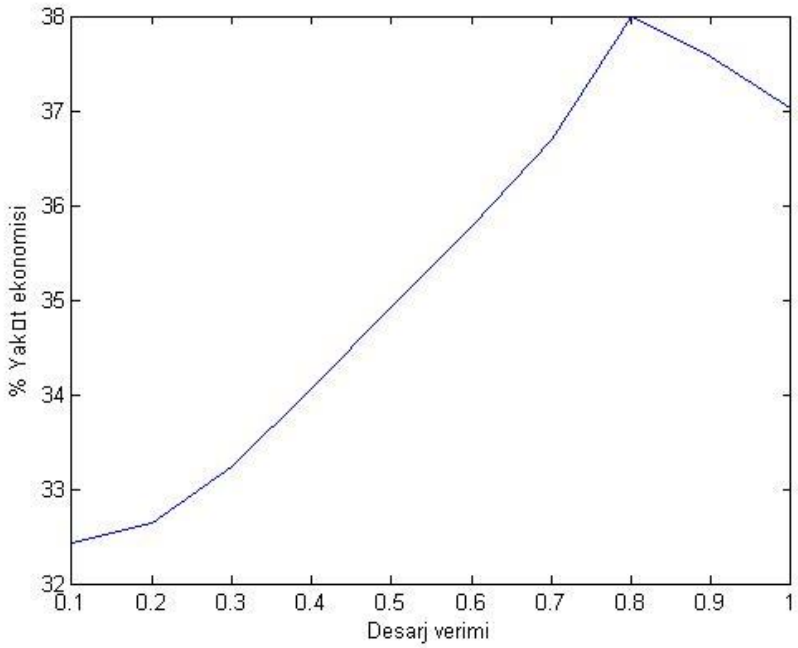
7.4 Sürü Algoritmasında Adaptasyon

Sürü algoritması ortalama verimlere göre çalışmaktadır. Aynı girişler korunarak artan ortalama deşarj veriminin paralel şarj torkuna etkisi Şekil 7.6'de gösterilmiştir. Ortalama deşarj verimi arttıkça paralel şarj daha yüksek tork değerleri ile yapılmaktadır.



Şekil 7.6 : Paralel şarj torkuna ortalama deşarj verimi etkisi

ECE çevriminde diğer tüm parametreler sabit tutulduğunda ortalama deşarj veriminin uygun değerde seçiminin yakıt ekonomisine etkisi Şekil 7.7'de gözükmektedir. Çevrim için uygun değerden uzaklaşmak yakıt ekonomisini azaltmaktadır.



Şekil 7.7 : ECE çevrimi yakıt ekonomisine ortalama deşarj verimi etkisi

7.5 Yakıt Tüketimi

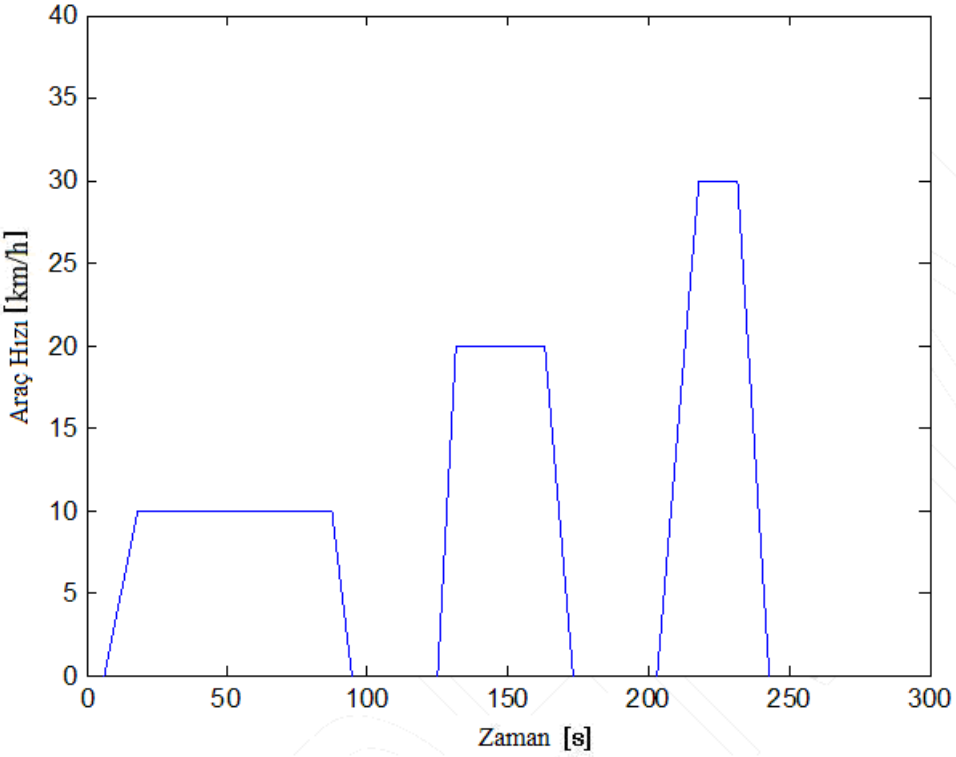
Yakıt tüketimi testlerinde belli bir hız profili defalarca arka arkaya koşulup yakıt tüketimi bu testlerin sonucunda çıkan değerin ortalaması ile verilmektedir.

Çizelge 7.1 : Hafif ticari araçların emisyon ve yakıt tüketimi test çevrimleri

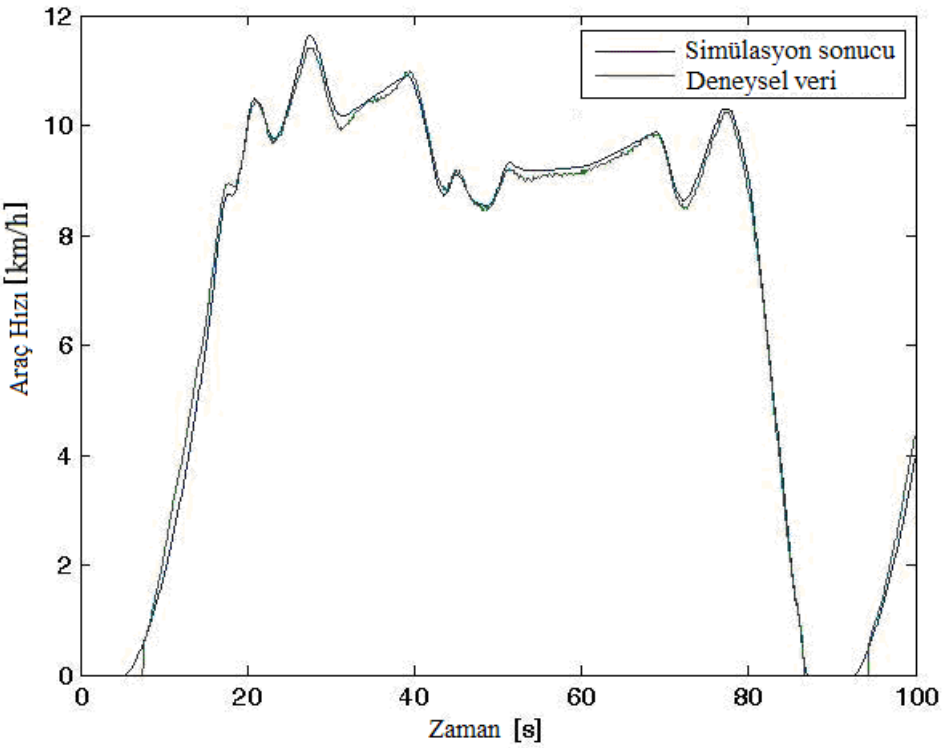
	Ortalama Hız (km/h)	Maksimum Hız (km/h)	Mesafe (km)	Süre (s)
FTP 72	31	104	12	1400
FTP 75	33	103	15	2000
SFTP US06	85	147	14	600
SFTP SC03	37	101	6	600
NYCC	11	50	2	600
HWFET	84	105	17	800
UC	37	114	14	1400
IM240	51	102	3	250
ECE	20	55	1	200
EUDC	69	134	7	400
Braunschweig	18	64	10	1800
Japon Mod 10	19	44	1	140
Japon Mod 10 15	23	78	4	700
JC08	24	87	7	1200

7.5.1 Yakıt Tüketimi Testi

Yakıt tüketimi testlerinde Şekil 7.8'da görülen çevrim arka arkaya elli kez tekrarlanmıştır. Bu çevrimin maksimum hızı 30km/saat olup ortalama hız 8.95km/saattir. Çevrim sırasında gidilen mesafe 0.66km, çevrim süresi 266 saniyedir. Çizelge 7.1'de görüldüğü üzere kullanılan çevrim diğer test çevrimlerine nazaran daha yavaş bir çevrimdir. Deneysel veriler Şekil 7.9'da gözüktüğü üzere simülasyon sonuçları ile örtüşmektedir. Bu testler sonucunda elde edilen tüketim değerleri Çizelge 7.3'de gözükmektedir.



