

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEHİR İÇİ TİPTE BİR OTOBÜSÜN HİBRİD
DÖNÜŞÜMÜNÜN TASARIM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Gürkan ALKAN

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Otomotiv Programı

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ŞEHİR İÇİ TİPTE BİR OTOBÜSÜN HİBRİD
DÖNÜŞÜMÜNÜN TASARIM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Gürkan ALKAN

503041726

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 5 Mayıs 2008

Tezin Savunulduğu Tarih: 11 Haziran 2008

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Doğan GÜNEŞ

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Ertuğrul ARSLAN

Prof.Dr. İrfan YAVAŞLIOL

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ:

Bu çalışmada, göstermiş olduğu yakın ilgi ve büyük desteği için tez danışmanım Doç.Dr. Doğan GÜNEŞ'e ve bilgi paylaşımındaki cömertlikleri ve desteklerinden dolayı Mercedes-Benz Türk A.Ş. çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2008

Gürkan ALKAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. TAŞIT SEYİR DENKLEMLERİ	2
2.1 Aktarma Organları	6
3. HİBRİD ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	8
3.1 Seri Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi	10
3.2 Paralel Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi	12
3.3 Seri/Paralel Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi	13
3.4 Hibrid Elektrikli Araçların Avantajları	14
3.5 Hibrid Elektrikli Araçların Dezavantajları	15
3.5.1 Seri Hibrid Sistemin Dezavantajları	15
3.5.2 Paralel Hibrid Sistemin Dezavantajları	15
3.6 Seri Hibrid Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Alt Sistemler	16
3.6.1 Güç Üretim Sistemleri	16
3.6.2 Enerji Depolama Sistemleri	18
3.6.3 Tahrik Sistemleri	19
3.6.4 Sürüş Kontrol ve Enerji Yönetim Sistemleri	20
4. ADVISOR	23
4.1 ADVISOR Dosya Yapısı	24
4.2 ADVISOR Araç Model Tanımları	25
4.2.1 İçten Yanmalı Motor Modeli	27

4.2.2 Egzos Sistemi Modeli	30
4.2.3 Vites Kutusu Modeli	33
4.2.4 Vites Kutusu Kontrol Sistemi Modeli	34
4.2.5 Hidrolik Tork Dönüştürücü Modeli	35
4.2.6 Diferansiyel Modeli	35
4.2.7 Tekerlek/Aks Modeli	36
4.2.8 Taşıt Modeli	37
4.2.9 Elektrik Motoru-Kontrol Ünitesi Modeli	38
4.2.10 Jeneratör-Kontrol Ünitesi Modeli	38
4.2.11 Batarya Modeli	39
5. MERCEDES-BENZ CONECTO ŞEHİR İÇİ OTOBÜS	41
5.1 Conecto Teknik Özellikleri	42
5.2 Conecto'nun ADVISOR ile Simülasyonu	44
5.2.1 Taşıt Girdilerinin Oluşturulması	44
5.2.2 Simülasyon Parametrelerinin Belitlenmesi	46
5.2.3 Simülasyon Sonuçları	49
6. CONECTO'NUN HİBRİD DÖNÜŞÜMÜ	53
6.1 Hibrid Taşıt Alt Sistemlerinin Tanımlanması	54
6.2 Simülasyon Parametrelerinin Tanımlanması	56
6.3 Simülasyon Sonuçları	57
7. KONVANSİYONEL CONECTO, HİBRİD CONECTO VE HİBRİD ORİON'IN KARŞILAŞTIRILMASI	60
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	66

KISALTMALAR

ADVISOR	: Advanced Vehicle Simulator
DART	: Dallas Area Rapid Transport
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
NREL	: National Renewable Energy Laboratory

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 5.1: Veri Dosyalarında Kullanılan Değişkenler.....	45
Tablo 5.2: Yokuş Kabiliyeti ve İvmelenme.....	47
Tablo 6.1: Hibrid Conecto Değişkenleri.....	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1	: Taşıt Hareket Kuvvetleri	3
Şekil 3.1	: ABD'de Yıllara Göre Hibrid Elektrikli Araçların Satış Adetleri	9
Şekil 3.2	: Hibrid Elektrikli Araç	10
Şekil 3.3	: Seri Hibrid Tahrik Sistemi	11
Şekil 3.4	: Paralel Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi	12
Şekil 3.5	: Seri/Paralel Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi	14
Şekil 3.6	: Dizel Motorunda Enerji Kayıpları	16
Şekil 3.7	: Seri Hibrid Elektrikli Araç Çalışma Modları	21
Şekil 4.1	: ADVISOR Dosya Yapısı	24
Şekil 4.2	: Konvansiyonel Araç Blok Diyagramı	25
Şekil 4.3	: Seri Hibrid Elektrikli Araç Blok Diyagramı	26
Şekil 4.4	: İçten Yanmalı Motor Blok Diyagramı	27
Şekil 4.5	: Motor Termal Modeli	28
Şekil 4.6	: Egzos Sistemi Blok Diyagramı	31
Şekil 4.7	: Katlitik Dönüştürücü Isıl Şeması	32
Şekil 4.8	: Vites Kutusu Blok Diyagramı	33
Şekil 4.9	: Vites Kutusu Kontrol Sistemi Blok Diyagramı	34
Şekil 4.10	: Vites Değiştirme Grafiği	34
Şekil 4.11	: Diferansiyel Blok Diyagramı	35
Şekil 4.12	: Tekerlek/Aks Blok Diyagramı	36
Şekil 4.13	: Taşıt Blok Diyagramı	37
Şekil 4.14	: Elektrik Motoru-Kontrol Ünitesi Blok Diyagramı	38
Şekil 4.15	: Jeneratör-Kontrol Ünitesi Blok Diyagramı	39
Şekil 4.16	: Temel Modelde Kullanılan Hücrenin Şematik Diyagramı	39
Şekil 5.1	: Mercedes-Benz Conecto	41
Şekil 5.2	: Mercedes-Benz Conecto Ölçüleri	42
Şekil 5.3	: Mercedes-Benz Conecto Güç, Tork, Yakıt Sarfıyatı Eğrileri	42
Şekil 5.4	: Conecto Teknik Donanım ve Özellikleri	43
Şekil 5.5	: Araç Parametreleri Giriş Ekranı	44
Şekil 5.6	: Simülasyon Parametreleri Ekranı	46
Şekil 5.7	: CBD14 Sürüş Çevrimi Detayları	47
Şekil 5.8	: İvmelenme ve Yokuş Kabiliyeti Testleri	48
Şekil 5.9	: Otobüslerin CBD Çevrimindeki Egzos Emisyon Değerleri	48
Şekil 5.10	: ADVISOR Simülasyon Sonuçları Ekranı (Metrik)	49
Şekil 5.11	: ADVISOR Simülasyon Sonuçları Ekranı (US)	49
Şekil 5.12	: Vites Değiştirme Diyagramı	51
Şekil 5.13	: İçten Yanmalı Motorun Çalışma Bölgesi	51
Şekil 5.14	: Sürüş Çevriminden Sapmalar	52
Şekil 5.15	: İçten Yanmalı Motorun Verimi	52
Şekil 6.1	: Seri Hibrid Tahrik Sistemli Orion	53

Şekil 6.2	:	Hibrid Taşıt Parametreleri Giriş Ekranı	55
Şekil 6.3	:	İvmelenme ve Yokuş Kabiliyeti Testleri	56
Şekil 6.4	:	ADVISOR Simülasyon Sonuçları Ekranı (Metrik)	57
Şekil 6.5	:	ADVISOR Simülasyon Sonuçları Ekranı (US)	57
Şekil 6.6	:	Elektrik Motoru Çalışma Aralıkları	58
Şekil 6.7	:	Çevrime Uyulamayan Noktalar	58
Şekil 6.8	:	İçten Yanmalı motorun Çalışma Bölgeleri	59
Şekil 6.9	:	İçten Yanmalı Motorun Verimi	59
Şekil 7.1	:	New York Bus Sürüş Çevrimi Detayları	60
Şekil 7.2	:	Konvansiyonel Conecto Sonuç Ekranı	61
Şekil 7.3	:	Hibrid Conecto Sonuç Ekranı	61
Şekil 7.4	:	Hibrid Orion Sonuç Ekranı	62

SEMBOL LİSTESİ

A	: Taşıt kesit alanı
A_c	: Kesit alanı
A_s	: Yüzey alanı
c_D	: Hava direnç katsayısı
$c_{p,gas}$	: Yakıt alt ısı değeri
F_B	: Taşıt ivme kuvveti
F_L	: Taşıt hava direnç kuvveti
F_R	: Yuvarlanma direnç kuvveti
f_R	: yuvarlanma direnç katsayısı
F_{St}	: Taşıt yokuş kuvveti
F_T	: Tekerlek çeki kuvveti
$F_{x,\bar{O}}$	: Ön tekerlek çevre kuvveti
$F_{x,A}$	: Arka tekerlek çevre kuvveti
$F_{z,\bar{O}}$	: Ön tekerlek yükü
$F_{z,A}$	: Arka tekerlek yükü
G	: Taşıtın toplam ağırlığı
h	: Konveksiyon ısı transfer katsayısı
h_{Alt}	: Yakıtın alt ısısı
i	: Silindir sayısı
i_k	: Aktarma organları toplam çevrim oranı
$J_{T,\bar{O}}$	: ön tekerlek ataleti
$J_{T,A}$	: arka tekerlek ataleti
k	: Kondüksiyon ısı transfer katsayısı
l	: aks aralığı
l_A	: ağırlık merkezinin arka aksa mesafesi
$l_{\bar{O}}$	: ağırlık merkezinin ön aksa mesafesi
m	: taşıt kütlesi
m_f	: Yakıt kütlesi
$\dot{m}_{gas}$	: Gaz kütlesi
M_M	: Motor momenti
$M_{T,A}$	: arka tekerlek momenti
$M_{T,\bar{O}}$	: ön tekerlek momenti
n_e	: Krank mili devir sayısı
P_M	: Motor gücü

P_T	: Toplam tekerlek gücü
$Q_{c2i,c}$	: Silindirden motor bloğuna ısı transferi
$Q_{exhaust}$	: Egzos gazlarının ısısı
Q_f	: Yakıtın verdiği ısı
$Q_{fc_coolant}$	: Soğutma sistemi tarafından uzaklaştırılan ısı
Q_{fc_gen}	: Motorun açığa çıkardığı ısı
$Q_{fc,htc}$	: Kalorifer sisteminin ısısı
$Q_{fc,rad}$	: Radyatör ısısı
$Q_{i2x,c}$	: Motor bloğundan dışarıya ısı transferi
R	: tekerlek yarıçapı
R_A	: arka tekerlek yarıçapı
R_O	: ön tekerlek yarıçapı
T_{amb}	: Ortam sıcaklığı
T_c	: Silindir sıcaklığı
T_{gas}	: Gaz sıcaklığı
T_h	: Kaput sıcaklığı
T_i	: Motor bloğunun sıcaklığı
T_x	: Ek donanımları sıcaklığı
$\ddot{\phi}$	: tekerlek dönme açısal ivmesi
ρ	: Hava yoğunluğu
η_e	: Efektif verim
η_{mek}	: Mekanik verim
η_k	: Aktarma organlarının toplam verimi
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
α	: yol eğimi
$\ddot{x}$	: taşıt ivmesi

ŞEHİR İÇİ TİPTE BİR OTOBÜSÜN HİBRİD DÖNÜŞÜMÜNÜN TASARIM

ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada, yolcu taşımada kullanılan şehir içi tipte bir otobüsün hibrid elektrikli araca dönüşümünün tasarım analizi ADVISOR kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, hareket halindeki bir taşıta etkiyen direnç kuvvetleri gösterilmiş ve taşıtın hareket denklemleri gösterilmiştir. Daha sonra hibrid elektrikli taşıtlar ile ilgili literatür incelemesi yapılmış, hibrid elektrikli araçların çalışma prensipleri, hibrid sistem türleri, avantaj ve dezavantajları, hibrid sistemlerin alt parçaları ve çalışma prensipleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü aşamada, NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilen ve özellikle hibrid elektrikli araçların simülasyonu için tercih edilen ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator) ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve ADVISOR'un çalışma prensipleri açıklanmıştır. Dördüncü aşamada, Mercedes-Benz Türk A.Ş. tarafından üretilen şehir içi alçak tabanlı otobüs Conecto modellenmiş ve Conecto'nun CBD14 sürüş çevrimi için ADVISOR ile simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon çıktıları ile DART (Dallas Area Rapid Transport) tarafından hazırlanan teknik raporda belirtilen şehir içi otobüslerin performans şartları karşılaştırılmıştır. Beşinci aşamada Conecto'nun hibrid versiyonu için New York toplu taşımacılığında halen kullanılmakta olan Orion baz alınarak ADVISOR'da hibrid sistem alt elemanları modellenmiş ve yine CBD14 sürüş çevriminde ADVISOR ile simülasyonu yapılarak elde edilen sonuçlar konvansiyonel Conecto'nun simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Son aşamada konvansiyonel Conecto, hibrid Conecto ve ADVISOR veri tabanında yer alan hibrid Orion'ın New York Bus sürüş çevrimi için ADVISOR ile simülasyonu yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılarak hibrid sistemin yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları açısından avantajları açıklanmıştır.

HYBRID TRANSFORM DESIGN ANALYSIS OF AN URBAN BUS

SUMMARY

In this study, hybrid transform design analysis of an inner-city bus, which is used in public transport, is performed by using ADVISOR. First, resistance forces acting on an vehicle is described and motion equations of the vehicle is explained. After that an literature study is performed about hybrid electric vehicles, the principles about how hybrid electric vehicle works, hybrid system types, advantages and disadvantages of hybrid electric vehicles, components of hybrid systems and working principles of these components is explained. In third step, general information is given and working principles of ADVISOR, which is developed by NREL (National Renewable Energy Laboratory) especially for hybrid electric vehicle simulation, is explained. In fourth step, low floor inner-city bus Conecto, which is produced by Mercedes-Benz Turk A.Ş., is modelled and simulation of Conecto for CBD14 driving cycle is performed by ADVISOR. Outputs of the simulation are compared with the requirements of the DART (Dallas Area Rapid Transport) technical report for inner-city buses. In fifth step, hybrid transform of Conecto is made based on Orion which is still in use in New York public transport. Hybrid Conecto is simulated in ADVISOR for CBD14 driving cycle and results are compared with previous results of conventional Conecto. In last step, Conventional Conecto, hybrid Conecto and hybrid Orion are simulatend for New York Bus driving cycle in ADVISOR. Results are compared for fuel consumption and exhaust emissions and advantages of hybrid systes is explained.

1. GİRİŞ:

Dünya nüfusunun hızla artmasına paralel olarak, artan enerji kullanımı, endüstrinin gelişimi ve şehirleşmeyle ortaya çıkan hava kirliliği insan sağlığı ve diğer canlılar üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki ulaşım yoğunluğunun artması nedeniyle çevre kirliliği ortaya çıkmıştır. İçten yanmalı motorlardan çıkan emisyonlar (azot oksitler NO_x, karbon monoksit CO, küçük partiküller, uçucu organik bileşikler vb.) bölgesel ve hatta global ölçülerde çevreye önemli zararlar vermektedir. Büyük şehirlerin bir çoğunda trafik emisyonlarından kaynaklanan azot oksit ve karbon monoksit oranları istenilen standartların üzerindedir. Dünya genelinde yapılan araştırmalarda havadaki küçük partiküllerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğu görülmüştür. İçten yanmalı motorların her türü (dizel, benzinli, LPG'li vb.) yüksek miktarda partikül açığa çıkarmaktadır. Özellikle dizel motorların benzinli ya da LPG'li motorlara göre daha fazla partikül açığa çıkardığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple şehirlerdeki bu küçük partiküllerin oluşmasının en önemli sebebinin trafik olduğu düşünülmektedir. Katalitik dönüştürücülerin kullanılması ile emisyonlar azalmakta, ancak trafiğin artması nedeniyle emisyon yoğunluğunun artmaya devam ettiği tespit edilmiştir.

Günümüzde insanları en çok ilgilendiren, özellikle büyük yerleşim merkezleri ve sanayi alanlarındaki hava kirliliğidir. Bu kirlilik de daha çok insan faaliyetleri sonucu meydana gelir. Atmosfere atılan kirleticilerin tümü içinde; karbonmonoksitin % 65'i, azotoksitlerin % 55'i, hidrokarbonların ise % 45'i benzin ve dizel yakıtı kullanan taşıtların egzoz emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan içten yanmalı motorlu araçlar bu kirleticilerin oluşumunda oldukça büyük pay sahibidir.

Dünyadaki enerji sıkıntısı, emisyon kirliliği ve özellikle karbondioksit kaynaklı küresel ısınma sebebiyle motorlu taşıtların yakıt tasarrufu ile ilgili önemli iyileştirme beklentileri ortaya çıkmıştır. Taşıtların yakıt tüketimini ve egzoz emisyonlarını azaltabilecek kilit teknolojilerden biri hibrid elektrikli taşıtlar olarak görülmektedir.

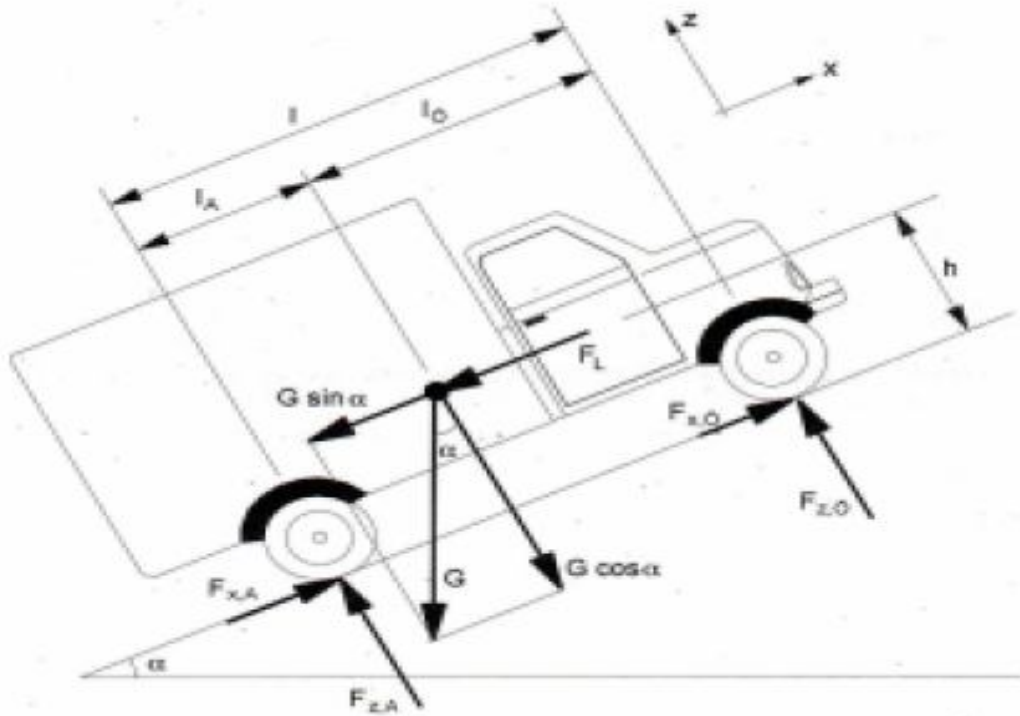
Elektrikli tahrik birçok avantajına rağmen çok tercih edilmemesinin sebebi bataryaların enerji yoğunluğunun az olmasıdır. Ancak petrol krizi, petrol fiyatının ve yakıt bağımlılığın artmasıyla birlikte yeni teknoloji arayışları hızlanmış ve elektrikli tahrik tekrar gündeme gelmiştir.

Hibrid taşıtların birincil tahrik makinası elektrik motoru olduğundan, hibrid taşıtlar fosil yakıtları kullanımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Hibrid taşıtlarda içten yanmalı motor, elektrik motoru gibi güç sistemleri ve batarya ya da yakıt hücresi gibi güç depolama sistemleri mevcuttur. Hibrid elektrikli taşıtlar özellikle şehir içi sürüş koşulları açısından büyük bir potansiyel barındırmaktadır. Fakat bu taşıtların enerji depolama maliyetlerinin yüksek ve kontrol stratejilerinin optimizasyonunun karmaşık oluşu bir dezavantajdır.

Otomotiv üreticileri egzoz emisyonlarını azaltabilmek için hibrid teknoloji geliştirme konusunda işbirliğine gitmektedir. A.B.D. Enerji Bakanlığı (DOE) hibrid elektrikli araçlar için teknoloji geliştirmek üzere Ford, General Motors ve Daimler Chrysler ile olan Hibrid Elektrikli Araç Tahrik Sistemleri anlaşması yapmıştır. 1997 yılında Japonya'da Toyota firması tarafından geliştirilen Prius modeli ilk modern hibrid elektrikli araç olarak pazara sunulmuştur. Bundan 2 yıl sonra Amerika'da Honda Insight ve Honda Civic hibrid elektrikli aracı üretilmiştir. Hibrid otobüslerin ilk örnekleri ise New York'ta şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılmaya başlanmıştır. New York'ta kullanılan hibrid otobüslerin, içten yanmalı motorlu otobüslere oranla yakıt tüketimi, egzoz emisyonu, gürültü, bakım onarım masrafları açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür.

2. TAŞIT SEYİR DENKLEMLERİ:

Hareket halindeki bir taşıta etkiyen kuvvetler, taşıtı hareket ettiren tahrik kuvveti ve bu harekete direnç gösteren kuvvetler olmak üzere, iki grupta değerlendirilmektedir. Bunlardan birincisi, hareket ettirici temel kuvvet; motor tarafından üretilerek, aktarma organları aracılığıyla tekerleklerle ulaştırılan ve tekerlekle yol arasındaki etkileşime bağlı olarak ortaya çıkan kuvvettir. İkincisi ise harekete direnç gösteren kuvvetler; transmisyon, yuvarlanma, hava, yokuş ve ivme dirençlerinden oluşmaktadır. Taşıtın hareket edebilmesi için hareket dirençlerine eş veya daha büyük bir kuvvetin tahrik tekerlelerinden zemine aktarılması gerekir.



Şekil 2.1: Taşıt Hareket Kuvvetleri

Şekil 2.1’de eğimli bir yolda, yukarı doğru hareket halindeki bir taşıta etki eden kuvvetler görülmektedir.

Taşıtın hareket doğrultusunda x eksenini boyunca kuvvet dengesi yazılırsa :

$$m \cdot \ddot{x} = F_{x,O} + F_{x,A} - mg \sin \alpha - F_L \quad (2.1)$$

$$\ddot{x} = \ddot{\varphi} R \text{ ile}$$

$$F_{x,\bar{O}} = \frac{M_{T\bar{O}}}{r} - F_{z,\bar{O}}f_R - \frac{J_{T\bar{O}}\ddot{x}}{rR_{\bar{O}}} \quad (2.2)$$

$$F_{x,A} = \frac{M_{TA}}{r} - F_{z,A}f_R - \frac{J_{TA}\ddot{x}}{rR_A} \quad (2.3)$$

$$\frac{M_{T\bar{O}}}{r} + \frac{M_{TA}}{r} = \left(m + \frac{J_{T\bar{O}}}{rR_{\bar{O}}} + \frac{J_{TA}}{rR_A}\right)\ddot{x} + mg \sin \alpha + F_L + (F_{z,\bar{O}} + F_{z,A})f_R \quad (2.4)$$

G : taşıtın toplam ağırlığı

l : aks aralığı

l_A : ağırlık merkezinin arka aksa mesafesi

$l_{\bar{O}}$: ağırlık merkezinin ön aksa mesafesi

α : yol eğimi

m : taşıt kütlesi

$\ddot{x}$: taşıt ivmesi

$F_{x,\bar{O}}$: ön tekerlek çevre kuvveti

$F_{x,A}$: arka tekerlek çevre kuvveti

$\ddot{\varphi}$: tekerlek dönme açısal ivmesi

R : tekerlek yarıçapı

$M_{T,\bar{O}}$: ön tekerlek momenti

$M_{T,A}$: arka tekerlek momenti

$F_{z,\bar{O}}$: ön tekerlek yükü

$F_{z,A}$: arka tekerlek yükü

f_R : yuvarlanma direnç katsayısı

$J_{T,\bar{O}}$: ön tekerlek ataleti

$J_{T,A}$: arka tekerlek ataleti

$R_{\bar{O}}$: ön tekerlek yarıçapı

R_A : arka tekerlek yarıçapı

(2.4) eşitliğinin elemanları incelenirse;

$$F_T = F_B + F_{St} + F_L + F_R \quad (2.5)$$

F_T : Tekerlek çeki kuvveti

$$F_T = \frac{M_{T\bar{O}}}{r} + \frac{M_{TA}}{r}$$

F_B : Taşıt ivme kuvveti

$r = R_0 = R_A$ kabulü ile döner kütlelerin taşıt ivmelenmesine etkisi λ faktörü ile belirtilir.

$$\lambda = 1 + \frac{J_{\bar{O}} + J_A}{mr^2} \quad (2.6)$$

olmak üzere

$$F_B = \lambda m \ddot{x} \quad (2.7)$$

olarak yazılabilir. λ değeri binek taşıtlarda;

1. viteste 1,45;
2. viteste 1,15;
3. viteste 1,08;
4. viteste 1,05;
5. viteste 1,03 olarak alınabilir.

F_{St} : Taşıt yokuş kuvveti

Eğimler ufak olduğundan $\sin \alpha = \tan \alpha = p$ olarak alınır.

$$F_{St} = m g p \quad (2.8)$$

F_L : Taşıt hava direnci kuvveti

$$F_L = \frac{1}{2} \rho c_D A v^2 \quad (2.9)$$

ρ : hava yoğunluğu

c_D : hava direnç katsayısı

A : kesit alanı

F_R : Yuvarlanma direnci kuvveti

$$F_R = f_R (F_{z\ddot{O}} + F_{zA})$$

Tekerlek çeki kuvveti yukarıdaki direnç kuvvetlerinin toplamı olarak ifade edilirse;

$$F_T = \lambda m \ddot{x} + (f_R + p) m g + 0,5 \rho c_D A v^2 \quad (2.10)$$

2.1 Aktarma Organları:

F_T , tekerlek çeki kuvveti, M_M motor momentinin aktarma organları çevrim oranı ve verimi ile tekerleklere indirgenmiş kuvvettir.

i_k aktarma organlarının toplam çevrim oranı;

$$i_k = i_D i_V \quad (2.11)$$

Aktarma organlarının verimi benzer şekilde,

$$\eta_k = \eta_D \eta_V \quad (2.12)$$

Tekerlek tahrik durumunda ise, verim motor momentini azaltacak şekilde çarpımda yer alır;

$$F_T = \frac{M_{T\ddot{O}}}{r} + \frac{M_{TA}}{r} = i_k \frac{\eta_k M_M}{r} \quad (2.13)$$

Tekerlekler fren durumunda ise, aktarma organlarının verimi ifadenin paydasında yer almaktadır.

$$F_T = \frac{M_{T\ddot{O}}}{r} + \frac{M_{TA}}{r} = i_k \frac{M_M}{\eta_k r} \quad (2.14)$$

Tekerleklerdi toplam güç P_T , tekerlek momentlerinin açısal hızlarıyla çarpımlarının toplamına eşittir.

$$P_T = M_{T\ddot{O}} \dot{\varphi}_{T\ddot{O}} + M_{TA} \dot{\varphi}_{TA} \quad (2.15)$$

$v = R \dot{\varphi}$ bağlantısını her tekerlek için kullanırsak,

$$P_T = \left(\frac{M_{T\ddot{O}}}{r} \frac{r}{R_{\ddot{O}}} + \frac{M_{TA}}{r} \frac{r}{R_A} \right) v \quad (2.16)$$

bulunur. Burada tekerleklerde kayma olmadığı kabul edilirse ve statik yarıçapları ile dinamik tekerlek yarıçapları eşit kabul edilirse,

$$P_T = F_T v \quad (2.17)$$

olarak ifade edilir.

