

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞARIDAN ŞARJ EDİLEBİLEN HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇ
İLE MENZİL ARTIRICILI ELEKTRİKLİ ARAÇ KONSEPTLERİNİN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cenk Güner

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Yüksek Lisans Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞARIDAN ŞARJ EDİLEBİLEN HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇ
İLE MENZİL ARTIRICILI ELEKTRİKLİ ARAÇ KONSEPTLERİNİN
KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cenk Güner
503111705**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ertuğrul ARSLAN

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503111705 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cenk GÜNER**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DIŞARIDAN ŞARJ EDİLEBİLEN HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇ İLE MENZİL ARTIRICILI ELEKTRİKLİ ARAÇ KONSEPTLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ertuğrul ARSLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ertuğrul ARSLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Doğan GÜNEŞ
Bilgi Üniversitesi

Y. Doç. Dr. O. Akın KUTLAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **2 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **4 Haziran 2013**

Ülkeme ve aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, yenilikçi araç tahrik konseptlerinin analizi ve mukayesesi, bilgisayar destekli simülasyonlardan da faydalanılarak yapılmıştır. Gerekli olan tüm veriler ve bilgiler, kapsamlı araştırmaların sonucunda elde edilemeye çalışılmış, gerektiğinde uygun kabuller ve basitleştirmelerle, sonuçların gerçeğe uygun olması amaçlanmıştır.

Tüm lisans eğitimim süresince, kendimi geliştirmeme, sonsuz katkıları bulunan bütün İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi öğretim elemanlarına, lisansüstü eğitimimde bana yol gösteren, tüm Otomotiv Programı hocalarıma, ve elbette, çalışmamın her aşamasında beni yönlendiren ve yaptıklarına ışık tutan, saygıdeğer hocam, ülkemizde konusunda sayılı otoritelerden biri olmasına rağmen, dost canlısı ve mütevazı kişiliğinden hiçbir zaman ödün vermeyen Prof. Dr. Ertuğrul Arslan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak ve hepsinden önemlisi, maddi ve manevi olarak kıyaslanamaz emekleri üzerimde sarf eden ve şu ana kadar kazandığım ve kazanacağım her türlü başarıda en büyük paya sahip olan aileme sonsuz sevgilerimi sunarım.

Mayıs 2013

Cenk Güner

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Elektrikli ve Hibrit Araçların Geçmişi.....	2
1.3 Konuyla İlgili Terminoloji.....	26
1.3.1 Paralel ve seri hibrit sistemler.....	26
1.3.2 Kombine sistemler.....	30
1.3.3 Dışardan şarj edilebilir HEVler.....	31
1.3.3.1 Plug-in hibrit araçlar.....	32
1.3.3.2 Menzil artırıcı elektrikli araçlar.....	33
2. ARAÇLARIN TANITILMASI.....	35
2.1 Toyota Prius Plug-in Hybrid.....	35
2.1.1 Toyota Prius modeli geçmişi.....	36
2.1.1.1 Birinci jenerasyon XW10.....	37
2.1.1.2 İkinci jenerasyon XW20.....	37
2.1.1.3 Üçüncü jenerasyon XW30.....	38
2.1.2 Hybrid Synergy Drive.....	39
2.1.2.1 İçten yanmalı motor.....	44
2.1.2.2 Elektrik motorları MG1 ve MG2.....	47
2.1.2.3 Batarya.....	48
2.1.2.4 Hibrit tahrik sistemi teknik özellikleri.....	49
2.1.2.5 HSD sistemi çalışma modları.....	51
2.2 Chevrolet Volt.....	54
2.2.1 GM Voltec tahrik sistemi.....	56
2.2.1.1 Elektrik motorları.....	58
2.2.1.2 İçten yanmalı motor.....	58
2.2.1.3 Batarya.....	58
2.2.1.4 Sistemin teknik özellikleri.....	58
2.2.1.5 Chevrolet Volt sürüş modları.....	60
3. ARAÇLARIN AVL CRUISE PROGRAMINDA MODELLENMESİ.....	63
3.1 AVL Cruise Programı.....	63
3.2 Toyota Prius Plug-in Hybrid Modellenmesi.....	63
3.2.1 Modeldeki modüllerin oluşturulması.....	65
3.3 Chevrolet Volt Modellenmesi.....	79
3.3.1 Modeldeki modüllerin modellenmesi.....	81
4. MODELLERİN NEDC ÇEVİRİMİNDE KOŞTURULMASI.....	99

4.1 Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC)	101
4.2 ECE-R101 Regülasyonuna Göre NEDC Çevriminde Yakıt ve Enerji Tüketimi Hesabı	103
4.3 NEDC Çevriminin Cruise Programında Modellenmesi.....	104
4.4 Modellerin Simülasyon Sonuçlarından Hareketle Yakıt Tüketimi ve Enerji Tüketimi Hesaplamaları.....	105
4.5 Toyota Prius Plug-in Hybrid NEDC Uygulaması	106
4.5.1 Standart MG2 motoruyla Prius Plug-in Hybrid NEDC çevrimi sonuçları.....	106
4.5.2 Güçlendirilmiş MG2 motoruyla Prius Plug-in Hybrid NEDC çevrimi sonuçları	125
4.5.2.1 İlk ivmelenmede durum	127
4.5.2.2 Elektrik tüketimindeki değişim	128
4.5.2.3 Elektrik motoru MG2'nin durumu	132
4.5.2.4 Yakıt tüketimindeki değişim	133
4.5.2.5 Yeni motorla birlikte aracın genel ekonomisi	137
4.6 Chevrolet Volt NEDC Uygulaması.....	138
4.6.1 Chevrolet Volt NEDC çevrimi sonuçları	138
4.6.2 Chevrolet Volt artarda NEDC çevrimi koşturulması sonuçları	157
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....	163
KAYNAKLAR.....	165
EKLER.....	169

KISALTMALAR

1/dak	: Devir/dakika (AVL Cruise içinde)
%	: Yüzde
AC	: Alternatif akım
Ah	: Amper-saat
As	: Amper-saniye
C	: Santigrat derece
CVT	: Sürekli değişken oranlı şanzıman
DC	: Doğrusal akım
d/d	: Devir/dakika
DOHC	: Double overhead camshaft
ε	: Sıkıştırma oranı
ECE	: Economic Comission for Europe (Avrupa Ekonomi Kurulu)
ECE-R101	: ECE-regülasyon no 101
EGR	: Egzos gazı resirkülasyonu
EPA	: Environmental Protection Agency
E-REV	: Menzil Artırıcı Elektrikli Araç
EUDC	: Extra urban driving cycle (Şehirdışı sürüş çevrimi)
EV	: Elektrikli araç
HEV	: Hibrit elektrikli araç
HSD	: Hybrid Synergy Drive
J/kgK	: Jul/kilogramkelvin
K	: Kelvin
kg/h	: Saatte kilogram
kg/l	: Litre başına kilogram
kg x m²	: Kilogram x metrekare
kJ/kg	: Kilogram başına kilojul
km/h	: Saatte kilometre
kWh	: Kilovat-saat
kWs	: Kilovat-saniye
LiC₆	: Lityum grafit
LiCoO₂	: Lityum kobalt oksit
Li-ion	: Lityum-iyon
LiMnO₂	: Lityum mangan dioksit
LiMn₂O₄	: Lityum mangan oksit
LiNiO₂	: Lityum nikel oksit
M1	: Sürücü hariç en fazla 8 koltuğa sahip yolcu taşıma amaçlı araç
MG1	: Motor-generator 1 (Motor-jeneratör 1)
MG2	: Motor-generator 2 (Motor-jeneratör 2)
N1	: Azami ağırlığı 3.5 tonu aşmayan yük taşıma amaçlı araç

NEDC	: New European Driving Cycle (Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi)
NiCd	: Nikel kadmiyum
NiMH	: Nikel metal hidrit
PHEV	: Plug-in Hibrit Araç
PMSM	: Permanent magnet senkronize motor
PSM	: Permanent magnet senkronize motor (AVL Cruise içinde)
SOC	: State of charge (Batarya şarj seviyesi)
U	: Voltaj
UDC	: Urban driving cycle (Şehiriçi sürüş çevrimi)
VVT-i	: Akıllı ayarlanabilir supap zamanlaması
W/K	: Vat/kelvin
Wh	: Vat-saat
Wh/kg	: Kilogram başına vat-saat

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : Elementary urban cycle (şehiriçi kısım).....	101
Çizelge 4.2 : Extra urban cycle (şehirdışı kısım).....	102
Çizelge 4.3 : Prius bataryasında elektrik enerjisi tüketimi	108
Çizelge 4.4 : Prius yakıt tüketimi	120
Çizelge 4.5 : MG2 motoru güçlendirmesinin enerji tüketimine etkisi.	131
Çizelge 4.6 : MG2 motoru güçlendirmesinin yakıt tüketimine etkisi.	136
Çizelge 4.7 : Volt bataryasında elektrik enerjisi tüketimi	141
Çizelge 4.8 : Volt yakıt tüketimi.....	152
Çizelge A.1 : Prius benzin motoru tork-hız grafiği verileri.....	170
Çizelge A.2 : Prius MG2 tork grafiği verileri.....	171
Çizelge A.3 : Prius MG1 tork grafiği verileri.....	172
Çizelge A.4 : Volt benzin motoru tork-hız grafiği verileri.....	174
Çizelge A.5 : Volt çekiş motoru tork grafiği verileri.....	175
Çizelge A.6 : Volt jeneratör tork grafiği verileri	176
Çizelge A.7 : Prius güçlendirilmiş MG2 tork grafiği verileri.....	177

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Ayrton ve Perry'nin 1882 yılındaki araçları.....	4
Şekil 1.2 : Morris ve Salom'un elektrikli aracı 1896	5
Şekil 1.3 : Victoria Hansom Cab 1898	7
Şekil 1.4 : Jenatzy elektrikli yarış otomobili 1899-1902.....	8
Şekil 1.5 : Porsche No.1 Lohner-Wagen 1900	9
Şekil 1.6 : Lohner-Porsche yarış arabası 1902	10
Şekil 1.7 : Enfield 8000 elektrikli otomobili 1966	12
Şekil 1.8 : Ford Comuta 1967.....	13
Şekil 1.9 : Sebring-Vanguard Citicar 1976	15
Şekil 1.10 : Toyota prius ilk jenerasyon 1997	20
Şekil 1.11 : Audi Duo 1997	21
Şekil 1.12 : Honda Civic Hybrid 2007	21
Şekil 1.13 : Honda CR-Z	24
Şekil 1.14 : Chevrolet Volt	25
Şekil 1.15 : Peugeot 3008 HYbrid4	26
Şekil 1.16 : Seri hibrit sistemi	27
Şekil 1.17 : Paralel hibrit sistemi	28
Şekil 1.18 : Kombine hibrit sistem	31
Şekil 1.19 : Tahrik sistemlerine göre araçlar	32
Şekil 1.20 : Araçların elektrifikasyon seviyeleri	33
Şekil 2.1 : Toyota prius Plug-in Hybrid	36
Şekil 2.2 : İlk jenerasyon Prius	37
Şekil 2.3 : İkinci jenerasyon Prius	38
Şekil 2.4 : Üçüncü jenerasyon Prius	38
Şekil 2.5 : HSD sistemi gösterimi.....	41
Şekil 2.6 : HSD sistemi komponentleri	42
Şekil 2.7 : HSD sistemi planet dişlisi	44
Şekil 2.8 : Atkinson çevrimi.....	45
Şekil 2.9 : Atkinson çevriminin yakıt ekonomisine katkısı	46
Şekil 2.10 : İlk çalıştırma veya düşük yükte HSD sisteminin durumu	51
Şekil 2.11 : Normal sürüşte HSD sistemi durumu.....	52
Şekil 2.12 : Tam yükte ivmelenmede HSD sistemi durumu	52
Şekil 2.13 : Dekselasyon veya frenlemede HSD sistemi durumu	53
Şekil 2.14 : Bataryanın şarj edilmesinde HSD sistemi durumu	54
Şekil 2.15 : Chevrolet Volt	55
Şekil 2.16 : Voltec tahrik sistemi	56
Şekil 2.17 : Chevrolet Volt'ta bataryayı şarj etmek için kullanılan içten yanmalı motorun hızının araç hızına bağlı değişimi	58
Şekil 3.1 : Toyota Prius Plug-in Cruise modeli	64

Şekil 3.2 : Prius benzin motoru tork-hız grafiği	68
Şekil 3.3 : Prius benzin motoru iç sürtünme kayıpları-hız grafiği.....	69
Şekil 3.4 : Prius benzin motoru verim grafiği	69
Şekil 3.5 : Prius MG2 tork grafiği	71
Şekil 3.6 : Prius MG2 verim grafiği	71
Şekil 3.7 : Prius MG1 tork grafiği	73
Şekil 3.8 : Prius MG1 verim grafiği	73
Şekil 3.9 : Prius batarya hücresi şarj karakteristiği	74
Şekil 3.10 : Prius batarya hücresi deşarj karakteristiği	75
Şekil 3.11 : Prius gaz pedalı karakteristiği.....	77
Şekil 3.12 : Prius fren pedalı karakteristiği	77
Şekil 3.13 : Prius tekerleklerde kayma karakteristiği	78
Şekil 3.14 : Prius tekerleklerde kayma karakteristiğinin asimptotu	79
Şekil 3.15 : Chevrolet Volt Cruise modeli.....	81
Şekil 3.16 : Volt benzin motoru tork-hız grafiği	84
Şekil 3.17 : Volt benzin motoru iç sürtünme kayıpları-hız grafiği	84
Şekil 3.18 : Volt benzin motoru verim grafiği	85
Şekil 3.19 : Volt çekiş motoru tork grafiği	86
Şekil 3.20 : Volt çekiş motoru verim grafiği	87
Şekil 3.21 : Volt jeneratör tork grafiği	88
Şekil 3.22 : Volt jeneratör verim grafiği	89
Şekil 3.23 : Volt batarya hücresi şarj karakteristiği	90
Şekil 3.24 : Volt batarya hücresi deşarj karakteristiği	90
Şekil 3.25 : Volt gaz pedalı karakteristiği	92
Şekil 3.26 : Volt fren pedalı karakteristiği	93
Şekil 3.27 : Volt tekerleklerde kayma karakteristiği	94
Şekil 3.28 : Volt tekerleklerde kayma karakteristiğinin asimptotu	94
Şekil 3.29 : Volt elektrik harcaması direnç karakteristiği	95
Şekil 3.30 : Batarya şarjı minimuma ulaştığında devreye giren Volt benzin motorunun hızının araç hızına bağlı değişimi	96
Şekil 4.1 : NEDC çevrimi	99
Şekil 4.2 : NEDC çevrimindeki UDC kısmı	100
Şekil 4.3 : NEDC çevrimindeki EUDC kısmı	100
Şekil 4.4 : Prius batarya %80 SOC durumunda güç ve SOC değişimi	107
Şekil 4.5 : Prius batarya %60 SOC durumunda güç ve SOC değişimi	107
Şekil 4.6 : Prius batarya %40 SOC durumunda güç ve SOC değişimi	108
Şekil 4.7 : Prius MG2 motorunda %80 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi	110
Şekil 4.8 : Prius MG2 motorunda %60 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi	110
Şekil 4.9 : Prius MG2 motorunda %40 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi	111
Şekil 4.10 : Prius MG1 motorunda %80 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi	112
Şekil 4.11 : Prius MG1 motorunda %60 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi	112
Şekil 4.12 : Prius MG1 motorunda %40 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi	113
Şekil 4.13 : Prius benzin motorunda %80 SOC durumunda motor hızı değişimi	114

Şekil 4.14 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda motor hızı değişimi	114
Şekil 4.15 : Prius benzin motorunda %40 SOC durumunda motor hızı değişimi	115
Şekil 4.16 : Prius benzin motorunda %80 SOC durumunda motor gücü değişimi	115
Şekil 4.17 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda motor gücü değişimi	116
Şekil 4.18 : Prius benzin motorunda %40 SOC durumunda motor gücü değişimi	116
Şekil 4.19 : Prius benzin motorunda %80 SOC durumunda motor torku değişimi	117
Şekil 4.20 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda motor torku değişimi	118
Şekil 4.21 : Prius benzin motorunda %40 SOC durumunda motor torku değişimi	118
Şekil 4.22 : Prius benzin motorunda %80 SOC durumunda yakıt tüketimi ..	119
Şekil 4.23 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda yakıt tüketimi ..	119
Şekil 4.24 : Prius benzin motorunda %40 SOC durumunda yakıt tüketimi ..	120
Şekil 4.25 : Prius benzin motorunda %80 SOC durumunda sürüş süresi	122
Şekil 4.26 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda sürüş süresi	122
Şekil 4.27 : Prius benzin motorunda %40 SOC durumunda sürüş süresi	123
Şekil 4.28 : Prius %80 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi	124
Şekil 4.29 : Prius %60 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi	124
Şekil 4.30 : Prius %40 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi	125
Şekil 4.31 : Prius orijinal MG2 motoru tork eğrisi	126
Şekil 4.32 : Prius güçlendirilmiş MG2 motoru tork eğrisi	126
Şekil 4.33 : Güçlendirilmiş MG2 motoru ile UDC yakıt tüketimi	127
Şekil 4.34 : Orijinal MG2 motoru ile UDC yakıt tüketimi	128
Şekil 4.35 : Güçlendirilmiş MG2 motoruyla dolu bataryada elektrik gücü değişimi.	129
Şekil 4.36 : Orijinal MG2 motoruyla dolu bataryada elektrik gücü değişimi	129
Şekil 4.37 : Güçlendirilmiş MG2 motoruyla boşalmış bataryada elektrik gücü değişimi	130
Şekil 4.38 : Orijinal MG2 motoruyla boşalmış bataryada elektrik gücü değişimi	130
Şekil 4.39 : %80 SOC durumunda güçlendirilmiş MG2 motoru tork ve güç eğrileri.....	132
Şekil 4.40 : %80 SOC durumunda orijinal MG2 motoru tork ve güç eğrileri	133
Şekil 4.41 : Güçlendirilmiş MG2 motoruyla %80 SOC durumunda yakıt tüketimi	134
Şekil 4.42 : Orijinal MG2 motoruyla %80 SOC durumunda yakıt tüketimi ...	134
Şekil 4.43 : Güçlendirilmiş MG2 motoruyla %40 SOC durumunda yakıt tüketimi	135

Şekil 4.44 :	Orijinal MG2 motoruyla %40 SOC durumunda yakıt tüketimi ...	135
Şekil 4.45 :	Güçlendirilmiş MG2 motoruyla yakıt ve enerji tüketimi	137
Şekil 4.46 :	Orijinal MG2 motoruyla yakıt ve enerji tüketimi	138
Şekil 4.47 :	Volt batarya %80 SOC durumunda güç ve SOC değişimi	139
Şekil 4.48 :	Volt batarya %55 SOC durumunda güç ve SOC değişimi	139
Şekil 4.49 :	Volt batarya %30 SOC durumunda güç ve SOC değişimi	140
Şekil 4.50 :	Volt elektrik çekiş motoru %80 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi.	142
Şekil 4.51 :	Volt elektrik çekiş motoru %55 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi.	143
Şekil 4.52 :	Volt elektrik çekiş motoru %30 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi	143
Şekil 4.53 :	Volt elektrik jeneratör motoru %80 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi.....	144
Şekil 4.54 :	Volt elektrik jeneratör motoru %55 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi.....	145
Şekil 4.55 :	Volt elektrik jeneratör motoru %30 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi.....	145
Şekil 4.56 :	Volt benzin motoru %80 SOC durumunda güç, motor hızı, tork karakteristikleri.....	146
Şekil 4.57 :	Volt benzin motoru %80 SOC durumunda yakıt tüketimi.	147
Şekil 4.58 :	Volt benzin motoru %55 SOC durumunda motor hızı değişimi..	148
Şekil 4.59 :	Volt benzin motoru %55 SOC durumunda motor gücü değişimi	148
Şekil 4.60 :	Volt benzin motoru %55 SOC durumunda motor torku değişimi	149
Şekil 4.61 :	Volt benzin motoru %55 SOC durumunda yakıt tüketimi	149
Şekil 4.62 :	Volt benzin motoru %30 SOC durumunda motor hızı değişimi..	150
Şekil 4.63 :	Volt benzin motoru %30 SOC durumunda motor gücü değişimi.	150
Şekil 4.64 :	Volt benzin motoru %30 SOC durumunda motor torku değişimi	151
Şekil 4.65 :	Volt benzin motoru %30 SOC durumunda yakıt tüketimi.	151
Şekil 4.66 :	Volt benzin motorunda %80 SOC durumunda sürüş süresi	156
Şekil 4.67 :	Volt benzin motorunda %55 SOC durumunda sürüş süresi.....	154
Şekil 4.68 :	Volt benzin motorunda %30 SOC durumunda sürüş süresi	154
Şekil 4.69 :	Volt %80 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi	155
Şekil 4.70 :	Volt %55 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi.....	156
Şekil 4.71 :	Volt %30 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi	156
Şekil 4.72 :	Artarda NEDC uygulamasında Volt bataryasındaki güç değişimi	157
Şekil 4.73 :	Artarda NEDC uygulamasında Volt bataryasındaki SOC değişimi.	158
Şekil 4.74 :	Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda hız değişimi	159
Şekil 4.75 :	Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda güç değişimi.	159
Şekil 4.76 :	Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda tork değişimi.	160

Şekil 4.77 : Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda yakıt tüketimi.....	160
Şekil 4.78 : Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda sürüş süresi gösterimi.....	161
Şekil 4.79 : Artarda NEDC uygulamasında Volt araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi.....	162

DIŞARIDAN ŞARJ EDİLEBİLEN HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇ

İLE MENZİL ARTIRICILI ELEKTRİKLİ ARAÇ KONSEPTLERİNİN

KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, son yıllarda ortaya çıkan iki farklı hibrit tahrik sistemine sahip araç konseptinin analizi ve mukayesesi yapılmıştır. Dışarıdan şarj edilebilen hibrit elektrikli araç analizi için, Toyota Prius Plug-in hybrid, menzil artırıcı elektrikli aracın analizi için ise, Chevrolet Volt binek otomobilleri seçilmiştir. Sistemlerin tanıtılması amacıyla, ilk önce konuya ilişkin bazı terimlerin açıklaması yapılmış ve daha önce otomotiv endüstrisinin tüketicilere sunduğu araçlar araştırılmış, bu araçların endüstriye ne tür yenilikler getirdikleri incelenmiştir. Daha sonra, tezde analizi yapılacak araçların kısa geçmişleri ve çalışma prensipleri açıklanmış, araçları tahrik sistemlerindeki komponentler tanıtılarak, aracın hareketinde ne tür bir görev aldıkları belirtilmiştir. Elde edilen verilerin ve bilgiler mevcudunda araçların bilgisayar modellemeleri yapılmıştır. Bilgisayar taşıt simülasyon programı AVL Cruise programının yardımıyla, eldeki veriler ve tezin kapsamı doğrultusunda araçların birer modeli oluşturulmuştur. Üretici tarafından açıklanmamış bir veri ya da bilgi durumuyla karşılaşıldığında, tez danışmanın da yönlendirmesiyle, en uygun kabuller, ve buna bağlı basitleştirmeler yapılmıştır. Oluşturulan modellerin performans ve ekonomi değerlendirmelerini yapmak amacıyla, program dahilinde, her iki araç da Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC)'ni koşturulmuşlardır. Çevrimin sonuçları, analiz edilmiş, gerekli hesaplamalar yapılarak, konseptlerin değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuç olarak, alınan sonuçlar doğrultusunda, her iki konseptin otomotiv endüstrisine ve dolayısıyla da otomotiv tüketicisine neler katabileceği değerlendirilmiş, yorum ve öneriler yapılarak, çalışma tamamlanmıştır.

COMPARISON ANALYSIS OF PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLE AND EXTENDED RANGE ELECTRIC VEHICLE CONCEPTS

SUMMARY

In the content of this thesis, analysis and comparison of two lately developed vehicle concepts is made. These concepts are called plug-in hybrid vehicle and extended range electric vehicle. Both of these concepts use electric motors and an engine for the propulsion of the vehicle. Mainly, they are members of hybrid electric vehicles, but some newly developed features of these cars, separate them from the other members of this family.

A plug-in hybrid electric vehicle is a vehicle, which contains at least one electric motor to support the internal combustion engine and have the feature of externally chargeable battery. Therefore, user of the car can charge the battery, whenever he wants, thereby the range of the vehicle is extended. In our thesis, Toyota Prius Plug-in Hybrid is chosen for the analysis of plug-in hybrid vehicle.

An extended range electric vehicle is similar to the plug-in hybrid vehicle by its capability of having an externally rechargeable battery, however the drivetrain system is completely different. This type of vehicles contain electric motors; one for the traction, one for the generator function generally, which are the main propulsion elements of the car. The car is driven by its electric motors, they give the power and torque which is needed for propulsion, where the engine only serves as a generator. When, the battery charge reaches a predetermined minimum level, internal combustion engine starts to run to recharge the nearly empty battery. When the battery charge is suitable, the vehicle can be run without the engine, so without consuming any fuel or emitting any harmful particles. The car works as an electric car in these type of situations. Chevrolet Volt is chosen for the analysis of extended range electric vehicle, in the content of our thesis.

In order to demonstrate the drivetrain systems of cars, relevant terminology is explained firstly. The basic hybrid car systems and more developed new technologies are described, and where needed they are compared. Also, the vehicles which are launched by the automotive industry at the past are investigated and the innovations of these vehicles are examined. The long and partly unknown history of electric and hybrid cars was helpful to understand newly launched drivetrain systems. After these general information about hybrid and electric cars, the short history and working principles of the chosen cars for the thesis are explained. Toyota Prius have a longer history, when compared to the Chevrolet Volt. Japan manufacturer was the first in the industry to launch a hybrid electric vehicle with 1997 Prius.

Today, the third generation of the model is on the roads, and with every new generation, some new technologies are developed as well as new features are launched. Toyota Prius Plug-in Hybrid, is been produced on the base of the third generation Prius, and describes the newest drivetrain technology in the Prius model range. Every development, by every new generation is examined by the content of our thesis to understand the Plug-in version's technology better.

Both of the cars are examined by the aspect of their drivetrain components. The components in the drivetrain systems are demonstrated and their roles at the vehicle's propulsion are indicated. All of the useful information which could be found about Toyota's Hybrid Synergy Drive system and Chevrolet's Voltec drivetrain system is obtained and is added to the thesis. Also the driving modes of both of the cars are explained. Unfortunately, some of the technical data about vehicles couldn't be found. This situation can be understood, because the competition in the hybrid vehicle industry is very challenging and therefore, the manufacturers prefer to not launch some of the specific technical data about their products. In the content of the thesis, some simplifications or assumption are made in these kind of situations where the needed information couldn't be found.

The analysis of vehicle concepts are made via computer simulation. The vehicle simulation program AVL Cruise is used in the thesis. In the presence of the technical data obtained, computer models of vehicles are made. A model for each vehicle is made towards the data obtained and the content of the study. In the case of an unindicated data by the producer, the most suitable assumptions and simplifications are made, by the guidance of the instructor.

When the modelling of the vehicles are finished, all conditions were suitable to start the testing of the concepts. In order to examine the performance and economy characteristics of the vehicles, the New European Driving Cycle (NEDC) is used. This driving cycle consists of four urban and one extra urban driving cycles which are run consecutively. AVL Cruise simulation program has the feature of "Cycle Run", which enables user to run the prepared models in the desired cycle. NEDC was also in the list of this feature, so the testing could be possible via the simulation program.

Toyota Prius Plug-in Hybrid had run the cycle in five different conditions. For the calculation of electrical consumption and fuel consumption according to the regulations, the test values of the vehicle with initial charge of maximum value and minimum value should be found. Therefore, Prius had run the cycle with its maximum initial battery charge and its minimum initial battery charge. To examine the effects of battery charge, the vehicle had run NEDC with a moderate level of charge too. The other two conditions were the modified electric motor situation at maximum and minimum battery charge, again. With the results obtained, nearly real life conditions had reached. Also, it has been seen that electric motor modification has very positive effects on the car's economy.

Chevrolet Volt is tested by four different conditions at running the NEDC. Likewise, maximum, minimum, and moderate initial battery charges are examined. In addition to these conditions, the vehicle had run nine consecutive cycles, in order to see the relationship between battery charge and drivetrain component's functions. Volt's engine never starts up, until its battery charge reaches the predetermined minimum value. When, the initial charge is less than the predetermined maximum value, engine runs to recharge the battery. Simplifications and assumptions are more widely used in Volt's model, therefore, results are a bit different than the manufacturer's assertion. However, the extended range vehicle model gives us a true idea about the working principle of this type of vehicles. Shortly, results of the cycle is analyzed and with the proper calculations, examination of the concepts are made.

After the examination of the results, the idea of new concepts has been understood. Both of these newly developed hybrid vehicle concepts have some advantages and disadvantages of their own. These aspects of the vehicle concepts are discussed in the results part of the thesis. Also, some suggestions to improve them are expressed. The unquestionable feature of both of these concepts are their great usage economy, and incisively designed technologies. Their down side is also similar to many other new technology: high cost at purchase. Also, the infrastructure which is suitable for these kind of vehicles don't exist in many countries all over the world. However, none of these disadvantages can change the fact that hybrid electric vehicles will dominate our close future's automotive industry and transportation.

The thesis consists of five main topics, including the results and discussion parts. Some images and graphs were used, when they were useful to understand the main concept. Most of the graphs were used, normally, in the examination of test results. All of the abbreviations, images, and tables are listed at the beginning. Some technical data consisting appendix is added at the end of the thesis. All the sources are listed, also at the end.

1. GİRİŞ

İnsan oğlu, tarihin başlangıcından beri her zaman hareket etmeye karşı bir tutku duymuş, daha da önemlisi bu tutku onun hayatını yönlendirmiştir. Bu istek doğrultusunda, 19. yüzyılın sonunda içten yanmalı motorun ve otomobilin icadı gerçekleşmiş, bu tarihten itibaren insanlığın ulaşımında yeni bir sayfa açılmıştır. O dönemden bu yana, otomotiv endüstrisi sürekli kendini yenilemiş ve yeni gelişmelerle ortaya çıkmıştır. Bu yeniliklerde, en büyük yönlendirici, tüketici beklentileri olmuştur. Son yıllarda ortaya çıkan çevre sorunları da üreticileri bu konuda yenilikler yapmaya yöneltmiştir. Bunun sonucunda, farklı tahrik sistemine sahip araçlar, alternatif yakıtlı araçlar ve elektrikli araçlar gündeme gelmiştir. Son dönemde, bu konseptte pek çok yeni sistem ve araç tanıtılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, son dönemde ortaya çıkan iki alternative tahrik sistemin analiz ederek kıyaslamaktır. Dışarıdan şarj edilebilen hibrit elektrikli araç ve menzil artırıcılı elektrikli araç türleri kıyaslama için seçilmiş, bu konseptlere uygun tasarlanmış birer araç seçilerek, analiz bunlar üstünden gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, sistemlerin avantajları ve beklentileri karşılama konusunda başarıları incelenmiştir.

Her iki araç konseptinin de analizi bilgisayar destekli simülasyon programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar irdelenmiş, gereğinde uygun çözüm önerileri sunulmuş, geleceğin taşıt konsepti için optimum strateji belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2 Elektrikli ve Hibrit Araçların Geçmişi

Alessandro Volta, elektrik enerjisini depolamak için ilk başarılı girişimi yaptığında tarihler 1800'ü gösteriyordu. İtalyan bilim adamı, Bologna Tıp Fakültesi profesörlerinden Luigi Galvani'nin kurbağa bacağına üstünde yaptığı deneylerden etkilenmişti. Galvani, uygun sinire çinko bir tel ve karşılık gelen kasa bakır bir telle dokundurduğunda bacağın seyirdiğini gözlemlemişti. Burdan hareketle, Volta bakır ve çinko plakaları, tuzlu suyla ıslatılmış bir mukavvayla ayırdığında sürekli bir elektrik akımının oluştuğunu gözlemlemiştir. Bu plakalardan bir dizisini seri olarak bağladığında, daha büyük bir elektriksel potansiyel elde edebilirken, aynı plakaları paralel şekilde bağladığında ise daha yüksek bir akım değerine ulaşmıştır. Bu şekilde basit pil bulunmuş oldu.

1821 yılında, Michael Faraday, Volta pili tarafından desteklenen bir akım taşıyan tel çubuğun, bir tarafı cıva banyosunda olan sabit bir mıknatısın etrafına dolanacağını göstermiştir. Ayrıca, sabit ve hareketli parçaların yerleri değiştirildiğinde mıknatısın tel etrafında döneceğini ve elektrik akımının kutupları değiştirildiğinde dönüş yönünün de tersine olacağını da kanıtlamıştır. Bu sayede de elektrik motoru prensip olarak bulunmuş oldu.

Faraday, 1831 yılına gelindiğinde elektromanyetik indüksiyonu, yani elektrik akımı ve manyetizma arasındaki ilişkiyi keşfetti. Bu icat, elektrik ve elektronik teknolojisinin temelini oluşturdu ve dolayısıyla elektrikli otomobillerde kullanılacak olan elektrik motorunun da.

Francis Watkins, 1832 yılında Paris'te, 1835 yılında da Londra'da çalışan bir elektrik motorunu sergiledi. Bu motor, sabit tel sargıların içinde dönen bir şafta monte edilen çubuk şeklinde bir mıknatısın teller üstündeki akımı açıp kapatması prensibine göre çalışmaktaydı. Bu durum senkronize bir manyetik alan oluşturmaktaydı ki bu prensip günümüz elektrik motorlarının çoğunda da aynen kullanılmaya devam etmektedir. İlerleyen zamanlarda, bu motorun matkaplama ve tornalama işlerinde son derece faydalı olabileceği anlaşıldı.

Tüm bu gelişmeler, bilim adamlarının Volta pili destekli bir elektrik motorunun tekerlekli bir araçta kullanılabileceği fikrine ısınmalarına yol açtı. Bu fikir, 1835 yılında Profesör Stratingh'in Hollanda'da, hemen hemen aynı tarihlerde Thomas Davenport'un A.B.D.'de elektrikli yol taşıtları yapımlarıyla gerçeğe dönüşmüş oldu. Ayrıca, Alman fizikçi Moritz Jacobi , pille çalışan bir botu St. Petersburg'daki Neva nehri üstünde yüzdürdü.

1859 yılında, elektrikli otomobillerin geleceğini etkileyecek önemli bir icat hasıl oldu. İki kurşun plaka arası sülfürik asitten oluşan pilin icat edilmesiyle günümüzün kurşun-asitten oluşan pillerinin önü açılmış oldu.

1800'den 1859 yılına kadarki süre içinde Volta piline bağlanıp, suya daldırılan elektrodların pozitif kutuplusunda oksijen damlacıkları, negatif olanından ise hidrojen damlacıkları toplandığı gözlemlenmiştir. Gutherot, 1802 yılında, bu tip bir deneyde elektrodlar arası galvanometre bağlandığında, verilen akımın tersi yönde bir akım gözlemlenmiştir.

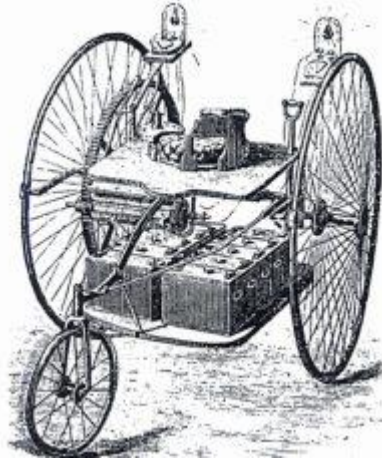
1859'da, Belçikalı Gaston Plante iki kurşun plakanın, sülfürik asite daldırıldığında oluşan elektrik akımının pozitif plakada kurşun sülfat oluşturduğunu gözlemlenmiştir. Bir Volta pili, bu kurşun-asit hücresine bir akım geçirttiğinde, kurşun sülfatın ayrıştığı ve pilin bağlantısı kesildikten sonra, akımın çekildiği görülmüştür. Bu şarjın ve deşarjın mümkün olduğu ilk pil olmuştur.

1861'e gelindiğinde İtalyan Antonio Pacinotti yuvarlak doğrusal akımlı motoru icat etti. Bu icat, Pacinotti'nin, motor mekanik olarak çevrildiğinde ters yönlü bir akımın oluştuğunu görmesiyle birlikte, sürekli elektrik enerjisi sağlayabilen jeneratörün icadına da vesile oldu. 1869 yılında, Belçikalı Zenobe Theophile Gramme ilk doğrusal akımlı motoru yaptı. Bu motor bir beygircücünden fazla güç verebiliyordu (746 W). Bu motor da mekanik şekilde tahrik edildiğinde bir jeneratör görevi görebiliyordu. Gramme, ayrıca bir buhar motorunu bu doğrusal akımlı motora bağlayarak yüksek miktarda elektriksel akım üreten ilk insandır.

Bu gelişmeler, Almanya'daki Siemens kardeşler tarafından yakından takip ediliyordu ve 1870 yılında İngiltere'de Double T Iron Armature şirketini kurarak motor/jeneratör üretimine başladılar.

Bu yeni teknoloji, elektrik sağlam endüstrisinin kapılarını açtı. Daha sonra sokak lambalarında kullanılmaya başlanan bu teknoloji, Plante pilinin depolanma özelliği ve elektrik motorunun araca hareket verebilme kabiliyetinden dolayı yol taşıtlarında kullanılmaya başlanması da uzun sürmedi.

1873 yılında, R. Davidson, dört tekerlekli bir kamyonu demir-çinko pil vasıtasıyla güç vererek, bir yol taşıtının elektriksel enerjiyle sürülebileceğini gösterdi. İlk Plante piline sahip elektrikli aracın yapılmasıysa, 1881’de Fransız G. Trouve’ye nasip oldu. Bu araç, üç tekerlekliydi. İki adet modifiyeli Siemens motoru, büyük olan tek tekere tahrik vermektedir. Motorlar, 1/10 beygir güç üreterek, 160 kiloluk aracı ancak saatte 12 kilometre hıza ulaştırabiliyorlardı. 1882 yılında ise, İngiltere’de William Ayrton ve John Perry adlı iki profesör elektrikli bir üç-teker aracı sergiliyorlardı. Bu araç, sürücü koltuğunun altındaki yarım beygir gücündeki doğrusal akım motorunu, herbiri 1 buçuk kWh kapasiteli 10 adet kurşun-asit pilin beslemesi ile çalışmaktaydı. Taşıtın hızı, baterileri seriler şeklinde açılıp kapanmasıyla ayarlanıyordu. Maksimum 14 km/h hız yapabilen bu araç, yol şartlarına bağlı olarak 16 ila 40 kilometrelik menzile sahipti. Bu taşıt, ilk elektrikli aydınlatmaya sahip taşıt olması bakımından da ayrıca önemlidir.



Şekil 1.1 : Ayrton ve Perry’nin 1882 yılındaki araçları
[http://www.electricvehiclesnews.com/History/images/Ayrton_Perry_Electric_Trike_1882.jpg]

1882’de Belçikalı Gustave Phillipart elektrikli bir tramvay yaptı ve Londra’ya deneyler yapmak için gönderdi. 1887’de ise Radcliffe Ward, Brighton’da ilk elektrikli taksiyi yola çıkardı.

A.B.D.’de, 1888’de Philip W. Pratt, ülkede 1836’dan beri üretilen ilk elektrikli taşıta imza attı. Aynı sene Immisch&Company, Osmanlı sultanı için, dört kişilik, bir beygir gücü üretebilen, 24 pili olan bir araç geliştirdi.

Onları, 1890’da 13 km/h hız yapabilen 48 kilometre menzilli Riker’ın üç-tekeri takip etti. Beş yıl sonra ise, aynı bilim adamı bu sefer dört tekerlekli elektrikli aracı oluşturdu. Bu araç 140 kilo ağırlığındaydı ve bir insanı 4 saat boyunca 19 km/h süratle taşıyabilmekteydi.

Aynı tarihte, Morris ve Salmon ortaklığında 2 koltuklu Electrobat üretildi. Bir yıl sonra, 1896’da ise New York’ta taksi olarak kullanılmak üzere Electric Road Wagon’u geliştirdiler. Taksi servisi, 1 Kasım 1896 yılında toplam 13 adet araçla hizmete başladı. Bunlar, önden çekişli tahriğe sahiptiler ve iki adet yarım beygirlik motor kullanarak arka tekerleklerin direksiyonla yönlendirilmesine izin veren yapıdaydılar. Güç, toplamda 88 V kapasiteli 44 adet kurşun-asit pilinden sağlanıyordu ve menzil 48 kilometreye kadar çıkabiliyordu. Bu yeni icat, toplumun genç kesimleri tarafından ilgiyle karşılanmakla beraber, genel algı “atsız” bir aracın geçici bir modadan ibaret olacağı yönündeydi. Fakat buna rağmen yeni terimler kulaklarda çınlamaya başlamıştı. “Atsız taşıma”, 1895 Kasımı’nda Amerika’daki “The Horseless Age”de, “otomobil” ise 1895 Ekimi’nde Londra’da çıkan “Pall Mall Gazette”de yerlerini almışlardı.



Şekil 1.2 : Morris ve Salom’un elektrikli aracı 1896

[http://electricvehiclesnews.com/History/images/morris-and-salom_Electric_Road_Wagon_1896.jpg]

1895 yılından itibaren, elektrik motorlu taşıtlar ile ilk defa 1885 yılında Karl Benz tarafından tanıtılan içten yanmalı motorlu taşıtlar arasında hız ve güvenilirlik açısından bir rekabet baş gösterdi. Mücadeleye buhar makineli araçlar da dahil oluyorlardı. 1894'te Paris-Rouen arasındaki 120 kilometrelik güvenilirlik testine 13 buhar makineli ve 8 adet içten yanmalı motora sahip taşıt katıldı. İki türden de birer araç rotayı ortalama 19.9 km/h hızla tamamladılar.

Haziran 1895'te, Paris-Bordeaux yarışına, ki gidişli-dönüşlü ve duraksamasız toplam 1135 km uzunluğunda bir yarıştı, elektrik motoruna sahip bir araç da katıldı. Bu yarış, üç tür motor arasındaki rekabete dikkat çekmişti.

1895'teki, Chicago-Evanston arası koşulan yarışta iki adet elektrikli araç yer almıştı. Fakat soğuk havanın bateriler üstündeki olumsuz etkilerinin de sonucunda kazanan benzinli bir araç olmuştu.

1896'da Londra menşeli Thrupp & Maberley, İspanya Kraliçesi için elektrikli bir araç yaptı. 90 kiloluk bateriye sahip olan araç, önden çekişliydi ve o dönem için çok ileri sayılabilecek bir aydınlatma sistemine sahipti. Araçtaki pil, günümüzün çinko-hava baterileriyle de benzerlik göstermektedir.

Aynı sene, Londra'da Walter Bersey, arka tekerleklerine birer adet güç veren elektrik motoruyla donatılmış taşıtı inşa etti. Menzili 56 kilometreyken, son sürat de 19 km/h civarındaydı. Bu araçta değiştirilebilir batari mevcuttu, ki bu sistem sonraki 15 yılda özellikle A.B.D.'deki elektrikli otomobillerde sıkça kullanıldı.

M. A. Darracq, 1897'de Paris'te elektrikli coupesini sergiledi. Bu araç ilk kez rejeneratif frenleme sistemini kullanması bakımından önemliydi. Bu sistem, elektrik motorunu, tekerlekler tarafından mekanik olarak çalıştırıldığında, jeneratör olarak kullanarak pili şarj etmesine olanak tanıyordu. Bu sayede, hem motor/jeneratör oldukça kuvvetli bir frenleme etkisine sahip oluyor, hem de artan pil enerjisi sayesinde aracın menzili %10 kadar arttırılmış oluyordu.

1897 yılında, İngiltere'de de New York'taki gibi elektrikli taksiler kullanılmaya başlandı. Walter Bersey tarafından tasarlanan taksiler 40 adet batari ile 3 beygircücündeki motorun birlikteliğiyle yol alıyordu. Şarj süreleri arsındaki 50 millik mesafeyi de katedebilmekteydi. Elektrik motorlu taşıtların taksi olarak

kullanılması, aslında tam da motorun özelliklerine uyan bir durumdu. Çünkü, taksiler aralıkları belli kısa mesafelerde yol alıyorlardı ve bu sayede en ciddi handicap olan menzil sorununun üstesinden gelinebiliyordu. Bu durum, taksi olarak kullanılmak üzere geliştirilen pek çok elektrikli araca vesile oldu. American Electric Vehicle Company tarafından, 1898 yılında geliştirilen Victoria Hansom Cab buna güzel bir örnektir. Araçta iki adet elektrikli motor arka tekerleklerle tahrik vererek, aracın 30 millik bir menzile ulaşmasına olanak sağlıyordu. Araçta ayrıca, yolcular için elektrikli ayak ısıtması da mevcuttu.



Şekil 1.3 : Victoria Hansom Cab 1898

[<http://www.earlyamericanautomobiles.com/images/amer931.jpg>]

Bu arada, 1899 yılında, Fransa’da Camille Jenatzy tarafından üretilen elektrikli araç, 98 km/h süratle ulaşarak, dünya hız rekorunu ele geçirdi. Bu rekor, ancak 3 yıl sonra, benzinli bir araç tarafından kırılabilecekti.



Şekil 1.4 : Jenatzy elektrikli yarış otomobili 1899-1902
[<http://imgc.allpostersimages.com/images/P-473-488-90/29/2949/7CURD00Z/posters/electrical-racing-car-jenatzy-la-jamais-contente-c-1900.jpg>]

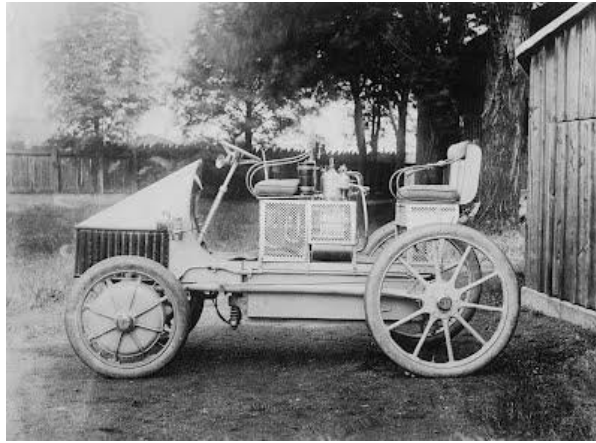
O dönemlerde, elektrikli otomobiller, sessiz olmaları ve çalıştırmalarının zahmetsiz olmaları nedeniyle oldukça beğenilmekteydiler. Thomas Edison, 1901’de nikel-demir baterisini icat etti. Bu bateryi, kurşun-asitli sıradan versiyondan birim ağırlık başına yaklaşık yüzde 40 daha fazla enerji depolayabilmesine karşın, yüksek maliyeti nedeniyle kısıtlı olarak kullanıldı. İlerleyen dönemlerde ise, uzun ömrün ve güvenilirliğin önemli olduğu sabit uygulamalarda yer buldu.

1900-1912 yılları arası elektrikli araçların altın çağı oldu. 1903 yılında, Londra’da içten yanmalı motordaki çok elektrik motoruna sahip araç vardı. Ne var ki bu durum uzun sürmeyecekti. 1906’da yollara çıkan Ford Model K, ilk ciddi rakipti. Bundan üç yıl sonra çıkan Model T ise artık yarışın içten yanmalı motor tarafından kazanıldığını belgeler nitelikteydi. Bu durum, A.B.D.’de 1912 yılında, elektrikli taşıt kullanımının 30000 ile zirveye ulaşmasını engelleyemese de, aynı tarihte ülkede bunun 30 katı benzinli araç yollardaydı. Avrupa’da da durum çok farklı değildi. Aynı sene, içten yanmalı motorların ilk çalıştırılmasında kullanılan krank kolu, marş motoruyla değiştirildi ve motor sesinin azaltılması için susturucu kullanılmaya

başlandı. Bu gelişmeler, içten yanmalı motorların olumsuzluklarını gidererek, onlara elektrikli motorlar karşısında büyük avantaj vermiş oldu.

Menzil ve performans artırma çabaları doğrultusunda, bu dönemde elektrik motorunun ve benzin motorunun birlikte kullanıldığı hibrit araçlar da geliştirildi. 1900 yılındaki Fransız Electroautomobile ve 1903 yılında elektrik motoru destekli direksiyona da sahip Krieger electric-gasoline aracı bunlara örnektir.

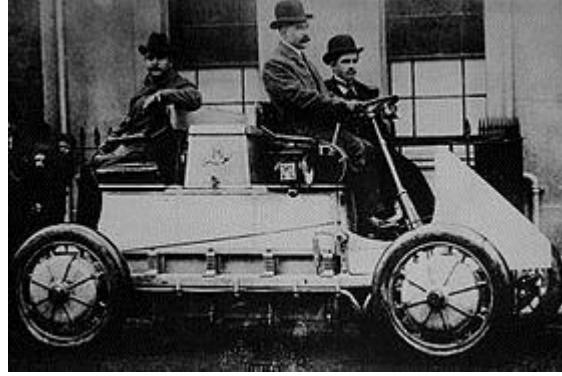
Alman Ferdinand Porsche, 1900 yılında tekerlek göbeklerinde iki adet elektrik motoru bulunan No.1 Lohner-Wagen'i, 1902'de ise 1800 kg'lık baterisi sayesinde uzun mesafe yarışlarına uygun yarış otomobili Lohner-Porsche Rennwagen'i üretti. Alman üretici, aynı tarihlerde Mixt-Wagen adını verdiği elektrik motorunun ve içten yanmalı motorun birlikte görev yaptığı hibrit bir araca da imza attı. Bu araçtaki, benzin motoru, baterileri şarj eden jeneratörü çalıştırarak aracın ön tekerleklerindeki elektrik motorlarına güç veriyordu ve dünyanın ilk hibrit aracı olarak yeni bir akımın atası oluyordu. Mixt-Wagen, 2.5 beygirgücündeki Daimler içten yanmalı motorun ve bir çift jeneratör görevi gören elektrik motorunun birlikte çalışmasıyla yol alıyordu. Araç, 65 kilometrelik mesafeyi sadece baterilerinden aldığı güçle katedebiliyordu. Birçok Avusturya hız rekorunu kıran araç, 1901'de Exelberg Rally'de de Porsche'nin kendi sürüşüyle zafere ulaşıyordu.



Şekil 1.5 : Porsche No.1 Lohner-Wagen 1900

[http://www.naturapop.com/_/rsrc/1337330395694/articulos/autos-hibridos-a-gasolina-y-electricidad/Prototipo%20Lohner-Porsche%20Semper%20Vivus%20ca.%201900,%20introdujo%20sistema%20Mixte%20h%C3%ADbrido%20gasolina%20electricidad.jpg?height=293&width=400]

Lohner-Porsche Mixte Hybrid ilk benzin motoruna sahip hibrit otomobildi. Araç 50 km/h'lık son süratle 20 dakika boyunca sahip olabildiği 5,22 kW'lık gücü sayesinde ulaşabiliyordu.



Şekil 1.6 : Lohner-Porsche yarış arabası 1902
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/13/Lohner_Porsche.jpg/280px-Lohner_Porsche.jpg]

1905 yılında, Amerikalı mühendis H. Piper, petrol ve elektrikle çalışan hibrit bir aracın patentini aldı. Fikri elektrikli motorun, içten yanmalı motoru destekleyerek 25 millik bir azami hız sağlamasıydı.

1912 yılında yollara çıkan Century Electric Roadster, dönemin elektrikli otomobillerine güzel bir örnektir. Bu araç, kullanıcı beklentilerine ve aracın çalışma prensibine uygun bir tasarım sunması bakımından da önemliydi. Araçtaki motor, diferansiyelle direkt olarak çalışma imkanı veriyordu. Aracın hız kontrolü oldukça yumuşak bir şekilde sağlanabiliyordu, fakat yüksek maliyeti benzinli araçlar karşısındaki şansını azaltıyordu.

1916'da yollara çıkan bir hibrit araç, en çok üretilen elektrikli otomobil olma ünvanına sahipti. Woods Gasoline-Electric, küçük bir dört silindirli benzinli motor ve elektrikli motorun birlikteliğinden güç alıyordu. Benzin motoru, jeneratör de olan elektrik motoruna oradan da arka aksa bir şaft vasıtasıyla bağlanıyordu. Bu durum, hangi motor çalışırsa çalışsın, diğersinin de dönmesini sağlıyordu. Bu sayede, manuel bir ayarlamayla araç ya normal bir benzinli araç gibi, ya normal bir elektrikli araç gibi, ya da elektrik motorunun benzinli motoru desteklediği veya jeneratör olarak görev yaptığı bir hibrit araç gibi kullanılabilirdi. Günümüzde paralel hibrit

dediğimiz bu düzenleme, limitsiz bir menzil olanağını sessiz ve emisyonsuz bir sürüşle birleştirebiliyordu.

Ne var ki, bu tip hibrit araçlar, maliyet konusunda, sadece elektrikli olan araçlardan bile daha büyük bir dezavantaja sahiptiler. Woods Gasoline-Electric 2650 dolara mal olurken, sadece elektrikli bir araçtan 1000 dolar, Ford Model T gibi benzinli bir araçtan ise tam 2100 dolar pahalıydı. Bu fiyat farkları, aracın sınırlı sayıda satmasına neden oldu. Ne yazık ki, bu maliyet farkı günümüzde bile çok fazla aşılabilmiş değildir.

1912 yılından itibaren, elektrikli otomobil kullanımı devamlı azalırken, benzinli motorluların kullanımı devamlı artmıştır. Bunda, bu araçların 1. Dünya Savaşı sırasındaki zor şartlarda güvenilirliklerini ve kullanılabilirliklerini kanıtlamalarının da büyük etkisi oldu.

Modern dönemden önce üretilen son elektrikli model ise, Amerika'nın Buffalo şehrinde sergilenen Automatic adlı iki koltuklu araç oldu. Bu araçta, sıradan benzinli araçların 4 katından fazla bir fiyata satıldığı için bir dönemin sonu gelmiş oldu. Bu zamana dek geliştirilen yeni elektrikli otomobil teknolojileri ancak 50 yıl sonra yeniden hayata dönebilecekti.

1920lerin başlarından itibaren, elektrikli otomobil üreticileri ya sektörden ayrıldılar veya benzinli araçlar üretmeye başladılar. Bazı istisnalar da vardı, örneğin Cleveland'daki Baker Electric Company ise elektrikli otomobil üretimi yerine elektrikli endüstriyel kamyon üretimine geçti. 1930larda elektrikli otomobiller hala özel istek üzerine üretilmeye devam ediliyorlardı, fakat 1935'de bu da son buldu. 1950'li yıllara kadar elektrikli araç kullanımı, Japonya'da savaş dönemindeki benzin kısıtlamalarından dolayı toplam pazarın yüzde 3'ü kadar olmak üzere ve İngiltere'de şehir içi süt taşımacılığı gibi ancak belirli istisnalarla kısıtlı kaldı.

Benzin motorlarının oluşturduğu hava kirliliği, 1960'lardan itibaren elektrikli araçlara olan ilginin yeniden canlanmasını sağladı. 1966 yılında Amerikan Hükümeti, ilk kez elektrikli araçların kullanımını teşvik eden dövizler yayınladı. Bunun sonucunda, bazı seri üretim modellerin elektrikli versiyonları geliştirildi. Illinois'li Eureka Williams Corporation, Renault Dauphine'den geliştirdiği model Henny Kilowatt elektrikli otomobilinden 150 adet üretti. 60ların ortalarında Scottish Aviation Ltd Scamp adlı modeli tasarlarken, GM ve Ford gibi dev şirketler de deneysel amaçlı seri üretim modellerinin elektrikli versiyonlarını geliştirdiler.

Şehir içinde kullanılmak üzere geliştirilen Enfield 8000 elektrikli otomobili, 1966'da yollara çıktı. İngiliz Enfield'in geliştirdiği bu araç, benzinli bir aracın türevi değil sıfırdan geliştirilmiş bir elektrikli otomobildi. Şasi, çelikten yapılmıştı ve kare bir keşide sahipti. Sekiz adet kurşun-asit pil ve bir adet yardımcı pile sahip araç, bunların seri veya paralel olarak bağlantısından 12, 24 veya 48 V elde edebiliyor bu şekilde de 6 kW'lık doğrusal akım motorunu kontrol edebiliyordu. Pillerin farklı şekillerde çalıştırılabilmesi, oldukça yumuşak bir hız kontrolü sağlayabiliyordu. Fren gücü geri kazanımı teknolojisi ise yer almıyordu. Araç, 975 kiloluk bir ağırlığa, saatte 64 km'lik son sürate, 40 ila 90 km arasında değişen menzile sahipti ve bu veriler, İngiltere'deki Elektrik Kurulu'nun şehir içi test programına uyması için yeterliydi.



Şekil 1.7 : Enfield 8000 elektrikli otomobili 1966

[[http://www.technologicvehicles.com/Content/news/1913/Enfield8000_EV%20\(4\).jpg](http://www.technologicvehicles.com/Content/news/1913/Enfield8000_EV%20(4).jpg)]

Bu araçlardan, 1970lerin başında 66 tanesi o dönemde İngiltere'de ve Galler'de bulunan 12 Elektrik İdaresi'ne verildi. Bunların yaptığı üç yıllık testler, araçların deneyimsiz sürücüler tarafından kullanıldığında bazı sorunların baş gösterdiğini ortaya koydu. Araçlarla toplam 404787 km yol kat edildi. Bu araç başına 6000 kilometreden biraz fazla ediyordu ve çeşitli mesafe varyasyonları denenmişti. Araçların ortalama tüketimi 300 ila 400 Wh/km idi ve bu değer 90ların bu boydaki elektrikli otomobillerinin normlarına göre daha yüksekti. O dönemde, benzinli bir BMC Mini 1000 pounda mal olurken, Enfield 8000 bunun iki katı fiyata satılıyordu. 1976'da üretim durana dek 112 adet araç yapıldı.

1968 yılında, TRW isimli büyük bir otomobil şirketinde çalışan Dr. Baruch Berman, Dr. George H. Gelb ve Dr. Neal A. Richardson adlı üç bilim adamı, pratik bir hybrid sistemi geliştirdiler ve bu sistemin patentini aldılar. Elektronik aktarma sayesinde gereğinden daha küçük bir içten yanmalı motor elektrikli motorla birleştirilerek istenilen performansı sağlayabiliyordu. Bu sistemdeki pek çok mühendislik prensibi, günümüz hibritlerinde de kullanılmaktadır.

Büyük otomotiv firmaları, benzinli araçları, elektrikliye dönüştürmekten çok sıfırdan elektrikli bir otomobil geliştirmeye yöneldiler. İngiltere'deki Ford Motor Company, 1966 yılında küçük bir elektrikli otomobil üretmek için kolları sıvadı. Üretilecek araç, yolda ve park alanlarında minimum yer kaplayacak şekilde küçük olmalı, yüksek manevra kabiliyetine sahip olmalı, minimum çevre kirliliği yaratmalı, sürmesi kolay olmalı, ilk maliyeti ve sonraki giderleri düşük olmalıydı. Bu beklentilerin doğrultusunda, 1967 yılında Comuta prototipi geliştirildi. Tamamlanan araç, iki yetişkini önde, iki çocuğu da arkada seyahat ettirebilecek genişlikteydi. Uzunluğu 80 inç, yüksekliği de 65 inç kadardı. Üç adet Comuta'nın, büyük bir aracın park edebileceği alana sığabileceği belirtiliyordu.



Şekil 1.8 : Ford Comuta 1967
[http://www.sciencemuseum.org.uk/images/object_images/535x535/10221430.jpg]

Comuta, arka tekerleklerine tahrik veren birer adet seri bağı doğru akım motoruna sahipti. Motorlardan her biri, 18 kilo ağırlığında ve 14 cm çapında idi. Akım kesici bir sistem sayesinde, motorların sinyali kontrol ediliyordu. Akım kesici sistem, basit bir elektronik ünite tarafından kontrol edilen tristörler kullanılıyordu.

Aracın gücü, dört adet kurşun-asit bateriden sağlanıyordu. Baterilerin toplam ağırlığı 170 kilo geliyordu ve 5 saatlik süre için de 120 amper-saat sağlayabiliyordu. Sabit 40 km/h hızda, 64 km'lik menzile mümkündü. Son sürat ise saatte 64 kilometre kadardı. Motorlardan gelen artık ısı, aracın ısıtmasında kullanılıyordu, fakat bu soğuk günler için yetersiz kalmaktaydı.

Prototip, 1967'de ortaya çıktığında, menzile, ivmelenme, sürüş, yol tutuş ve gürültü konularında testlere tabi tutuldu. İkinci bir prototip, Amerika'daki Ford personeli tarafından test edildi. Bu testler, motor ve tekerlekler arası dişli montajının ve akım kesici sistemin, kabul edilebilenden fazla bir gürültü yarattığı belirlendi. Kısa dingil mesafesi nedeniyle bazı sürüş ve yol tutuş problemleri gözlemlense de, menzile ve ivmelenme beklenen düzeydeydi. Araç genel olarak beklentileri karşılarsa da, daha fazla geliştirmeye değecek bir talep görülemedi. Üretilen iki Comuta prototipinden biri Londra'daki Bilim Müzesi'nde sergilenmektedir.

Bu sıralarda, A.B.D.'nde de elektrikli otomobil konusunda bazı gelişmeler olmaktadır. 60'ların ortalarında GM, sonunda Electrovair ve Electrovan prototiplerinin ortaya çıktığı, 15 milyon dolarlık bir geliştirme programı başlattı. Bu araçlar üç fazlı alternatif akım sürüş sistemine sahip idiler. Bu sistem gümüş-çinko bateriden veya yakıt hücresinden aldığı gücü, elektronik silikon-kontrollü düzelticiler (SCR) kullanarak üç fazlı alternatif akıma çeviriyordu. GM, ayrıca bir Opel Kadette'i de kurşun-asit ve çinko-asit pil kullanan bir doğrusal akımlı motora sahip elektrikli araca dönüştürdü. Bu araç, 48 km/h sabit süratte 240 kilometrelik menzile sahipti.

1968 yılına gelindiğinde, General Electric, nikel-demir baterilere sahip 64 km menzile ve 89 km/h son sürate sahip GE Delta'yı tanıttı. Aynı yıl içinde, Ford deneysel olarak üretilmiş E-car'ı tanıttı. Bu araç da nikel-kadmiyum baterilerin güç verdiği 52 beygircüğünde bir doğru akım motoruna sahipti.

1969 yılında ise, GM oldukça hafif deneysel bir hibrit araba ürettiler. Araç, saatte 10 kilometre kadarki süratlere sadece elektrik motoruyla ulaşabiliyordu. 10 ila 13 km/h arasında elektrik motoruna iki silindirli benzinli motor da eşlik etmeye başlıyordu. Saatte 13 kilometreden yüksek süratlerde ise sadece benzinli motor devrede kalıyordu. Araç, bu şekilde maksimum 40 km/h sürata ulaşabilmekteydi. 60'lı yıllar alternatif akımlı motorlardaki gelişmeler dışında, kullanıcı beklentilerine karşılık verebilecek bir elektrikli otomobillerin oldukça yüksek maliyetli olacağını göstermekle kaldı.

Maliyet sorununu çözmek için Florida'daki Sebring-Vanguard Company bir girişimde bulunarak, 1972'de düşük maliyetli iki kişilik Citicar'ı üretti. Araba, sadece 25 millik menzile ve 45 millik son sürata sahip olsa da, 3000 dolarlık fiyatı benzer verileri sunan benzinli araçlardan daha pahalı değildi. Bu sayede, 1976'da üretim durana kadar 2500 civarı Citicar satıldı. Bu rakam o ana dek, elektrikli otomobillerin ulaştığı en yüksek rakamdı ve ancak 90ların sonunda Peugeot Citroen tarafından geçilebilecekti.



Şekil 1.9 : Sebring-Vanguard Citicar 1976
[http://cache.gizmodo.com/assets/images/12/2009/09/76Citicar-LH_Frt-500px.jpg]

1970lerin ortalarında, bazı küçük A.B.D.'li şirketler, konvansiyonel otomobilleri elektrikli modellere dönüştürme yoluna gittiler. Jet Industries, McKee Engineering ve Electric Vehicle Associates (EVA) bunlara örnektir. Bunların arasından EVA, Lancia'nın 96 kilometre menzile ve 96 km/h'lik son sürata sahip elektrikli bir

türevini üretti. Bu modelden 185 adet satıldı ve üretimin 1982’de üretimin durmasıyla birlikte şirket de kapandı. Bazı büyük şirketler de, bu dönemde, elektrikli otomobil konusunda girişimlerde bulundular: Globe-Union Endura (1977), GE Centennial (1978), GE/Chrysler ETV-1 (1979).

70’ler, A.B.D.’de hibrit denemelerine de sahne oldu. Çevre kirliliğini azaltma programı doğrultusunda, mühendisler Victor Wouk ve Charlie Rosen, Buick Skylark bazlı bir benzinli-elektrikli model geliştirdiler.