Şekil 7.8 : Yakıt tüketimi testlerinde kullanılan çevrim



Şekil 7.9 : Yakıt tüketimi testinde deneysel araç hızının simülasyon ile karşılaştırması

Çizelge 7.2 : Melez araç ile konvansiyonel aracın yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması

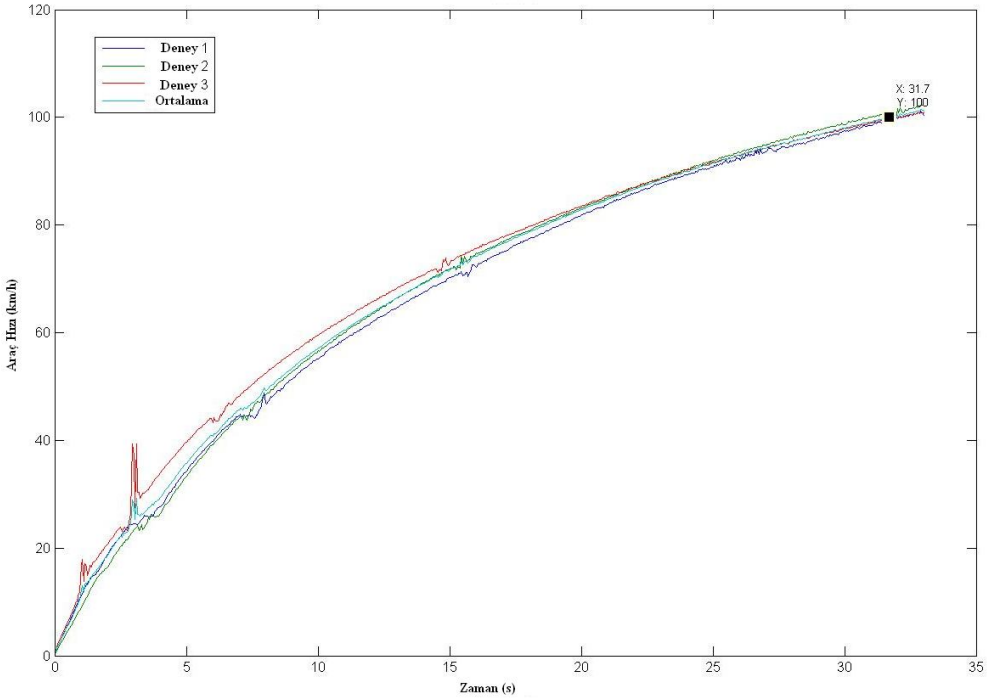
	Araç Tipi	Batarya Şarj Değişim	% Yakıt Tüketimi
Deney Sonuçları	**Konvansiyonel**	-	100
	Melez	0	80.69
Simülasyon Sonuçları	**Melez**	0	79.75

7.6 Performans

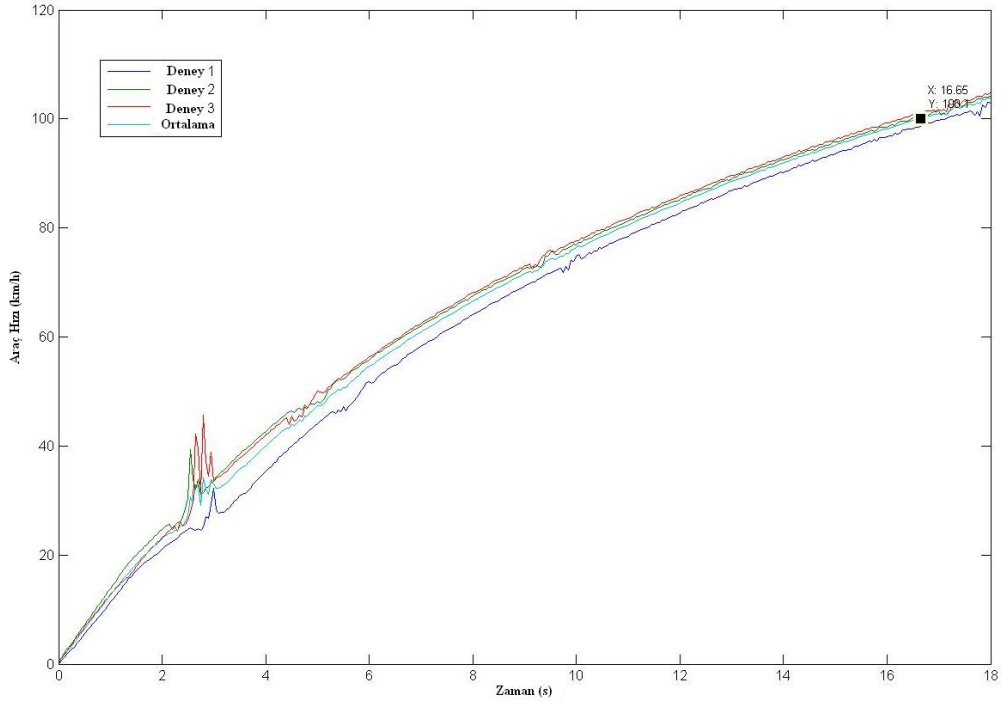
Melez aracın performansını konvansiyonel araç ile karşılaştırmak için hızlanma testleri yapılmıştır. Bu testler sırasında her iki araç da 2855kg kütle ile 0 hızdan 100 km/saat hıza çıkartılmıştır (Şekil 7.10 ve Şekil 7.11). Vites değişimleri her iki araçta da içten yanmalı motor 4000 devir/dk hıza ulaştığında gerçeklenmiştir. Bu testin dışında sabit viteslerde 50–100 km/saat ve 80 – 120 km/saat hızlanma testleri yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 7.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 7.3 : Melez araç ile konvansiyonel aracın performanslarının karşılaştırılması

		Konvansiyonel Araç	Melez Araç
0 – 100 km/saat		32s	17s
50 – 100 km/saat	5. Vites	24.5s	12s
50 – 100 km/saat	6. Vites	37s	13.7s
80 – 120 km/saat	5. Vites	33.5s	14s
80 – 120 km/saat	6. Vites	47.5s	15.5s



Şekil 7.10 : Baz araç ile 0-100km/h hızlanma testleri



Şekil 7.11 : Melez araç ile 0-100km/h hızlanma testleri

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde hafif ticari bir aracın melez hale getirilmesinde yapılan modelleme, tasarım, boyutlandırma ve kontrol algoritması geliştirme çalışmaları anlatılmıştır. Melezleştirmede kullanılan baz araç Ford markasının dizel motorlu Transit modelidir. Bu aracın melezleştirilmesi için araca iki elektrik motoru eklenmiştir. Bu elektrik motorları ön ve arka diferansiyel girişlerine bağlanmıştır. Baz araç manüel vitesli olduğu için aracın melez çalışma modları arası geçişleri kontrol edebilmek için kavrama sistemi hidrolik aktüatörlü bir elektromekanik kavrama haline getirilmiştir.