Taşıtın hareketi için gerekli olan tekerlek gücü;

$$P_T = F_R v + F_L v + F_{St} v + F_B v$$

$$P_T = \left(f_R + p + \frac{\lambda \ddot{x}}{g} \right) Gv + c_D A \frac{\rho}{2} v^3 \text{ şeklinde de ifade edilebilir.}$$

Motor gücü ile tekerleklerdeki güç arasında aktarma organlarının verimi kadar fark vardır.

$$P_T = \eta_k P_M \text{ (tahrikte)} \quad (2.18)$$

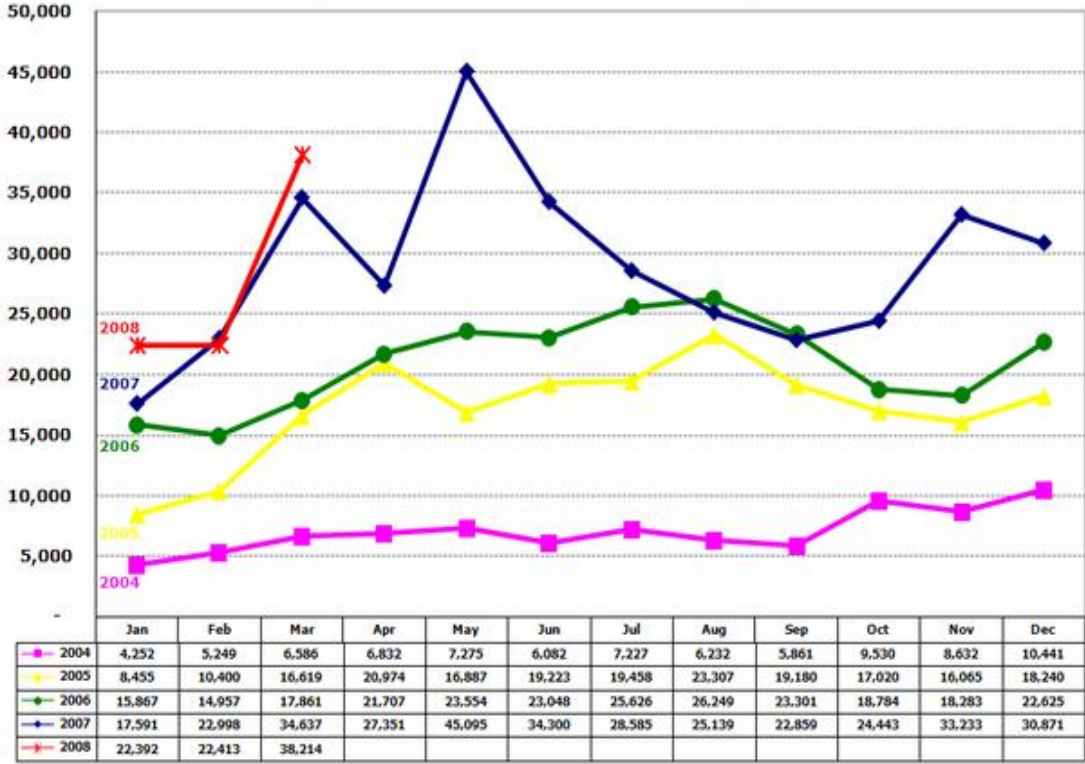
$$P_T = \frac{P_M}{\eta_k} \text{ (frende)} \quad (2.19)$$

3. HİBRİD ELEKTRİKLİ ARAÇLAR:

Araç sayısındaki artış ile birlikte, egzoz emisyonlarından kaynaklanan hava kirliliğinin ve CO₂ gazı miktarının hızla artması, sera etkisinin oluşması ve iklim değişiklikleri alternatif yakıt arayışlarını gündeme getirmiştir. Küresel çapta artış gösteren trafik yoğunluğu çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir. Motorlu taşıtlardan açığa çıkan emisyon miktarlarının taşıt sayısına paralel olarak artması alternatif yakıtların kullanımının etkisini sınırlamaktadır. Altyapı sistemlerindeki kısıtlamalar sebebi ile alternatif yakıtların kullanımı henüz istenilen seviyelere ulaşmamıştır. Önemli altyapı sorunları, retim kaynaklı problemler, tedarik zinciri, pazarlama ve motor uyumudur. Çevre açısından kirletici emisyonları aztan katkı maddeli sistemler, katkı maddesinin dağıtımı ve depolanma zorlukları sebebiyle yüksek maliyet yaratmaktadır. Tüm bu problemleri gidermek için uygun alternatif yakıtlar ve daha verimli araçların geliştirilmesi gündeme gelmiştir.

Alternatif araç arayışında hibrid elektrikli araçlar tekrar gündeme gelmeye başlamıştır. Elektrik enerjisinin araç tahrikinde kullanılması 1800'lü yıllara dayanmaktadır. İçten yanmalı motorlar, ağırlık güç oranının düşük olması ve yakıt olarak kullanılan petrolün ürünlerinin enerji yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle tercih sebebi olmuştur. Elektrikli tahrik birçok açıdan üstün olmasına rağmen bataryaların enerji yoğunluğunun az olması nedeniyle 1970'lerdeki petrol krizine kadar tercih edilmemiştir. Ancak kriz ile birlikte yeni teknoloji arayışı hibrid elektrikli araçları tekrar vitrine çıkarmıştır.

Hibrid elektrikli araçlar başta Japonya olmak üzere birçok ülkede tüketicinin beğenisine sunulmaya başlanmıştır. Otomotiv firmaları her geçen gün yeni modeller ve ürünler geliştirerek araç performanslarını artırmakta, ürün yelpazelerini genişletmektedir. Batarya teknolojilerinin gelişimine bağlı olarak hibrid araçların performansı artmakta ve tüketiciler için cazip hale gelmektedir. Hibrid elektrikli araçların en önemli özellikleri, sabit şarj sistemlerinden bağımsız, konvansiyonel araçlara benzer şekilde menzile sahip olmasıdır. Tüm bu kullanım kolaylıkları ve tüketim avantajlarının yanında pek çok ülkede devlet teşviki ile satış rakamları artırılmaya çalışılmaktadır.

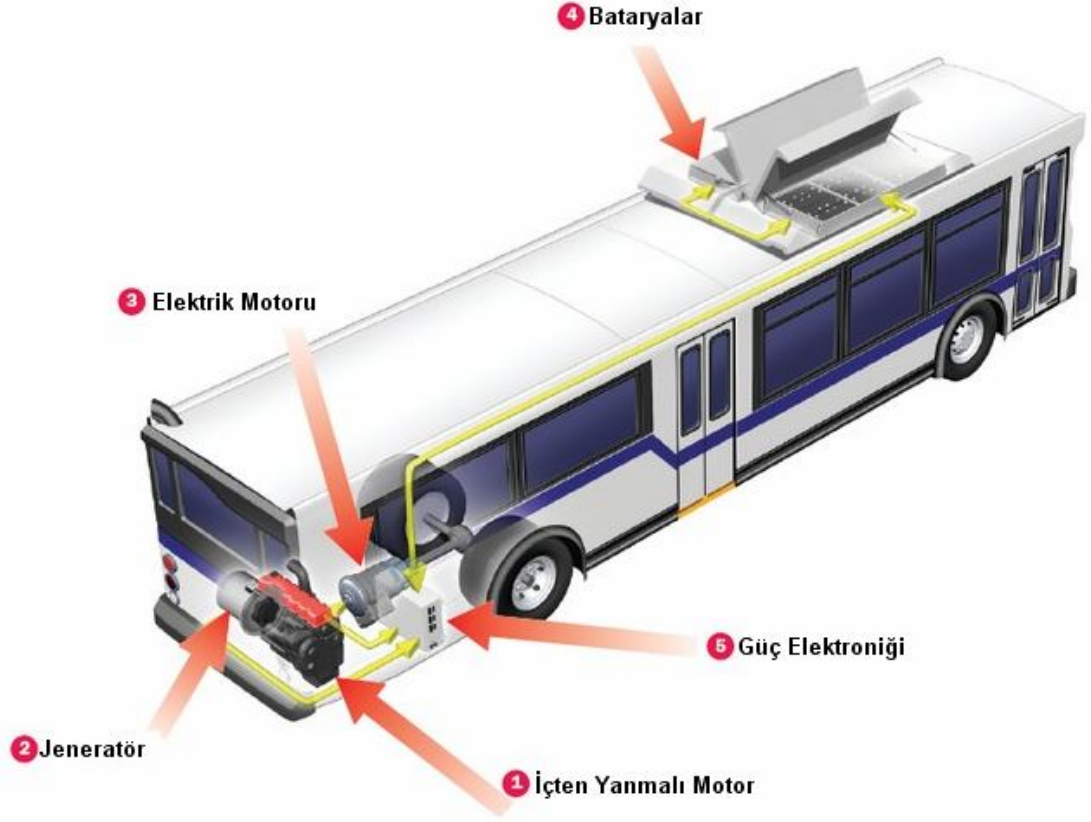


Şekil 3.1: ABD'de Yıllara Göre Hibrid Elektrikli Araçların Satış Adetleri

Şekil 3.1’de de görüleceği gibi son yıllarda ABD’de satılan hibrid elektrikli araçların adetlerinde büyük bir artış söz konusudur.

Hibrid elektrikli araç, enerjinin iki ya da daha fazla enerji deposundan sağlandığı ve bu enerji depolarından en az bir tanesinin elektrik enerjisi verdiği bir araç olarak tanımlanmaktadır.

Bir hibrid elektrikli aracın ana sistemleri enerji dönüşüm sistemi, enerji depolama sistemi, güç ünitesi ve taşıt tahrik sistemidir. Enerji depolama için en yaygın kullanılan sistemler bataryalardır. Hibrid güç ünitesi olarak da otto motorlar, dizel motorlar, gaz türbinleri. Tahrik sistemi ise seri hibrid sisteminde olduğu gibi elektrik motoru, ya da paralel hibrid de olduğu gibi elektrik motoruna ek olarak içten yanmalı motordan oluşmaktadır.



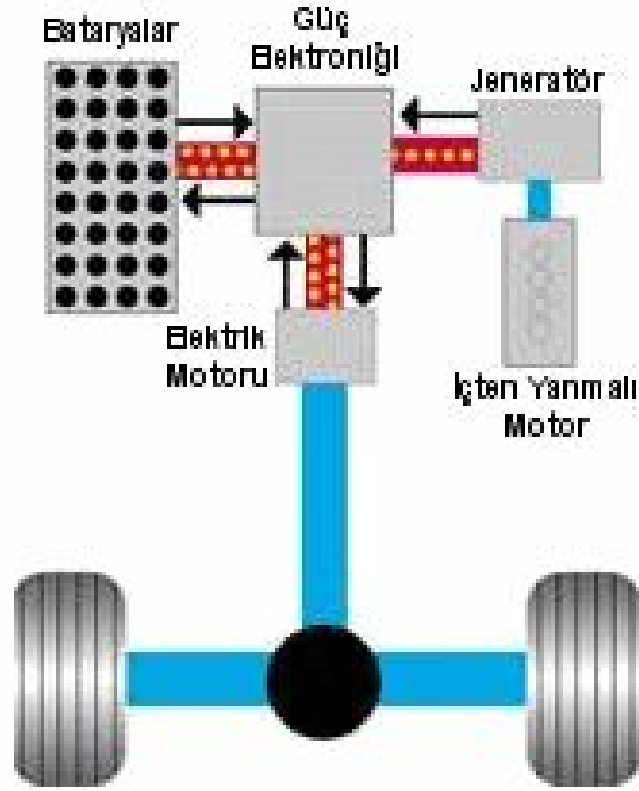
Şekil 3.2: Hibrid Elektrikli Araç

Şekil 3.2’deki hibrid elektrikli aracın alt elemanları aşağıda belirtilmiştir.

1. İçten yanmalı motor
2. Jeneratör
3. Elektrik motoru
4. Bataryalar (Akü grubu)
5. Güç Elektroniği

3.1 Seri Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi:

Seri tahrik sistemli hibrid araçlarda aracı hareket ettirmekte kullanılan tahrik kuvvetinin tamamı elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Elektrik motoru elektriksel gücü mekanik güce dönüştürerek tahriki sağlar. Elektrik motoru için gerekli elektriksel güç, bataryalardan ya da hibrid güç ünitesinden sağlanmaktadır. Bahsi geçen hibrid güç ünitesi içten yanmalı motor ve jeneratörden oluşmaktadır.



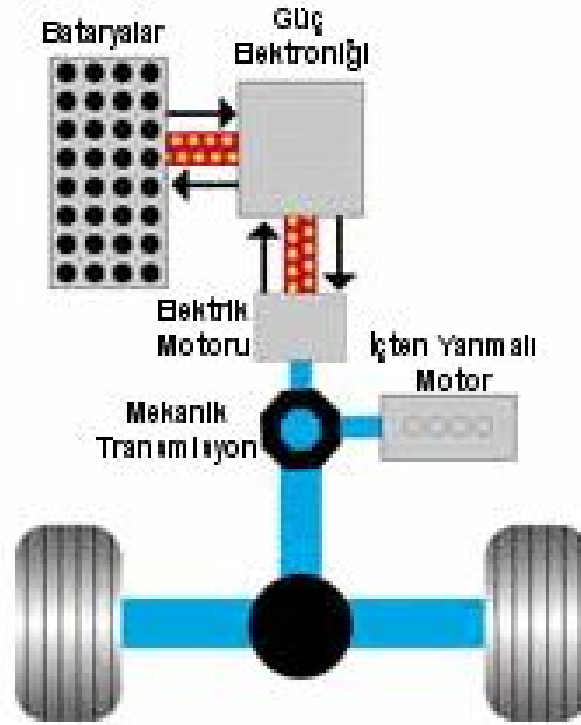
Şekil 3.3: Seri Hibrid Tahrik Sistemi

Şekil 3.3'te gösterilen seri hibrid sistemde yakıtın sahip olduğu kimyasal enerji, içten yanmalı motor ve jeneratör grubu tarafından önce mekanik sonrasında da elektriksel enerjiye dönüştürülmektedir. İçten yanmalı motor ve jeneratör grubu tarafından üretilen elektrik gücü bataryadan gelen güçle beraber elektronik güç kontrol ünitesinde (güç elektroniği) birleşir. Kontrol ünitesi, sürücünün komutlarını tekerlek hızı ve ana tahrik motorundan elde edilen tork ile karşılaştırır ve her enerji kaynağından (bataryalar, içten yanmalı motor-jeneratör grubu) kullanılacak gücü belirler. Bu kontrol ünitesi aynı zamanda sürücü fren yapmak istediğinde içten yanmalı motor-jeneratör grubunu rejeneratif mod için açıp kapatır ve gücü bataryaları şarj edecek şekilde yönlendirir. Frenlemede elektrik motoru jeneratör olarak görev yapar ve bataryaları şarj etmeye yardımcı olur. Araç çalışırken bataryalar hem içten yanmalı motor-jeneratör grubu tarafından hem de rejeneratif frenleme ile şarj edilebilmektedir.

Elektronik güç kontrol ünitesi, içten yanmalı motor-jeneratör grubunu kullanarak bataryaları belirlenen döngülere göre belli limitler dahilinde şarjlı tutar. Bataryaların

şarj yüzdesi bu limitin altına düşerse içten yanmalı motor çalışmaya başlar ve jeneratör yardımıyla bataryalar şarj edilir. Aynı şekilde batarya şarjı üst limiti aşarsa içten yanmalı motor durur. Bazı durumlarda elektrik motoruna sağlanan elektriksel güç hem bataryalardan hem de içten yanmalı motor-jeneratör grubu tarafından sağlanmaktadır. Tahrik tekerleğine sadece elektrik motoru bağlı olduğu için içten yanmalı motor yakıt tüketimini azaltacak şekilde optimum performansta çalışmaktadır. Elektrik motorunun düşük devirlerde torku yüksek olduğundan bu devirlerde vites redüksiyonuna gerek kalmamaktadır.

3.2 Paralel Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi:



Şekil 3.4: Paralel Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi

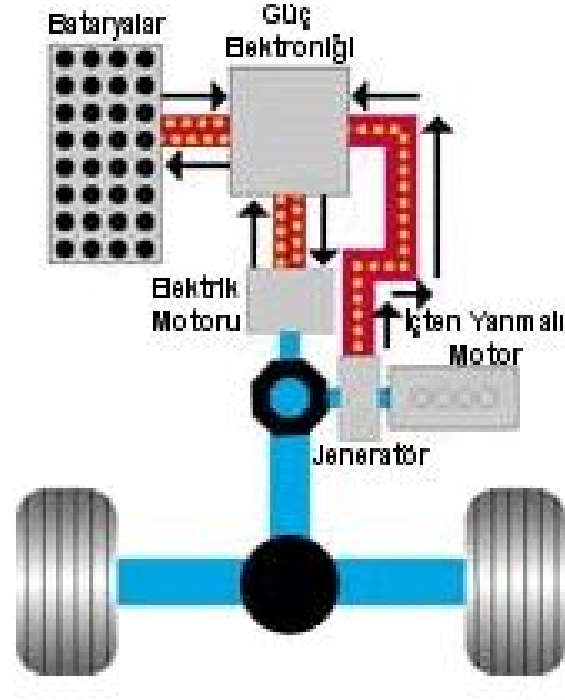
Şekil 3.4'te gösterilen paralel tahrik sistemli hibrid araçlarda içten yanmalı motor ve elektrik motoru aynı mil üzerinde tekerlekleri doğrudan mekanik bağlantı ile aynı anda tahrik etmektedir. Paralel tahrik sistemli araçlar seri olanlara göre daha karmaşık mekanik sistemler içermektedir. İçten yanmalı motor tekerleklerle güç aktarabilmek için bir aktarma mekanizmasına ihtiyaç duyar. Tüm bu bileşenlerin bir arada düzgün bir şekilde çalışabilmesi için elektronik güç kontrol ünitesinin seri hibritle göre ilave özelliklerinin bulunması gerekir. Paralel tahrikli taşıtlarda da seri

taşıtlarda olduğu gibi, konvansiyonel taşıtlara göre daha küçük içten yanmalı motor kullanılır. Toplam güç ihtiyacı ve çalışma verimine bağlı olarak elektronik kontrol ünitesi hangi kaynaktan ne kadar güç çekileceğini belirler. Kontrol ünitesi; yakıt ekonomisi, performans, emisyon ve menzil için en iyi şekilde optimize edilmelidir.

Paralel hibrid sisteminde de seri sistemdekine benzer şekilde rejeneratif frenleme ile bataryalar şarj edilebilmektedir. Paralel sistemde seri sisteme göre daha küçük kapasiteli bataryalar kullanıldığından şarj işlemi ağırlıklı olarak rejeneratif frenleme sırasında gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında, belli sürüş koşullarında elektrik motoru jeneratör olarak görev yaparak bataryaları şarj edebilmektedir. Seri sisteme oranla daha küçük elektrik motoru ve bataryaların kullanılması paralel hibrid sisteminin fiyatını daha düşük kılmaktadır. Bu sistemde içten yanmalı motor direkt olarak tekerleklere bağlı olduğundan seri sisteme göre enerji dönüşüm verimi daha yüksektir. Ayrıca, içten yanmalı motor ve elektrik motoru aynı anda güç sağladığından taşıtın gücü daha fazladır.

3.3 Seri/Paralel Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi:

Şekil 3.5'te gösterilen bu sistem paralel sisteme benzemektedir. Tasarımın özelliği içten yanmalı motorun dişli sistemi ile bağlı olmayıp seri sistemde olduğu gibi jeneratör ile bağlı olmasıdır. Bu şekilde içten yanmalı motor optimum verimde çalışabilmektedir. Düşük hızlarda, araç seri sistemdekine benzer şekilde çalışmaktadır, yüksek hızlarda ise içten yanmalı motor devreye girerek tekerleklere güç iletir ve seri tahrikteki enerji dönüşümleri ile kaybedilen enerji en düşük seviyelere çekilir.



Şekil 3.5: Seri/Paralel Hibrid Elektrikli Tahrik Sistemi

3.4 Hibrid Elektrikli Araçların Avantajları:

Hibrid elektrikli araçlar, konvansiyonel araçlara göre kirletici emisyonları azaltmakta ve yakıt verimini arttırmaktadır. Hibrid elektrikli araçlar birden fazla güç kaynağına sahip araçlar olarak da adlandırılır.

Hibrid elektrikli araçlar enerji kaynağı olarak içten yanmalı motor (2 ya da 4 zamanlı otto ya da dizel motorları) stirling motoru, gaz türbini ya da elektrokimyasal batarya kullanmaktadır. Güç üreten elemanlar elektrik enerjisini depolayan elemanlarla çeşitli şekillerde birleştirilmektedir. Bu şekilde birçok değişik hibrid elektrikli araç tasarımları geliştirilmektedir. Hibrid elektrikli araç verimi ve emisyonu özellikle alt sistemlerin kombinasyonuna ve bu alt sistemlerin tüm sisteme entegre ediliş biçimine bağlıdır.

Hibrid elektrikli araçların konvansiyonel araçlara göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar:

- Rejeneratif frenleme yeteneği enerji kaybını en aza indirir ve taşıt durduğunda ya da yavaşladığında kullanılan enerjiyi geri kazandırarak bataryaları besler.

- İçten yanmalı motorlar pik yükü değil ortalama yükü karşılayacak şekilde boyutlandırıldığından motorun ağırlığı azalmaktadır.
- Yakıt verimi büyük ölçüde artmaktadır.
- Emisyonlar önemli oranda azalmaktadır.
- Hibrid elektrikli motorlar alternatif yakıtlarla da çalıştığından fosil yakıtlara çok fazla bağımlı değildir.

Hibrid elektrikli araçların yukarıdaki avantajlara ek olarak bataryaların şarj limitinin üzerinde olması durumunda içten yanmalı motor çalışmaz ve titreşim veya motor gürültüsü oluşmaz. Hibrid elektrikli araçların boşta çalışma kayıpları yok denecek kadar azdır.

3.5 Hibrid Elektrikli Araçların Dezavantajları:

3.5.1 Seri Hibrid Sistemin Dezavantajları:

- Seri hibrid tahrik sisteminde içten yanmalı motor, jeneratör ve elektrik motoru olmak üzere üç tahrik elemanına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Tahrik donanımları, batarya kapasitesine bağılı olarak menzil ve performans için azami gücü karşılayacak şekilde boyutlandırılmak zorundadır.
- Elektrik motoru gerekli olan azami gücü karşılayacak şekilde, özellikle yüksek eğimler için tasarlanır. Fakat araç çoğunlukla azami gücün altında çalıştığından yüksek eğimler sorun teşkil edebilmektedir.
- Güç sistemi ağır ve maliyeti yüksektir.

3.5.2 Paralel Hibrid Sistemin Dezavantajları:

Sistem tahriki için gerekli olan güç iki farklı kaynaktan sağlandığı için enerji kontrolü büyük önem arz eder. Bu sebeple elektronik kontrol ünitesi çok iyi optimize edilmiş olmalıdır.

- İçten yanmalı motorun ürettiğı gücün tahrik tekerleklerine düzgün olarak iletilmesi için karmaşık mekanizmalara ihtiyaç duyulmaktadır.
- Sistemin çalışması seri sisteme göre daha seslidir.

3.6 Seri Hibrid Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Alt Sistemler:

Seri hibrid elektrikli tahrikli sistemin bileşenleri sırasıyla; güç üretim sistemleri, enerji depolama sistemleri, sürüş kontrol ve enerji yönetim sistemleri ve tahrik sistemleridir

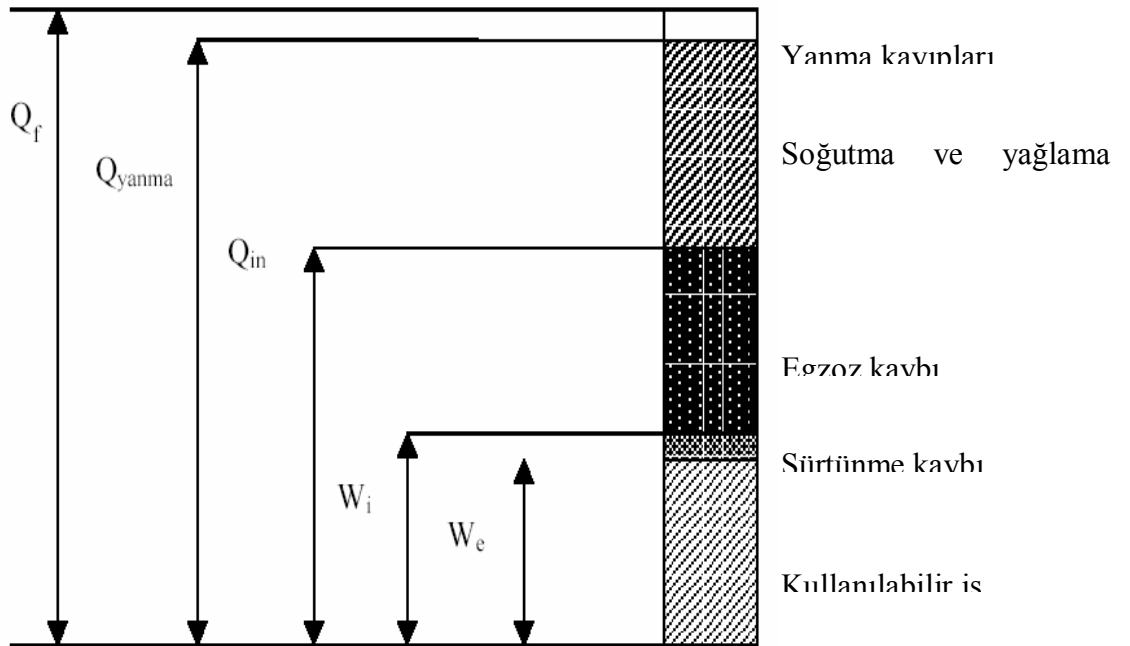
3.6.1 Güç Üretim Sistemleri:

Seri hibrid elektrikli taşıtlarda yakıtın sahip olduğu kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesinde içten yanmalı motorlar kullanılır. Seri tahrikli hibrid elektrikli araçların güç ihtiyacı (50-300kW) göz önünde alındığında içten yanmalı motorların en verimlisi olan dizel motoru öne çıkmaktadır.

Dizel motoru, pistonlu ve içten yanmalı bir ısı makinesidir. Bu motorlarda iki aşamalı bir enerji dönüşümü söz konusudur. İlk aşamada yakıtın içerisinde bulunan kimyasal enerji yanma sonucu ısı enerjisine dönüşmekte ikinci aşamada ise genişleme sonucu mekanik enerjiye dönüşmektedir.

Dört zamanlı bir dizel motorunda çevrim sırasıyla emme, sıkıştırma, yanma ve genişleme ile egzoz gazının atılması olmak üzere dört temel aşamada gerçekleşir.