Amerikan Kongresi, Elektrikli ve Hibrit araçları teşvik etmek için, bu araçlarda kullanılan parçaların üretimini hızlandırıcı bir yasayı 1976’da yürürlüğe soktu. Bunun akabinde, General Motors, 20 milyon dolarlık bir bütçeyi elektrikli araç araştırma ve geliştirmesine harcadı.

İngiltere’de ise, eski Ford personelinden oluşan bir grup, Essex adlı, elektrikli otomobil üreten niş bir firma kurdular. Dört adet fiber-glass gövdeli otomobil üretildi. İki kapılı Precinct, üstü açık Tropicana, Beach Buggy, Electric Box Van adlı araçlar, çok fazla talep görmeyince, şirket de 1979’da kapatıldı.

Lucas, Bedford vanı elektrikliye dönüştürerek, konvansiyonel Bedford’la aynı üretim hattında üretmesi, bu dönem için dikkat çekici bir gelişme oldu. 300 adet üretilmesine karşın, devletin her bir araç için verdiği 4500 poundluk desteği sonradan geri çekmesi, bu aracın da sonunu belirledi.

1970ler, kıta Avrupası’nda da elektrikli araçlar açısından hareketli bir dönem oldu. Fransız Electricité de France, 80 geleneksel tahrikli aracı elektrikliye dönüştürürken, Alman devleri Daimler-Benz ve Volkswagen deneysel amaçlı araçlar ürettiler. Volkswagen, “VW Taxi” isimli hibrit konseptini Avrupa A.B.D.’deki fuarlarda sergiledi. 1975’de İtalyan Fiat X1/23B adlı deneysel bir prototip üretti. İki kişilik bu araç, kurşun-asit baterilere ve doğrusal akım motora sahipti ve 48 kilometrelik bir menzile, saatte 64 kilometrenin biraz altında bir son sürate ulaşabiliyordu.

Japonya’da 20 milyon dolarlık hükümet desteğiyle birlikte, 1971-1976 arası, üreticiler Daihatsu, Toyota, Mazda ve Mitsubishi elektrikli prototipler üzerinde

çalıştı. 1976'da, Toyota, ilk hibrit aracı olan küçük bir spor otomobil üretti. Bu dönemde hep doğrusal akımla ve kurşun-asit pille çalışan araçlar hakimken, alternatif akımlı sürüş ancak 80lerden sonra gündeme gelecekti.

Elektrik mühendisi David Arthurs, hibrit araçlar için temel bir tasarım olan rejeneratif fren sistemini, bir Opel GT'nin üretime hazır parçalarını kullanarak 1978'de geliştirdi. Arthurs, baterileri bağlayan voltaj kontrolörünü, motoru; ki bir jet motoruydu ve doğru akım jeneratörünü kendisi temin etmişti. Araç, bir US galonu başına 75 kilometre civarı yol yapabiliyordu (100 km'de 3.1 litre tüketim). 1980 modelinde ise, tüketimin 100 kilometrede 2.8 litre civarına düşürüldüğü iddia edilmişti.

1980lerden itibaren, hükümetler, elektrikli otomobillerin çevre kirliliğini azaltıcı avantajlarından dolayı bu alana ilgi göstermeye başladılar. Bu da, elektrikli otomobil geliştirme programlarının finansmanının önünü açtı. Bu bağlamda, Amerikan Enerji Bakanlığı'nın desteğiyle Ford ve GE ortaklığında ETX-1 programı başlatıldı. Bu araç, alternatif akımlı sürüşe sahipti. Tüp şeklinde kurşun-asit plakalar 200 V kapasiteleriyle, transistor bazlı bir çevirici ile 300 amperlik alternatif akım sağlayarak 37 kW'lık iki kutuplu indüksiyon motoruna güç veriyordu.

Temmuz 1988'de Ford ve GE, ETX-1 için alternatif akımlı sürüş sistemini geliştirdi. Sodyum-sülfür bateriler ve senkronize permanent magnet motoru kullanılan araçta, iki oranlı bir dişli kutusu arka tekerleklerle tahrik vermekteydi. Bu sistem, iki araca monte edildi. Bu sayede 160 km menzile ve 96 km/h'lik son sürata ulaşabiliyordu. İki araçta, aynı yılın aralık ayında Enerji Bakanlığı'na teslim edildiler.

İngiltere'de Clive Sinclair, hükümetin de desteğiyle düşük maliyetli bir elektrikli otomobilin üzerinde çalışmaya başladı. Ocak 1985'de ortaya çıkan C5 adlı araca otomobil demek zordu. Üç tekerlekli, tek kişilik bir scooter olan araçta 250 W gücünde bir motor ve nispeten düşük ağırlıklı bir kurşun-asit batari görev yapmaktaydı. Bu sayede son sürat ancak saatte 24 kilometre kadardı. Araç, hem güvenlik açısından, hem de performans ve batari ömrü gibi konularda oldukça eksikti. 10000 adet üretilen aracın ancak 4000 kadarı satılabildi ve şirket 1985 Ekimi'nde kapatıldı. [1]

1988 yılına gelindiğinde, Fransa’da deneysel amaçlı veya müşterilerin elinde olmak üzere 500 tane elektrikli araç bulunmaktaydı. Bunların çoğu, Peugeot 205 ve Citroen C15 vanın elektrikliye dönüştürülmüş versiyonlarıydı. Aynı sene, Almanya’da ise, GES şirketi VW Golf’ün elektrikli bir dönüşümü olan City Stormer’ı geliştirmişti. Bu araç, dönemin Avrupa güvenlik standartlarını karşılayabilecek kapasitededeydi ve elektronik kontrollü doğrusal akım sürüşünü, rejeneratif fren sistemi ile birleştirerek 90 kilometrelik menzilde % 5 kadar bir iyileşme sağlayabiliyordu. Aynı dönemde, İtalya’da Fiat Panda modelinin elektrikli Elettra versiyonunu geliştirirken, Japonya’da doğrusal akımlı sürüş yerini alternatif akımlıya bırakmıştı.

1989 yılında, Audi, Audi 100 Avant Quattro bazlı Audi Duo plug-in hibrit özellikli deneysel aracını ortaya çıkardı. Aracın arka tekerlekleri, tahrik mili yerine 12.6 beygirgücündeki Siemens elektrik motoruyla tahrik edilmekteydi. Bu motoru nikel-kadyum içerikli bir batari desteklemekteydi. Ön tekerlekleri ise 2.3 litrelik 5 silindirli 134 beygir güç üreten bir benzinli motor, tahrik ediyordu. Buradaki amaç, aracın şehir içinde sadece elektrik motoruyla yol alırken, uzun şehirlerarası yollarda benzin motorunun kullanılmasıydı. Aracın hangi modda çalışacağı ise, sürücü tarafından belirleniyordu. Sadece 10 adet aracın üretildiği düşünülmektedir. Bu araçla ilgili dezavantaj ise, elektrik motorunun getirdiği ekstra ağırlık nedeniyle, aracın benzinli modda çalıştığında, standart versiyondan daha fazla yakıt tüketmesiydi. İki yıl sonra, bu aracın ikinci jenerasyonu da piyasaya sürüldü. Bu yeni versiyonda da, elektrik motoru arka tekerlekleri tahrik etmekteydi. Bu kez, elektrik motoru üç fazlıydı ve ürettiği 29 beygir güçle öncekinden daha güçlüydü. Yeni modeldeki temel fark ise, arka tekerleklerin Torsen diferansiyelle de desteklenmesiydi.

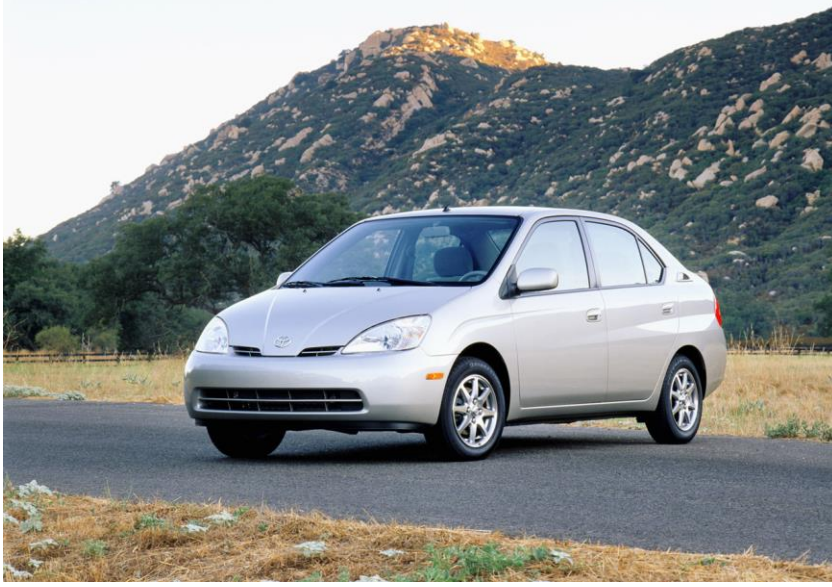
1991 yılında, Birleşik Devletler Gelişmiş Batari Konsorsiyumu (United States Advanced Battery Consortium: USABC; Enerji programının bir departmanı), bir “süper” batari geliştirmek üzere kapsamlı bir program başlattı. USABC, daha kullanılabilir elektrikli araçları yollara bir an önce çıkarmak adına, nikel hibrit (NiMH) batari üretimine 90 milyon dolardan yüksek bir meblağ yatırdı. NiMH batari, kurşun-asitli versiyondan üç kat daha fazla şarj edilebilirken, soğuk havalarda da daha iyi performans göstermekteydi.

Toyota, 1992 yılında “Earth Charter” isimli bir doküman oluşturarak, mümkün olan en düşük emisyonlara sahip olan araçları geliştirmeyi ve pazarlamayı hedeflediğini açıkladı. İsveçli Volvo ise 850 modeli bazlı, ECC’yi geliştirdi. Diğer üretilen hibritlerden farklı olarak, bu model, jeneratörü yeniden şarj etmek için bir gaz türbini kullanmaktaydı.

Bundan bir yıl sonra, 1993’te ise Amerikan Hükümeti, otomotiv endüstrisiyle ortak bir çalışma başlatarak 80 millik menzili bir galon benzinle kat edebilecek bir otomobil geliştirme işine koyuldular. Yeni Jenerasyon Araçlar için Ortaklık (Partnership for a New Generation of Vehicles: PNGV) isimli bu oluşum, birkaç yıllık süre ve yaklaşık bir milyar dolarlık yatırımın ardından bu amaca ulaşabilen üç adet hibrit prototipi günışığına çıkardı.

Aynı sene, Toyota, G21 isimli 21. yüzyılın global otomobilini üretmek üzere gizli bir proje başlattı. Bir sonraki sene ise, Toyota önceki hedeflerini ikiye katlayarak, yakıt tüketimini yüzde 50 arttırmayı amaçlamaya başladı.

Bundan önceki önemli gelişmelere rağmen, hibrit teknolojisi, 1990ların sonundan itibaren yaygınlaşmaya başladı. Bu akımı başlatan ilk araç, ilk seri üretim hibrit otomobil olan Toyota Prius idi. Japonya’da 1997’de piyasaya sürülen Prius’u, 1999’da hem Japonya’da, hem de Kuzey Amerika’da satılmaya başlanan Honda Insight izledi. Prius, Avrupa, Kuzey Amerika ve diğer pazarlara ise 2000 yılında sunulmaya başlandı. İlk jenerasyon Prius sedan’ın, şehirdışı ve şehiriçindeki yakıt tüketimleri sırasıyla 100 kilometrede 4.5 ve 5.2 litreydi. İki kapılı Insight ise daha da tutumluydu: şehiriçi 3.9 L/100 km ve şehirdışı 3.5 L/100 km.



Şekil 1.10 : Toyota prius ilk jenerasyon 1997
[<http://www.toyotainthenews.com/wp-content/uploads/2010/07/first-generation-toyota-prius-image.jpg>]

Toyota Prius, 1997’de 300 birim, 2000’de 19500 birim sattı. Toyota, ikinci jenerasyonu 2004’te, üçüncü jenerasyon ise 2009’da pazara sundu. 2010’a gelindiğinde, toplam satış 1.6 milyon civarına ulaşmıştı.

Daha önce iki kere deneysel amaçlı üretilen Audi Duo, 1997’de üçüncü jenerasyonu ile ilk kez seri üretime geçti. Araç, B5 model kodlu A4 Avant’ın bir türeviydi. Duo III, 1.9 litrelik turbo dizel bir motorla, 28 beygirgücündeki elektrik motorunun birlikteliğinden tahrik alıyordu. Aracın çok yüksek fiyatı, sadece 60 adet üretilmesine neden oldu. Yine Audi’nin 2008 yılında Q7 Hybrid’i piyasaya sürmesine kadar, Duo satışa sunulan tek Avrupalı hibrit olarak kalacaktı. Alman marka, bu konuda öncü davranmasına rağmen, günümüzde diğer pek çok Avrupalı üretici hibrit veya elektrikli tahriğe sahip araçlar üretme konusunda, geri kalmamaktadırlar. Günümüzde, pek çok önde gelen Avrupalı üreticinin model gamında birden çok sayıda alternatif tahrikle yol alan araç bulunmaktadır.



Şekil 1.11 : Audi Duo 1997
[<http://data.motor-talk.de/data/galleries/381802/4432116/auto-audi-duo-hybrid-1997-gross-36699.jpg>]

Civic Hybrid, 2002 Şubatı'nda 2003 model olarak piyasaya sürüldü. Yedinci jenerasyon Civic platformunda üretilen model, standart versiyonla görsel olarak aynıydı, fakat 100 kilometrede tükettiği 4.7 litre benzinle ondan yaklaşık yüzde 40 daha tutumluydu.



Şekil 1.12 : Honda Civic Hybrid 2007
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/07/Honda_Civic_Hybrid.2007.white.jpg]

İlk jenerasyon Honda Insight'ın, 2006'da üretimi durduruldu. Bir sonraki jenerasyon, ancak 2010 yılında pazara sunuldu. Bunun yanında, Honda 2004 yılında orta sınıf

modeli Accord'un da hibrit bir versiyonunu pazara sundu. Ne var ki, ilgi görmeyen modelin ömrü ancak üç yıl kadar oldu.

Özellikle 2000'li yıllardan sonra büyük ilgi görmeye başlayan SUVler de hibrit akımından nasiplerini almaya başladılar. Piyasaya sürülen ilk hibrit SUV, 2005'te Ford Escape Hybrid oldu. Mart 2004'te, Ford, Toyota ile hibrit teknolojisi ile ilgili 20 patenti kullanma konusunda anlaştı.

2005 yılında, Toyota Highlander Hybrid ile hibrit teknolojisini SUV modellerinde kullanmaya başladı. Ayrıca lüks markası Lexus'da da RX400h ile hibrit bir SUV seçeneği sunulmaya başlandı. İki model de, arka tekerleklerini tahrik eden elektrikli motorlarıyla, arka tekerleklerle güç transferi problemini yaşamıyorlardı.

General Motors'un Saturn markası, 2006'da Vue Green Line modeliyle, mild hibrit araç satışına başladı. Araçtaki, Kayışlı alternatör/marş motoru sistemi (Belted Alternator/Starter (BAS Hybrid) System), 2.4 litre silindir hacimli sıralı 4 silindirli bir benzinli motorla ve gücü ön tekerleklerle aktaran otomatik şanzımanla kombine edilmişti. Aynı tahrik düzeni, daha sonra Aura Greenline ve Malibu Hybrid modellerinde de kullanıldı.

2007 yılında, Toyota'nın lüks markası Lexus, GS sedan modeliniñ GS450h isimli hibrit versiyonunu pazara sundu. Araç, 335 beygirlik gücüyle performans beklentilerine de fazlasıyla karşılık vermektedir. 2007 model Toyota Camry Hybrid ise 2006 yazında A.B.D. ve Kanada'da satışa sunulmuştu. Yine Toyota teknolojili bir araç olan Nissan Altima Hybrid de 2007'de pazardaki yerini aldı.

2007 sonbaharından itibaren GM, büyük SUV ve pick-up modellerinde de hibrit teknolojisine yer vermeye başladı. Chevrolet Tahoe ve kardeşi GMC Yukon, iki modlu hibrit teknolojisiyle donatılarak piyasaya sürüldüler. Onları, 2009'da lüks SUV Cadillac Escalade ve büyük pick-uplar Chevrolet Silverado ve GMC Sierra'nın aynı teknolojiye sahip hibrit versiyonları izledi.

Ford, Fusion Hybrid modeliyle, Kasım 2008'de, Los Angeles Otomobil Fuarı'na katıldı ve araç Mart 2009'da A.B.D. pazarına sürüldü. Aynı dönemde, ikinci

jenerasyon Honda Insight ve Mercury Milan Hybrid de piyasada giderek artan hibrit modeller arasında yerlerini aldılar.

Japon ve Amerikan markalarının hüküm sürmeye başladıkları hibrit pazarında, lüks Alman otomobil üreticileri de biraz geç olsa da yeni modeller sürmeye başladılar. Mercedes-Benz, lüks sedanı S-serisi'nin S400 BlueHybrid adlı modelini 2009'daki Chicago Otomobil Fuarı'nda tanıttı ve aynı yılın ekim ayında A.B.D. pazarında satışa sundu. Bir mild hibrit olan bu araç, ilke kez lityum-iyon batari kullanması bakımından önemlidir. Bu aracın geliştirilmesinde, ezeli rakip BMW ile birlikte çalışılmıştı. BMW de 7-serisi'nin hibriti ActiveHybrid 7'yi 2010 da Amerika ve avrupa pazarlarına sundu. İki marka 2009'da BMW ActiveHybrid X6 ve Mercedes-Benz ML450 Hybrid adlı SUV modelleri de ürün gamlarına dahil ettiler.

Güney Koreli üretici Hyundai, 2009 Seul Fuarı'nda görücüye çıkardığı Elantra LPI Hybrid ile hibrit pazarına girmiş oldu. Otomobilin satışları 2009 yazında, Güney Kore'de başladı. Bu araç, hibrit araçlar arasında içten yanmalı motoru LPG ile çalışabilen ilk araçtı. Ayrıca, otomobilde ilk kez lityum polimer batari kullanılmıştı. Bu araç, 100 kilometrede tükettiği 5.6 litre yakıtla oldukça cimridir ve daha da önemlisi kilometre başına sadece 99 gram karbondioksit emisyonu üreterek, Super Ultra Low Emission Vehicle (SULEV) olarak sınıflandırılmıştır.

Honda'nın spor hibrit otomobili CR-Z, 2010 Şubatı'ndan itibaren Japonya'da satışa sunuldu. Aynı yılın ilerleyen aylarında Kuzey Amerika ve Avrupa pazarlarına da giren CR-Z, Honda'nın ürün gamındaki üçüncü hibrit araç oldu. Ayrıca, bu yılın sonuna doğru Honda Fit Hybrid Japonya'da lanse edildi. Araç, Avrupa adı olan Jazz Hybrid ismiyle de 2011 başlarında burada satışa sunuldu. İlk başlarda, ezeli Japon rakibi Toyota'nın hibrit araçlar konusunda gölgesinde kalan Honda, yaptığı bu hamlelerle, bu gelişmekte olan pazarda her geçen gün daha çok pay sahibi olmaya başlayarak, günümüzde durumu geçmişe nazaran oldukça dengelemiş görünmektedir.



Şekil 1.13 : Honda CR-Z
[<http://www.carsuk.net/wp-content/gallery/honda-cr-z-official/honda-cr-z-1.jpg>]

Hibrit otomobiller konusundaki öncü markalardan, Toyota, kompakt sınıf modeli Auris için de Auris Hybrid adıyla bir araç geliştirdi. İngiltere’de üretilen bu otomobil, Avrupa’da üretilen ilk seri üretim hibrit otomobil oldu. Araç, Prius ile aynı tahrik düzenini taşımakla beraber, ondan daha ucuzdur.

New York Uluslararası Otomobil Fuarı, Lincoln MKZ Hybrid’in lansmanına sahne oldu. Amerika’da 2010 Eylülü’nde satışa sunulan bu araç, benzinli versiyonla aynı olan fiyatıyla bir ilke imza atıyordu.

Bir diğer Amerikan otomotiv devi GM ise Chevrolet Volt’u 2010’da satışa sundu. Avrupa’da Opel markası ve Ampera model ismiyle satılan bu otomobil, plug-in denilen aracın baterisinin dıştaki bir elektrik kaynağından da tamamen şarj edilebilmesine olanak tanıyan teknolojiye sahiptir.



Şekil 1.14 : Chevrolet Volt
[http://www.auto-types.com/images/_autonews/2011_Chevy_Volt_98.jpg]

Alman spor otomobil üreticisi, çok tartışılan, ama bir o kadar da başarılı olan SUV modeli Cayenne'in, belki de modelin kendisi kadar tartışılan Hybrid versiyonunu 2010 sonunda A.B.D'de satışa sundu.

Volkswagen ise, 2010'daki Cenevre Fuarı'nda Touareg Hybrid'in örtüsünü açtı ve A.B.D. pazarına 2011'de sundu. Alman otomotiv devi, bunun yanı sıra en çok satan modelleri olan Jetta, Golf ve Passat için dizel-hibrit versiyonlar geliştireceğini duyurdu.

2011'de A.B.D. pazarına giren başka hibrit modeller de Lexus CT200 Hybrid, Infiniti M35 Hybrid, Hyundai Sonata Hybrid ve onun kuzeni Kia Optima Hybrid olarak sıralanabilir.

Fransızlar ise, dizel motorlarında elektrik motorunu birlikte kullanarak, dizel-hibrit otomobiller üretmeye koyuldular. Peugeot, 3008 HYbrid4 isimli aracıyla, üretilen ilk dizel-hibriti piyasaya çıkardı. Araç, Avrupa test çevrimine göre 100 kilometrede

sadece 3.8 litre mazotla yetinirken, kilometre başına 99 gram karbondioksit üreterek, hem tutumlu, hem de çevreci bir otomobil olarak göze çarpmaktadır.



Şekil 1.15 : Peugeot 3008 HYbrid4

[<http://1.bp.blogspot.com/-sjJQaLf8OQ4/T0zQro18iSI/AAAAAAAGz7k/rCednA3-fiM/s1600/Toyota-Prius-Pkug-in-Hybrid-1.jpg>]

Toyota, oldukça ilgi gören Prius modeline yeni versiyonlar ekledi. Standart Prius'tan daha küçük olan Prius c ve Prius'un bir MPV türevi olarak adlandırılabilen Prius v modelleri, 2011 yılında lanse edildiler. Ayrıca, standart karoserli modelin Plug-in Hybrid teknolojili versiyonu da bu yıl düzenlenen Frankfurt Otomobil Fuarı'nda sergilendi. 2012 yılında ise Yaris Hybrid, piyasaya sürüldü.

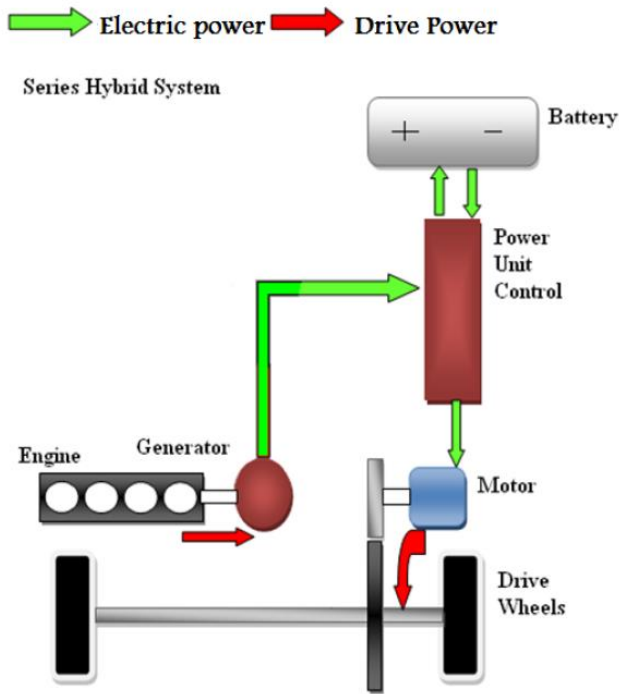
2012 yılında, diğer markalarda her geçen yıl daha da genişleyen hibrit otomobil dünyasına yeni modeller dahil etmeyi sürdürdüler. BMW 5 ve 3 serilerinin hibrit versiyonlarını, Audi ise orta boy SUV'si Q5'in hibrit versiyonunu lanse etti. Toyota, hibrit model gamını Camry Hybrid'in yeni jenerasyonu ile güçlendirirken, Acura ILX Hybrid satışa sunulan bir diğer modeldi. Ford da, C-Max ve Fusion modellerinin hibrit versiyonlarını beğeniye sundu.[2]

1.3 Konuyla İlgili Terminoloji

Paralel ve seri hibrit sistemler

Hibrit elektrikli otomobiller, temel olarak iki farklı düzene sahiptirler: seri ve paralel

Seri hibritler, sadece bir adet enerji dönüştürücüsüyle aracın ilerlemesini sağlayan bir sisteme sahiptirler. Isı motoru veya içten yanmalı motor, elektrikli jeneratörü çalıştırarak, bu elektrikli motorun bataryaya güç vermesini sağlamaktadır.

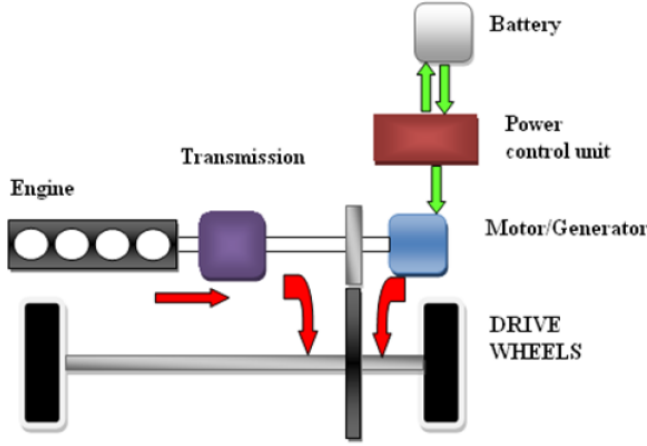


Şekil 1.16 : Seri hibrit sistemi

Paralel hibritlerde , birden fazla enerji kaynağı, aracı ilerletme görevini üstlenmiştir. İçten yanmalı motor ve elektrikli motor paralel şekilde yerleştirilmiş ve mekanik bağlantıyla iki kaynaktan gelen tork birleştirilmiştir.

→ Electric power → Drive power

Parallel Hybrid System



Şekil 1.17 : Paralel hibrit sistemi

Seri hibrit araçlar, sadece elektrik motorun tekerleklere tork iletmesi nedeniyle, daha basit olan konfigürasyona sahiptirler. Boyutları küçültülmüş ısı motoru, jeneratörün çalışmasını sağlar. Bu jeneratör de bataryayı besler ve belli bir şarj seviyesinin altına düşmesini engeller. Aracı tahrik etmek için gerekli güç, elektrik motorundan sağlanmaktadır. Isı motoru ve jeneratör dışında, tahrik sistemi elektrikli bir araçinkiyle aynıdır. Bu nedenle de, elektrikli araçlardakine benzer güçteki elektrik motorları seri konfigürasyonlu hibrit araçlarda da kullanılabilir.

Paralel hibritlerde, içten yanmalı motor ve elektrikli motor tahrik miline farklı kavramalar vasıtasıyla bağlanmışlardır. Bu konfigürasyonda, aracı hareket ettirmek için gerekli gücün çoğu içten yanmalı motor tarafından sağlandığından, elektrik motorun gücü daha az tutulabilmektedir. Toplam sistem gücü, içten yanmalı motor ile elektrikli motorun ürettiği güçlerden faydalanarak artırılabilir.

Farklı tip araçlar için farklı hibrit sistemler tercih edilebilmektedir. Eğer amaç, elektrikli motorla ilerleyen fakat, menzilin de artmasını sağlamak için içten yanmalı motorun bataryayı şarj etmesine gereksinim duyan bir araç üretmekse, tercih seri hibrit sistemden yana kullanılmalıdır. Buna karşın, içten yanmalı motorun performans karakteristikleri hedeflenirken, yakıt ekonomisi ve emisyonlar açısından

bir iyileştirme de isteniyorsa, paralel düzenekli hibrit tahrik düzeni tercih edilmelidir. Paralel hibrit sistemli araçlar, her açıdan sıradan içten yanmalı motorlu araçların performans karakteristiklerine eşit olarak üretilmektedirler. Bazı seri hibrit sistemli araçlar da hemen hemen içten yanmalı motorlu araçlara benzer performans sağlayabilmektedirler.

Seri hibritlerin avantajları şunlardır:

- İçten yanmalı motor-jeneratör ikilisinin yeri daha serbestçe seçilebilir.
- Tahrik sistemi daha basittir.
- Kısa mesafeler için uygundur.

Seri hibritlerin dezavantajları ise şu şekildedir:

- İçten yanmalı motor, jeneratör ve elektrik motoru olmak üzere üç adet aracı ilerleten komponente ihtiyaç duyulur.
- Elektrik motoru, aracın ihtiyaç duyabileceği maksimum güce göre dizayn edilmiş olsa da, çoğu sürüş durumunda, maksimum gücün altında bir çalışma sergiler.
- Her üç ilerletici komponent de uzun mesafelerde sürdürülebilir yüksek hızlar için uygun boyutlarda tasarlanmış olmalılardır. Aksi takdirde, batarya çabucak tükeneceğinden, içten yanmalı motor jeneratör vasıtasıyla tüm gücü sağlamakla görevlendirilir. Bu durum da yakıt ekonomisini olumsuz etkileyecektir.

Paralel hibritlerin avantajları ise şunlardır:

- İçten yanmalı motor ve motor/jeneratör olmak üzere sadece iki adet ilerletici komponente ihtiyaç duyulur. Elektrik motoru jeneratör olarak da görev yapabilir.
- Daha küçük bir içten yanmalı motor ve daha küçük bir elektrik motoru, aynı performansı sergilemek için yeterli olur. Kısa mesafelerde, bataryanın hiç bitmeyeceği göz önüne alınırsa, istenen maksimum güç, bu iki komponentten yarı yarıya sağlanabilir. Uzun mesafeli sürüşler içinse, benzinli motor

maksimum gücü verecek şekilde ayarlanmalıyken, elektrik motoru maksimum gücün yarısını verecek şekilde, hatta daha bile küçük tasarlanabilir.

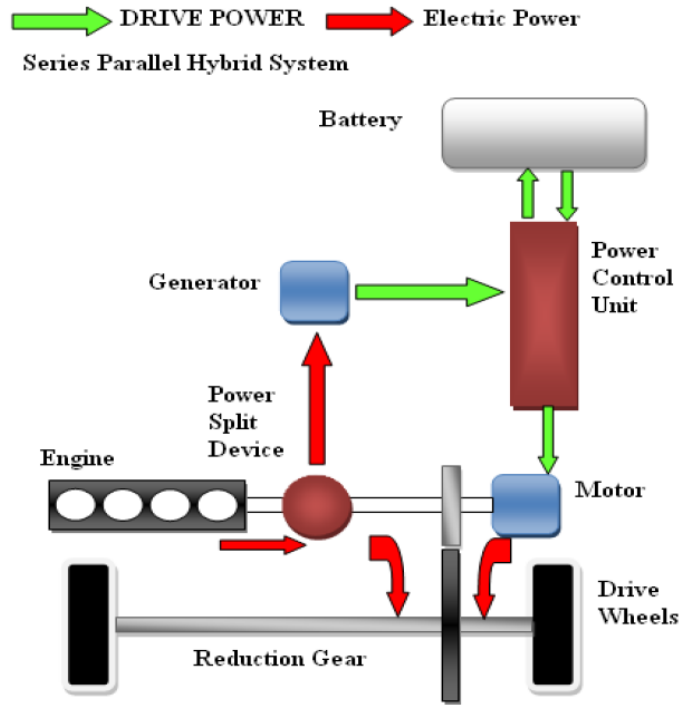
Paralel hibritlerin dezavantajları ise şu şekildedir:

- Güç akışı iki farklı modülden sağlandığı için, kontrol işlemi daha kompleks bir hal alır.
- İçten yanmalı motorun ve elektrik motorunun ürettiği gücü birleştirmek için kompleks bir mekanik modül kullanılmalıdır.

1.3.2 Kombine sistemler

Hibrit elektrikli araçlar, başlangıçta ya paralel ya da seri düzenekte tasarlanırken, zamanla üreticiler, bu iki sistemin kombine edildiği sistemelere sahip araçlar da üretmeye başlamışlardır. Bu tip kombine konfigürasyonlu araçlarda, ısı motoru aynı zamanda bataryayı şarj etmekle de görevlendirilebilir. Karşılaştırmamıza konu olan araçlardan Toyota Prius, genel anlamda paralel düzeneğe sahip olup bir seri elementin eklenmesiyle kombine sisteme sahip hale gelen araçlara bir örnektir. Eklenen seri element sayesinde, bekleme periyotlarında bataryanın şarj edilmesi sağlanmıştır. Bu tip kombine hibrit sistemli araçlar, genel olarak paralel yapıya sahip bir komponent dizilimine sahip olduklarından, paralel hibritlerin altında konumlandırılabilirler. Bu tip konfigürasyon kombinasyonları, araçtan beklenen performansa ve hedeflenen maliyete göre düzenlenmektedirler.

Aşağıdaki şekilde Toyota Prius'un basit çalışma şeması gösterilmiştir. Güç ayırma aygıtı, ki bir planet dişli mekanizmasıdır, sürüş şartlarına bağlı olarak, içten yanmalı motorun ve elektrik motorunun ön tekerleklerle olan güç iletimi gösterilmiştir.



Şekil 1.18 : Kombine hibrit sistem

Jeneratörden geçen güç, bataryayı şarj etmekle görevlidir. Güç kontrol ünitesi olarak gösterilen aygıt, jeneratör vasıtasıyla bataryaları şarj edebilir veya ters yönde elektrik motora giden güç akışını ayarlayabilir. Komponentler arası güç akışı, karmaşık bir sinyal kontrol sistemiyle düzenlenmektedir.[3]

Verimliliği arttırmak amacıyla, içten yanmalı motorun bataryaları şarj etme görevi mümkün mertebe sınırlandırılmalıdır. Enerji, bataryanın şarjı, deşarjı ve güç kontrol ünitesinden geçen güç akışı sırasında her zaman kaybedilmektedir. Batarya, minimum bir şarja ininceye dek, araç içten yanmalı motor veya batarya vasıtasıyla harekete ettirilmelidir. Bataryanın, dışarı bir kaynaktan şarj edilebilmesi de fonksiyon açısından önemlidir.[4]

1.3.3 Dışardan şarj edilebilir HEVler

Geleneksel hibrit sistemli araçlar, enerjilerini yakıt tankında depolanmış yakıtlarından alırlarken, dışardan şarj edilebilen hibrit araçlar, iletici enerjilerinin bir kısmını dışardan şarj edilebilen bataryalarında bulunan elektrikten almaktadırlar. Elektrikli araçlar ise bu enerjilerinin tamamını dışardan şarj edilebilen bataryalarındaki enerjilerinden sağlarlar.

		Energy Source		Abbreviation Synonym	Name / Description
		external energy sources - stored onboard	internally generated energy - stored onboard		
WTW V2	1	Conventional ICE Vehicle	 consumable fuel	-	ICEV Internal Combustion Engine Vehicle
	2	Conventional HEV - not externally chargeable	 consumable fuel	electricity: - regenerative braking - generated onboard from consumable fuel	NOVC HEV Not Off-Vehicle Chargeable HEV
	3	Fuel Cell Electric Vehicle	 consumable fuel	in case of FC HEV: electricity: - regenerative braking - generated onboard from consumable fuel	FCEV Fuel Cell Electric Vehicle
WTW V3	4	HEV - externally chargeable	 consumable fuel	electricity: - regenerative braking - generated onboard from consumable fuel	OVC HEV Off-Vehicle Chargeable HEV
			 electricity		PHEV Plug-In HEV
	5	Battery Electric Vehicle	 electricity	electricity: - regenerative braking	E-REV Extended-Range EV

Şekil 1.19 : Tahrik sistemlerine göre araçlar

1.3.3.1 Plug-in hibrit araçlar

PHEVler, geleneksel hibrit araçların, harici bir elektrik kaynağından şarj edilebilir versiyonlarıdır. Bu tip araçlar, genelde içten yanmalı motor vasıtasıyla hareket ederlerken, elektrik motoru ona destek olur. PHEVlerin, sadece elektrikle gidebilecekleri menzilleri sınırlıdır. Genelde, bu tip araçlar, geleneksel hibrit versiyonlarından daha fazla olan batarya kapasiteleri ile ayrışır. Temel yapıları aynı olduklarından, bu araçlar geleneksel hibritlerin dezavantajlarını ortadan kaldırmakta zorlanırlar. İlerletici enerji içten yanmalı motor ve elektrikli ünite tarafından paylaşıldığından, elektrikli menzil sadece şehiriçi koşullarda ve limitli bir şekilde mümkün olmaktadır. PHEVler için iki farklı çalışma stratejisi mevcuttur:

İlk çalıştırmada EV modunda olan PHEVler: çalışmaya bir EV olarak başlarlar, batarya şarjı azaldığında veya ani ivmelenme gereksinimlerinde hibrit moduna geçerler. Araç, her zaman tam performans istendiğinde içten yanmalı motora ihtiyaç duyar.

Karışık modda çalışan PHEVler: Araç ilk çalıştırmadan itibaren, geleneksel bir hibrit gibi yol alır. İçten yanmalı motor, sürekli devrededir.[5]

1.3.3.2 Menzil artırıcı elektrikli araçlar

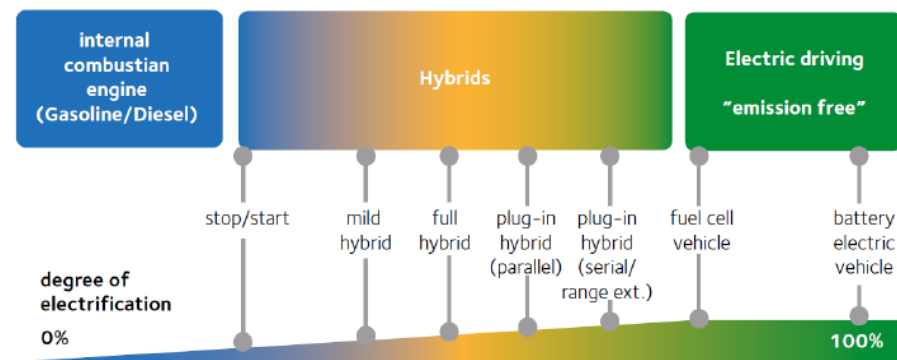
E-REVler, PHEVlerin aksine, bataryalarındaki enerji yeterli olduğu sürece, elektrikli araç gibi çalışma gösterirler. Bataryayı beslemekle görevli olan enerji kaynağı, içten yanmalı motor veya yakıt hücresi olabilir. Araç temel olarak elektrikli motor vasıtasıyla hareket ederken, batarya belli bir şarj seviyesinin altına indiğinde içten yanmalı motor, belli bir sabit dönme sayısında verimli noktada çalışarak, bataryayı şarj eder. Bu çalışma konseptinin toplam verimliliği, ayrıca mekanik enerjinin elektrik enerjisine döndürülme verimliliğine de bağlıdır.

Menzil artırıcı elektrikli otomobiller, geleneksel elektrikli otomobillerin en büyük dezavantajı olarak öne çıkan menzil sorununun üstesinden gelmektedirler.

Farklı elektrikli araç konseptleri arasında seçim yapmak, farklı gereksinimlerin bir sonucudur. PHEVlerde, temel amaç, geleneksel araçların olumlu özelliklerinden faydalanarak, gerek duyulan enerjinin bir bölümünün fosil yakıtlar yerine elektrik enerjisinden sağlanmasıdır. Bu nedenle daha yüksek kapasiteli bataryalar kullanılır. PHEVler emisyonuz ve yakıt tüketimsiz bir sürüşe doğru atılan önemli bir adımdır.

EREVler ise bu misyona doru atılan bir sonraki adım olarak adlandırılabilir. Menzil artırıcı otomobiller, üreticilerin olduğu kadar tüketicilerin de en büyük çekincesi olan menzil sıkıntısını ortadan kaldırmaya adaydırlar.

Hem PHEVler, hem EREVler, günlük kullanıma uygun, menzil sorununu kullanıcılarına yaşatmayan teknolojileriyle, tam elektrikli sürüşe doğru atılmış olumlu adımlardır.[5]



Şekil 1.20 : Araçların elektrifikasyon seviyeleri

2. ARAÇLARIN TANITILMASI

2.1 Totota Prius Plug-in Hybrid

Dünya'nın en büyük otomotiv firması, Japon üretici Toyota, 1997 yılından beri üretimine devam ettiği Prius modelinin ürün gamına, 2011 yılından itibaren bir plug-in hybrid versiyonu da dahil etti. Modelin kodu ZVW35'dir.

Prius Plug-in Hybrid, orta sınıfta markayı temsil eden bir hibrit araçtır. Ootomobil, üçüncü jenerasyon ZVW30 model kodlu Prius bazlı olarak geliştirilmiştir.4.4 kWh kapasiteli lityum-iyon baterilerin, Panasonic tarafından tekrar geliştirilmesiyle, standart Prius'a nazaran daha yüksek hızlarda sadece elektrik tahriki ile daha uzun menzillere ulaşabilmektedir. Aracın üretim versiyonu, Eylül 2011 yılında Frankfurt Otomobil Fuarı'nda sergilenmiştir.

Prius Plug-in, karışık U.S. Environmental Protection Agency tarafından yapılan testlerde, sadece elektrik tahriki ile 18 kilometrelik menzile ve saatte 100 kilometrelik maksimum sürata ulaşabilmiştir. Aracın toplam menzili ise 870 kilometreye varabilmektedir. Lityum-iyon batari, 120 voltluk elektrik kaynağından 180 dakikada, 240 voltluk kaynaktan ise 90 dakikada şarj edilebilmektedir. Toyota'ya göre Prius Plug-in 100 km'de 2.1 litre yakıt tüketimi ve kilometre başına 49 gramlık karbondioksit emisyonu değerlerine ulaşabilmektedir. EPA yakıt tüketimi değerlendirmesine göre ise sadece elektrik modunda 2.5 litre/100 km'lik tüketim mümkünken, benzin motorunun da devrede olduğu şehiriçi/şehirdışı kombine tüketim değeri ise 4.7 litre/100 km olarak belirmiştir. Bu değer, standart Prius'un tüketim değeri ile aynıdır.

Aracın teslimi, Japonya'da 2012 Ocak'ta, A.B.D'de ise Şubat ayında başladı. Japonya'da vergiler dahil 3,200,000 yenden başlayan fiyatlar, A.B.D.'de ise 32,000 dolar civarındaydı. Avrupa'daki teslimler ise Haziran 2012'de başladı. Bu yılın sonunda ise dünya çapında 24,700'den fazla Prius Plug-in Hybrid (PHV) satılmış durumdaydı. En çok satış ise 12,750 adetle A.B.D'de idi. Onu, yaklaşık 9,500 adetle Japonya takip etmekteydi.

Prius Plug-In Concept, Eylül 2009'da Frankfurt'taki otomobil fuarında sergilendi. Ayrıca, aynı yılın Ekim ayında Tokyo'da, Aralık ayında Los Angeles'ta otomobil meraklılarıyla buluştu. Konseptin, bu üç fuarda sergilenmesinden sonra, Aralık 2009 da Toyota, aracın üretim versiyonunun 6 ay içinde takdim edileceğini açıkladı.

Toyota'nın plug-in hibrit araç projesi, 2007 yılında başladı. Marka, 600 adet Prius plug-in aracı, filolar veya hükümet çalışanlarınca kiralanması için üretti. Bunlardan 230 tanesi, Aralık 2009'da Japonya'da teslim edildi. 2010 başlarında ise A.B.D.'de 125 adet, Avrupa'da ise 200 adet teslim yapıldı. Tüm araçlar, Toyota'ya plug-in araçların doğru şekilde geliştirilmesini sağlayacak verileri iletmesi amacıyla uygun cihazlarla donatılmıştı.[2]



Şekil 2.1 : Toyota prius Plug-in Hybrid
[<http://www.automobilesreview.com/pictures/2012-toyota-prius-plug-in-hybrid/2012-toyota-prius-plug-in-hybrid-01.html>]

2.1.1 Toyota Prius modeli geçmişi

Prius, Latince “önce” manasına gelmektedir. Toyota, ilk hibrit seri üretim otomobiline bu ismi verme nedenini, aracın çevre kirliliğinin dünyadaki önemli bir sosyal sorun haline gelmesinden önce lanse edilmesi olarak belirtmektedir.

2.1.1.1 Birinci jenerasyon XW10

1995 yılında, Toyota, Tokyo Motor Show’da, konsept hibrit aracını tanıttı. İlk Prius, sadece Japonya’da olmak üzere 10 Aralık 1997 günü satışa sunuldu. Aracın fabrika kodu NHW10 idi. Bu araç, ilk seri üretim benzinli hibrit otomobildir. Toyota’nın Kaliforniya orijinli tasarımcıları, dünya çapındaki diğer Toyota tasarım stüdyolarındaki meslektaşları arasından seçilerek, ilk jenerasyon Prius’u tasarlama görevini üstlendiler.



Şekil 2.2 : İlk jenerasyon Prius

Amerika Birleşik Devletleri’nde satışa sunulan ilk Prius NHW11 fabrika kodlu araçtı, Otomobil, ürün gamında Corolla ve Camry arasında konumlandırılmıştı. Klima ve elektrikli hidrolik direksiyon standart donanım olarak sunulurken, artan güç ile uzun yol kat eden Amerikalı tüketicilerin beklentileri karşılanmıştı. Araç, A.B.D. pazarında Honda Insight’ın ardından satışa sunulan ikinci hibrit otomobildi. Araç, 2000’de Avrupa’da, 2001’de de Avustralya’da satışa sunuldu.[2]

2.1.1.2 İkinci jenerasyon XW20

2003’te ikinci jenerasyon Prius XW20, satışa sunuldu. Araç, yeniden tasarlanan Liftback karoserisi sayesinde, hem daha geniş bir iç mekan sunarken, bagaj hacmi de büyütülmüştü. Öncülünden yaklaşık 15 cm kadar uzun olan XW20, 0.26’lık aerodinamik direnç katsayısı ile daha ekonomik ve çevre dostu bir hale gelmişti.



Şekil 2.3 : İkinci jenerasyon Prius

Araçta soğutma amaçlı kullanılan alternatif akımlı kompresör, sektörde bir ilk olma özelliğini taşımaktaydı. Öncülündekinden daha küçük ve hafif bir nikel metal hidrit batarya sayesinde, araç daha güçlü ve verimli çalışmaktaydı.[2]

2.1.1.3 Üçüncü jenerasyon XW30

Kuzey Amerika Uluslararası Otomobil Fuarı, 2009 yılında, üçüncü ve son jenerasyon Prius'un lansmanına ev sahipliği yaptı. 0.25'e düşen aerodinamik katsayı, öncülüne göre daha da geliştirilmişti. Ayrıca, otomobilin alt kısmında arkada yer alan bir spoiler sayesinde, yüksek hızlardaki stabilizasyon iyileştirilmişti. Galon başına 50 mil giden otomobil, 2009'daki resmi verilere göre ABD'deki en verimli sıvı yakıtla çalışan araçtı.



Şekil 2.4 : Üçüncü jenerasyon Prius

Yeni modeldeki, en büyük yenilik hiç şüphesiz 1.8 litrelik yeniş motordur. 73 kilovata yükselen motor gücü ile birlikte toplam sistem gücü de 100 kW değerine ulaşmıştı. Büyüyen motor hacmi ile, daha düşük devir sayılarında daha yüksek çekiş gücüne sahip hale gelen yeni Prius, otoban hızlarında daha iyi bir yakıt ekonomisine sahipti. Önemli bir başka yenilik olan elektrikli su pompası sayesinde, geleneksel kayış sistemine olan gereksinim ortadan kalkıyor ve yakıt tüketimi daha da aşağı çekilmiş oluyordu. Ayrıca, yürüyen aksam parçaları daha kompakt boyutlarda ve daha hafif olarak tasarlanmışlardı. Arka aksta yer alan kampana frenler, modern fren diskleriyle değiştirilmişlerdi.

2011 yılında makyaj operasyonuna tabi tutulan üçüncü jenerasyon, Head-up Display, Dinamik radar kontrollü cruise control, çarpışma önleme yardımcısı, şerit takip asistanı gibi, son yıllarda sektöre sunulan önemli donanımlara kavuşmuş oldu. Ayrıca, düşük hızlarda elektrikle ilerleyen aracın yayalar tarafından daha iyi algılanabilmesini sağlayan bir sistem de donanımlara eklendi.

Prius ailesine, 2009'da Prius plug-in Hybrid, 2011'de Prius v ve Prius c modelleri katıldılar.[2]

2.1.2 Hybrid Synergy Drive

Hybrid Synergy Drive (HSD), Toyota'nın hibrit otomobil teknolojisi sistemine verdiği isimdir. HSD, Prius'un yanı sıra üreticinin diğer hibrit teknoloji araçları olan Highlander Hybrid, Camry Hybrid ve Lexus markasının hibrit modellerinde kullanılmaktadır. Elektrikli sürüşü, sürekli değişken şanzıman prensibi ile kombine eden bir sistemdir.

Toyota Hybrid System veya diğer adıyla, Hybrid Synergy Drive sistemi, piyasaya ilk sunulduğu 1997 yılından beri genel tasarım olarak bir değişikliğe uğramasa da, her yeni modelle birlikte bazı iyileştirmelere tabi tutuldu.

İlk Prius'ta, silindir formu pillerin olduğu 1.2 voltluk doğru akım hücreleri kullanılıyordu. İkinci elektrik motoru MG2 de bulunmuyordu.

Bu modeli takip eden tüm modellerde 7.2 volt kapasiteli batarya modülleri kullanıldı. Her yeni modelde, spesifik kapasite konusunda önemli ilerlemeler sağlandı. Bataryanın toplam kapasitesi 276 ila 288 V arasında değişim göstermişti.

Prius II'de, ilk jenerasyona göre şu değişiklikler yer almıştı:

- İçten yanmalı motorda %8’lik, elektrik motorlarında % 50’lik güç artışı
- Elektrik motorunda %14’lk tork artışı
- Elektrik kayıplarında iyileştirmeler
- Jeneratörün şarj kapasitesinin arttırılması
- Bataryanın artan güç yoğunluğu, şarj/deşarj kapasitesi ve %14 kadar azaltılmış ağırlığı
- Alüminyum yüksek votajlı kablolamayla ağırlıkta düşüş sağlanması

İkinci jenerasyon HSD sisteminde bazı yenilikler yer almaktaydı. HSD sistemi, doğrusal akım dönüştürücü ile batarya potansiyelini 500v’luk değerlere taşıyarak, daha ufak bataryalar ile daha güçlü motorların kullanılmasını olanaklı hale getirdi. HSD sisteminin bir komponenti olmasa da, bu sisteme sahip tüm araçlar, 2004’ten itibaren elektrikli klima kompresörü ile donatılmıştı. Bu zellik sayesinde, kabinin soğutulması istendiğinde, içten yanmalı motorun sürekli çalıştırılması gerekliliği ortadan kalkmış oluyordu. Kabinin ısıtılması istendiğinde ise, ana ısı kaynağı benzin motoru olduğundan, çalışması zorunlu hale geliyordu.

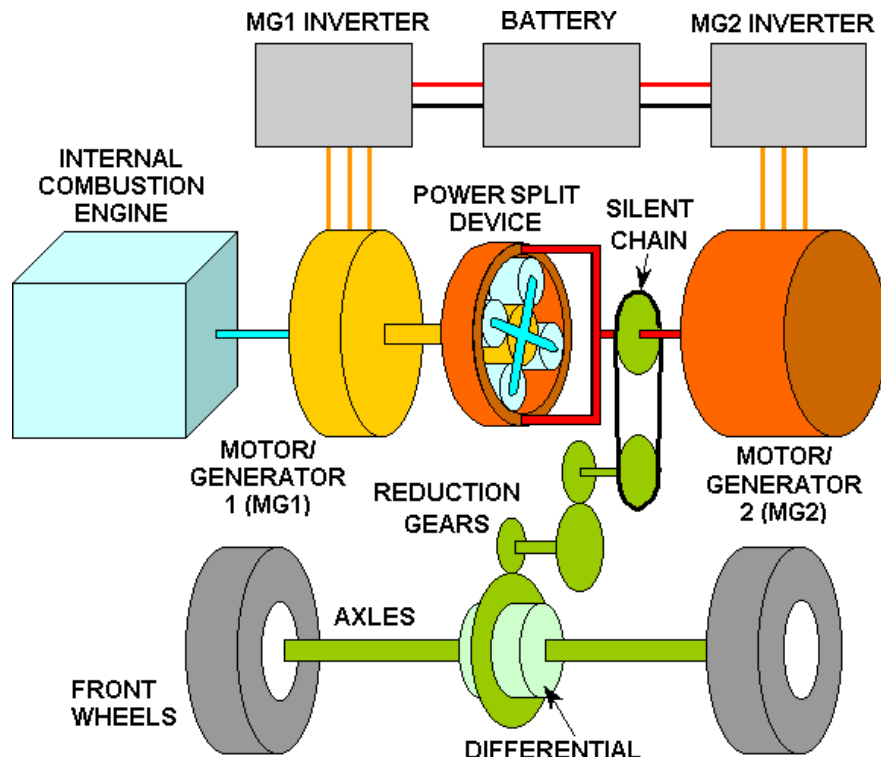
2009’da piyasa sürülen Prius III, yeniden geliştirilmiş bir HSD sistemine sahipti. Yenilenen sistemde, komponentlerin boyutlarında ve ağırlıklarında azaltılmalar sağlanırken, bunun sayesinde yakıt ekonomisinde iyileştirmeler sağlanmıştır.

- İçten yanmalı motor, 1.8 litre silindir hacmine sahip, VVT-i teknoloji Atkinson çevrimiyle çalışan yeni modülle değiştirilmişti. Egzos gazı resirkülasyonu sayesinde 20 beygirlik bir g artışıyla 90 beygirlik ge ulaşan bir motor ortaya çıkmıştır.
- MG2 elektrik motoru, %20 güçlenmiş ve boyut olarak %33 küçülmüştür.
- Batarya gc 2 kW artarken, boyutu küçültülmüştür.
- Yeni doğru akım çevirici boyut ve ağırlık açısından azaltılırken, verimi artmıştır.
- Ayrıcas ağırlığın düşürülmesi amacıyla, karoseride daha fazla alminyum ve yüksek dayanımlı elik kullanılmıştır.

- Prius III'ün iç hacmi ve konfor özellikleri artırılırken, sistem gücü %22 artarken, yakıt ekonomisi de %14 kadar iyileştirilmiştir.
- Aynı teknoloji, firmanın diğer modelleri Auris Hybrid ve Lexus CT200h'de de kullanılmaktadır.

Toyota, HSD sistemli araçlarını, elektronik kontrollü sürekli değişken şanzımanlı (E-CVT) araçlar olarak tanımlamaktadır. Bu sisteme sahip araçlar, kombine hibrit-elektrikli araçlar olarak tanımlanabilir. İçten yanmalı motor ile onun kontrolleri arasında mekanik bir bağlantı yerine, elektrik sinyalleri bir kontrol ünitesine iletilmesiyle, tahrik sağlanmaktadır. HSD, esasen ilk jenerasyon Prius'ta kullanılan Toyota Hybrid System isimli sistemin geliştirilmiş bir versiyonu olup, THS II olarak da adlandırılmaktadır.

HSD sistemi, geleneksel vites kutusu, alternatör ve marş motoru düzeneğini, iki adet elektrik motor-jeneratör, onların çalışmasını düzenleyen bilgisayar kontrol ünitesi, mekanik güç ayırıcı olarak görev yapan planet dişli mekanizması ve enerji deposu olarak görev yapan batarya ile değiştirmiştir.

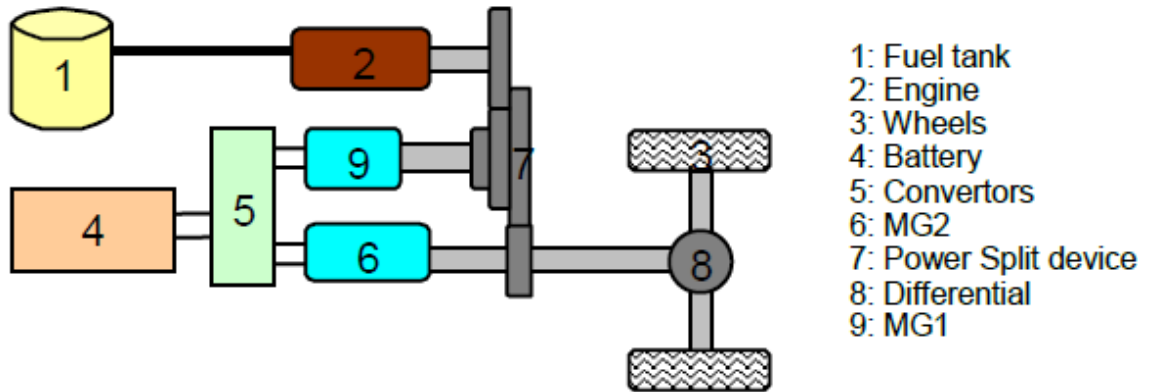


Şekil 2.5 : HSD sistemi gösterimi

Sistem, içten yanmalı motorun mekanik gücünü, tekerleklerde ekstra tork(sabit dönme hızında), tekerleklerde ekstra dönme hızı(sabit tork durumunda) veya elektrik olarak dönüştürebilmesini sağlamaktadır.

Sistemin komponentleri şunlardır:

- İçten yanmalı motor
- Motor jeneratör 1 MG1
- Motor jeneratör 2 MG2
- Planet dişli takımı
- Batarya
- Güç çevirici
- Elektronik kontrol ünitesi[6]

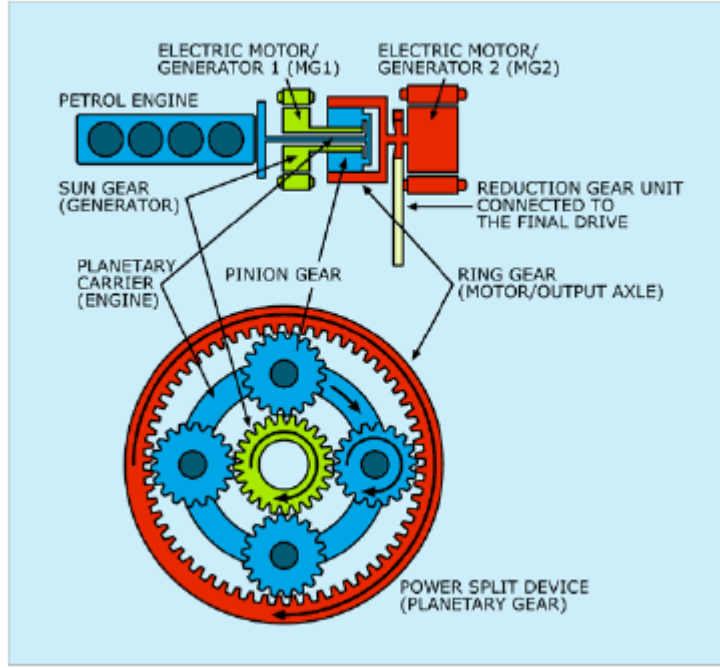


Şekil 2.6 : HSD sistemi komponentleri

Konvansiyonel içten yanmalı motorlu araçlarda, batarya, motora ilk hareketi için gerekli hareketi vermekle ve motor kapalıyken araç içindeki aksesuarların çalışması için istenen enerjiyi sağlamakla görevlidir. Alternatör ise bataryayı yeniden şarj etmekle ve motor çalışırken araç içi aksesuarların çalışmasını sağlayan enerjiyi üretmekle görevlidir. HSD sistemi, klasik araçlardaki vites kutusu, alternatör ve marş motoru elemanlarını iki adet güçlü elektrik motoruyla, bunların çalışmasını kontrol eden bilgisayar kontrol sistemiyle, mekanik güç dağıtımını gerçekleştiren planet dişlisi ve enerji deposu olarak görev yapan bir batarya ile değiştirmektedir. Motor-jeneratör, bataryadan aldığı güçle aracı, ilk çalıştırmada ve düşük hızlarda ilerletmekle görevlidir. İlk çalıştırmada, eğer batarya istenen şarj seviyesinin üstündeyse, içten yanmalı motor devre dışıdır. Araç, daha yüksek hızlara çıktıkça, veya daha yüksek bir ivmelenme istendiğinde, ya da bataryayı şarj etmek için daha fazla güç gereksinimi olduğunda, motor jeneratör, bir marş motoru, içten yanmalı motoru devreye sokar. Bu yapı, trafikteki dur-kalklar esnasında da içten yanmalı motorun devre dışı kalmasını sağlar.[2]

Araç yavaşlama halindeyken, elektrik motorlarından küçük olanı jeneratör olarak çalışır ve bataryaların yeniden şarj etmesi için kullanılır.

HSD yürüyen aksamı, içten yanmalı motordan ve elektrik motorlarından gelen torkun ayarlanması ve birleştirilmesi görevini üstlenen planet dişliye sahiptir. İçten yanmalı motorun tahrik mili, planet dişli taşıyıcısına bağlıdır. Buradan geçen güç, çember dişli vasıtasıyla tekerleklerle, güneş dişli vasıtasıyla ise jeneratöre aktarılmaktadır. Bundan sonra, jeneratörün ürettiği elektrik, büyük elektrik motoruna iletilerek, aracın hareketi için gerekli gücü üretir veya güç çevirici vasıtasıyla direkt akıma çevrilerek bataryayı şarj eder. Jeneratörün hızı kontrol edilerek, sürekli değişken şanzıman karakteristiği sağlanır.

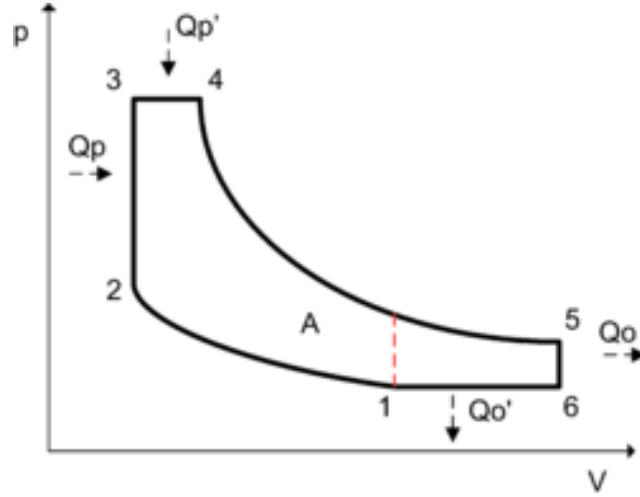


Şekil 2.7 : HSD sistemi planet dişlisi

2.1.2.1 İçten yanmalı motor

Toyota Prius Plug-in’de, yakıt ekonomisiyle iyi sürüş performansını birleştirmek amacıyla Atkinson çevrimiyle çalışan 1.8 litrelik silindir hacmine sahip 2ZR-FXE benzin motoru kullanılmaktadır. Bu motor, Toyota’nın konvansiyonel tahrikli araçlarında kullanılan 2ZR-FE motoru baz alınarak geliştirilmiştir. Bu motordan farklı olan ise motorun yüksek sıkıştırma oranıyla çalışan Atkinson çevrimi prensibinin kullanılmasıdır. Ayrıca yakıt ekonomisini iyileştirmek amacıyla egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) ve elektrikli su pompası kullanılmıştır.

Atkinson çevrimi, daha önceki Prius modellerinde kullanılan 1.5 litrelik 1NZ-FXE kodlu motorun da çalışma prensibidir. Dört zamanlı bir çevrim olan Atkinson çevrimi, emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz zamanlarını, özel krank mili tasarımı sayesinde krank milinin tek bir dönüşünde gerçekleştirebilmektedir. Atkinson çevriminin genel prensibi, aşağıdaki hacim-basınç grafiğinde gösterilmektedir.



Şekil 2.8 : Atkinson çevrimi

Bu çevrimdeki noktaların anlamı şu şekildedir:

- 1-2 İzantropik sıkıştırma
- 2-3 Sbit hacimde ısı girişi
- 3-4 Sabit basınçta ısı girişi
- 4-5 İzantropik genişleme
- 5-6 Sabit hacimde soğuma
- 6-1 Sabit basınçta soğuma

Atkinson çevriminde, emme subabı, standart Otto çevriminden daha uzun süre açık tutularak, emme havasının emme manifolduna geri akışı sağlanır. Havanın sıkıştırılmadan, serbestçe silindirden kaçtığı süre için efektif sıkıştırma oranı düşer. Ancak, genişleme oranı sabit kalır. Bunun sonucunda, genişleme oranı, sıkıştırma oranından daha büyük hale gelir.

Yanma sonucu oluşan ısı, basıncı yükselterek, pistonu hareket ettirmeye zorlar. Bu durumda, sıkıştırmanın başladığı hacmin ötesinde bir hacme genişleme mümkün olabilir (5 noktası).