Melez araç konvansiyonel mod, paralel şarj modu, sessiz sürüş modu ve gerikazanımlı frenleme modu adı verilen modlarda çalıştırılmıştır. Konvansiyonel modda araç sadece içten yanmalı motor ile tahrik edilmektedir. Paralel şarj modunda ön aksa bağlı elektrik motoru generatör olarak kullanılarak batarya şarj edilmektedir. Sessiz sürüş modunda araç sadece elektrik motorları ile tahrik edilmektedir. Gerikazanımlı frenleme modunda araç her iki elektrik motoru da generatör olarak çalıştırılarak frenlenmekte, aracın kinetik enerjisi bataryayı şarj etmede kullanılmaktadır.

Geliştirilen kontrol algoritmasının görevi yakıt ekonomisini arttırıp zararlı gaz salınımı azaltmak için doğru zamanda aracı doğru modda çalıştırmak ve o mod için motorlara optimum tork değerlerini ürettirmektir. Modlar arası geçişlerin kontrolü ve yumuşak geçişlerin sağlanması ve batarya şarj seviyesinin korunumu yine kontrol algoritmasının görevidir.

Kontrol algoritmasının sonlu bir sürüş menzili içinde yakıt ekonomisini arttırmada ve zararlı gaz salınımını azaltmada global optimizasyonu sağlayabilmesi için tüm profil boyunca aracın gelecekte sahip olacağı hızın bilinmesi gerekmektedir. Aynı çevrim içerisinde aynı şekilde tekrar tekrar çalışan araçlar gibi istisnai bazı durumlar dışında araçların gelecekteki hızlarını yüksek kesinlik ile öngörebilmek mümkün değildir. Günümüzde bu iş için gerekli altyapı bulunmadığı gibi trafiği bir bütün olarak ele aldığımızda sürücü davranışlarındaki belirsizlik nedeniyle trafiğe çıkan tüm araçlar

otonom hale getirilmediği sürece araçların gelecekteki hızlarının yüksek kesinlikle öngörülmesi mümkün değildir. Yine de belli toleranslarla gelecekteki araç hızını tahmin eden ve bu tahmine göre optimizasyon yapan kontrol algoritmaları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez kapsamında geliştirilen kontrol algoritmasında geleceğe ait hiçbir bilginin bilinmediği varsayımı altında çalışılmıştır. MOES adı verilerek geliştirilen algoritmada araca ilişkin anlık değerler kullanılarak sürücün talep ettiği güç değerini tekerleklerde oluşturacak şekilde tüm olası motor güç dağıtımı kombinasyonları içerisinde anlık kayıpları ve gelecekteki kayıpları enazlayacak kombinasyon seçilmektedir. Kayıplar hesaplanırken yakıt deposundan tekerleklere kadar olan nihai verim göz önüne alınmaktadır. İlk geliştirildiği haliyle MOES algoritmasında bu hesapların gerçek zamanlı yapılması mümkün olmadığından bu hesaplar tüm olası değerler için önceden hesaplanıp tablolar haline getirilerek kullanılmıştır. Kontrol için kullanılan mikroişlemcinin bellek kapasitesindeki kısıt nedeniyle tabloların boyutunun küçük tutulabilmesi için bazı değişkenler sabit kabul edilmiştir. Bu sabit değişkenlerin değerleri belli bir çevrime göre ayarlanmıştır. Bu durum MOES algoritmasının belli bir çevrimde optimal sonuç üretmesine, başka çevrimlerde ise optimal olmayan sonuçlar üretmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle MOES algoritması uyarlamalı hale getirilmiştir. Sürü optimizasyonu adı verilen nümerik bir yöntemden faydalanılarak hesaplamalar gerçek zamanda yapılabilir hale getirilmiştir. 5 ms'lik hesaplama adımları içerisinde optimal değerlerin üretilmesi mikroişlemci için 4 ms süre almaktadır.

Uyarlamalı MOES algoritmasını diğer benzerlerinden ayıran temel fark batarya şarj seviyesinin performans indeksine dahil edilmemesi ve batarya şarj korunumunun daha üst seviye bir kontrolör ile sağlanmasıdır. MOES algoritmasında geleceğe ilişkin belirsizlikler eşdeğer yakıt tüketimi algoritmalarında olduğu gibi bazı parametrelerdeki belirsizliğe indirgenmiştir. Geleceğe ilişkin belirsizlikleri temsil eden değişkenler uyarlamalı MOES algoritmasında geçmişteki değerlerinin ortalaması olarak hesaplarda kullanılmıştır.

Laboratuar ortamında oluşturulan melez araç simülatörü üzerinde geliştirilen algoritma daha sonra melez araç üzerinde test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda MOES algoritması ile yakıt tüketiminde ECE çevrimine yakın bir çevrimde %20 iyileştirme sağlandığı gözlemlenmiştir. Algoritmanın uyarlamalı hale getirilmesiyle

bu iyileştirmenin diğer çevrimlerde de sağlanması mümkün olmaktadır. Ayrıca performans değerlerinde oldukça iyileştirme gerçekleşirken bu sonuçlar yapılan benzetimler ile de birebir örtüşmektedir. Bu çalışmanın devamında dinamik programlama başta olmak üzere literatürde kullanılmakta olan diğer yöntemlerle algoritmanın başarımı karşılaştırılabilir. Melez araçların mimarilerinin getirdiği ilave serbestlik derecelerinin aracın kararlılığı üzerine etkileri ve araç üzerindeki ABS, ESP gibi diğer kontrolörlerin melez kontrolör ile ortak çalışması incelenebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Url-1** <*http://www.hybrid-vehicle.org* >, alındığı tarih 29.511.2009.

[2] **Url-2 <***http://www.acea.be***>** , alındığı tarih 17.07.2009.

[3] **Sezer,V., Uygan, İ.M.C, Hartavi E.A., Acarman, T. and Güvenç, L.,** 2007, Propulsion System Design of a Hybrid Electric Vehicle, Workshop on Hybrid Electric Vehicle Modeling and Control, İstanbul, Turkey.

[4] **Westbrook M.**, 2001, *The Electric and Hybrid Electric Car*, Society of Automotive Engineers.

[5] **UQM Technologıes, Inc.,** 2003, User and Installation Manual for EV53 or PowerPhase 75 SR218H Brushless DC Motor CD40-300L Inverter or CD40-400L Inverter

[6] **An. F., Vyas A., Anderson J., and Santini D.**, 2001, 'Evaluating Commercial and Prototype Hybrid Electric Vehicles', SAE Paper 2001-01-0951.

[7] **Monahan P., and Friedman D.**, 2004, 'The Diesel Dilemma : Diesel's Role in the Race for Clean Cars', Union of Concerned Scientists Publications.

[8] **J. R. Hendershot., T. Miller**, 2003, The Design of Brushless Permanent Magnet Motors, Wiley.

[9] **Lee J. and Nelson D. J.**, 2005, 'Rotating Inertia Impact on Propulsion and Regenerative Braking for Electric Motor Driven Vehicles', *Proceedings of VPPC 2005*, The First Vehicle Power and Propulsion Conference, Chicago, USA.

[10] **Url-3 <***www. Robocup.mi.fu-berlin.de***>** , alındığı tarih 21.01.2009.

[11] **GAIA**, 2004, 45 Ah HP-602050 Lithium Ion Cell User Manuel

[12] **Url-4** <http://www.can-cia.de>, alındığı tarih 02.05.2009.

[13] **M. Salman, N. Schouten, and N. Kheir**, 2000, "Control strategies for parallel hybrid vehicles," in *Proc. 2000 American Control Conf.*, Chicago, IL, 2000, pp. 524–529.

[14] **V.H. Johnson, K.B. Wipke, and D.J. Rausen**, 2000, "HEV control strategy for real-time optimization of fuel economy and emissions," Proc. SAE, Paper2000-01-1543.