Hibrid elektrikli araçlarda jeneratörün tahrik edilmesinde kullanılan içten yanmalı motorun jeneratörün ihtiyacı olan güç ve torku sağlaması gerekir.



Şekil 3.6: Dizel Motorunda Enerji Kayıpları

Yakıttan kaynaklı ısı girdisi Q_f , yakıta ait alt ısı değeri (h_{Alt}) ile silindir içerisine çevrim başına verilen yakıt kütlesinin (m_f) ile çarpımı olarak hesaplanır.

$$Q_f = h_{Alt} m_f \quad (3.1)$$

Şekil 3.6’da gösterilen enerji kayıplarını göz önüne alınarak ısı verim ifadesi yazılabilir. Dizel motorlarda efektif verim; mekanik, yanma, ısı ve termodinamik kısmi verim ifadelerinin çarpımı olarak ifade edilebilir.

$$\eta_e = \eta_{mek} \eta_i = \eta_{mek} \eta_{yanma} \eta_{ısı} \eta_{termodinamik} \quad (3.2)$$

Dizel motorda silindir başına güç ve tork ifadeleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$P_B = W_e \frac{n_e i}{2} = p_{me} V_{sil} \frac{n_e i}{2} \quad (3.3)$$

veya;

$$P_B = M_B 2\pi n_e \quad (3.4)$$

P_B : Güç (W)

n_e : Krank mili devir sayısı ($\frac{d}{d}$)

p_{me} : Ortalama efektif basınç (Pa)

i : silindir sayısı.

Dizel motorlarda verim %40-%45 mertebelerindedir. Hibrid elektrikli araçlarda kullanılan dizel motorlarının güç değeri, dünyada üretilmekte olan dizel motorların güç seviyelerine oranl oldukça düşük mertebelerdedir.

3.6.2 Enerji Depolama Sistemleri:

Hibrid elektrikli araçlarda kullanılan başlıca enerji depolama sistemi bataryalardır. Enerji depolamada kullanılan bataryaların yüksek özgül güç, yüksek özgül enerji ve uzun çevrim ömrüne sahip olması ve düşük maliyetli olması beklenir. Özgül enerji yoğunluğu enerji kaynağının birim kütlesinde depolanan enerji miktarını

göstermektedir. Özgül güç ise enerji kaynağının birim kütlesinin verdiği güç olarak ifade edilir.

Seri hibrid elektrikli araçlarda enerji yönetim sistemi kurulurken, ortalama yükleri güç üretim sisteminin tek başına karşılaması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu sebeple bataryalar pik yüklerde anlık enerji talebini karşılayacak şekilde seçilmelidir. Güç desteği durumunda, kullanılan bataryanın özgül gücünün yüksek olması gerekir. Yükün tamamının bataryalar tarafından karşılanacağı durumlarda ise özgül enerjisi yüksek batarya kullanılmalıdır. Burada güç üretim sistemi bataryaları şarj etmede kullanılır.

Hibrit elektrikli taşıt sistemlerinde ağırlıklı olarak kurşun asit bataryalar tercih edilmektedir. Kurşun asit bataryalar yaklaşık 100 yıldan bu yana kullanılmaktadır. Enerji yoğunlukları 25-35Wh/kg mertebelerindedir. Buna karşın güç yoğunluğu 150W/kg gibi yüksek bir değerdir.

Kurşun asit bataryaları çevre koşullarından önemli ölçüde etkilenmektedir. 10°C'nin altındaki sıcaklıklarda batarya performansında düşüşler gözlenmektedir. Kurşun asit batarya sistemi kullanılan hibrit taşıtlarda ek yalıtıma ve yardımcı bir batarya ısıtma sistemine ihtiyaç duyulur. Kurşun asit bataryaların ömrü yaklaşık %80 derin deşarj koşulunda 1000 çevrimdir. Bu da yaklaşık 3 yıla denk gelmektedir.

3.6.3 Tahrik Sistemleri:

Seri tahrikli hibrid elektrikli araçlarda elektrik motoru, güç elektroniği ve kontrol ünitelerine ek olarak içten yanmalı motor da tahrik sisteminin bir parçası olarak düşünülebilir. Tahrik elemanı olarak elektrik motorundan beklenen başlıca özellikler şunlardır:

- Kalkış ve yokuş tırmanma durumları için düşük hızlarda yüksek moment,
- Yüksek anlık güç ve yüksek güç yoğunluğu,
- Sabit moment ve sabit güç bölgelerini içeren çok geniş hız aralığı,
- Normal seyir sırasında yüksek hızlarda yüksek güç,
- Moment ihtiyacına hızlı cevap verebilme,
- Regeneratif frenleme için yüksek verim,

- Geniş hız ve moment aralığında yüksek verim,
- Aracın değişik çalışma koşulları için yüksek güvenilirlik ve sağlamlık,
- Kabul edilebilir seviyede maliyet.

Hibrid elektrikli araçlar için tahrik sistemi seçiminde üç faktör öne çıkmaktadır. Bunlar; sürücünün beklentileri, araç kısıtları ve enerji kaynaklarıdır. Sürücü beklentileri; ivmelenme, yüksek hız, tırmanma kabiliyeti, frenleme ve menzil özelliklerini içeren sürüş profili ile tanımlanır. Araç kısıtları ise aracın çeşidine, araç ağırlığına ve yük taşıma kapasitesine bağlıdır. Enerji kaynakları ise bataryalar ile ilgilidir.

Önceleri, kolay kontrol edilebilmeleri sebebi ile tercih edilen DC motor türleri, güç elektroniği alanında yaşanan gelişmeler neticesinde yerlerini AC motorlara bırakmaktadır. Sık bakım ihtiyacı sebebiyle DC motor kullanımı hızla azalmaktadır.

Güç elektroniği ve kontrol sistemlerindeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak asenkron motorların hız kontrolü problem olmaktan çıkmış ve endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan bu motor hibrid elektrikli taşıtlarda da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle kısa devre kafesli asenkron motorlar, maliyet avantajı, üretim kolaylığı ve dayanıklılığı sebebiyle tercih edilmektedir.

Asenkron motorlar tek ve üç fazlı olarak üretilebilmekle beraber, yüksek güç gerektiren elektrikli araç uygulamalarında üç fazlı olanlar tercih edilmektedir.

Asenkron motorların başlıca elemanları; dışta AC gerilimin uygulandığı stator sargıları, içte ise akım taşıyan iletkenlerin bulunduğu rotordur. Stator sargısına üç fazlı AC gerilim uygulanarak döner manyetik alan oluşturulur. Bu manyetik alan rotorda gerilim endükler ve rotor sargılarından akım akmaya başlar.

Asenkron motorların iki türü bulunmaktadır, kısa devre kafesli asenkron motor ve bilezikli asenkron (rotoru sargılı) motor. Hibrid elektrikli araç uygulamalarında sağlam yapısı nedeniyle kısa devre kafesli asenkron motor tercih edilmektedir.

Kısa devre kafesli asenkron motorun rotoru, mıknatıslanmayı sağlayacak silindirik şeklinde demir malzemeden oluşmaktadır. Bu malzemenin çevresi, uçları birbirine halkalarla kısa devre edilmiş iletken çubuklarla kaplanır.

3.6.4 Sürüş Kontrol ve Enerji Yönetim Sistemleri:

Hibrid elektrikli araçların sistem elemanları arasındaki enerji akışını düzenlemek için farklı güç kontrol stratejileri gereklidir. Burada dört ana hedef tutturulmaya çalışılır;

- Azami yakıt ekonomisi
- Düşük emisyonlar
- İyi sürüş performansı
- Düşük sistem maliyeti

Hibrid araçlar için güç kontrol stratejileri tasarlanırken göz önüne alınması gereken bazı faktörler aşağıda sıralanmıştır;

- Optimal çalışma noktası, içten yanmalı motorun moment-hız düzlemi üzerinde azami yakıt ekonomisinin, en düşük emisyonlar ya da yakıt ekonomisi ve emisyonlar arasındaki bir orta nokta esas alınabilir.

- İçten yanmalı motor farklı güç ihtiyaçlarını karşılamak durumunda olduğundan bunlara karşılık gelen optimal çalışma noktaları optimal çalışma eğrisini oluşturur.

- İçten yanmalı motor, moment hız düzlemi üzerinde yakıt verimliliğinin optimum olduğu tercih edilen bir çalışma bölgesine sahiptir.

- İçten yanmalı motorun çalışma hızının ani dalgalanmalarda kaçınılacak şekilde düzenlenmesi gerekir.

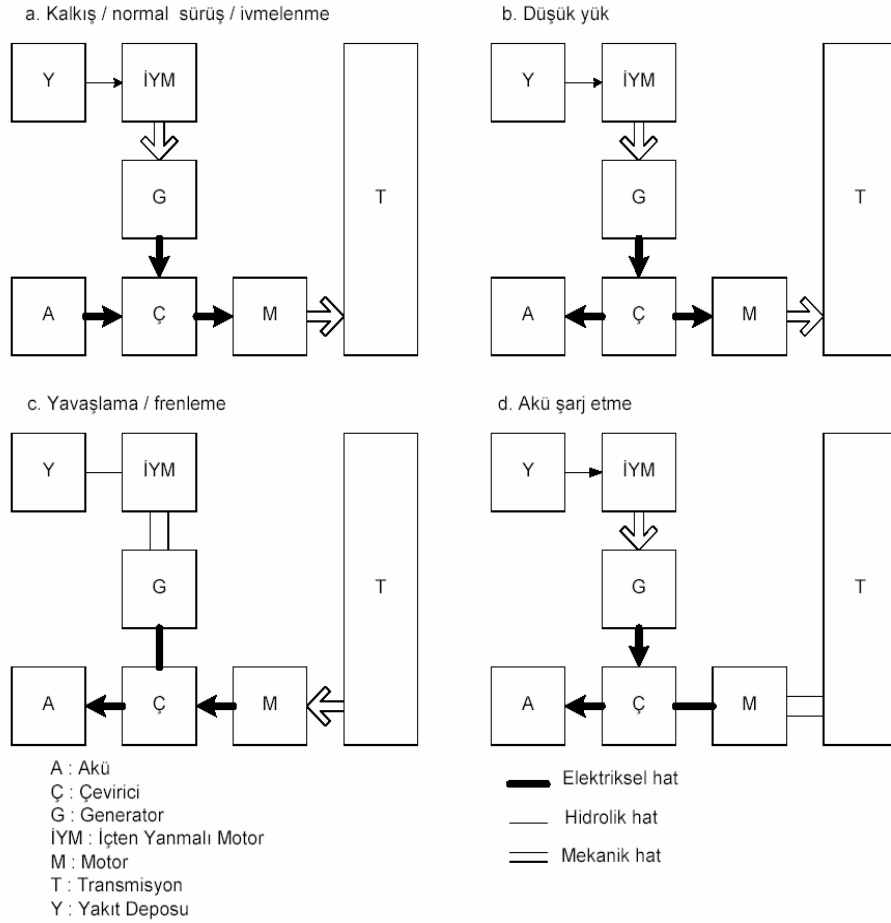
- İçten yanmalı motor düşük hızlarda çalıştığı zaman yakıt verimliliği çok düşüktür. İçten yanmalı motorun hızı belli bir eşik değerinin altında olduğu zaman kapatılmalıdır.

- İçten yanmalı motor sık çalıştırılıp kapatılmamalıdır. Aksi taktirde, bu durum yakıt tüketiminin ve emisyonların artmasına neden olur. Bu dezavantajları engelleyecek bir düşük çalıştırma zamanı belirlenmelidir.

- Batarya kapasitesi, ivmelenme için yeterli enerjiyi sağlayabilecek, frenleme esnasında ya da yokuş aşağı giderkenki rejeneratif enerjiyi kabul edebilecek uygun bir seviyede korunmalıdır. Batarya şarj kapasitesi çok yüksek olduğu zaman, içten yanmalı motor kapatılmalı ya da boşta çalıştırılmalıdır.

- Güç talebini içten yanmalı motor ve batarya arasındaki dağıtımı sürüş çevrimi boyunca orantılı olarak bölünmelidir.

Seri hibrid elektrikli tahrik sisteminde içten yanmalı motorun tahrik sistemi ile mekanik bir bağlantısı olmadığından jeneratör setini yerleştirme esnekliği vardır. Sürüş sisteminin basit olmasına karşın, içten yanmalı motor, jeneratör ve elektrik motoru olmak üzere üç farklı tahrik elemanına ihtiyaç duymaktadır. Diğer bir dezavantajı, uzun eğimlerin tırmanılması için bir araç tasarlanacaksa, tüm tahrik elemanlarının bu eğimi baştan sona kadar gidebilecek şekilde azami güçte boyutlandırılması gereklidir. Eğer kısa mesafeli yolculuklar söz konusu ise jeneratör seti daha düşük güçte boyutlandırılabilir.



Şekil 3.7 Seri Hibrid Elektrikli Araç Çalışma Modları

Seri hibrid sistemlerde enerji akışı Şekil 3.7’deki gibi dört farklı çalışma durumu için gösterilebilir. Seri hibrid elektrikli araçların kalkış normal sürüş ve ivmelenmesi sırasında içten yanmalı motor (jeneratör üzerinden) ve bataryalar elektrik enerjisini güç çevrecisine iletir. Düşük yük durumunda, içten yanmalı motordan elde edilen güç

tekerlekleri sürmek için ihtiyaç duyulan güçten yüksek olacağından üretilen enerji aynı zamanda bataryaları istenen seviyeye kadar şarj etmede kullanılır. Frenleme ya da yavaşlama esnasında elektrik motoru jeneratör olarak çalışıp tekerleklerdeki kinetik enerjiyi elektriğe dönüştürerek çevirici üzerinden aküleri şarj eder. Araç tamamen durmuş olsa dahi eğer ihtiyaç varsa bataryalar içten yanmalı motor ve jeneratör tarafından şarj edilebilir.

4. ADVISOR:

ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator), 1994 yılında NREL (National Renewable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Bu program, A.B.D. Enerji Bakanlığı (DOE) hibrid elektrikli araçlar için teknoloji geliştirmek üzere Ford, General Motors ve Daimler Chrysler ile olan Hibrid Elektrikli Araç Tahrik Sistemleri anlaşması çerçevesinde tasarlanmıştır. Birincil görevi, hibrid elektrikli ve elektrikli araç elemanlarının sistem düzeyinde etkileşimlerini incelemek, ve onların araç performansı ile yakıt tüketimine olan etkilerini aydınlatmaktır. ADVISOR, MATLAB/Simulink ortamında yaratılmıştır. MATLAB, hesapları gerçekleştirmek için matris tabanlı programlamada kolaylık sağlarken, Simulink karmaşık sistemleri, grafiksel blok diyagramlar kullanarak ifade etmek için kullanılmaktadır.

ADVISOR, Matlab ve Simulink ortamında kullanımı için bir model, veri ve script dosyaları setinden oluşur. Konvansiyonel, elektrik, hibrid taşıtlarının performanslarının hızlı bir şekilde analizi için tasarlanır. Ayrıca kullanıcının belirleyeceği taşıt parçalarına göre simülasyon ve analiz yapma özelliğine de sahiptir.

Eğer istenirse, ADVISOR’ dan yararlanarak;

- Henüz yapılmamış taşıtların yakıt tüketimini önceden tahmin etme
- Konvansiyonel, hibrid veya elektrikli taşıtların aktarma organlarında enerjinin nasıl kullanıldığını veya kaybedildiğini öğrenme
- Çevrimlerde oluşan egzoz emisyonlarını karşılaştırma
- Yakıt kullanımını en aza indirmek veya performansı en yüksek seviyeye çıkarmakvs. için transmisyondaki vites oranlarını optimizasyonu yapılabilir.

ADVISOR, yeni bir taşıt ya da mevcut olan taşıt modellemek için, esas olarak temel fiziği ve ölçülmüş parça performansını kullanmaktadır. ADVISOR’ın en önemli yeteneği, henüz tasarım aşamasındaki taşıtların performansını önceden tahmin edebilmesidir. Cevapladığı soru ise, “Eğer biz bu karakteristiklere sahip bir taşıt yaparsak ne olacak?” sorusudur. ADVISOR genellikle yakıt tüketimini, egzoz

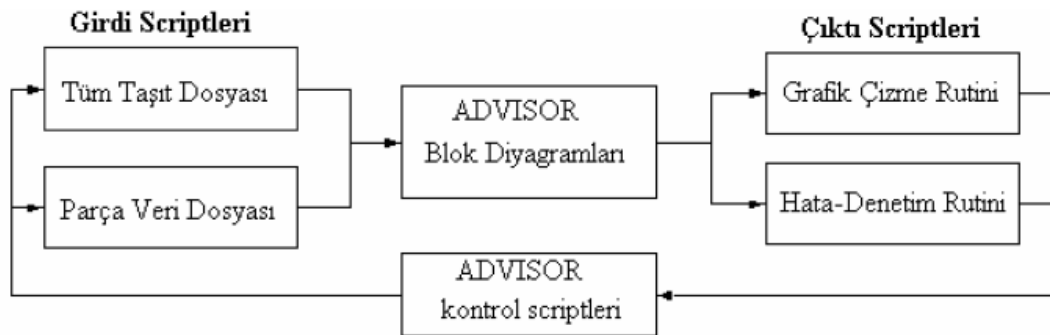
emisyonlarını, ivmelenme yeteneğini ve yokuş çıkabilme yeteneğini önceden tahmin eder. Genel olarak, herhangi bir kullanıcının takip etmesi gereken adımlar şunlardır:

- Ölçüleri belli ya da tahmini olarak belirlenen parçaları kullanarak ve tüm taşıt verisini tanımlamak
- Taşıtın izleyeceği hız-yol durumu belirlemek

ADVISOR adım adım bir parçadan diğerine aktarılan torku, hızı, voltajı, akımı ve gücü hesaplar.

ADVISOR taşıt modellemede yarı-sürekli yaklaşım kullanır. Ayırık zaman basamaklarını kullanarak, belirlenen taşıt hız profilini izlemek için; tekerleklerde gereken enerjiyi hesaplar. Ardından, tekerlek enerji gereksinimini karşılamak için her bir parçadan gerekli girdi enerjisini belirler. Daha sonra bu bilgi, belirlenen çevrim üzerinden yakıt tüketiminin, emisyonların, batarya şarj durumunun belirlenmesi için kullanılır. Her bir taşıt parçası ADVISOR'da ayrı ayrı modellenir ve bu parça blokları Simulink kullanılarak birbirine bağlanır. ADVISOR, ulaşılmak istenen araç hızını bir girdi olarak kabul eder ve bu araç hızına ulaşılabilmek için tahrik sisteminin gereksinimi olan torku, gücü ve hızı belirler. Bilgi akışı araç hızı, lastik, aks, tahrik sistemi v.b. şeklinde geriye doğrudur.

4.1 ADVISOR Dosya Yapısı:



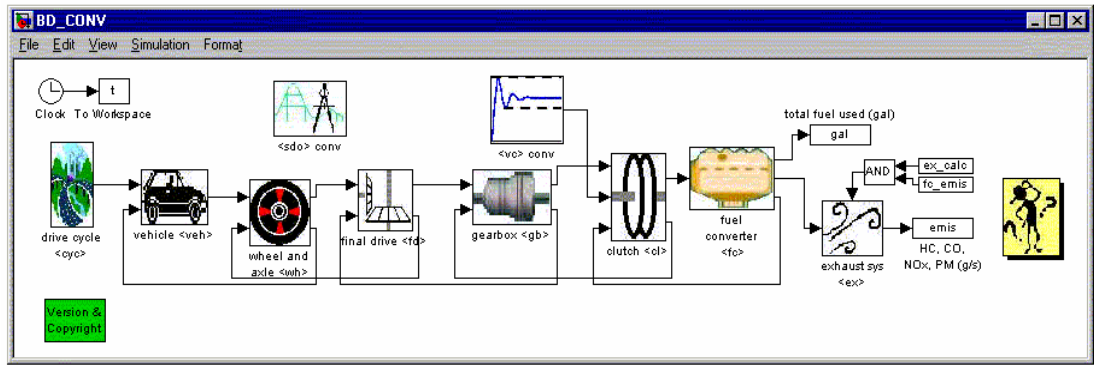
Şekil 4.1: ADVISOR Dosya Yapısı

Şekil 4.1'de ADVISOR'daki dosya yapısı ve veri akışı gösterilmiştir. ADVISOR'ın dört temel unsuru aşağıda belirtilmiştir:

- Girdi scriptleri çalışma alanındaki değişkenleri tanımlar ve / veya diğer scriptleri çalıştırır.

- Blok diagramları, motor haritası gibi girdilerden yakıt tüketimi gibi çıktıları hesaplamak için kullanılan denklemleri içeren Simulink dosyalarıdır.
- Çıktı scriptleri, çalışma alanını sorgulayarak model çıktılarını işlerler. Bunlara simulasyon hatalarının kontrolü ve simulasyon grafiklerinin yazdırılması da dahildir.
- Kontrol scriptleri, hem girdi hem de proses çıktıları geliştirebilir.

4.2 ADVISOR Araç Model Tanımları:



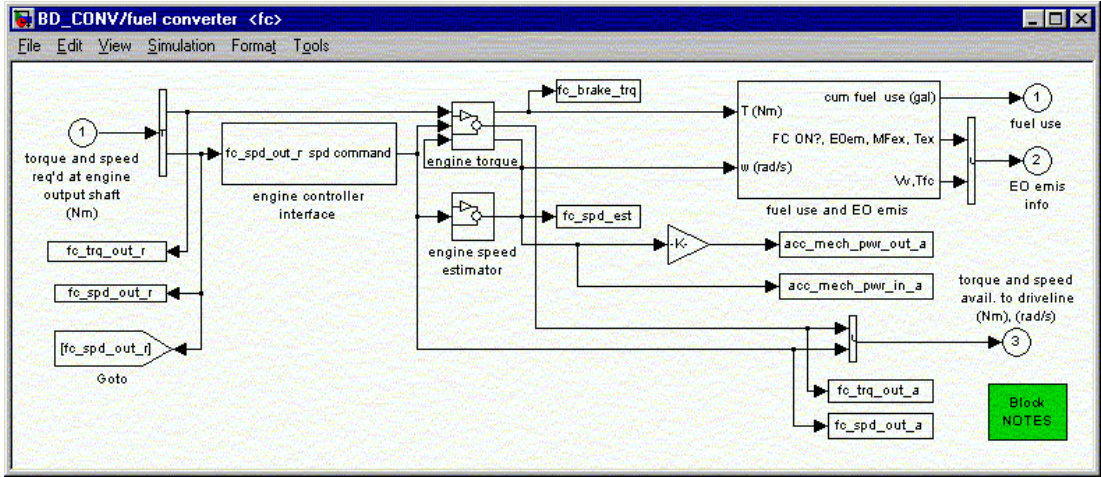
Şekil 4.2: Konvansiyonel Araç Blok Diyagramı

Şekil 4.2’de konvansiyonel bir aracın tahrik sistemi ADVISOR bileşenleri kullanılarak gösterilmektedir. Çoğu blok elemanın ikişer girdisi ve ikişer çıktısı bulunmaktadır. Her bir blok elemanı bir hız ve tork talebini aktarır dönüştürmektedir ve ayrıca her bir blok elemanı ulaşılabilen ya da gerçekleşen tork ve hızı aktarmaktadır.

Besleme yönü soldan sağa olan üstteki oklar tork ve hız talebini ifade etmektedir. Besleme yönü sağdan sola olan alttaki oklar ise ulaşılabilir tork ve hızı ifade etmektedir. Sürüş çevrimine uyulabilmesi için taşıtın ulaşması gereken hız bellidir. Sürüş çevrimi ve içten yanmalı motor arasındaki her blok elemanı, geri yönde kendinden beklenen ve belli olan çıktıyı kullanarak kendisi için gerekli olan girdiyi hesaplar. Bu hesaplamalar esnasında kayıplar, hız düşüş ve artışları ile performans limitleri dikkate alınır.

Tüm bunların sonunda içten yanmalı motor talep edilen tork ve hızı kullanarak gerçekte verebileceği tork ve maksimum hızı hesaplar. Daha sonra her bir bileşen verileri geri yönde sola iletir, içten yanmalı motorun gerçekte verebileceği tork ve

4.2.1 İçten Yanmalı Motor Modeli:

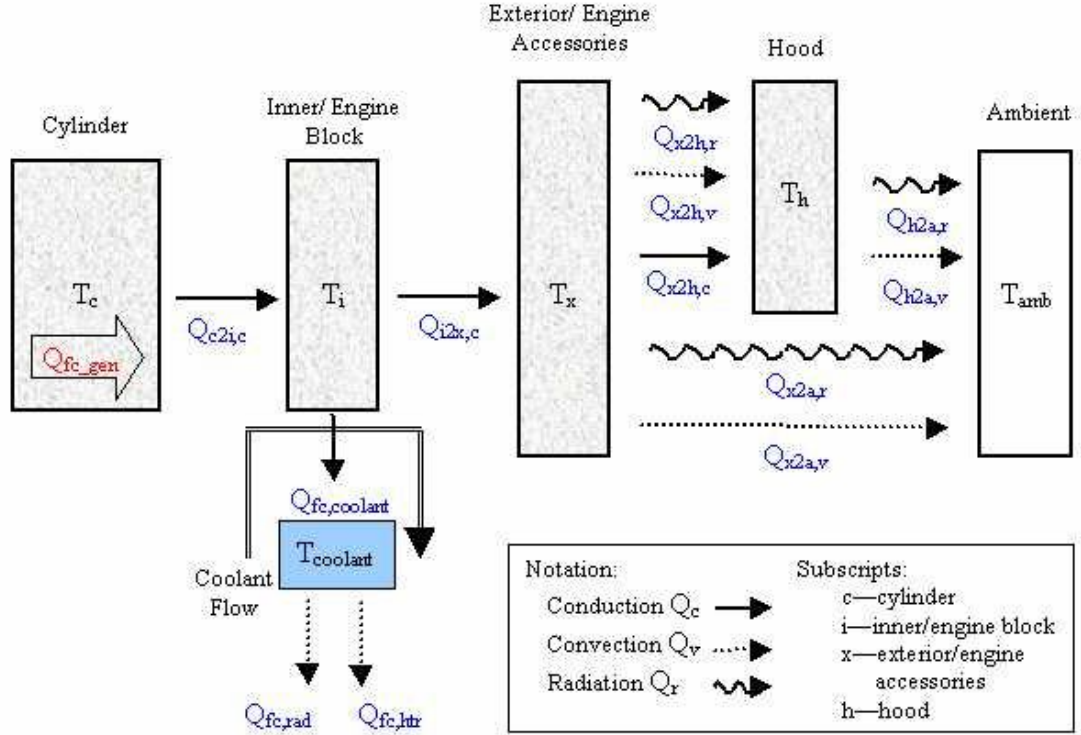


Şekil 4.4: İçten Yanmalı Motor Blok Diyagramı

Şekil 4.4'te içten yanmalı motorun blok diyagramı gösterilmiştir. İçten yanmalı motor modeli ile taşıt güç kaynağı simülasyonu yapılır. İçten yanmalı motor yakıtın kimyasal enerjisini tahrik için gerekli olan mekanik enerjiye dönüştürmektedir.