Atkinson çevriminin amacı, temel olarak yanma odasındaki, yanma stroku sonundaki basıncı, atmosfer basıncına eşit hale getirmektir. Bu sayede, yanmadan elde edilebilecek maksimum enerji elde edilir. Genişleme oranı ne kadar büyük olursa, daha çok ısı enerjisini mekanik enerjiye çevirmek mümkün hale gelir. Bu da motorun daha verimli olması demektir.

Atkinson çevriminin, Otto çevrimine karşı en büyük üstünlüğü, artan genişleme oranı sayesinde, ısı veriminin daha yüksek olmasıdır. Bu sayede, yakıt tüketimi azalırken, aracın menzili uzar. Ayrıca, sıkıştırma oranını, eşdeğer bir Otto çevrimine göre düşük tutmak mümkün olabileceğinden, vuruntunun engellenebilmesi mümkündür.

Aşağıda, standart Otto çevrimi ile Atkinson çevriminin ve 2ZR-FXE benzinli motorunda olduğu gibi Atkinson çevriminin EGR sistemi ile kombinasyonunun yakıt ekonomisine etkisi gösterilmektedir.

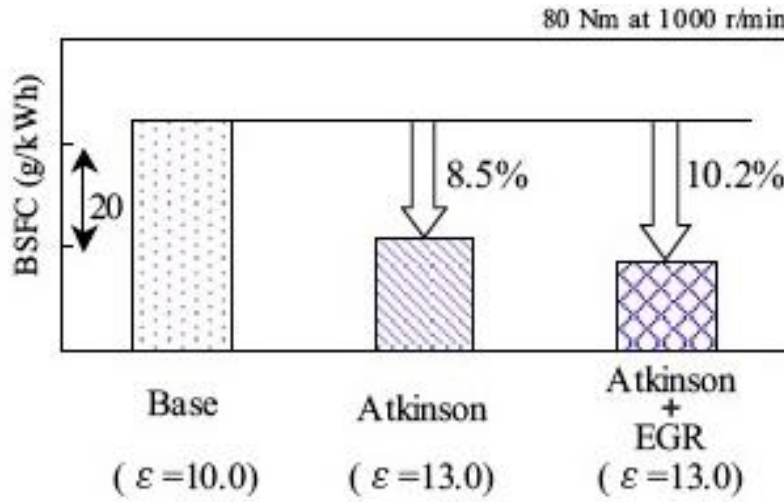


Fig. 8 Effects of the Atkinson Cycle and Cooled EGR

Şekil 2.9 : Atkinson çevriminin yakıt ekonomisine katkısı

Yakıt tüketiminde sunduğu büyük avantajlara rağmen, özellikle düşük motor hızlarındaki birim hacim başına sundukları gücün Otto çevrimine nispetle daha düşük olması ve düşük motor hızlarında sundukları düşük tork nedeniyle, Atkinson çevrimine sahip motorlar, konvansiyonel tahriğe sahip araçlarda kullanmak için uygun değildir. Buna karşın, Prius gibi hibrit araçlarda, içten yanmalı motora elektrik motoru destek olduğundan, düşük özgül güç telafisi mümkün bir dezavantajdır. Daha düşük yakıt tüketimleri nedeniyle, Atkinson çevrimine sahip içten yanmalı motorlar, hibrit tahriğe sahip araçlarda sıkça kullanılmaktadır.

Toyota Prius Plug-in'de, EGR sistemini soğutmak amacıyla, yüksek verimli bir soğutucu kullanılmış, bu sayede yüksek yük durumlarında, EGR gazının kullanılması ve egzoz gazı sıcaklığının düşürülmesi sağlanmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak, EGR sistemi, yüksek hızlarda iyi performansa katkı sağlarken, düşük yakıt tüketimini de beraberinde getirmiştir.

Elektrikli su pompası ise, içten yanmalı motorun çalışma şartlarına bağlı olarak optimum su akış hızını sağlayarak, motorun ön ısınma süresini azaltmaktadır. Bu yeni sistemin en önemli avantajı ise, eski kayış sisteminden doğan sürtünme kayıplarının azaltmasıdır.[7]

2.1.2.2 Elektrik motorları MG1 ve MG2

Araçta, iki adet üç fazlı permanent magnet senkronize motor görev yapmaktadır. Bu motorlar, elektrikli motorlardaki rotorlar yerine, permanent mıknatıslar kullanılmaktadır.

Küçük olan elektrik motoru MG1, jeneratör olarak görev yapar. Bataryayı yeniden şarj eder ve büyük elektrik motoru için gerekli gücü sağlar. Bu motorun, dönme sayısı ve iç direnci ayarlanarak, sürekli değişken şanzımanın kontrolünün sağlanmasında rol oynarken, marş motorunun da görevini üstlenmiştir.

Büyük olan elektrik motoru MG2, aracın hareketini sağlar. İçten yanmalı motor ile birlikte tekerleklerin dönmesini sağlayan torku üretir. Aracın yüksek tork karakteristiği ile pürüzsüz bir ilk çalışma sağlanır ve ivmelenmeler daha kolay gerçekleşir. Fren rejenerasyonu esnasında, MG2 kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Bu enerji bataryada depolanır.[8]

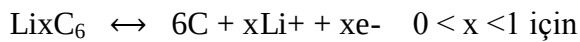
2.1.2.3 Batarya

Lityum-iyon batarya

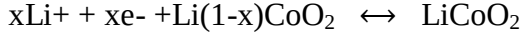
Lityum metali, 3.045 voltluk yüksek elektrokimyasal indirgenme potansiyeli ve düşük atomik kütlesi (6.94) ile, uygun bir pozitif elektrotla eşleştirildiğinde 3 V'luk hücrel potansiyele sahip bir batarya için oldukça iyi bir seçenek haline gelmektedir. İkincil lityum hücrelerine olan ilgi, lityum primary hücrelerinin 1970lerde geliştirilmesiyle yeniden canlansa da, en büyük zorluk lityumun nemli ortamlarda yüksek reaktiflik seviyesi nedeniyle, sıvı elektrot kullanımının mümkün olmamasıydı. 70lerin sonuna doğru Oxford Üniversitesi'nde araştırmacılar, lityumun kobalt ve nikelden oluşan kristal kafes yapısı içine LiCoO_2 veya LiNiO_2 formunda absorbe edilebileceğini bulduklarında, Li-ion bataryaların önü açılmış oldu. Metalik lityum kullanımının zorlukları, lityumun absorbe edildiği karbon yapıların (Li_xC) grafit veya kömür formunda negatif elektrot olarak kullanılıp, lityum metalik oksitlerin ise pozitif elektrot olarak kullanılmasıyla aşılmış oldu. Grafit, lityumun LiC_6 formunda depolanabilmesini sağlar. Li-iyon bataryaların çoğunda, pozitif elektrot olarak kobalt oksit kullanılır. Bu tip elektrotlar pahalı olsalar da en iyi sonuçları verdikleri için tercih edilmektedirler. Alternatif olarak, nikel oksit bazlı pozitif elektrotlar kullanılabilir. Bunlar, yapısal olarak daha karmaşık olsalar da maliyetleri daha azdır. Performansları ise kobalt oksitlerle benzerlik göstermektedir. Manganez oksit bazlı pozitif elektrotlar LiMn_2O_4 ve LiMnO_2 araştırılmaktadır. Manganez ucuz, daha çok bulunabilir ve daha az toksik bir malzeme olduğundan, bu tip elektrotlar ilerde daha cazip hale gelebileceklerdir.

LiCoO_2 kullanılan bir lityum-iyon bataryasındaki hücre deşarjı aşağıda gösterilmektedir. Hücre deşarjında Lityum iyonları (Li^+), negatif elektrottan serbest bırakılıp, pozitif elektrota doğru giderken organik elektrolitten geçer. Pozitif elektrotta, lityum iyonları hızlıca lityum bileşiğine geçmektedirler. Bu işlemin tersi de mümkündür. Elektrotlardaki kimyasal reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:

Negatif elektrotta:



Pozitif elektrotta:



Hücresel şarj esnasında, lityum iyonları, deşarjın tersi yönde pozitif elektrottan negatif elektrota doğru giderler. Lityum-iyon bataryanın nominal hücresel voltajı 3.6 V kadardır, ki bu değer NiMH veya NiCd bataryalarındakinin üç katıdır.

Lityum-iyon bataryaları, yüksek özgül enerjiye, yüksek özgül güce, yüksek enerji verimliliğine, iyi yüksek sıcaklık performansına ve düşük kendiliğinden boşalma eğilimine sahiptirler. Lityum-iyon bataryaların komponentleri geri dönüşüme uygundur. Bu olumlu özellikleri lityum –iyon bataryaları, elektrikli ve hibrit araçlar için oldukça uygun kılar.[4]

Lityum-iyon batarya hücreleri yaklaşık 120 Wh/kg'lık enerji yoğunluğuna ve 1000 çevrimlik bir ömre sahiptirler. Yapılan araştırmalar, bataryaların %80'lik şarj oranına 1 saatten kısa bir sürede ulaşabileceğini göstermektedir.

Lityum-iyon bataryalardan daha çok yararlanabilmek amacıyla, sıvı elektrolit kısmının, mekanik anlamda daha güçlü bir polimer jel zar ile değiştirilmesini öngörmektedir. PLI olarak adlandırılan bu plastik lityum iyon teknoloji, karbon bazlı negatif elektrotun, manganez dioksit pozitif elektrotun ve polimer jel zar elektrolitin birlikteliğinden oluşmaktadır. Bu tip bataryaların enerji yoğunluğu 100-125 Wh/kg, ömürleri ise 1000 deşarj çevrimi kadardır. Günümüzde, bu tip bataryalar, cep telefonları ve portatif bilgisayarlar gibi alanlarda kullanılmaktaysalar da, portatif yapıları ve üstün özellikleri onları elektrikli veya hibrit araçlar için oldukça uygun kılmaktadır.[1]

Lityum-iyon bataryalar, Panaonic şirketi tarafından, araç için özel olarak üretilmiştir. 56 adet modülün seri olarak bağlanmasından oluşturulmuştur.[9] Aracın bataryası, bilgisayar kontrolü tarafından %80 ila %40'lık şarj seviyeleri arasında tutulmaktadır.[10]

2.1.2.4 Hibrit tahrik sistemi teknik özellikleri

Hibrit sistemi toplam gücü: 134 hp

İçten Yanmalı Motor: 2ZR-FXE

Çalışma prensibi: Atkinson çevrimi

Tip: Sıralı 4 silindirli, alüminyum motor bloğu ve motor kafası, DOHC, 16 subap, VVT-İ

Subap yerleşimi: VVT-İ subap zamanlamsı, silindir başına 4 subap

Silindir hacmi: 1,798 cc

Bor x strok: 80,5 x 88,3 mm

Sıkıştırma oranı: 13,0 : 1

Güç: 98 hp (73 kW) 5200 d/d

Tork: 142 Nm 4000 d/d

Yakıt türü: 87 oktan kurşunsuz benzin

Motor Jeneratör: MG1

Tip: 3 fazlı PMSM

Maksimum voltaj: DC 650 V

Maksimum güç: 42 Kw

Maksimum tork: 55 Nm

Maksimum hız: 10000 d/d

Soğutma: su soğutmalı

Motor Jeneratör: MG2

Tip: 3 fazlı PMSM

Maksimum voltaj: DC 650 V

Maksimum güç: 60 Kw

Maksimum tork: 207 Nm

Maksimum hız: 6000 d/d

Batarya

Tip: Lityum iyon batarya

Batraya dizilişi: 56 hücre seri bağlı

Toplam voltaj: 207.2 V

Hücre voltajı: 3.7 V

Hücre boyutları: 105 x 148 x 27 mm

Batarya ağırlığı: 726 g

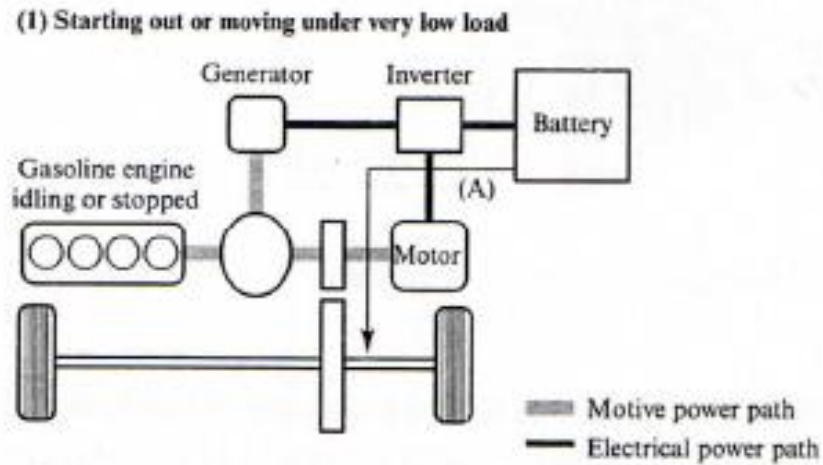
Batarya montajlanmış boyutları: 747 x 948 x 176 mm

Batarya montajlanmış ağırlığı: 76 kg[11]

2.1.2.5 HSD sistemi çalışma modları

1) İlk çalıştırma veya çok düşük yükte çalışma

İlk çalışma anında, veya çok düşük yüklerde, içten yanmalı motor verimsiz şekilde çalışacağından, kapalı durumdadır. Araç, sadece elektrikli motor MG2 vasıtasıyla ilerlemektedir (A durumu). İlk çalıştırma anında, güç MG1 elektrik motorundan sağlanır.

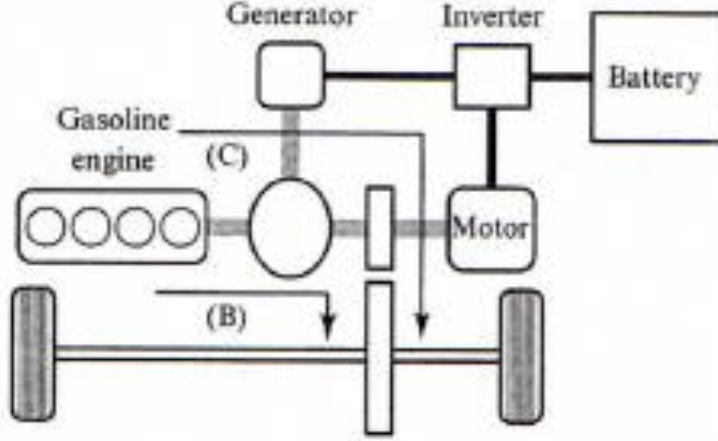


Şekil 2.10 : İlk çalıştırma veya düşük yükte HSD sisteminin durumu

2) Normal sürüş

Normal çalışma durumunda, içten yanmalı motorun gücünün bir kısmı aracı sürmek için harcanırken (B durumu), bir kısmı da elektrik üretimi için kullanılır. Bu şekilde, aracın hareketini destekleyen motora elektrik sağlanmış olur (C durumu). Bu durumda, içten yanmalı motor tekerleklerden daha hızlı dönse de, maksimum torkunu üretmez. Ekstra motor hızı, MG1 motoruna verilmektedir.

(2) Normal driving

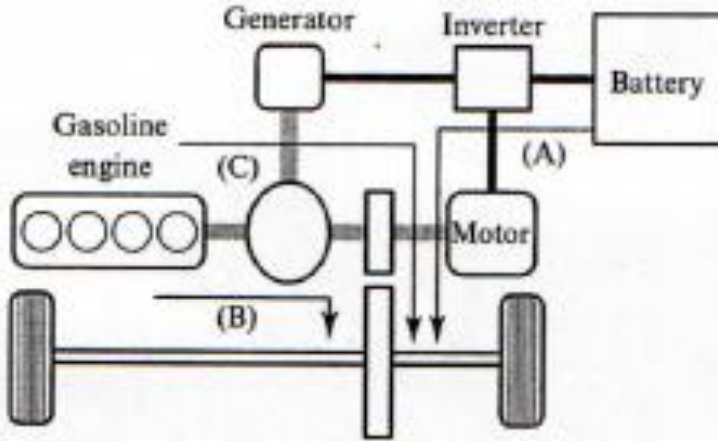


Şekil 2.11 : Normal sürüşte HSD sistemi durumu

3) Tam yükte ivmelenme

Tam yükte ivmelenme durumunda, bataryadan ek olarak enerji çekilerek, hareket için ek güç sağlanmış olur (A durumu). Bu durumda, içten yanmalı motor, tekerleklerden daha yavaş dönerek, istenenden fazla tork üretir.

(3) Full-throttle acceleration

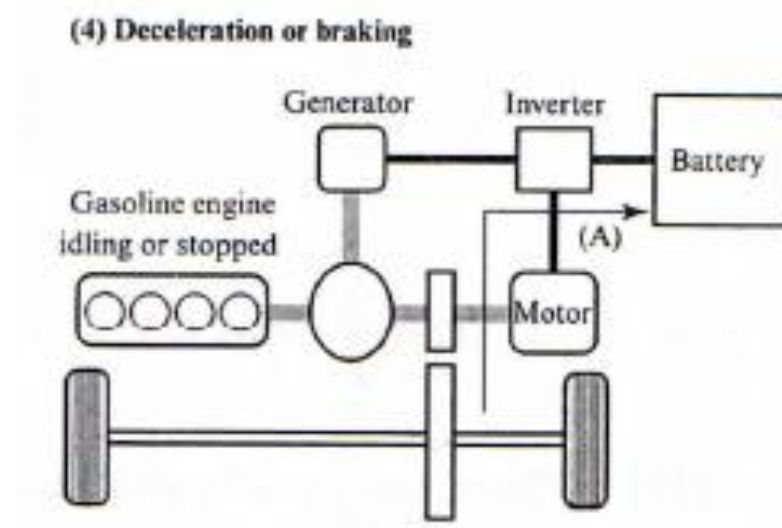


Şekil 2.12 : Tam yükte ivmelenmede HSD sistemi durumu

4) Dekselasyon veya frenleme

Bu durumda, MG2 elektrik motoru bir jeneratör olarak görev yapar, tekerleklerin kinetik enerjisini elektrik gücüne çevirir.

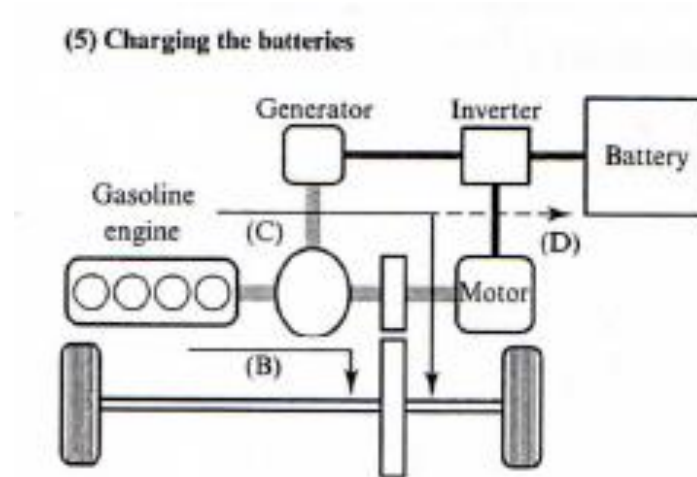
Güç çevirici vasıtasıyla, bu güç doğrusal akıma çevrilir ve bataryada depolanır. Bu şekilde rejeneratif frenleme sağlanmış olur.



Şekil 2.13 : Dekselasyon veya frenlemede HSD sistemi durumu

5) Bataryanın şarj edilmesi

Eğer, bataryanın şarj seviyesi düşükse, kontrol sistemi, içten yanmalı motorun gücünün daha büyük bir kısmını elektrik üretimi için kullanılır ve bataryanın tekrar şarj edilmesini sağlar.[1]



Şekil 2.14 : Bataryanın şarj edilmesinde HSD sistemi durumu

Geri ve boş vites durumu:

Prius'da geleneksel bir geri vites dişlisi yoktur. Bilgisayar kontrolü, MG2 elektrik motoruna negatif voltaj verir, bu sayede de tekerleklere negatif tork iletilmiş olur.

Boş vites ise, elektrik motorlarının kapatılması ile sağlanmaktadır. Eğer, araç tekerlekleri dönmüyorsa, planet dişli sabit kalmaktadır. Tekerlekler dönüyorsa, çember dişli dönerek, güneş dişlinin de dönmesine neden olur. MG1 boş döndüğünden, güç kaybı yaşanmaz.[2]

2.2 Chevrolet Volt

Chevrolet Volt, General Motors tarafından üretilmiş plug-in teknoloji hibrit bir otomobildir. Araç, Avrupa'da Opel Ampera, Avustralya'da ise Holden Volt ismiyle satılmaktadır. Aracın satışları, A.B.D.'de 2010 Aralık'ta başlamış, bunu Avrupa'da satışların başlaması izlemiştir.

EPA standartlarına göre, Chevrolet Volt, A.B.D.'de satılmakta olan en iyi yakıt verimliliğine sahip araçtır. Volt, bataryasındaki enerji belli bir seviyenin altına düşünceye dek elektrikli bir araç gibi hareket etmekte, batarya şarjı o seviyeye düşünce ise, benzinli motor devreye girerek bataryayı tekrar şarj etmeye başlamakta, böylece elektrikli araçların en önemli sıkıntısı olan kısa menzil aşılabilmektedir. Ayrıca, aracın bataryasını harici bir elektrik kaynağından şarj etmek de mümkündür. Aracın merkezinde bulunan T formundaki piller, tekerleklere giden gücü depoluyor. İçten yanmalı motor ise bir jeneratör görevi üstleniyor ve aracın pillerini şarj etmektedir.

Chevrolet Volt, dünya çapında, 2009 Green Car Vision Award, 2011 Green Car of the Year, 2011 North American Car of the Year, 2011 World Green Car ve 2012 European Car of the Year gibi ödüllere layık görülmüştür.[2]



Şekil 2.15 : Chevrolet Volt
[http://images.thecarconnection.com/med/2011-chevrolet-volt_100315468_m.jpg]

2.2.1 GM Voltec tahrik sistemi

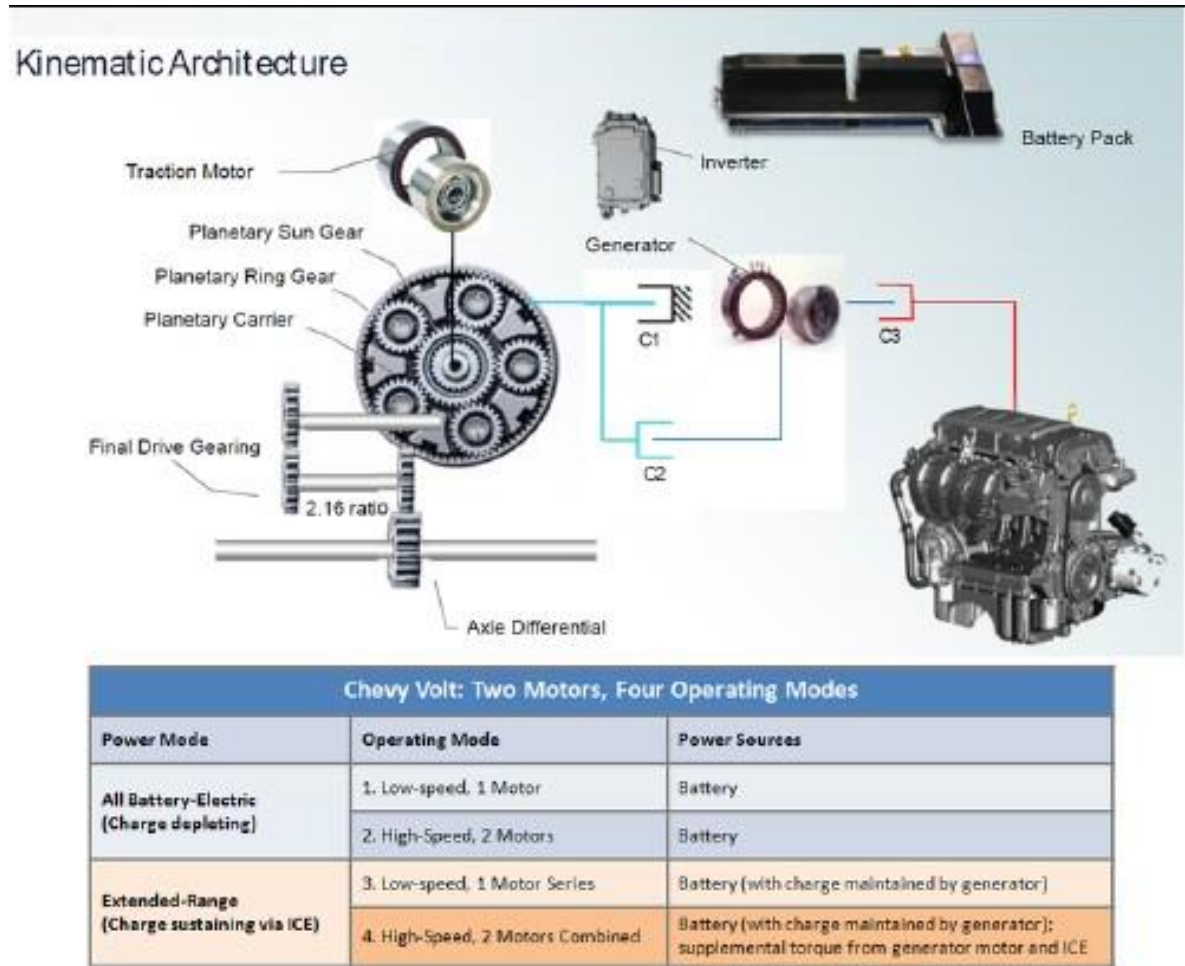
Voltec, daha önceden E-flex olarak bilinen, General Motors tarafından tasarlanmış bir tahrik sistemidir. Sistem, temel olarak, plug-in özelliği olan, enerjisinin çoğunun bataryasından alan, buna ilave olarak da fosil yakıtları da kullanarak hibrit bir yapıda tasarlanmış elektrikli araçlar için hazırlanmıştır.

Voltec sistemini kullanan Chevrolet Volt, elektrikli sürüşü, elektrik üretimi için kullanılan bir benzin motorunun menzil arttırma misyonu ile birleştirmektedir. Fren enerjisi geri kazanımı sayesinde, sürüş esnasında elektrik üretimi mümkün hale gelmektedir.

Voltec tahrik sistemi, E-flex ismiyle, 2007 yılında düzenlenen Kuzey Amerika Uluslararası Otomobil Fuarı'nda Chevrolet Volt konseptiyle sergilenmiştir. O konseptte, 1.0 litrelik benzin motru 53 kW gücündeki jeneratör ile bağlanmış, aracı iletirmek amacıyla da 120 kW gücündeki bir elektrik motorundan faydalanılmıştır. Aracın bataryası, harici bir elektrik kaynağından şarj edilebilmektedir.

Üretim versiyonunda ise güç ünitelerinde değişiklikler olsa da temel prensip aynı kalmıştır. Sistem genel olarak, plug-in seri hibrit dizaynına sahip olmakla birlikte, mekanik güç jeneratörü çalıştırarak, bataryayı şarj etmektedir. Daha sonra bataryadan alınan güç, elektrik motorlarını besleyerek, aracın ilerlemesini sağlar. İçten yanmalı motor ise çalışarak, jeneratöre güç verebilmekte, bu sayede menzil sorunu aşılabilmektedir.

Volt'ta bulunan lityum-iyon batarya, %30 ila %80'lik şarj seviyeleri arasında bir SOC'de bulunmakta, şarj %30'luk kritik sınırın altına düştüğünde ise benzin motoru devreye girerek, bataryanın şarj olmasını sağlamaktadır. GM, bu özelliği nedeniyle, Chevrolet Volt'u E-REV (menzil arttırıcılı araç) olarak tanımlamaktadır.[2]



Şekil 2.16 : Voltec tahrik sistemi

Voltec tahrik ssiteminin komponentleri şunlardır:

- Çekiş için elektrik motoru
- Jeneratör görevi için elektrik motoru

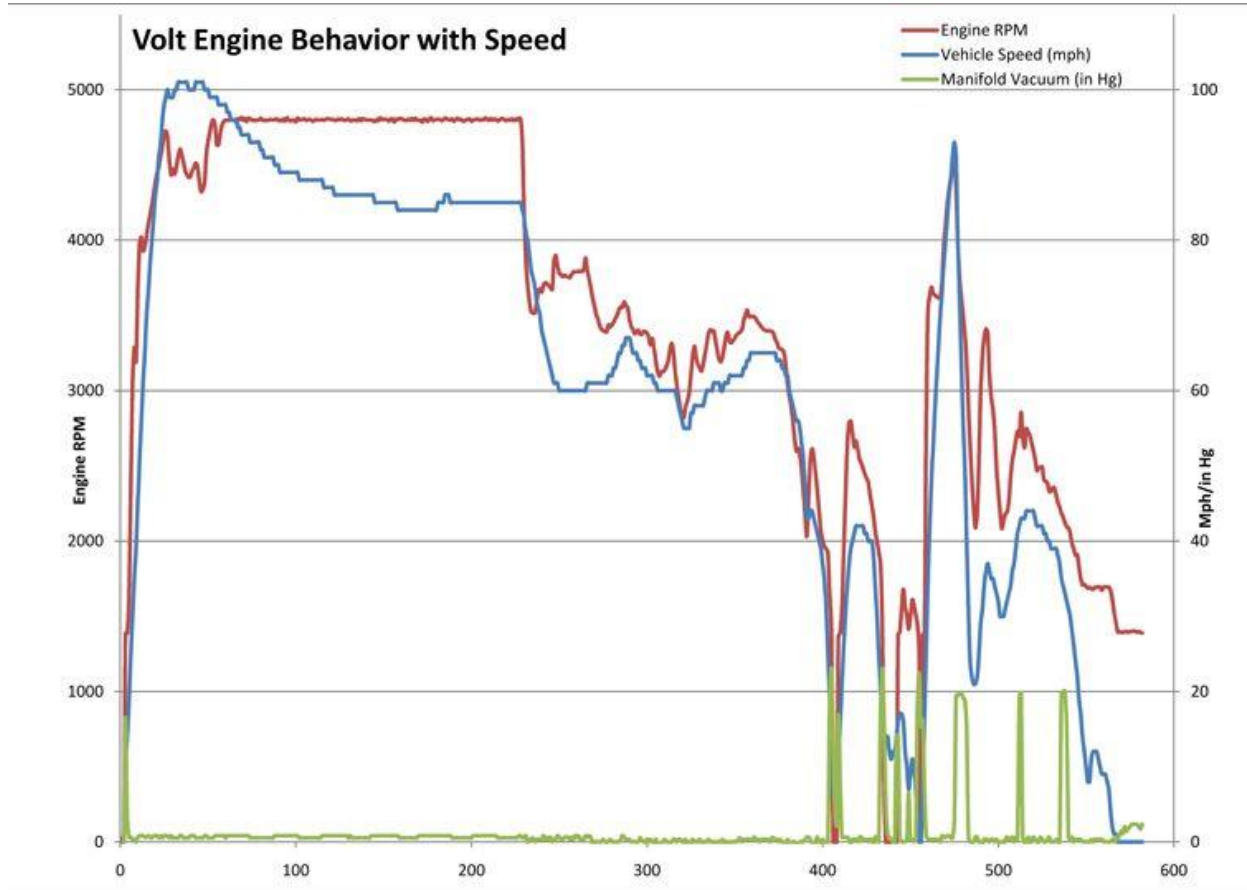
- Planet dişli takımı
- İçten yanmalı motor
- 3 adet kavrama
- Batarya
- Güç çevirici
- Son dişli oranı[12]

2.2.1.1 Elektrik motorları

Chevrolet Volt'ta iki adet elektrik motoru görev yapmaktadır. PMSM tipi olan motorlardan büyük ve daha güçlü olanı tekerleklerle çekiş gücü sağlamakla görevliyken, diğer motor genel olarak jeneratör olarak görev yapmakta, belli sürüş modlarında tekerleklerle de güç iletebilmektedir.[12]

2.2.1.2 İçten yanmalı motor

Chevrolet Volt'da, GM firmasının Family 0 motor ailesinden, LUU motor koduna sahip 1.4 litre silindir hacimli benzin motoru kullanılmaktadır. Motor bloğu hafif alaşım demirden, silindir kafaları ise alüminyumdan üretilmiştir. EcoFlex teknolojisine sahip motor ailesinden türetilmiş olan bu motor, Chevrolet Volt'da jeneratör görevi yapmaktadır. Diğer bazı menzil arttırıcı teknolojiye sahip araçlardakinin aksine, motor devri sabit olmayıp, çalışma şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Aşağıdaki şekilde, motor hızının taşıt hızına bağlı değişimi gösterilmektedir.[13]



Şekil 2.17 : Chevrolet Volt'ta bataryayı şarj etmek için kullanılan içten yanmalı motorun hızının araç hızına bağlı değişimi

2.2.1.3 Batarya

Bataryalar, LG Chem şirketi tarafından Volt için özel olarak üretilmiştir. Lityum iyon batarya paketinde, 3 paralel hat şeklinde, her hatta seri olarak bağlanmış 96 adet hücre bulunmaktadır. Batarya, Volt'un elektrikli sürüş esnasında tek enerji kaynağıdır.[12]

2.2.1.4 Sistemin teknik özellikleri[14]

Sistemin toplam gücü: 111 kW

İçten yanmalı motor

Tip: GM Family Zero, sıralı 4 silindir, dökme demir motor bloğu, alüminyum motor kafası

Bor x Strok: 73,4 x 82,6 mm

Silindir hacmi: 1398 cc

Sıkıştırma oranı: 10,5 : 1

Subap sistemi: Silindir başına 4 subap, emme ve egzoz zaman ayarı, DOHC

Gaz kelebeği kontrolü: elektronik

Motor gücü: 84 hp/63 kW

Motor torku: 126 Nm

Maksimum devir: 4800 d/d

Yakıt: premium benzin

Çekiş motoru

Tip: AC indüksiyonlu PMSM, hava soğutmalı

Güç: 111 kW

Tork: 370 Nm

Jeneratör

Tip: Doğru akımlı PMSM, sıvı soğutmalı

Güç: 55 kW

Batarya[15]

Tip: Lityum-iyon

Toplam hücre sayısı: 288

Nominal hücre voltajı: 3.7 V

Nominal sistem voltajı: 355.2 V

Toplam sistem kapasitesi: 45 Ah

Toplam sistem enerjisi: 16.5 kWh

Maksimum hücre şarj voltajı: 4.15 V

Minimum hücre deşarj voltajı: 3.00 V

Isı kontrolü: aktif sıvı soğutması

2.2.1.5 Chevrolet Volt sürüş modları

Chevrolet Volt'un temel olarak iki sürüş modu bulunmaktadır:

- Bataryadan sağlanan enerjiyle tam elektrikli sürüş (şarjın azaldığı durum)
- Bataryanın ve içten yanmalı motorun birlikte çalışarak, çekiş motoruna güç verdiği menzil arttırıcı extended-range modu

Her iki temel sürüş modu da iki farklı şekilde çalışma sağlayarak toplam dört adet farklı sürüş tarzına göre çalışmaktadırlar.

Mod 1: Düşük hızda elektrikli sürüş (benzin motoru kapalı)

Bu durumda, C1 kavraması, çember dişliyi kitler. C2 ve C3 kavramaları açık durumdadır. Bu yüzden, jeneratör motoru, hem benzin motorundan, hem de planet dişliden ayrılmış durumdadır. Çekişi sağlayan büyük elektrik motoru, güneş dişliye bağlı olduğundan, planet dişliler de çekiş motoruyla birlikte dönmektedirler. Planet taşıyıcı da son dişli takımına bağlı olduğundan, çekiş motoru aracı ilerletmektedir. Jeneratör motoru ve benzin motoru, bu durumda çalışmamaktadır.

Bu durumda, aracın tüm gücü, elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Bu motor, bu konfigürasyonla 111 kW (149 hp) güç ve 370 Nm tork üretmektedir.

Mod 2: Yüksek hızda elektrikli sürüş (benzin motoru kapalı)

Taşıt hızı arttıkça, motor hızı ve kayıplar da artmaktadır. İki elektrik motorunun da devrede olması ve verimliliği yükseltmek adına, C1 kavraması açık durumda, çember dişlinin dönmesine izin vermektedir. Aynı anda, C2 kavraması kapalı tutularak, çember dişli ile jeneratör motoru bağlanmaktadır. Bu durumda, invertörden jeneratöre akım beslenerek, bir güç verici motoru şeklinde çalıştırılır. C3 kavraması açık olduğundan, benzin motoru devre dışı durumdadır.

Bu modda, iki elektrik motoru da çalışmakta ve çekiş motorunun hızı daha düşük tutularak istenen tork sağlanabilmektedir. Çekiş motorunun hızı, tek motorun çalıştığı birinci durumda 6000 d/d iken, bu modda 3250 d/d'ya düşürülmüştür.

Bu çalışma stratejisi ile, aracın, sadece elektrikle kat edebildiği mesafe uzatılmıştır. Ne var ki, düşük hızdaki elektrikli sürüşten, mevzubahis olan moda geçiş kavramaların simültane olarak ayarlanabilmesiyle mümkün olmaktadır.

Mod 3: Düşük hızda menzil arttırıcı ile sürüş (benzin motoru açık)

Volt'un bataryası, önceden belirlenmiş bir SOC seviyesinin altına düştüğünde, C1 kavraması kapatılarak, çember dişli kilitlenir. Aynı anda, C2 kavraması açılır ve jeneratör motor, çember dişliden ayrılır. Bu esnada, C3 kavraması kapatılır ve jeneratör ile benzin motoru bağlanmış olur. Böylece, benzin motorunun, jeneratör olarak görev yapması mümkün olur.

Düşük hızlarda, çekiş motoru aracı ilerletmektedir. Jeneratör olarak görev yapan benzin motoru, bataryanın istenen SOC seviyesinde kalması için yeterli gücü üreteceğinden, araç, harici bir elektrik kaynağından şarj edilene dek ilerleyebilmektedir.

Mod 4: Yüksek hızlarda menzil arttırıcı ile sürüş

İki motorlu çalışma sistemi de, menzil arttırıcı ile sürüşe adapte edilmiştir. Bu modda, C1 kavraması açılarak, diğer iki kavrama kapatılır. Bu sayede iki elektrik motoru da ilerletici güç sağlarken, benzin motoru da jeneratör olarak çalışarak, bataryayı şarj etmektedir. Sistemdeki toplam güç, planet dişli vasıtasıyla, son dişli oranına aktarılmaktadır.[16]

Bu mod sayesinde, tek motorlu çalışmaya göre %10-15 verim artışı mümkün olmaktadır. İçten yanmalı motorun çalışması ve tork üretmesi için her iki elektrik motoru da çalışır durumda olmak zorundadır. Bu durumda, jeneratör motor elektrik üretmeye ve dişli takımı vasıtasıyla tork iletmeye devam etmektedir.

3. ARAÇLARIN AVL CRUISE PROGRAMINDA MODELLENMESİ

3.1 AVL Cruise Programı

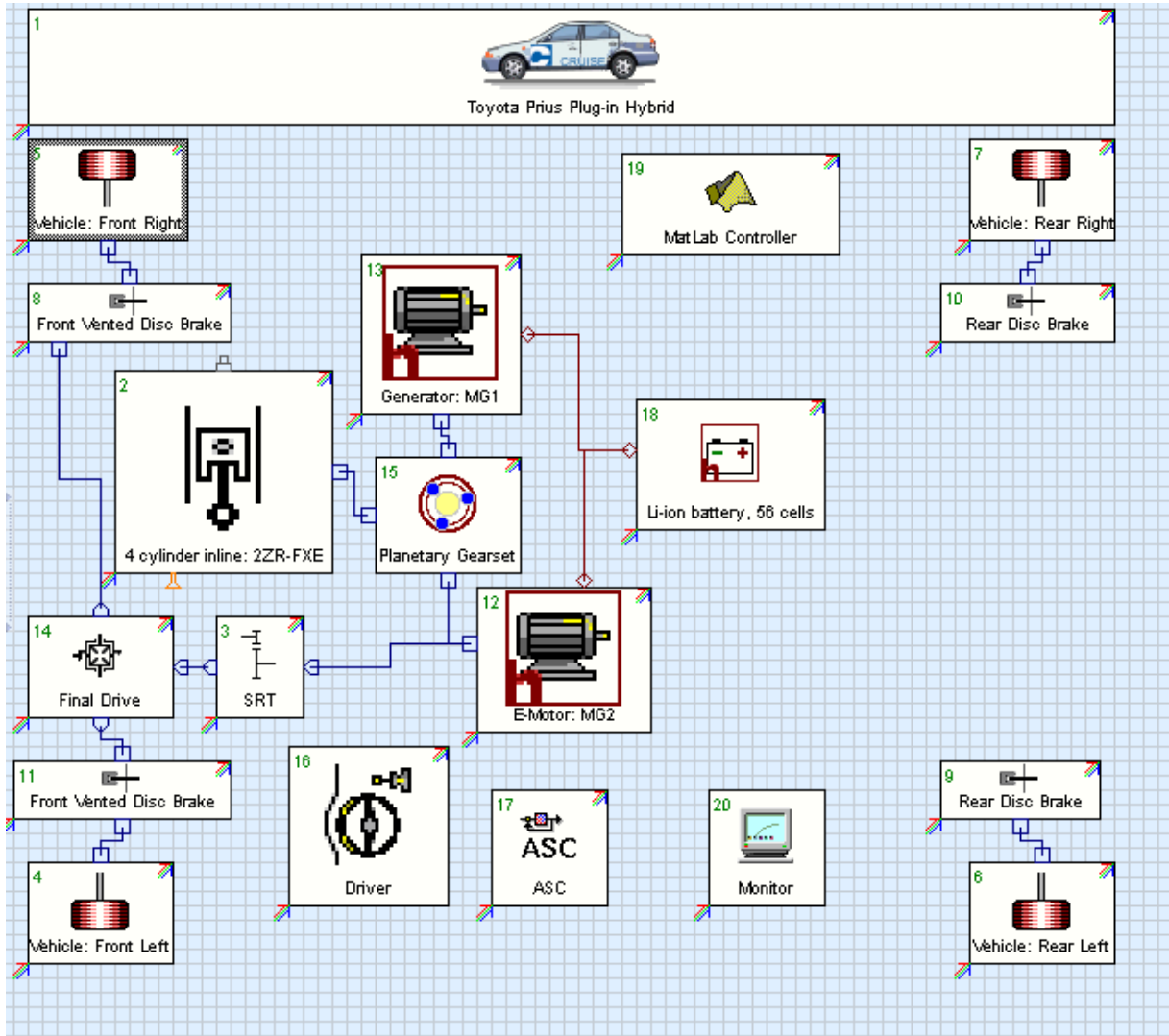
AVL Cruise programı, bir taşıtın günlük kullanımda karşılaşılabileceği durumların veya bazı belli sürüş tarzlarının analiz edilebileceği bir bilgisayar simülasyon programıdır. Program dahilinde, konvansiyonel taşıtlar analiz edilebileceği gibi, tezimize konu olan hibrit yapılı veya tam elektrikli tahriğe sahip araçların modellenmesi ve analizi için uygundur.

Aracın çalışma şeması ve tahrik düzeni, modüllerin uygun şekilde bağlanması ve koordine edilmesi sonucu oluşturulabilmekte ve bu modelleme üzerinden, istenen şartlar için analizler yapmak mümkündür. Modüller arası veri akışı da program dahilinde sağlanabilmekte, istenen bazı fonksiyonların kontrolleri de gerçekleştirilebilmektedir.[17]

Tezimize konu olan her iki araç da programın kapasitesi ve eldeki veriler paralelinde gerçeğe mümkün mertebe uygun olarak modellenmiş ve Avrupa Birliği'nin New European Driving Cycle (NEDC) sürüş çevriminde koşturulmuştur. Bu sayede, amacımız olan plug-in hibrit sistemi ile menzil arttırıcılı elektrikli otomobil konseptlerinin çeşitli alanlarda karşılaştırılması mümkün olmuştur.

3.2 Toyota Prius Plug-in Hybrid Modellenmesi

Tezimizde plug-in hibrit konseptinin temsilcisi olarak seçilmiş olan Prius Plug-in Hybrid, AVL Cruise programında modellenmiştir. Uygun komponentlerin, Taşıt Modelleyicisi şablonunda koordine edilmiş şekli aşağıdaki şekildedir:



Şekil 3.1 : Toyota Prius Plug-in Cruise modeli

Modellemede taşıt, sürücüyü tanımlayan kokpit, kayma kontrolü ve sonuçlar hesaplanırken kullanıcıya gösterme görevine sahip monitör gibi temel modüller yerleştirilip, taşıtın 4 adet tekerleği ve her tekerlek için frenler oluşturulduktan sonra aracın aslına sadık kalınmasına özen gösterilerek, tahrik sistemi oluşturulmuştur. Bataryadan alınan enerji iki adet elektrik motorunu beslemekte, bu iki motorun ve içten yanmalı motorun çalışması, planet dişli vasıtasıyla birbirlerine koordine edilerek, elde edilen güç tek oranlı dişliden ön aksta bulunan diferansiyele iletilmekte, bu sayede ön tekerlekler tahrik edilmektedir. Modüller arası veri transferleri, program dahilinde bulunan Data Bus aracılığıyla yapılmış olup, aracın çalışma modları, fonksiyonları ve modüllerin birbirleriyle ve genel modelle olan koordinasyonu Matlab kontrolü tarafından sağlanmıştır.

Aracın aslında olan bazı komponentler, modelin basitliği ve elde edilebilen veriler doğrultusunda Cruise modelinin dışında bırakılmışlardır. Burada dikkat edilen nokta, modelin mümkün mertebe gerçek aracın çalışma prensibine uygun olarak tasarlanması ve gerçek koşullara yakın bir çalışma sonucu mümkün olan gerçeğe en yakın doğrulukta sonuçların elde edilebilmesi olmuştur.

3.2.1 Modeldeki modüllerin oluşturulması

Taşıt

Modül ismi: Toyota Prius Plug-in Hybrid

Modül özellikleri:

Ön aks yükü: limitli

Sürüş direnci: fiziksel

Rüzgar direnci hesaplanması: Ön yüzey alanı & aerodinamik katsayı (önceden belirlenmiş)

Aerodinamik katsayılar: Sabit aerodinamik katsayı

Hava kaldırma kuvveti: hesaba katılmış

Modül verileri:

Yakıt deposu hacmi: 0,045 m³

Benzin motoru ile çevre arası basınç farkı: 0,0 mbar

Römork çubuğundan ön aksa olan mesafe: 3760 mm

Dingil mesafesi: 2700 mm

Benzin motoru ile çevre arası sıcaklık farkı: 0,0 K

Test cihazındaki destek noktasının yüksekliği: 100mm

Kütle merkezi mesafesi: 1566 mm

Kütle merkezi yüksekliği: 580 mm

Römork demiri yüksekliği: 400mm

Ön aks lastik hava basıncı: 2,4 bar

Arka aks lastik hava basıncı: 2,3 bar

Boş ağırlık: 1514 kg

İzin verilen maksimum ağırlık: 1840 kg

Ön yüzey alanı: 2,14 m²

Aerodinamik katsayı: 0,25

Ön aks hava kaldırma katsayısı: 0,032

Arka aks hava kaldırma katsayısı: 0,01

Tek oranlı dişli takimi

Modül özellikleri:

Hesaplama: Dişli oranına göre

Kayıplar: Verim

Modül verileri:

Şanzıman oranı: 3,267

Giriş eylemsizlik momenti: 0,0015 kg x m²

Çıkış eylemsizlik momenti: 0,0015 kg x m²

Verim: 0,96

Diferansiyel

Modül ismi: Final Drive (Son dişli)

Modül özellikleri:

Kayıplar: Verim

Modül verileri:

Diferansiyel kilidi: kilitsiz

Tork ayrılma faktörü: 1

Giriş eylemsizlik momenti: 3,3 x 10e-4 kg x m²

Çıkış eylemsizlik momenti 1: 3,3 x 10e-4 kg x m²

Çıkış eylemsizlik momenti 2: 3,3 x 10e-4 kg x m²

Verim: 0,96

Planet dişli kutusu

Modül özellikleri:

Veri girişi: Çevrim oranı

Kayıplar: verim

Modül verileri:

Kilit: kilitsiz

Çevrim oranı: 2,6

Planet taşıyıcı eylemsizlik momenti: $0,0015 \text{ kg} \times \text{m}^2$

Güneş dişli eylemsizlik momenti: $0,0015 \text{ kg} \times \text{m}^2$

Çember dişli eylemsizlik momenti: $0,0015 \text{ kg} \times \text{m}^2$

Verim: 0,96

İçten yanmalı motor

Modül ismi: 4 cylinder inline (sıralı 4 silindirli) : 2ZR-FXE

Modül özellikleri:

Hesaplama: Performans ve Tüketim için

Rölantideki tüketim: Motor eğrisinden

Motor sürtünme kayıpları tüketimi: Sürtünme kayıpları eğrisinden

Rölanti devri: Sabit değer

Maksimum devir: Sabit değer

Kontrol değişkeni: Yük sinyali

Modül verileri:

Motor tipi: benzinli

Aşırı doldurma: yok

Motor hacmi: 1798 cm^3

Motor çalışma sıcaklığı: 100 C

Silindir sayısı: 4

Zaman sayısı: 4

Rölanti devri: 950 d/d

Maksimum devir: 5200 d/d

Eylemsizlik momenti: 0,18 kg x m²

Tepki süresi: 0,2 s

Yakıt: benzin

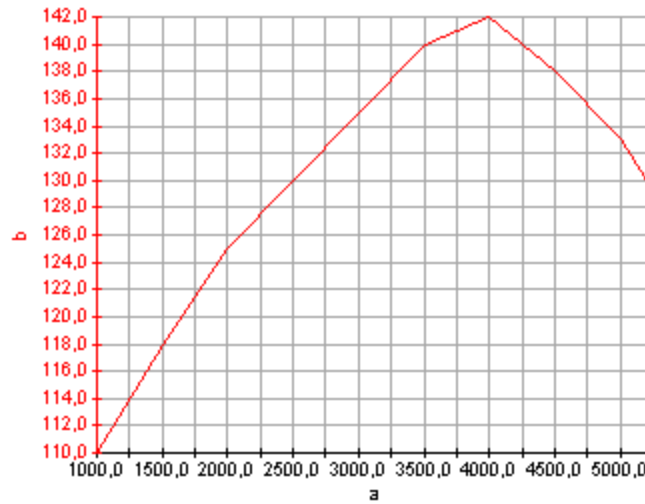
Yakıt özgül ısısı: 44750 kJ/kg

Yakıt yoğunluğu: 0,74 kg/l

Tam gaz karakteristiği:

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]

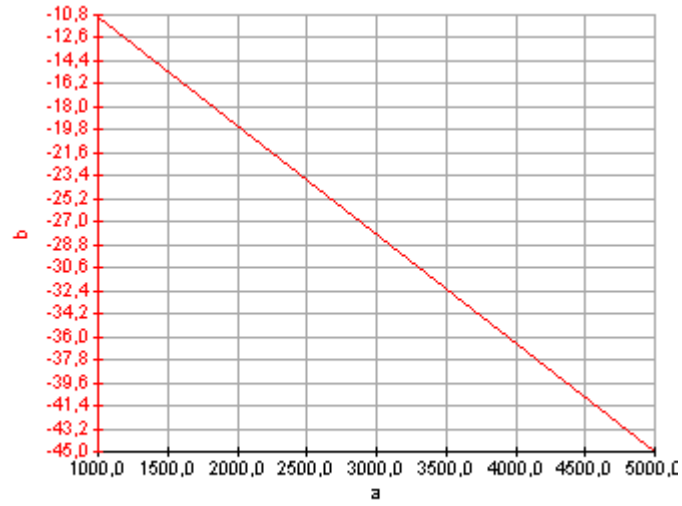


Şekil 3.2 : Prius benzin motoru tork-hız grafiği[Ek A]

Sürtünme kayıpları eğrisi:

a: Motor devri [1/dakika]

b: Tork [Nm]



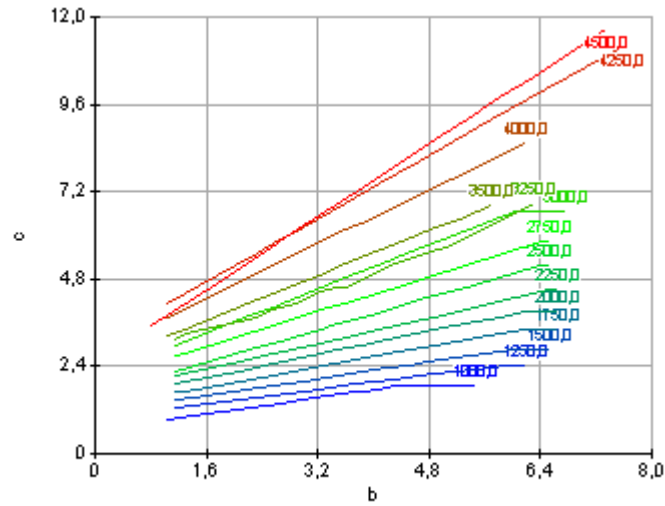
Şekil 3.3 : Prius benzin motoru iç sürtünme kayıpları-hız grafiği

Motor Eğrileri: Yakıt tüketimi

a: Motor devri [1/dak]

b: Ortalama efektif basınç [bar]

c: Yakıt akışı [kg/h]



Şekil 3.4 : Prius benzin motoru verim grafiği

Elektrik motoru: MG2

Modül ismi: MG2

Modül özellikleri:

Kayıplar: verim

Sıcaklık: hesaplanmış

Akım limiti: açık

Hız limitleyici: kapalı

Kontrol değişkeni: yük sinyali

Modül verileri:

Makine tipi: permanent magnet senkronize motor PSM

Karakteristik eğriler: motor çalışma şekline göre

Nominal voltaj: 207 V

Maksimum devir: 6000 d/d

Eylemsizlik momenti: $0,04 \text{ kg} \times \text{m}^2$

Maksimum hızda sürüklenme momenti (düşük hızlarda manyetik histerisiz kaynaklı)
: -10Nm

Motor durumunda maksimum akım: 120 A

Jeneratör durumunda maksimum akım: 300 A

Makine ağırlığı: 40 kg

Başlangıç sıcaklığı: 70 C

Özgül ısı geçişi: 2250 W/K

Maksimum gücün ısı sabiti: 1s (Motorun maksimum güçte çalışabileceği süre, bu sürede sıcaklık artmamalıdır.)

Maksimum sıcaklık: 95 C

Özgül ısı kapasitesi: 430 J/kgK

En yüksek verimin olduğu sıcaklık: 70C

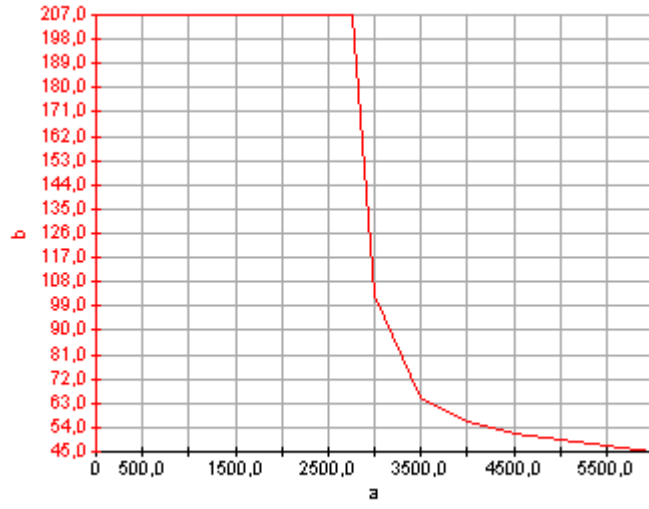
Artık indüksiyon sıcaklık katsayısı: -0,002 1/K

Motorun karakteristik eğrileri: U=288 V için

Motor tork karakteristiği

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]



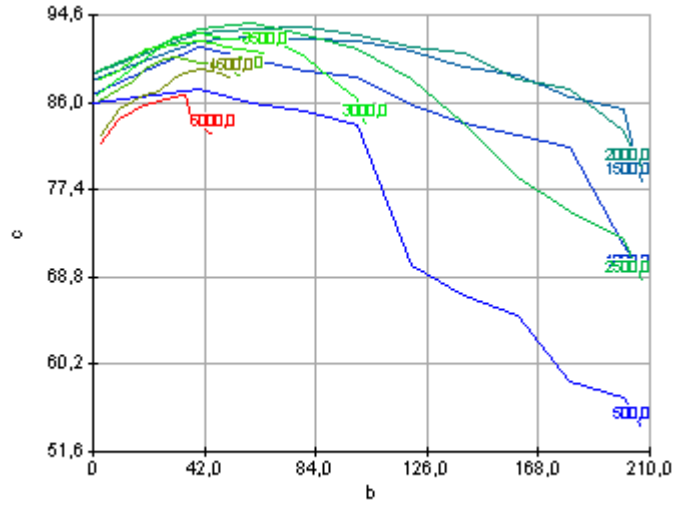
Şekil 3.5 : Prius MG2 tork grafiği[Ek A]

Motor verimi eğrileri

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]

c: verim [%]



Şekil 3.6 : Prius MG2 verim grafiği

Elektrik motoru:MG1

Modül ismi: Generator: MG1

Modül özellikleri:

Kayıplar: verim

Sıcaklık: hesaplanmış

Akım limiti: açık

Hız limitleyici: kapalı

Kontrol değişkeni: yük sinyali

Modül verileri:

Makine tipi: permanent magnet senkronize motor PSM

Karakteristik eğriler: motor ve jeneratör çalışma şekline göre

Nominal voltaj: 207 V

Maksimum devir: 8000 d/d

Eylemsizlik momenti: $0,0226 \text{ kg} \times \text{m}^2$

Maksimum hızda sürüklenme momenti (düşük hızlarda manyetik histerisiz kaynaklı)
: 0 Nm

Motor durumunda maksimum akım: 120 A

Jeneratör durumunda maksimum akım: 300 A

Makine ağırlığı: 32,7 kg

Başlangıç sıcaklığı: 70 C

Özgül ısı geçişi: 2250 W/K

Maksimum gücün ısı sabiti: 1 s (Motorun maksimum güçte çalışabileceği süre, bu sürede sıcaklık artmamalıdır.)