[15] **C.-C. Lin, H. Peng, J.W. Grizzle, and J.-M. Kang**, 2003, "Power managementstrategy for a parallel hybrid electric truck," IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 11, no. 6, pp. 839–849.

[16] **A. Kleimaier and D. Schröder**, 2002, "An approach for the online optimized control of a hybrid powertrain," in Proc. 7th Int. Workshop Advanced Motion Control, Maribor, Slovenia, 2002, pp. 215–220.

[17] **S. Jeon, S. Jo, Y. Park, and J. Lee**, 2002, "Multi-mode driving control of a parallel hybrid electric vehicle using driving pattern recognition," *ASME J.Dynamic Syst., Meas., Control*, vol. 124, pp. 141–149, 2002.

[18] **Y. Zhu, Y. Chen, G. Tian, H. Wu, and Q. Chen**, 2004, "A four-step method to design an energy management strategy for hybrid vehicles," in *Proc. 2004 American Control Conf.*, Boston, MA, pp. 156–161.

[19] **M. Koot, J. Kessels, B. de Jager, W. Heemels, P. van den Bosch, and M. Steinbuch**, 2005,"Energy management strategies for vehicular electric power systems,"*IEEE Trans. Vehicle Technol.*, vol. 54, no. 3, pp. 1504–1509.

[20] **C.-C. Lin, H. Peng, and J.W. Grizzle**, 2004, "A stochastic control strategy for hybrid electric vehicle," in Proc. 2004 American Control Conf., Boston, MA, pp. 4710–4715.

[21] V. **Sezer, I.M.C. Uygan, A.E. Hartavi, T. Acarman, L. Güvenç and V. Kılıç**, 2008, "Maximum Overall Efficiency Optimization Strategy (MOES) for Power Split Control of a Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle," SAE Commercial Vehicles Conference, Rosemont, Illinois, Oct.

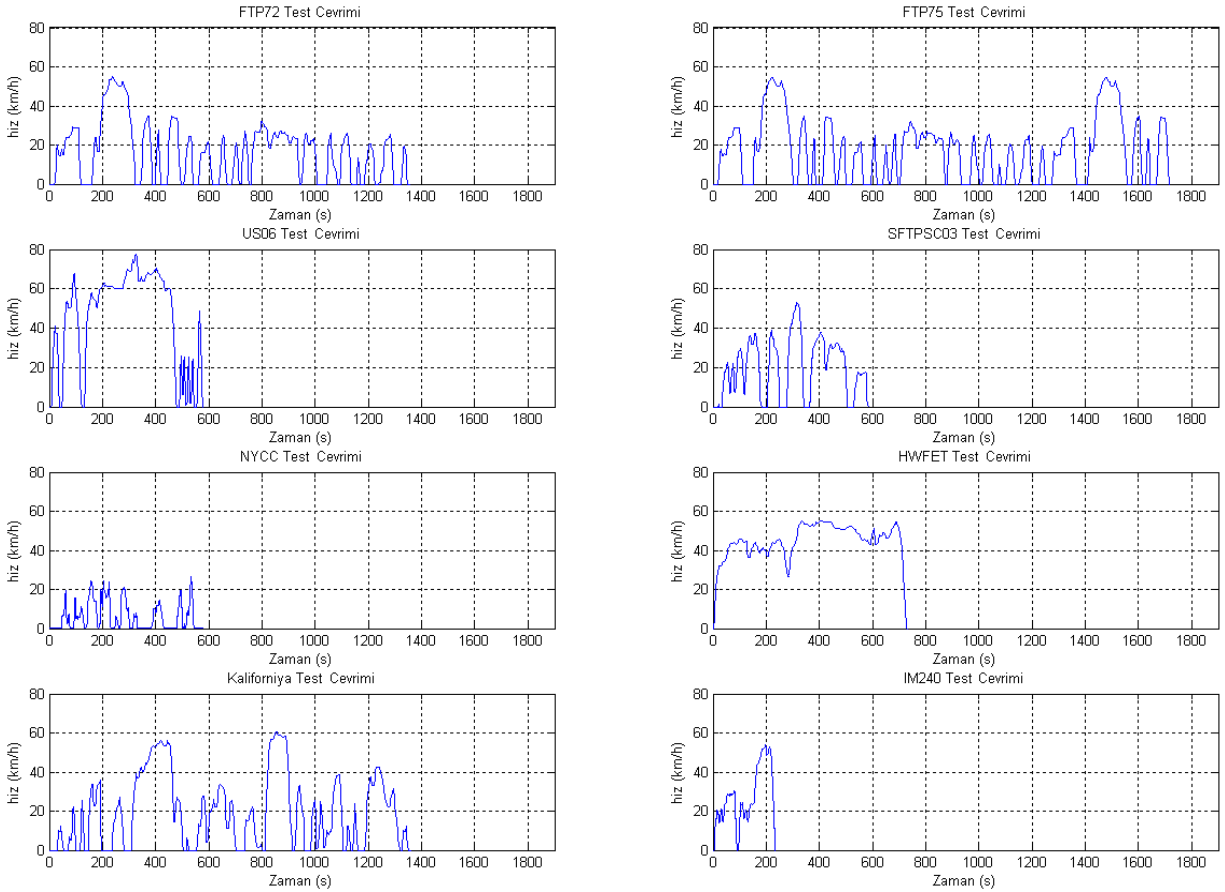
[22] **Kennedy, J. and Eberhart, R.**, 1995, "Particle Swarm Optimization," Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, pp. 1942-1945.

[23] **Kennedy, J. and Eberhart, R.**, 2001, Swarm Intelligence, Academic Press, 1st ed., San Diego, CA.

EKLER

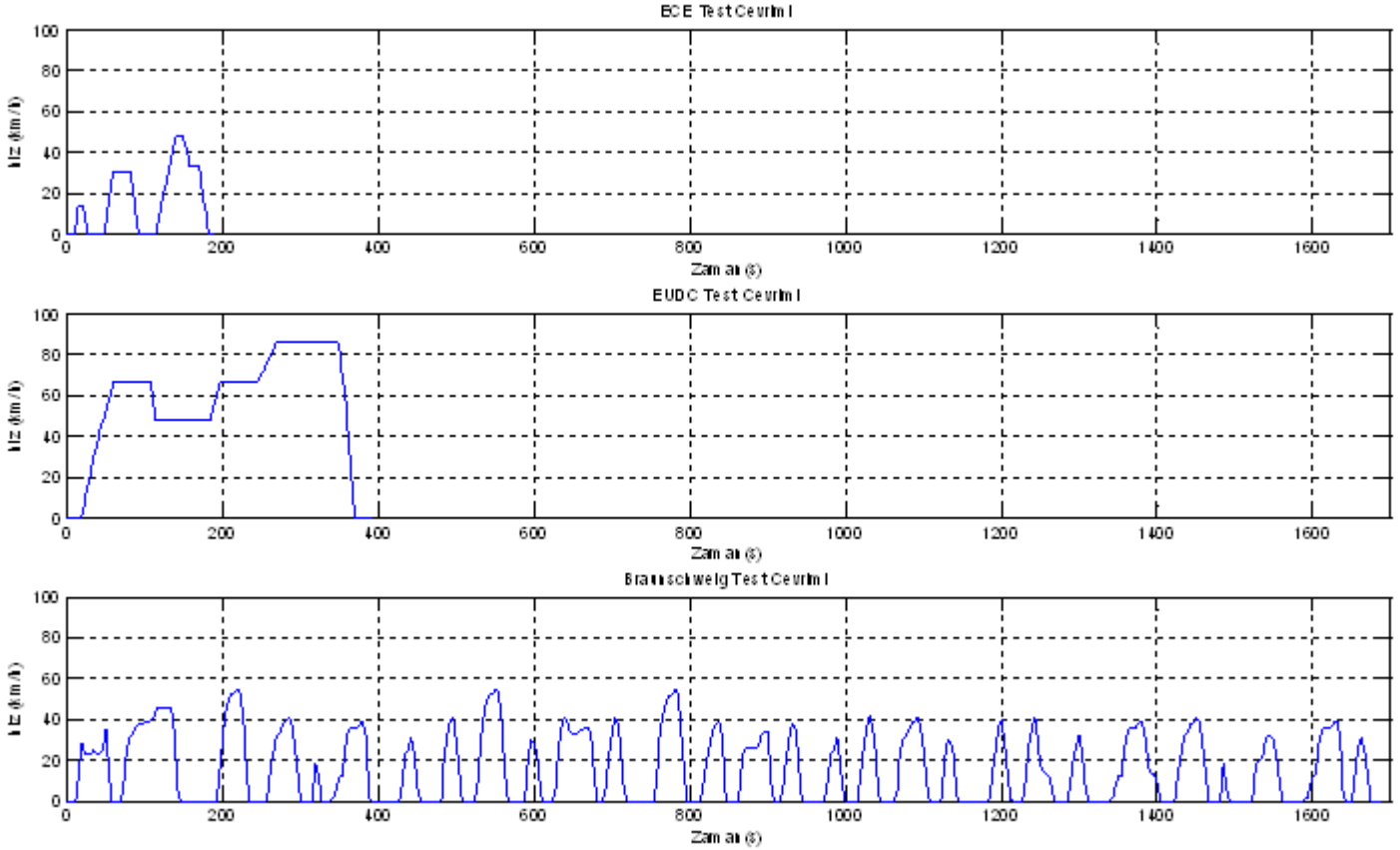
EK A.1 : Amerika'da Kullanılan Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Çevrimleri
EK A.2 : Avrupa'da Kullanılan Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Çevrimleri
EK A.3 : Japonya'da Kullanılan Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Çevrimleri
EK B : Uyarlamalı Yakit Tüketimi Eniyileme Algoritması Matlab Kodu
EK C.1 : UQM Marka PowerPhase 75 Elektrik Motoru Özellikleri
EK C.2 : GAIA Marka 45 Ah HP Batarya Hücresi Özellikleri
EK C.3 : FOHEV II Baz Araç Özellikleri
EK C.4 : Dspace Marka MicroAutobox Mikroişlemci Özellikleri