Diğer alt modeller tarafından hesaplanan ve belli olan hız ve tork talebine göre, içten yanmalı motor modeli, iç kayıpları ve ek donanım yüklerini de hesaba katarak motorun bu talebi karşılayabilmesi için çalışması gereken noktaları belirlemektedir. Motor kontrol ünitesi, motorun normal çalışmadaki hız ve tork sınırlarının dışında çalışmasını engeller. Kontrol ünitesi ayrıca kavramanın devre dışı olduğu durumlarda motor hızını belirler. Ulaşılabilecek tork ve hız değeri belirlendiğinde bu değerler araç modelinin diğer elemanlarına geri gönderilir. Bu değerler aynı zamanda her zaman adımı için yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini belirlemede kullanılır. Yakıt tüketimi ve emisyon değerleri motor hız ve torkuna göre indekslenen tablolarda saklanır.

Şekil 4.5'te gösterilen içten yanmalı motorun ısıl modelinde motor, silindir, motor bloğu, motor dış donanımları ve kaput olmak üzere dört sıcaklık değeri ile ifade edilmiştir. Soğutma sistemi, kullanıcı tarafından atanan değere göre termostat olarak görev yapar. Isı yanma ile ortaya çıkar, motor bloğuna kondüksiyon ile aktarılır ve soğutma sistemi, kondüksiyon, doğal konveksiyon ve radyasyon ile uzaklaştırılır.



Şekil 4.5: Motor Termal Modeli

İçten yanmalı motorun açığa çıkardığı ısı kullanılan yakıt, kullanılabilir güç ve ekzost ısısı kullanılarak bulunur.

$$Q_{fc_gen} = Q_{fuel} - P_{vehicle} - Q_{exhaust} \quad (4.1)$$

$$= \dot{m}_{fuel} l h v - T \omega - \dot{m}_{gas} c_{p,gas} (T_{gas} - T_{amb})$$

Isı silindirden motor bloğuna kondüksiyon ile transfer olur. İletkenlik (W/K) kullanıcı tarafından motor girdi dosyasında tariflenir.

$$Q_{c2i,c} = fc_c2i_th_cond(T_c - T_i) \quad (4.2)$$

Isının bir kısmı motor bloğundan motor ek donanımlarına ve dışarıya doğru kondüksiyon ile transfer olur. Yine bu iletkenlik (yaklaşık 500 W/K) kullanıcı tarafından motor girdi dosyasında tariflenir.

$$Q_{i2x,c} = fc_i2x_th_cond(T_i - T_x) \quad (4.3)$$

Geri kalan ısı soğutma sistemi tarafından uzaklaştırılır. Soğutma sistemi termostatin ayarlandığı sıcaklık aşıldığında devreye girer.

$$Q_{fc_coolant} = \begin{cases} Q_{c2i,c} - Q_{i2x,c} & T_i > fc_tstat \\ 0 & T_i \leq fc_tstat \end{cases} \quad (4.4)$$

Kalorifer sisteminin açık olduğu durumlarda, ısının bir kısmı araç içini ısıtmada kullanılır. Bu miktar ısıtıcının verimine ve hava akışına bağlıdır.

$$Q_{fc,hr} = fc_cl2h_eff.fc_h_air_flow.c_{p,air}(T_{coolant} - T_{amb}) \quad (4.5)$$

Geri kalan ısı radyatör tarafından atılır.

$$Q_{fc,rad} = Q_{fc,coolant} - Q_{fc,hr} \quad (4.6)$$

Işıma ile kaputtan dışarıya atılan ısı miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır. Yüzey alanı motor gücüne göre ölçeklendirilir.

$$Q_{x2h,r} = \varepsilon\sigma A(T_x^4 - T_h^4) = fc_emisiv5.67E-8fc_ext_sarea(T_x^4 - T_h^4) \quad (4.7)$$

Kaputtan, doğal ve zorlamalı konveksiyon ile atılan ısı aşağıda verilmiştir.

$$Q_{x2h,v} = h_{air}A(T_x - T_h) = h_{air}fc_ext_sarea(T_x - T_h) \quad (4.8)$$

Isının bir kısmı motor ek donanımlarından kaputa kondüksiyon ile iletilir. İletkenlik kullanıcı tarafından belirlenir (yaklaşık 10W/K)

$$Q_{x2h,c} = fc_h2x_th_cond(T_x - T_h) \quad (4.9)$$

Isı dışarıdan ortam havasına da ışıma ile iletilir. Isı iletim yüzeyi, dış yüzeyin yarısı olarak alınır.

$$Q_{x2a,r} = \varepsilon\sigma A(T_x^4 - T_{amb}^4) = fc_emisiv5.67E-8(\frac{1}{2}fc_ext_sarea)(T_x^4 - T_{amb}^4) \quad (4.10)$$

Konveksiyon ile ısı iletimi için yüzey alanı da yine dış yüzeyin yarısı olarak alınır. Ortam havasına doğal ve zorlamalı konveksiyon ile atılan ısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_{x2a,v} = h_{air} A(T_x - T_{amb}) = h_{air} \left(\frac{1}{2} fc_ext_sarea\right)(T_x - T_{amb}) \quad (4.11)$$

Kaputtan ışıma ile ortama atılan ısı aşağıda verilmiştir;

$$Q_{h2a,r} = \varepsilon \sigma A(T_h^4 - T_{amb}^4) = fc_hood_emisiv5,67E-8 fc_hood_sarea(T_h^4 - T_{amb}^4) \quad (4.12)$$

Kaputtan doğal ve zorlamalı konveksiyon ile ortam havasına atılan ısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_{x2a,v} = h_{air} A(T_h - T_{amb}) = h_{air} fc_hood_sarea(T_h - T_{amb}) \quad (4.13)$$

Silindir ve motor bloğunun kütle güç oranı 1,8 kg/kW kabul edilmiştir. Bu kütlelerin %20'sinin silindirler olduğu düşünülürse;

$$T_c = \int_0^t \frac{Q_{fc_gen} - Q_{c2i,c}}{m_{fc,c} c_{p,fc}} dt \quad (4.14)$$

Motor bloğunun toplam kütlelerin %80'ini oluşturduğu düşünülürse,

$$T_i = \int_0^t \frac{Q_{c2i,c} - Q_{fc_coolant} - Q_{i2x,c}}{m_{fc,i} c_{p,fc}} dt \quad (4.15)$$

Ek donanımların kütlesi motor dosyasında tanımlanabilir. Kural olarak 0,8 kg/kW'lık bir oran kullanılmıştır.

$$T_x = \int_0^t \frac{Q_{i2x,c} - Q_{x2h,r} - Q_{x2h,v} - Q_{x2h,c} - Q_{x2a,r} - Q_{x2a,v}}{m_{fc,x} c_{p,fc}} dt \quad (4.16)$$

Kaput kütlesi, taşıt taşıyıcı kütlelerinin %10'u olarak kabul edilir.

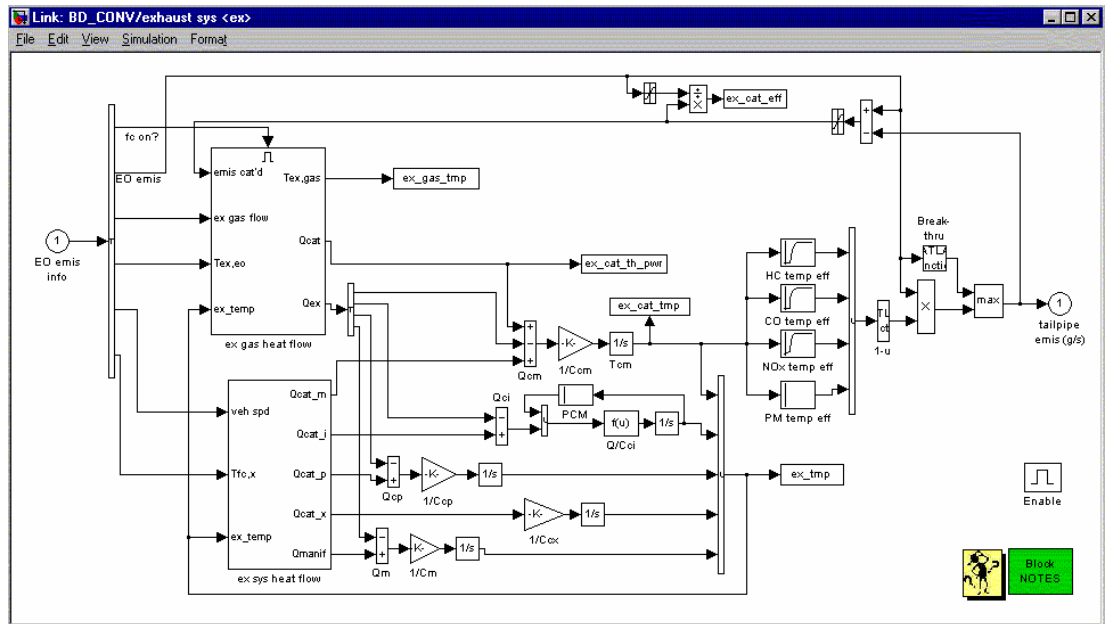
$$T_h = \int_0^t \frac{Q_{x2h,r} + Q_{x2h,v} + Q_{x2h,c} - Q_{x2a,r} - Q_{x2a,v}}{m_{fc,h} c_{p,fc_hood}} dt \quad (4.17)$$

4.2.2 Egzoz Sistemi Modeli:

Şekil 4.6'da gösterilen blok diyagramı, taşıtın egzoz sisteminin simülasyonu için kullanılır. İçten yanmalı motor kullanılması durumunda sistem egzoz manifoldu, egzoz borusu, katalitik dönüştürücü ve susturucudan oluşur. Seri hibrid, paralel

hibrid ve konvansiyonel taşıt sistemi gibi çeşitli taşıt tipleri için kullanılabilir. Egzoz sisteminin ana çıktısı g/s olarak zamanın fonksiyonu olan egzoz emisyonlarıdır (HC, CO, NO_x ve PM). Diğer çıktılar ise egzoz sistemi bileşenlerinin sıcaklıkları ve her bir bileşen içindeki ve dışındaki egzoz gazı sıcaklıklarıdır.

Katalitik dönüşüm verimleri sıcaklığın fonksiyonu olarak vektörlerle gösterilirler. Yüksek egzoz gaz akışları için katalitik dönüşüm verimi ayarlaması (azaltma) yapılır ve her bir emisyon türü için üst kaçak limiti g/s olarak tanımlanmıştır. Buna göre içten yanmalı motor tarafından oluşturulan emisyonlar, toplam katalizör sisteminin verimine bağlı olarak dönüştürülmekte ve egzoz borusu çıkışındaki emisyonlar elde edilmektedir. Kütle ve ısı kapasitesi sadece ana dönüştürücü elemanları için değil manifold ve egzoz borusu için de atanmıştır. Sıcak egzoz gazından dönüştürücü elemanlarına ve elemanlardan da ortama olan ısı iletimleri için konveksiyon ısı iletim katsayısının hesaplanmasında ısı iletim bağıntıları kullanılmaktadır. Işıma kayıpları da ayrıca hesaba katılmaktadır. Dönüştürücüde, dönüşüm ısısı kataliz edilen her bir emisyon bileşeninin (HC, CO, NO_x, PM) debisine (g/s) bağlı olarak hesaplanır.



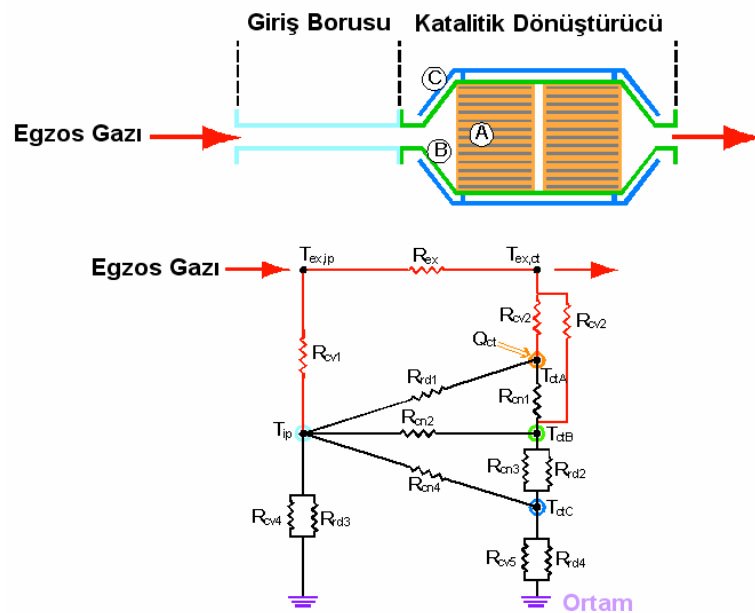
Şekil 4.6: Egzoz Sistemi Blok Diyagramı

Egzoz borusundaki emisyon değerleri, motordan çıkan emisyonlar ile dönüştürücü veriminin çarpılmasıyla hesaplanır. Katalitik dönüşüm verimi katalitik dönüştürücünün sıcaklığının bir fonksiyonudur. Dönüştürücü ısıl modeli, içten yanmalı motorun iki çıktısını, egzoz gazı debisi ve sıcaklığı, girdi olarak kullanır.

Egzoz gazı katalitik dönüştürücüye gelmeden önce manifoldda ve egzoz borusunda ısı kaybeder. Katalitik dönüştürücü, seramik, iç çelik kabuk ve dış çelik kabuk olmak üzere üç nod kümeli kapasitans ile modellenir. Egzoz gazından dönüştürücüye, dönüştürücü elemanları arasında ve dönüştürücüden ortama olan ısı iletimler Şekil 4.7 ve Tablo 4.1’de gösterilen ısı iletim yöntemleri kullanılarak modellenir.

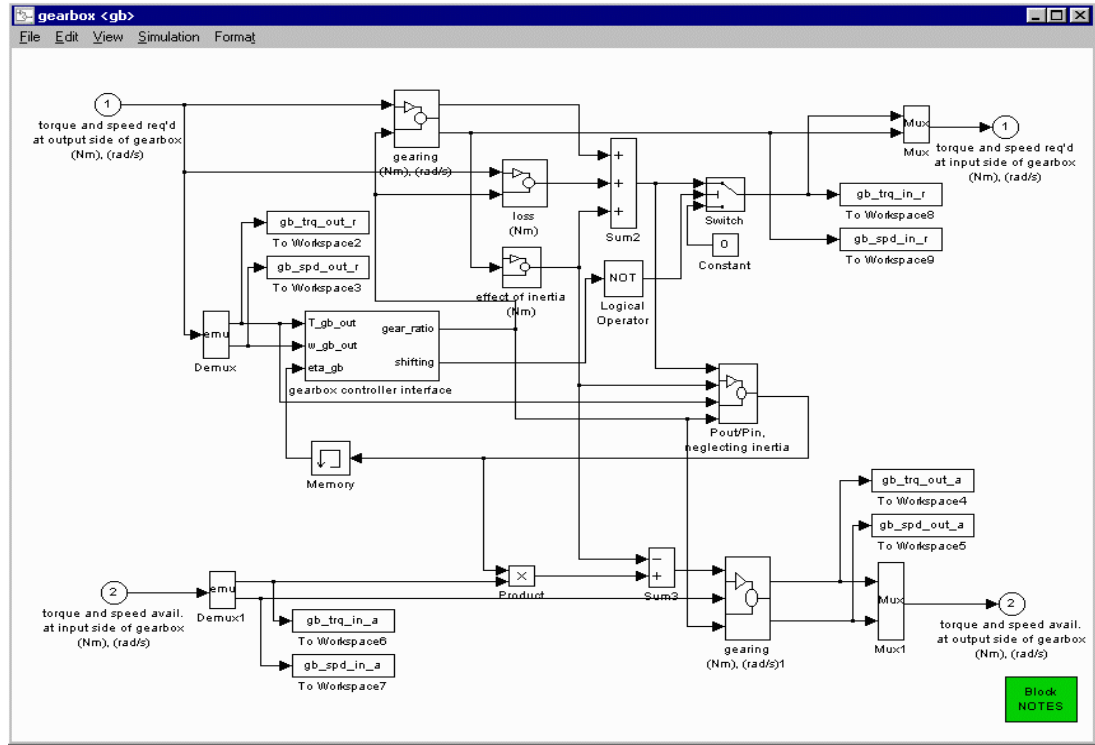
Tablo 4.1: Isı iletim modelleri ve Isıl Dirençler

Isı iletim türü	Direnç	Değişken Tanımları
Kondüksiyon	$R_{cn} = (kA_c / x)^{-1}$	k = kondüksiyon ısı iletim katsayısı A_c = kesit alanı, x = nodlar arası mesafe
Konveksiyon	$R_{cv} = (hA_s)^{-1}$	h = konveksiyon ısı iletim katsayısı, A_s = Yüzey alanı
Işıma	$R_{rd} = \frac{T_h - T_c}{\left[\varepsilon \sigma A (T_h^4 - T_c^4) \right]}$	ε = emisivite, σ = Stefan-Boltzmann sabiti



Şekil 4.7: Katlitik Dönüştürücü Isıl Şeması

4.2.3 Vites Kutusu Modeli:



Şekil 4.8: Vites Kutusu Blok Diyagramı

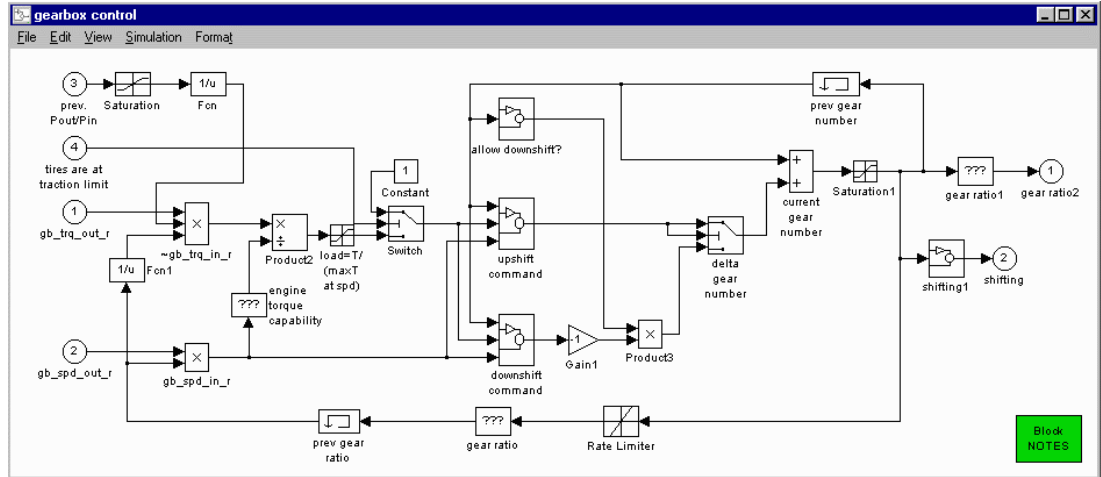
Şekil 4.8’de vites kutusu blok diyagramı gösterilmiştir. Kademeli vites kutusu modeli ile, içten yanmalı motordan ya da elektrik motorundan gelen torkun değişik dişli kademeleri kullanarak diferansiyel ve tekerleklere aktarılması simule edilir. Bu model çeşitli hız düşürücü ve tork artırıcı faktörleri içermektedir. Vites kutusu, konvansiyonel ve paralel hibrid taşıtlarda seri hibrid taşıtlara oranla daha kritik rol oynar.

ADVISOR’daki vites kutusu modeli diferansiyel, içten yanmalı motor ve kavrama sistemi ile veri (tork, hız ve güç) alışverişi içerisinde. Vites kutusundaki hız ve tork değişiklikleri aşağıdaki gibidir.

- Dişli oranına göre hız azaltılması ve tork artırılması,
- Dönen kütlelerin eylemsizliğinden kaynaklanan tork kayıpları,
- Dönen dişlilerin sürtünmesinden kaynaklanan tork kayıpları.

Bu etkiler ADVISOR veri tabanındaki ampirik ifadeler kullanılarak modellenir.

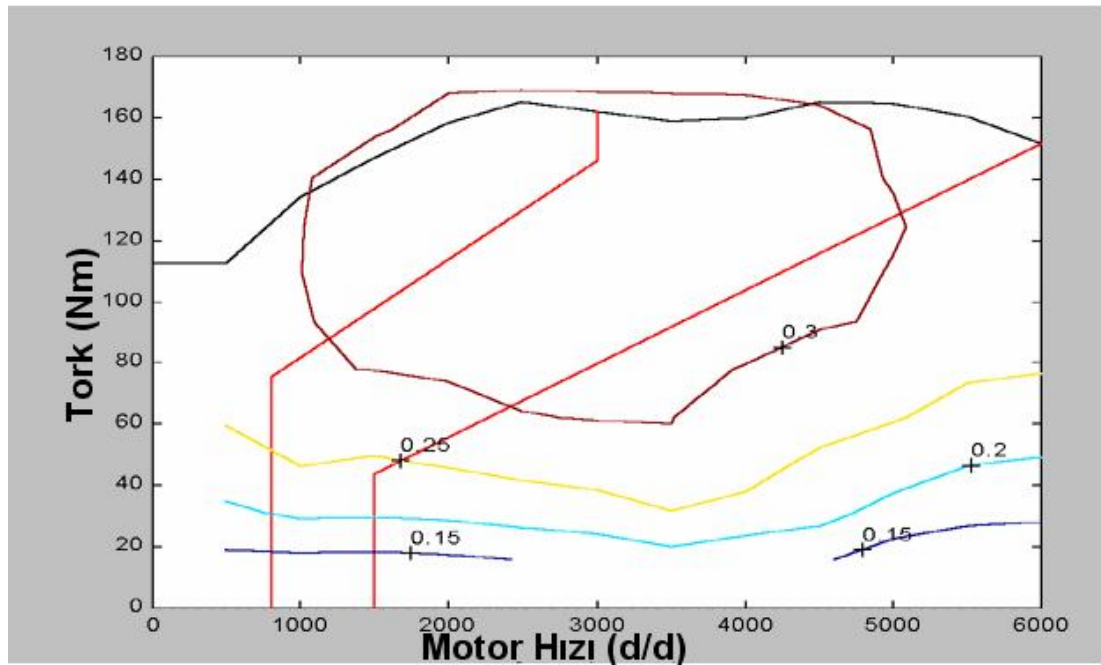
4.2.4 Vites Kutusu Kontrol Sistemi Modeli:



Şekil 4.9: Vites Kutusu Kontrol Sistemi Blok Diyagramı

Şekil 4.9’da vites kutusu kontrol sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir. Motor yükü ve hıza bağlı vites seçimi yapan bir sürücüyü model alan vites kutusu kontrol blok diyagramı vites seçimi için komut oluşturur ve vites kutusuna iletir.

Her bir vites kademesinde, mevcut vites ile vites değiştirme komutunu (aşağı, yukarı ya da değiştirmeme) ilişkilendirmek için tek boyutlu tablolar kullanılır.



Şekil 4.10: Vites Değiştirme Grafiği

Şekil 4.10'da yer alan kırmızı çizgiler motor hız ve tork bölgesindeki yukarı ve aşağı vites değişikliği çizgileridir. Üste yakın olan siyah çizgi, motorun maksimum torkunu göstermektedir. Numaralandırılmış eğriler verim eğrileridir.

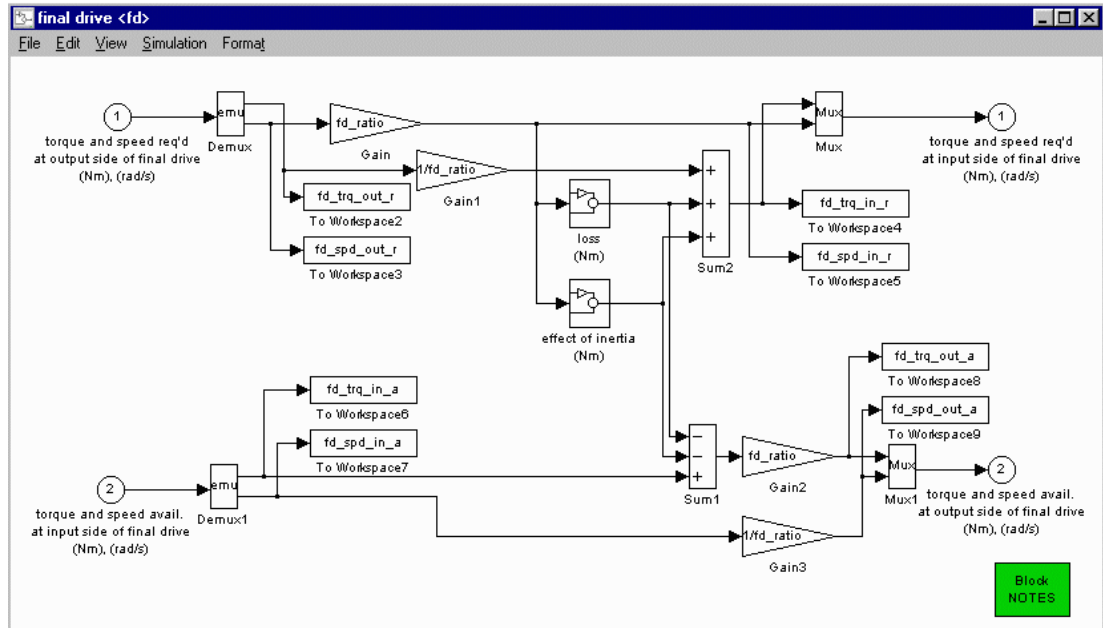
En sağdaki kırmızı çizginin sınır noktaları `gb_gearX_upshift_spd` ve `gb_gearX_upshift_load` değişkenleri ile tanımlanmıştır. Burada X uygun bir vitesi temsil etmektedir. Motor hız ve torku en sağdaki kırmızı çizginin sağına denk geldiğinde bir üst vitese geçilmesi için komut verilmektedir.

Benzer şekilde, `gb_gearX_dnshift_spd` ve `gb_gearX_dnshift_load` en soldaki çizgiyi tanımlar. Motor hız ve torku en soldaki kırmızı çizginin soluna denk geldiğinde bir alt vitese geçilmesi için komut verilmektedir.

4.2.5 Hidrolik Tork Dönüştürücü Modeli:

Hidrolik tork dönüştürücü, bir akışkan vasıtasıyla torkun dönüştürüldüğü bir pompa/türbin grubudur. Konvansiyonel otomatik vitesli bir taşıtta motor ile vites kutusu arasında bulunur. Motor hızını düşürecek, torkunu ise artıracak ve titreşimleri de sönümleyecek şekilde görev yapar. ADVISOR taşıt modelinde, tork dönüştürücü vites kutusundan gelen tork ve hız ihtiyacını alır, motordan hız ve tork talep eder, motorun gerçekte verebileceği tork ve hızı alıp dönüştürerek vites kutusuna aktarır.