Maksimum sıcaklık: 95 C

Özgül ısı kapasitesi: 430 J/kgK

En yüksek verimin olduğu sıcaklık: 70 C

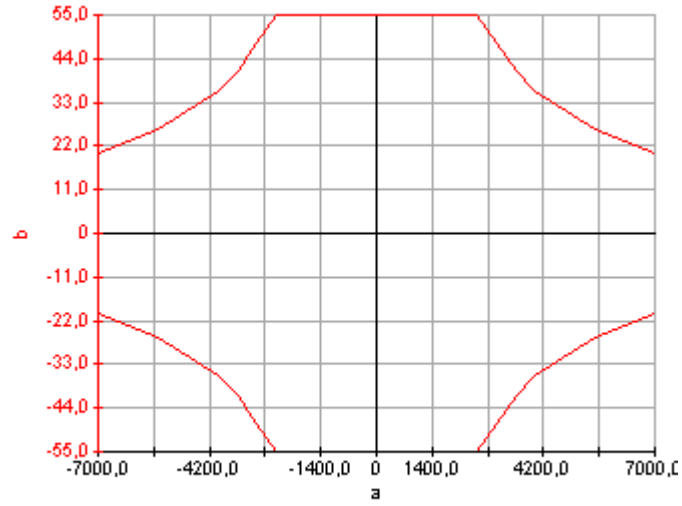
Artık indüksiyon sıcaklık katsayısı: -0,002 1/K

Motorun karakteristik eğrileri: U=288 V için

Motor tork karakteristiği

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]



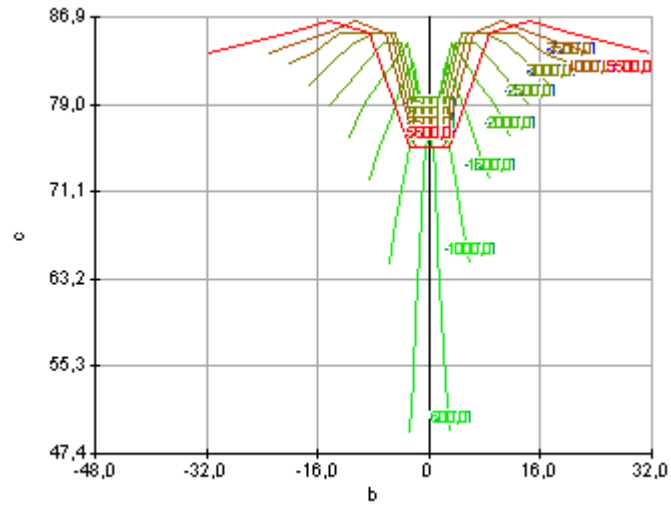
Şekil 3.7 : Prius MG1 tork grafiği[Ek A]

Motor verimi eğrileri

a: Motor devri [1/dak]

b: Güç [kW]

c: verim [%]



Şekil 3.8 : Prius MG1 verim grafiği

Batarya

Modül ismi: Li-ion battery, 56 cells (Li-ion batarya, 56 hücre)

Modül özellikleri:

Sıcaklık: hesaplanmış

Direnç: sabit

Modül verileri:

Maksimum şarj: 77400 As

Başlangıç şarj seviyesi: %80 (maksimum SOC), %40 (minimum SOC)

Nominal voltaj: 3,7 V

Maksimum voltaj: 4,15 V

Minimum voltaj: 3 V

Hücre sırası başına hücre sayısı: 56

Hücre sırası sayısı: 1

Çalışma sıcaklığı: 25 C

Hücre ağırlığı: 0,726 kg

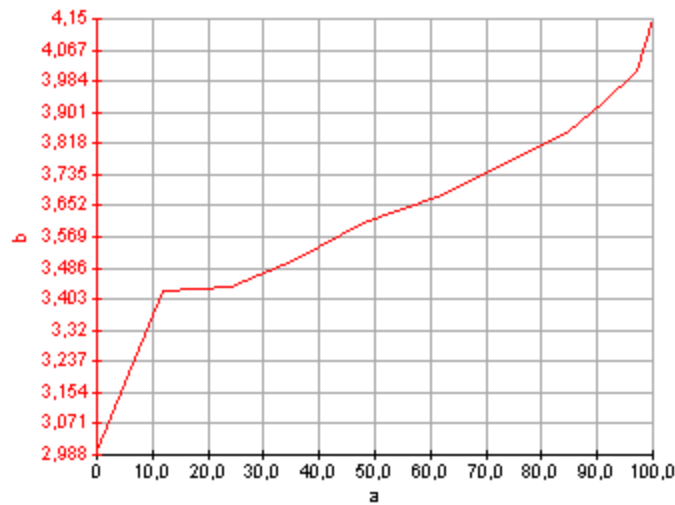
Özgül ısı geçişi: 0,83 W/K

Özgül ısı kapasitesi: 950 J/kgK

Rölantide voltajı – şarj:

a: Şarj seviyesi [%]

b: Voltaj [V]

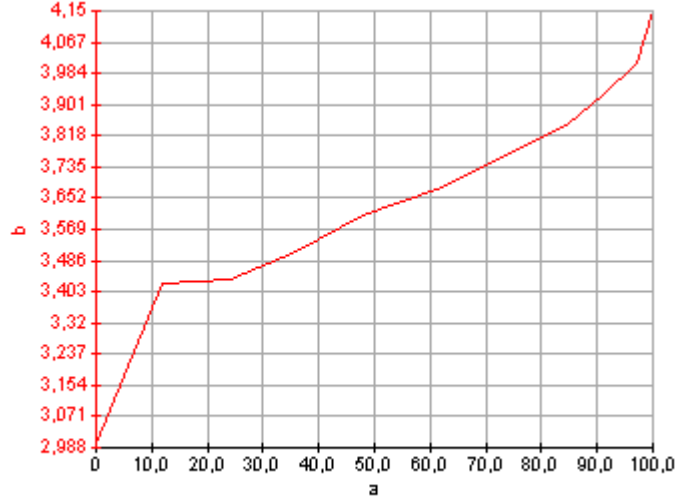


Şekil 3.9 : Prius batarya hücresi şarj karakteristiği

Rölantide voltajı – deşarj:

a: Şarj seviyesi [%]

b: Voltaj [V]



Şekil 3.10 : Prius batarya hücresi deşarj karakteristiğı

Direnç – şarj: 0,003 Ohm

Direnç – deşarj: 0,003 Ohm

Kayma kontrolü

Modül verileri:

Orantısal parametre: 1,0

Türevsel parametre: 0,0 s

Integral parametre: 1,0 1/s

Ön frenler

Modül ismi: Front Vented Disc Brake (Hava soğutmalı ön fren diski)

Modül özellikleri:

Mod: Dinamik

Kontrol değişkeni: Fren basıncı

Modül verileri:

Fren pistonu yüzey alanı: 1800 mm²

Sürtünme katsayısı: 0,25

Özgöl fren faktörü: 1

Efektif sürtünme yarıçapı: 127 mm

Verim: 0,995

Eylemsizlik momenti: 0,02 kg x m²

Arka frenler

Modül ismi: Rear Disc Brake (Arka fren diski)

Modül özellikleri:

Mod: Dinamik

Kontrol değişkeni: Fren basıncı

Modül verileri:

Fren pistonu yüzey alanı: 1800 mm²

Sürtünme katsayısı: 0,25

Özgöl fren faktörü: 1

Efektif sürtünme yarıçapı: 129,5 mm

Verim: 0,99

Eylemsizlik momenti: 0,02 kg x m²

Kokpit

Modül ismi: Driver (sürücü)

Modül özellikleri:

Gaz pedalı seçimi: eğriden

Modül verileri:

Vites değişimi: otomatik

Vites sayısı: İleri: 1, Geri: 0

Maksimum fren gücü: 100N

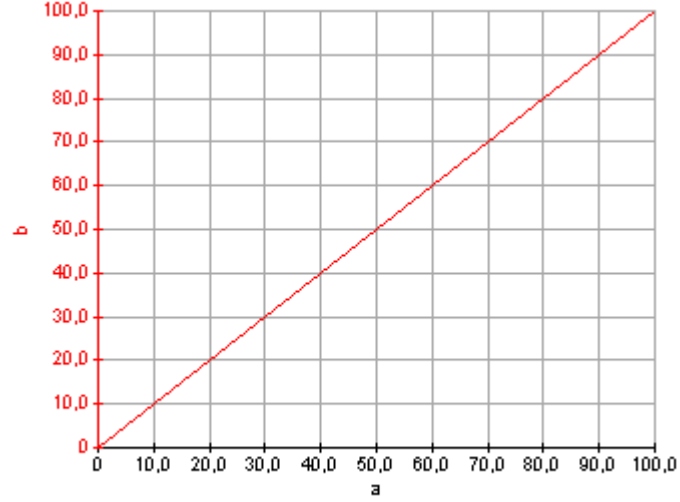
Retarder adım sayısı: 0

Fren ışığı açılma sınırı: 1,0%

Gaz pedalı karakteristiği:

a: Gaz pedalı hareket mesafesi [%]

b: Yük sinyali [%]

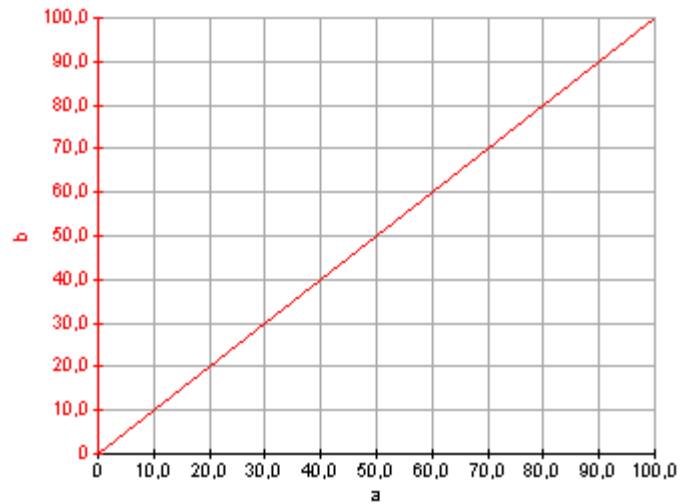


Şekil 3.11 : Prius gaz pedalı karakteristiği

Fren pedalı karakteristiği:

a: Özgül fren pedalı gücü [%]

b: Fren basıncı [bar]



Şekil 3.12 : Prius fren pedalı karakteristiği

Tekerlekler

Modül ismi: Ön sağ, Ön sol, Arka sağ, Arka sol

Modül özellikleri:

Dinamik yuvarlanma yarıçapı: sabit değer

Kayma: Limitli fonksiyon

Yuvarlanma direnci modeli: standart

Tekerlek yeri: Taşıt: ön sağ, Taşıt: ön sol, Taşıt: arka sağ, Taşıt: arka sol

Modül verileri:

Eylemsizlik momenti: $0,652 \text{ kg} \times \text{m}^2$

Lastik sürtünme katsayısı: 1

Referans tekerlek yükü: 5800 N

Tekerlek yükü düzeltme katsayısı: 0,02

Statik yuvarlanma yarıçapı: 289 mm

Statik yuvarlanma çevresi: 1815,84 mm

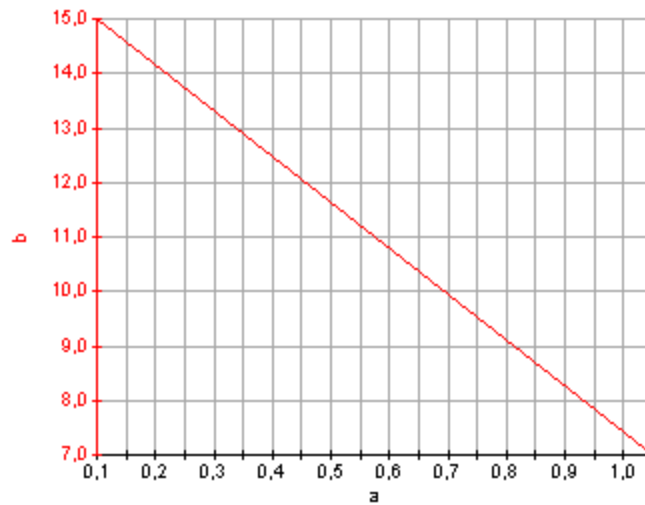
Dinamik yuvarlanma yarıçapı: 308 mm

Dinamik yuvarlanma çevresi: 1935,22 mm

Kayma karakteristiğinde maksimum:

a: Yolun sürtünme katsayısı [-]

b: Maksimum çekişte kayma [-]

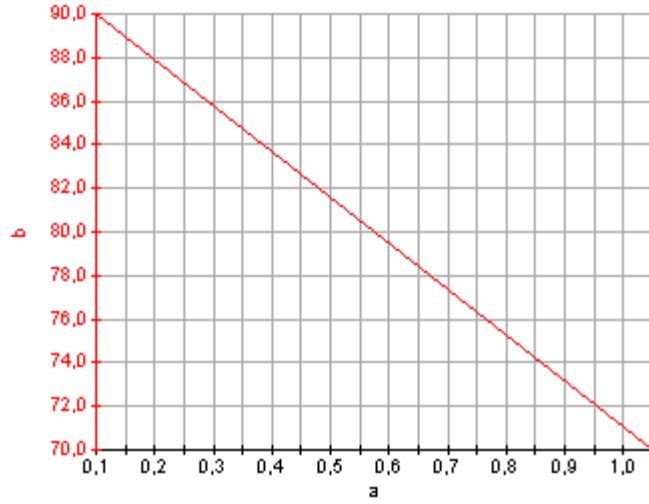


Şekil 3.13 : Prius tekerleklerde kayma karakteristiği

Kayma karakteristiğinin asimptotu:

a: Yolun sürtünme katsayısı [-]

b: Sonsuz kayma durumunda özgül çekiş [-]



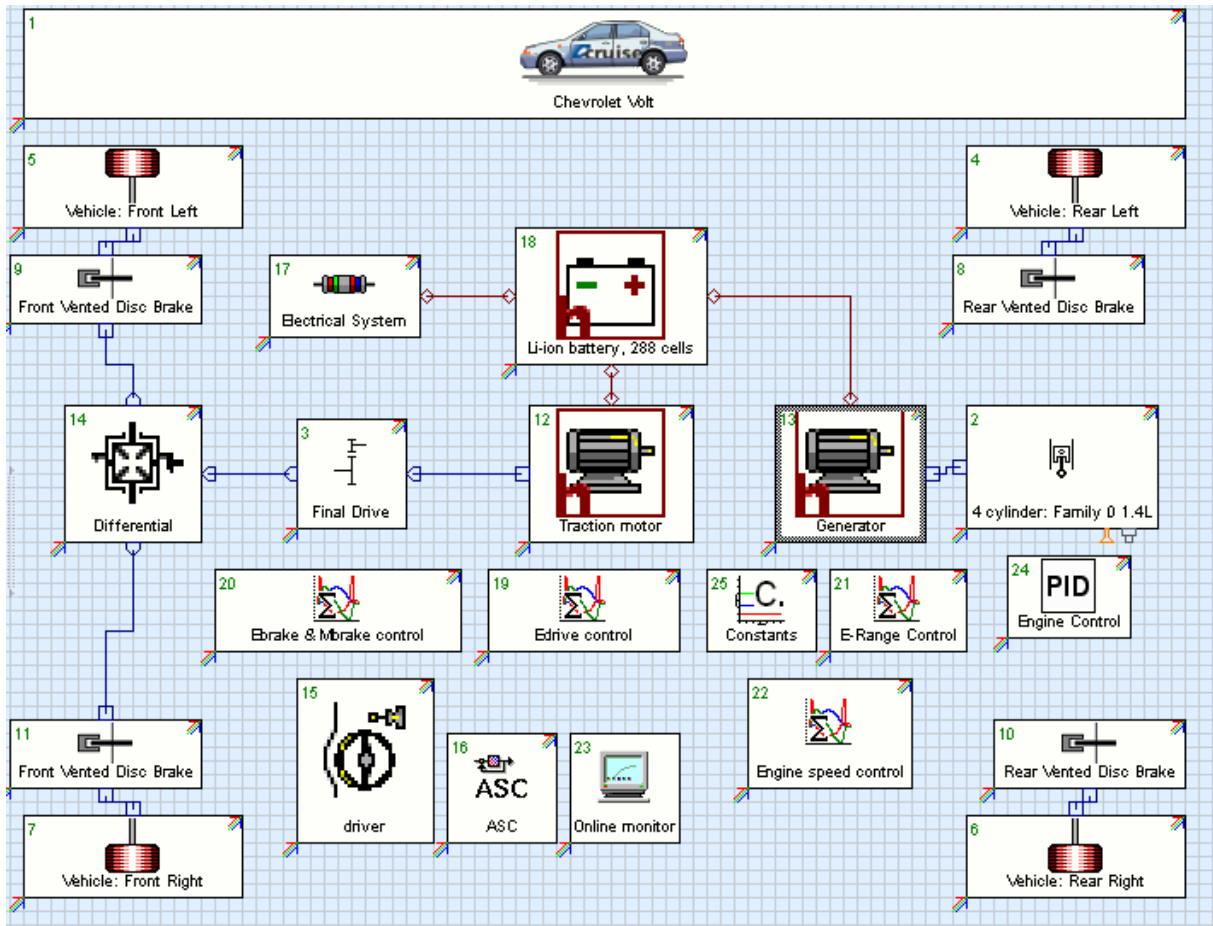
Şekil 3.14 : Prius tekerleklerde kayma karakteristiğinin asimptotu

Matlab kontrolü

Model içine yerleştirilmiş bulunan Matlab DLL kontrolü sayesinde, araç modeli içindeki komponentlerin çalışması düzenlenmektedir. İçten yanmalı motorun, elektrik motorlarının çalışma modları, fren enerjisi geri kazanımı, bataryanın şarj edilmesi gibi spesifik durumlar bu program vasıtasıyla düzenlenmiştir. [7][9][11][13][18][19]

3.3 Chevrolet Volt Modellenmesi

Tezimizde menzil arttırıcı elektrikli otomobil konseptinin temsilcisi olarak seçilmiş olan Chevrolet Volt da, AVL Cruise programında modellenmiştir. Uygun komponentlerin, Taşıt Modelleyicisi şablonunda koordine edilmiş şekli aşağıdaki şekildedir:



Modellemede taşıt, sürücüyü tanımlayan kokpit, kayma kontrolü ve sonuçlar hesaplanırken kullanıcıya gösterme görevine sahip monitör gibi temel modüller yerleştirilip, taşıtın 4 adet tekerleği ve her tekerlek için frenler oluşturulduktan sonra aracın aslına sadık kalınmasına özen gösterilerek, tahrik sistemi oluşturulmuştur. Menzil arttırıcı elektrikli otomobil konseptine sadık kalınarak, içten yanmalı motor ile jeneratör arası bağlantı yapılırken, sistemin basitliği ve eldeki verilerin uygunluğu dikkate alınarak, tekerleklerle güç sadece çekiş motoru üzerinden iletilmiştir. Aracın ürettiği maksimum güç de bu motorun maksimum gücüne eşit olduğundan performans açısından gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilmiştir. Bu sayede, kontrolleri oldukça karmaşık ve simülasyon programı dahilinde son derece zahmetli olan planet dişli ve kavramaların zamanlaması gibi konular basite indirgenerek, menzil arttırıcı araç konseptinin temel prensibine sadık kalmak amaçlanmıştır.

Araç tahrik sistemindeki, bazı kritik noktaların, üretici firma tarafından adeta birer sır olarak saklanması, tezimizin süresi ve kapsamı da düşünüldüğünde, bu tarz bir basitleştirme uygun görülmüştür. Aracın modellenmesinde, bazı diğer noktalarda da, ilerleyen bölümlerde açıklanacağı üzere bazı basitleştirmelere gitmek zorunlu bir hal almıştır. Bu tip durumlarda, aracın eldeki verilerine ve ana çalışma prensibine mümkün mertebe sadık kalınmaya çalışılarak, gerçeğe en yakın sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır ve buna paralel bir çözüm yolu izlenmiştir. Bu sayede, menzil arttırıcılı elektrikli otomobilin modellenmesi mümkün olmuştur.

3.3.1 Modeldeki modüllerin oluşturulması

Taşıt

Modül ismi: Chevrolet Volt

Modül özellikleri:

Ön aks yükü: limitli

Sürüş direnci: fiziksel

Rüzgar direnci hesaplanması: Ön yüzey alanı & aerodinamik katsayı (önceden belirlenmiş)

Aerodinamik katsayılar: Sabit aerodinamik katsayı

Hava kaldırma kuvveti: hesaba katılmış

Modül verileri:

Yakıt deposu hacmi: 0,035 m³

Benzin motoru ile çevre arası basınç farkı: 0,0 mbar

Römork çubuğundan ön aksa olan mesafe: 3771,5 mm

Dingil mesafesi: 2685 mm

Benzin motoru ile çevre arası sıcaklık farkı: 0,0 K

Test cihazındaki destek noktasının yüksekliği: 100 mm

Kütle merkezi mesafesi: 1637,85 mm

Kütle merkezi yüksekliği: 550 mm

Römork demiri yüksekliği: 400 mm

Ön aks lastik hava basıncı: 2,4 bar

Arka aks lastik hava basıncı: 2,4 bar

Boş ağırlık: 1744 kg

İzin verilen maksimum ağırlık: 2000 kg

Ön yüzey alanı: 2,14 m²

Aerodinamik katsayı: 0,28

Ön aks hava kaldırma katsayısı: 0,03

Arka aks hava kaldırma katsayısı: 0,01

Tek oranlı dişli takımı

Modül özellikleri:

Hesaplama: Dişli oranına göre

Kayıplar: Verim

Modül verileri:

Şanzıman oranı: 2,16

Giriş eylemsizlik momenti: 0,0015 kg x m²

Çıkış eylemsizlik momenti: 0,0015 kg x m²

Verim: 0,96

Diferansiyel

Modül özellikleri:

Kayıplar: Verim

Modül verileri:

Diferansiyel kilidi: kilitsiz

Tork ayrılma faktörü: 1

Giriş eylemsizlik momenti: 0,0015 kg x m²

Çıkış eylemsizlik momenti 1: 0,0015 kg x m²

Çıkış eylemsizlik momenti 2: 0,0015 kg x m²

Verim: 0,96

İçten yanmalı motor

Modül ismi: 4 cylinder: Family 0 1.4L (4 silindir: Family 0 1.4L)

Modül özellikleri:

Hesaplama: Performans ve Tüketim için

Rölantideki tüketim: Motor eğrisinden

Motor sürtünme kayıpları tüketimi: Sürtünme kayıpları eğrisinden

Rölanti devri: Sabit değer

Maksimum devir: Sabit değer

Kontrol değişkeni: Yük sinyali

Modül verileri:

Motor tipi: benzinli

Aşırı doldurma: yok

Motor hacmi: 1398 cm³

Motor çalışma sıcaklığı: 100 C

Silindir sayısı: 4

Zaman sayısı: 4

Rölanti devri: 950 d/d

Maksimum devir: 4800 d/d

Eylemsizlik momenti: 0,15 kg x m²

Tepki süresi: 0,1 s

Yakıt: benzin

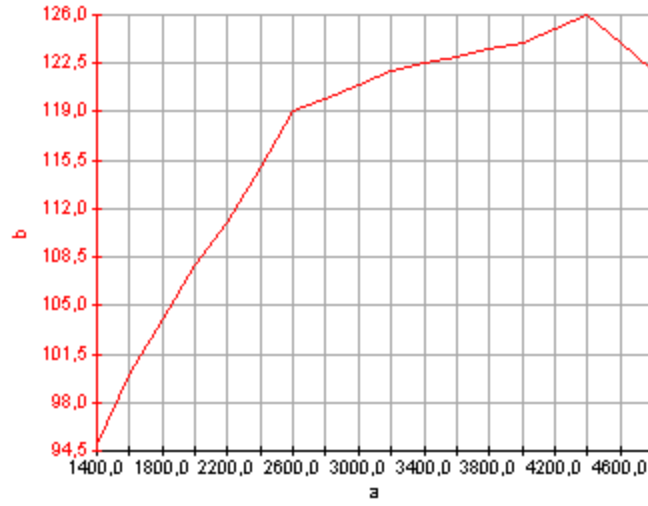
Yakıt özgül ısısı: 44750 kJ/kg

Yakıt yoğunluğu: 0,74 kg/l

Tam gaz karakteristiği:

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]

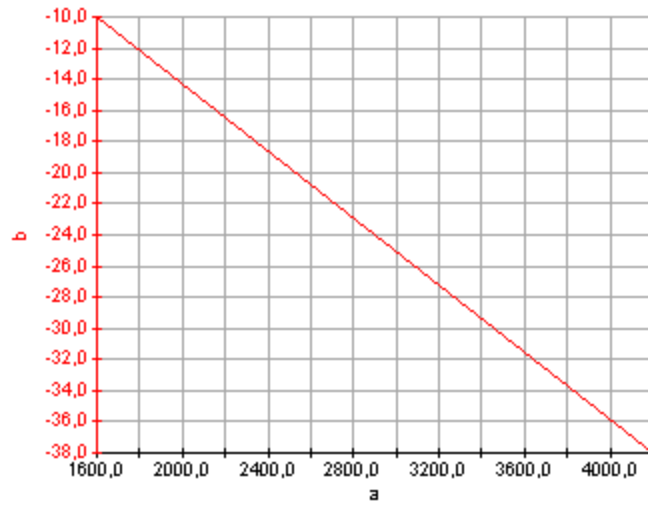


Şekil 3.16 : Volt benzin motoru tork-hız grafiği[Ek A]

Sürtünme kayıpları eğrisi:

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]



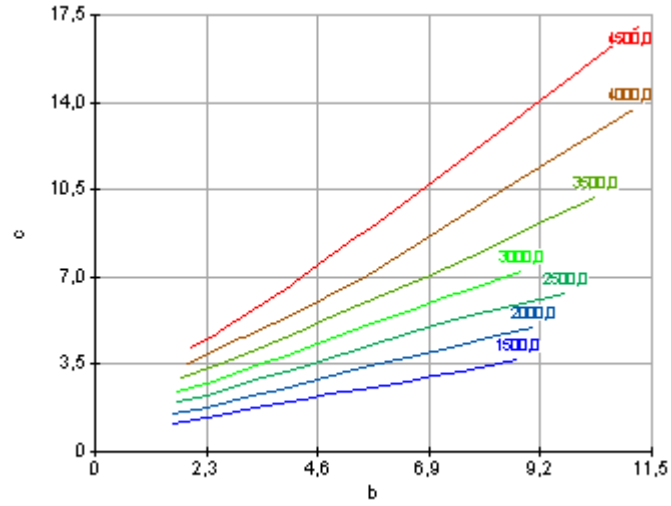
Şekil 3.17 : Volt benzin motoru iç sürtünme kayıpları-hız grafiği

Motor Eğrileri: Yakıt tüketimi

a: Motor devri [1/dak]

b: Ortalama efektif basınç [bar]

c: Yakıt akışı [kg/h]



Şekil 3.18 : Volt benzin motoru verim grafiği

Elektrik motoru: çekiş

Modül ismi: Traction motor (Çekiş motoru)

Modül özellikleri:

Kayıplar: verim

Sıcaklık: Databus verilerinden

Akım limiti: kapalı

Hız limitleyici: kapalı

Kontrol değişkeni: yük sinyali

Modül verileri:

Makine tipi: permanent magnet senkronize motor PSM

Karakteristik eğriler: motor ve jeneratör çalışma şekline göre

Nominal voltaj: 360V

Maksimum devir: 10000 d/d

Eylemsizlik momenti: 0,07 kg x m²

Maksimum hızda sürüklenme momenti (düşük hızlarda manyetik histerisiz kaynaklı)

: 0 Nm

Başlangıç sıcaklığı: 20 C

En yüksek verimin olduğu sıcaklık: 20 C

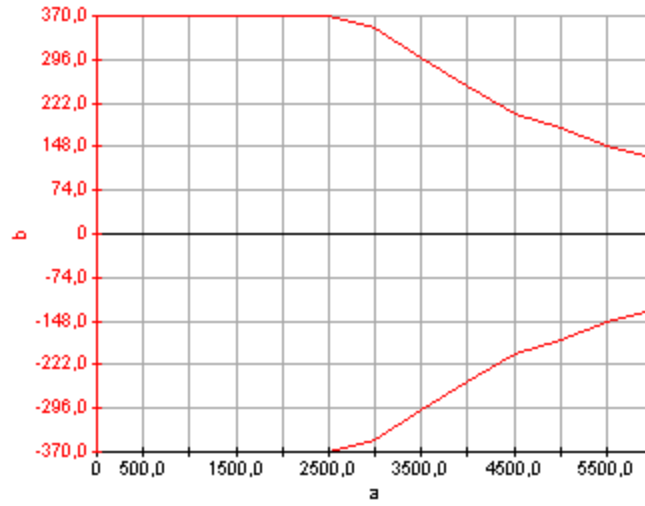
Artık indüksiyon sıcaklık katsayısı: -0,002 1/K

Motorun karakteristik eğrileri: U=100 V ve U=1000 V için

Motor tork karakteristiği

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]



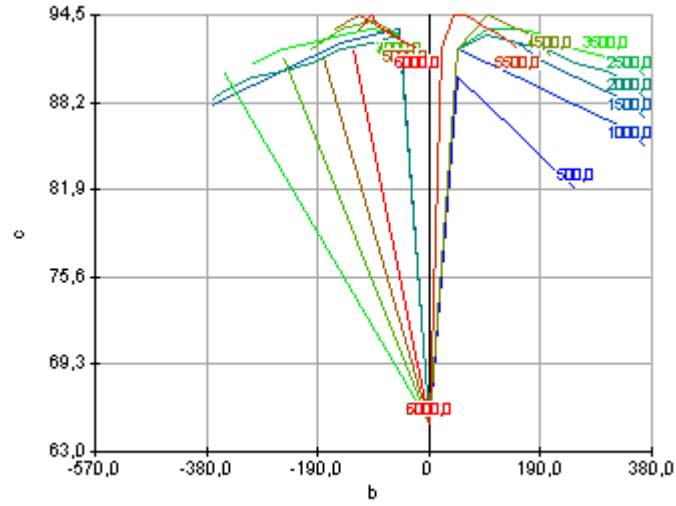
Şekil 3.19 : Volt çekiş motoru tork grafiği[Ek A]

Motor verimi eğrileri

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]

c: verim [%]



Şekil 3.20 : Volt çekiş motoru verim grafiği

Elektrik motoru: jeneratör

Modül ismi: Generator (Jeneratör)

Modül özellikleri:

Kayıplar: verim

Sıcaklık: Databus verilerinden

Akım limiti: kapalı

Hız limitleyici: kapalı

Kontrol değişkeni: yük sinyali

Modül verileri:

Makine tipi: permanent magnet senkronize motor PSM

Karakteristik eğriler: motor ve jeneratör çalışma şekline göre

Nominal voltaj: 320 V

Maksimum devir: 10000 d/d

Eylemsizlik momenti: 0,03 kg x m²

Maksimum hızda sürüklenme momenti (düşük hızlarda manyetik histerisiz kaynaklı)

: 0 Nm

Başlangıç sıcaklığı: 20 C

En yüksek verimin olduğu sıcaklık: 20 C

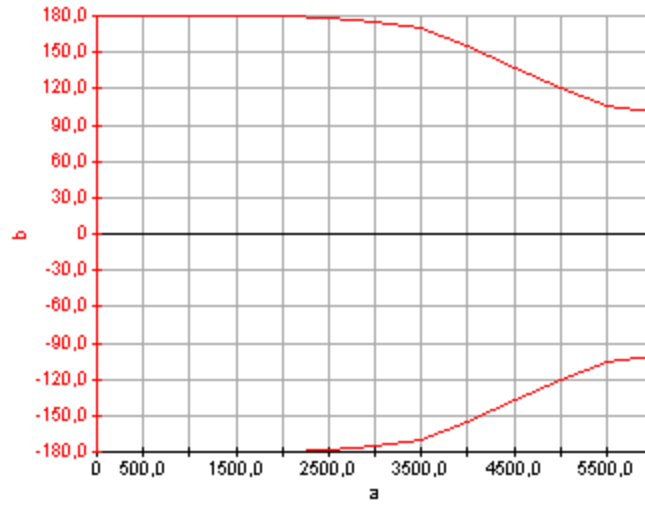
Artık indüksiyon sıcaklık katsayısı: $1,0e-5$ 1/K

Motorun karakteristik eğrileri: $U=100$ V

Motor tork karakteristiği

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]



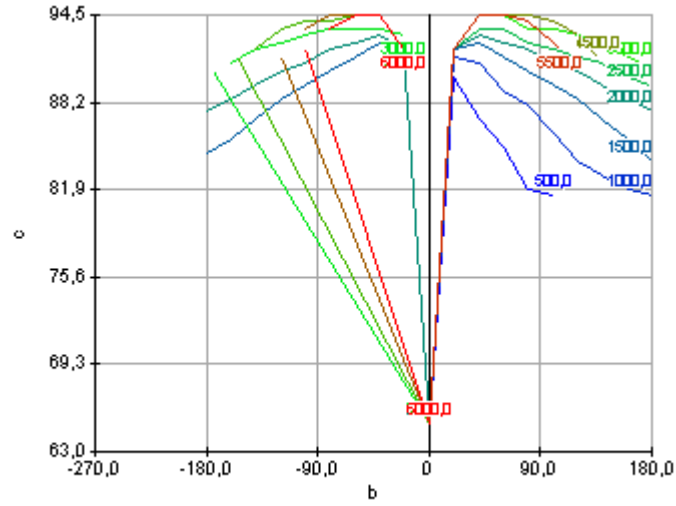
Şekil 3.21 : Volt jeneratör tork grafiği[Ek A]

Motor verimi eğrileri

a: Motor devri [1/dak]

b: Tork [Nm]

c: verim [%]



Şekil 3.22 : Volt jeneratör verim grafiği

Batarya

Modül ismi: Li-ion battery, 288 cells (Li-ion batarya, 288 hücre)

Modül özellikleri:

SOC referans ayarı

Sıcaklık: databus verilerinden

Direnç: sabit

Modül verileri:

Maksimum şarj: 15 Ah

Başlangıç şarj seviyesi: %80 (maksimum SOC), %30 (minimum SOC)

Nominal voltaj: 3,7 V

Maksimum voltaj: 4,15 V

Minimum voltaj: 3 V

Hücre sırası başına hücre sayısı: 96

Hücre sırası sayısı: 3

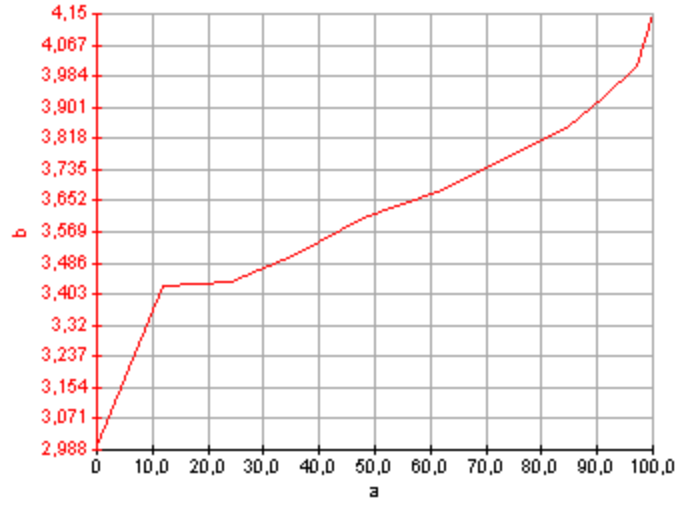
Çalışma sıcaklığı: 25 C

Hücre ağırlığı: 0,726 kg

Rölantide voltajı – şarj:

a: Şarj seviyesi [%]

b: Voltaj [V]

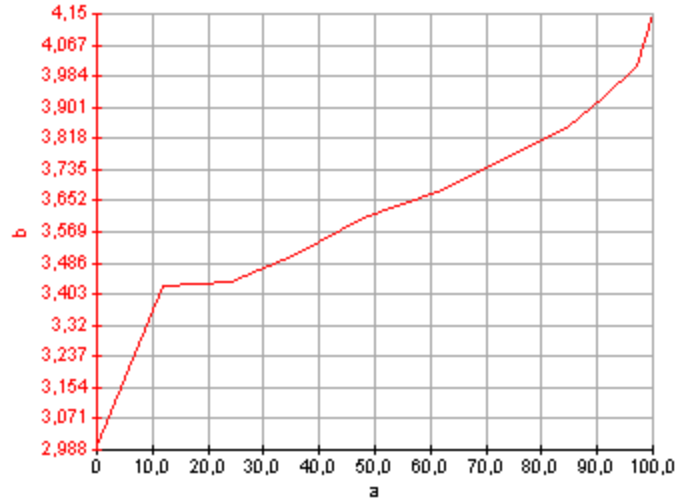


Şekil 3.23 : Volt batarya hücresi şarj karakteristiği

Rölantide voltajı –deşarj:

a: Şarj seviyesi [%]

b: Voltaj [V]



Şekil 3.24 : Volt batarya hücresideşarj karakteristiği

Direnç – şarj: 0,003 Ohm

Direnç –deşarj: 0,003 Ohm

Kayma kontrolü

Kayma kontrolü modülü (ASC), ihtiyaç duyduğu girdi verilerini, databus vasıtasıyla almaktadır.

Ön frenler

Modül ismi: Front Vented Disc Brake (Hava soğutmalı ön fren diski)

Modül özellikleri:

Mod: Dinamik

Kontrol değişkeni: Fren basıncı

Modül verileri:

Fren pistonu yüzey alanı: 1800 mm^2

Sürtünme katsayısı: 0,25

Özgül fren faktörü: 1

Efektif sürtünme yarıçapı: 149,9 mm

Verim: 0,995

Eylemsizlik momenti: $0,02 \text{ kg} \times \text{m}^2$

Arka frenler

Modül ismi: Rear Vented Disc Brake (Hava soğutmalı arka fren diski)

Modül özellikleri:

Mod: Dinamik

Kontrol değişkeni: Fren basıncı

Modül verileri:

Fren pistonu yüzey alanı: 1800 mm^2

Sürtünme katsayısı: 0,25

Özgül fren faktörü: 1

Efektif sürtünme yarıçapı: 146,1 mm

Verim: 0,995

Eylemsizlik momenti: $0,02 \text{ kg} \times \text{m}^2$

Kokpit

Modül ismi: Driver (sürücü)

Modül özellikleri:

Gaz pedalı seçimi: eğriden

Modül verileri:

Vites değişimi: otomatik

Vites sayısı: İleri: 1, Geri: 1

Maksimum fren gücü: 100 N

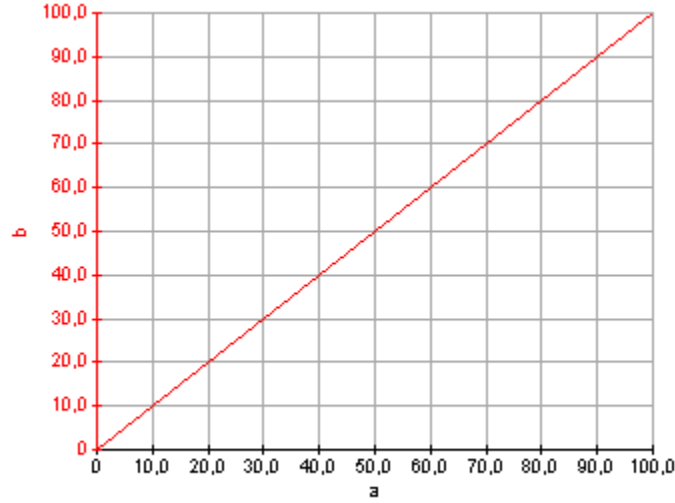
Retarder adım sayısı: 0

Fren ışığı açılma sınırı: 1,0 %

Gaz pedalı karakteristiği:

a: Gaz pedalı hareket mesafesi [%]

b: Yük sinyali [%]

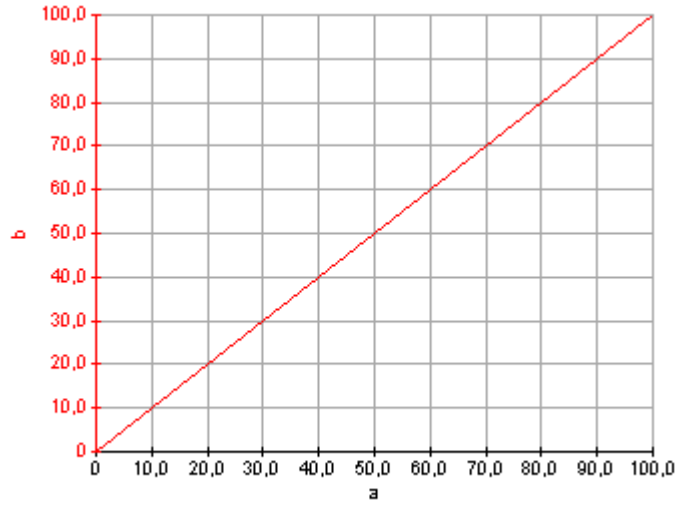


Şekil 3.25 : Volt gaz pedalı karakteristiği

Fren pedalı karakteristiği:

a: Özgül fren pedalı gücü [%]

b: Fren basıncı [bar]



Şekil 3.26 : Volt fren pedalı karakteristiği

Tekerlekler

Modül ismi: Ön sağ, Ön sol, Arka sağ, Arka sol

Modül özellikleri:

Dinamik yuvarlanma yarıçapı: sabit değer

Kayma: Limitli fonksiyon

Yuvarlanma direnci modeli: standart

Tekerlek yeri: Taşıt: ön sağ, Taşıt: ön sol, Taşıt: arka sağ, Taşıt: arka sol

Modül verileri:

Eylemsizlik momenti: $0,841\text{kg} \times \text{m}^2$

Lastik sürtünme katsayısı: 1

Referans tekerlek yükü: 7357,5N

Tekerlek yükü düzeltme katsayısı: 0,02

Statik yuvarlanma yarıçapı: 308 mm

Statik yuvarlanma çevresi: 1935,22 mm

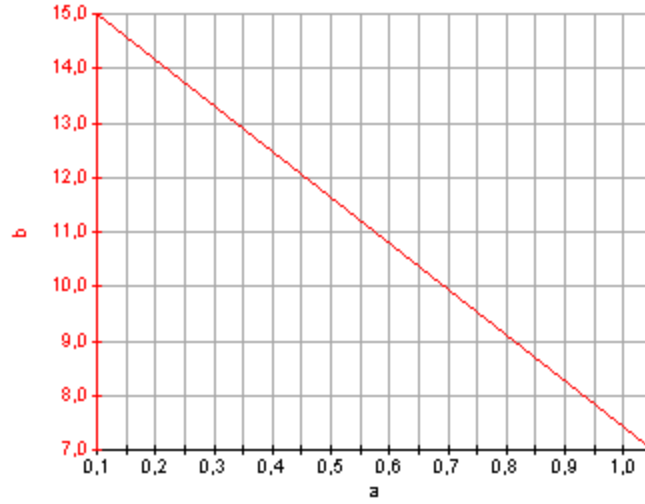
Dinamik yuvarlanma yarıçapı: 324 mm

Dinamik yuvarlanma çevresi: 2035,75 mm

Kayma karakteristiğinde maksimum:

a: Yolun sürtünme katsayısı [-]

b: Maksimum ekite kayma [-]

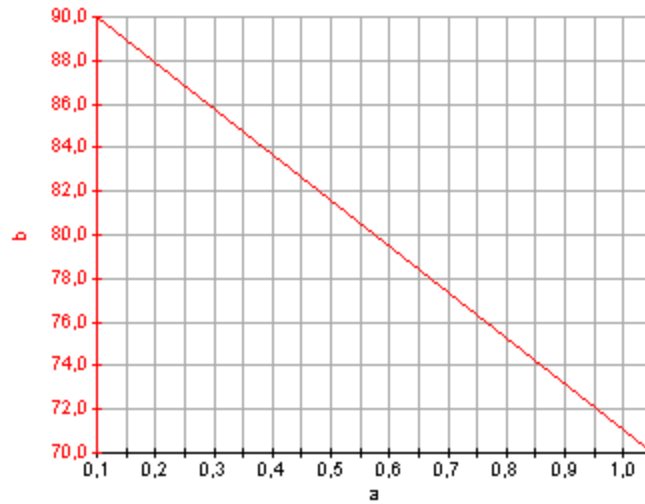


Şekil 3.27 : Volt tekerleklerde kayma karakteristiği

Kayma karakteristiğinin asimptotu:

a: Yolun sürtünme katsayısı [-]

b: Sonsuz kayma durumunda zgl eki [-]



Şekil 3.28 : Volt tekerleklerde kayma karakteristiğinin asimptotu

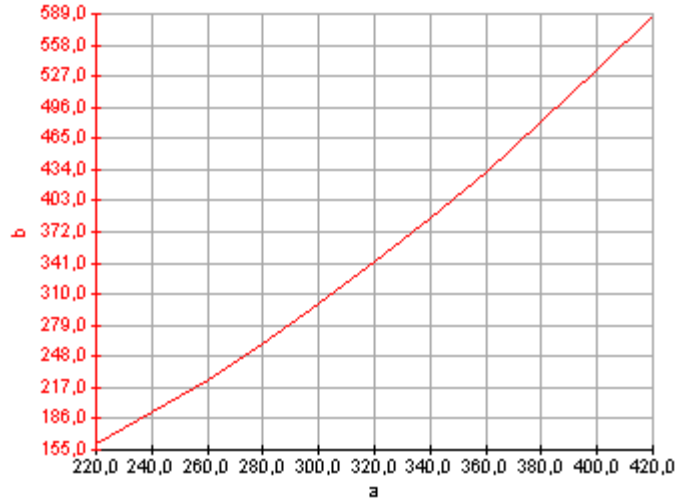
Elektrik direnci

Aracın tahrik sistemi içindeki güç kayıpları, bir elektrik harcamacı sistemle temsil edilmiştir. Bu modül bataryaya bağlanarak, güç kaybına neden olmaktadır.

Böylece menzil arttırıcı elektrikli araç konseptinde, güç kayıpları sembolize edilerek, doğru sonuçlar alınması amaçlanmıştır. Aşağıda bataryanın voltajına bağlı direnç değişimi gösterilmektedir.

a: Volt [V]

b: Direnç [ohm]



Şekil 3.29 : Volt elektrik harcamayı direnç karakteristiği

Fren enerjisi geri kazanımı için C fonksiyonları

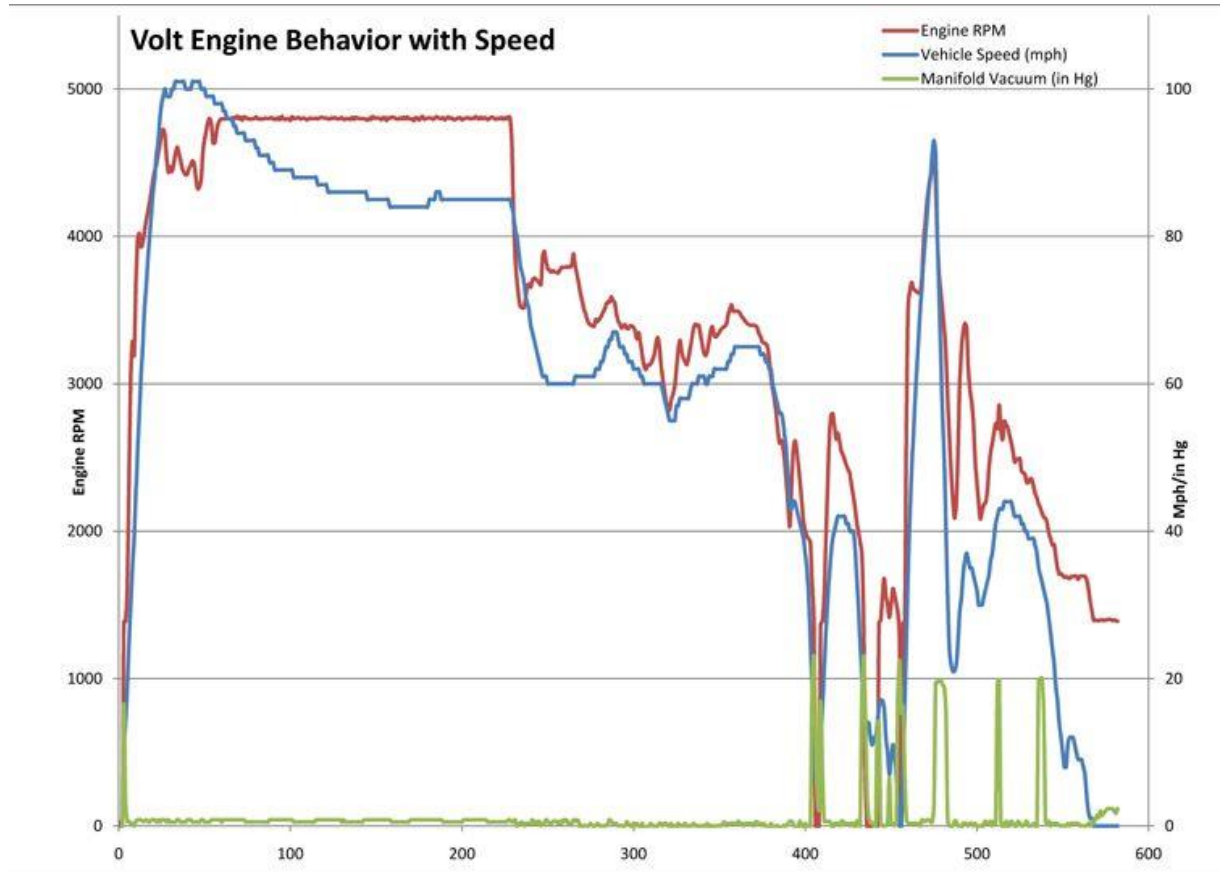
Modül isimleri: Ebrake & Mbrake control ve Edrive control

Aracın fren enerjisi geri kazanım sistemi, modül içindeki iki adet fonksiyonla tanımlanmıştır. Ebrake & Mbrake control fonksiyonu ile sürüş sırasındaki tork, bir C kodu vasıtasıyla, fren basıncına dönüştürülmektedir. Edrive kontrol fonksiyonu ile de, elektrikli sürüşten elektrikli frenlemeye geçiş kontrol edilerek, aracın rejeneratif frenleme sistemi, programın imkanları ve eldeki veriler dahilinde, modele entegre edilmiştir. Bu fonksiyonlarda kullanılan sabitler, model içindeki Constants(sabitler) modülünde tanımlanmıştır.

Menzil arttırıcının kontrolü için C fonksiyonları

Modül isimleri: E-range control ve Engine speed control

Bataryanın şarj seviyesi, belli bir sınırın altına düştüğünde, içten yanmalı motorun devreye girerek, jeneratör görevi görüp, bataryayı yeniden şarj etmeye başlaması, E-range control ve Engine speed control fonksiyonlarıyla tanımlanmıştır. Her iki fonksiyonda da, C kodlarından faydalanılmıştır. E-range control fonksiyonu, içten yanmalı motorun devreye girmesini ve bataryayı şarj etmesini düzenlerken, bu fonksiyonda kullanılan motor hızı (engine speed), Engine speed control (içten yanmalı motor hızı kontrolü) fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Chevrolet Volt'da, içten yanmalı motor sabit bir devirde çalışmamaktadır. Motor devri, aşağıdaki grafikte gösterildiği gibi, araç hızına bağlı bir değişim göstermektedir.



Şekil 3.30 : Batarya şarjı minimuma ulaştığında devreye giren Volt benzin motorunun hızının araç hızına bağlı değişimi

Bu grafiğe ulaşılabilmesine rağmen, grafikteki verilere tam doğrulukta ulaşamadığından ve mevcut haliyle grafiğin Cruise programına entegrasyonu mümkün olmadığından, bu eldeki veriler dikkate alınarak, bir basitleştirmeye gidilmiştir. Buna göre, araç 65 km/h hızın altında seyrederken, 65 km/h ile 97 km/h arasında seyrederken, 97 km/h ile 129 km/h arasında seyrederken ve 129 km/h süratin üzerindeki hızlarla seyrederken olmak üzere, 4 farklı araç hızı durumu için 4 farklı motor hızı belirlenmiş ve modeldeki aracın motor hızı bu çerçevede tespit edilmiştir.

Araç hızı [km/h]	Benzin motoru hızı [d/d]
65 e altı	1400
65 ile 97 arası (97 dahil)	2300
97 ile 129 arası (129 dahil)	3300
129 üstü	4000

Yapılan bu basitleştirmeyle, motorun en çok çalıştığı devir aralıkları, araç hızına uygun biçimde düzenlenmiş ve gerçekte aracın çalışma karakterine yakın bir karakter elde edilerek, asla en yakın sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır.

Bu fonksiyonlarda kullanılan sabitler, model içindeki Constants (sabitler) modülünde tanımlanmıştır.

PID kontrol

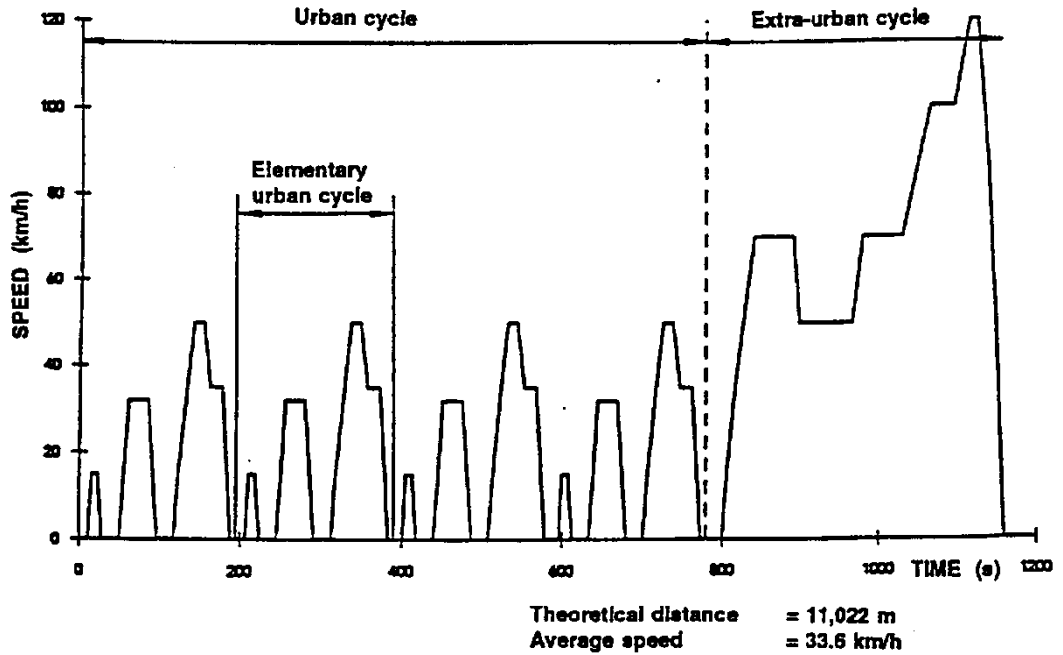
Model içinde kullanılan Engine Control (İçten yanmalı motor kontrolü) modülüyle, motorun gerçek hızı ile, fonksiyonlarda belirlenmiş istenen hızı arası kontrol sağlanmıştır. Bu sayede, motor istenen çalışma devrinde tutulabilmektedir. [13][14][15][19][20]

4. MODELLERİN NEDC ÇEVİRİMİNDE KOŞTURULMASI

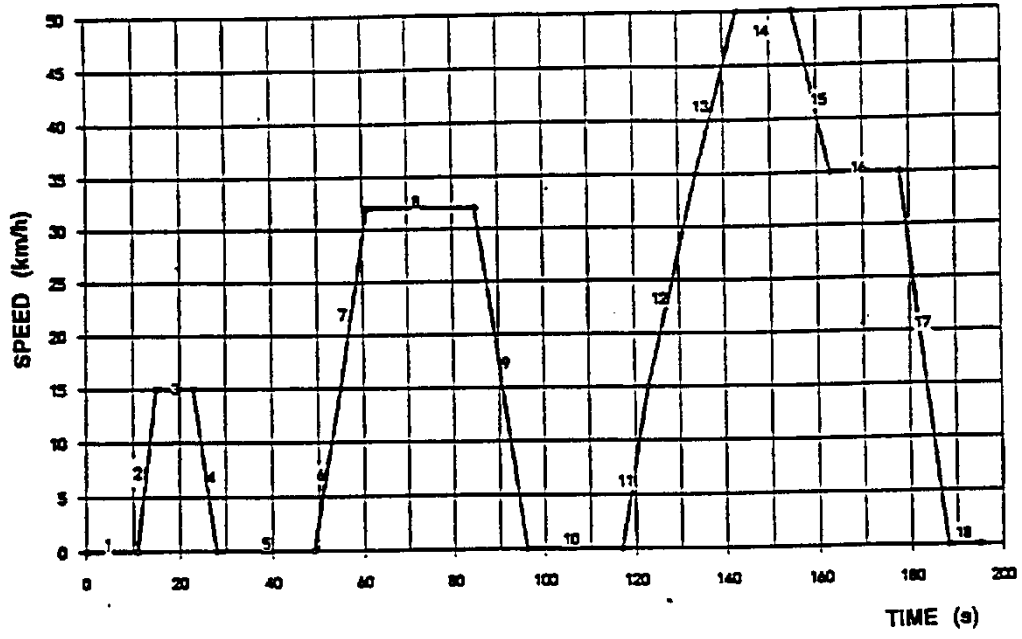
Cruise simülasyon programında oluşturulan Toyota Prius Plug-in hybrid ve Chevrolet Volt araç modelleri, performans ve yakıt tüketimi araştırmaları için Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (New European Driving Cycle - NEDC)'ne tabi tutulmuşlardır.

4.1 Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC)

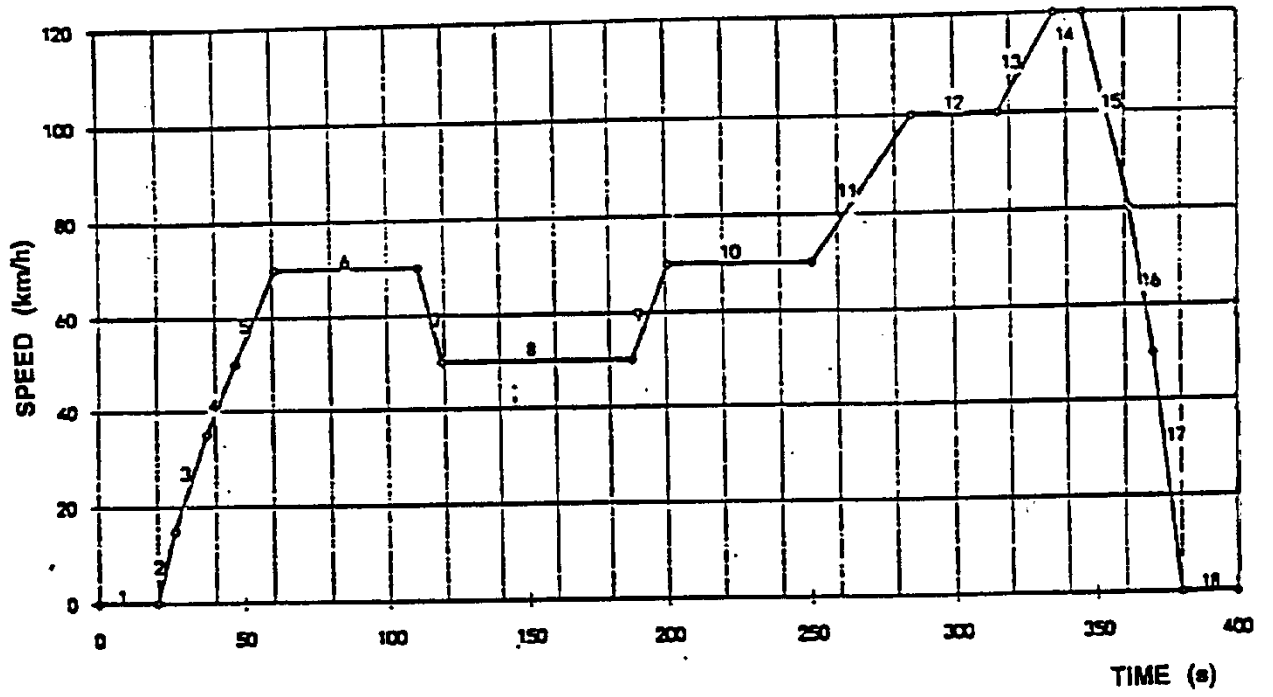
NEDC, binek araçların (M1 ve N1 kategorileri) yakıt ekonomilerini ve emisyonlarını ölçmek için Birleşmiş Milletler tarafından hazırlanmış bir sürüş çevrimidir. Çevrim dört adet tekrarlanmış ECE-15 Urban Driving Cycle (UDC – Şehiriçi) ve bunların üstüne bir adet Extra-Urban Driving Cycle (EUDC – Şehirdışı) çevrimlerinin toplamından oluşmaktadır. Bu programın düzenlenmesi Birleşmiş Milletler'in taşıtlarla ilgili ECE-R101 kodlu regülasyonunda yapılmıştır.[21]



Şekil 4.1 : NEDC çevrimi



Şekil 4.2 : NEDC çevrimindeki UDC kısmı



Şekil 4.3 : NEDC çevrimindeki EUDC kısmı

Çizelge 4.1 : Elementary urban cycle (şehiriçi kısım)

Operasyon N°	Operasyon türü	ELEMENTARY URBAN CYCLE			Operasyon süresi (s)	Mod süresi (s)	Toplam süre (s)
		Mod N°	İvme (m/s ²)	Hız (km/h)			
1	Durma	1	0.00	0	11	11	11
2	İvme	2	1.04	0-15	4	4	15
3	Sabit hız	3	0.00	15	8	8	23
4	Dekselerasyon	4	-0.83	15-0	5	5	28
5	Durma	5	0.00	0	21	21	49
6	İvme	6	0.69	0-15	6	12	55
7	İvme		0.79	15-32	6		61
8	Sabit hız	7	0.00	32	24	24	85
9	Dekselerasyon	8	-0.81	32-0	11	11	96
10	Durma	9	0.00	0	21	21	117
11	İvme	10	0.69	0-15	6	26	123
12	İvme		0.51	15-35	11		134
13	İvme		0.46	35-50	9		143
14	Sabit hız	11	0.00	50	12	12	155
15	Dekselerasyon	12	-0.52	50-35	8	8	163
16	Sabit hız	13	0.00	35	15	15	178
17	Dekselerasyon	14	-0.97	35-0	10	10	188
18	Durma	15	0.00	0	7	7	195

Durumlar	süre (s)	yüzde
Durma	60	30.77
İvme	42	21.54
Sabit hız	59	30.26
Dekselerasyon	34	17.44
Toplam	195	100.00

Ortalama hız (km/h)	18.77
Süre (s)	195
EUC teorik mesafe (m)	1017
Dört adet EUC teorik mesafe (m)	4067

Çizelge 4.2 : Extra urban cycle (şehirdışı kısım)

Operasyon N°	Operasyon türü	EXTRA-URBAN CYCLE			Operasyon süresi (s)	Mod süresi (s)	Toplam süre (s)
		Mod N°	İvme (m/s ²)	Hız (km/h)			
1	Durma	1	0.00	0	20	20	20
2	İvme	2	0.69	0-15	6	41	26
3	İvme		0.51	15-35	11		37
4	İvme		0.42	35-50	10		47
5	İvme		0.40	50-70	14		61
6	Sabit hız	3	0.00	70	50	50	111
7	Dekselasyon	4	-0.69	70-50	8	8	119
8	Sabit hız	5	0.00	50	69	69	188
9	İvme	6	0.43	50-70	13	13	201
10	Sabit hız	7	0.00	70	50	50	251
11	İvme	8	0.24	70-100	35	35	286
12	Sabit hız	9	0.00	100	30	30	316
13	İvme	10	0.28	100-120	20	20	336
14	Sabit hız	11	0.00	120	10	10	346
15	Dekselasyon	12	-0.69	120-80	16	34	362
16	Dekselasyon		-1.04	80-50	8		370
17	Dekselasyon		-1.39	50-0	10		380
18	Durma	13	0.00	0	20	20	400

Durum	süre (s)	Yüzde
Durma	40	10.00
İvme	109	27.25
Sabit hız	209	52.25
Dekselasyon	42	10.50
Toplam	400	100.00

Ortalama hız (km/h)	62.60
Süre (s)	400
Teorik mesafe (m)	6956

4.2 ECE-R101 Regölasyonuna Göre NEDC Çevriminde Yakıt ve Enerji Tüketimi Hesabı

Mevzubahis olan regölasyona göre, dışarıdan şarj edilebilen hibrit tahrik sistemli bir aracın (tezimize konu olan her iki araçta bu tiptedir), yakıt tüketimi ve enerji tüketimi değerleri, iki durum için ayrı ayrı ölçülür. Ölçülen bu değerler, regölasyonda tanımlı denklemlerde kullanılarak, nihai tüketim değerleri bulunmaktadır. Araç, ilk önce tam dolu batarya şarj seviyesi ile çevrimi koştuktan sonra, bir kez de minimum batarya şarjı seviyesinde çevrimi tamamlamakta, elde edilen değerler, aracın l/100 km (yakıt) veya Wh/km (enerji) cinsinden tüketim değerlerinin hesabında kullanılmaktadır.[21]

Yakıt tüketimi hesabı aşağıdaki şekilde yapılmaktadır (4.1):

$$C = (De \cdot C1 + Dav \cdot C2) / (De + Dav) \quad (4.1)$$

$$C = \text{l/100 km cinsinden yakıt tüketimi}$$

$$C1 = \text{tam dolu şarj seviyesi ile l/100 km cinsinden yakıt tüketimi}$$

$$C2 = \text{minimum şarj seviyesi ile l/100 km cinsinden yakıt tüketimi}$$

$$De = \text{aracın regölasyonda tanımlı şekilde saptanmış (sabit 50km/h hızda bataryanın tam dolu halden boşaldığı ana dek yapılan) tam elektrikli menzili}$$

$$Dav = 25 \text{ km (bataryanın ilk şarjdan sonra tekrar şarj edilebilmesi için geçen tahmini mesafe)}$$

Enerji tüketimi de benzer şekilde hesaplanmaktadır (4.2):

$$E = (De \cdot E1 + Dav \cdot E2) / (De + Dav) \quad (4.2)$$

$$E = \text{Wh/km cinsinden enerji tüketimi}$$

- E1 = tam dolu şarj seviyesi ile Wh/km cinsinden enerji tüketimi
- E2 = minimum şarj seviyesi ile Wh/km cinsinden enerji tüketimi
- De = aracın regülasyonda tanımlı şekilde saptanmış (sabit 50km/h hızda bataryanın tam dolu halden boşaldığı ana dek yapılan) tam elektrikli menzili
- Dav = 25 km (bataryanın ilk şarjdan sonra tekrar şarj edilebilmesi için geçen tahmini mesafe)

4.3 NEDC Çevriminin Cruise Programında Modellenmesi

AVL Cruise simülasyon programı dahilindeki Cycle Run – çevrim Koşturma seçeneği ile programa entegre birçok sürüş çevrimi oluşturulan modellere tabi tutulabilmektedir. Bunlar arasından, tezimizdeki araçların kullanım koşullarıyla örtüşen ve Avrupa, dolayısıyla da ülkemiz şartları için bir örnek temsil eden New European Driving Cycle NEDC, Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi tercih edilmiştir. çevrim için, kullanıcı tarafından tanımlanmış parametreler şu şekildedir:

Çevrim koşturma

İsim: NEDC

Motor başlangıç durumu: Sıcak çalıştırma-sabit durum

Sürüş direnci: fiziksel

Simülasyon: Implicit-Euler

Çevrimin koşulacağı yer: Şasi dinamometresi

Profil: NEDC (otomatik şanzıman için)

Eylemsizlik ağırlığı: Taşıt ağırlığı

Yük durumu: boş ağırlık+sürücü ağırlığı (75 kg olarak alınmıştır.)

Test ortamı:

Sıcaklık: 20 C

Bağıl nem: 0,65

Hava yoğunluğu: 1,19kg/m³

Yükseklik: 0 m

Rüzgar: 0 km/h

Test düzeneği sürtünme katsayısı: 1

Sürücü özellikleri:

Maksimum fren basıncı: 100N

4.4 Modellerin Simülasyon Sonuçlarından Hareketle Yakıt Tüketimi ve Enerji Tüketimi Hesaplamaları

Çevrimlerin koşturulması sonucu, araçların istenen durumlardaki tüketim hesaplamaları için, motor ve batarya grafiklerinden yararlanılmıştır. Yakıt tüketimi hesabında, içten yanmalı motor grafiğinde, zamana [s] göre saatlik yakıt tüketimi [kg/h] çizdirilmiş, yakıt tüketimi verileri [kg/s] birimine çevrildikten sonra, yamuk alanı yöntemiyle eğri altında kalan alan hesaplanarak, çevrim boyunca harcanan yakıt [kg] cinsinden saptanmıştır. Enerji tüketimi hesabında ise, batarya grafiğinde, zamana [s] göre elektriksel güç [kW] çizdirilmiş, yine yamuk alanı yöntemiyle eğri altında kalan alan hesaplanarak, çevrim boyunca harcanan elektrik enerjisi [kWs]

cinsinden saptanmıştır. Tüm durumlardaki hesaplamalar için Microsoft Excel programından faydalanılmıştır.