EK A.1



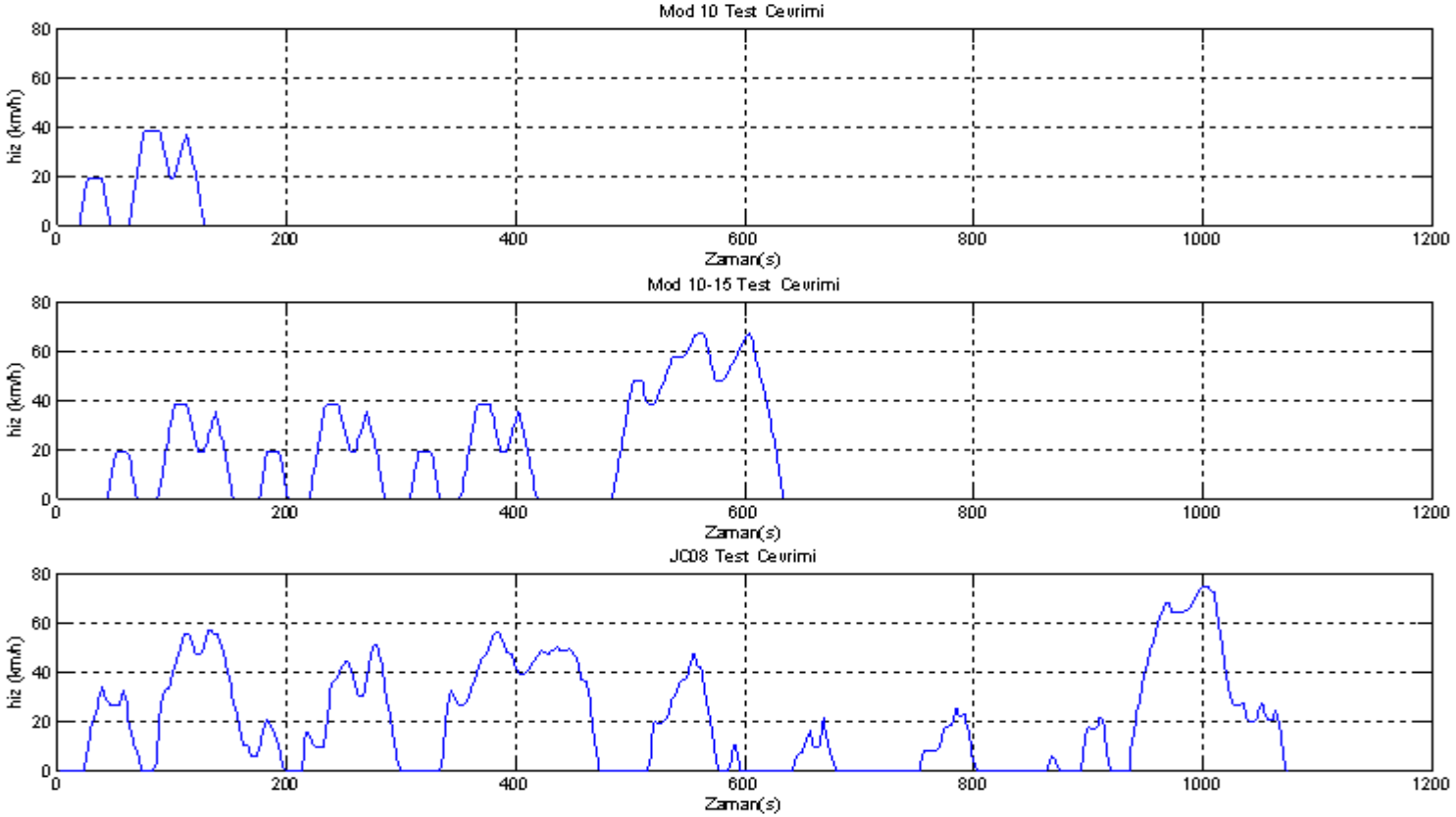
Şekil A.1 : Amerika'da Kullanılan Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Çevrimleri

EK A.2



Şekil A.2 : Avrupa'da Kullanılan Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Çevrimleri