4.2.6 Diferansiyel Modeli:

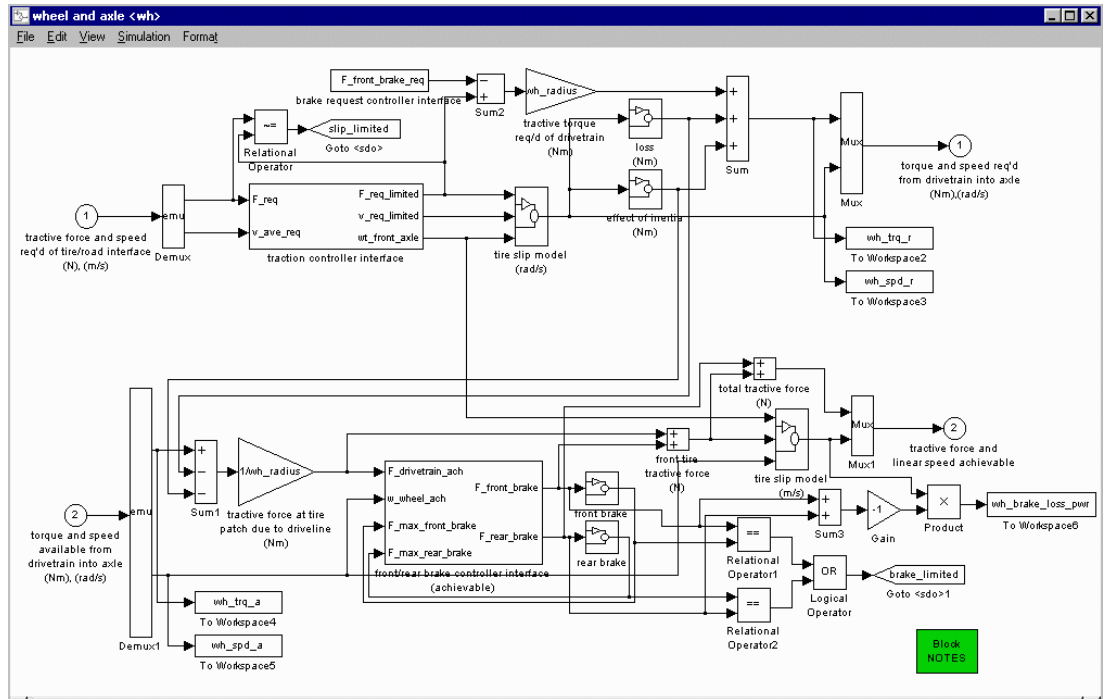


Şekil 4.11: Diferansiyel Blok Diyagramı

Şekil 4.11’de gösterilen diferansiyel blok diyagramı, teker ve akstan gelen tork ve hız talebini vites kutusuna aktarır. Aynı zamanda vites kutusundan gelen ulaşılabilir hız ve tork değerini teker aks sistemine iletir. Diferansiyel modeli, istenen ve gerçekte ulaşılabilen hız ve tork değerlerini iletirken eylemsizliği, kayıpları ve dişli oranlarını da hesaba katar. Tork kayıpları sabit olarak kabul edilmiştir. Dişli oranı, vites kutusundan gelen hızı düşürür ve torku artırır.

4.2.7 Tekerlek/Aks Modeli:

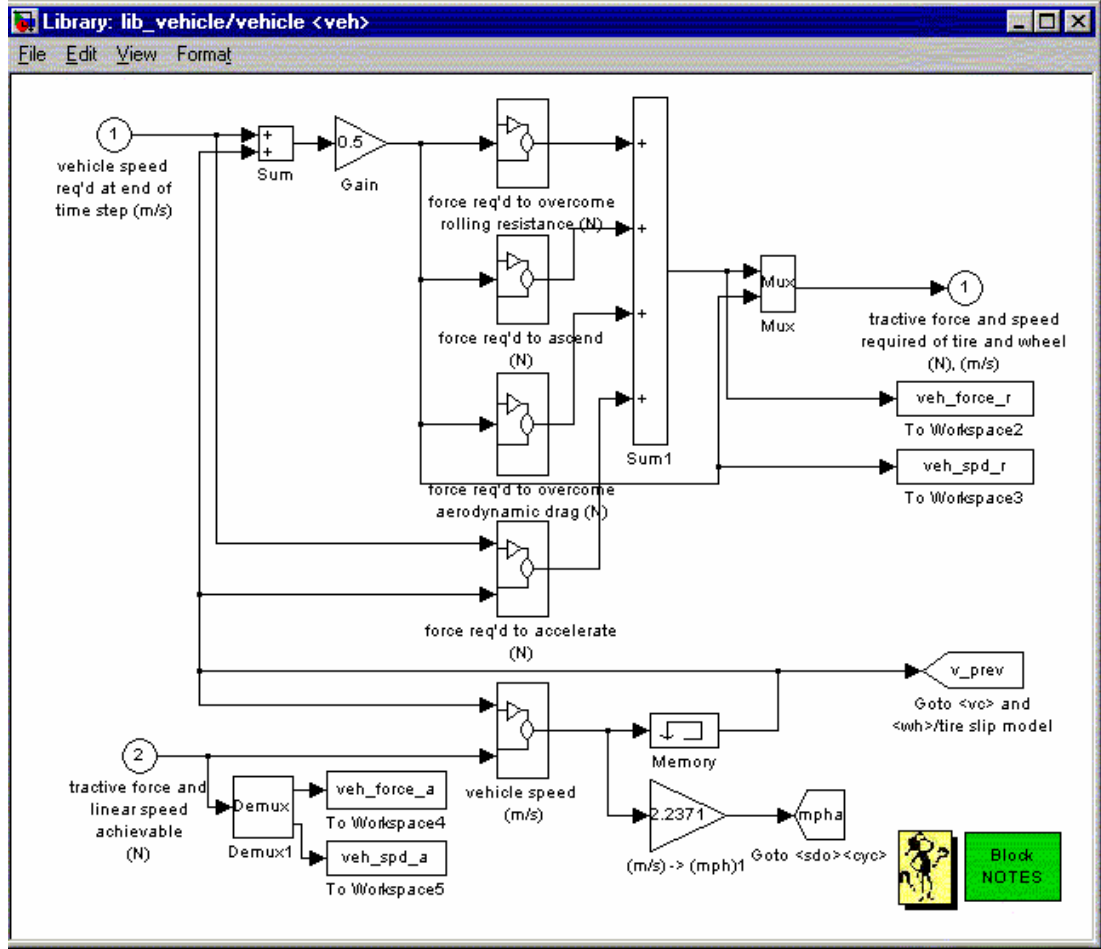
Şekil 4.12’de gösterilen tekerlek/aks blok diyagramı, aracın izlediği yolu temsil eden, taşıt blok diyagramından gelen hız ve tork talebini diferansiyele aktarır.



Şekil 4.12: Tekerlek/Aks Blok Diyagramı

Tekerlek/aks modeli akstaki yatak kayıplarını, tekerlek ve aks eylemsizliğini, tekerlek kayması gibi talepleri ve gerçekte ulaşılacak verileri aktarır. Tork kayıpları taşıt kütlesine göre indekslenmiş tablolardan alınmaktadır. Tekerlek kayması ise tahrik gücüne göre indekslenmiş tablolardan alınır. Çekiş kontrol blokları, tekerleğin kayma sınırının aşılmasını önlemek için gereğinden fazla güç üretilmesini engeller.

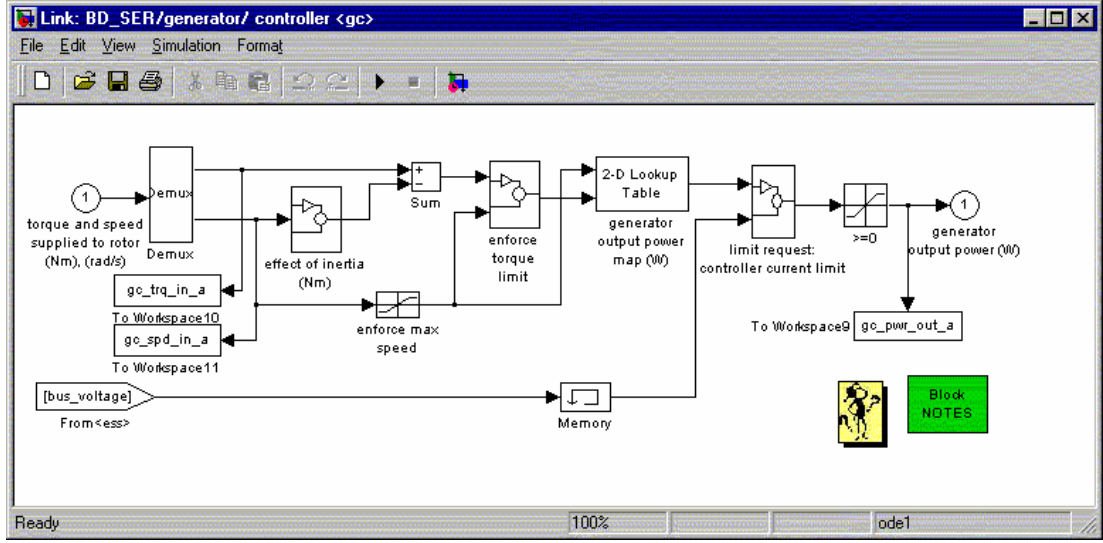
4.2.8 Taşıt Modeli:



Şekil 4.13: Taşıt Blok Diyagramı

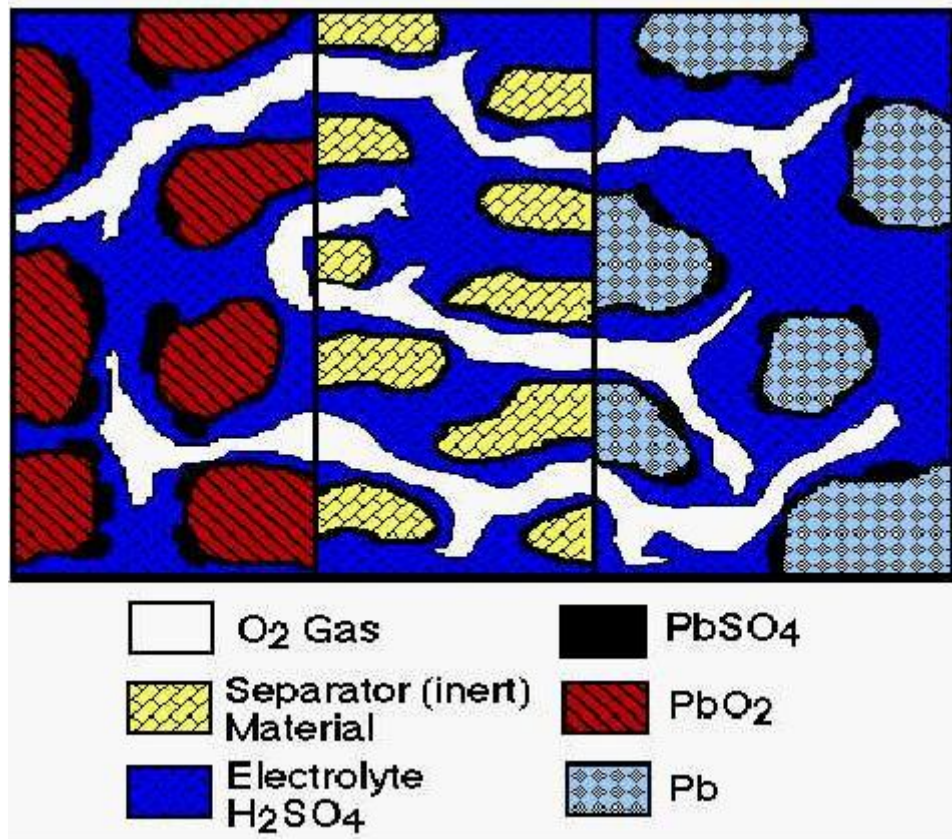
Şekil 4.13'te taşıt blok diyagramı gösterilmiştir. Bu bloktaki hesaplamalar, taşıt tekerleğindeki güç dengesini göstermektedir. Taşıt blok diyagramında $\sum F = ma$ klasik taşıt dinamiği denklemi kullanılmaktadır. Taşıtın hareketi için üstesinden gelmesi gereken dirençler; yuvarlanma direnci, hava direnci, yokuş direnci bu blok içerisinde hesaplanmaktadır. Bu eşitlikle öncelikle belli olan ivmeden ihtiyaç duyulan tahrik kuvveti hesaplanır, sonra da gerçekte ulaşılabilir tahrik kuvvetine göre taşıtın ivmelenmesi hesaplanır. Zaman adımıdaki ortalama hız, zaman adımının başında (bir önceki zaman adımının sonundaki hız) ve sonundaki hızın ortalaması alınarak hesaplanır.

göre indekslenmiş tablodan alınır, bu elektrik üretimini sınırlandırır ama tork üreticisine geri besleme söz konusu değildir.



Şekil 4.15: Jeneratör-Kontrol Ünitesi Blok Diyagramı

4.2.11 Batarya Modeli:

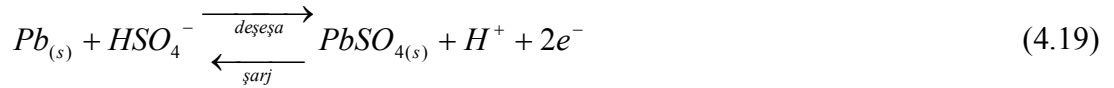
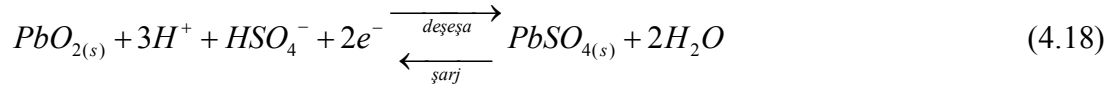


Şekil 4.16: Temel Modelde Kullanılan Hücresinin Şematik Diyagramı

Tüm hibrid bileşen modelleri arasında bataryalar anlaşılması ve modellenmesi en güç olanlardır. Basit enerji depolama sistemi olarak görülmelerine rağmen, enerji alış veriş (şarj-deşarj) sırasındaki ısıya bağlı elektrokimyasal süreçler sebebiyle modellenmeleri oldukça güçtür. Bataryanın elektriksel davranışı, sürekli değişen çeşitli parametrelerin doğrusal olmayan fonksiyonudur.

Kurşun-asit bataryalar için kullanılan tek boyutlu modelin kilit özellikleri Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Şekilde bir elektrodun merkezinden zıt elektrot merkezine uzanan birim hücre gösterilmiştir. Bu model NREL'den Prof.Dr. John Harb tarafından 1999'da geliştirilmiştir.

Pozitif ve negatif elektrotlarda gerçekleşen reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.



Şarj sırasında pozitif elektrottaki oksijen oluşumu ve negatif elektrottaki hidrojen oluşumu modele dahil edilmiştir. Negatif elektrottaki oksijenin yeniden konumlanması da belli bir yaklaşımla hesaba katılmıştır. Hücrede basınç sebebiyle kütle ya da gaz transferi modele dahil edilmemiştir. Oksijenin yeniden oluşumu genellikle negatif elektrotun en dış hücrelerinde gözlenmiştir.

5.MERCEDES-BENZ CONECTO ŞEHİR İÇİ OTOBÜS

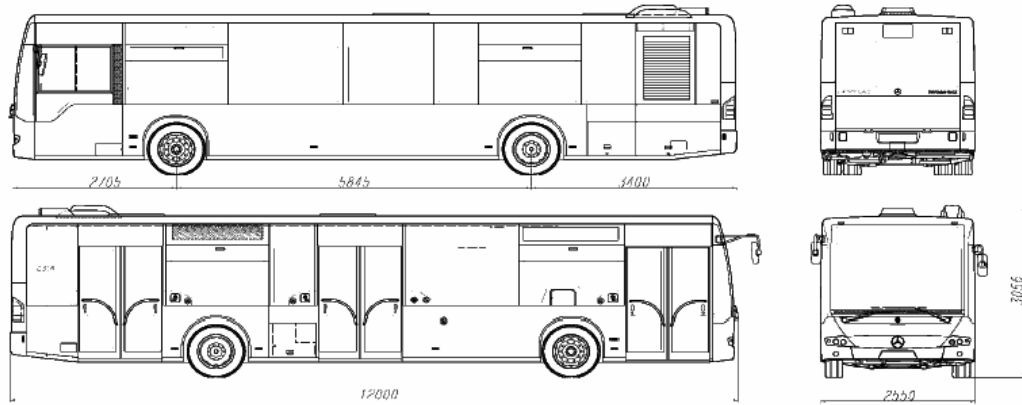


Şekil 5.1: Mercedes-Benz Conecto

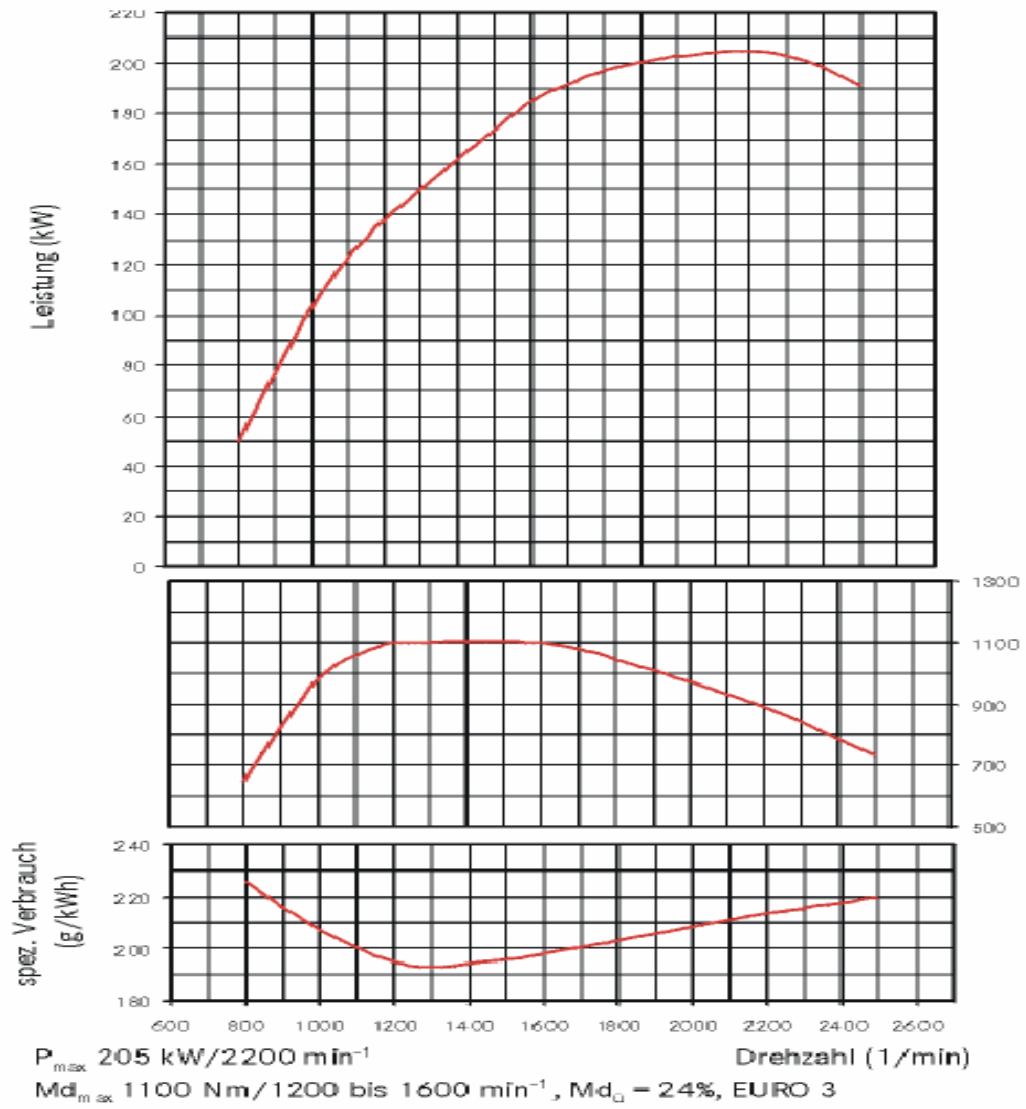
İniş-biniş kolaylığı, yolcu sirkülasyonunu hızlandırarak otobüslerin zamanında ve daha etkin hizmet vermesini sağlamaktadır. Tüm bu koşulların sağlanması için tasarlanmış olan alçak tabanlı otobüslerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Toplu taşımacılıktaki gelişmeye paralel olarak tüm gelişmiş ülkelerde alçak tabanlı otobüsler hizmet vermektedir.

Mercedes-Benz Türk tarafından 2007 yılında seri üretimine başlanan Conecto Türkiye’de üretilen ilk şehir içi tam alçak tabanlı otobüs olmuştur. Conecto’nun uzunluğu 12m olup, yolcu taşıma kapasitesi 26 oturan, 78 ayakta yolcu olmak üzere 104 kişidir. Şekil 5.2’de Conecto’nun dış ölçüleri, Şekil 5.3’te de Conecto’nun performans eğrileri, Şekil 5.4’te de Conecto’nun teknik özellikleri ve donanımları gösterilmiştir.

5.1 Conecto Teknik Özellikleri:



Şekil 5.2: Mercedes-Benz Conecto Ölçüleri



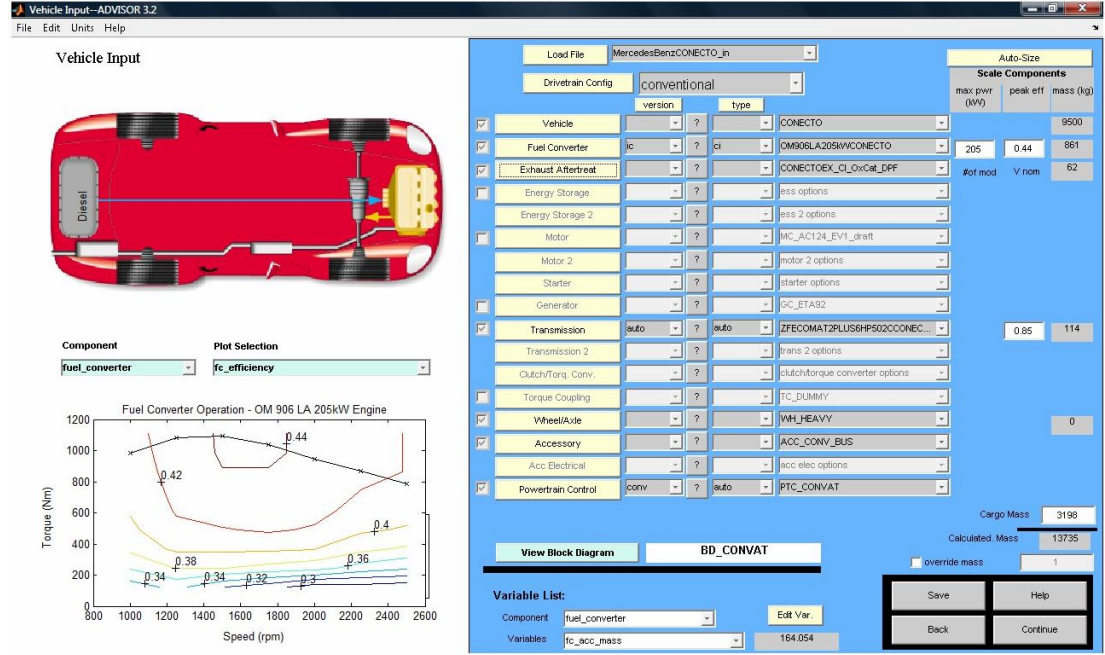
Şekil 5.3: Mercedes-Benz Conecto Güç, Tork, Yakıt Sarfıyatı Eğrileri

Motor	
Tipi	OM 906 LA (Turbo-Intercooler) - EURO III dik motor
Çap/Strok	102 / 130 mm
Hacmi	6,37 lt
Maksimum Güç	205 kW (279 BG) @ 2.200 dev/dak
Maksimum Döndürme Momenti	1.100 Nm @ 1.200 dev/dak
Yakıt Sistemi	PLD, her silindir için bağımsız pompa
Soğutma	Termostatlı, su soğutmalı, hidrolik tahrikli fan
Şanzıman	
Tipi	VOITH 854.3 (4 ileri) ZF Ecomat 2 Plus 6 HP 502 C (6 ileri)
On Aks	
Tipi	MB VO 4/39 CL - 7,5
Süspansiyon	2 hava körüğü, 2 amortisör
Kapasite	7.245 kg
Arka Aks	
Tipi	ZF AV 132/80
Süspansiyon	4 hava körüğü, 4 amortisör
Kapasite	11.500 kg
Aktarma Oranı	6,2
Direksiyon	
Tipi	ZF 8098, servo, hidrolik
Frenler	
Servis Freni	Elektroprömatik, çift devreli, kuru havalı, otomatik balata aşınma ayarlı
El Freni	Arka aksa etkili, yay kurmalı
Durak Freni, ABS, ASR	Standart
Retarder	Şanzımana entegre, fren pedalı üzerinden
Lastikler ve Jantlar	
Lastik Ebadı	275/70 R 22.5 - tubeless
Jant Ebadı	7.5 x 22.5
Yakıt Deposu	
Hacmi	280 lt
Yolcu Kapasitesi	
Koltuk Adedi	26+1
Toplam Yolcu Kapasitesi	104
Ölçüler ve Ağırlıklar	
Uzunluk	11.950 mm
Genişlik	2.550 mm
Azami Yükseklik (Klimalı)	3.076 mm
İç Yükseklik	Önde 2.302 mm, arkada 2.022 mm
Giriş Yüksekliği	320 mm (I. Kapıda)
Dingil Mesafesi	5.845 mm
On Uzantı	2.705 mm + 50 mm silecek çıkıntısı
Arka Uzantı	3.400 mm
Dönüş Çapı	22.845 mm
Azami Yüklü Ağırlık	18.000 kg
Standart Donanım	
Tam alçak taban	3 adet çift kanatlı, geniş yolcu kapısı
Otomatik şanzıman	Manuel özüllü rampası
Emniyet ana şalteri	Isıtmalı yan dikiz aynaları
Duracak ikaz sistemi	Şoför camına güneşlik rulo perde
Geri vites ikaz düdüğü	Yeni tip kombi gösterge

Şekil 5.4: Conecto Teknik Donanım ve Özellikleri

5.2 Conecto'nun ADVISOR ile Simülasyonu:

5.2.1 Taşıt Girdilerinin Oluşturulması:



Şekil 5.5: Araç Parametreleri Giriş Ekranı

Mercedes-Benz Conecto'nun ADVISOR ortamında simülasyonunun ilk aşamasında Şekil 5.5'te gösterilen taşıt parametreleri ara yüzünde yer alan menüden konvansiyonel araç sistemi seçilir. Bu seçimden sonra konvansiyonel araç tipi için alt bileşenler aktif hale gelir. Daha sonra alt sistem modelleri tanımlanır. Her bir alt sistem modeli bir MATLAB veri dosyasından oluşmaktadır. Bu alt modeller Simulink blok diyagramları ile birbirine bağlanarak taşıt blok diyagramını oluşturur. Sağ taraftaki menü yardımıyla skaler değişkenler ölçeklendirilebilmekte ve değiştirilebilmektedir. Taşıt parametreleri veri giriş ekranının sol alt köşesinde taşıt performans eğrileri ve çeşitli elemanların özellikleri grafiksel olarak görüntülenebilir. Konvansiyonel sistem için tanımlanması gereken alt sistemler sırasıyla;

- Taşıt veri dosyası,
- İçten yanmalı motor veri dosyası,
- Egzoz sistemi veri dosyası,
- Vites kutusu veri dosyası,
- Tekerlek-Aks veri dosyası,

- Ek donanımlar veri dosyası,
- Güç yönetimi veri dosyasıdır.