4.5 Toyota Prius Plug-in Hybrid NEDC Uygulaması

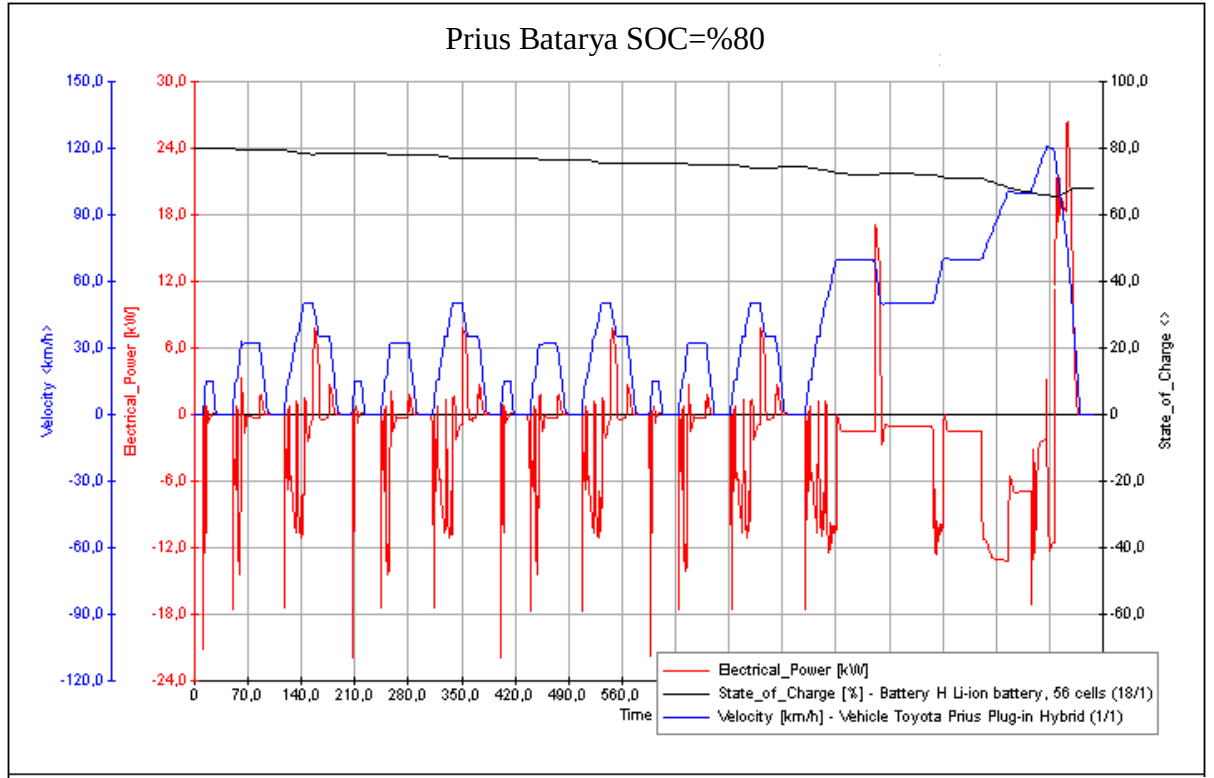
Dışarıdan şarj edilebilen hibrit araç konseptinin temsilcisi olarak, tezimizde yer alan Prius Plug-in hybrid, AVL Cruise programında, NEDC çevrimini, beş farklı durumda koşturmuştur:

- 1- Tam dolu batarya şarjı SOC=%80 durumu
- 2- Minimum batarya şarjı SOC=%40 durumu
- 3- Orta dolu batarya şarjı SOC=%60 durumu
- 4- Güçlendirilmiş çekiş elektrik motoru ile SOC=%80 durumu
- 5- Güçlendirilmiş çekiş elektrik motoru ile SOC=%40 durumu

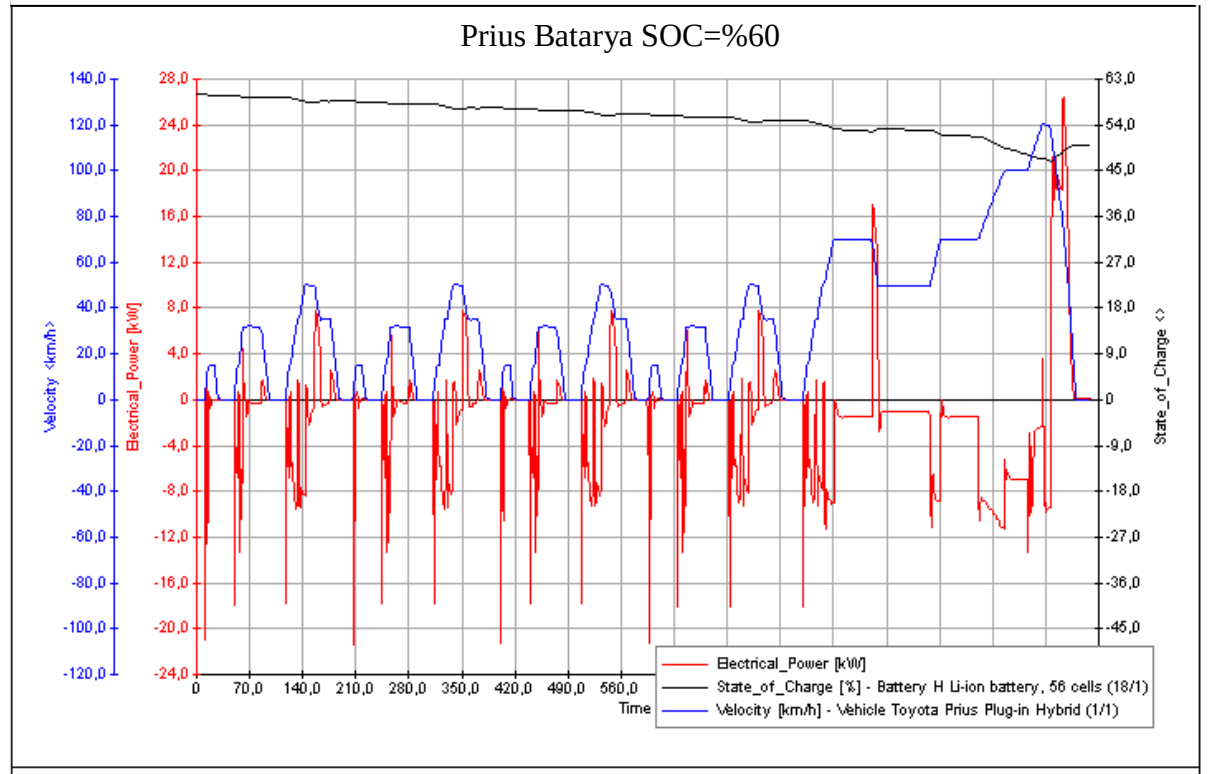
4.5.1 Standart MG2 motoruyla Prius Plug-in Hybrid NEDC çevrimi sonuçları

Batarya

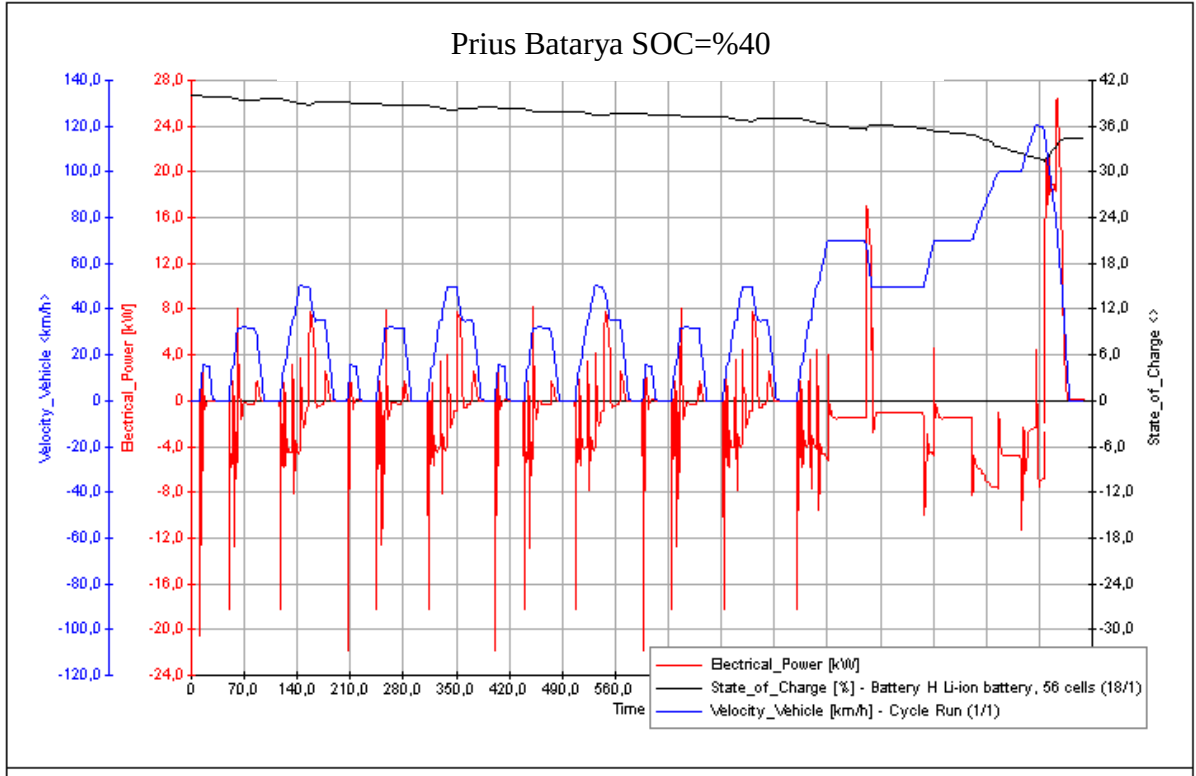
Aşağıda, üç farklı SOC seviyesinde, bataryadaki elektrik gücü ve şarj seviyesi değişimleri, araç hızına ve zamana bağlı olarak gösterilmektedir:



Şekil 4.4 : Prius batarya %80 SOC durumunda güç ve SOC değişimi



Şekil 4.5 : Prius batarya %60 SOC durumunda güç ve SOC değişimi



Şekil 4.6 : Prius batarya %40 SOC durumunda güç ve SOC değişimi

Grafiklerde görüldüğü gibi, hızlanmalarda elektrik motorları devreye girdiğinden, bataryadan elektrik enerjisi çekilmekte, fakat frenlemelerde, fren enerjisi geri kazanımı sayesinde bataryanın yeniden şarj edilmektedir. Her üç durumda da, elektrik gücü değişiminin benzer olduğu görülsede, SOC seviyesinin düşmesiyle birlikte elektrik tüketimi de bir miktar düşmektedir.

Üç durumda elektrik enerjisi tüketimleri şu şekilde gerçekleşmiştir:

Çizelge 4.3 : Prius bataryasında elektrik enerjisi tüketimi

SOC [%]	Harcanan enerji [kW.s]	Harcanan enerji [kWh]	Harcanan enerji [Wh]	Kilometre başına harcanan enerji [Wh/km]
80	1792,91	0,498030556	498,0305556	45,18103561
60	1478,05	0,410569444	410,5694444	37,24661566
40	752,57	0,209047222	209,0472222	18,96463959

Burada, kilometre başına harcanan enerjide, NEDC çevriminin 11,023 km uzunluğunda olduğu dikkate alınmıştır. Görüleceği, üzere düşen SOC seviyesi ile harcanan enerji de düşmektedir.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, aracın ECE-R101 regülasyonuna göre enerji tüketimi hesaplanmıştır.

$$E = (De \cdot E1 + Dav \cdot E2) / (De + Dav) \quad (4.2)$$

$E1 = 45,18103561 \text{ Wh/km}$ (SOC=%80 tam dolu şarj seviyesi ile enerji tüketimi)

$E2 = 18,96463959 \text{ Wh/km}$ (SOC=%40 minimum şarj seviyesi enerji tüketimi)

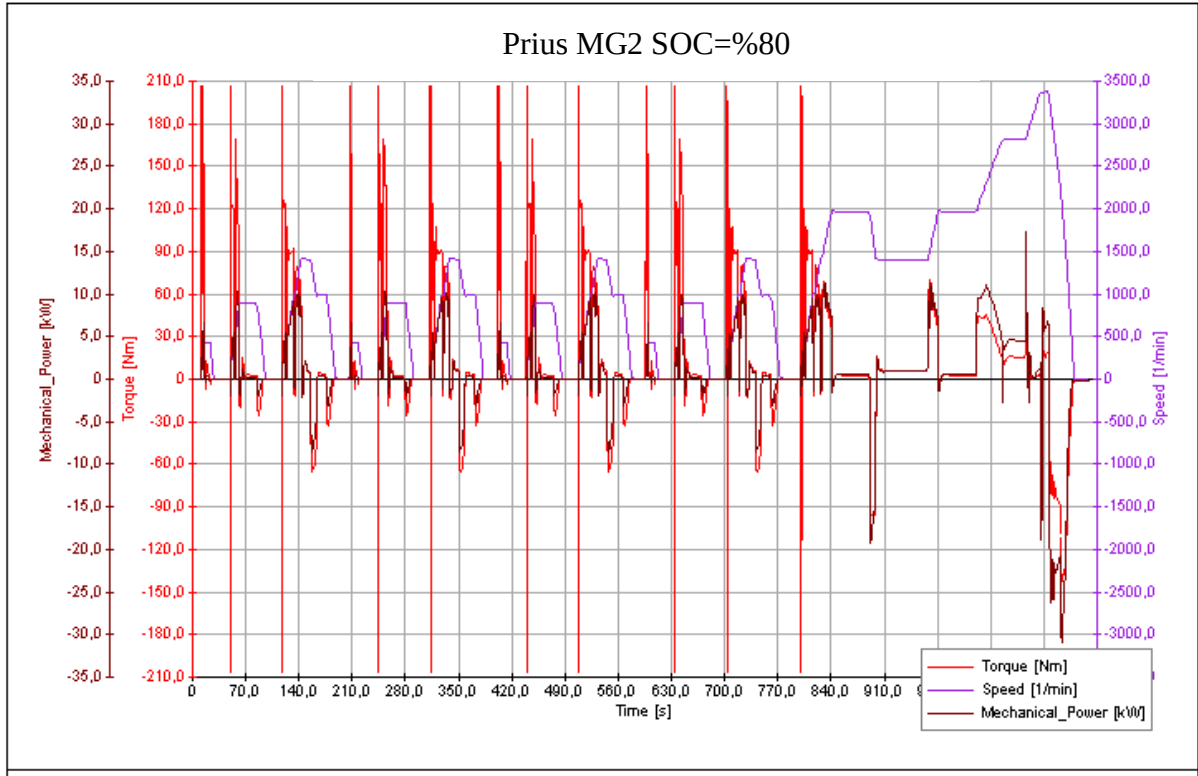
$De = 23 \text{ km}$ (aracın regülasyonda tanımlı şekilde saptanmış tam elektrikli menzili)

$Dav = 25 \text{ km}$ (bataryanın ilk şarjdan sonra tekrar şarj edilebilmesi için geçen tahmini mesafe)

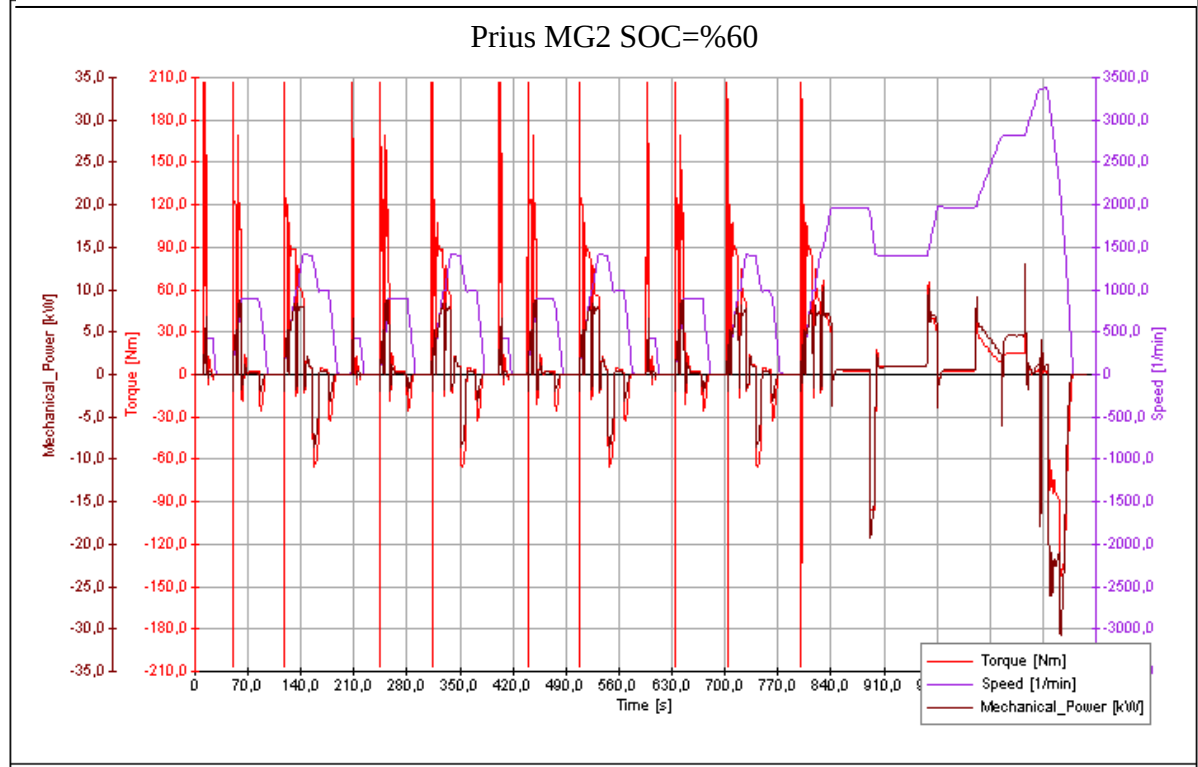
$E = 31,53 \text{ Wh/km}$ (NEDC çevrimine göre enerji tüketimi)

Elektrik motoru MG2

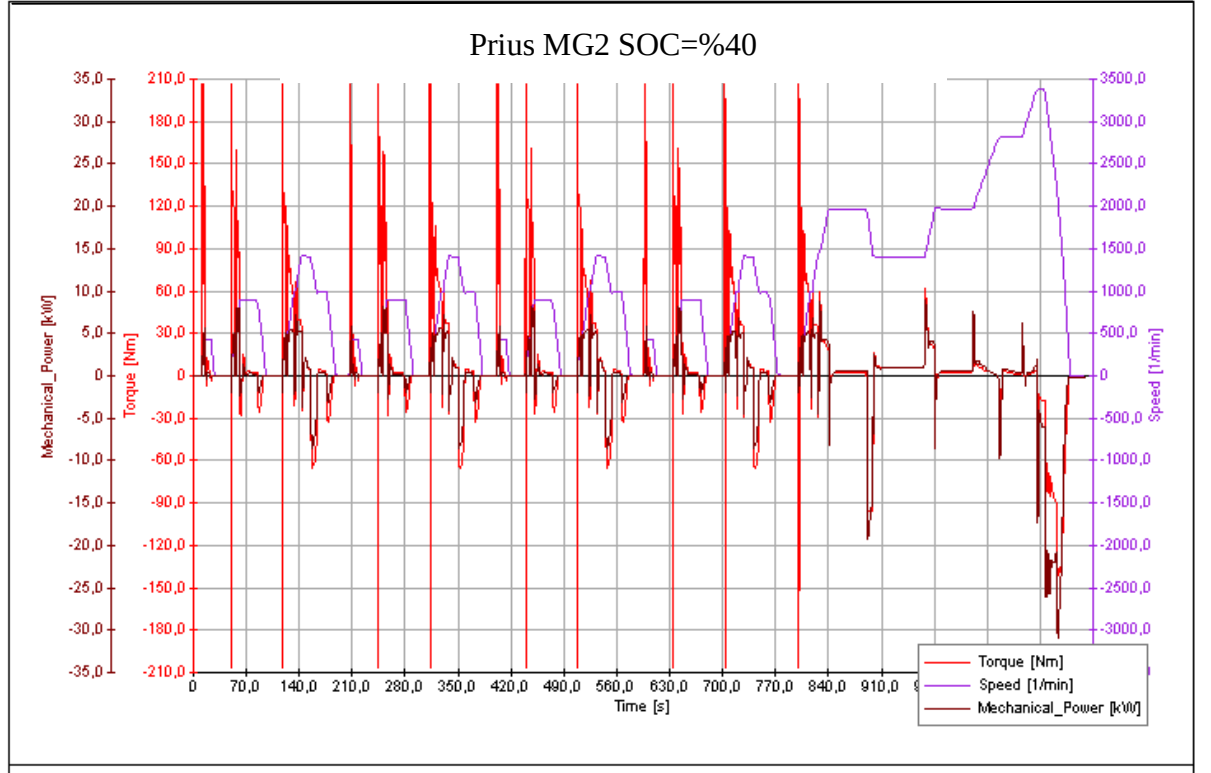
Üç farklı durum için, çekiş için kullanılan büyük elektrik motoru MG2'nin, zamana bağlı, tork, motor hızı ve mekanik güç değişimleri şu şekilde olmuştur:



Şekil 4.7 : Prius MG2 motorunda %80 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi



Şekil 4.8 : Prius MG2 motorunda %60 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi

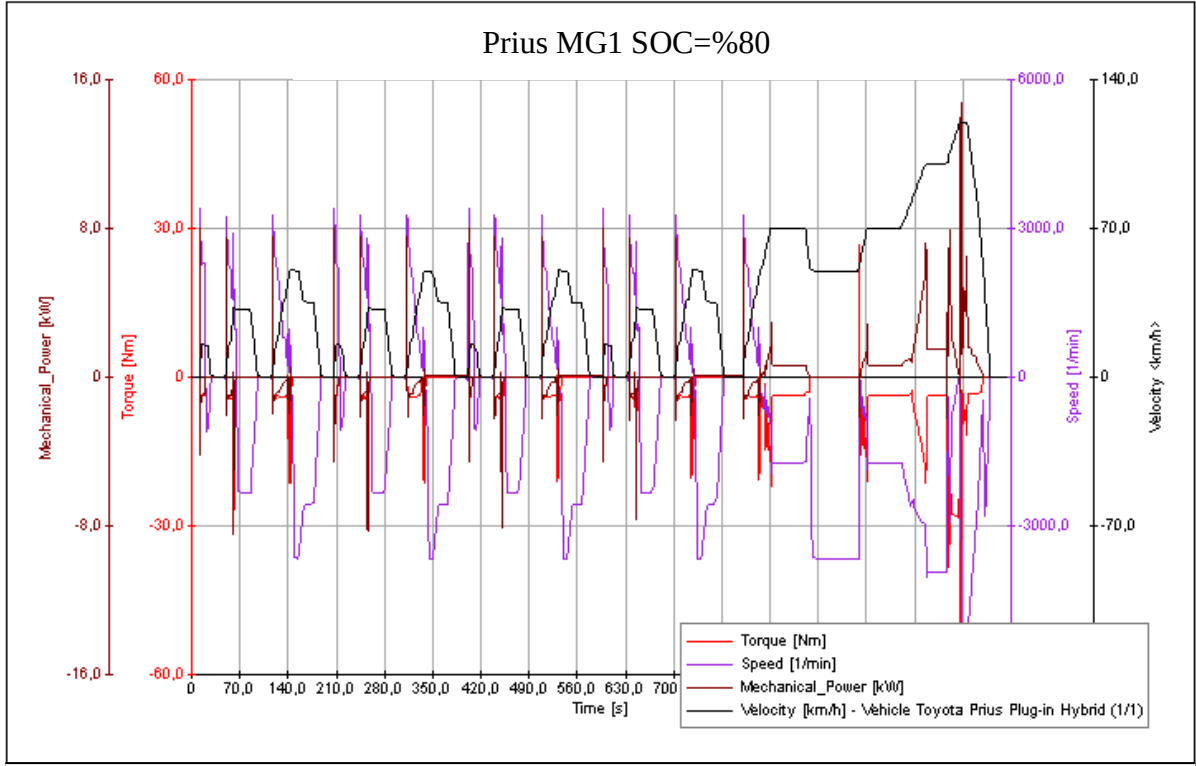


Şekil 4.9 : Prius MG2 motorunda %40 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi

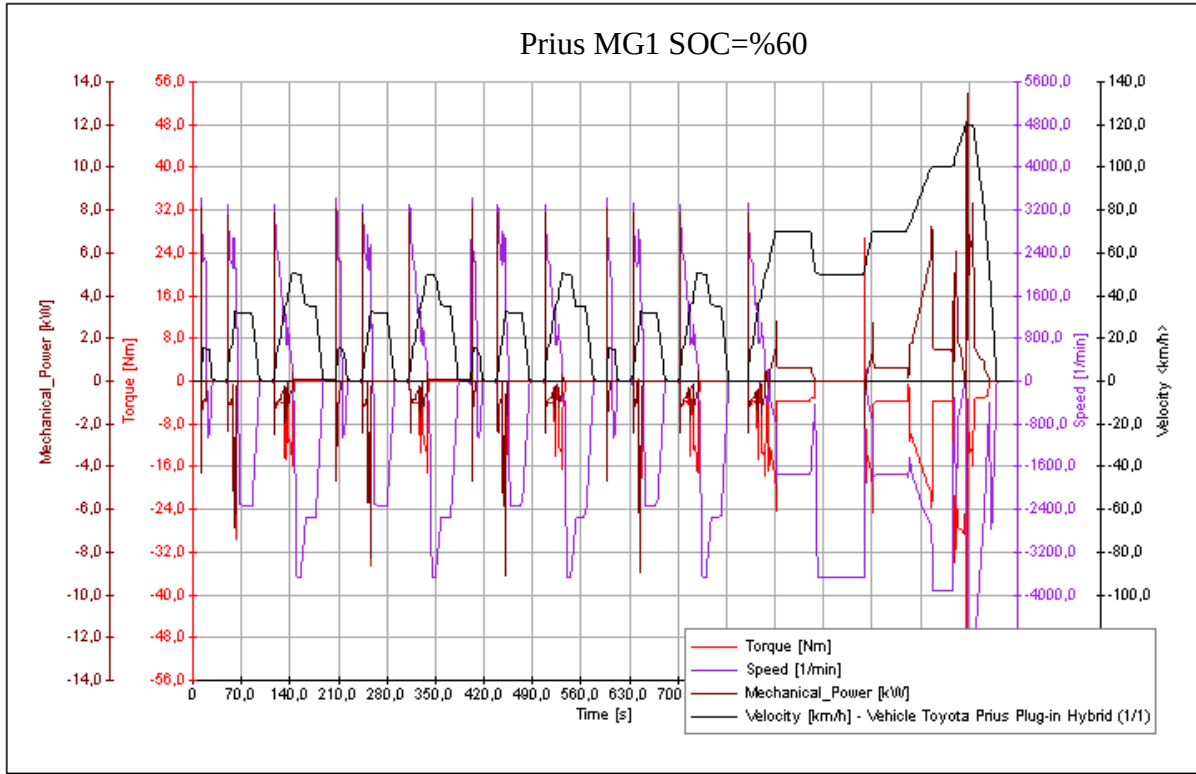
Büyük elektrik motoru MG2'nin tork ve güç karakteristiği, SOC seviyesiyle değişiklik göstermemiştir. Hızlanmalarda, benzinli motoru destekleyen bu ünite, frenleme esnasında da üretilen eksi güç ve tork karakteristiğiyle, aracın yavaşlamasına destek olmaktadır.

Elektrik motoru MG1

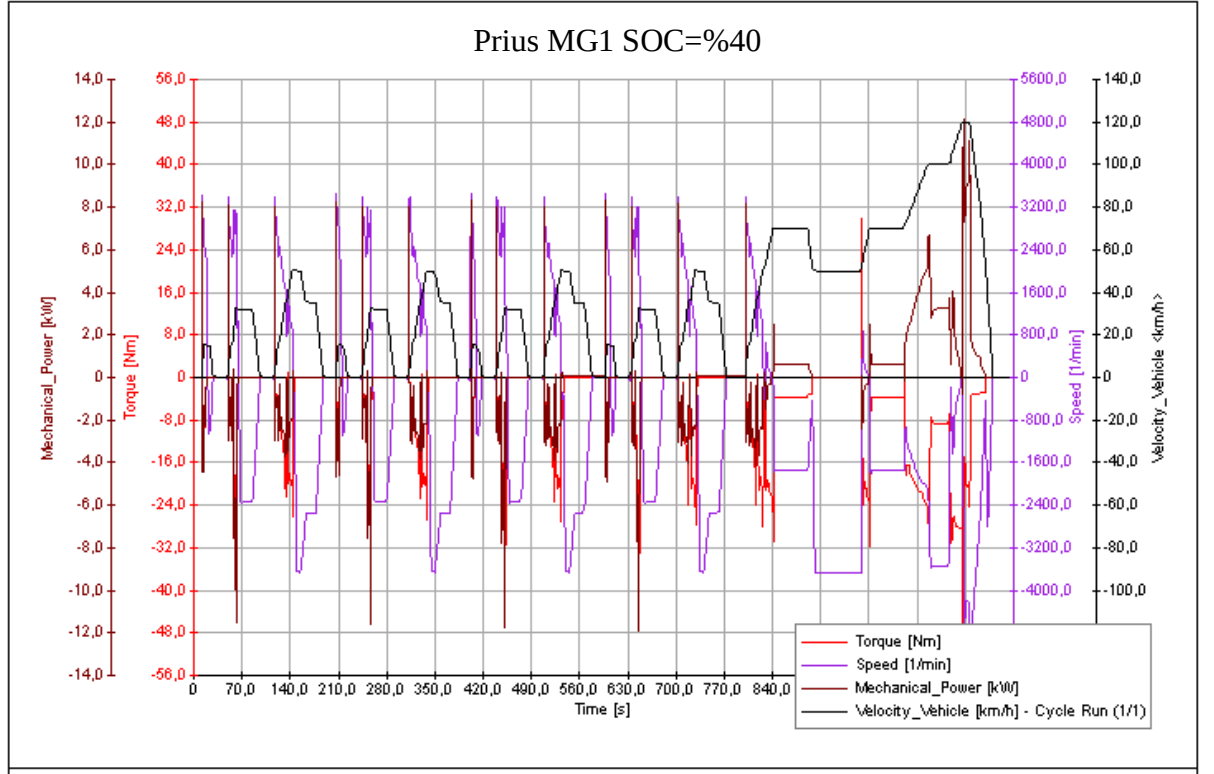
Üç farklı şarj seviyesi durumu için, küçük elektrik motoru MG1'in, zamana ve araç hızına bağlı, tork, motor hızı ve mekanik güç değişimleri şu şekildedir:



Şekil 4.10 : Prius MG1 motorunda %80 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi



Şekil 4.11 : Prius MG1 motorunda %60 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi



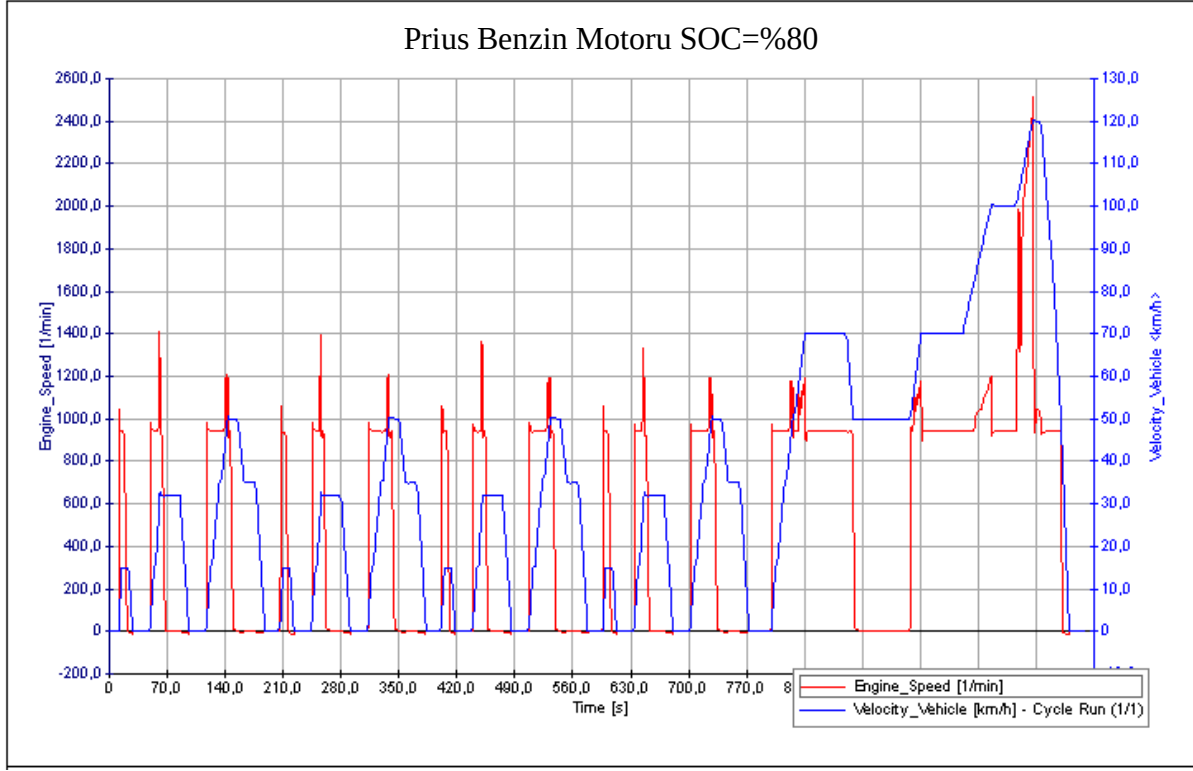
Şekil 4.12 : Prius MG1 motorunda %40 SOC durumunda tork, hız ve güç değişimi

Jeneratör ve marş motoru olarak görev yapan MG1 elektrik motoru, ivmelenme esnasında güç üretirken, frenleme esnasında bataryayı şarj etmekle görevlidir. Çalışma şartları SOC seviyeleri değişse de sabit kalmaktadır.

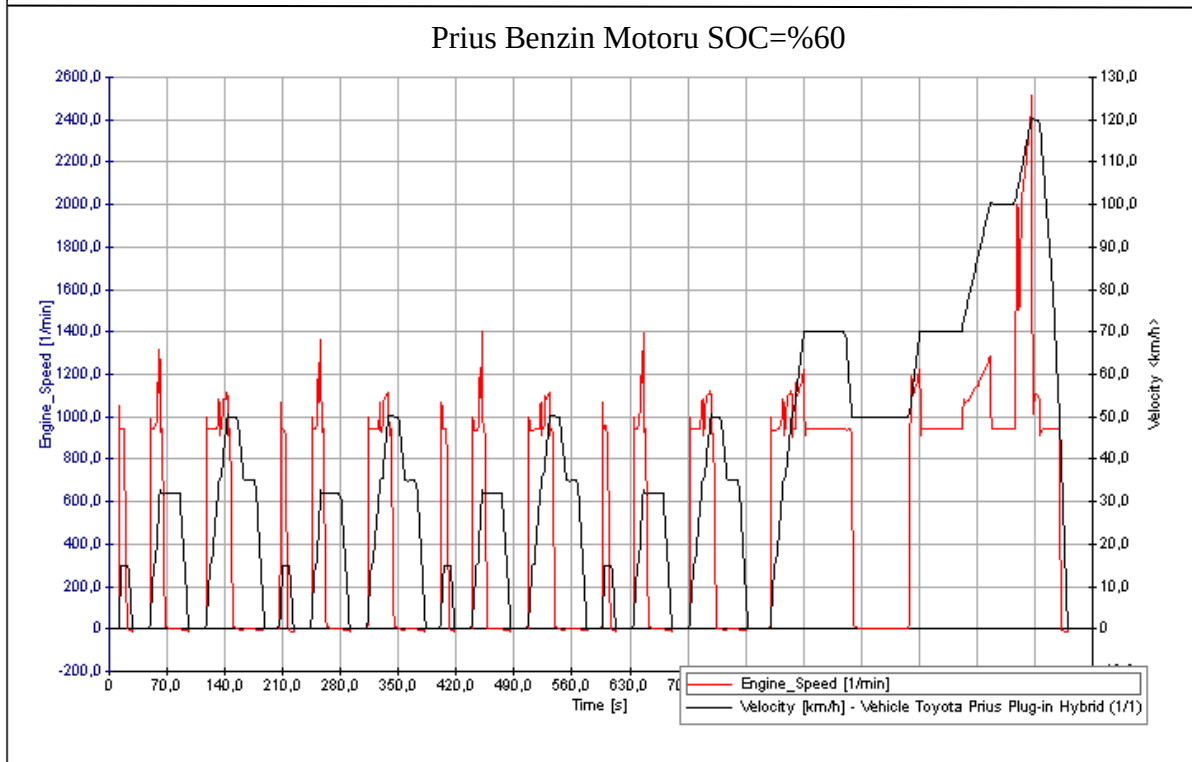
Benzin motoru

Atkinson çevrimi prensibiyle çalışan benzin motorunun, farklı SOC seviyelerinde, araç hızına bağlı motor hızı, gücü, torku ve yakıt tüketimi değişimleri şu şekilde olmuştur:

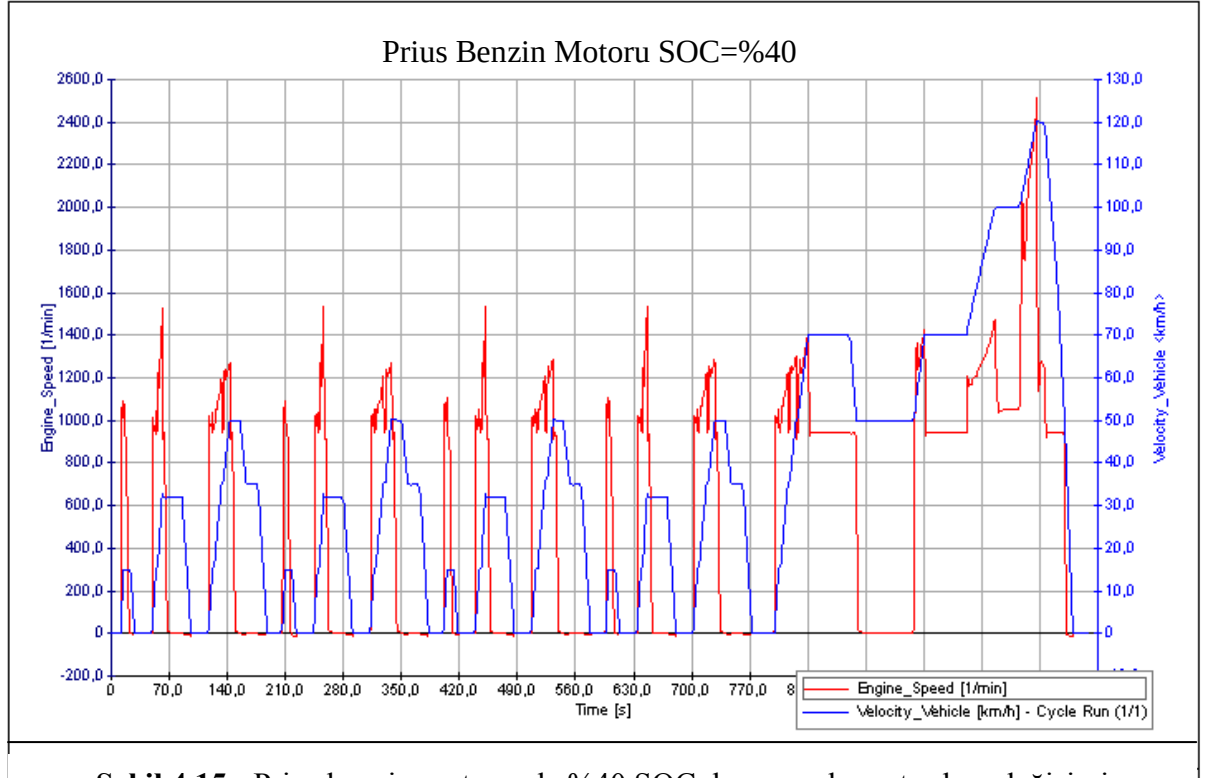
- **Motor hızı**



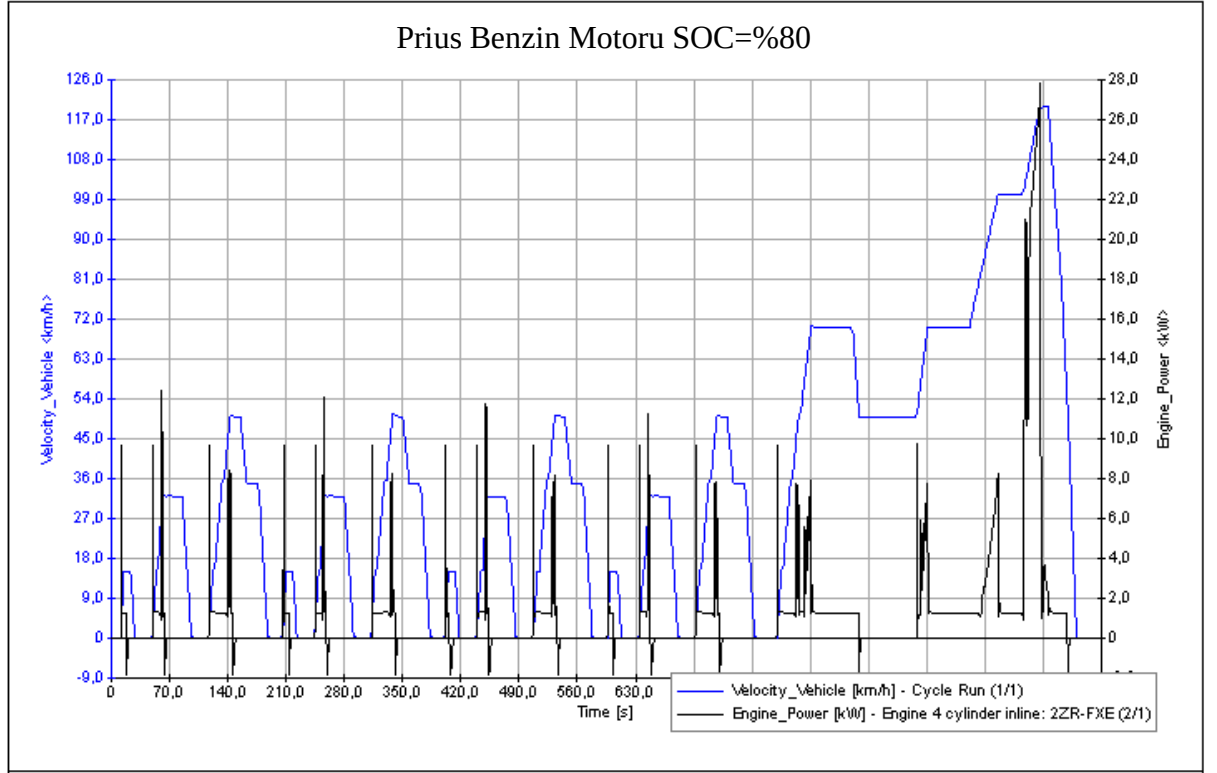
Şekil 4.13 : Prius benzin motorunda %80 SOC durumunda motor hızı değişimi

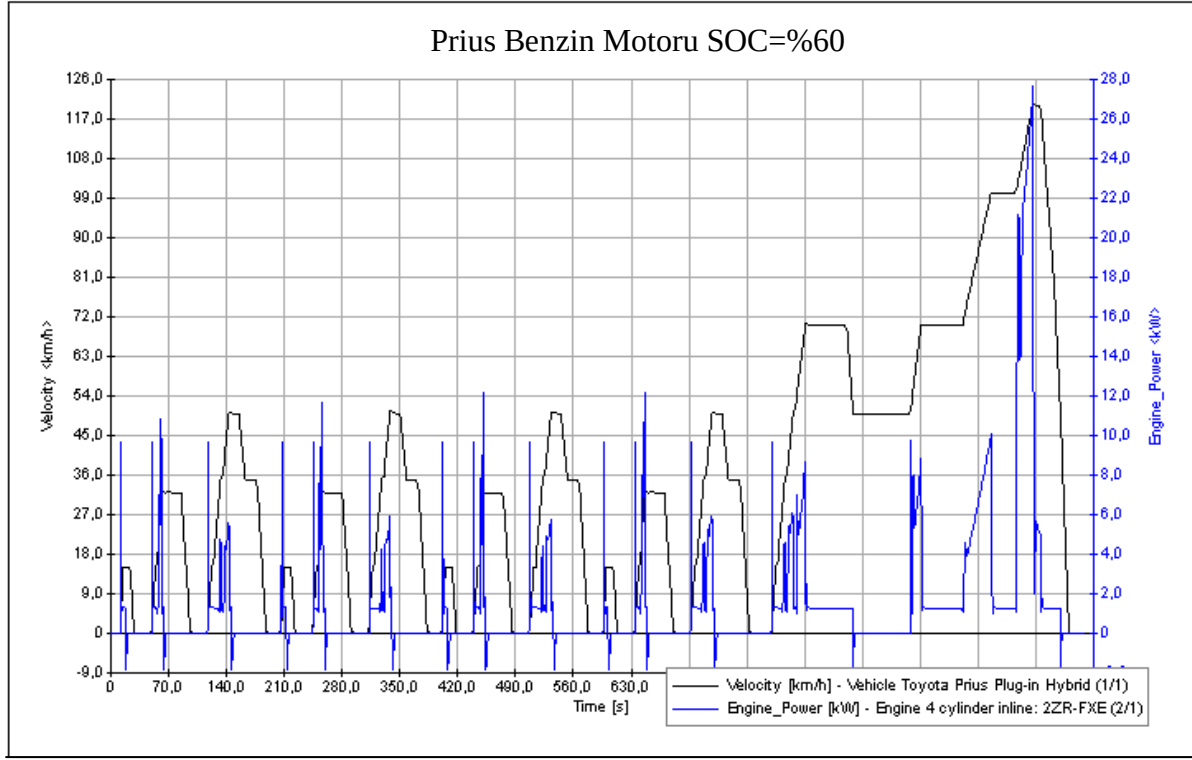


Şekil 4.14 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda motor hızı değişimi

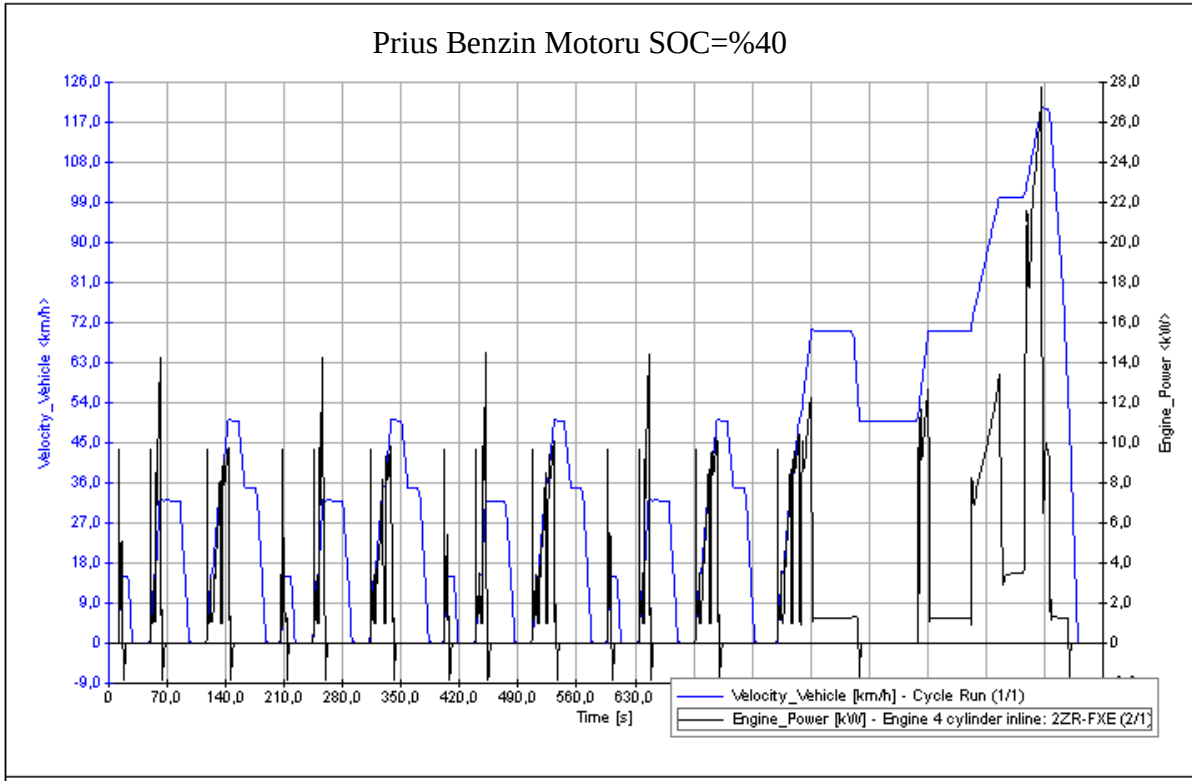


- **Motor gücü**



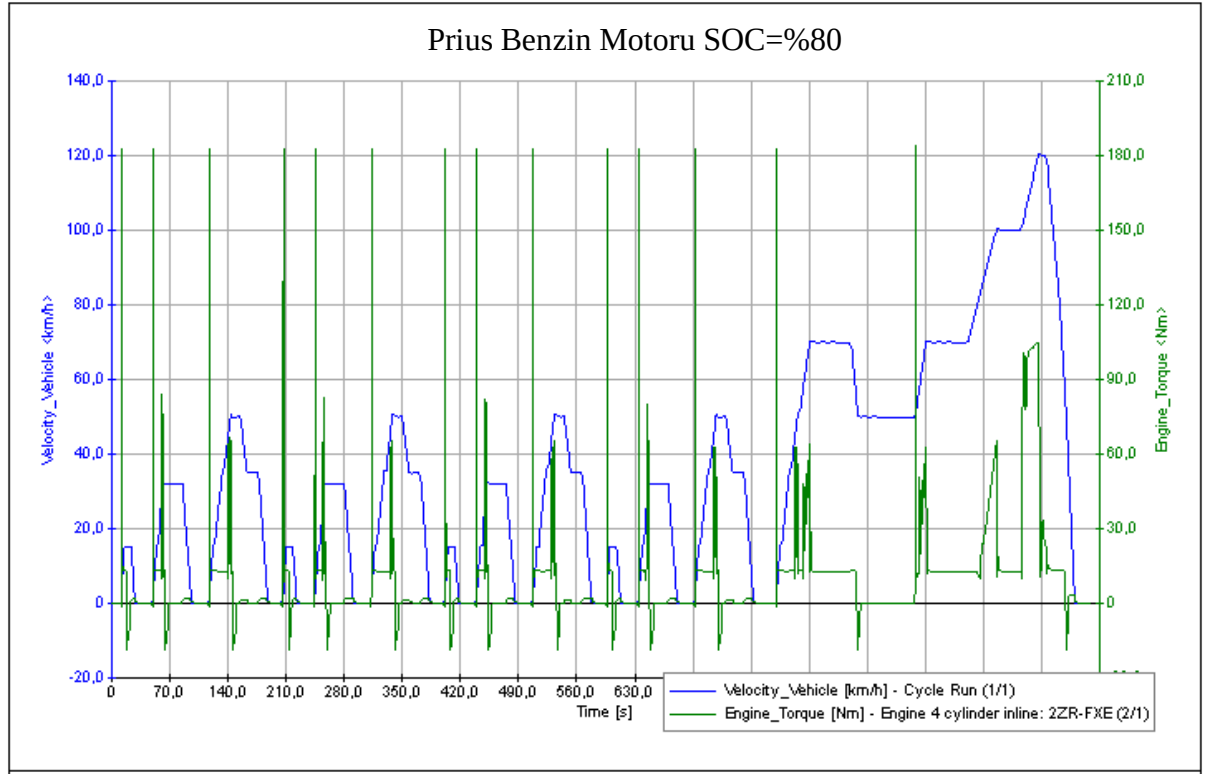


Şekil 4.17 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda motor gücü değişimi

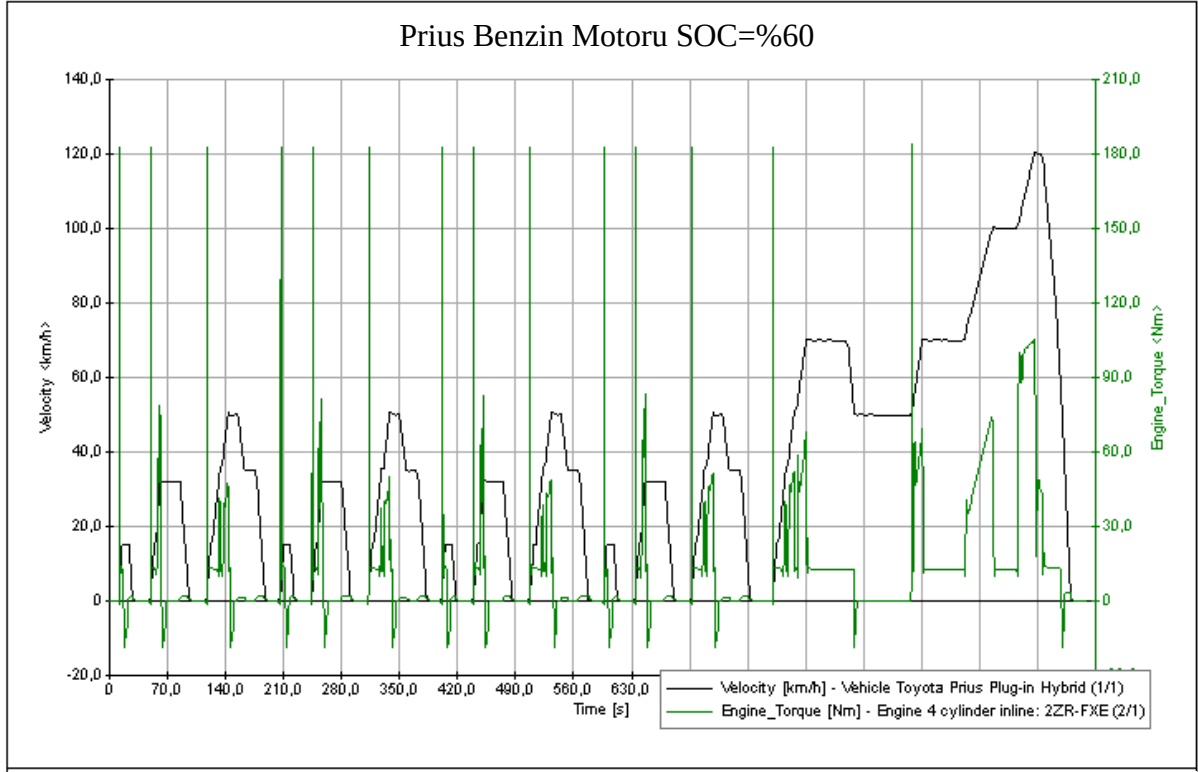


Şekil 4.18 : Prius benzin motorunda %40 SOC durumunda motor gücü değişimi

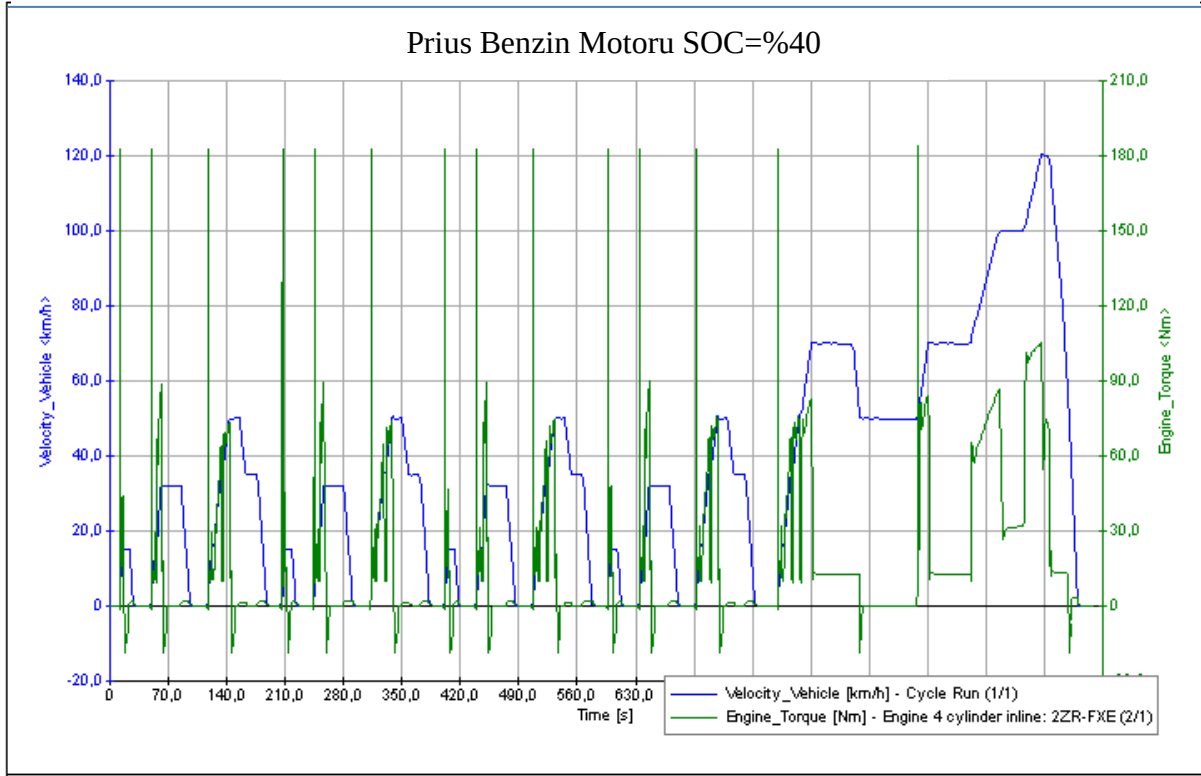
- **Motor torku**



Şekil 4.19 : Prius benzin motorunda %80 SOC durumunda motor torku değişimi

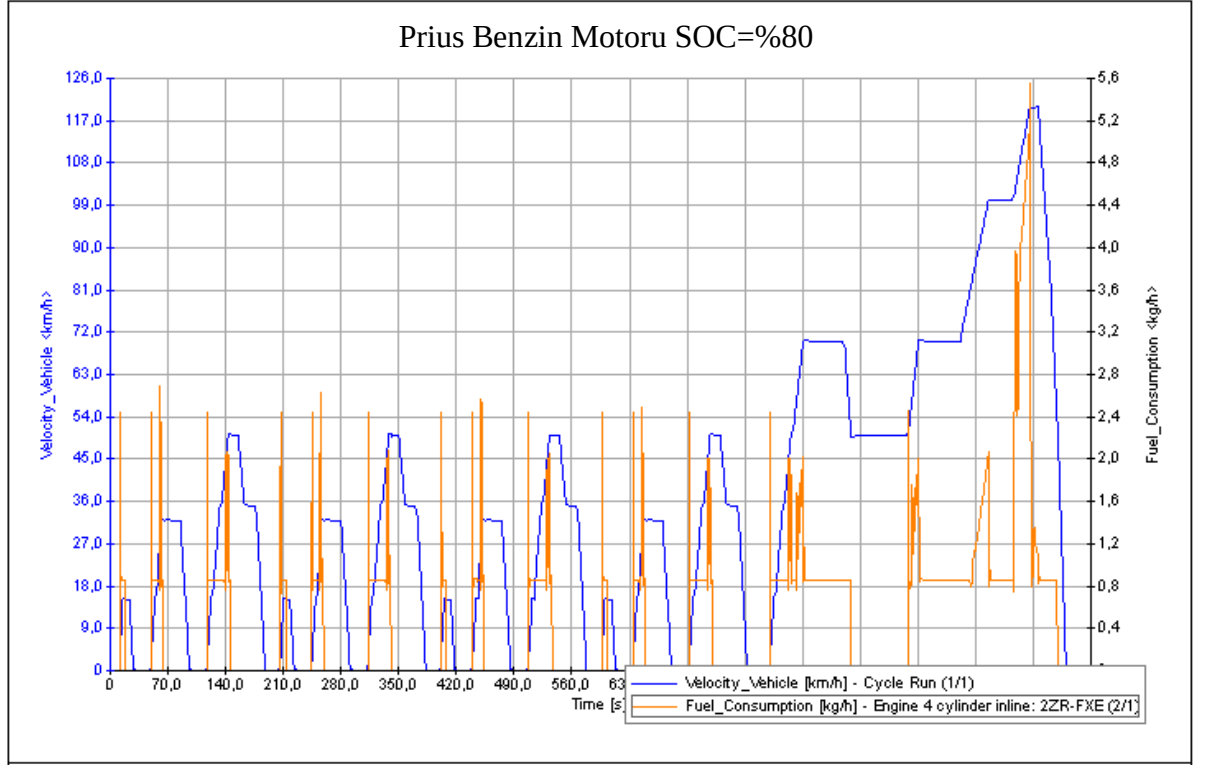


Şekil 4.20 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda motor torku değişimi

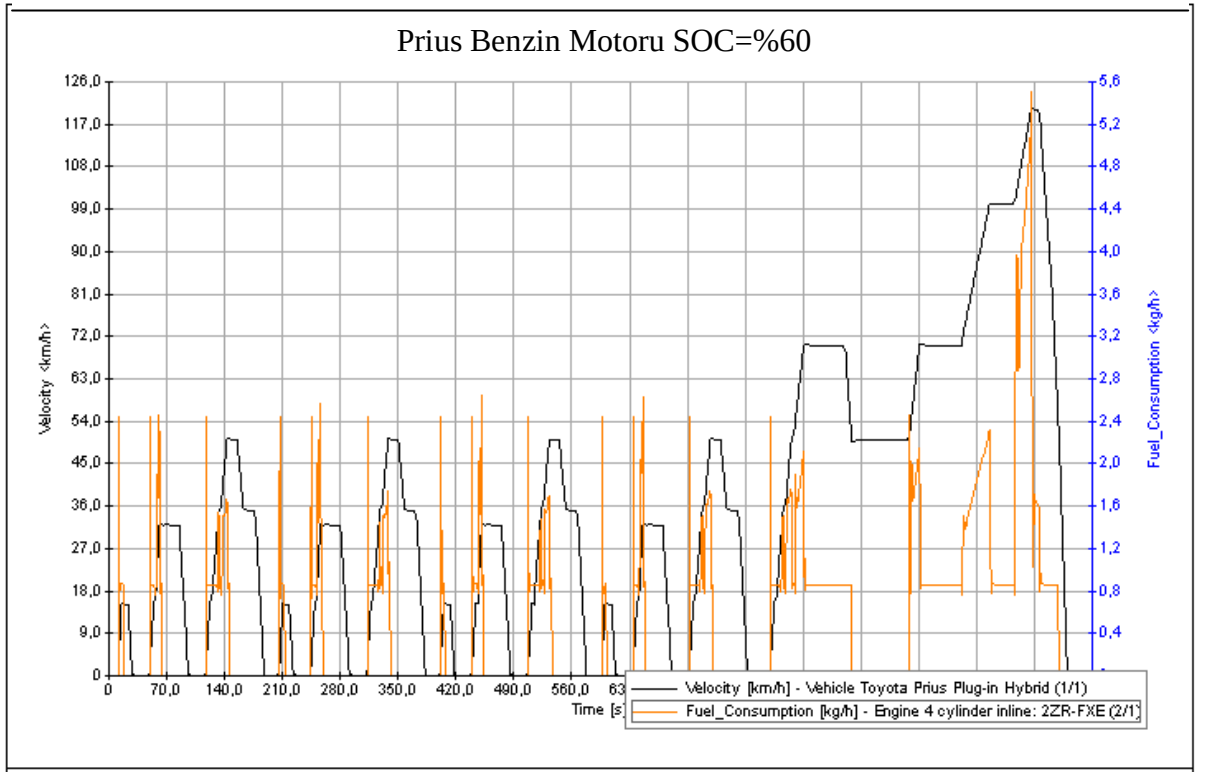


Şekil 4.21 : Prius benzin motorunda %40 SOC durumunda motor torku değişimi

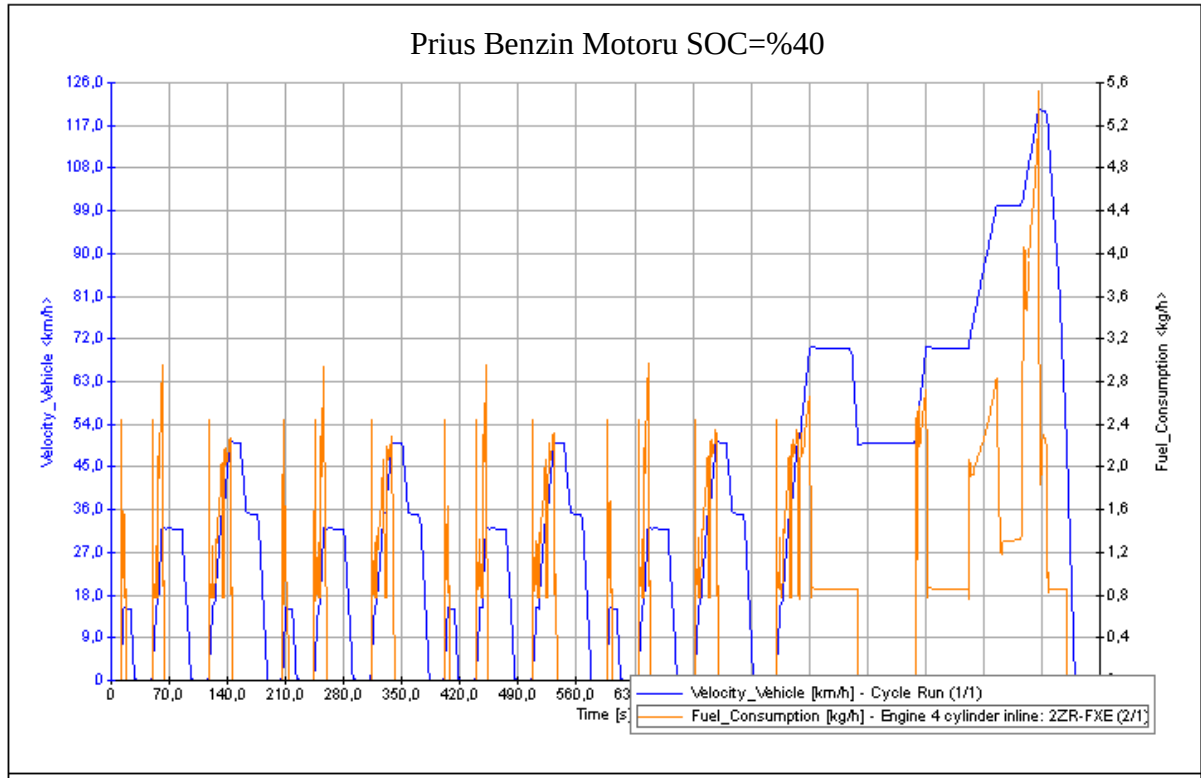
- Yakıt tüketimi



Şekil 4.22 : Prius benzin motorunda %80 SOC durumunda yakıt tüketimi



Şekil 4.23 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda yakıt tüketimi



Şekil 4.24 : Prius benzin motorunda %40 SOC durumunda yakıt tüketimi

Farklı SOC seviyelerinde, motor hızı karakteri benzerdir. Araç, ilk çalıştırıldığında benzin motoru devrede değilken, ivmelenme durumlarında devreye girerek, hızlanmaya katkı sağlamaktadır. Düşük süratlerde sabit hızla gidilirken ve frenleme durumlarında da motor devre dışı kalarak, yakıt ekonomisi önemli ölçüde iyileştirilmektedir.