EK A.3



Şekil A.3 : Japonya'da Kullanılan Yakıt Tüketimi Ve Emisyon Çevrimleri

EK B

```
static double idle_loss=***;
static double differential_ratio=***;
static double gear_ratios[6]=***;
static int ICEdims[2]=***;
static int EMdims[2]=***;
static int SOCdim=***;
static double ICE_eff_map[16][11]=***;
static double ICE_eff_speed_vec_rpm[11]=***;
static double ICE_eff_torque_vec_nm[16]=***;
static double ICE_frictions_nm[11]=***;
static double EM_gen_eff_map[21][16]=***;
static double EM_mot_eff_map[21][16]=***;{
static double EM_eff_speed_vec_rpm[16]=***;
static double EM_eff_torque_vec_nm[21]=***;
static double bat_resistance_ohm[11]=***;
static double SOC_vec[11]=***;

double X[SwarmSize];
double Xbests[SwarmSize];
double XBEST;
double Fbests[SwarmSize];
double FBEST;
double V[SwarmSize];
double Xnew;
double Vnew;
double Fnew;
double GAIN;
double LOSSi;
```

```
double LOSSf;
double EM1eff;
double R;
int i;
int n;

double EM2_torque_nm;
double EM1_torque_nm;
double ICE_torque_nm;
double battery_current_a;
double battery_power_w;


for (i=1;i<=SwarmSize;i++)
{
X[i-1]=*LowerLimit+((double)rand()/32768)*(*UpperLimit-*LowerLimit);
V[i-1]=(((double)rand()/32768)-0.5)*(*UpperLimit-*LowerLimit)*0.1;
}
XBEST=X[0];
Xbests[0]=X[0];
EM2_torque_nm=0;
EM1_torque_nm=X[0];
ICE_torque_nm=((*total_torque_nm/4.27/ *DIFFERENTIAL_EFF)-EM1_torque_nm)/gear_ratios[(int)*GEARNO-1]/
*TRANSMISSION_EFF/ *clutch_gain;
EM1_torque_nm=-X[0];
interpolation(&EM1eff,EM_eff_torque_vec_nm,EM_eff_speed_vec_rpm,EM_mot_eff_map,&EM1_torque_nm,EM_speeds_rpm,EMdims);
EM1_torque_nm=X[0];
battery_power_w=-EM1_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30*EM1eff;
battery_current_a=battery_power_w/ *battery_voltage_v ;
interp1(&R,SOC_vec,bat_resistance_ohm,SOC,&SOCdim);
GAIN=battery_power_w-(pow(battery_current_a,2)*R);
LOSSf=GAIN*(1-*discharge_eff);
LOSSi=0;
battery_loss(&LOSSi,SOC_vec,bat_resistance_ohm,SOC,&battery_current_a,&SOCdim);
rear_differential_loss(&LOSSi,&EM2_torque_nm,EM_speeds_rpm,DIFFERENTIAL_EFF);
```

```
front_differential_loss(&LOSSi,EM_speeds_rpm,&differential_ratio,total_torque_nm,&EM1_torque_nm,&EM2_torque_nm,DIFFE
RENTIAL_EFF);
transmission_loss(&LOSSi,&ICE_torque_nm,ICE_speed_rpm,TRANSMISSION_EFF);
ICE_loss(&LOSSi,&ICE_torque_nm,ICE_speed_rpm,ICE_eff_speed_vec_rpm,ICE_eff_torque_vec_nm,ICE_eff_map,ICE_frictions_n
m,&idle_loss,idle_state,engine_state,clutch_gain,ICEdims);
EM_loss(&LOSSi,&EM1_torque_nm,&EM2_torque_nm,EM_speeds_rpm,EM_eff_speed_vec_rpm,EM_eff_torque_vec_nm,EM_mot_eff_map,
EM_gen_eff_map,EMdims);
Fbests[0]=(LOSSi+LOSSf)/(GAIN+(*total_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30/4.27));
FBEST=Fbests[0];
for (i=2;i<=SwarmSize;i++)
{
EM2_torque_nm=0;
EM1_torque_nm=X[i-1];
ICE_torque_nm=((*total_torque_nm/4.27/ *DIFFERENTIAL_EFF)-EM1_torque_nm)/gear_ratios[(int)*GEARNO-1]/
*TRANSMISSION_EFF/ *clutch_gain ;
EM1_torque_nm=-X[i-1];
interpolation(&EM1eff,EM_eff_torque_vec_nm,EM_eff_speed_vec_rpm,EM_mot_eff_map,&EM1_torque_nm,EM_speeds_rpm,EMdims);
EM1_torque_nm=X[i-1];
battery_power_w=-EM1_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30*EM1eff;
battery_current_a=battery_power_w/ *battery_voltage_v ;
interp1(&R,SOC_vec,bat_resistance_ohm,SOC,&SOCdim);
GAIN=battery_power_w-(pow(battery_current_a,2)*R);
LOSSf=GAIN*(1-*discharge_eff);
LOSSi=0;
battery_loss(&LOSSi,SOC_vec,bat_resistance_ohm,SOC,&battery_current_a,&SOCdim);
rear_differential_loss(&LOSSi,&EM2_torque_nm,EM_speeds_rpm,DIFFERENTIAL_EFF);
front_differential_loss(&LOSSi,EM_speeds_rpm,&differential_ratio,total_torque_nm,&EM1_torque_nm,&EM2_torque_nm,DIFFE
RENTIAL_EFF);
transmission_loss(&LOSSi,&ICE_torque_nm,ICE_speed_rpm,TRANSMISSION_EFF);
ICE_loss(&LOSSi,&ICE_torque_nm,ICE_speed_rpm,ICE_eff_speed_vec_rpm,ICE_eff_torque_vec_nm,ICE_eff_map,ICE_frictions_n
m,&idle_loss,idle_state,engine_state,clutch_gain,ICEdims);
EM_loss(&LOSSi,&EM1_torque_nm,&EM2_torque_nm,EM_speeds_rpm,EM_eff_speed_vec_rpm,EM_eff_torque_vec_nm,EM_mot_eff_map,
EM_gen_eff_map,EMdims);
Fbests[i-1]=(LOSSi+LOSSf)/(GAIN+(*total_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30/4.27));
if (Fbests[i-1]<FBEST)
{
```

```
FBEST=Fbests[i-1];
XBEST=X[i-1];
}
}

n=0;
while(n<MaxIter)
{
for (i=1;i<=SwarmSize;i++)
{
Vnew=Inertia*V[i-1]+SelfConfidence*((double)rand()/32768)*(Xbests[i-1]-X[i-
1])/StepTime;+SwarmConfidence*((double)rand()/32768)*(XBEST-X[i-1])/StepTime;
Xnew=X[i-1]+StepTime*Vnew;
X[i-1]=Xnew;
V[i-1]=Vnew;
EM2_torque_nm=0;
EM1_torque_nm=Xnew;
ICE_torque_nm=((*total_torque_nm/4.27/ *DIFFERENTIAL_EFF)-EM1_torque_nm)/gear_ratios[(int)*GEARNO-1]/
*TRANSMISSION_EFF/ *clutch_gain;
EM1_torque_nm=-Xnew;
interpolation(&EM1eff,EM_eff_torque_vec_nm,EM_eff_speed_vec_rpm,EM_gen_eff_map,&EM1_torque_nm,EM_speeds_rpm,EMdims);
EM1_torque_nm=Xnew;
battery_power_w=-EM1_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30*EM1eff;
battery_current_a=battery_power_w/ *battery_voltage_v ;
interp1(&R,SOC_vec,bat_resistance_ohm,SOC,&SOCdim);
GAIN=battery_power_w-(pow(battery_current_a,2)*R);
LOSSf=GAIN*(1-*discharge_eff);
LOSSi=0;
battery_loss(&LOSSi,SOC_vec,bat_resistance_ohm,SOC,&battery_current_a,&SOCdim);
rear_differential_loss(&LOSSi,&EM2_torque_nm,EM_speeds_rpm,DIFFERENTIAL_EFF);
front_differential_loss(&LOSSi,EM_speeds_rpm,&differential_ratio,total_torque_nm,&EM1_torque_nm,&EM2_torque_nm,DIFFE
RENTIAL_EFF);
transmission_loss(&LOSSi,&ICE_torque_nm,ICE_speed_rpm,TRANSMISSION_EFF);
ICE_loss(&LOSSi,&ICE_torque_nm,ICE_speed_rpm,ICE_eff_speed_vec_rpm,ICE_eff_torque_vec_nm,ICE_eff_map,ICE_frictions_n
m,&idle_loss,idle_state,engine_state,clutch_gain,ICEdims);
```

```
EM_loss(&LOSSi,&EM1_torque_nm,&EM2_torque_nm,EM_speeds_rpm,EM_eff_speed_vec_rpm,EM_eff_torque_vec_nm,EM_mot_eff_map,
EM_gen_eff_map,EMdims);