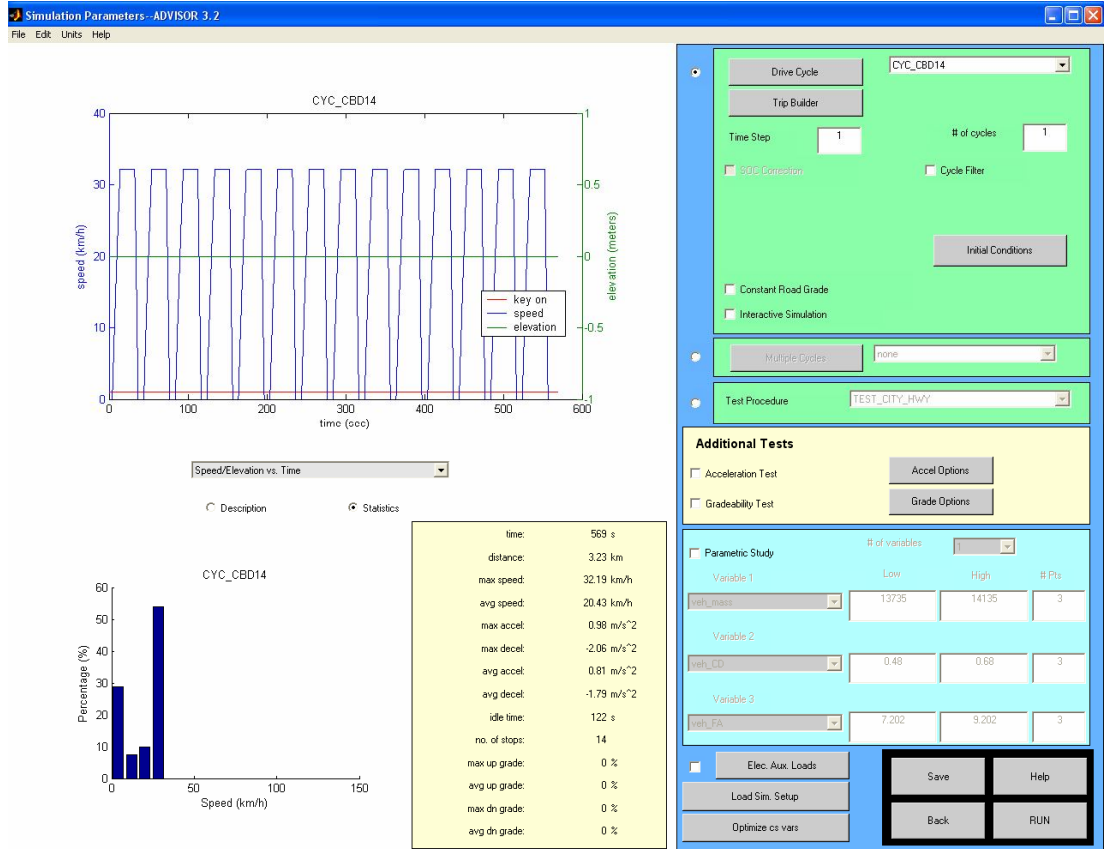
Tablo 5.1’de bu veri dosyalarının oluşturulmasında kullanılan değişkenler tanımlanmıştır. Tabloda gösterilmeyen değişkenler ise skaler büyüklükler olmayıp veri dosyasında vektör ya da matris olarak tanımlanmıştır.

Tablo 5.1:Veri Dosyalarında Kullanılan Değişkenler

Veri Dosyası	Değişken	Değer	Birim	Açıklama
Taşıt	veh_CD	0,48		Hava direnç katsayısı
	veh_FA	7,202	m ²	Taşıt kesit alanı
	veh_1st_rrc	0,007		Birincil yuvarlanma direnç katsayısı
	veh_cg_height	1,357	m	Taşıt ağırlık merkezinin yerden yüksekliği
	veh_wheelbase	5845	m	Akslar arası mesafe
	veh_glider_mass	9500	kg	Taşıt ağırlığı (aktarma organları dahil değil)
	veh_cargo_mass	3198	kg	Yolcuların ağırlığı (yarı dolu durum)
İçten yanmalı motor	fc_disp	6,3	l	İçten yanmalı motor hacmi
	fc_fuel_den	850	g/l	Yakıt yoğunluğu
	fc_fuel_lhv	43000	J/g	Yakıt alt ısı değeri
	fc_tstat	99	C	Termostat açılma sıcaklığı
	fc_cp	500	J/kgK	Motor malzemesi özgül ısısı
Egzoz sistemi	ex_cat_mon_cp	1070	J/kgK	Seramik özgül ısısı
	ex_cat_int_cp	460	J/kgK	İç kabuk özgül ısısı
	ex_cat_pipe_cp	460	J/kgK	Giriş-çıkış borusu özgül ısısı
	ex_cat_ext_cp	460	J/kgK	Dış kabuk özgül ısısı
	ex_manif_cp	460	J/kgK	Manifold özgül ısısı
	ex_gas_cp	1089	J/kgK	Egzoz gazı özgül ısısı
Vites kutusu	htc_inertia	0,056	Nm/s ²	Hidrolik tork dönüştürücü kaybı
	gb_ratio			vites oranları (3,43 2,01 1,42 1,00 0,83 0,59)
	htc_max_coast_tr	1		Kaymadaki maksimum tork oranı
	htc_min_coast_tr	0,035		Kaymadaki minimum tork oranı
	fd_ratio	6,2		Diferansiyel tahvil oranı
Ek donanımlar	acc_mech_pwr	17000	W	Ek donanımlara harcanan güç
Tekerlek-Aks	wh_radius	0,5	m	Tekerlek yarıçapı

Tüm alt eleman girdi dosyaları oluşturulup seçildikten sonra simülasyonun bir sonraki adımına geçmeden önce araç düzeni kayıt edilir.

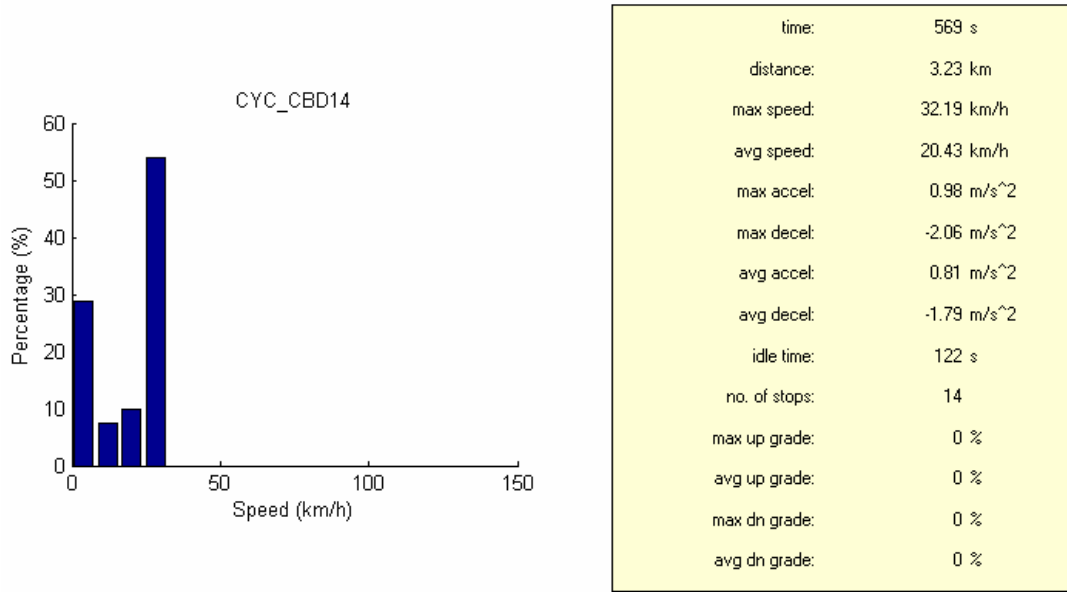
5.2.2 Simülasyon Parametrelerinin Belitlenmesi:



Şekil 5.6: Simülasyon Parametreleri Ekranı

Şekil 5.6’da simülasyon parametreleri ekranı gösterilmiştir. Bu aşamada aracın simülasyon şartları belirlenir. ADVISOR veri tabanında bulunan çevrimlerden biri seçilebileceği gibi, kullanıcı tarafında da sürüş çevrimi tanımlanabilmektedir. Araç birden çok sürüş çevrimine sokularak da simülasyon yapılabilir. Bu ekranda ayrıca başlangıç koşulları (hava sıcaklığı, basınç v.b) tanımlanabilmekte ve araç sürekli eğim çıkıyormuş gibi de simule edilebilmektedir. Ekranın sol kısmında aracın uyması istenen sürüş verimi, hız-zaman grafiği olarak ifade edilmiştir. Burada sürüş çevrimi sadece hız ve zamana bağlı olarak değil hız, mesafe ve eğime göre de görsel olarak ifade edilebilir. Grafiğin altında yer alan tabloda ise sürüş çevriminin özellikleri (maksimum hız, süre, ortalama hız, maksimum ivmelenme v.b.) tanımlanmıştır. Bu ekranda ayrıca ek testler başlığı altında aracın ivmelenme ve yokuş çıkabilme kabiliyeti de test edilebilmektedir. Bu ekranda ayrıca, seçilen belli taşıt verilerinin değiştirilmesi durumunda araç performansının ne şekilde etkileneceği ile ilgili parametrik testler de yapılabilir.

Simülasyonun bu aşamasında ADVISOR veri tabanında bulunan CYC_CBD14 sürüş çevrimi seçilmiştir. Bu çevrim, West Virginia Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. Bir otobüsün dur-kalk hareketinin temsil eden 14 pik çevrimden oluşmaktadır. Bu çevrim özellikle otobüs gibi ağır taşıtların yakıt sarfiyatını ölçmede kullanılan CBD çevriminin geliştirilmiş halidir. Bu çevrimde değişken zaman adımı ayarlaması ile gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmektedir. Sürüş çevrimi ile ilgili diğer detaylar Şekil 5.7’de gösterilmiştir.

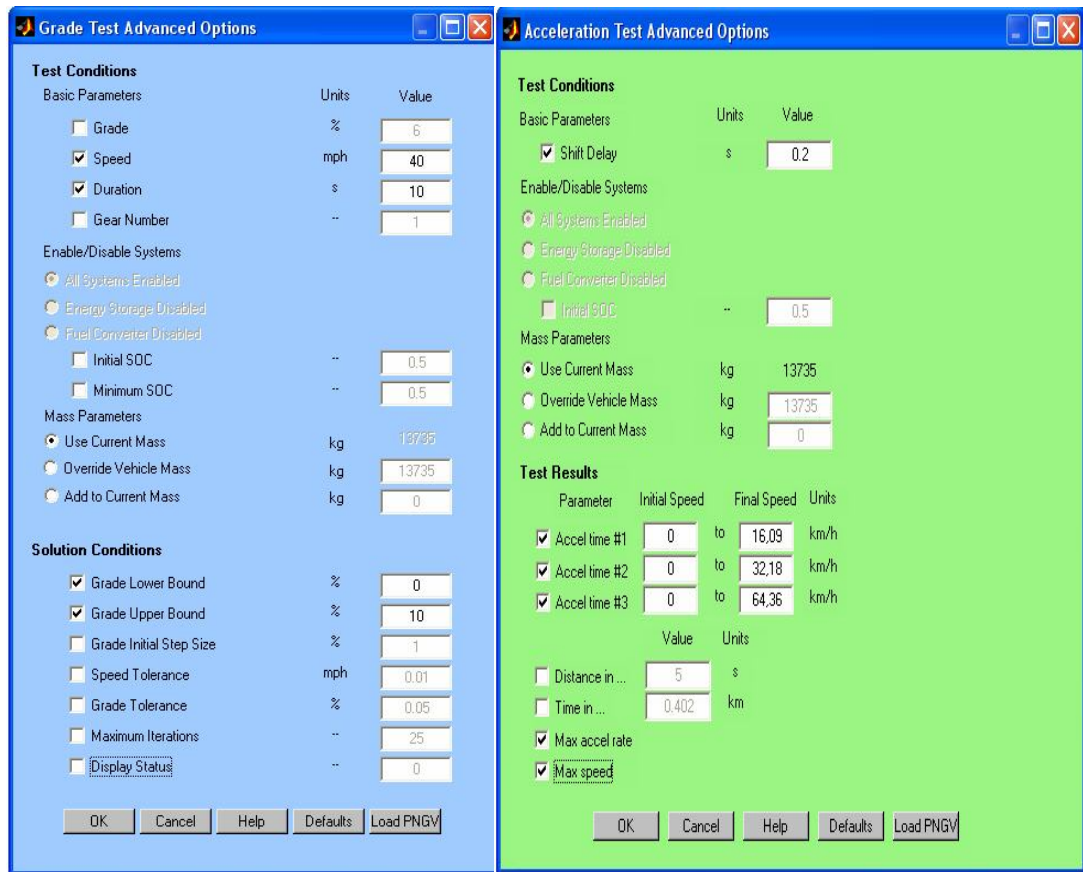


Şekil 5.7: CBD14 Sürüş Çevrimi Detayları

2002 yılında Dallas Area Rapid Transit Zero Emission Program (DART) altında, Dallas’ta toplu taşımacılıkta kullanılacak yeni şehir içi otobüslerin seçimi ve 2007 ile 2010 yılları arasında satın alınması için bir çalışma gerçekleştirilmiş ve bir teknik katalog oluşturulmuştur. Dallas’ta toplu taşımacılıkta kullanılacak şehir içi otobüslerin ivmelenme ve yokuş tırmanma özellikleri Tablo 5.2’deki gibi olmalıdır:

Tablo 5.2: Yokuş Kabiliyeti ve İvmelenme

Yokuş Kabiliyeti	2,50%	40 mph (64,37km/h)
	16%	7 mph (11,27km/h)
Maksimum Hız	65 mph (104.6 km/h)	
İvmelenme	10 mph (16,09km/h)	5s
	20 mph (32,18km/h)	10,8s
	30 mph (48,27km/h)	20s
	40 mph (64,36km/h)	31s



Şekil 5.8: İvmelenme ve Yokuş Kabiliyeti Testleri

Şekil 5.8’de Tablo 5.2’deki değerler baz alınarak hazırlanmış ivmelenme ve yokuş kabiliyeti testleri gösterilmiştir.

Şekil 5.9’da ise yine DART raporundan alınan şehir içi toplu taşımacılıkta kullanılan otobüslerin CBD çevrimindeki egzoz emisyon değerleri gösterilmiştir.

Representative Emissions and Emissions Reductions of Hybrid Buses (g/mile, CBD cycle)

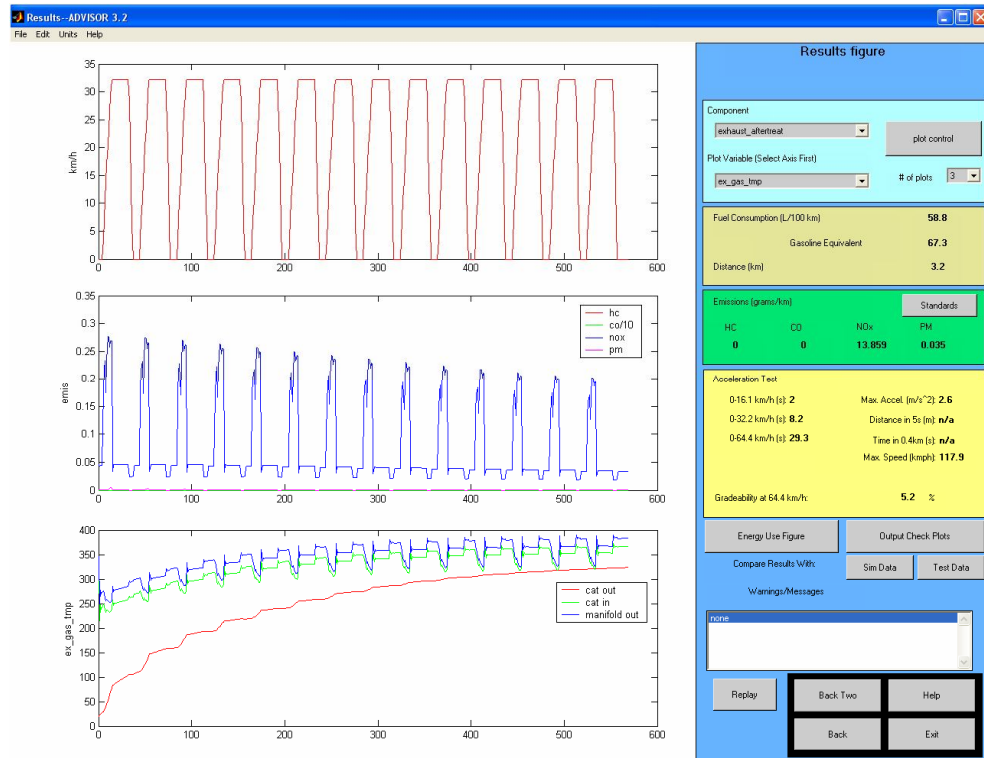
Diesel and Diesel-Electric Hybrid Bus Emission Results	ULSD				
	THC	PM	NOx	CO	MPG
Orion V w/Series 50 (Baseline) ¹	0.05	0.17	25.4	1.4	3.5
Orion V w/Series 50, w/DPF	0.02	0.03	25.1	0.13	3.4
Compared to baseline	-60%	-82%	-1%	-91%	-3%
Orion VII Hybrid ²	0.11	0.012	12.9	0.08	5.4
Compared to baseline	120%	-93%	-49%	-94%	54%
Compared to Diesel w/DPF	450%	-60%	-49%	-38%	59%

Percent Reduction from baseline = 100 * (Compared emission - baseline emission)/baseline emission
Emissions data for each bus type was obtained by taking averages of various vehicles if emissions data was available for multiple buses.

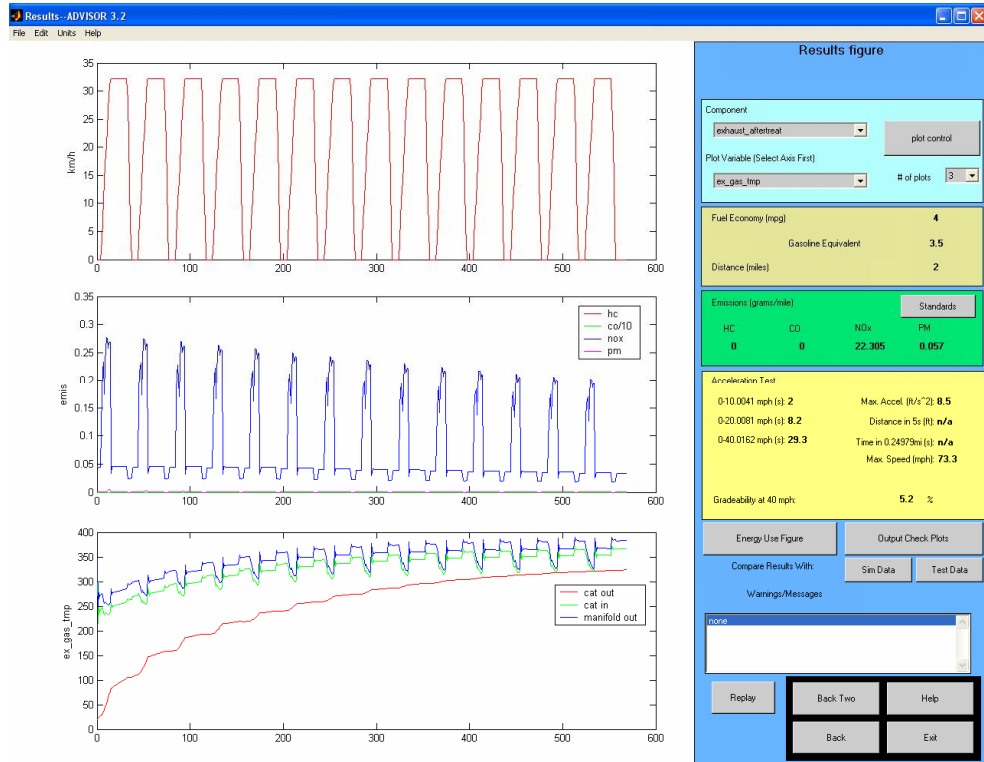
- Results for Orion V diesel buses from SAE paper 2001-01-0511, Performance and Durability Evaluation of Continuously Regenerating Particulate Filters on Diesel Powered Urban Buses at NYC City Transit.
- Results for the Orion VII hybrid are from report #01-12, Environment Canada, Emissions Evaluation of Orion VII Hybrid Bus with BAE SYSTEMS Controls HybriDrive™ Propulsion System.

Şekil 5.9: Otobüslerin CBD Çevrimindeki Egzoz Emisyon Değerleri

5.2.3 Simülasyon Sonuçları:



Şekil 5.10: ADVISOR Simülasyon Sonuçları Ekranı (Metrik)



Şekil 5.11: ADVISOR Simülasyon Sonuçları Ekranı (US)

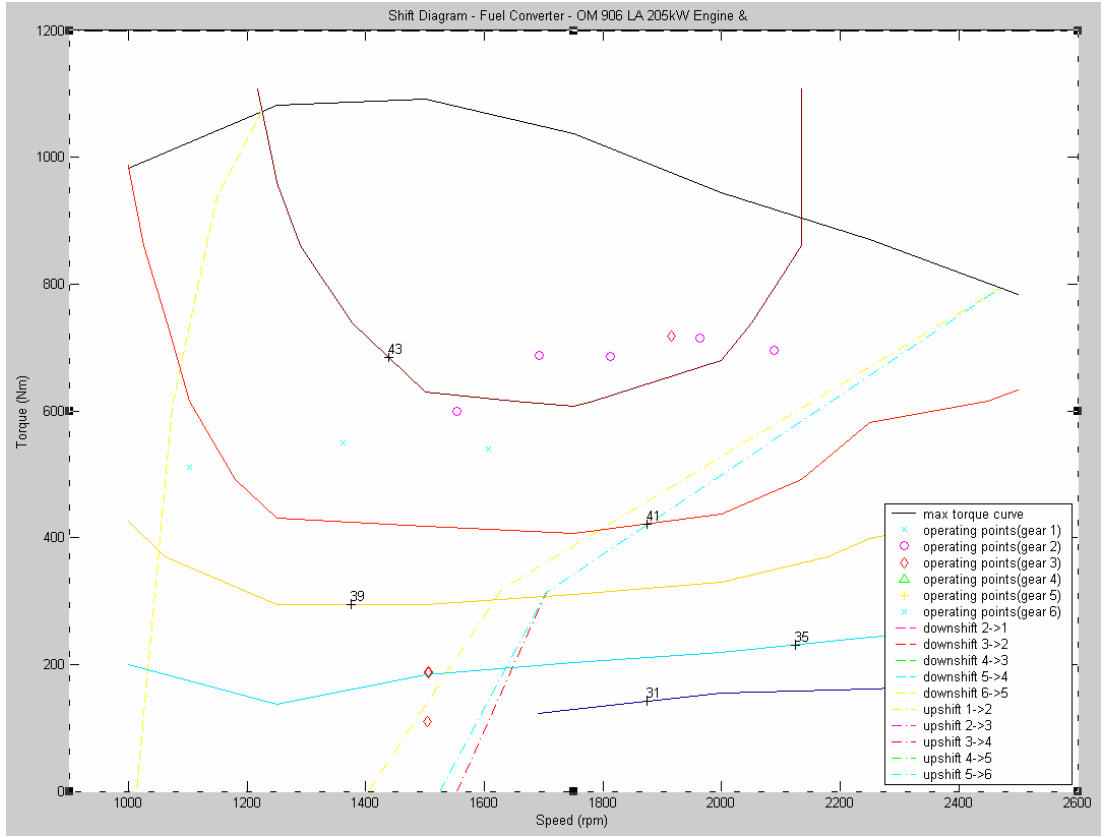
Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de simülasyon sonuç ekranı sırasıyla metrik ve US ölçü sisteminde verilmiştir. Sonuç ekranında yer alan grafikler, taşıtın sürüş çevrimine uyumunu gösteren hız zaman grafiği, taşıt zamana bağlı olarak oluşturduğu egzoz emisyonları grafiği ve içten yanmalı motordan çıkan egzoz gazlarının katalitik dönüştürücü giriş ve çıkışındaki sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi gösteren grafiklerdir.

Sonuç ekranının sağ alt köşesinde bulunan uyarılar kısmında herhangi bir uyarının bulunmaması, taşıtın sürüş çevrimine sorunsun olarak uyduğunu gösterir. Sürüş çevrimine uyulamaması durumunda bu kısımda uyarı mesajları görüntülenmekte ve hangi noktalarda çevrimden ne kadar uzaklaşıldığı ile ilgili bilgi verilmektedir.

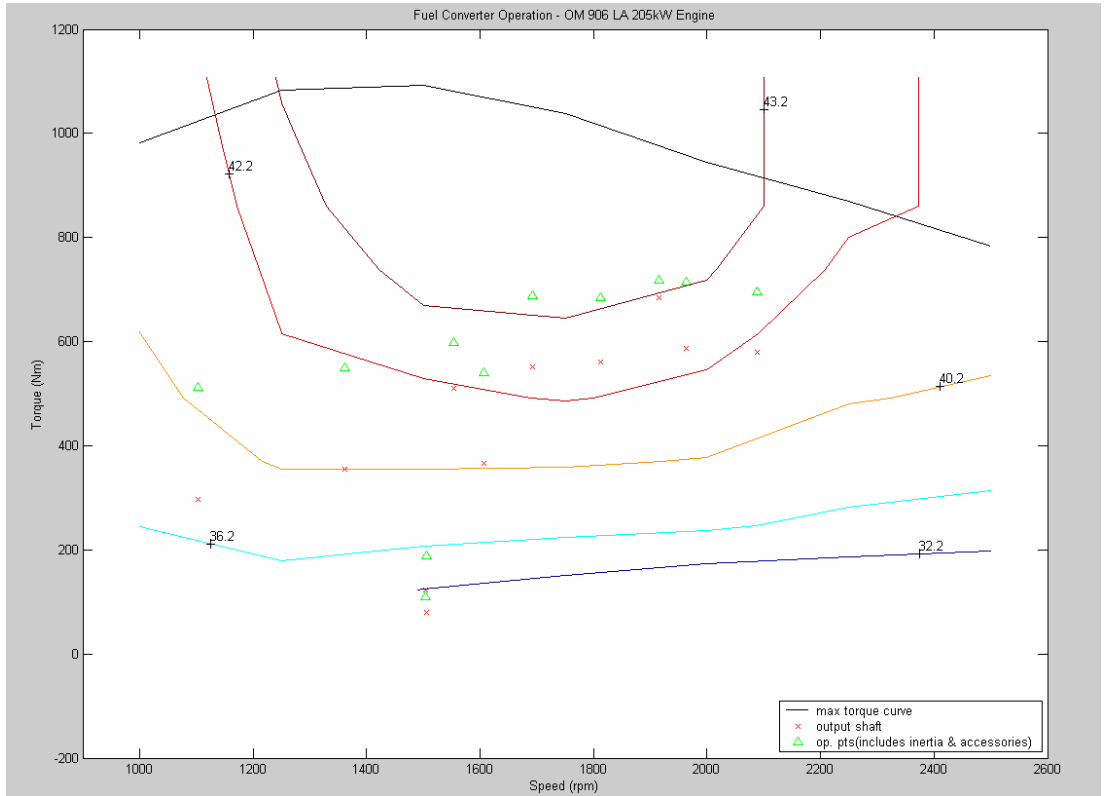
Sonuç ekranındaki sarı kısımda, taşıtın ivmelenme ve yokuş kabiliyeti testlerinin sonuçları görüntülenmektedir. Sonuç ekranının yeşil kısmında ise egzoz emisyon sonuçları listelenmektedir. Kahverengi kısımda ise yakıt tüketimi ile ilgili sonuçlar görüntülenmektedir. Sağ üst köşede yer alan mavi kısımda, sonuç ekranında görüntülenmek istenen grafikler ile ilgili ayarlamalar yapılmaktadır.