Üç farklı SOC seviyesi için yakıt tüketimi hesabı yapıldığında sonuçlar şu şekilde bulunmuştur:

Çizelge 4.4 : Prius yakıt tüketimi

SOC [%]	Yakıt tüketimi [kg]	Yakıt tüketimi [l]	Yakıt tüketimi [l/100km]
80	0,148436847	0,200590334	1,819743571
60	0,165205313	0,223250423	2,025314551
40	0,201403794	0,272167289	2,46908545

Burada, kilometre başına harcanan enerjide, NEDC çevriminin 11,023 km uzunluğunda olduğu dikkate alınmıştır. Görüleceği, üzere düşen SOC seviyesi ile yakıt tüketimi artmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, aracın ECE-R101 regülasyonuna göre yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

$$C = (De \cdot C1 + Dav \cdot C2) / (De + Dav) \quad (4.1)$$

$C1 = 1,819743571 \text{ l/100km}$ (SOC=%80 tam dolu şarj seviyesi ile yakıt tüketimi)

$C2 = 2,46908545 \text{ l/100km}$ (SOC=%30 minimum şarj seviyesi yakıt tüketimi)

$De = 23 \text{ km}$ (aracın regülasyonda tanımlı şekilde saptanmış tam elektrikli menzili)

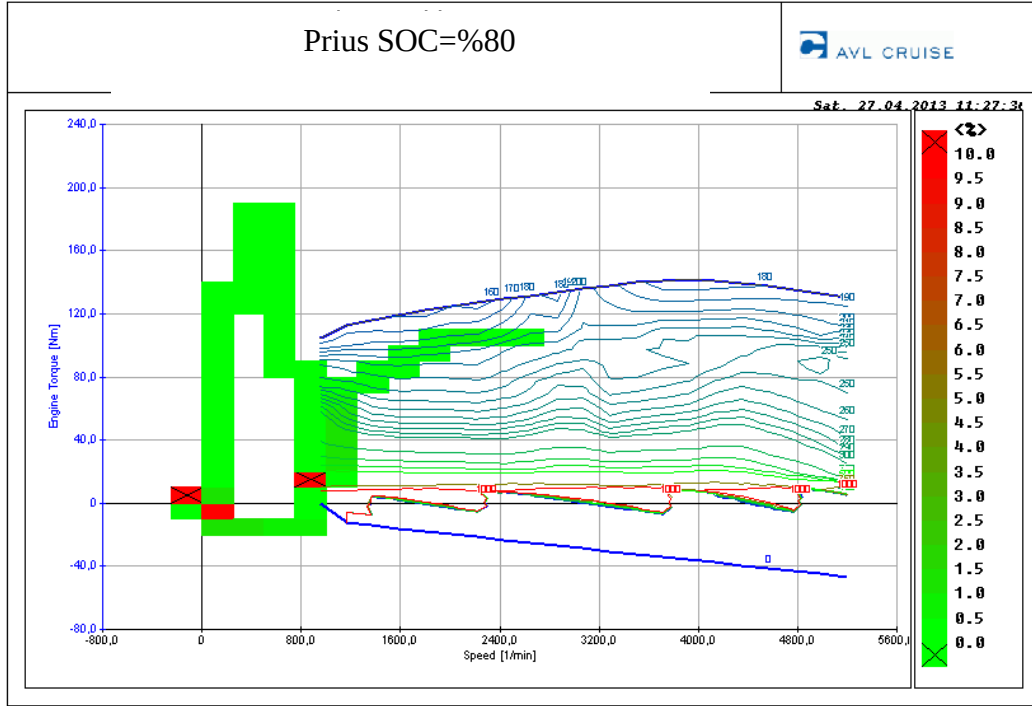
$Dav = 25 \text{ km}$ (bataryanın ilk şarjdan sonra tekrar şarj edilebilmesi için geçen tahmini mesafe)

$C = 2,16 \text{ l/100km}$ (NEDC çevrimine göre yakıt tüketimi)

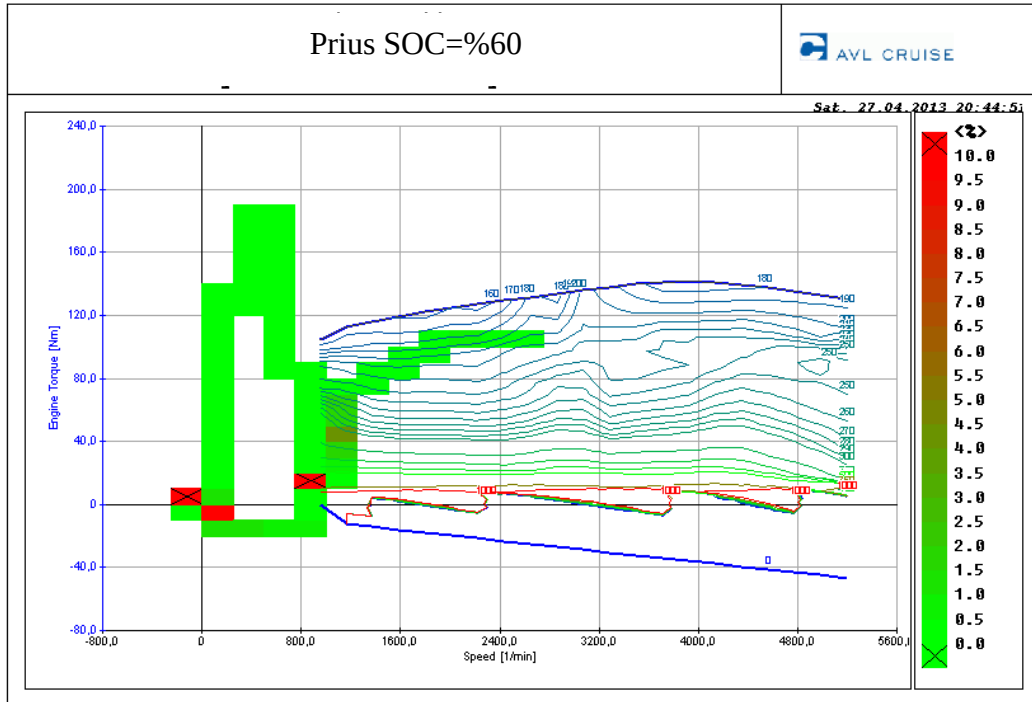
Bu değer üretici tarafından açıklanmış, 2.1 l/100 km'lik değerle neredeyse aynıdır. Oldukça düşük olan bu değer, plug-in hibrit konseptinin binek araçlarda oldukça iyi bir yakıt ekonomisi sunabileceğinin önemli bir göstergesidir.

- **Sürüş süresinin yumurta eğrisi üzerinde oransal gösterimi**

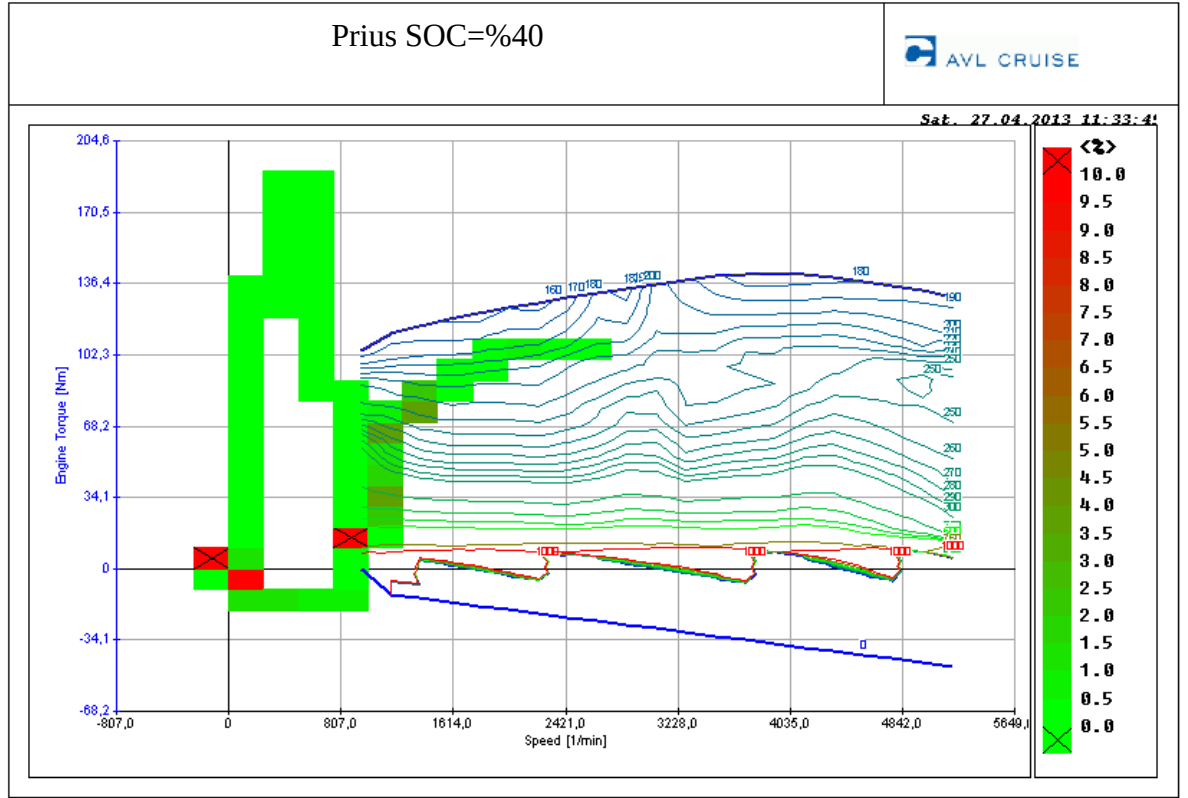
NEDC çevrimi boyunca, sürüş süresinin motor yumurta eğrisi üzerinde oransal olarak gösterimi, farklı SOC seviyeleri için aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.25 : Prius benzin motorunda %80 SOC durumunda sürüş süresi



Şekil 4.26 : Prius benzin motorunda %60 SOC durumunda sürüş süresi

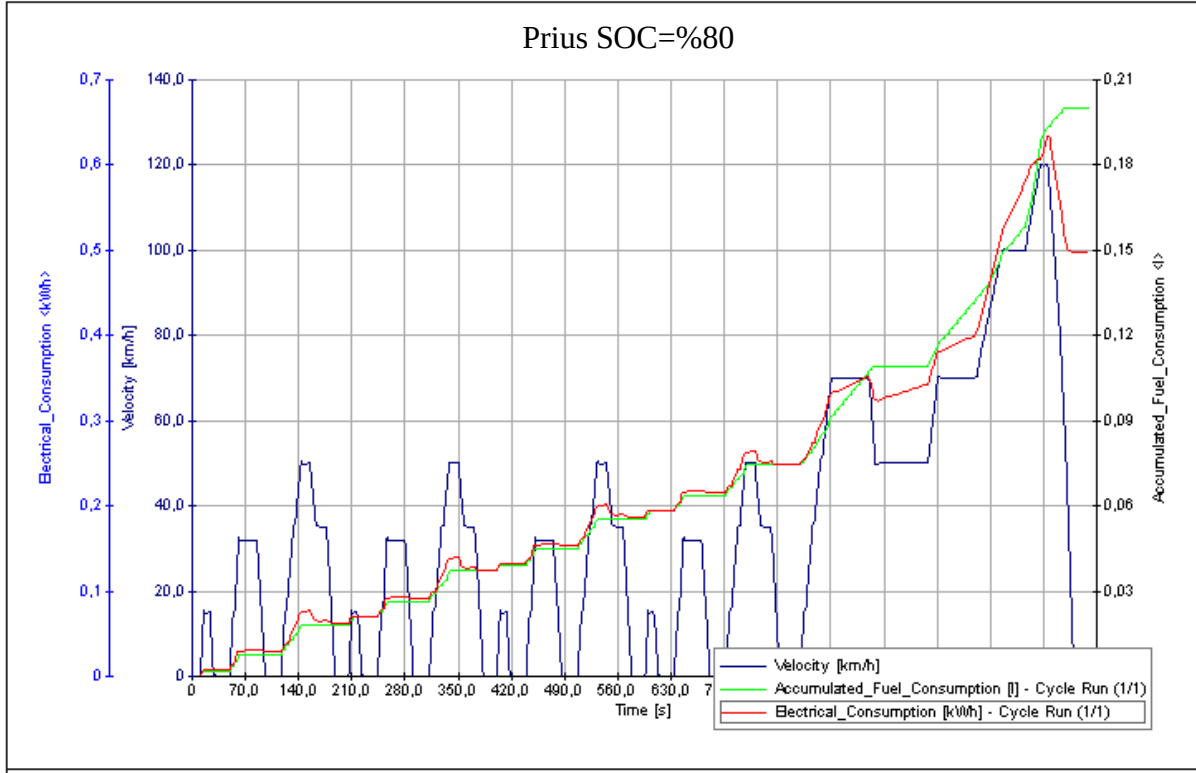


Şekil 4.27 : Prius benzin motorunda %40 SOC durumunda sürüş süresi

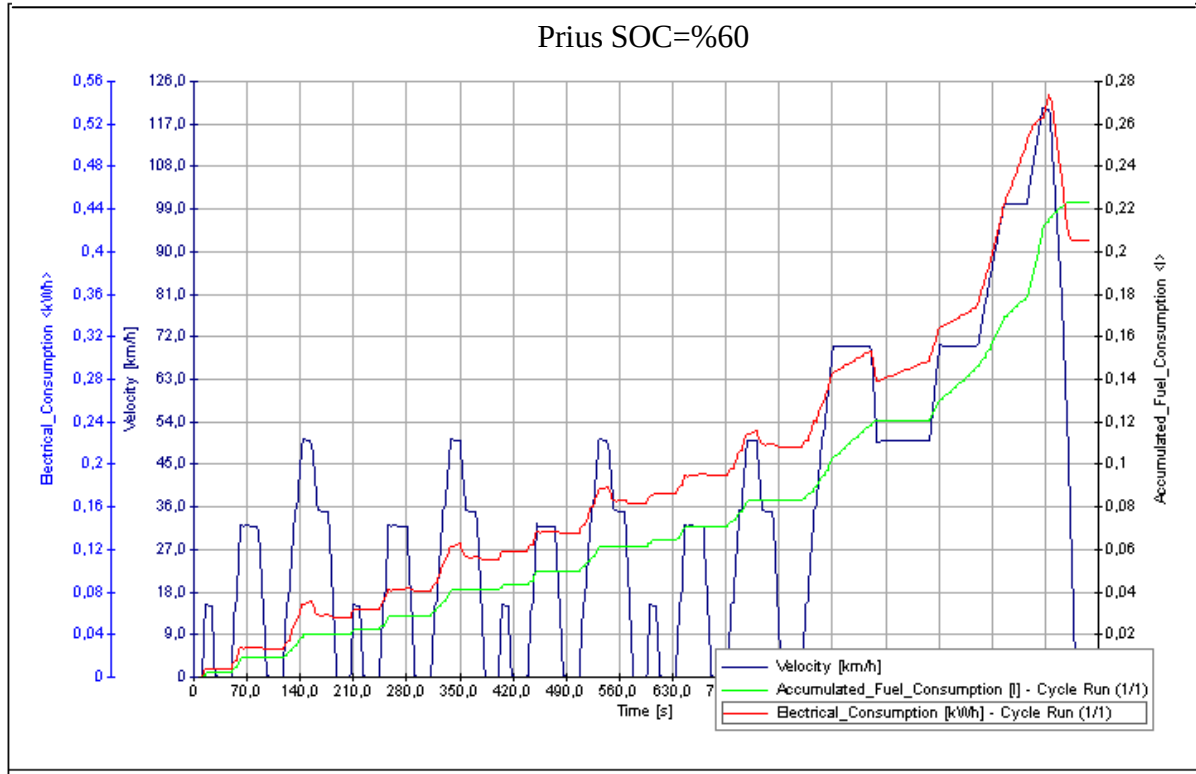
Rölanti devirleri dışında, araç hareket halindeyken, motor genellikle tork eğrisinin verimli bölümlerinde çalıştırılmış, bu sayede istenen performans ve yakıt ekonomisi sağlanmıştır.

Araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi

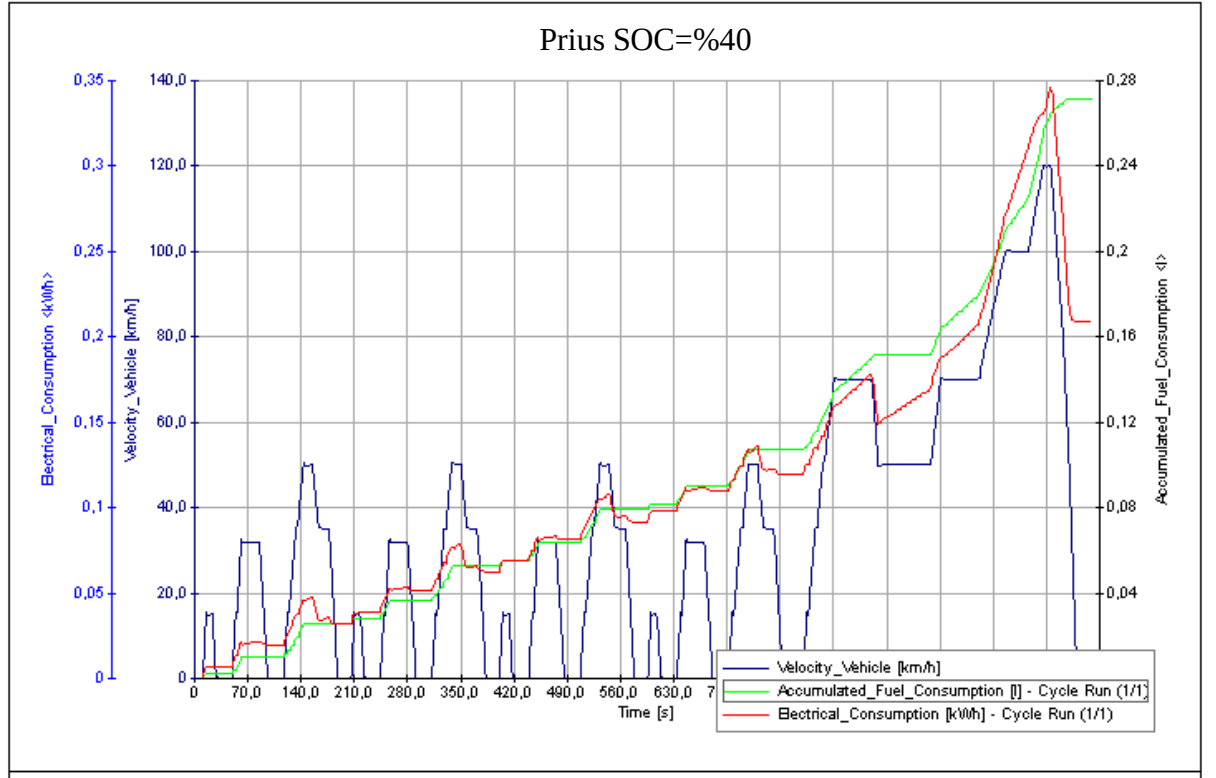
Araç hızına bağlı olarak, anlık yakıt tüketimi ve enerji tüketimi eğrileri farklı SOC seviyeleri için aşağıda gösterilmektedir. Daha önceden belirtildiği gibi, düşen batarya şarjı seviyeleri ile, enerji tüketimi azalırken, yakıt tüketimi değerleri artış göstermektedir.



Şekil 4.28 : Prius %80 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi



Şekil 4.29 : Prius %60 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi



Şekil 4.30 : Prius %40 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi

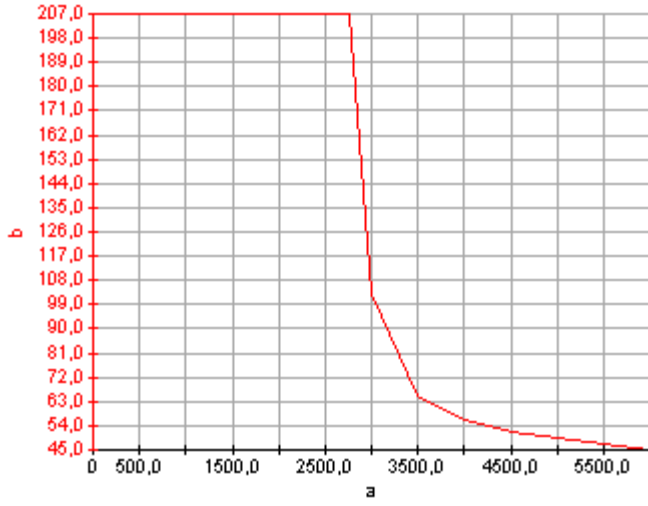
4.5.2 Güçlendirilmiş MG2 elektrik motoru ile Prius Plug-in Hybrid NEDC çevrimi sonuçları

Prius Plug-in Hybrid’de, çekiş motoru görevi yapan elektrikli motor MG2, tezimiz kapsamında bir modifikasyona tabi tutulmuştur. Bunun sonucunda, maksimum tork orijinal değer olan 207 Nm’den 400 Nm’ye yükseltilmiş, diğer parametreler sabit tutularak, sonuçlardaki değişimler saptanmıştır.

Orijinal motor tork karakteristiği: maksimum tork: 207 Nm

a: Motor devri [d/d]

b: Tork [Nm]

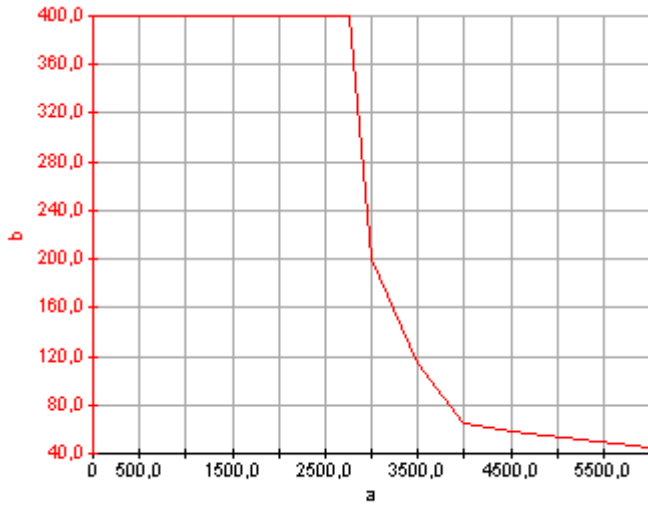


Şekil 4.31 : Prius orijinal MG2 motoru tork eğrisi[Ek A]

Yeni tork karakteristiği: maksimum tork: 400 Nm

a: Tork [Nm]

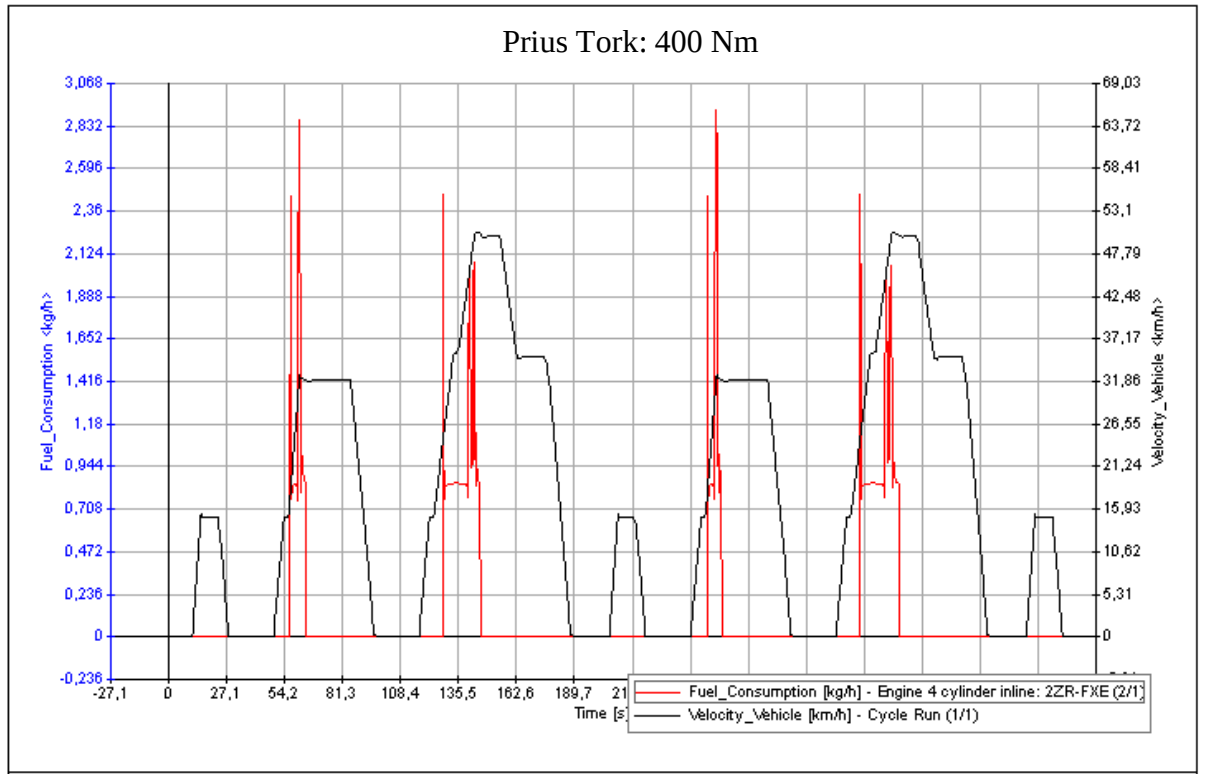
b: Motor devri [d/d]



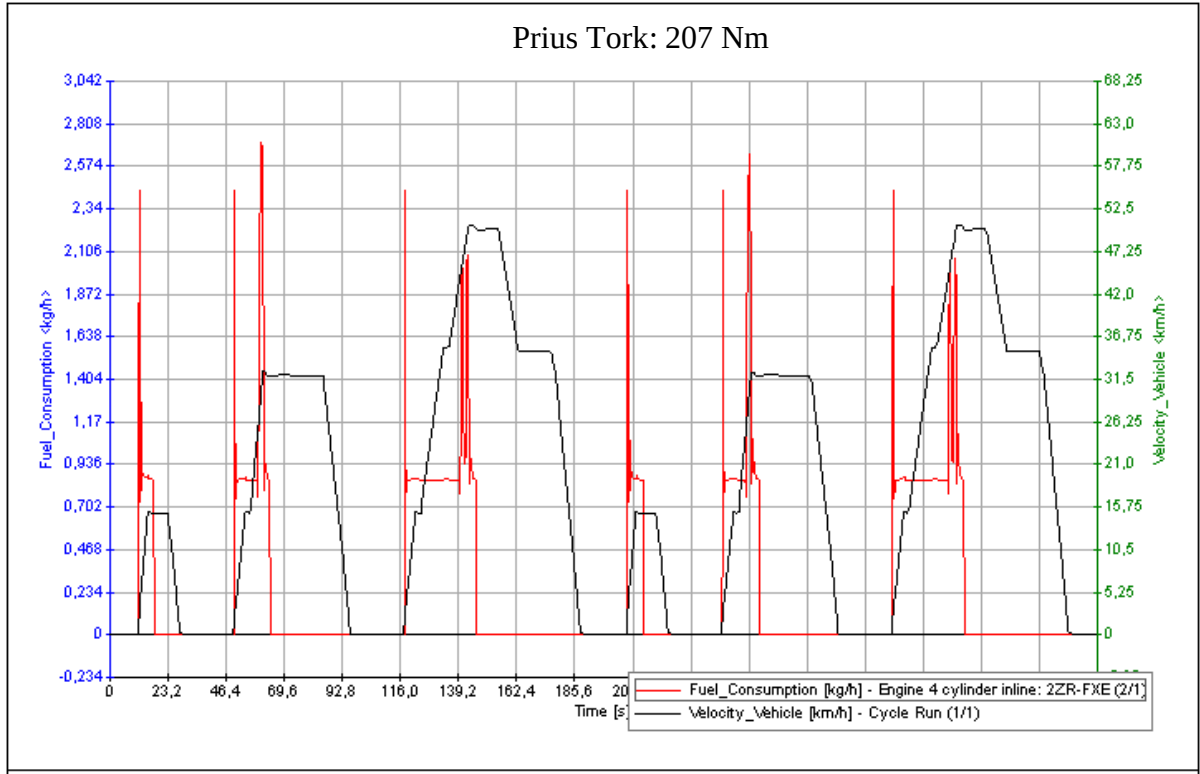
Şekil 4.32 : Prius güçlendirilmiş MG2 motoru tork eğrisi[Ek A]

4.5.2.1 İlk ivmelenmede durum

NEDC çevriminde bulunan, şehirçi çevriminin ilk ivmelenme bölümü olan 0-15 km/h hızlanmasında, orijinal aracın benzin motoru devreye girmekteyken, yaptığımız modifikasyon sonucu, yeni araç, bu bölümde sadece elektrik tahriki ile yol almaktadır. Bu durum, yakıt ekonomisini azalttığı gibi, motor soğukken ortaya çıkan emisyon değerlerini de oldukça düşürecektir.



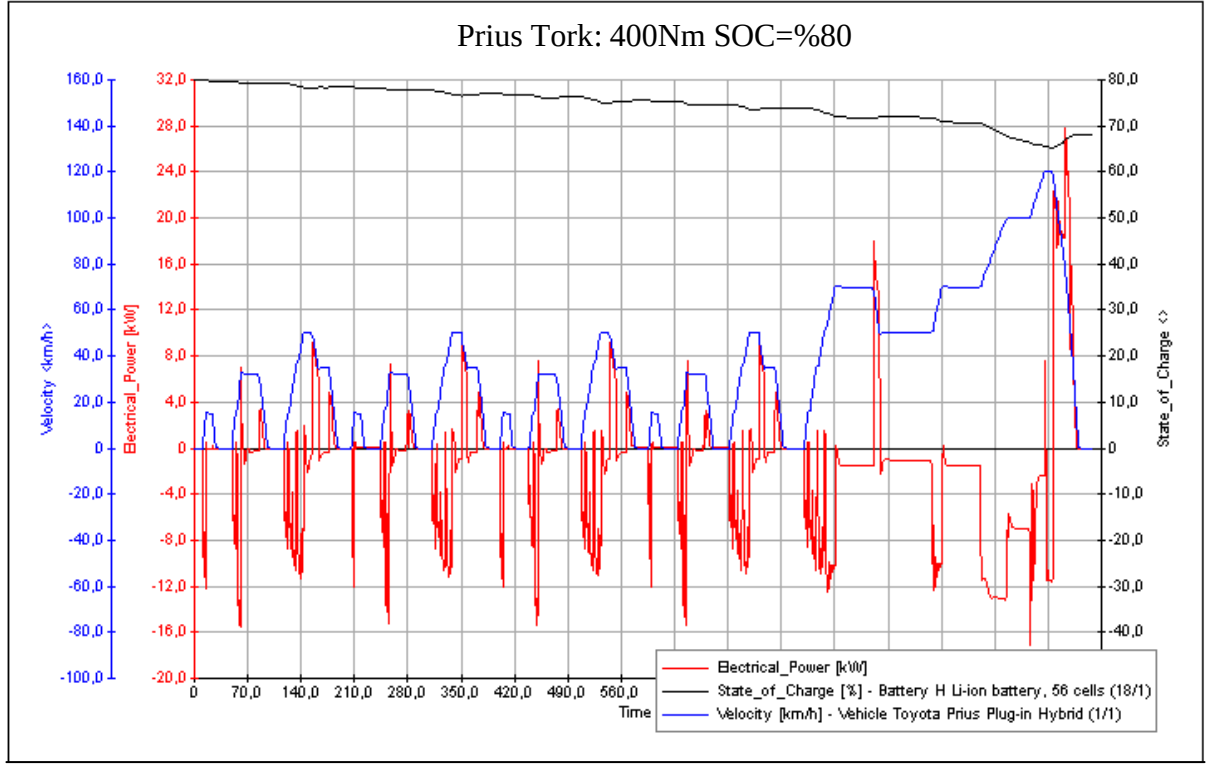
Şekil 4.33 : Güçlendirilmiş MG2 motoru ile UDC yakıt tüketimi



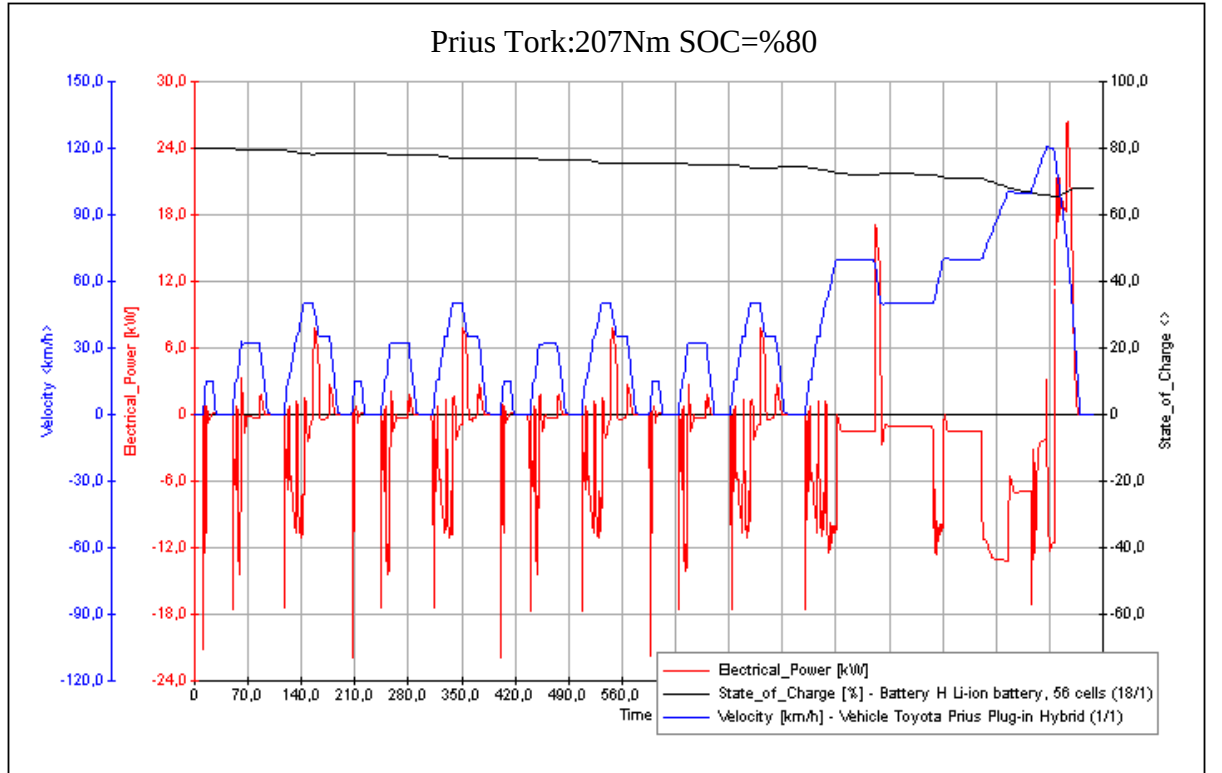
Şekil 4.34 : Orijinal MG2 motoru ile UDC yakıt tüketimi

4.5.2.2 Elektrik tüketimindeki değişim

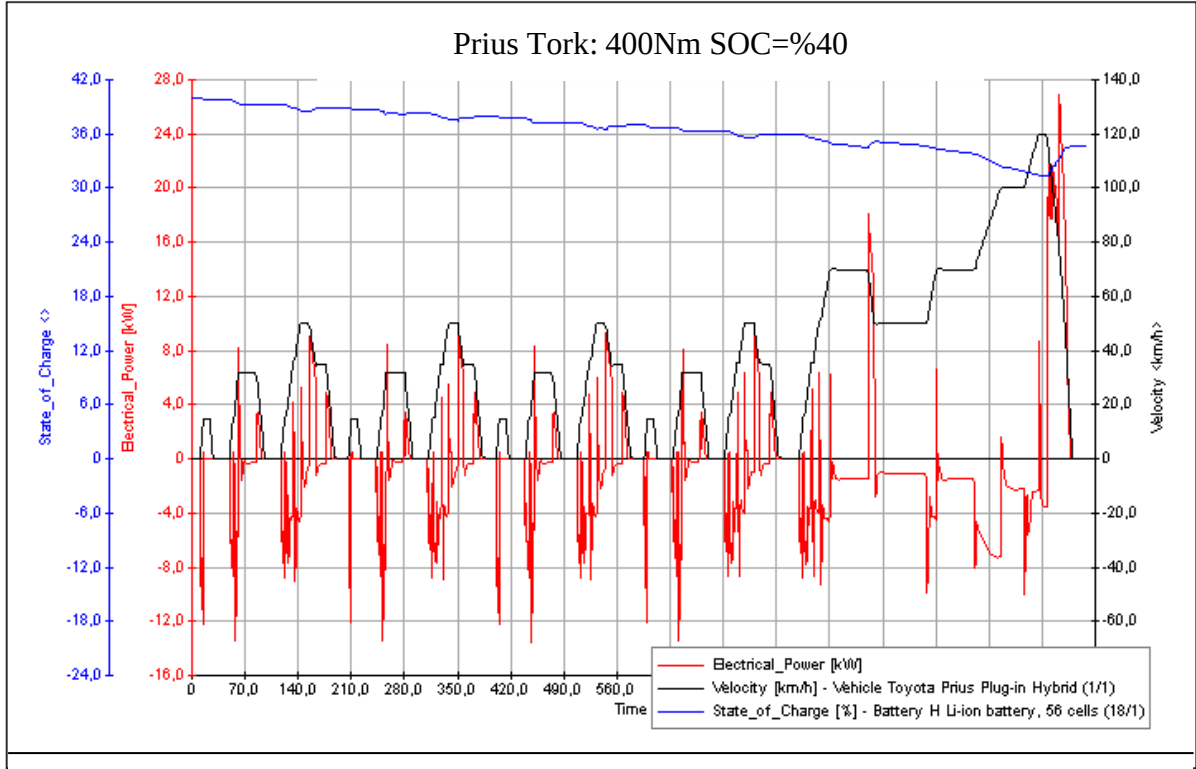
Standart aracın ve tarafımızdan elektrik motoru güçlendirilmiş aracın, maksimum ve minimum batarya şarj seviyelerinde batarya karakteristikleri şu şekildedir:



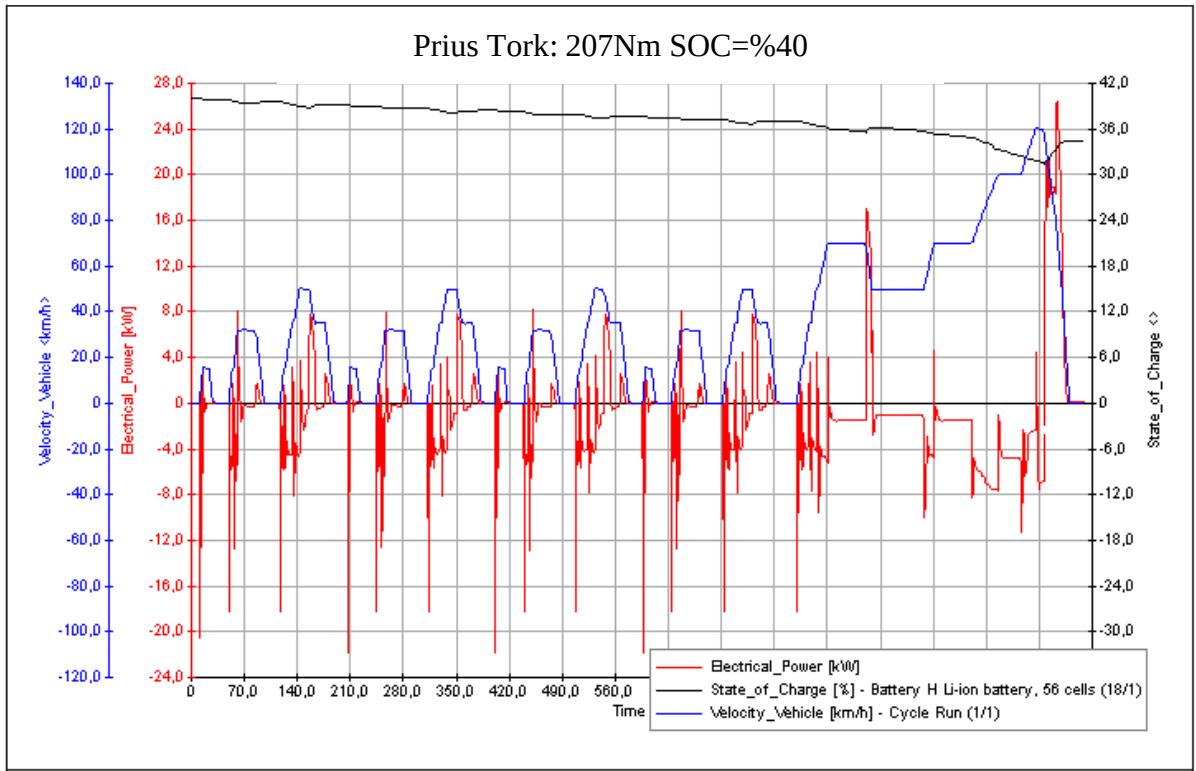
Şekil 4.35 : Güçlendirilmiş MG2 motoruyla dolu bataryada elektrik gücü değişimi



Şekil 4.36 : Orijinal MG2 motoruyla dolu bataryada elektrik gücü değişimi



Şekil 4.37 : Güçlendirilmiş MG2 motoruyla boşalmış bataryada elektrik gücü değişimi



Şekil 4.38 : Orijinal MG2 motoruyla boşalmış bataryada elektrik gücü değişimi

Aracın orijinal halindeki ve modifiyeli halindeki enerji tüketimi değerleri şu şekildedir:

Çizelge 4.5 : MG2 motoru güçlendirmesinin enerji tüketimine etkisi

Tor k [Nm]	SO C [%]	Harcanan enerji [kWs]	Harcanan enerji [kWh]	Harcanan enerji [Wh]	Kilometre başına harcanan enerji [Wh/km]
207	80	1792,91	0,498030556	498,030556	45,18103561
207	40	752,57	0,209047222	209,0472222	18,96463959
400	80	1779,27	0,494241667	494,2416667	44,83730987
400	40	724,61	0,201280556	201,2805556	18,26005221

Sonuçlardan anlaşılabileceği gibi, yeni durumda her iki SOC seviyesi için de enerji tüketimi daha düşüktür. Orijinal aracın enerji tüketimi değeri, ECE-R101 regülasyonuna göre, $E = 31,52666268$ Wh/km olarak bulunmuştu. Güçlendirilmiş aracın enerji tüketimi de bu şekilde hesaplanır:

$$E = (De \cdot E1 + Dav \cdot E2) / (De + Dav) \quad (4.2)$$

$E1 = 44,83730987$ Wh/km (SOC=%80 tam dolu şarj seviyesi ile enerji tüketimi)

$E2 = 18,26005221$ Wh/km (SOC=%30 minimum şarj seviyesi enerji tüketimi)

$De = 23$ km (aracın regülasyonda tanımlı şekilde saptanmış tam elektrikli menzili)

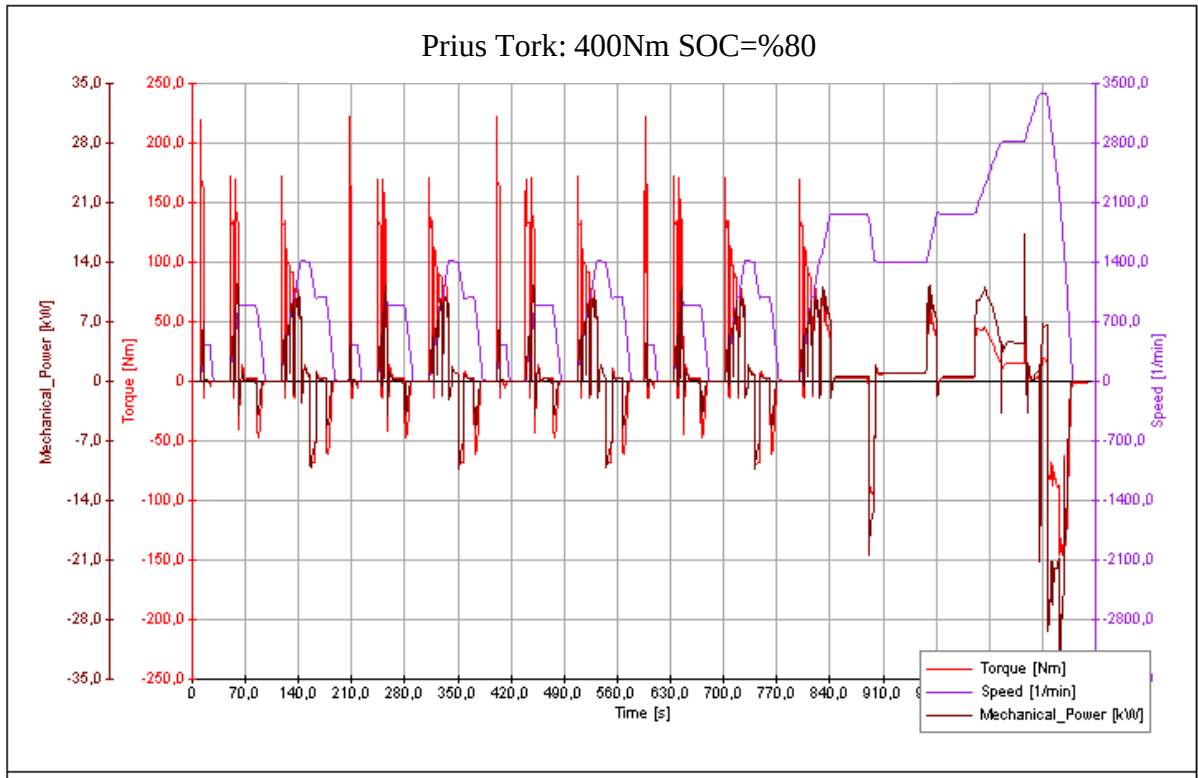
$Dav = 25$ km (bataryanın ilk şarjdan sonra tekrar şarj edilebilmesi için geçen tahmini mesafe)

$E = 30,99$ Wh/km (NEDC çevrimine göre enerji tüketimi)

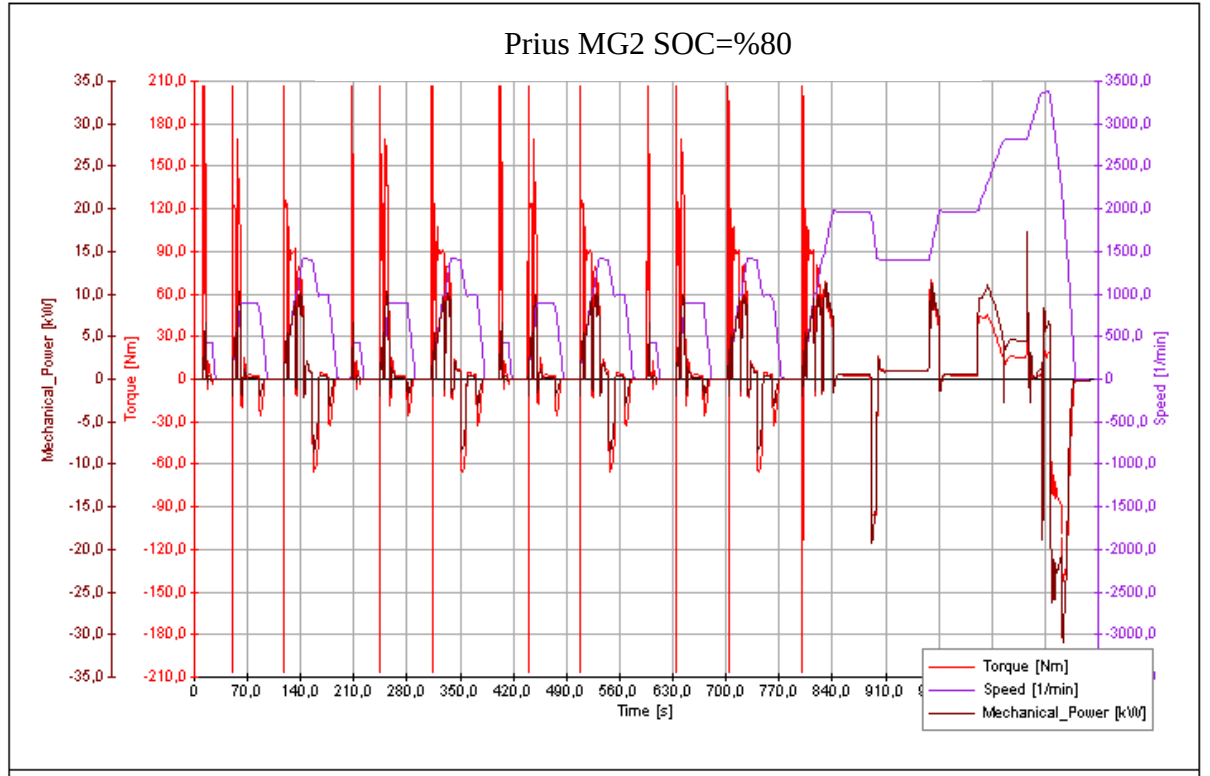
Modifiye edilmiş elektrik motoruyla Prius, daha az elektrik enerjisi tüketmektedir. MG2 motorunun torku 400 Nm değerine yükseltilmiş yeni araç, daha fazla güç üretmesine rağmen, araca sağladığı enerji ekonomisi daha yüksektir.

4.5.2.3 Elektrik motoru MG2'nin durumu

Orijinal ve modifiyeli MG2 motorlarının, zamana bağlı, hız, tork ve mekanik güç değişimleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir:



Şekil 4.39 : %80 SOC durumunda güçlendirilmiş MG2 motoru tork ve güç eğrileri

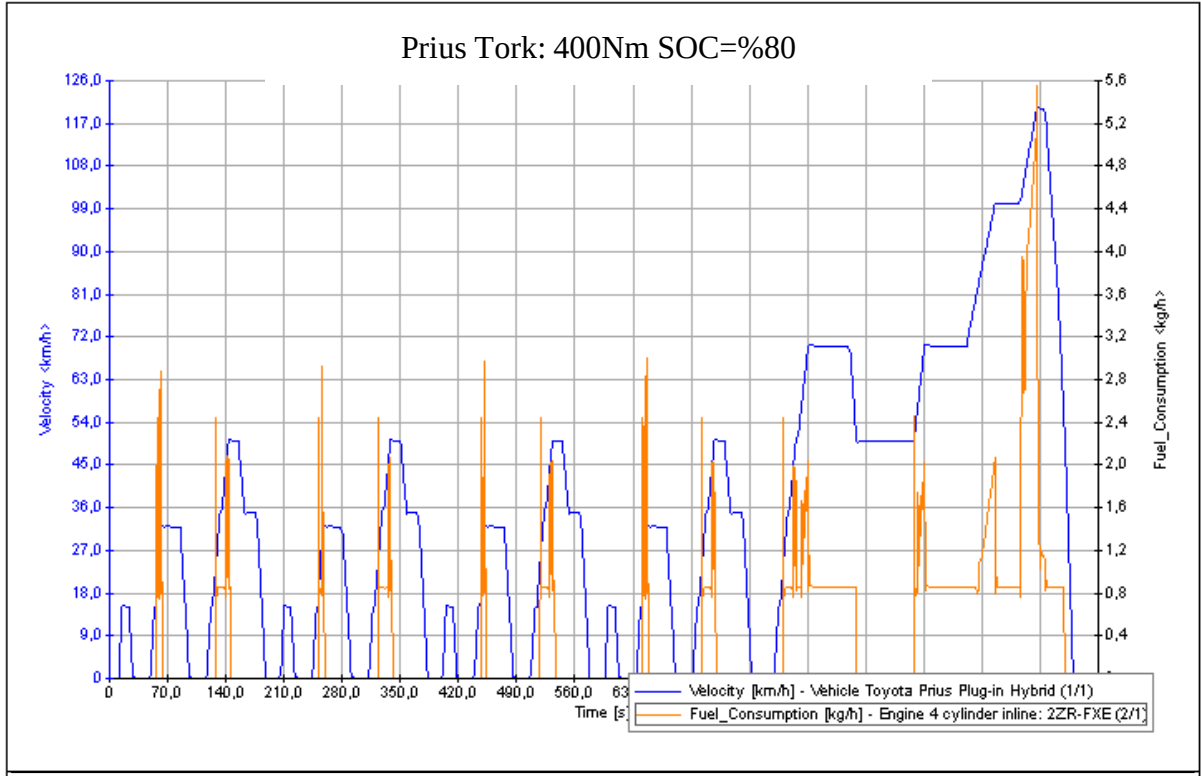


Şekil 4.40 : %80 SOC durumunda orijinal MG2 motoru tork ve güç eğrileri

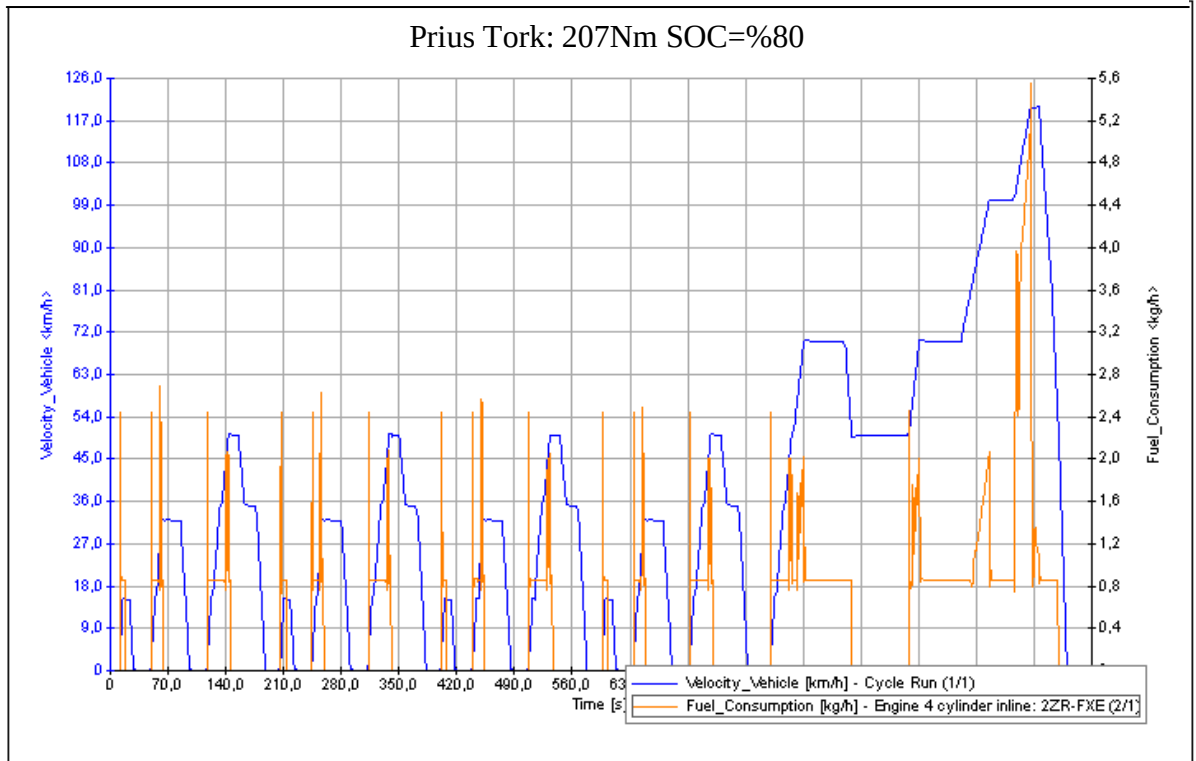
Görüldüğü üzere, ivmelenme başlangıçlarında daha güçlü motor, daha pürüzsüz bir çalışma sağlayarak, negatif tork bölgesine çok inmeden, hemen ekstra tork sağlayarak çekişe katkı sağlamaktadır. Bu durum, yeni motorun, öngörülebileceği üzere, daha üstün bir performans sunabileceği anlamını taşımaktadır.

4.5.2.4 Yakıt tüketimindeki değişim

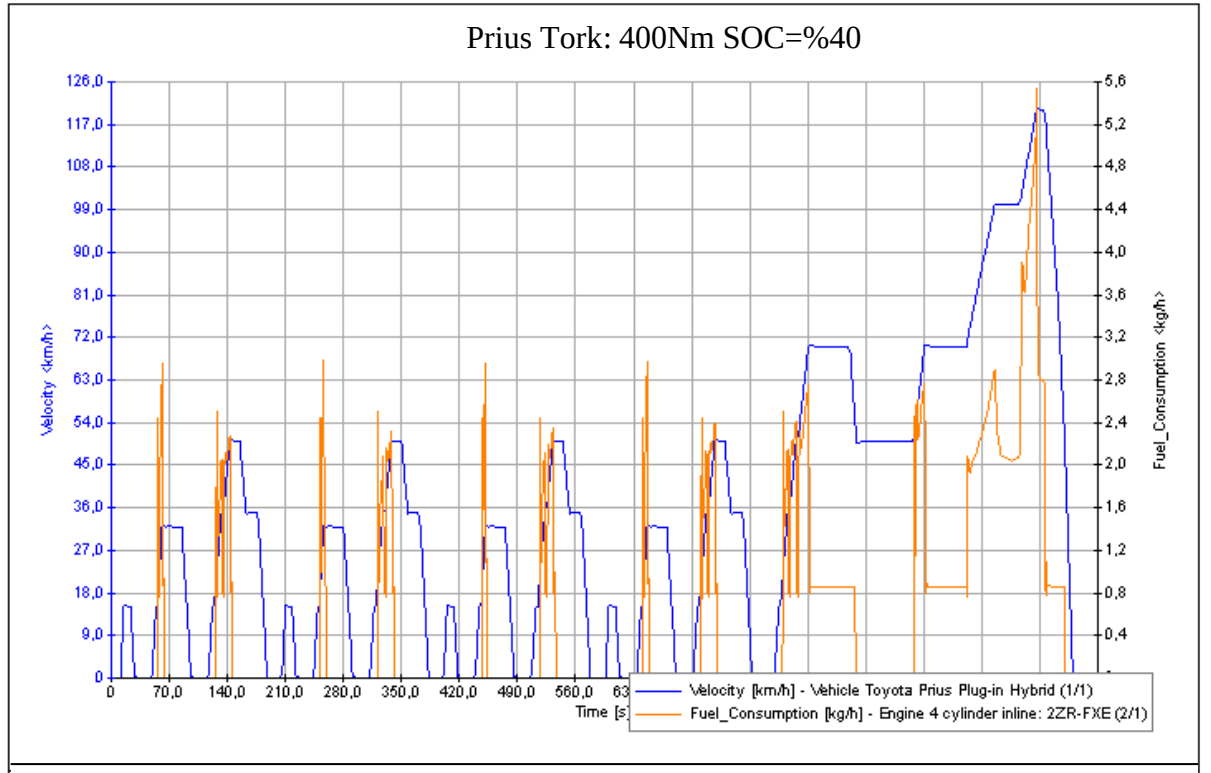
Güçlendirilmiş motorlu aracın ve orijinal aracın yakıt tüketimi verileri şu şekildedir:



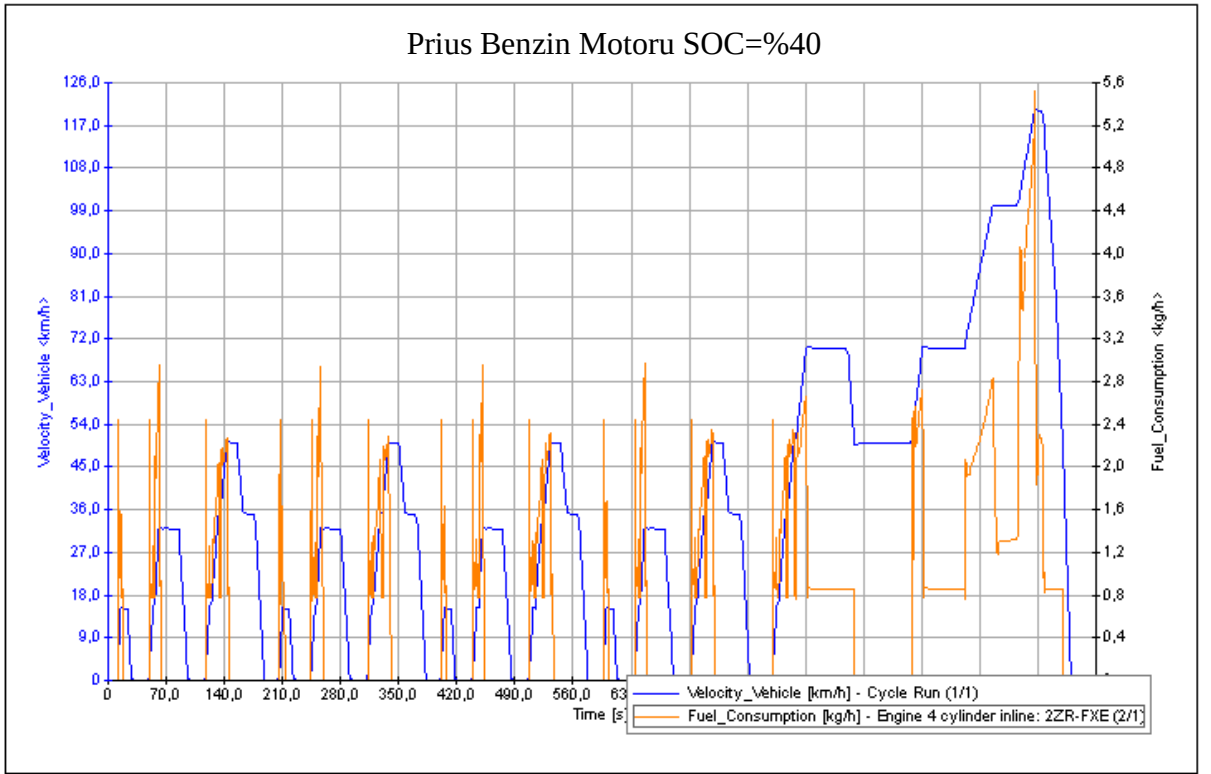
Şekil 4.41 : Güçlendirilmiş MG2 motoruyla %80 SOC durumunda yakıt tüketimi



Şekil 4.42 : Orijinal MG2 motoruyla %80 SOC durumunda yakıt tüketimi



Şekil 4.43 : Güçlendirilmiş MG2 motoruyla %40 SOC durumunda yakıt tüketimi



Şekil 4.44 : Orijinal MG2 motoruyla %40 SOC durumunda yakıt tüketimi

Bu grafiklerdeki veriler doğrultusunda, eski ve yeni durumlardaki yakıt tüketimi değerleri şu şekildedir:

Çizelge 4.6 : MG2 motoru güçlendirmesinin yakıt tüketimine etkisi

Tork [Nm]	SOC [%]	Yakıt tüketimi [kg]	Yakıt tüketimi [l]	Yakıt tüketimi [l/100km]
207	80	0,148436847	0,200590334	1,819743571
207	40	0,201403794	0,272167289	2,46908545
400	80	0,122222022	0,165164895	1,498366094
400	40	0,177749675	0,240202264	2,17910064

Görüldüğü gibi, yeni durumda her iki SOC seviyesi için de yakıt tüketimi daha düşüktür. Orijinal aracın yakıt tüketimi değeri, ECE-R101 regülasyonuna göre, $C = 2,1579$ l/100km olarak bulunmuştu. Güçlendirilmiş aracın yakıt tüketimi de bu şekilde hesaplanır:

$$C = (De \cdot C1 + Dav \cdot C2) / (De + Dav) \quad (4.1)$$

$C1 = 1,498366094$ l/100km (SOC=%80 tam dolu şarj seviyesi ile yakıt tüketimi)

$C2 = 2,17910064$ l/100km (SOC=%30 minimum şarj seviyesi yakıt tüketimi)

$De = 23$ km (aracın regülasyonda tanımlı şekilde saptanmış tam elektrikli menzili)

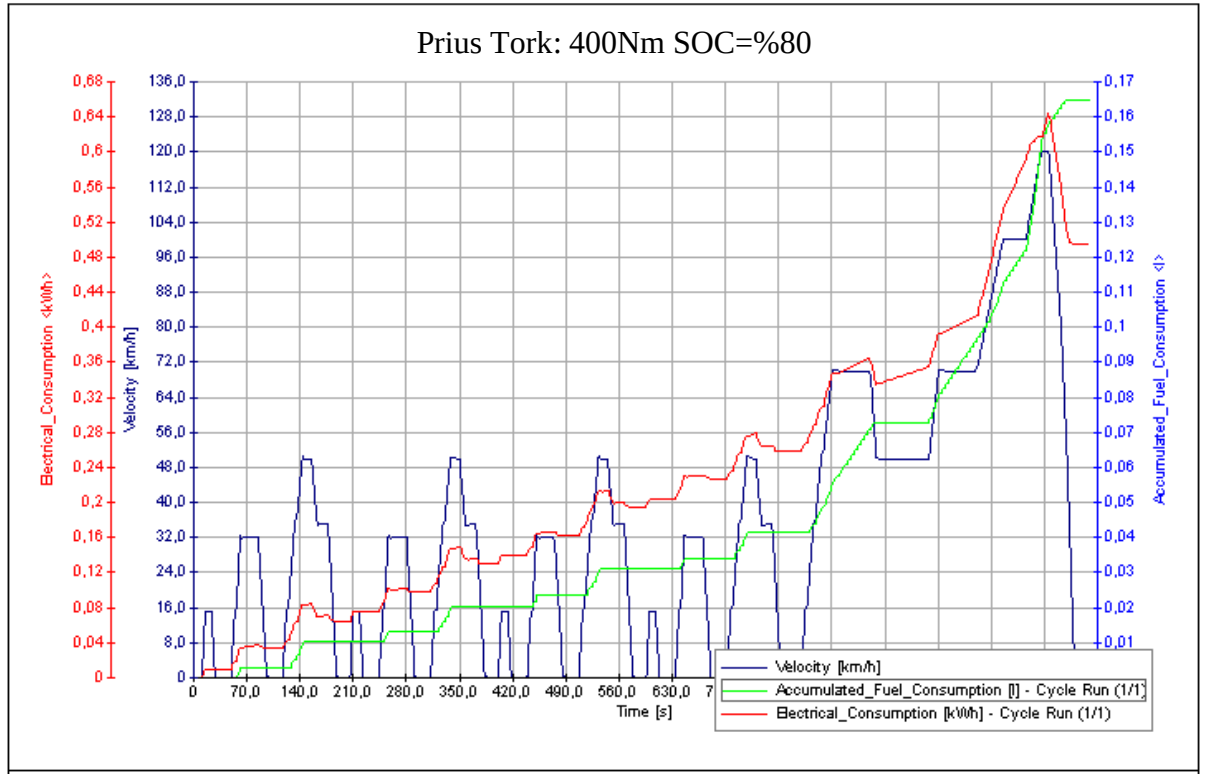
$Dav = 25$ km (bataryanın ilk şarjdan sonra tekrar şarj edilebilmesi için geçen tahmini mesafe)

$C = 1,85$ l/100km (NEDC çevrimine göre yakıt tüketimi)

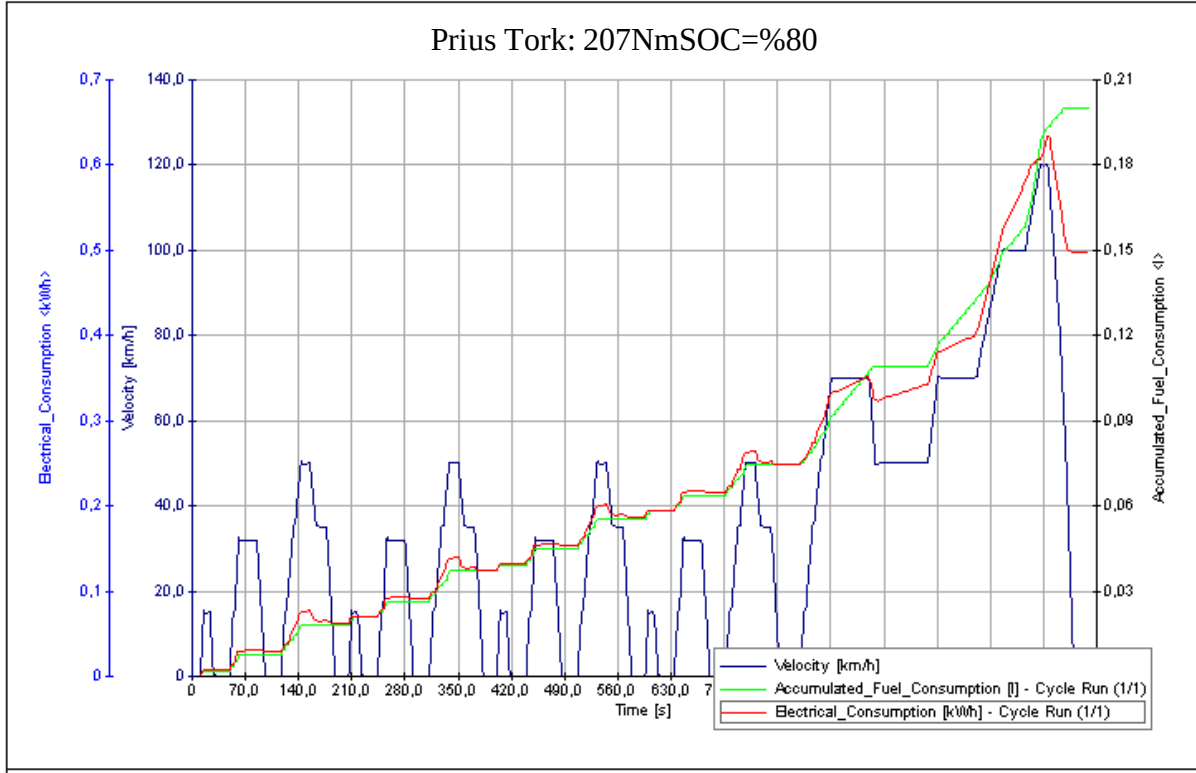
Daha güçlü elektrik motoruyla, modifiyeli araç orijinalinden de düşük bir yakıt tüketimi sunmaktadır. 100 kilometrede 2 litrenin altında olan yakıt tüketim değeri, son derece düşüktür.