Fnew=(LOSSi+LOSSf)/(GAIN+(*total_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30/4.27));
if (Xnew<*LowerLimit)
{
Fnew=10000000;
X[i-1]=*LowerLimit;
V[i-1]=0;
}
if (Xnew>*UpperLimit)
{
Fnew=10000000;
X[i-1]=*UpperLimit;
V[i-1]=0;
}
if (Fnew<Fbests[i-1])
{
Fbests[i-1]=Fnew;
Xbests[i-1]=Xnew;
}
if (Fnew<FBEST)
{
FBEST=Fnew;
XBEST=Xnew;
}
}
n=n+1;
}
OutputTorques[1]=XBEST;
OutputTorques[0]=((*total_torque_nm/4.27/ *DIFFERENTIAL_EFF)-XBEST)/gear_ratios[(int)*GEARNO-1]/ *TRANSMISSION_EFF/
*clutch_gain;
PI[0]=FBEST;
EM2_torque_nm=0;
EM1_torque_nm=XBEST;
ICE_torque_nm=((*total_torque_nm/4.27/ *DIFFERENTIAL_EFF)-EM1_torque_nm)/gear_ratios[(int)*GEARNO-1]/
*TRANSMISSION_EFF/ *clutch_gain ;
```

```
EM1_torque_nm=-XBEST;
interpolation(&EM1eff,EM_eff_torque_vec_nm,EM_eff_speed_vec_rpm,EM_mot_eff_map,&EM1_torque_nm,EM_speeds_rpm,EMdims);
EM1_torque_nm=XBEST;
battery_power_w=-EM1_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30*EM1eff;
battery_current_a=battery_power_w/ *battery_voltage_v ;
interp1(&R,SOC_vec,bat_resistance_ohm,SOC,&SOCdim);
GAIN=battery_power_w-(pow(battery_current_a,2)*R);
LOSSf=GAIN*(1-*discharge_eff);
LOSSi=0;
battery_loss(&LOSSi,SOC_vec,bat_resistance_ohm,SOC,&battery_current_a,&SOCdim);
CheckList[10]=LOSSi;
rear_differential_loss(&LOSSi,&EM2_torque_nm,EM_speeds_rpm,DIFFERENTIAL_EFF);
CheckList[11]=LOSSi-CheckList[10];
front_differential_loss(&LOSSi,EM_speeds_rpm,&differential_ratio,total_torque_nm,&EM1_torque_nm,&EM2_torque_nm,DIFFE
RENTIAL_EFF);
CheckList[12]=LOSSi-CheckList[11];
transmission_loss(&LOSSi,&ICE_torque_nm,ICE_speed_rpm,TRANSMISSION_EFF);
CheckList[13]=LOSSi-CheckList[12];
ICE_loss(&LOSSi,&ICE_torque_nm,ICE_speed_rpm,ICE_eff_speed_vec_rpm,ICE_eff_torque_vec_nm,ICE_eff_map,ICE_frictions_n
m,&idle_loss,idle_state,engine_state,clutch_gain,ICEdims);
CheckList[14]=LOSSi-CheckList[13];
EM_loss(&LOSSi,&EM1_torque_nm,&EM2_torque_nm,EM_speeds_rpm,EM_eff_speed_vec_rpm,EM_eff_torque_vec_nm,EM_mot_eff_map,
EM_gen_eff_map,EMdims);
CheckList[15]=LOSSi-CheckList[14];
CheckList[0]=GAIN;
CheckList[1]=LOSSi;
CheckList[2]=LOSSf;
CheckList[3]=*total_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30/4.27;
CheckList[4]=(LOSSi+LOSSf)/(GAIN+(*total_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30/4.27));
CheckList[5]=EM1eff;
CheckList[6]=R;
CheckList[7]=battery_power_w;
CheckList[8]=battery_current_a;
CheckList[9]=-(pow(battery_current_a,2)*R);
}
```

```
interpolation(double *output,double *v1,double *v2,double *map,double *x1,double *x2,int *dims)
{
double y=0;
double i;
double di;
double j;
double dj;
double q11;
double q12;
double q21;
double q22;
double w;

if(*x1<*v1)
  {
  *x1=*v1;
  }
  if (*x1>*(v1+*(dims)-1))
  {
  *x1=*(v1+*(dims)-1);
  }

  if(*x2<*v2)
  {
  *x2=*v2;
  }
  if (*x2>*(v2+*(dims+1)-1))
  {
  *x2=*(v2+*(dims+1)-1);
  }

di=*(v1+1)-*v1;
dj=*(v2+1)-*v2;

i=floor(*x1/di);
```

```
j=floor(*x2/dj);

  w=(*(v1+(int)i+1)-*(v1+(int)i))*(*(v2+(int)j+1)-*(v2+(int)j));
  q11=*(map+(int)i**(dims+1)+(int)j);
  q12=*(map+((int)i+1)**(dims+1)+(int)j);
  q21=*(map+(int)i**(dims+1)+(int)j+1);
  q22=*(map+((int)i+1)**(dims+1)+(int)j+1);
  y = y + (q11*(*(v1+(int)i+1)-*x1)*(*(v2+(int)j+1)-*x2))/w;
  y = y + (q12*(*x1-*(v1+(int)i))*(*(v2+(int)j+1)-*x2))/w;
  y = y + (q21*(*(v1+(int)i+1)-*x1)*(*x2-*(v2+(int)j)))/w;
  y = y + (q22*(*x1-*(v1+(int)i))*(*x2-*(v2+(int)j)))/w;


*output=y;

}

interp1(double *output,double *v,double *map,double *x,int *dim)
{

double y=0;
double i;
double di;
double q;


di=*(v+1)-*v;
i=floor(*x/di);

if (*x<=*(v+*(dim)-1))
{
  q = *(map+(int)i+1)-*(map+(int)i);
  y = *(map+(int)i) + q*(*x-*(v+(int)i))/di;
}
```

```
*output=y;

}


rear_differential_loss(double *Loss, double *EM2_torque_nm,double *EM_speeds_rpm, double *DIFFERENTIAL_EFF)
{
double y;
y=*EM2_torque_nm**EM_speeds_rpm*3.14/30*(1-*DIFFERENTIAL_EFF);

if (y>0){
*Loss=*Loss+y;
}
else{*Loss=*Loss-y;
}

}


front_differential_loss(double *Loss,double *EM_speeds_rpm,double *differential_ratio,double
*total_torque_nm,double *EM1_torque_nm,double *EM2_torque_nm,double *DIFFERENTIAL_EFF)
{
double y;
y=*EM_speeds_rpm / *differential_ratio *3.14/30*(*total_torque_nm-
*EM2_torque_nm**DIFFERENTIAL_EFF**differential_ratio)*(1-*DIFFERENTIAL_EFF)/ *DIFFERENTIAL_EFF;
if (y<0)
{
y=y**DIFFERENTIAL_EFF;
}
if (y>0){
*Loss=*Loss+y;
}
else{*Loss=*Loss-y;
```

```
}
}

transmission_loss(double *Loss,double *ICE_torque_nm,double *ICE_speed_rpm,double *TRANSMISSION_EFF)
{
double y;
y=*ICE_torque_nm**ICE_speed_rpm*3.14/30*(1-*TRANSMISSION_EFF);
if (*ICE_torque_nm<0)
{
y=y/ *TRANSMISSION_EFF;
}
     if (y>0){
*Loss=*Loss+y;
}
else{*Loss=*Loss-y;
}
}

battery_loss(double *Loss,double *SOC_vec,double *bat_resistance_ohm,double *SOC,double *battery_current_a,int
*SOCdim)
{
double R;
double y;
interp1(&R,SOC_vec,bat_resistance_ohm,SOC,SOCdim);
y=pow(*battery_current_a,2)*R;
if (y>0)
{
*Loss=*Loss+y;
}
else{*Loss=*Loss-y;
}
}
ICE_loss(double *Loss,double *ICE_torque_nm,double *ICE_speed_rpm,double *ICE_eff_speed_vec_rpm,double
*ICE_eff_torque_vec_nm,double *ICE_eff_map,double *ICE_frictions_nm,double *idle_loss,double *idle_state,double
*engine_state,double *clutch_gain,int *ICEdims)
```

```
 {
 double ICE_power_w=0;
 double y=0;
 double ICE_eff=0;
 double ICE_indTorque_nm=0;
 double friction_torque_nm=0;
 int ICEdim=0;

 ICEdim=*(ICEdims+1);


 interp1(&friction_torque_nm,ICE_eff_speed_vec_rpm,ICE_frictions_nm,ICE_speed_rpm,&ICEdim);
 ICE_indTorque_nm=*ICE_torque_nm/(*clutch_gain)+friction_torque_nm;
 ICE_power_w=ICE_indTorque_nm**ICE_speed_rpm*3.14/30;

interpolation(&ICE_eff,ICE_eff_torque_vec_nm,ICE_eff_speed_vec_rpm,ICE_eff_map,&ICE_indTorque_nm,ICE_speed_rpm,ICEdi
ms);
y=ICE_power_w*(1-ICE_eff)/(ICE_eff+0.01);
```