Conecto’nun Tablo 5.2’de belirtilen teknik yeterlilikleri sağladığı ve Şekil 5.9’da gösterilen egzoz emisyon değerlerine yakın sonuçlar verdiği görülebilir. Buna göre, Mercedes-Benz Conecto’nun DART tarafından tanımlanan teknik şartname değerlerini sağladığı görülmüştür.

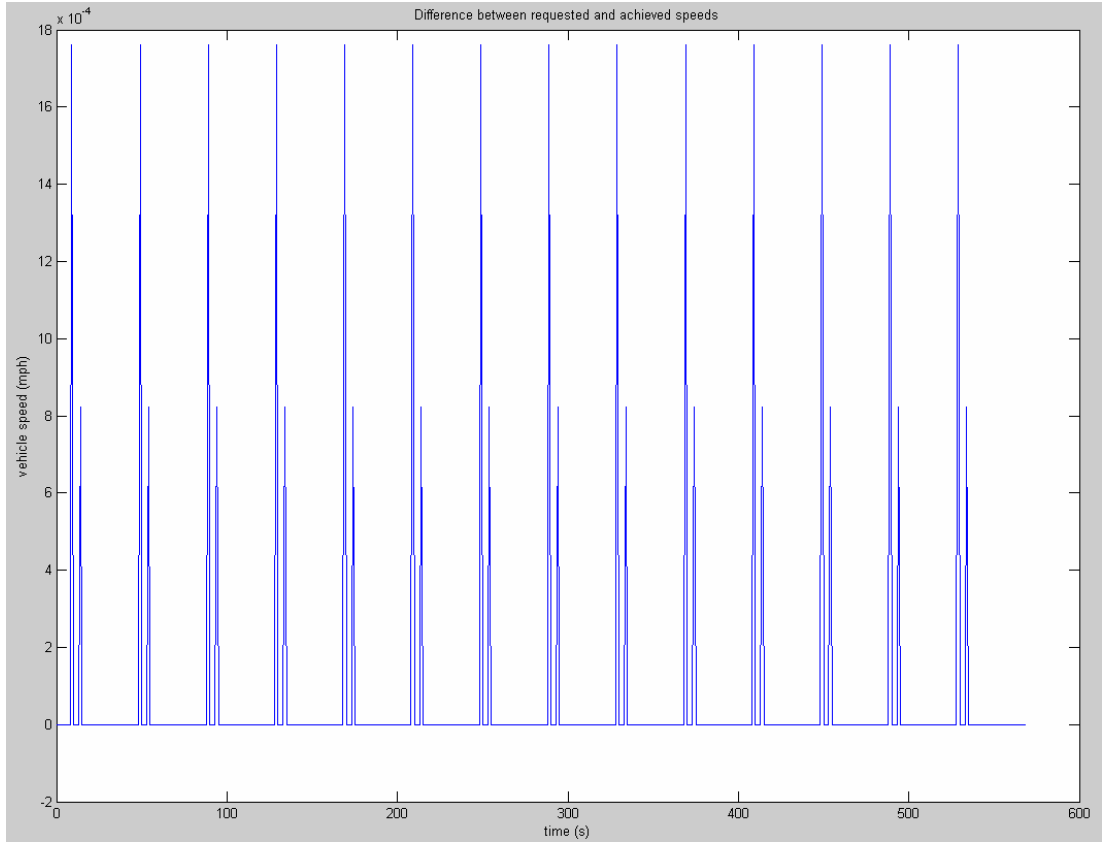
Sonuç ekranından simülasyon test çıktıları kısmına geçildiğinde, taşıtın çevrim boyunca sergilediği performans daha detaylı olarak görülebilmektedir. Şekil 5.12’te motor hızı ve torka bağlı vites değiştirme eğrileri gösterilmektedir. Şekil 5.13’te içten yanmalı motorun çalıştığı noktalar, Şekil 5.14’te Conecto’nun CBD çevrimin uyamadığı noktalar, Şekil 5.15’de da içten yanmalı motorun (Mercedes-Benz OM 906 LA 205kW) sürüş çevrimi boyunca verimi gösterilmiştir.



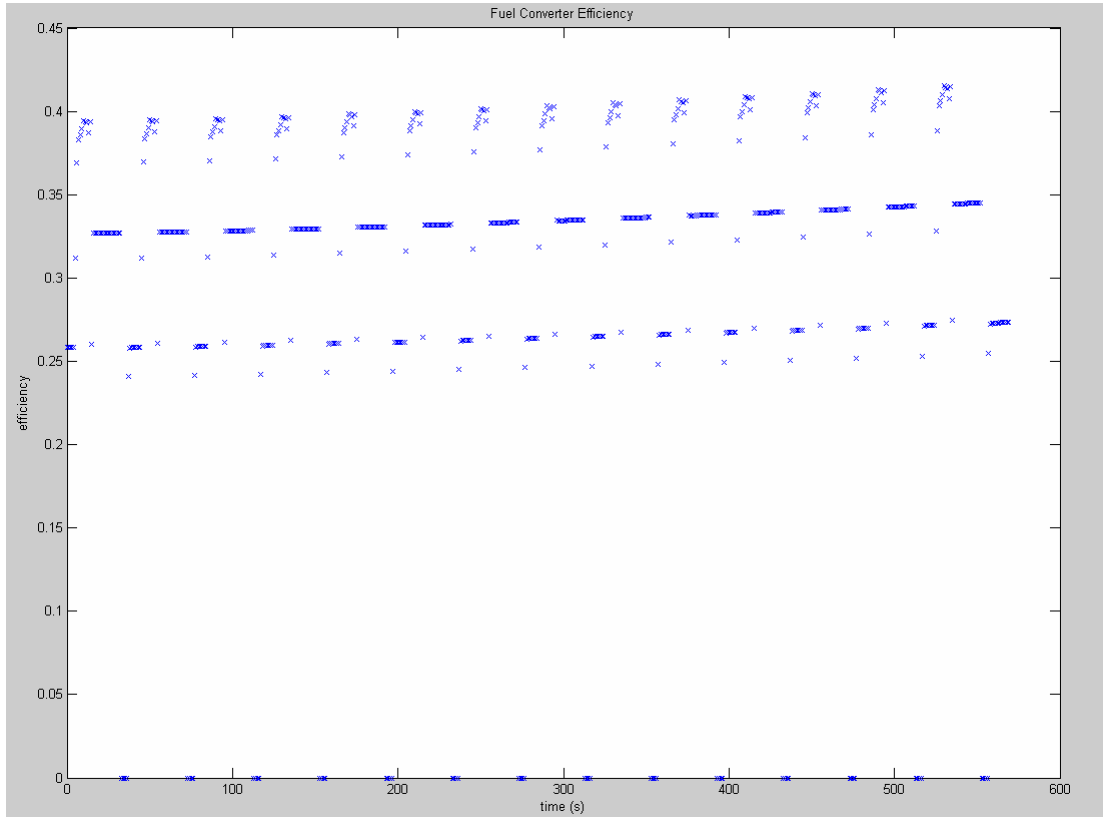
Şekil 5.12: Vites Değiştirme Diyagramı



Şekil 5.13: İçten Yanmalı Motorun Çalışma Bölgesi

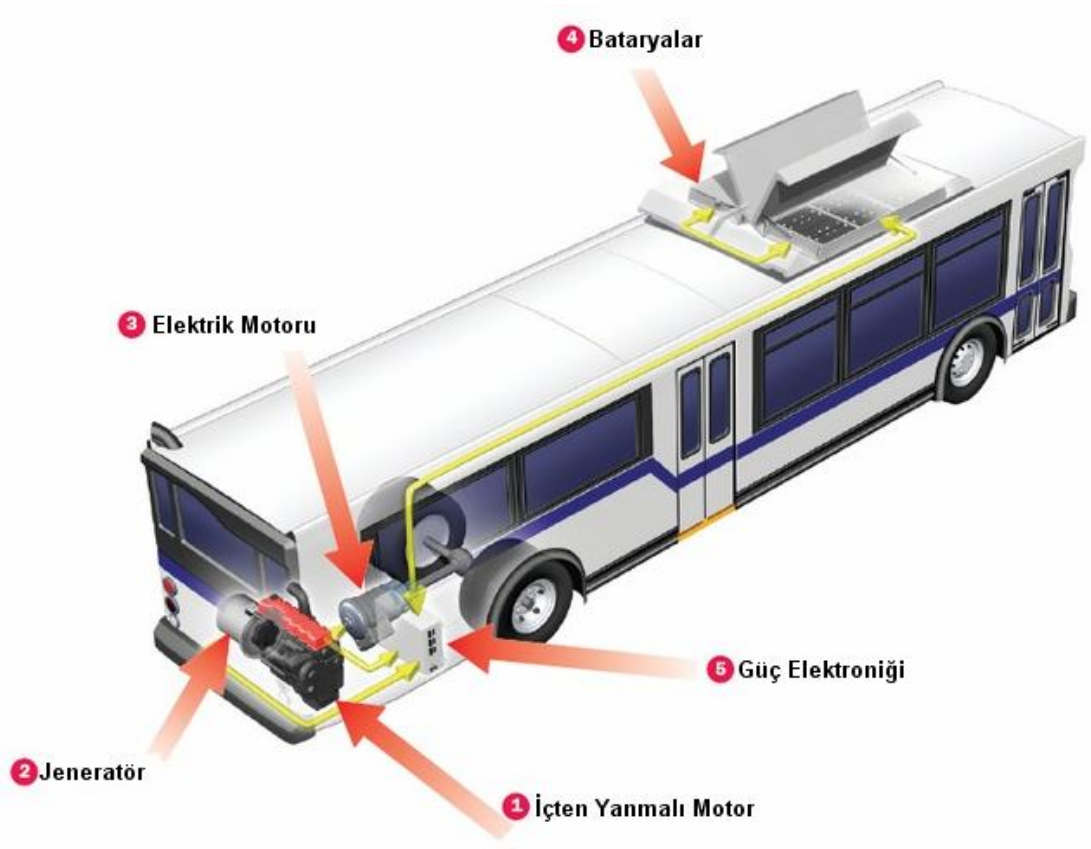


Şekil 5.14: Sürüş Çevriminden Saplamlar



Şekil 5.15: İçten Yanmalı Motorun Verimi

6. CONECTO’NUN HİBRİD DÖNÜŞÜMÜ:



Şekil 6.1: Seri Hibrid Tahrik Sistemli Orion

Mercedes-Benz Conecto’nun hibrid dönüşümü için New York’ta şehir içi ulaşımda yaygın olarak kullanılan hibrid Orion model alınmıştır. Orion’un da Conecto gibi alçak tabanlı oluşu, konvansiyonel Orion ile Conecto’nun teknik ve donanım açısından birbirine çok benzemesi sebebiyle Orion model seçiminde öne çıkmıştır. Orion seri hibrid tahrik sistemine sahiptir. Şekil 6.1’de Orion’un hibrid alt sistemlerinin yerleşimi gösterilmiştir.

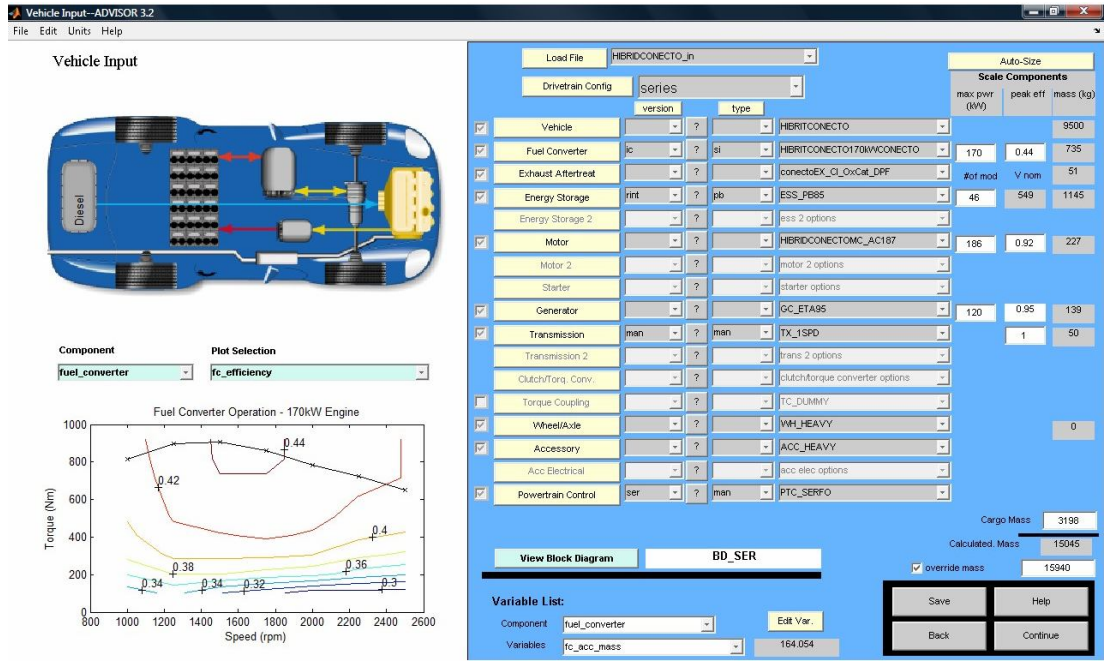
Konvansiyonel sistem simülasyonunda olduğu gibi, hibrid Conecto’nun simülasyonunda da izlenecek işlem adımları benzerdir. Öncelikle hibrid taşıt alt sistem elemanları tanımlanıp, ikinci aşamada simülasyon parametreleri tanımlanarak hibrid sistemin çeşitli sürüş çevrimlerindeki performansı değerlendirilecektir.

6.1 Hibrid Taşıt Alt Sistemlerinin Tanımlanması:

İlk aşamada, konvansiyonel araçta olduğu gibi taşıt veri dosyaları Matlab ortamında oluşturulur. Aradaki fark, konvansiyonel araçta olmayan bazı alt sistem elemanlarının bulunmasıdır. Tablo 6.1’de hibrid Conecto için veri dosyalarında kullanılan değişkenler gösterilmiştir. Hibrid sistemde konvansiyonelden farklı olarak, batarya, jeneratör grubu, elektrik motoru alt sistemleri bulunmaktadır.

Tablo 6.1: Hibrid Conecto Değişkenleri

Veri Dosyası	Değişken	Değer	Birim	Açıklama
Taşıt	veh_CD	0,48		Hava direnç katsayısı
	veh_FA	7,802	m ²	Taşıt kesit alanı
	veh_1st_rrc	0,007		Birincil yuvarlanma direnç katsayısı
	veh_cg_height	1,857	m	Taşıt ağırlık merkezinin yerden yüksekliği
	veh_wheelbase	5845	m	Akslar arası mesafe
	veh_glider_mass	9500	kg	Taşıt ağırlığı (aktarma organları dahil değil)
	veh_cargo_mass	3198	kg	Yolcuların ağırlığı (yarı dolu durum)
İçten yanmalı motor	fc_fuel_den	850	g/l	Yakıt yoğunluğu
	fc_fuel_lhv	43000	J/g	Yakıt alt ısı değeri
	fc_tstat	99	C	Termostat açılma sıcaklığı
	fc_cp	500	J/kgK	Motor malzemesi özgül ısı
Güç kontrol ünitesi	cs_hi_soc	90	%	Batarya üst şarj limiti
	cs_lo_soc	60	%	Batarya alt şarj limiti
Elektrik motoru	mc_max_crrnt	480	A	İzin verilen maksimum akım
	mc_min_volts	120	V	İzin verilen minimum gerilim
	mc_cp	430	J/kgK	Motor malzemesi özgül ısı
	mc_tstat	45	C	Termostat açılma sıcaklığı
	mc_overtrq_factor	01.Şub		Maksimum tork kapasitesi
Jeneratör	gc_max_crrnt	480	A	İzin verilen maksimum akım
	gc_min_volts	120	V	İzin verilen minimum gerilim
Bataryalar	ess_min_volts	09.May	V	Batarya minimum gerilimi
	ess_max_volts	16.May	V	Batarya maksimum gerilimi
	ess_module_mass	24.Eyl	kg	Tek batarya modül kütlesi
	ess_module_num	46		Batarya modül sayısı
Tekerlek-Aks	wh_radius	0,48	m	Tekerlek yarıçapı



Şekil 6.2: Hibrid Taşıt Parametreleri Giriş Ekranı

Şekil 6.2’ de gösterilen taşıt parametreleri giriş ekranında, hibrid taşıtın enerji akışı şeması araç resmi üzerinde gösterilmektedir. Taşıt alt modelinde ağırlık merkezi yeri ve kesit alanı dışındaki girdilerde çok büyük değişiklikler söz konusu değildir.

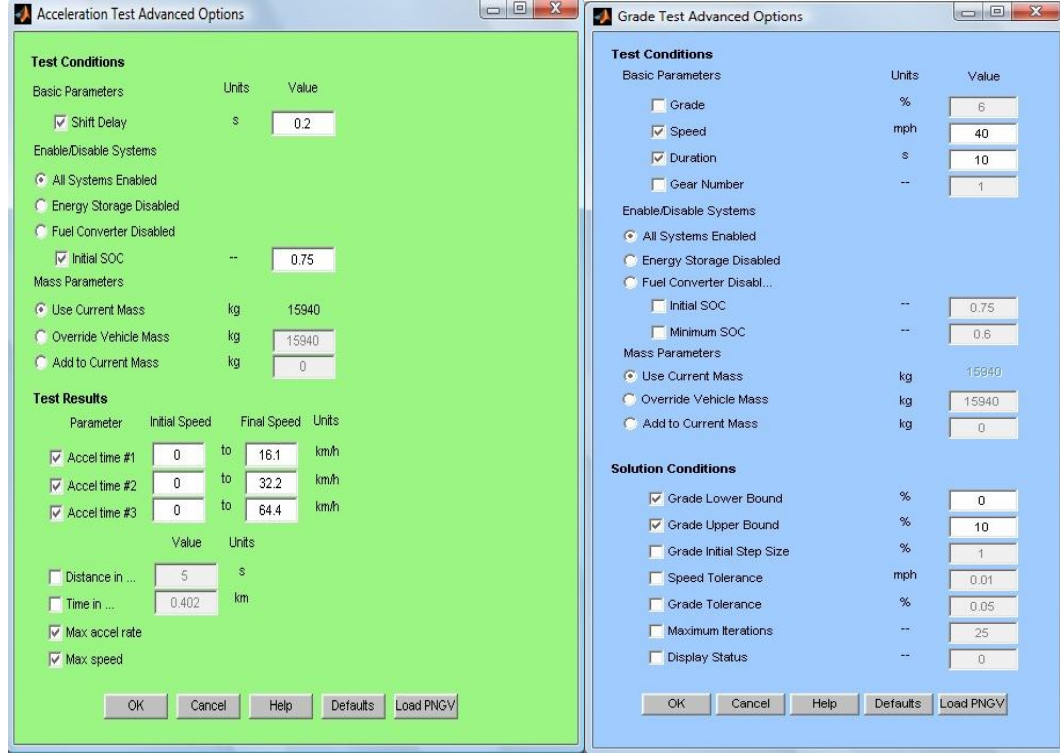
Seri hibrid sistemlerde içten yanmalı motor bataryaları şarj etmekte ve jeneratör vasıtasıyla araç tahrikine destek olmaktadır. Bu sebeple hibrid taşıtlarda konvansiyonel sistemlerdekine oranla daha küçük içten yanmalı motor kullanılmaktadır. Conecto için 170kW güç üretebilen bir içten yanmalı motor seçilmiştir. Bu motor, konvansiyonel Conecto da kullanılan 205kW’lık motorun 170kW güç verecek şekilde ölçeklendirilmesi ile elde edilmiştir. Bunun yanında, ADVISOR veri tabanından motorla bir arada kullanılmak üzere 120 kW güç kapasiteli bir jeneratör seçilmiştir.

Güç depolama kaynağı olarak, Orion’dakine benzer şekilde kurşun-asit tipinde 46 modülden oluşan bir batarya grubu seçilmiştir.

Bataryaların verebileceği güç, jeneratörden alınacak güç ve taşıt tahriki için gerekli tork göz önüne alındığında taşıt tahriki için 187 kW güç üretebilen asenkron motor seçilmiştir. Söz konusu alt sistemlerin pek çoğu (batarya, jeneratör, elektrik motoru) ile ilgili teknik veriler ADVISOR veri tabanında mevcuttur.

6.2 Simülasyon Parametrelerinin Tanımlanması:

Simülasyonun bu aşamasında, daha önce konvansiyonel Conecto için de seçilmiş olan CBD14 sürüş çevrimi seçilmiştir. Bu sayede simülasyon çıktıların karşılaştırılması mümkün olacaktır. CBD14 sürüş çevriminin detayları daha önce Şekil 5.7’de tariflenmişti.



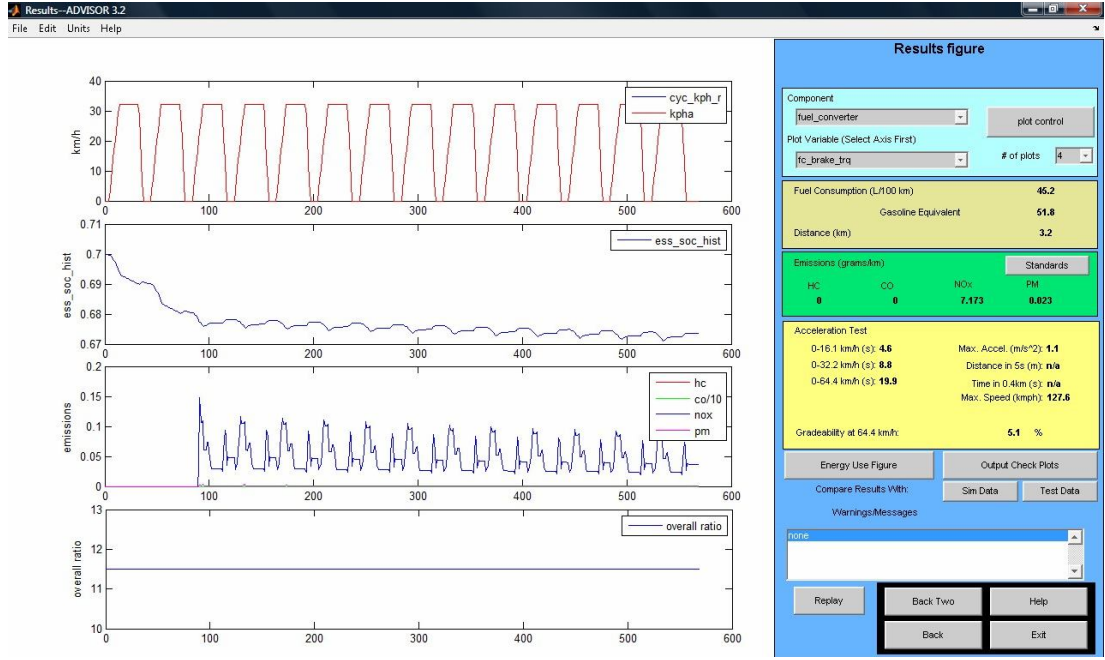
Şekil 6.3: İvmelenme ve Yokuş Kabiliyeti Testleri

Şekil 6.3’te gösterilen ivmelenme ve yokuş kabiliyeti testleri için daha önce Tablo 5.2’de belirtilen değerler referans alınarak test koşulları seçilmiştir.

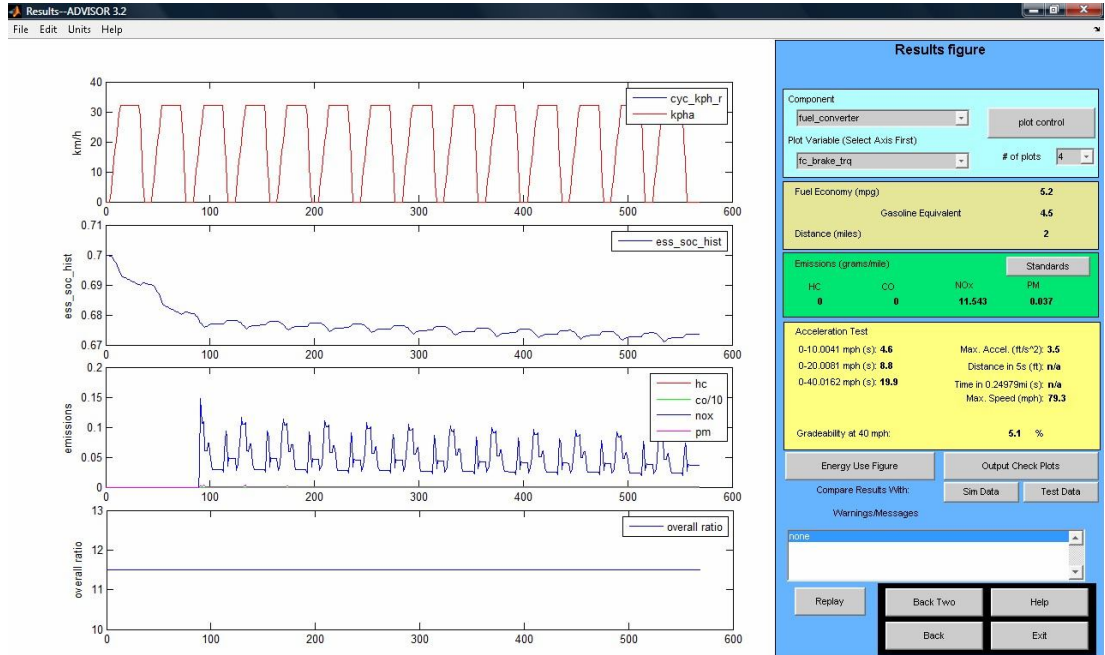
Hibrid taşıtlar için önemli başka bir test de şarj durumunun doğrulanması ile ilgilidir. Konvansiyonel Conecto ile uyumlu performans değerleri elde edilmesinin yanında asıl bataryaların şarj durumu hibrid taşıt performansı hakkında ipucu vermektedir.

6.3 Simülasyon Sonuçları:

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’te ADVISOR sonuç ekranı metrik ve US sistemlerinde gösterilmiştir. Buradan da görüleceği gibi hibrid Conecto CYD14 çevrimini başarıyla tamamlamıştır.