4.4.2.5 Yeni motorla birlikte aracın genel ekonomisi

Aşağıdaki grafiklerden de anlaşılabileceği gibi, 400 Nm tork sunan yeni MG2 elektrik motoru, sadece daha fazla performans sunmakla kalmamakta, önceki hesaplamalarla da tespit edildiği üzere hem elektrik enerjisi tüketiminde, hem de yakıt ekonomisinde çok daha cimri bir tutum sergilemektedir. Ayrıca, düşük hızlı ivmelenmelerde, benzin motorunun devreye girmemesi, binek araçlarda ortaya çıkan emisyonlar açısından kritik bir bölge olan motorun soğuk olduğu durumlarda, modifiyeli araca emisyonlar konusunda da önemki bir avantaj getirebilecektir. Bu tip bir motorun, Prius Plug-in Hybrid'e entegrasyonu, aracı birçok konuda olduğundan daha ileriye taşıyabilecektir.



Şekil 4.45 : Güçlendirilmiş MG2 motoruyla yakıt ve enerji tüketimi



Şekil 4.46 : Orijinal MG2 motoruyla yakıt ve enerji tüketimi

4.6 Chevrolet Volt NEDC Uygulaması

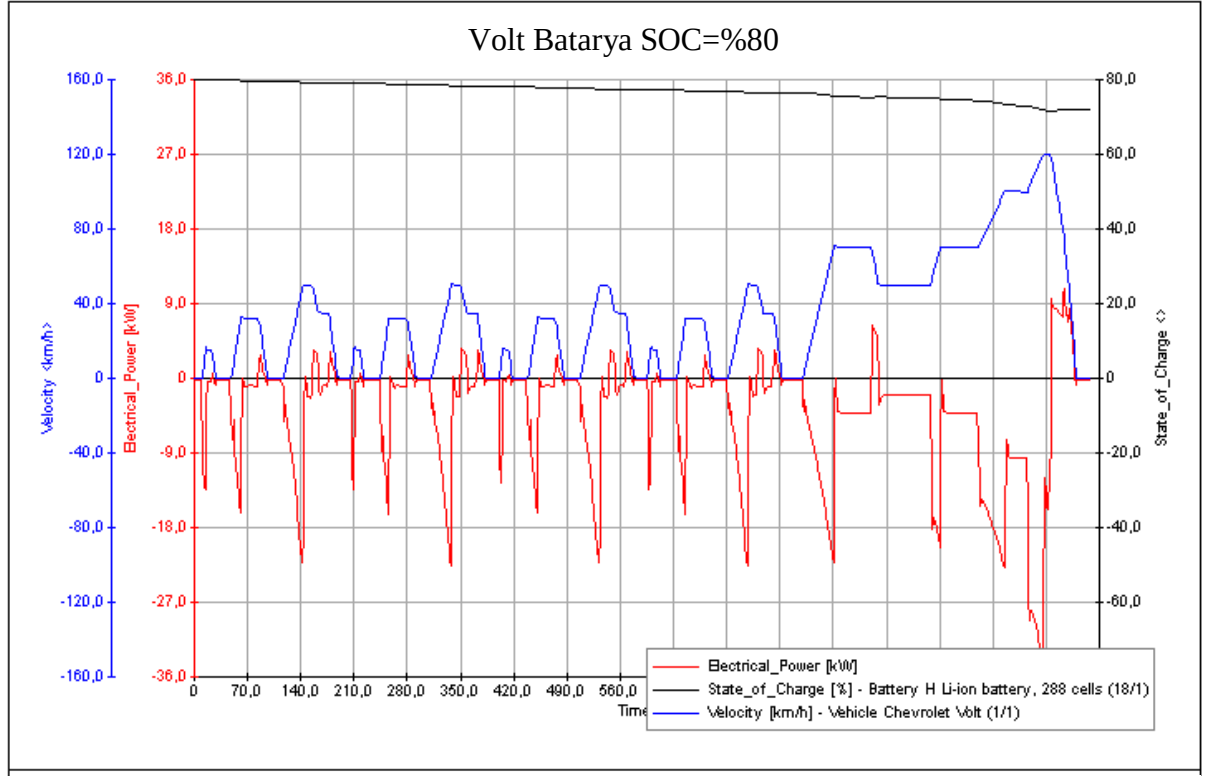
Menzil artırıcı elektrikli araç konseptinin temsilcisi olarak, tezimizde yer alan Chevrolet Volt, AVL Cruise programında, NEDC çevrimini, dört farklı durumda koşmuştur:

- 1- Tam dolu batarya şarjı SOC=%80 durumu
- 2- Minimum batarya şarjı SOC=%30 durumu
- 3- Orta dolu batarya şarjı SOC=%55 durumu
- 4- Tam dolu batarya şarjı SOC=%80 durumu için arka arkaya 9 adet çevrim koşturulması

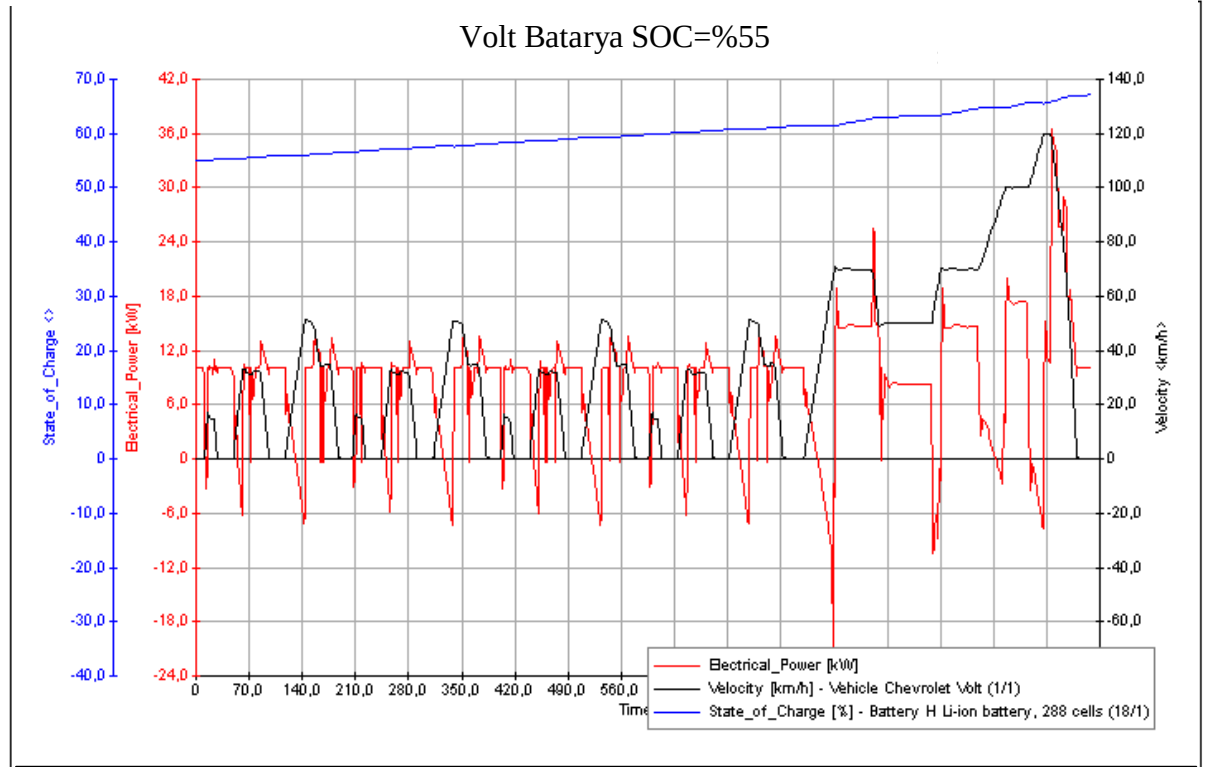
4.6.1 Chevrolet Volt NEDC çevrimi sonuçları

Batarya

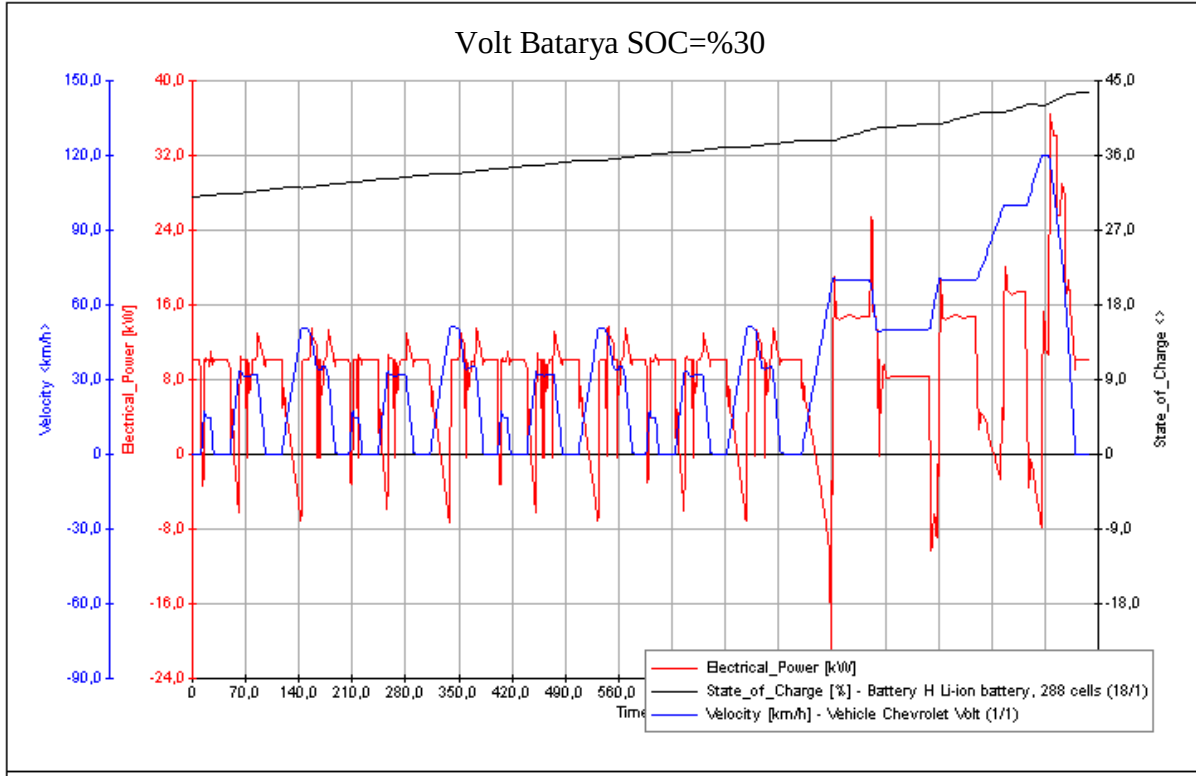
Menzil artırıcı elektrikli otomobil bataryasının farklı şarj seviyelerindeki, elektrik gücü üretimi ve SOC seviyesi değişimi aşağıdaki gibi olmaktadır:



Şekil 4.47 : Volt batarya %80 SOC durumunda güç ve SOC değişimi



Şekil 4.48 : Volt batarya %55 SOC durumunda güç ve SOC değişimi



Şekil 4.49 : Volt batarya %30 SOC durumunda güç ve SOC değişimi

Tam dolu batarya şarjı durumunda, araçta benzin motoru devrede değildir ve batarya elektrik motoru için bir enerji kaynağı görevi görmekte, buna bağlı olarak da SOC seviyesi düşmektedir. Minimum şarj (SOC=%30) ve orta seviyede şarj (SOC=%55) durumlarında, batarya benzer davranış göstermektedir. Benzin motoru devreye girerek, SOC seviyesini yükseltmekte ve batarya yeniden şarj olmaktadır.

Grafiklerden elde edilen veriler doğrultusunda, bataryadaki elektrik enerjisi tüketimi ve kazanımları şu şekilde gerçekleşmektedir:

Çizelge 4.7 : Volt bataryasında elektrik enerjisi tüketimi

SOC [%]	Harcanan enerji [kWs]	Harcanan enerji [kWh]	Harcanan enerji [Wh]	Kilometre başına harcanan enerji [Wh/km]
80	4731,33	1,314258333	1314,258333	119,2287339
55	-10125,28	-2,812577778	-2812,577778	-255,1553822
30	-10125,19	-2,812552778	-2812,552778	-255,1531142

Görüldüğü üzere, orta ve minimum şarj seviyelerinde tüketim değerleri negatif olup, benzin motoru, bu şarj durumlarında jeneratör olarak görev yaparak bataryaya elektrik enerjisi sağlamaktadır. Tam dolu şarj seviyesinde, çevrim koşulduğunda ise, elektrik motorları çekiş için tüm gücü, bataryadan sağladığından, enerji tüketimi miktarı klasik bir hibrit araca nispetle çok daha yüksek olmaktadır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, aracın ECE-R101 regülasyonuna göre enerji tüketimi hesaplanmıştır.

$$E = (De \cdot E1 + Dav \cdot E2) / (De + Dav) \quad (4.2)$$

$E1 = 119,2287339 \text{ Wh/km}$ (SOC=%80 tam dolu şarj seviyesi ile enerji tüketimi)

$E2 = -255,1531142 \text{ Wh/km}$ (SOC=%30 minimum şarj seviyesi enerji tüketimi)

$De = 83 \text{ km}$ (aracın regülasyonda tanımlı şekilde saptanmış tam elektrikli menzili)

$Dav = 25 \text{ km}$ (bataryanın ilk şarjdan sonra tekrar şarj edilebilmesi için geçen tahmini mesafe)

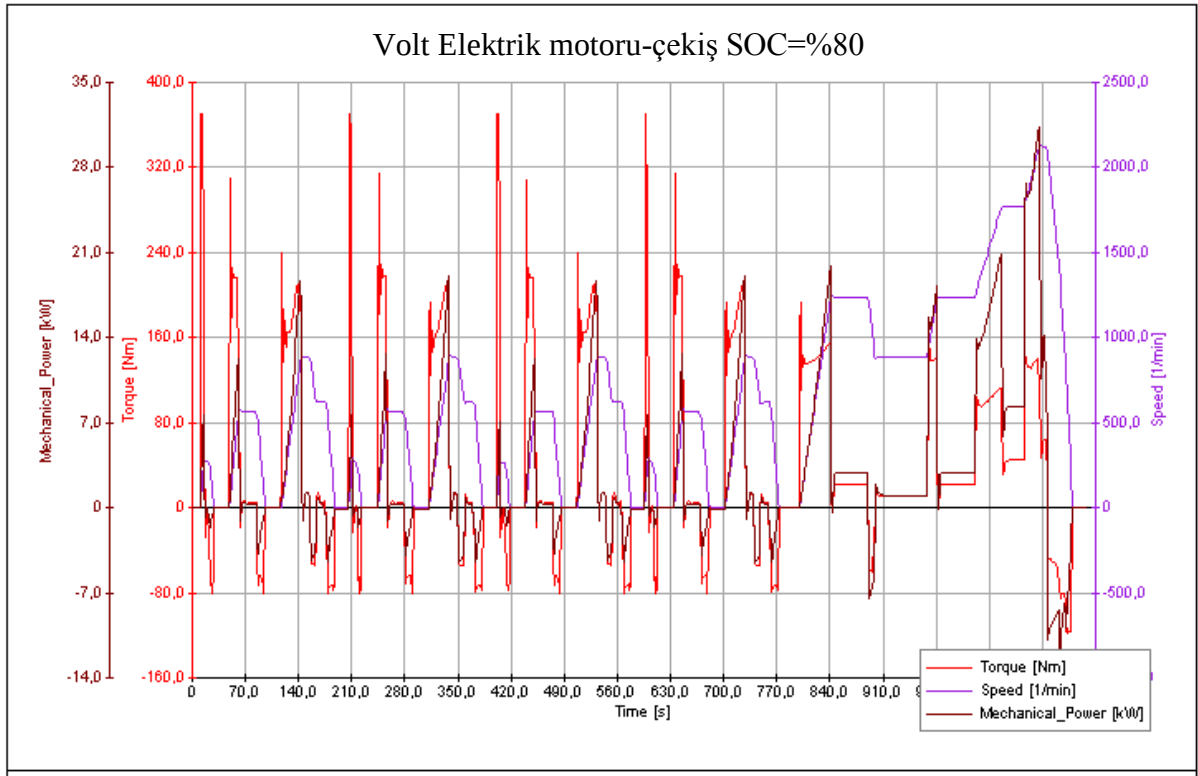
$E = 32,57 \text{ Wh/km}$ (NEDC çevrimine göre enerji tüketimi)

NEDC çevrimine göre kilometre başına enerji tüketimi değeri, Prius Plug-in hybrid ile hemen hemen aynı çıkmıştır. Prius için $E=31,53 \text{ Wh/km}$ olarak bulunmuştur.

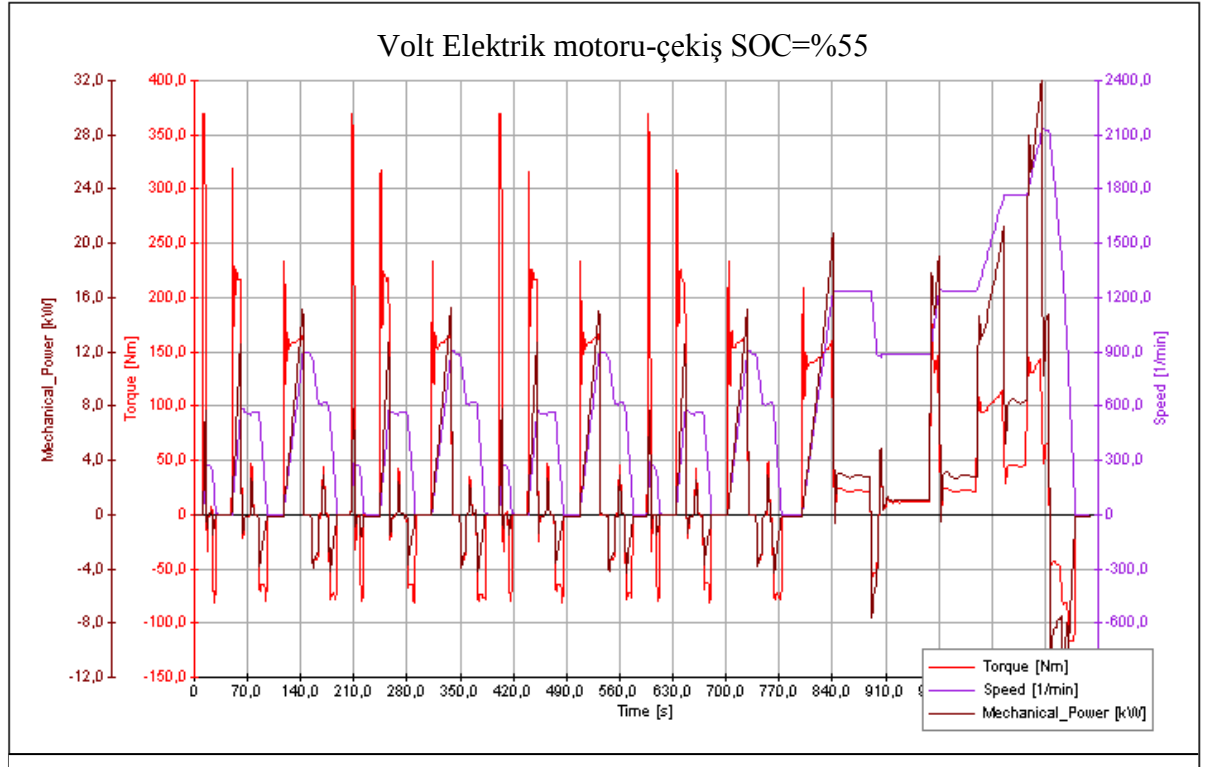
Fakat, araçların, farklı batarya şarjı seviyelerinde sergiledikleri tutum birbirinden oldukça farklıdır.

Elektrik motoru-çekiş

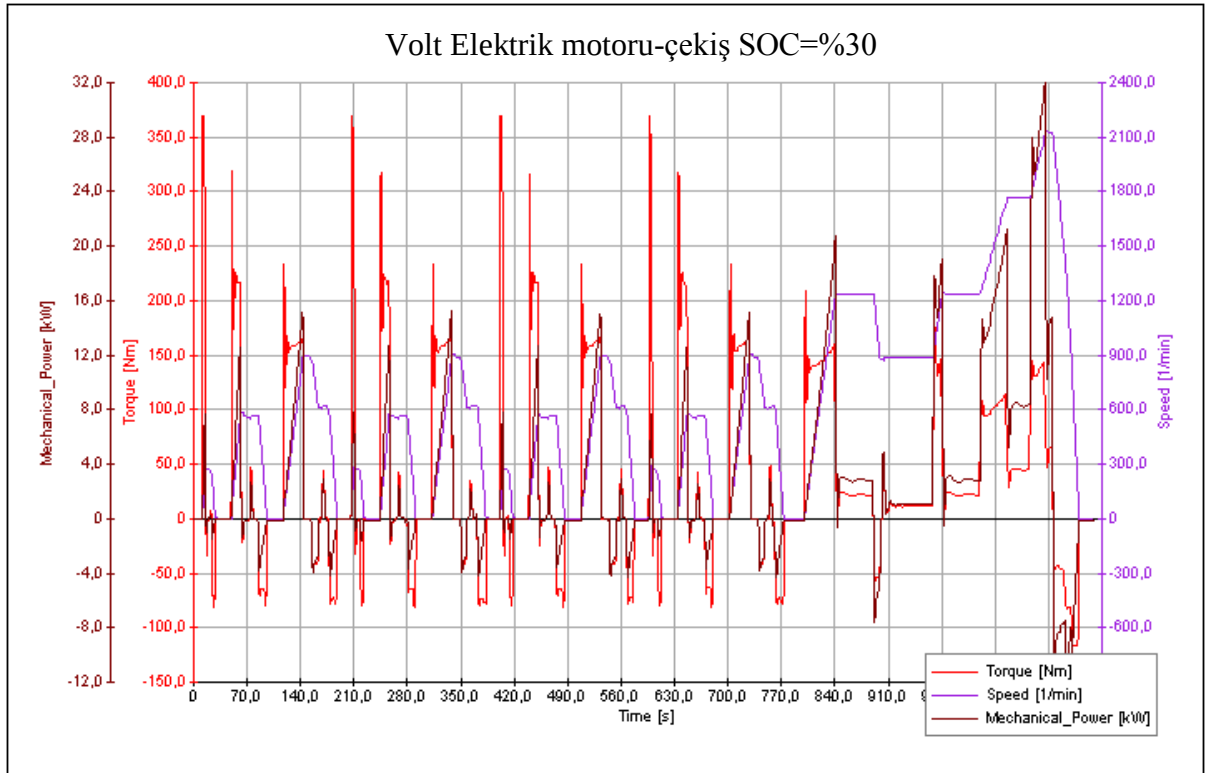
Volt'un 111 kW gücündeki çekiş motorunun, tork, motor hızı ve mekanik güç karakteristikleri, farklı SOC seviyeleri için aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.50 : Volt elektrik çekiş motoru %80 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi



Şekil 4.51 : Volt elektrik çekiş motoru %55 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi



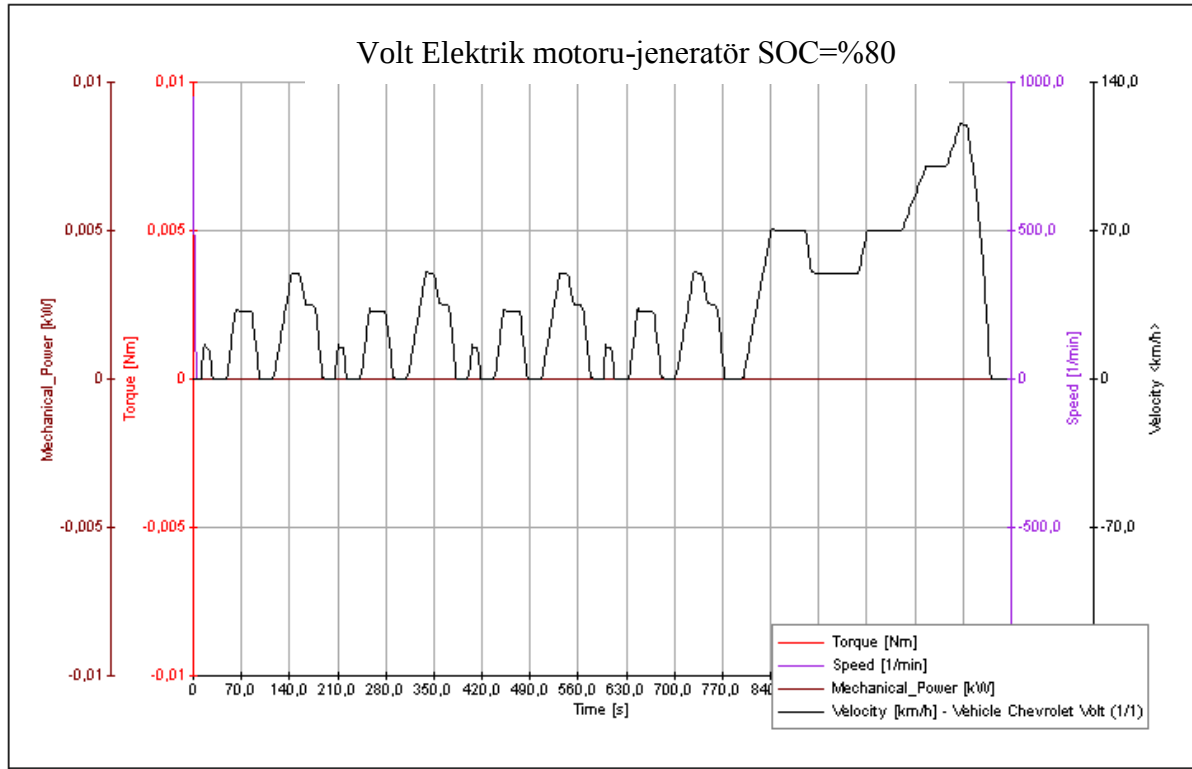
Şekil 4.52 : Volt elektrik çekiş motoru %30 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi

Görüldüğü gibi, çekiş motorunun, çalışması SOC seviyesiyle büyük bir değişim göstermemektedir. Aracı ilerletmekle görevli ana ünite olan bu motor, modelimizdeki tekerleklere direkt güç veren tek güç kaynağıdır. İvmelenmelerde, tork ve güç üreterek, aracı ilerleten bu ünite, frenleme esnasında da motor freni görevi yaparak aracın yavaşlamasına katkıda bulunmaktadır.

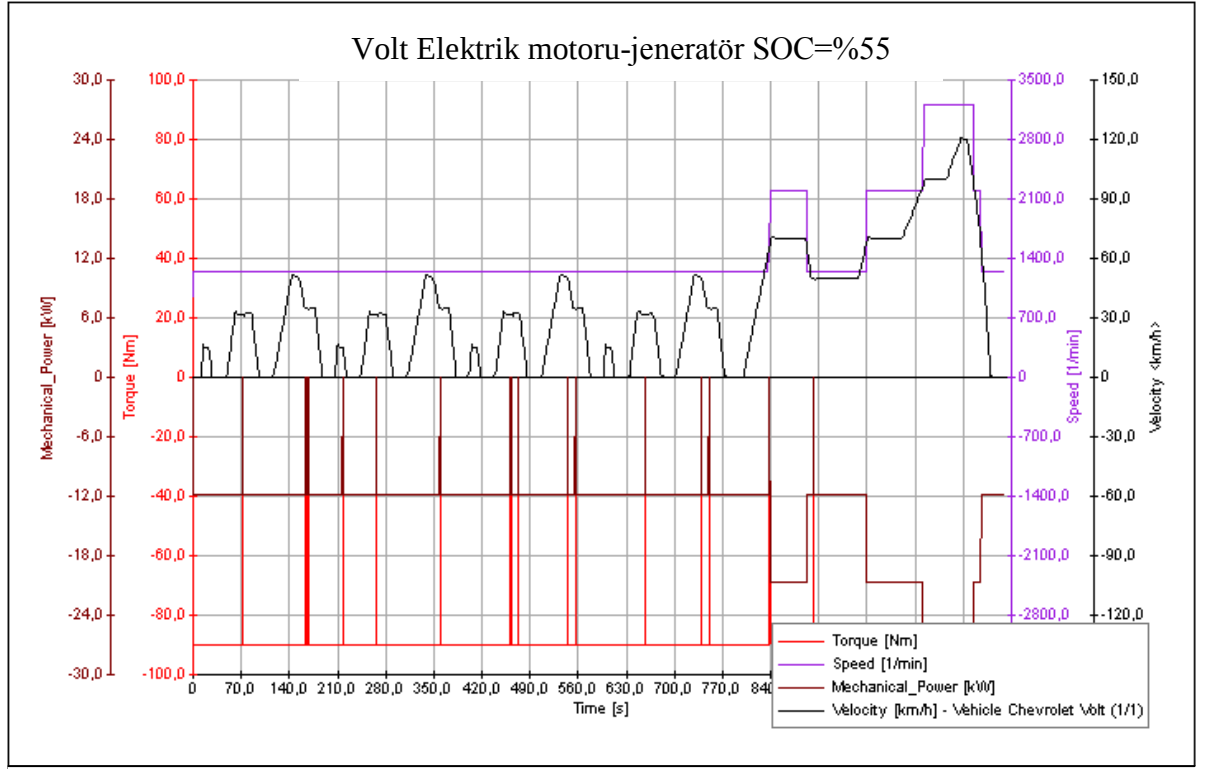
Elektrik motoru-jeneratör

Modelde bulunana diğer elektrik motoru, jeneratör olarak görev yapmaktadır. Gerçek hayatta, bazı sürüş durumlarında, tekerleklere de güç ileten bu motor, daha önceden açıklanan malum sebeplerden ötürü, modelimizde yalnızca jeneratör görevi görmektedir.

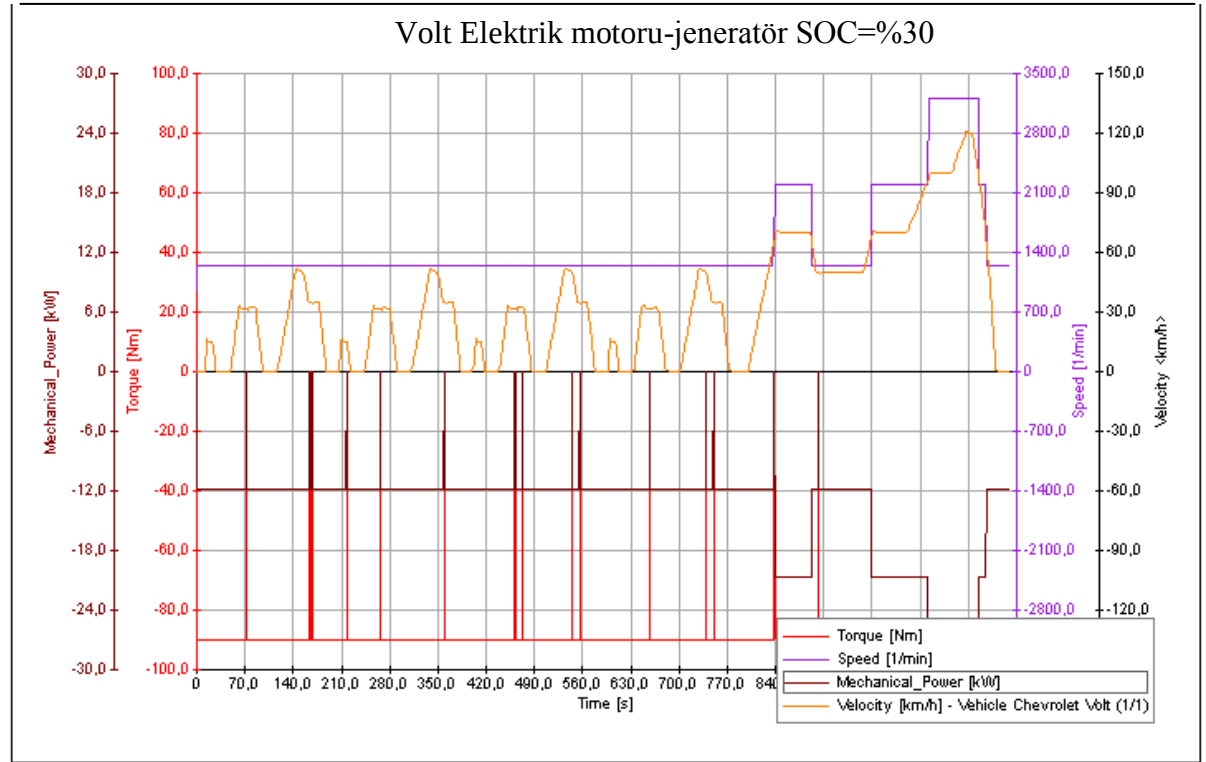
Tam dolu şarj seviyesinde, benzin motoruyla birlikte devre dışı olan bu motor çalışmamaktadır. Düşük şarj seviyelerinde ise, içten yanmalı motorun da devreye girmesiyle birlikte bataryayı şarj etme görevini üstlenmiştir.



Şekil 4.53 : Volt elektrik jeneratör motoru %80 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi



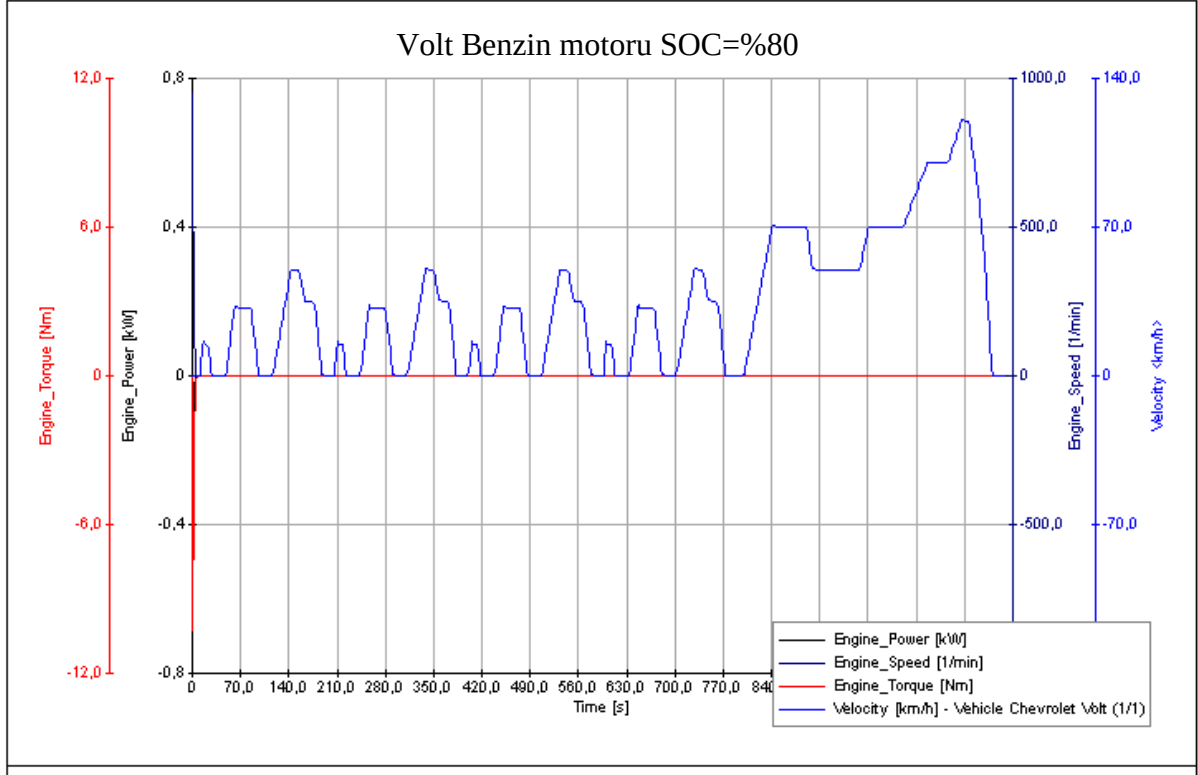
Şekil 4.54 : Volt elektrik jeneratör motoru %55 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi



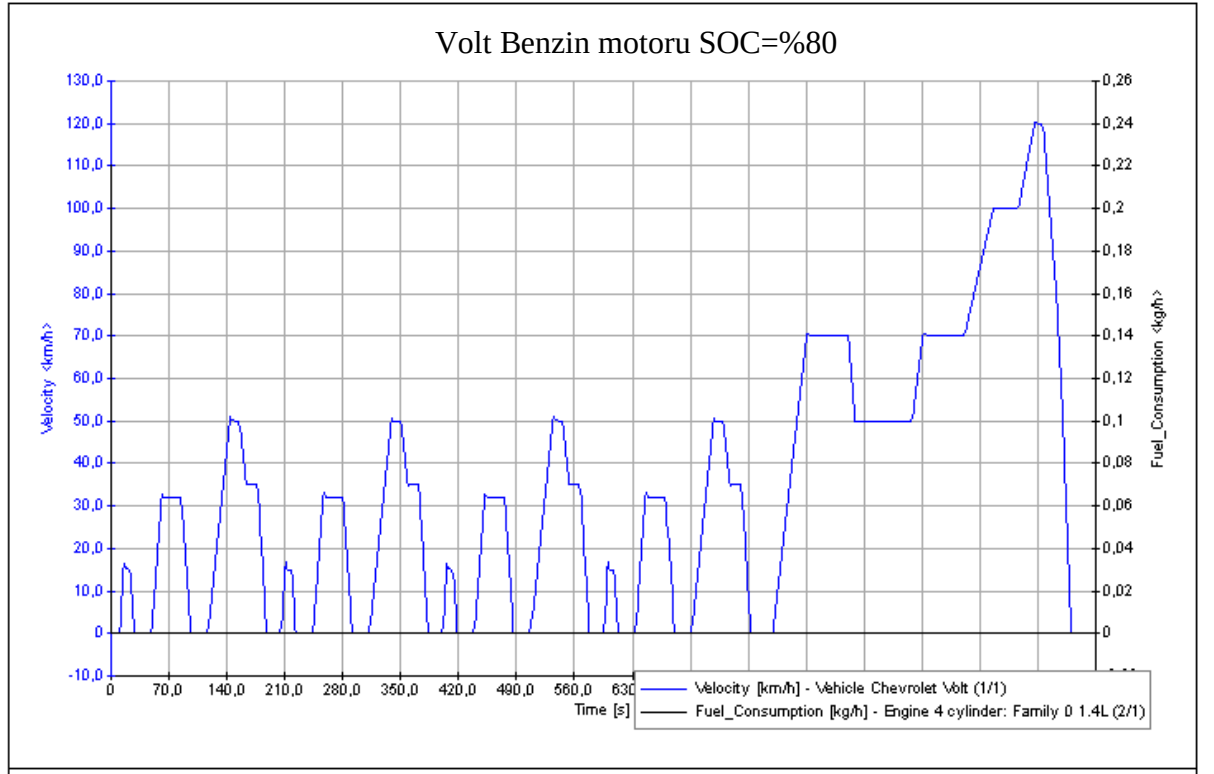
Şekil 4.55 : Volt elektrik jeneratör motoru %30 SOC durumunda tork,hız ve güç değişimi

Benzin motoru

Benzin motorunun, farklı batarya şarjı seviyelerinde çalışması aşağıdaki gibidir:

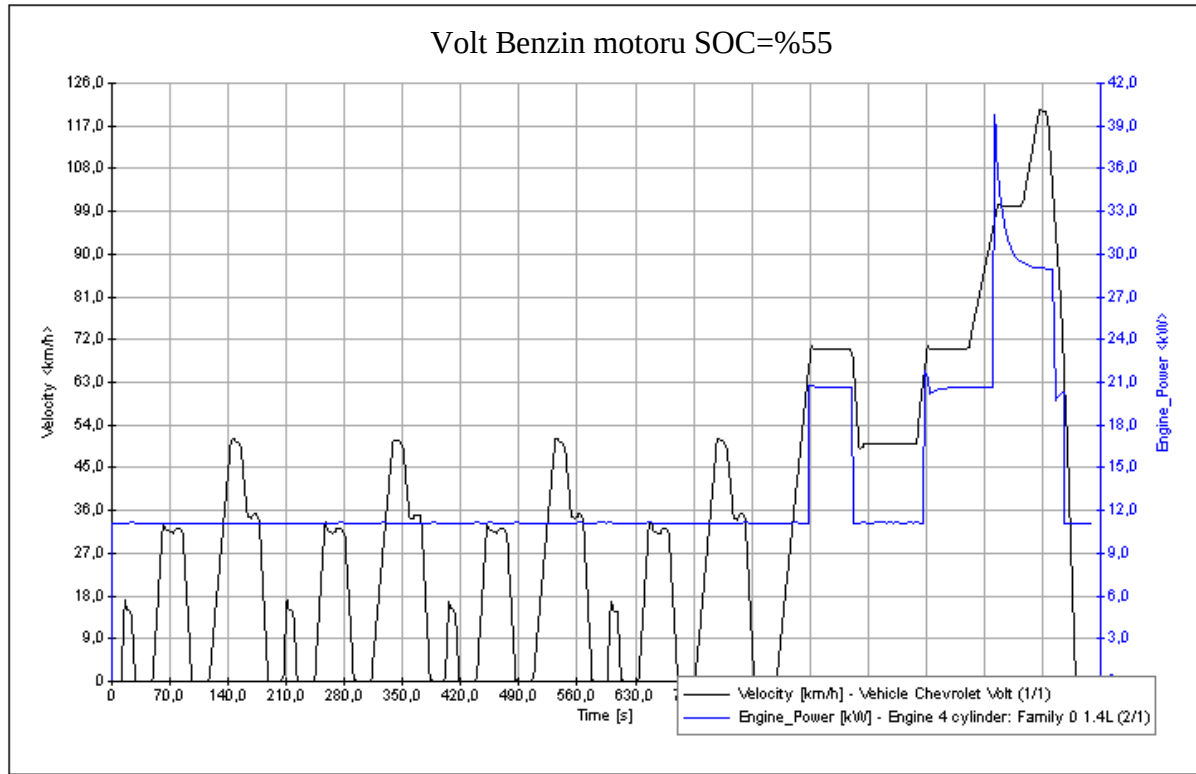
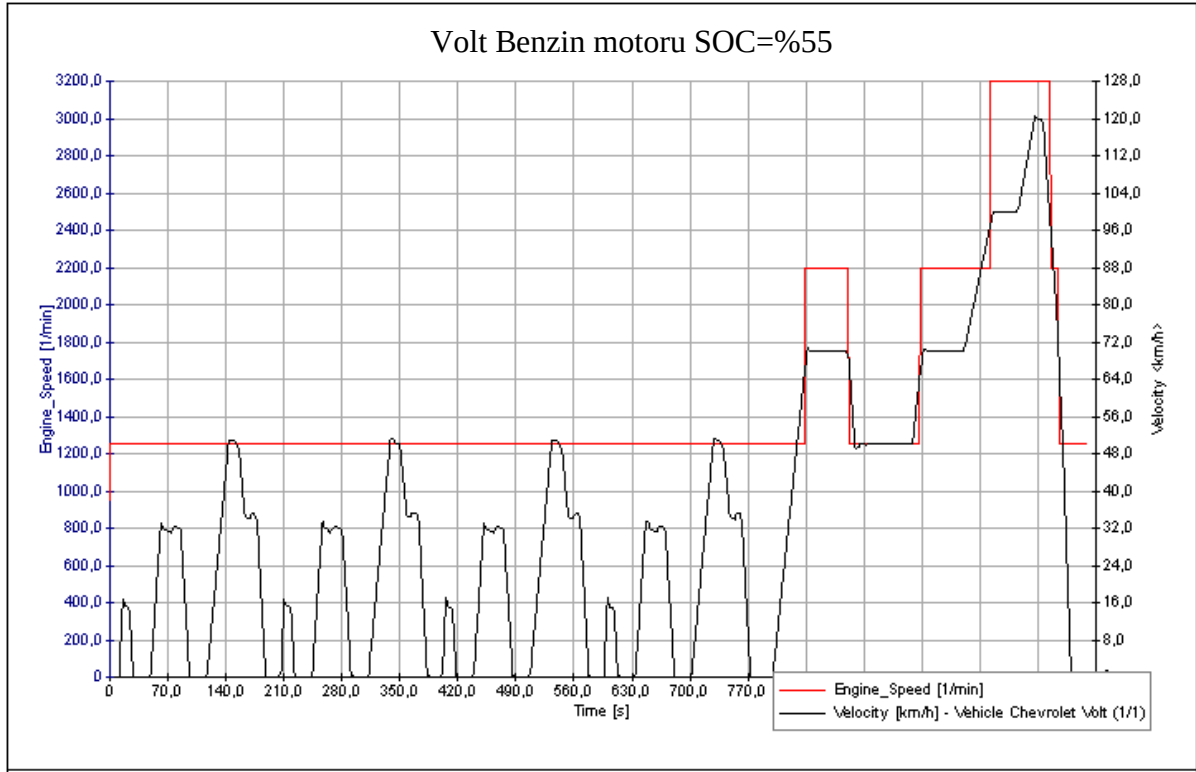


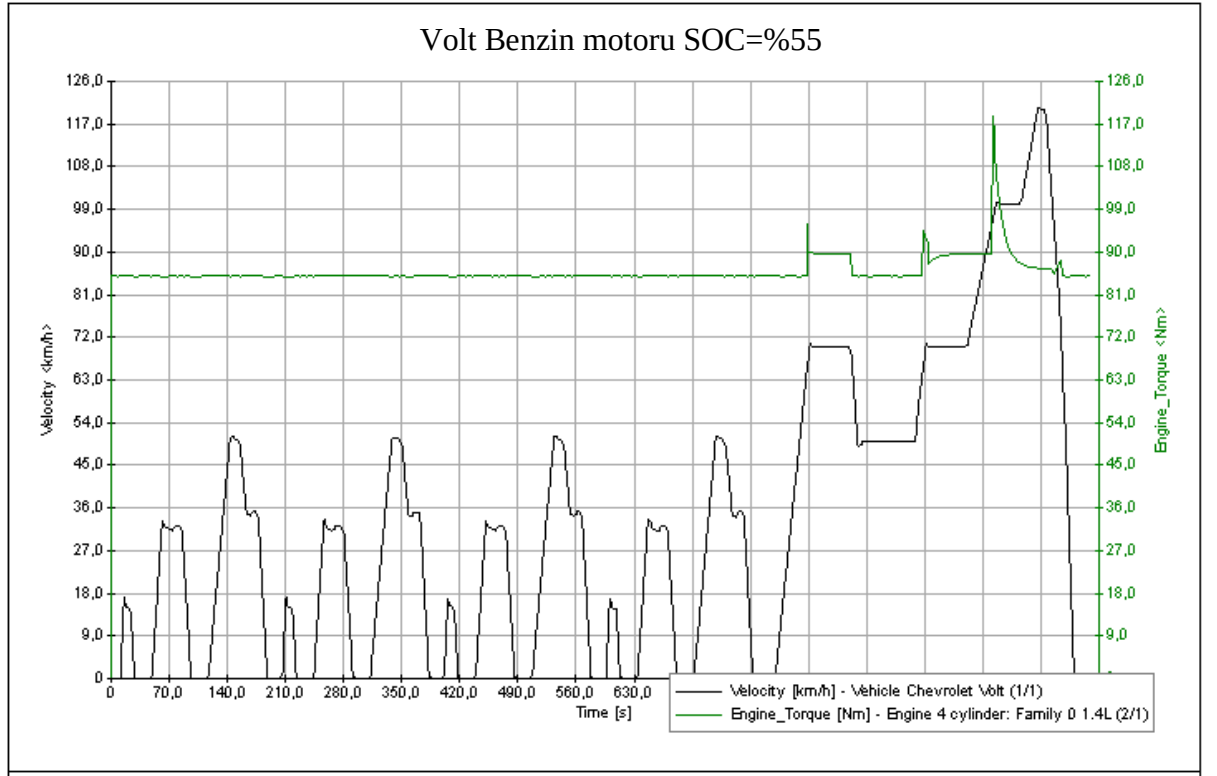
Şekil 4.56 : Volt benzin motoru %80 SOC durumunda güç, motor hızı, tork karakteristikleri



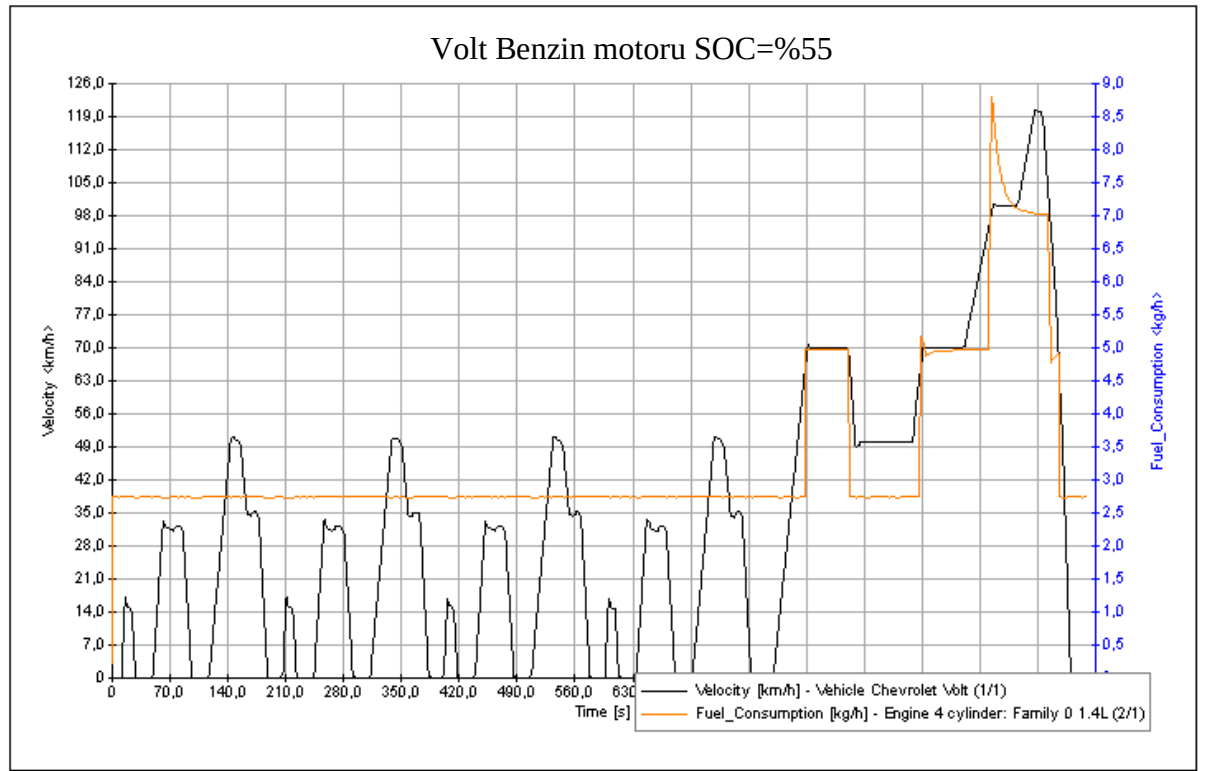
Şekil 4.57 : Volt benzin motoru %80 SOC durumunda yakıt tüketimi

Görüldüğü üzere, bataryanın tam dolu olduğu durumda, motor çalışmamakta, dolayısıyla, yakıt tüketimi de gerçekleşmemektedir. Bu durum için araç, elektrikli bir otomobil gibi yol almaktadır.

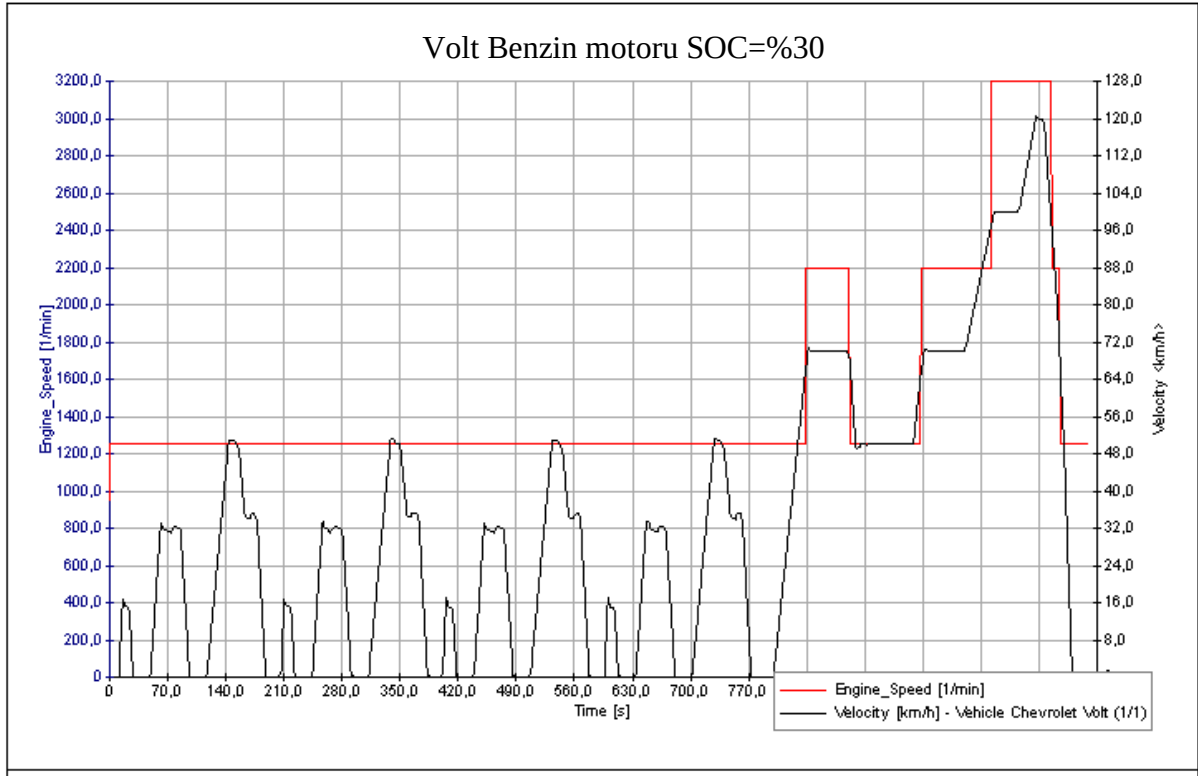




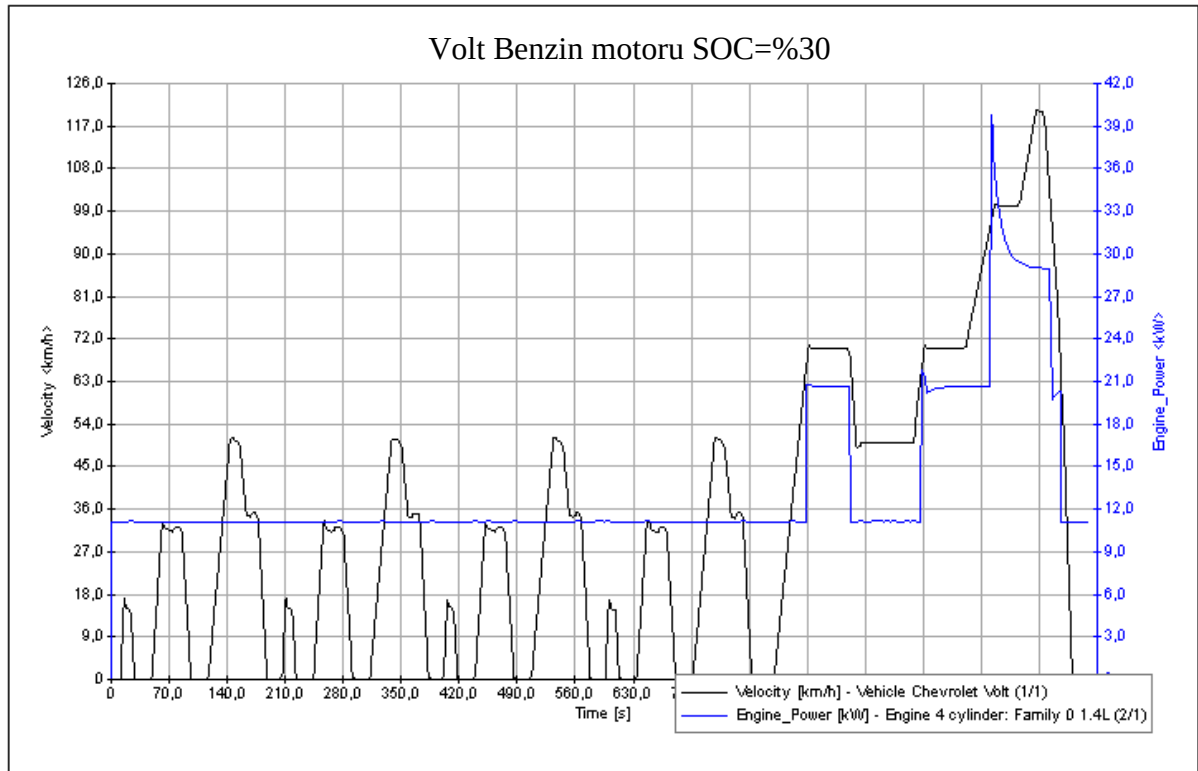
Şekil 4.60 : Volt benzin motoru %55 SOC durumunda motor torku değişimi



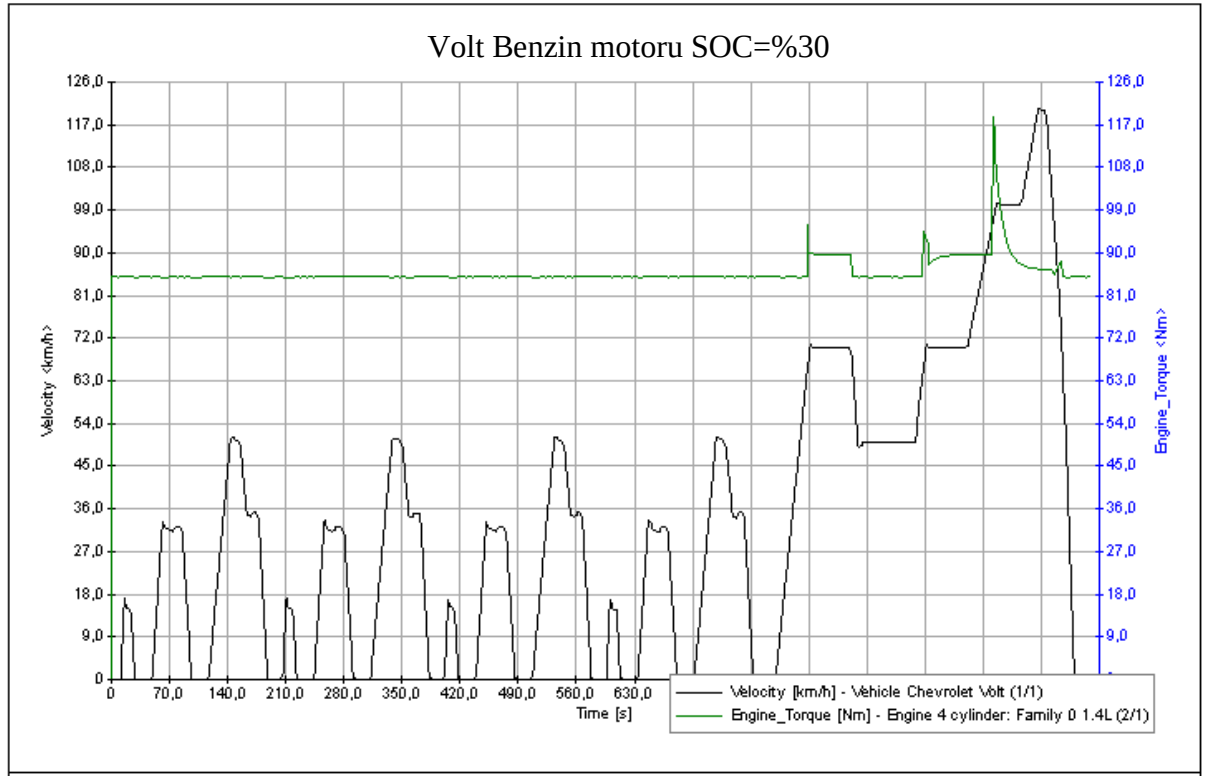
Şekil 4.61 : Volt benzin motoru %55 SOC durumunda yakıt tüketimi



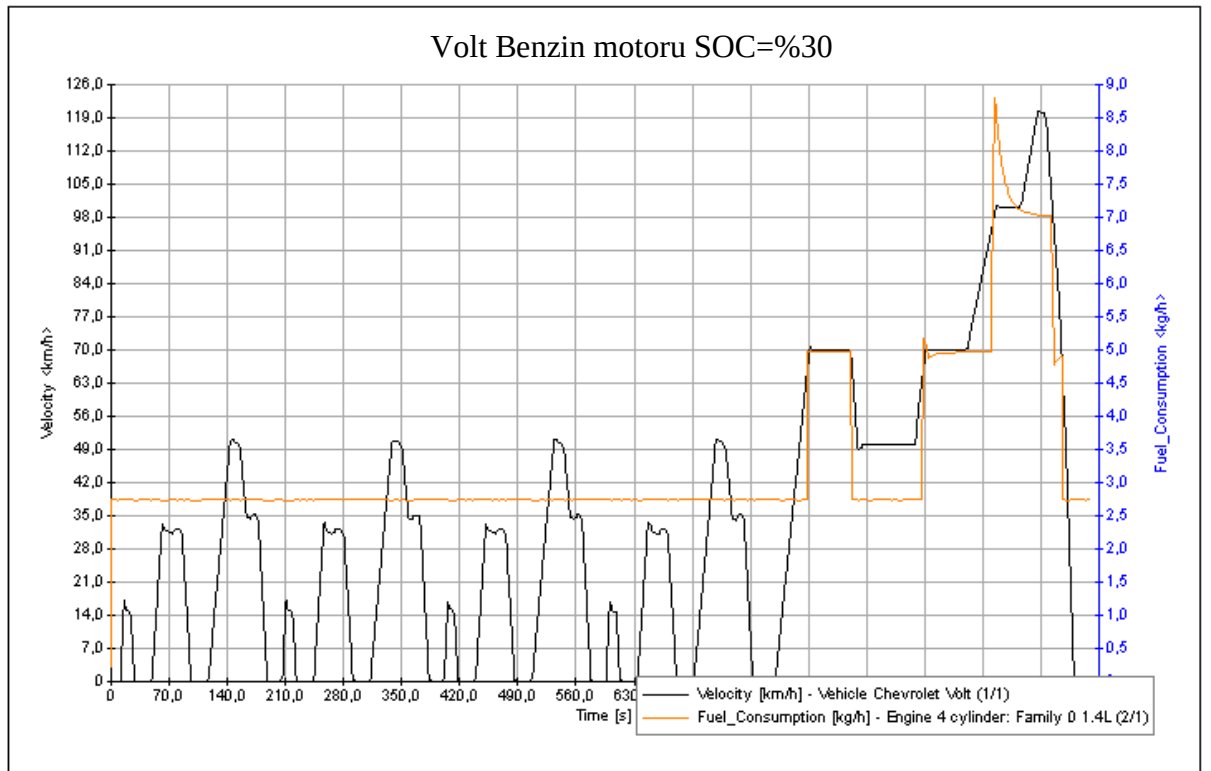
Şekil 4.62 : Volt benzin motoru %30 SOC durumunda motor hızı değişimi



Şekil 4.63 : Volt benzin motoru %30 SOC durumunda motor gücü değişimi



Şekil 4.64 : Volt benzin motoru %30 SOC durumunda motor torku değişimi



Şekil 4.65 : Volt benzin motoru %30 SOC durumunda yakıt tüketimi

Şarj seviyesinin maksimum olmadığı durumlarda ise, benzin motoru sürekli devrede kalarak, bataryayı şarj etmektedir. Motor, daha önceden modelde tanımlandığı şekilde, araç hızına bağlı olarak farklı motor hızlarında çalışmakta ve farklı hızlar için de farklı güç ve tork değerleri üretmektedir. Daha yüksek çalışma hızlarında yakıt tüketimi de daha yüksek olmaktadır.