EK C.1

Çizelge C.1 : UQM Marka PowerPhase 75 Elektrik Motoru Özellikleri [5]

SR218 Motor	Boyutlar	Uzunluk	22.6 cm
		Çap	28 cm
		Kütle	40 kg
	Performans	Güç	75 kW
		Tork	240 Nm
		Maksimum hız	8000 dev/dk
DD40 400LWB Evirici/Kontrolör	Boyutlar	Uzunluk	38 cm
		Genişlik	36.5 cm
		Yükseklik	11.9 cm
		Kütle	15.9
	Gerilim ve Akım	Nominal giriş gerilimi	250 ila 425 V
		Minimum gerilim	180 V
		Maksimum akım	450 A
	Evirici	Kontrol	3 fazlı fırçasız DC
		Maksimum akım	600 A
		Güç ünitesi	3 x Yarım köprü IGBT
		Anahtarlama frekansı	20 kHz
		Boşta enerji sarfiyatı	17 W
	Soğutma Sistemi	Minimum soğutucu akısı	7.5 L/dk
		Maksimum kontrolör sıcaklığı	71 C
		Maksimum basınç	13 psi
	Mikroişlemci	Besleme gerilimi	8 ila 15 V DC
		Besleme akımı	0.3 ila 0.5 A DC

,

EK C.2

Çizelge C.2 : GAIA Marka 45 Ah HP Batarya Hücresi Özellikleri [11]

Fiziksel özellikler	Çap	6 cm
	Yükseklik	23.2 cm
	Kütle	1.55 kg
	Hacim	0.58 L
Kimyasal özellikler	Kasa	Çelik
	Pozitif elektrod	Li(NiCo)O2
	Negatif elektrod	Grafit
Elektriksel özellikler	Nominal gerilim	3.6 V
	Nominal kapasite	45 Ah
	Minimum kapasite	42 Ah
	AC empedans	<0.5 mOhm
	Spesifik enerji	105 Wh/kg
	Enerji yoğunluğu	282 Wh/L
	Spesifik güç	2510 W/kg
	Güç yoğunluğu	6760 W/L
Çalışma şartları	Tavsiye edilen şarj yöntemi	Sabit akım, sabit gerilim
	Maksimum şarj gerilimi	4.2 V
	Tavsiye edilen şarj akımı	23 A
	Maksimum şarj akımı	90 A
	Tavsiye edilen deşarj akımı	<90 A
	Minimum şarj gerilimi	3 V
	Çalışma Sıcaklığı	-30 C ila 60 C

EK C.3

Çizelge C.3 : FOHEV II Baz Araç Özellikleri

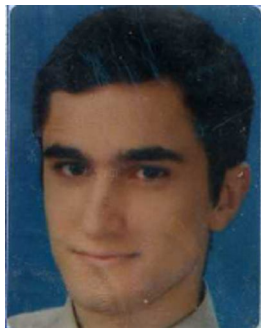
Çekiş	4x4
Motor Tipi	2.4Lt. TDCi
Motor Hacmi (cc)	2402
Silindir sayısı	4
Çap x strok (mmxmm)	89,9 x 94,6
Maksimum Güç (PS/dev/dk)	100
Maksimum Tork (Nm/dev/dk)	245
Sıkıştırma oranı	17.5 : 1
Enjektör Pompası	DENSO HPCR
Akü	2x12V 60A
Debriyaj Tipi	Tek kuru levhalı, diyafram yaylı, hidrolik kumandalı
Vites kutusu	6 ileri
1. vites dişli oranı	5,44
2. vites dişli oranı	2,84
3. vites dişli oranı	1,72
4. vites dişli oranı	1,22
5. vites dişli oranı	1
6. vites dişli oranı	0,79
Geri vites dişli oranı	4,94
Diferansiyel oranı	4.27
Fren sistemi	Çift devre - Çapraz fren sistemi. Vakum takviyeli merkez silindir Önler havalandırmalı disk, arkalar otomatik ayarlı disk. ABS ve EBD standart
Park Freni	Mekanik, arka tekerleklere tesirli
Süspansiyon	Bağımsız, modifiye, MacPherson, helezon yaylı, teleskopik amortisörlü Rijit canlı dingil, semi eliptik yaprak yaylı, telekopik amortisörlü
Arka Teker	Tek
Lastikler	215/75 R16C 113/111
Jantlar	5.5 x 16" sac jant
Direksiyon	hidrolik dişli kremayer
Yolcu Taşıma Kapasitesi (şoför dahil)	8
Azami Yüklü Ağırlık (kg)	3300
Boş Ağırlık (kg)	1888
İstiap Haddi (kg)	1412
Ön aks kapasitesi (kg)	1700
Arka aks kapasitesi (kg)	2150
Dönüş yarıçapı (mm)	6000
Maksimum hız (km/h)*	138
Yakıt kapasitesi (lt)	80

EK C.4

Çizelge C.4 : Dspace Marka MicroAutobox Mikroişlemci Özellikleri

Mikroişlemci	IBM PPC 750FX 800MHz
Bellek	8 MB Ana bellek 4 MB Haberleşme belleği 16 MB Flaş bellek
CAN arayüzü	2 CAN Haberleşme arayüzü
Analog girişler	0 – 5 V
Analog çıkışlar	0 – 4.5 V , maksimum 5mA
Sayısal giriş çıkışlar	16 giriş, 10 çıkış, 4 PWM

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: İsmail Meriç Can Uygan

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul 1983

Adres: Kuleli Mah. Huzurtepe Sok. No 16 Kat 1 Çengelköy Üsküdar İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

Hartavi E.A., Uygan, C.M.İ, Sezer,V., Acarman, T. and Güvenç, L., 2007, Development of Hybrid Braking Algorithm for Electric/Hybrid Electric Vehicles, Workshop on Hybrid Electric Vehicle Modeling and Control, İstanbul, Turkey.

Hartavi, Ahu E. , Uygan İ. M. C., Sezer V., Güvenç L., Acarman T., Kılıç V., and Yıldırım M.,(2008), 'Signal Interfacing for Hybrid Electric Vehicular Electronics and an Implementation Study', The International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES) 2008, September 22-24, 2008, Columbus, OH, USA.

V. Sezer, I.M.C. Uygan, A.E. Hartavi, T. Acarman, L. Güvenç and V. Kılıç, "Maximum Overall Efficiency Optimization Strategy (MOES) for Power Split Control of a Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle" SAE Commercial Vehicles Conference, Rosemont, Illinois, Oct. 2008

A.E. Hartavi, I.M.C. Uygan, V. Sezer, T. Acarman, L. Güvenç and V. Kılıç, "Electric Regenerative Power Assisted Brake Algorithm for a Front and Rear Wheel Drive Parallel Hybrid Electric Commercial Van" SAE Commercial Vehicles Conference, Rosemont, Illinois, Oct. 2008

Hartavi E.A., Uygan, C.M.İ, Sezer,V., Acarman, T. and Güvenç, L., 2007, Development of Hybrid Braking Algorithm for Electric/Hybrid Electric Vehicles, Workshop on Hybrid Electric Vehicle Modeling and Control, İstanbul, Turkey.

Uygan, İ.M.C., Hartavi E.A., Sezer,V., Acarman, T. and Güvenç, L., 2008, "Hibrid Elektrikli Araçlar İçin Tahrik Sistemi Tasarımı", 4. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bursa, , Haziran 2008