Şekil 6.4: ADVISOR Simülasyon Sonuçları Ekranı (Metrik)

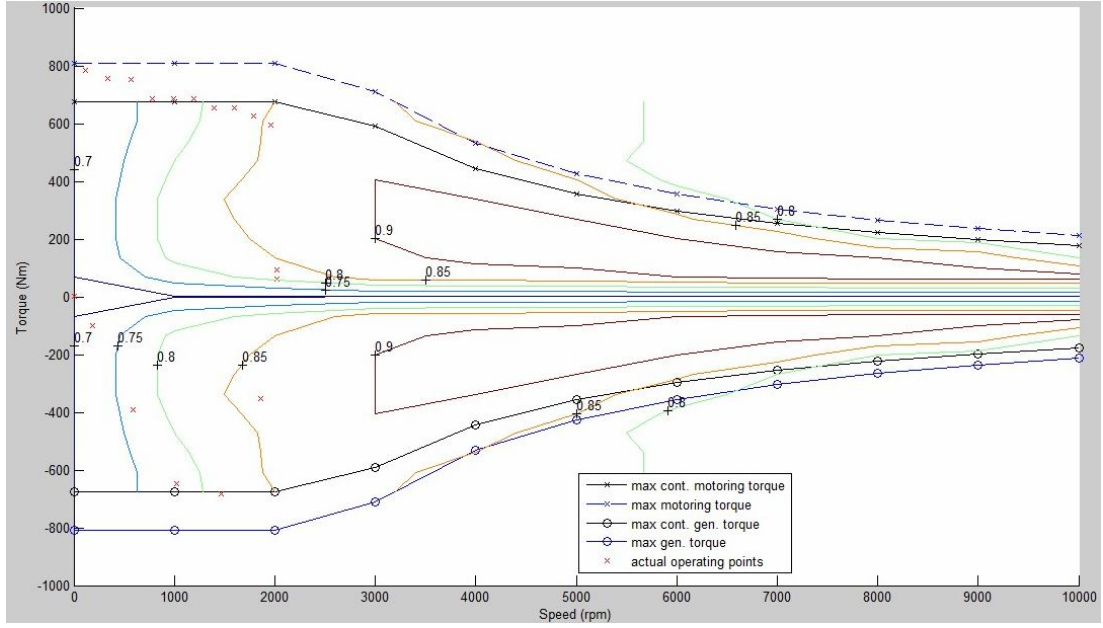


Şekil 6.5: ADVISOR Simülasyon Sonuçları Ekranı (US)

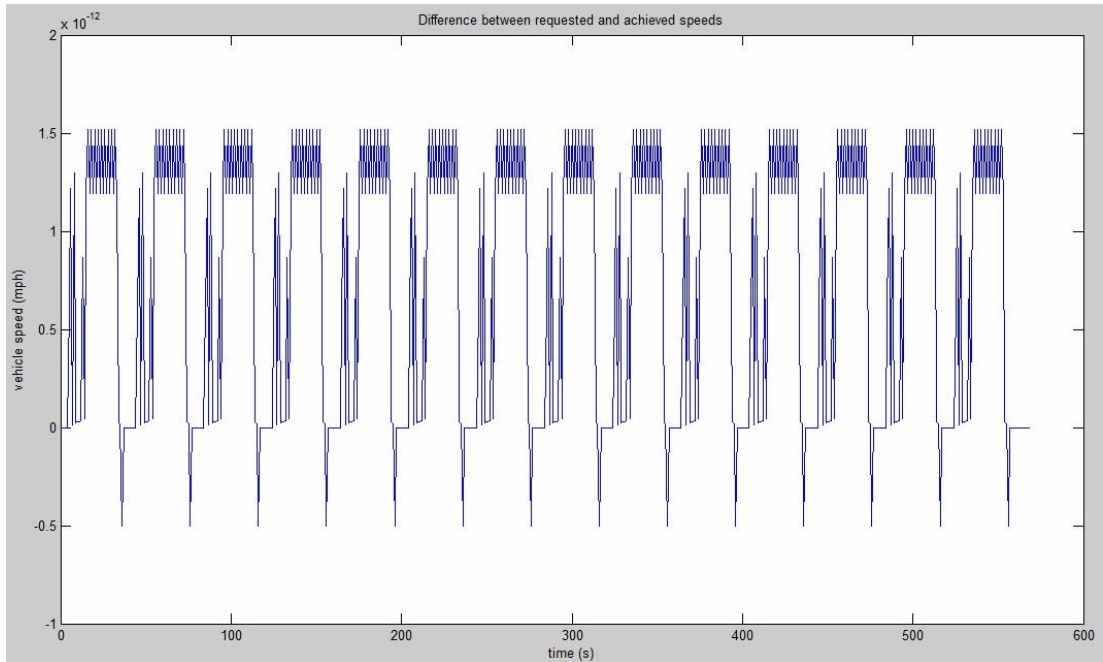
Sonular, konvansiyonel olanlar ile karşılaştırılacak olursa, yakıt sarfiyatında çok iyi olmamasına rağmen yine de %23 gibi bir iyileşme, egzoz emisyonlarında (NO_x) ise yarıya yakın bir azalma söz konusudur. Yakıt tüketimi ve emisyonlar ile ilgili sağlıklı değerlendirmelerin yapılabilmesi için de çok değişik sürüş çevrimlerindeki eğilimin incelenmesi gerekir.

Şekil 6.5'teki ilk grafikte, daha önce de açıklandığı gibi taşıtın sürüş çevrimi boyunca davranışları gösterilmektedir.

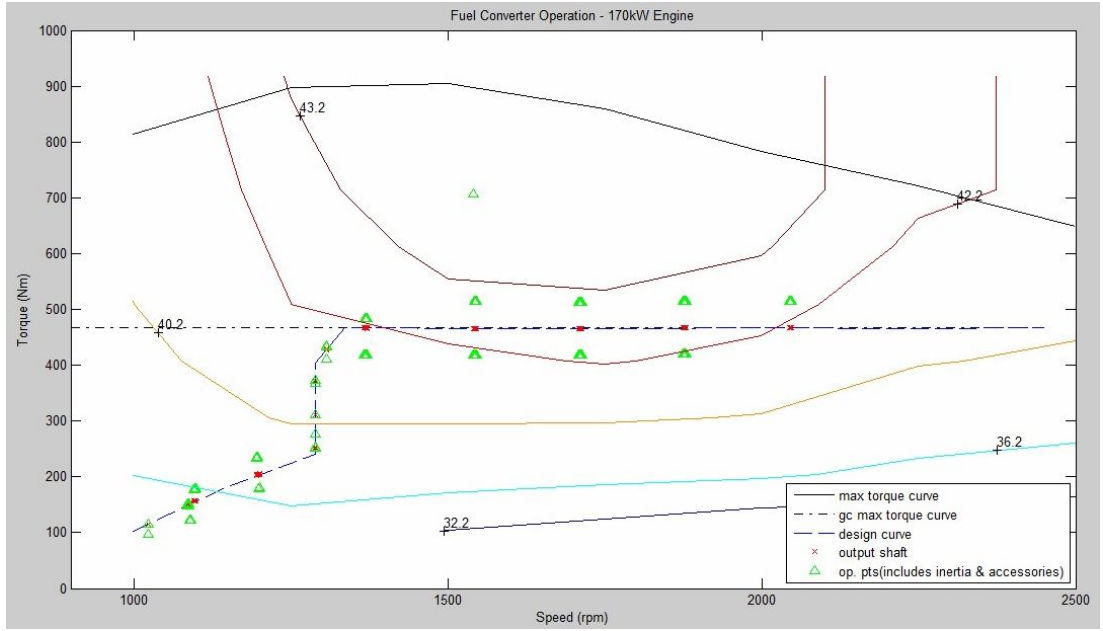
Aynı şekilde yer alan ikinci grafik ise bataryaların zamana göre şarj durumunu göstermektedir. Şarj değeri belli limitlerin altına düştüğünde içten yanmalı motor devreye girmiş ve bataryaları şarj etmeye başlamıştır.



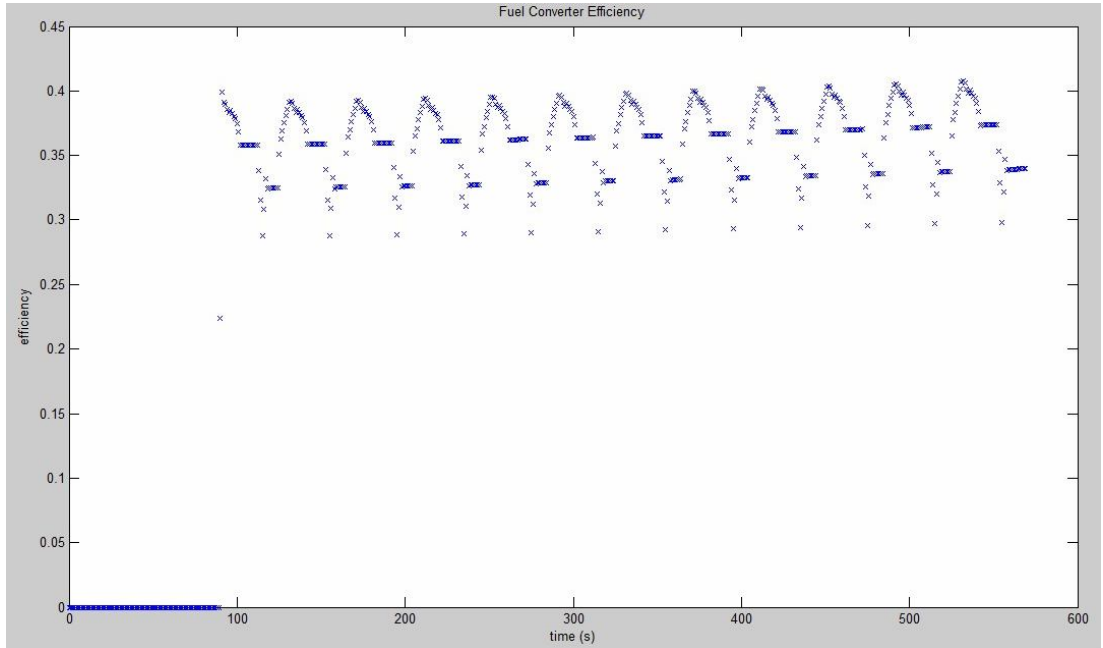
Şekil 6.6: Elektrik Motoru Çalışma Aralıkları



Şekil 6.7: Çevrime Uyulamayan Noktalar



Şekil 6.8: İçten Yanmalı motorun Çalışma Bölgeleri

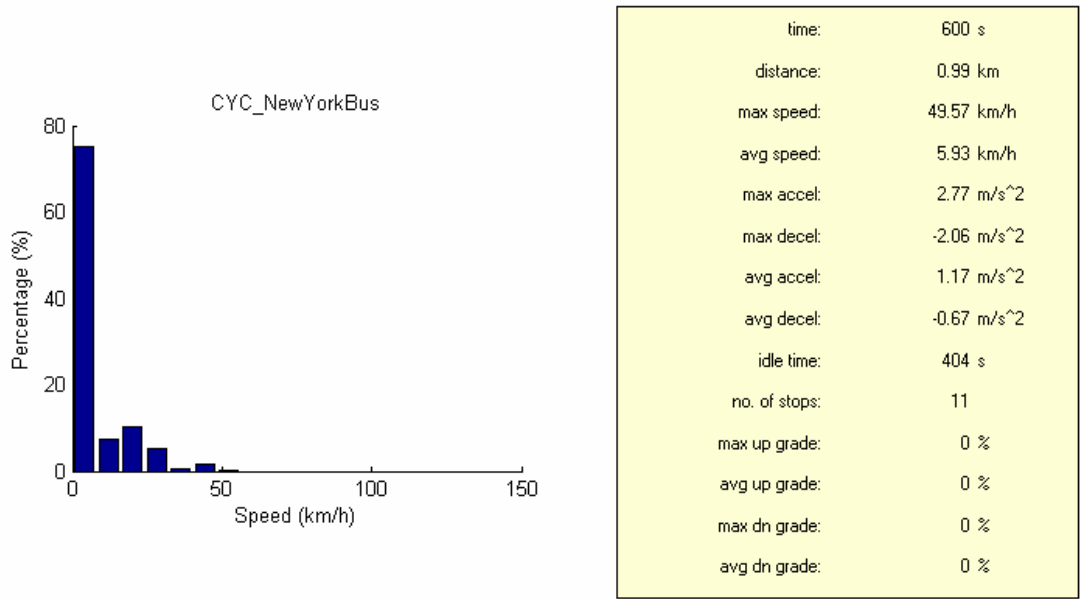


Şekil 6.9: İçten Yanmalı Motorun Verimi

Şekil 6.8’de çevrim süresince içren yanmalı motorun çalışma bölgelerini göstermektedir. Şekil 6.9’da ise içten yanmalı motorun verimi gösterilmiştir. Şekil 6.9’da da görüleceği gibi içten yanmalı motor belli bir süre sonra ihtiyaç dahilinde devreye girip çalışmaya başlamıştır.

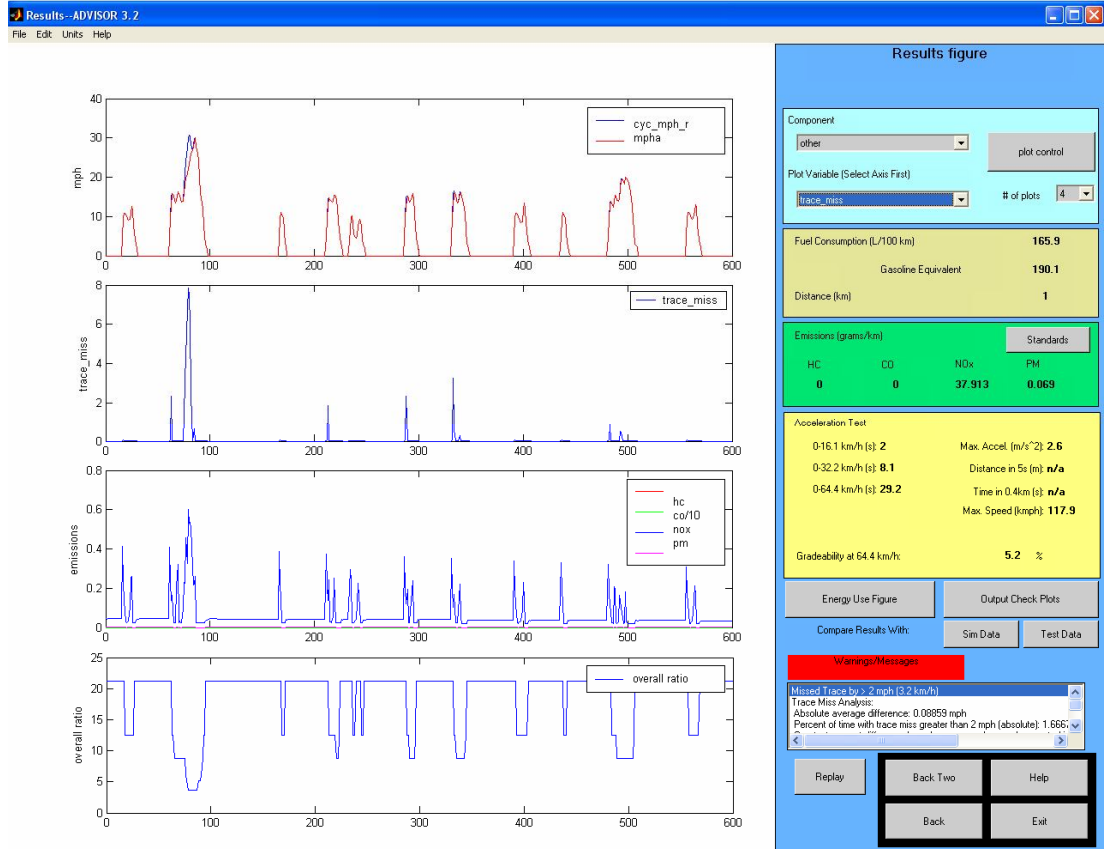
7. KONVANSİYONEL CONECTO, HİBRİD CONECTO VE HİBRİD ORİON'IN KARŞILAŞTIRILMASI:

Conecto'nun hibrid dönüşüm öncesi ve sonrası egzoz emisyonları, yakıt sarfıyatı ve performans durumlarının karşılaştırılmasında New York Bus sürüş çevrimi kullanılacaktır. Bu çevrim, West Virginia University tarafından geliştirilmiştir. Çevrim, New York'ta kullanılan hibrid ve konvansiyonel şehir içi otobüslerin sürüş karakteristiklerinin incelenmesiyle oluşturulmuştur. Çevrim ile ilgili istatistiki bilgiler Şekil 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1: New York Bus Sürüş Çevrimi Detayları

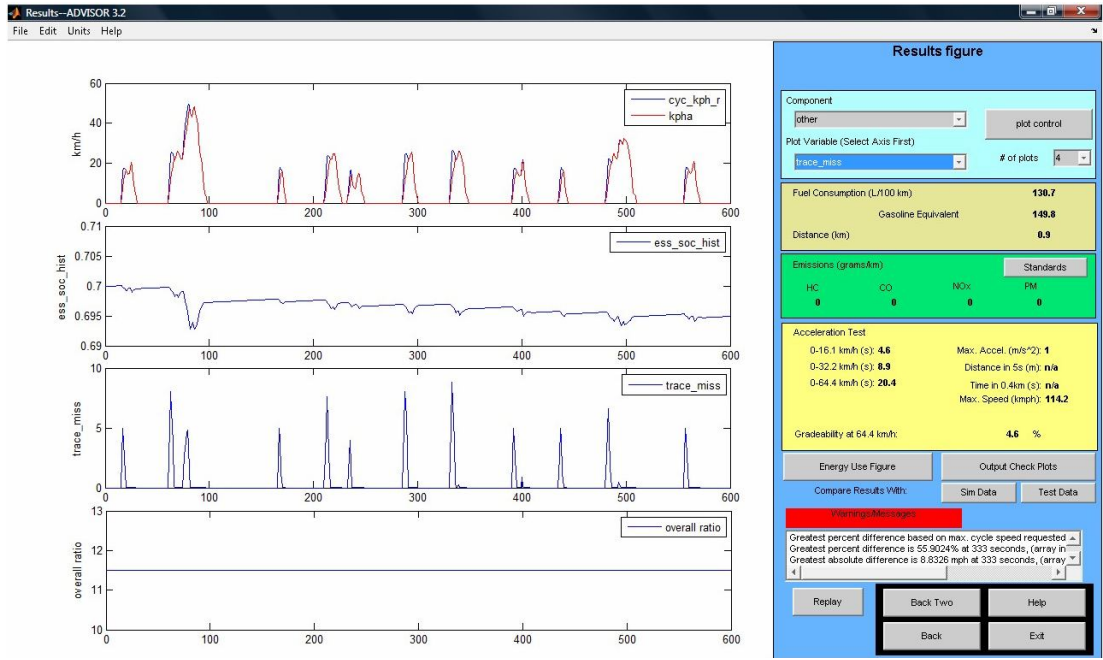
Her üç otobüsün ivmelenme ve yokuş kabiliyeti testleri Şekil 6.3'te gösterilen değerler kullanılarak yapılmıştır. Bu değerler, daha önce bahsi geçen DART tarafından oluşturulan teknik şartnameden alınmıştır.



Şekil 7.2: Konvansiyonel Conecto Sonuç Ekranı



Şekil 7.3: Hibrid Conecto Sonuç Ekranı



Şekil 7.4: Hibrid Orion Sonuç Ekranı

Sonuç ekranlarından da açıkça görülebileceği gibi, otobüslerden hiçbirisi New York Bus çevrimine tam olarak uyamamıştır. Sadece konvansiyonel Conecto çevrime oldukça yaklaşabilmiş fakat yine de tam anlamıyla çevrime uyamamıştır. Otobüslerin çevrime uyamamasındaki en büyük sebep çevrimin maksimum ivmesinin $2,77 \text{ m/s}^2$ mertebelerinde olmasıdır. Konvansiyonel Conecto'nun maksimum ivmelenmesi $2,6 \text{ m/s}^2$ olduğundan, konvansiyonel model çevrime uyum konusunda hibrid modellere oranla daha iyi bir performans sergilemiştir. Hibrid Conecto'nun maksimum ivmelenmesi $1,1 \text{ m/s}^2$, hibrid Orion'ın maksimum ivmelenmesi ise $1,0 \text{ m/s}^2$ olmuştur. Otobüslerin yakıt sarfiyatları incelenirse, New York Bus çevriminde konvansiyonel Conecto'nun $165,9 \text{ L/100km}$, hibrid Orion'un $130,7 \text{ L/100km}$, hibrid Conecto'nun ise $104,5 \text{ L/100km}$ mertebelerinde olduğu görülür. Konvansiyonel ile hibrid Conecto'nun yakıt sarfiyatları arasında %37'lik bir fark söz konusudur Bu da. New York Bus çevrimi için hibrid dönüşümün %37'lik yakıt tasarrufu sağladığı anlamına gelir. Benzer şekilde, hibrid Conecto'nun konvansiyonel olana göre egzoz emisyonları açısından da daha üstün olduğu ortaya çıkmaktadır.

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA:

Bu çalışmada, şehir içi tipte konvansiyonel bir otobüsün hibrid elektrikli araç dönüşümü ADVISOR kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, konvansiyonel otobüsün alt sistem bileşenleri Matlab kullanılarak modellenmiştir. Ardından ADVISOR veri tabanında yer alan CBD14 sürüş çevriminde aracın simülasyonu yapılarak performans değerleri elde edilmiştir. Fiilen kullanımda olan hibrid Orion model alınarak Conecto'nun hibrid dönüşümü ADVISOR kullanılarak gerçekleştirilmiş ve çeşitli sürüş çevrimlerindeki performans sonuçları incelenmiştir.

Yapılan simülasyonlar sonucunda, konvansiyonel ve hibrid Conecto'nun Dallas'ta kullanılması planlanan otobüslerin teknik şartnamesinde belirtilen performans kriterlerini (ivmelenme ve yokuş kabiliyeti) sağladığı ve CBD14 çevrimine sorunsuz bir şekilde uyabildiği tespit edilmiştir. Ayrıca yine DART raporunda yer alan ve New York'ta kullanılmakta olan otobüslerin egzoz emisyon değerleri ile ADVISOR'ın simülasyon sonuçlarının uyuşması, konvansiyonel ve hibrid araç modellerinin gerçeğe uygunluğunu gösterir.

CBD14 çevriminde hibrid dönüşüm sayesinde yakıt sarfiyatının konvansiyonel modele göre %27 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Benzer durum egzoz emisyonları (NO_x ve partiküller) için de geçerlidir. Hibrid dönüşüm sayesinde CBD14 çevriminde Conecto'nun egzoz emisyonları yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Hibrid dönüşüm ile aracın ivmelenme değerinde düşüş gözlenmiştir. Burada dikkat edilecek noktalardan biri CBD14 çevriminin düşük ivmelenme gerektiren bir çevrim olduğudur. Fakat hibrid aracın ivmelenme değeri CBD14 çevriminin ivmelenme değerinden büyük olduğundan araç çevrime sorunsuz bir şekilde uymuştur.

ADVISOR veri tabanında yer alan hibrid Orion, konvansiyonel ve hibrid Conecto için New York Bus çevrimi seçilerek ADVISOR'da simülasyon yapılmıştır. Buna göre her üç otobüs de seçilen çevrime uyamamıştır. Konvansiyonel model, ivmelenme değerinin diğerlerine oranla daha büyük olması sebebiyle çevrime daha iyi uyum göstermiştir. Hibrid Conecto ve Orion'ın ivmelenme değerlerinin yakın olması sebebiyle performans değerleri de birbirine yakın çıkmıştır. Fakat değerlendirme yakıt sarfiyatı ve egzoz emisyonları baz alınarak yapılırsa hibrid Conecto'nun diğerlerine oranla önde olduğu görülebilir. New York Bus çevriminde

hibrid Conecto'nun konvansiyonel Conecto ya göre yakıt sarfiyatında %37'lik avantaj sağladığı ve benzer şekilde Orion'a oranla da yakıt sarfiyatı açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Conecto'nun konvansiyonel ve hibrid modelleri düşünüldüğünde iki farklı çevrimde farklı oranlarda yakıt sarfiyatı sağlanması, sürüş koşullarının hibrid araçlardan sağlanabilecek avantajları önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Bu sebeple, hibrid araçların ancak belli kullanım şartlarında avantajlarından gerçek anlamda faydalanabilmek mümkündür.

Hibrid araç teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, kontrol sistemlerinin optimizasyonu ve performanslarındaki gelişmelere bağlı olarak bu araçlar yaygın olarak kullanılacaktır. Şehir içi otobüslerde, hibrid sistemin ana kalbi olan bataryalar için yer geniş alan bulunması ve ağırlık yönünden bir kısıt bulunmaması ve bu araçların sadece şehir içi koşullarda kullanılması sebebiyle seri hibrid sistem oldukça mantıklı bir seçim olarak öne çıkmaktadır. Ancak mevcut durumda bu araçlar, güç depolama ve kontrol sistemindeki kısıtlar sebebiyle belli sürüş koşulları (eğimsiz yol ve düşük ivmelenme) için tercih edildikleri taktirde avantajlı olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Arias J, Erjavec J.** 2006. Hybrid, Electric and Fuel Cell Vehicles
- Barnard R, Jefferson C.** 2002 Hybrid Vehicle Propulsion (Advances in Transport)
- Göktan A, Güney A, Ereke M** 1995, Taşıt Frenleri, İstanbul Panel Matbaacılık
- Guzella L, Sciarretta A.** 2007 Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modelling and Optimization
- Miller John M.** 2003 Propulsion Systems For Hybrid Vehicles,
- Tırıs Mustafa, Akgün Fehmi** 2003. Elektrikli Araçlar, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü.
- Nennelli A.** 2001 Simulation of Heavy-Duty Hybrid Electric Vehicles, Master of Science Thesis West Virginia University, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Morgantown, West Virginia.
- Senger D. R.** 1997. Validation of ADVISOR as a Simulation Tool for a Series Hybrid Electric Vehicle Using the Virginia Tech Future Car Lumina, Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Rexeis M., Hausberger S. Riemersma I.** 2005. ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems) Heavy Duty Vehicle Emissions Final Report. Graz University of Technology.
- Barnitt R., Chandler K.** 2006. New York City Transit (NYCT) Hybrid (125 Order) and CNG Transit Buses. Technical Report NREL/TP-540-40125
- Smokers R.T.M.** 2000. Hybrid Vehicles Overview Report 2000: Hybrid Vehicles for Different Applications. TNO Automotive
- Battelle,** 2002 Technical Assessment of Advanced Transit Bus Propulsion Systems. Dallas Area Rapid Transport (DART) Dallas Texas.
- Directive 1999/96/EC of The European Parliament and of the Council.** 1999
- Brooker A, Hendricks T.** 2001. ADVISOR 3.2 Documentation. Advanced Vehicle Simulator. National Renewable Energy Laboratory.

ÖZGEÇMİŞ

15.09.1979 tarihinde Bulgaristan'ın Şumnu şehrinde doğdu. İlk okul 3. sınıfa kadar eğitimine Bulgaristan'da devam etti. 1989 yılında Türkiye'ye göç etti ve eğitimine Avcılar İlk Okulunda devam etti. Ortaokulu Avcılar İnsa Lisesinde bitirdi. Lise eğitimini Orhan Cemal Fersoy Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesinde 1998'de tamamladı. Üniversite Öğrenimine Yıldız Teknik Üniversitesi'nde devam etti. 2004 yılında Makine Mühendisliği Bölümünden onur öğrencisi sıfatıyla 3,5 senede 3,50 not ortalaması ile mezun oldu. Mezuniyetin hemen ardından Catsis Keçe Sanayi A.Ş. de Proje Mühendisi olarak göreve başladı. Aynı yıl içinde Yıldız Teknik Üniversitesi Enerji Makinaları Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılında tez aşamasında iken okuldan ayrılıp İstanbul Teknik Üniversitesi Otomotiv Yüksek Lisans Programına başladı. 2005 yılında Mercedes-Benz Türk A.Ş.'de Satın Alma Parçalar Kalite Güvence Müdürlüğü Kısmı'nda Kalite Güvence Mühendisi olarak göreve başladı ve halen bu görevini sürdürmektedir. 2007 Ağustos ayında yüksek öğrenimine ara verip askerliğini 1.Hava İkmal Bakım Merkez Komutanlığı'nda Hv.P.Kd. Çvş. olarak yapmıştır.