Bataryanın farklı şarj seviyeleri için, yakıt tüketimi aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

Çizelge 4.8 : Volt yakıt tüketimi

SOC [%]	Yakıt tüketimi [kg]	Yakıt tüketimi [l]	Yakıt tüketimi [l/100km]
80	0	0	0
55	1,082423881	1,462734974	13,26984464
30	1,082423881	1,462734974	13,26984464

Tam dolu batarya şarjında, benzin motoru çalışmadığından, yakıt tüketimi gerçekleşmemiştir. İçten yanmalı motorun çalışarak, bataryanın SOC seviyesini yükseltmeye çalıştığı durumlarda ise, yakıt tüketimi oldukça yüksek çıkmaktadır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, aracın ECE-R101 regülasyonuna göre yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

$$C = (De \cdot C1 + Dav \cdot C2) / (De + Dav) \quad (4.1)$$

C1 = 0 l/100km (SOC=%80 tam dolu şarj seviyesi ile yakıt tüketimi)

C2 = 13,26984464 l/100km (SOC=%30 minimum şarj seviyesi yakıt tüketimi)

De = 83 km (aracın regülasyonda tanımlı şekilde saptanmış tam elektrikli menzili)

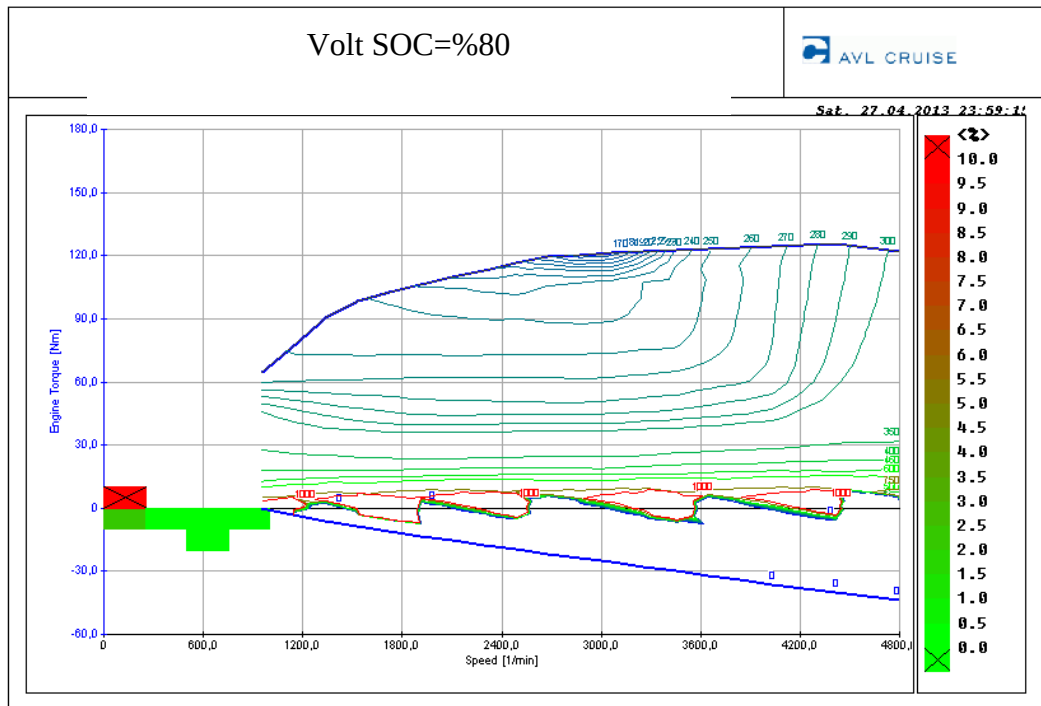
Dav = 25 km (bataryanın ilk şarjdan sonra tekrar şarj edilebilmesi için geçen tahmini mesafe)

C = 3,07 l/100km (NEDC çevrimine göre yakıt tüketimi)

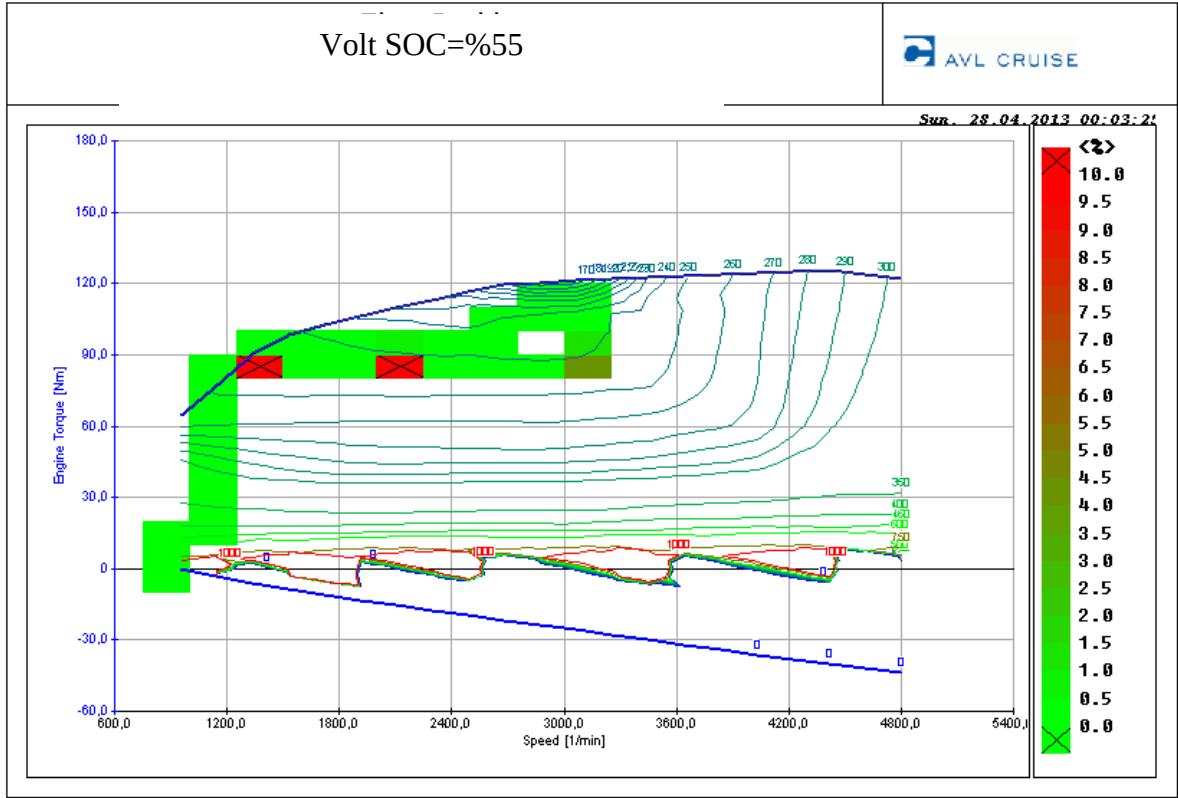
Aracın, 100 kilometredeki yakıt tüketim değeri oldukça düşük çıkmıştır. Bu değerin daha da düşmesi için, bataryanın şarj seviyesinin düşük olduğu durumlardaki tüketim azaltılmaya çalışılmalıdır. Tüketici tarafından açıklanan 1.2 l/100km’lik değerin uzağında kalırsa da, burada modeldeki bazı basitleştirmelerin de olduğu unutulmamalıdır. Elde edilen değer, her şeye rağmen, geleneksel tahriğe sahip günümüz araçlarının tüketim değerlerinden çok daha düşüktür. Bu durum da, menzil artırıcı elektrikli otomobil konseptinin, gelecekte çok daha sık karşımıza çıkabileceğinin bir göstergesi niteliğindedir.

Sürüş süresinin yumurta eğrisi üzerinde oransal gösterimi

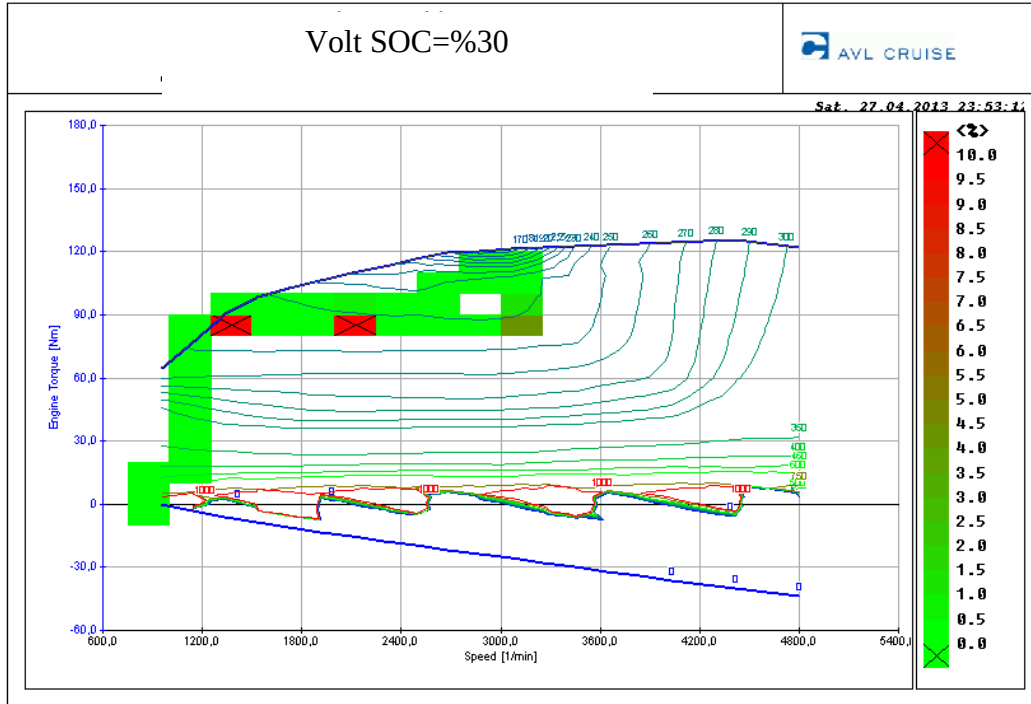
Tam dolu batarya şarjı durumunda, benzin motoru çalışmamaktadır. Diğer durumlarda ise, benzin motorunun yumurta eğrisi üzerinde verimli noktalarda çalıştığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.66 : Volt benzin motorunda %80 SOC durumunda sürüş süresi



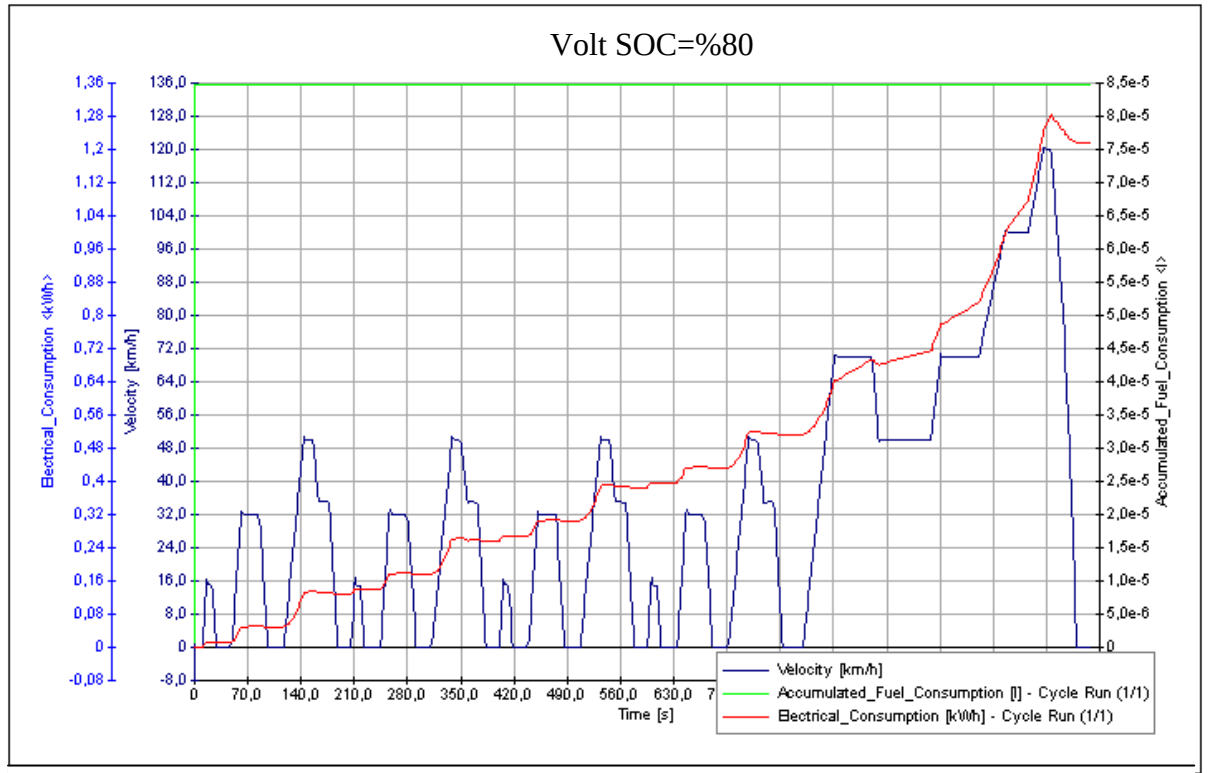
Şekil 4.67 : Volt benzin motorunda %55 SOC durumunda sürüş süresi



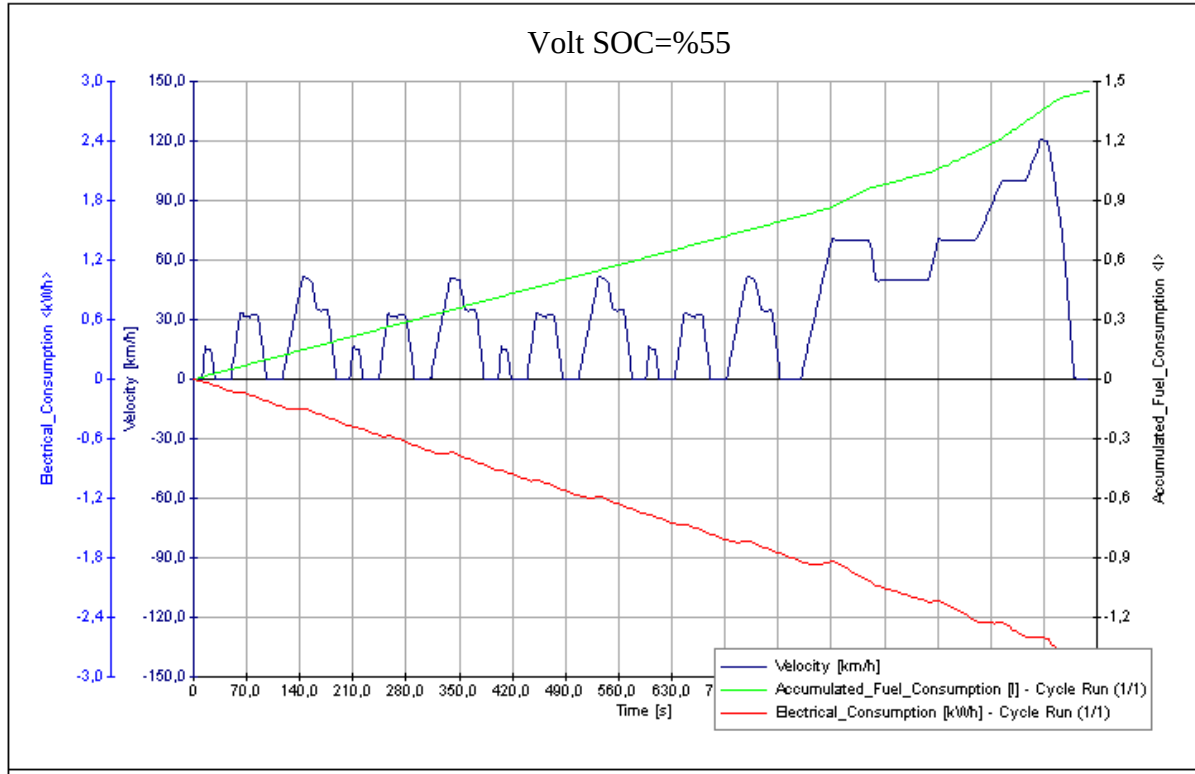
Şekil 4.68 : Volt benzin motorunda %30 SOC durumunda sürüş süresi

Araç

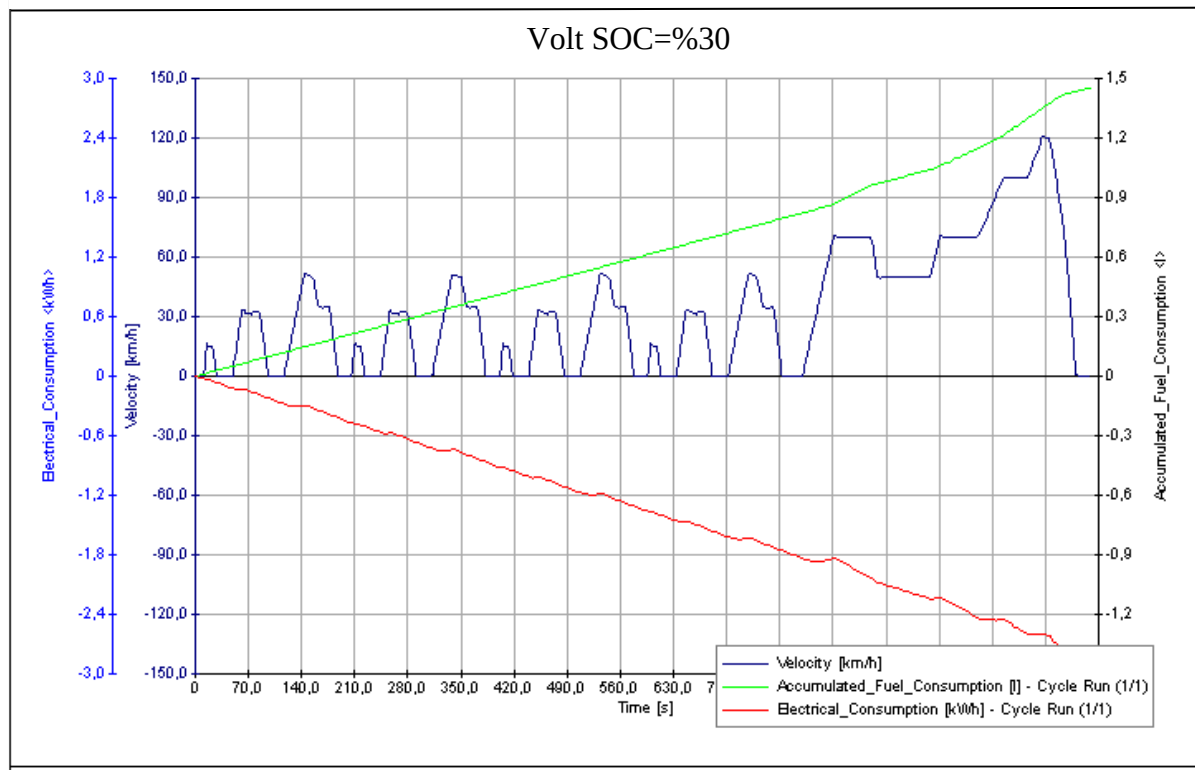
Araç hızı ile, yakıt tüketimi ve enerji tüketimi değerlerinin değişimi aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Burada daha da net görülebileceği üzere, %80 tam dolu batarya şarj seviyesinde sadece elektrik enerjisi tüketimi varken, bataryanın şarj edildiği durumlarda, araç yakıt tüketirken, enerji de üretilmektedir. Bu durumlarda, yakıt enerjisi, elektrik enerjisine çevrilerek, bataryada depolanmaktadır.



Şekil 4.69 : Volt %80 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi



Şekil 4.70 : Volt %55 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi



Şekil 4.71 : Volt %30 SOC durumunda araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi

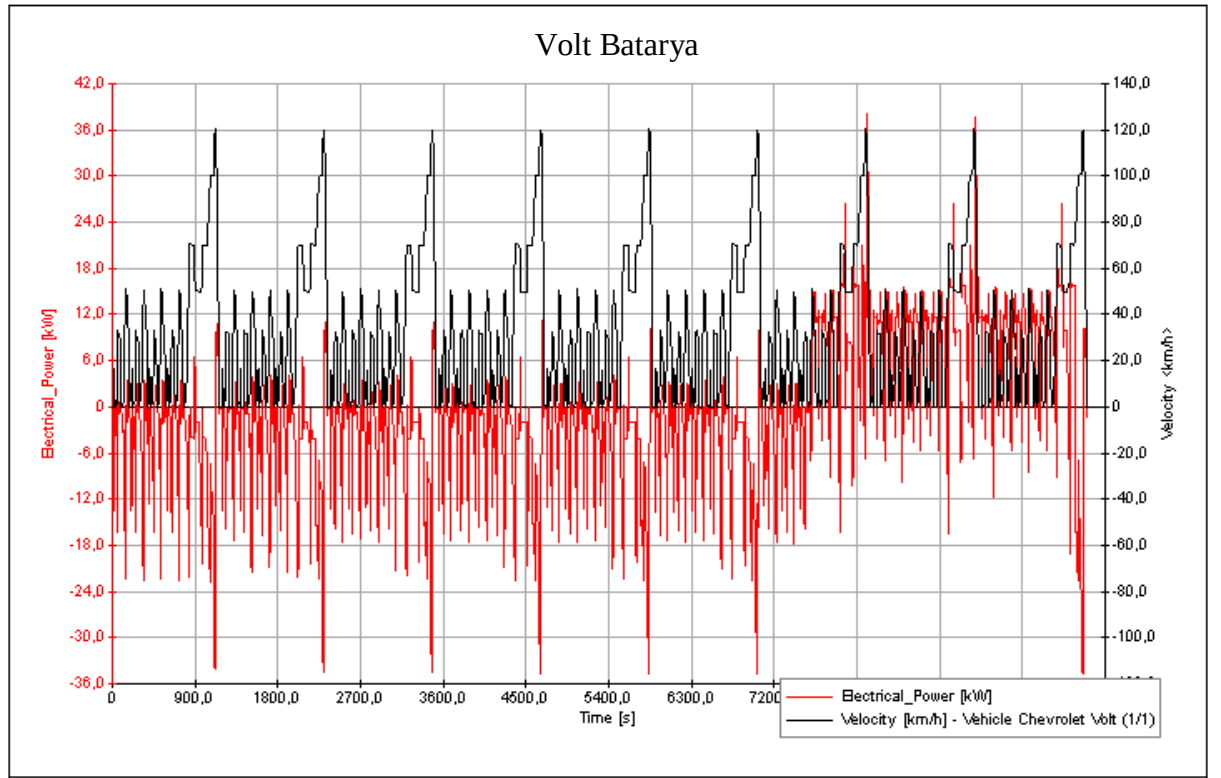
4.6.2 Chevrolet Volt artarda NEDC çevrimi koşturulması sonuçları

Menzil artırıcı elektrikli otomobil, tam dolu şarj seviyesinde NEDC çevrimini bir kez koştuğunda, benzin motoru hiç devreye girmemekte, araç, sırf elektrikli bir otomobil karakteristiği göstermektedir. şarj seviyesinin tam olmadığı durumlarda ise, benzin motoru bir çevrim boyunca sürekli devrede kalmakta, bu şekilde de aracın genel karakteristiği tam olarak gözlemlenememektedir.

Bu nedenlerle, AVL Cruise programının hedef SOC (SOC Target) özelliği kullanılarak, aracın bataryası minimum şarj seviyesine düşünceye dek, NEDC çevrimini artarda koşması sağlanmıştır. Sonuçlar şu şekildedir:

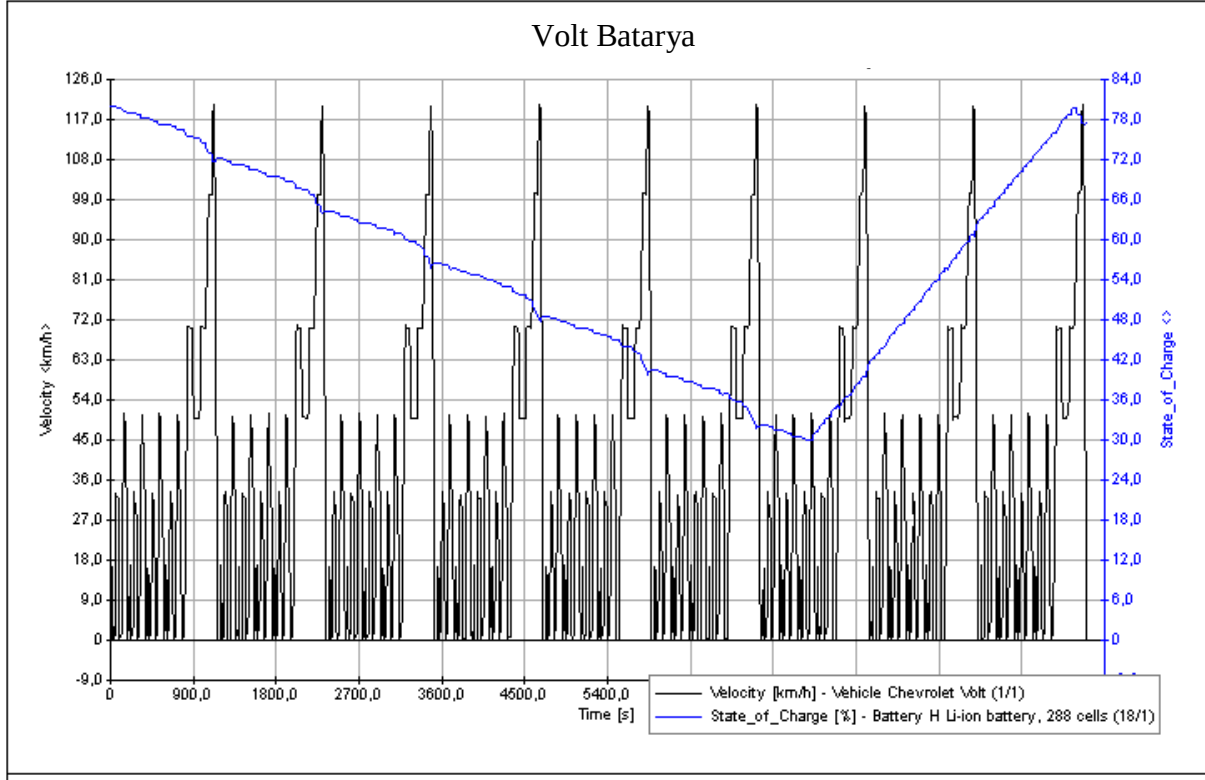
Batarya

- Güç



Şekil 4.72 : Artarda NEDC uygulamasında Volt bataryasındaki güç değişimi

- SOC

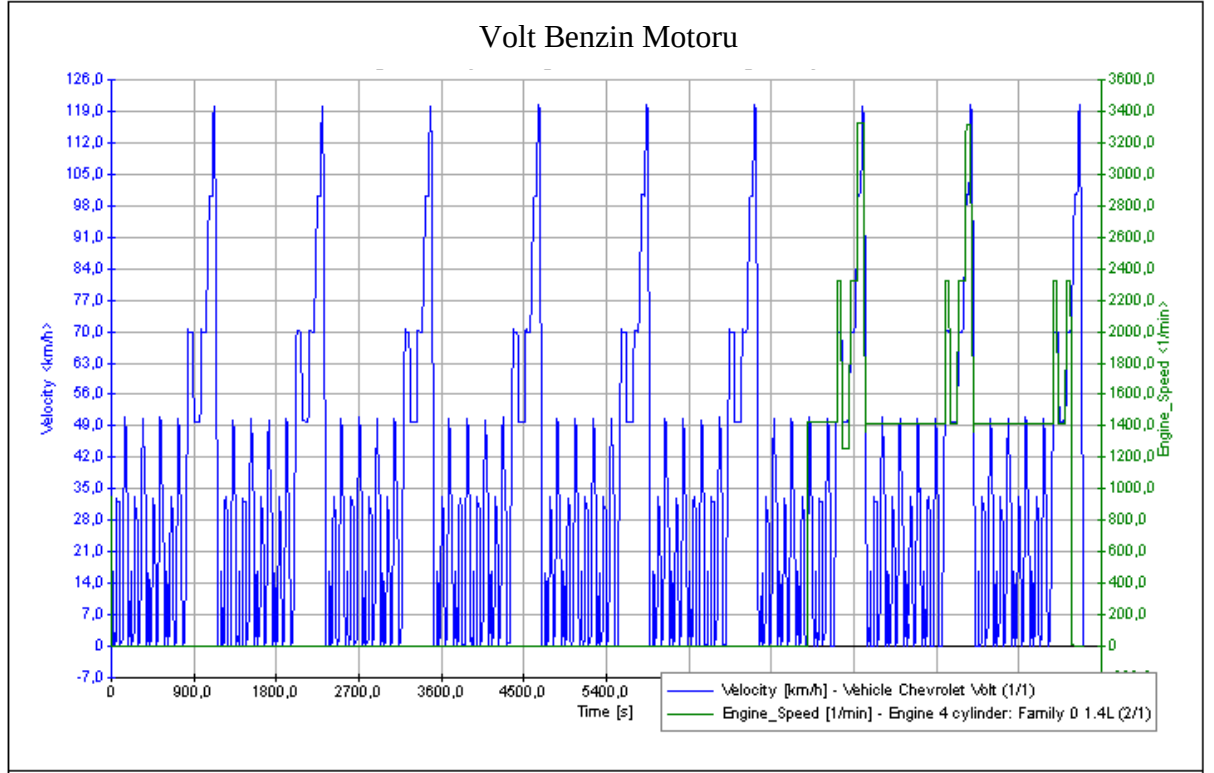


Şekil 4.73 : Artarda NEDC uygulamasında Volt bataryasındaki SOC değişimi

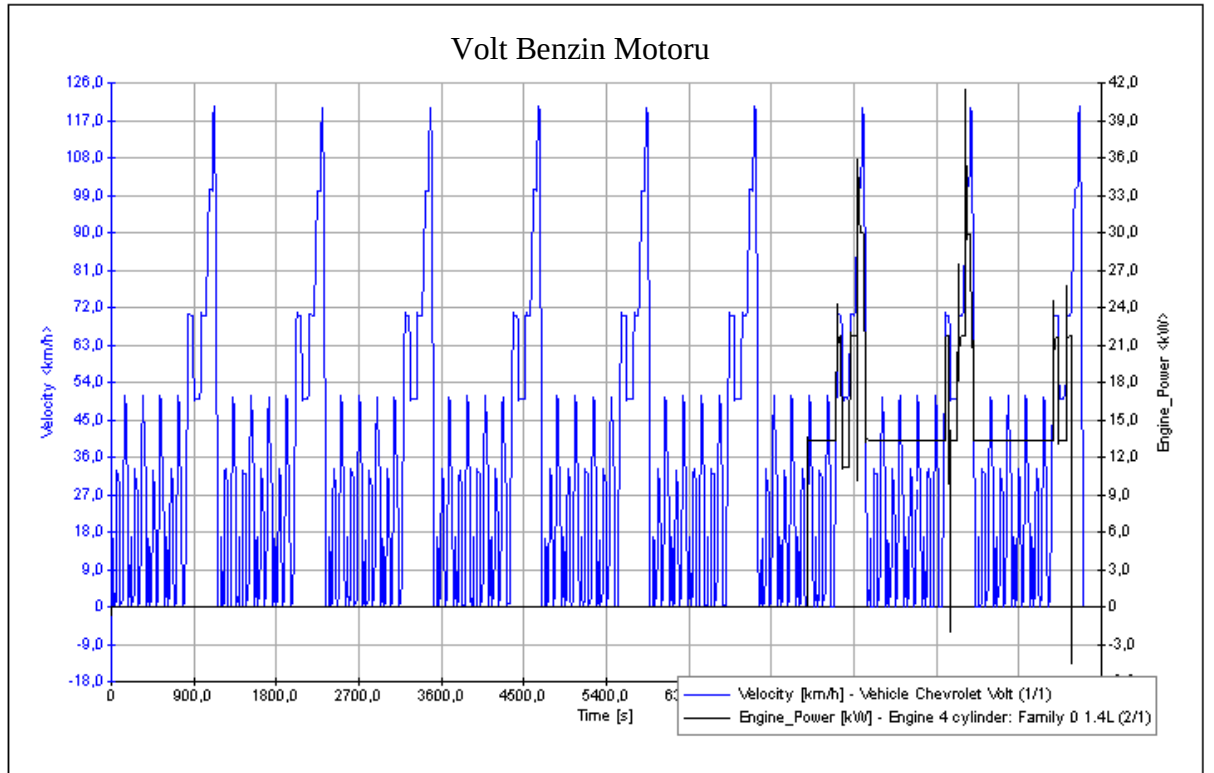
Araç, girdilerde tanımlandığı üzere, istenen şekilde çevrimi tamamladığında, bataryanın şarj seviyesi, yedinci çevrimde minimum seviye olan %30'luk SOC seviyesine düşmekte, bu noktadan sonra benzin motoru devreye girerek, SOC seviyesinin yeniden yükselmesini sağlamaktadır.

Benzin motoru

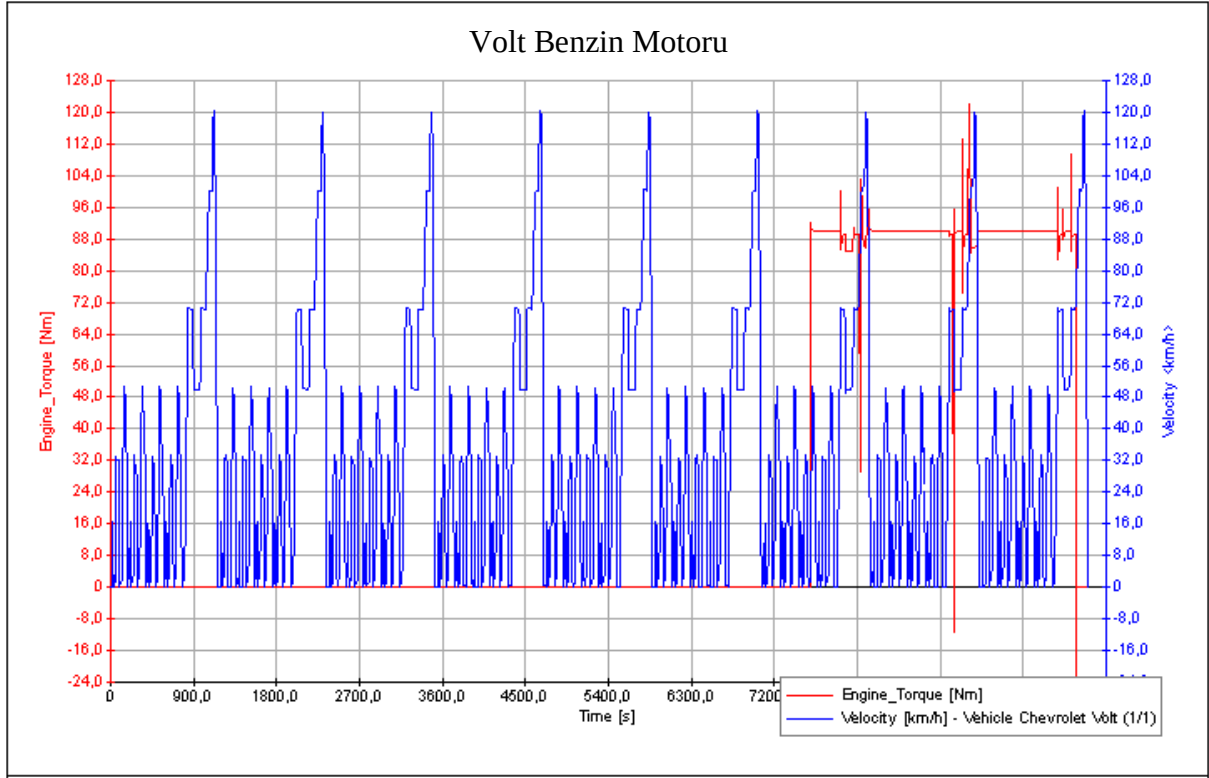
Benzin motoru, yedinci çevrimde devreye girerek, bataryayı yeniden şarj etmeye başlamaktadır. Motor, farklı taşıt hızlarında, farklı hızlarda çalışmaktadır. Dokuzuncu çevrim bitmeden ise, batarya istenen SOC seviyesi olan %80'e ulaştığından, benzin motoru yeniden devreden çıkmaktadır.



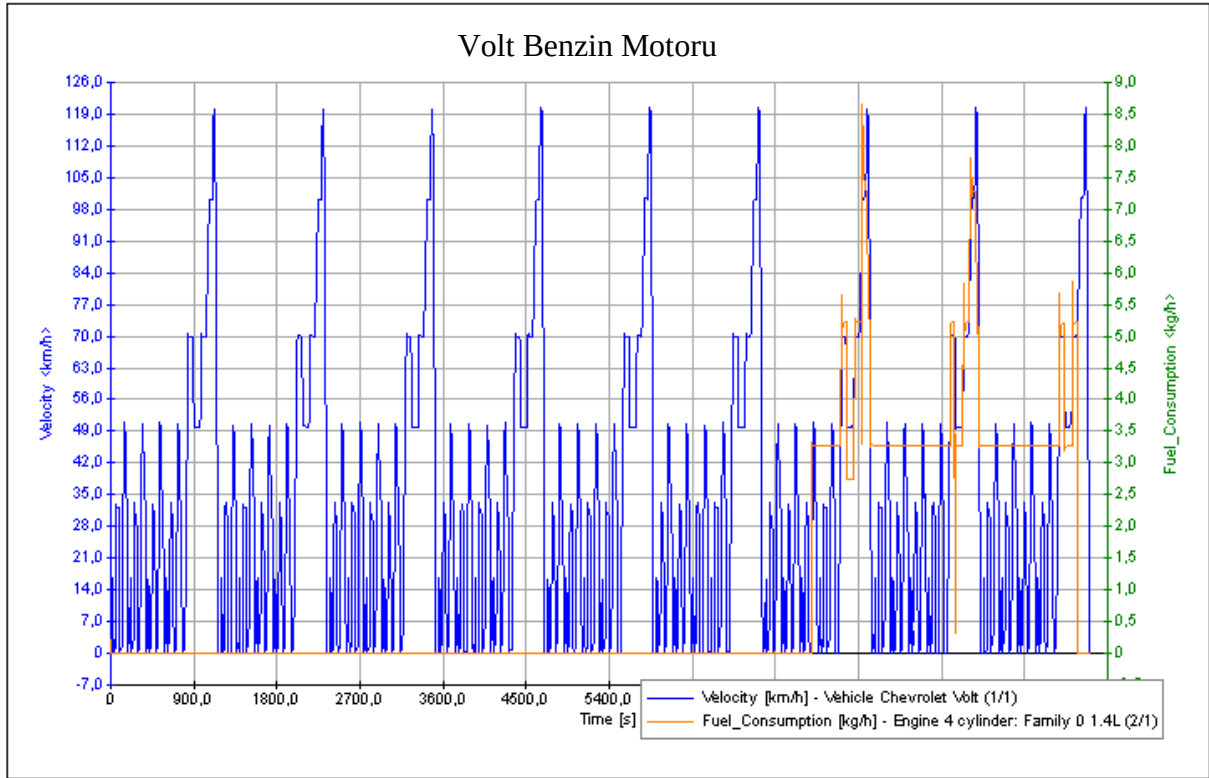
Şekil 4.74 : Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda hız değişimi



Şekil 4.75 : Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda güç değişimi

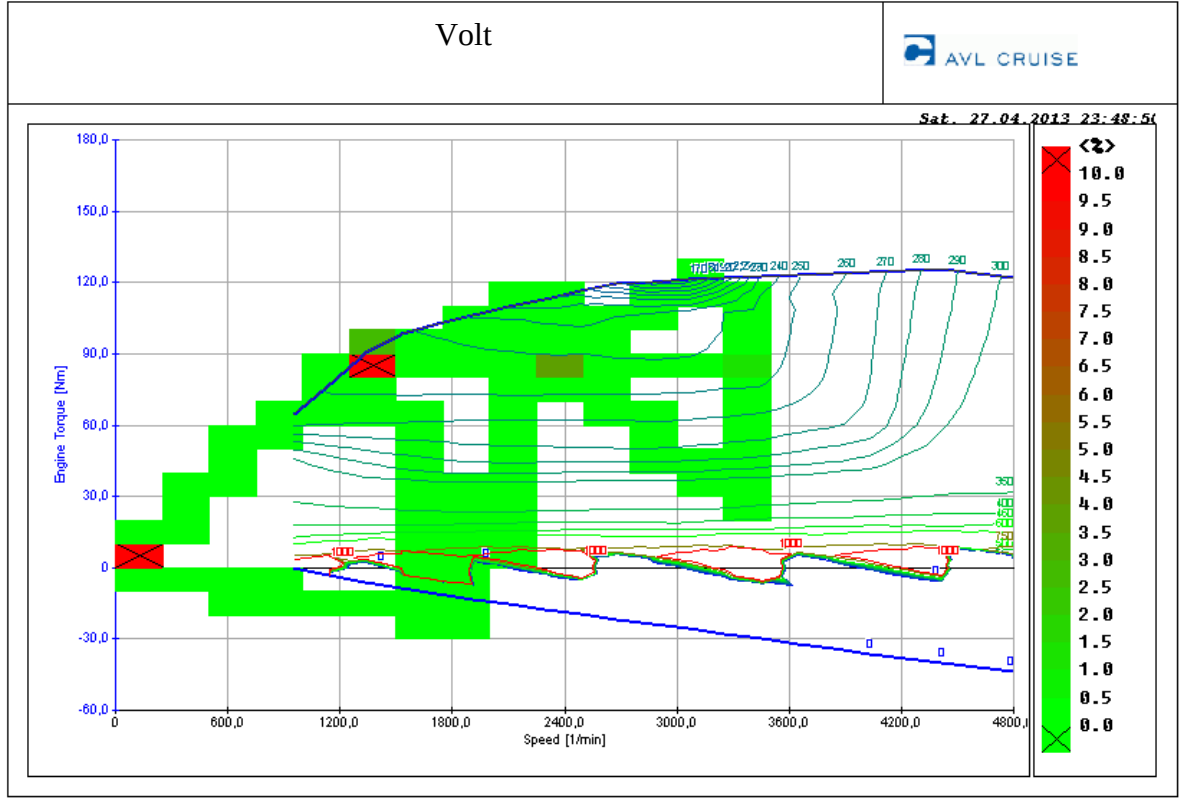


Şekil 4.76 : Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda tork değişimi



Şekil 4.77 : Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda yakıt tüketimi

Sürüş süresinin yumurta eğrisi üzerinde oransal gösterimi

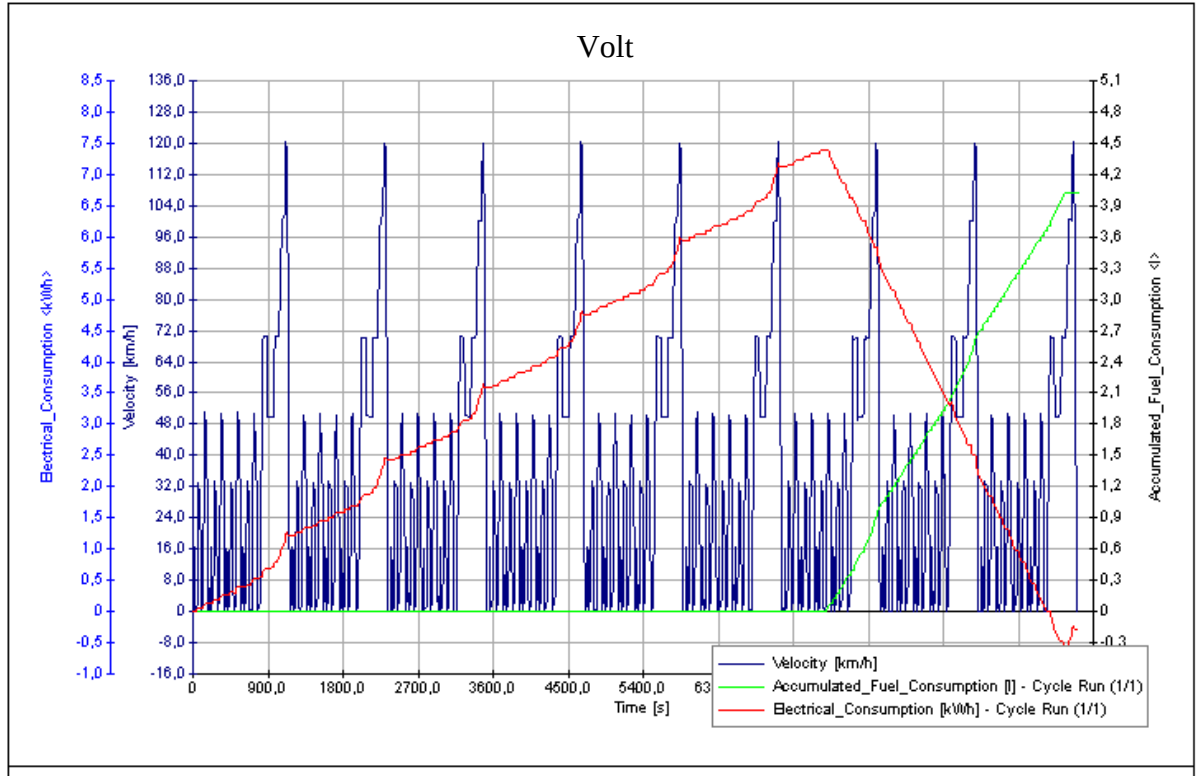


Şekil 4.78 : Artarda NEDC uygulamasında Volt benzin motorunda sürüş süresi gösterimi

Dokuz çevrim artarda yapılan koşulda, benzin motoru devrede olduğu anlarda, görüldüğü gibi genellikle verimli bölgelerde çalıştırılmıştır.

Araç

Dokuz çevrimin peşi sıra koşulduğu bu durumda, aracın yakıt tüketimi ve enerji tüketimi eğrileri aşağıdaki gibidir. Sadece elektrikli motorun devrede olduğu durumlarda, benzin tüketimi olmazken elektrik enerjisi tüketimi ise sürekli artmıştır. Benzin motorunun devreye girmesinin ardından ise, yakıt enerjisi elektrik enerjisine çevrildiğinden, benzin tüketimi gözlemlenirken, elektrik enerjisi ise bataryada depolanmaya başladığından, elektrik enerjisi tüketim değeri hızla düşmüştür.



Şekil 4.79 : Artarda NEDC uygulamasında Volt araç hızına bağlı yakıt ve enerji tüketimi

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Hazırlanan yüksek lisans tezi kapsamında, dışarıdan şarj edilebilir hibrit araç ve menzil artırıcı elektrikli araç konseptlerinin, seçilen araçlar Toyota Prius Plug-in Hybrid ve Chevrolet Volt doğrultusunda, bilgisayar simülasyonu yardımıyla analizi ve karşılaştırması yapılmıştır.

Elde ettiğimiz sonuçlar göz önüne alınarak, her iki konseptin de, geleneksel tahriğe sahip, günümüzdeki binek araçlardan önemli ölçüde daha yüksek kullanım ekonomisi sunduğu söylenebilir. NEDC ECE-R101 normlarına göre yaptığımız ölçümlerde, Prius Plug-in Hybrid 100 kilometrede 2,16 litre, Volt ise aynı mesafe içinde 3,07 litre benzin tüketmiştir. Prius'un tüketim değeri, üretici tarafından açıklanan değerle hemen hemen aynı çıkmıştır. Volt'un tüketim değeri ise, üretici tarafından açıklanandan bir miktar yüksek olarak bulunmuştur. Bu sonuçta, tez çalışmasının kapsamı, elde edilebilen ve edilemeyen veriler ve modellemenin basitliği doğrultusunda, bilgisayar modeli üzerinde yapılan bazı basitleştirmelerinde etkili olduğu söylenebilir. Her şeye rağmen, elde edilen tüketim değeri son derece düşük ve iddia edilenden çok daha yüksek çıkmamaktadır.

Her iki aracın da, nihai ekonomileri benzer de olsa, araçların bu ekonomi hedeflerine ulaştıkları konseptler birbirinden oldukça farklıdır. Zaten, tezimizin amacı ve kapsamı da bu konseptlerin kıyaslanması ve analizi üzerinedir.

Prius Plug-in hybrid, konvansiyonel içten yanmalı motorlu araçların, araca çekiş gücü sağlam görevini tamamen içten yanmalı motora verdikleri yerde, bu görevin bir kısmını da yenilikçi tahrik altyapısında barındırdığı elektrik motorlarına veren bir otomobildir. Düşük hızlarda, benzin motorunun hiç devreye girmemesiyle de, bazı durumlarda yakıt tüketilmeden ve emisyon üretmeden sürüş mümkündür. Bu tür sürüşlerin menzili ve aracın çıkabileceği süratler dolayısıyla kapsamı sınırlı da olsa, yakıt ekonomisine olan katkısı ortadadır. Ayrıca, tezimizde yaptığımız araştırma ve küçük çaplı bir geliştirme sonucunda, elektrik motorunun gücünün artırılması sonucu, aracın performansında olduğu kadar yakıt ekonomisi ve dolayısıyla menziline de önemli gelişmelere ön ayak olabileceği görülmektedir.

Chevrolet Volt ise, ekonomi hedefine farklı bir yoldan ulaşmaktadır. Araç, elektrikli bir otomobilin, yakıt tüketmeme avantajına sahip olmakla birlikte, bu tip araçların

kısa menzil sorununu, içten yanmalı bir motoru, menzil artırıcı olarak kullanarak çözmesiyle, oldukça yenilikçi ve faydalı bir konsept sunmaktadır. Araç, batarya şarjı doluyken, tamamen elektrikle yol almakta, ne zaman ki batarya şarjı minimum seviyeye düşerse, o halde benzin motorunu çalıştırarak, oldukça uzun bir süre yol alabilmektedir. Aracın, benzin motorunun çalıştığı durumlardaki yakıt tüketimi de biraz daha aşağı çekilebilirse, aracın ekonomi yönü iyiden iyiye güçlenecektir.

Her iki otomobil de, aynı soruna sundukları farklı çözümlerle birer cevap verebilmişlerdir. Prius, daha çok “benzinli bir motorun elektrikleştirilmesi” olarak tanımlanabilecekken, Volt, “elektrikli bir otomobilin benzinleştirilmesi” olarak tanımlanabilecektir. Basit çapta yaptığımız, bu tanımlarda da görüldüğü gibi, iki araç da yıllardır yolların egemen tahrik şekli olan içten yanmalı motoru reddetmemekte ve kullanmaktadır. Bu durum, bizlere daha uzunca bir süre, öyle ya da böyle, petrol istasyonlarına uğrayacağımızı göstermektedir. Fakat, iki aracın bir başka ortak özelliği, dışarıdan şarj edilebilir batarya sistemleri, elektrikli tahrikin de içten yanmalı motor ile birlikte, yakın ve orta vadeli gelecekte, bizlerin kullanabileceği binek araçların genelinde görev yapabileceğinin bir göstergesi niteliğindedir.

Her iki aracın da geliştirmesi gereken en önemli özellikleri, yakıt istasyonunda sundukları ekonominin en azından bir kısmını, satış fiyatı konusunda da göstermeleri olacaktır. Chevrolet’nin Volt’un altında konumlandığı Cruze modeli, A.B.D.’de, \$17.130’lık, Volt’tan daha büyük bir model olan Impala, \$26.775’lik satış fiyatlarına sahiplerken, Volt’un fiyatı tam \$39.145’dır[22]. Toyota ise, aynı ülkede, Prius’un altındaki model Corolla’yı \$16.230’a, üstündeki model Camry’i ise \$22.235’a satarken, Prius Plug-in Hybrid’in satış fiyatı, \$32.000’dır[23]. Bu durum, Avrupa’da da fazla değişmemektedir[24][25]. Bir konseptin kabul görmesinin en büyük nedenlerinden birisi de ulaşılabilirliğidir. Teknoloji ilerledikçe ve yaygınlaştıkça, bu satış fiyatları aşağılara çekilebilirlerse, her iki konseptin de şansı artacaktır.

Sonuç olarak, hem prius Plug-in Hybrid, hem de Volt, otomotivin geleceğine ışık tutmaktadırlar. Her konsept, her zaman geliştirilebilir ve geliştirilmelidir. Bu tahrik konseptlerinin de henüz yolun başında olduğu söylenebileceğinden, gelecekte, tüketicileri daha ekonomik ve daha da yenilikçi tahrik sistemlerine sahip araçların beklediğini söylemek, hayalcilik olmayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **M. H. Westbrook**, 2001: The Electric Car, IEE, United Kingdom.
- [2] **Url-1** <<http://en.wikipedia.org/>> 12.01.2013
- [3] **M. Sadeghi, A. M. F. Rezaii**, 2010. Hybrid Electric & Hydraulic Drives, *Degree Project*, Linköpings Universitet.
- [4] **I. Husain**, 2003: Electric and hybrid Vehicles Design Fundamentals, CRC Press, London.
- [5] **R. Edwards, J-F. Larivé, J-C. Beziat**, 2011: Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, European Union.
- [6] **Url-2** <http://www.ae.pwr.wroc.pl/filez/20110606092430_HEV_Toyota.pdf> 05.03.2013
- [7] **N. Kawamoto, K. Naiki, T. Kawai, T. Shikida & M. Tomatsuri**, 2009: Development of New 1.8-Liter Engine for Hybrid Vehicles, Toyota Motor Corporation.
- [8] **C.W. Ayers et. al.**, 2004: Evaluation of 2004 Toyota Prius Hybrid Electric Drive System Interim Report, Oak Ridge National Laboratory.
- [9] **Prius PHV Manual**, Toyota, 2011.
- [10] **Url-3** <<http://www.eaa-phev.org/>> 20.03.2013
- [11] **Prius PHV Product Info**, Toyota, 2011.
- [12] **Url-4** <<http://www.plugin cars.com/>> 12.02.2013
- [13] **Url-5** <<http://www.motortrend.com/>> 15.01.2013
- [14] **GM Powertrain Information Guide**, USA. 2013.
- [15] **U.S. Department of Energy**, Advanced Vehicle Testing – Beginning-of-Test Battery Testing Results, 2013 Chevrolet Volt-VIN 3929.
- [16] **Url-6** <<http://www.greencarcongress.com/>> 13.02.2013
- [17] **AVL Product Description Cruise**, 2009.
- [18] **Prius PHV Specifications**, Toyota, 2011.
- [19] **Iain Staffell**, 2011: The Energy and Fuel Data Sheet W1P1 – Revision 1, University of Birmingham, UK.

[20] **Url-7** <<http://gm-volt.com/>> 14.01.2013

[21] **United Nations**, E/ECE/324, E/ECE/TRANS/505, Addendum 100: Regulation No. 101, 2005.

[22] **Url-8** <<http://www.chevrolet.com/>> 18.01.2013

[23] **Url-9** <<http://www.toyota.com/>> 18.01.2013

[24] **Url-10** <<http://www.toyota.de/>> 18.01.2013

[25] **Url-11** <<http://www.opel.de/>> 18.01.2013

Url-12

<http://www.electricvehiclesnews.com/History/images/Ayrton_Perry_Electric_Trike_1882.jpg> 20.03.2013

Url-13 <http://electricvehiclesnews.com/History/images/morris-and-salom_Electric_Road_Wagon_1896.jpg> 20.03.2013

Url-14 <<http://www.earlyamericanautomobiles.com/images/amer931.jpg>> 20.03.2013

Url-15 <<http://imgc.allpostersimages.com/images/P-473-488-90/29/2949/7CURD00Z/posters/electrical-racing-car-jenatzy-la-jamais-contente-c-1900.jpg>> 20.03.2013

Url-16 <http://www.naturapop.com/_rsrc/1337330395694/articulos/autos-hibridos-a-gasolina-y-electricidad/Prototipo%20Lohner-Porsche%20Semper%20Vivus%20ca.%201900,%20introdujo%20sistema%20Mixte%20h%C3%ADbrido%20gasolina%20electricidad.jpg?height=293&width=400> 20.03.2013

Url-17

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/13/Lohner_Porsche.jpg/280px-Lohner_Porsche.jpg> 21.03.2013

Url-18

<[http://www.technologicvehicles.com/Content/news/1913/Enfield8000_EV%20\(4\).jpg](http://www.technologicvehicles.com/Content/news/1913/Enfield8000_EV%20(4).jpg)> 21.03.2013

Url-19

<http://www.sciencemuseum.org.uk/images/object_images/535x535/10221430.jpg> 21.03.2013

Url-20 <http://cache.gizmodo.com/assets/images/12/2009/09/76Citicar-LH_Frt-500px.jpg> 21.03.2013

Url-21 <<http://www.toyotainthenews.com/wp-content/uploads/2010/07/first-generation-toyota-prius-image.jpg>> 21.03.2013

Url-22 <<http://data.motor-talk.de/data/galleries/381802/4432116/auto-audi-duo-hybrid-1997-gross-36699.jpg>> 21.03.2013

Url-23
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/07/Honda_Civic_Hybrid.2007.white.jpg> 21.03.2013

Url-24 <<http://www.carsuk.net/wp-content/gallery/honda-cr-z-official/honda-cr-z-1.jpg>> 21.03.2013

Url-25 <http://www.auto-types.com/images/_autonews/2011_Chevy_Volt_98.jpg> 21.03.2013

Url-26 <<http://1.bp.blogspot.com/-sjJQaLf8OQ4/T0zQro18iSI/AAAAAAGz7k/rCednA3-fiM/s1600/Toyota-Prius-Pkug-in-Hybrid-1.jpg>> 21.03.2013

EKLER

Ek A : Benzin ve Elektrik Motorlarının Tork Grafiği Verileri

Çizelge A.1 : Prius benzin motoru tork-hız grafiği verileri

Motor hızı [d/d]	Tork [Nm]
1000	110
1500	118
2000	125
2500	130
3000	135
3500	140
4000	142
4500	138
5000	133
5200	130

Çizelge A.2 : Prius MG2 tork grafiği verileri

Motor hızı [d/d]	Tork [Nm]
0,01	207
500	207
1000	207
1300	207
1500	207
2000	207
2500	207
2767,9	207
3000	103
3500	65
4000	56
4500	52
6000	45

Çizelge A.3 : Prius MG1 tork grafiği verileri

Motor hızı [d/d]	Tork [Nm]
1,00E-05	55
500	55
1000	55
1500	55
2000	55
2500	55
3000	48
3500	41
4000	36
5500	26
7000	20
1,00E-05	-55
500	-55
1000	-55
1500	-55
2000	-55
2500	-55
3000	-48
3500	-41
4000	-36
5500	-26
7000	-20
-7000	-20
-5500	-26
-4000	-36
-3500	-41
-3000	-48
-2500	-55
-2000	-55
-1500	-55
-1000	-55
-500	-55
-1,00E-05	-55
-7000	20
-5500	26
-4000	36
-3500	41
-3000	48
-2500	55

-2000	55
-1500	55
-1000	55
-500	55
-1,00E-05	55

Çizelge A.4 : Volt benzin motoru tork-hız grafiği verileri

Motor hızı [d/d]	Tork [Nm]
1400	95
1600	100
1800	104
2000	108
2200	111
2400	115
2600	119
2800	120
3000	121
3200	122
3400	122,5
3600	123
3800	123,5
4000	124
4200	125
4400	126
4600	124
4800	122

Çizelge A.5 : Volt çekiş motoru tork grafiği verileri

Motor hızı [d/d]	Tork [Nm]
0	370
500	370
1000	370
1500	370
2000	370
2500	370
3000	350
3500	300
4000	250
4500	205
5000	180
5500	150
6000	130
0,001	-370
500	-370
1000	-370
1500	-370
2000	-370
2500	-370
3000	-350
3500	-300
4000	-250
4500	-205
5000	-180
5500	-150
6000	-130

Çizelge A.6 :Volt jeneratör tork grafiği verileri

Motor hızı [d/d]	Tork [Nm]
0	180
500	180
1000	180
1500	180
2000	180
2500	178
3000	175
3500	170
4000	155
4500	137
5000	120
5500	105
6000	100
0,001	-180
500	-180
1000	-180
1500	-180
2000	-180
2500	-178
3000	-175
3500	-170
4000	-155
4500	-137
5000	-120
5500	-105
6000	-100

Çizelge A.7 : Prius güçlendirilmiş MG2 tork grafiği verileri

Motor hızı [d/d]	Tork [Nm]
0,01	400
500	400
1000	400
1300	400
1500	400
2000	400
2500	400
2767,9	400
3000	200
3500	115
4000	65
4500	58
6000	45

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Cenk Güner

Doğum Yeri ve Tarihi: 13 Aralık 1989, İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi
Makina Mühendisliği