

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SERİ HİBRİT TAŞIT TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anılcan ÖZKAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Programı

ARALIK 2019

SERİ HİBRİT TAŞIT TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anılcan ÖZKAN
503171701

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Otomotiv Programı

Tez Danışmanı:Dr. Öğr. Üyesi Hikmet ARSLAN

ARALIK 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503171701 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Anılcan ÖZKAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “SERİ HİBRİT TAŞIT TASARIMI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Hikmet ARSLAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi O.Akın KUTLAR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Tarkan SANDALCI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Kasım 2019
Savunma Tarihi : 12 Aralık 2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında beni yönlendiren,kendi tecrübelerini benimle paylaşan danışmanım Sayın Dr.Öğr.Üyesi Hikmet Arslan’a,her konuda bana yardımcı olan,fikir veren Ar.Gör.Hüseyin Emre Doğan’a ve bana bu alanda çalışma fırsatı veren Sayın Doç.Dr.Özgen Akalın’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca bana maddi ve manevi olarak destek olan aileme de teşekkür ederim.

Kasım 2019

Anılcan ÖZKAN
Makine Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Hibrit Elektrikli Araçlar.....	2
1.2.1 Seri hibrit elektrikli araçlar.....	3
1.2.2 Paralel hibrit elektrikli araçlar.....	6
2.HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TAHRİK BİLEŞENLERİ.....	9
2.1 Elektrik Motorlar.....	9
2.1.1 DC motorlar.....	12
2.1.2 İndüksiyon motorları.....	14
2.1.3 Kalıcı mıknatıslı fırçasız DC motorlar.....	14
2.1.4 Anahtarlı relüktans motorlar.....	15
2.2 Menzil Arttırıcılar.....	16
2.2.1 Menzil artırıcı seçim kriterleri.....	16
2.2.2 Günümüzdeki olası menzil artırıcı konseptleri.....	18
2.2.2.1 Konvansiyonel içten yanmalı motorlar.....	18
2.2.2.2 Alternatif içten yanmalı motorlar.....	19
2.2.3 Potansiyel menzil artırıcı konseptleri.....	21
2.3 Enerji Depolama Araçları.....	23
2.3.1 Elektrokimyasal piller.....	24
2.3.1.1 Elektrokimyasal reaksiyonlar.....	26
2.3.1.2 Termodinamik voltaj.....	27
2.3.1.3 Özgül enerji.....	28
2.3.1.4 Özgül güç.....	29
2.3.1.5 Enerji verimi.....	31
2.3.2 Pil teknolojileri.....	32
2.3.2.1 Kurşun-asit piller.....	32
2.3.2.2 Nikel tabanlı piller.....	33
2.3.2.3 Lityum tabanlı piller.....	35
3.SERİ HİBRİT TASARIM PRENSİPLERİ.....	39
3.1 Çalışma Modları.....	39
3.2 Kontrol Stratejileri.....	41
3.2.1 Maksimum şarjlı pil kontrol stratejisi.....	41

3.2.2 Menzil arttırıcı aç-kapa ya da termostat kontrol stratejisi.....	43
3.3 Elektrik Motorun Güç Derecesinin Belirlenmesi.....	44
3.4 Menzil Arttırıcı Güç Derecesinin Belirlenmesi.....	45
3.5 PPS Güç Kapasitesi.....	46
3.6 PPS Enerji Kapasitesi.....	46
4. KONVANSİYONEL BİR TAŞITIN SERİ HİBRİT TAŞITA.....	49
DÖNÜŞTÜRÜLMESİ.....	49
4.1 Konvansiyonel Taşıt Seçimi.....	49
4.2 Konvansiyonel Taşıtın Tanıtılması.....	49
4.3 Konvansiyonel Taşıtın Farklı Sürüş Çevrimlerinde Koşulması.....	51
4.4 Yol Dirençleri ve Dinamik Taşıt Denklemleri.....	55
4.4.1 Yuvarlanma direnci.....	55
4.4.2 Aerodinamik direnç.....	56
4.4.3 Yokuş direnci.....	57
4.4.4 İvmelenme direnci.....	57
4.5 Konvansiyonel Taşıtın NEDC ve WLTP Çevrimlerinde Koşulması.....	57
4.6 Seri Hibrit Taşıtın Tanıtılması.....	59
4.6.1 Elektrik motoru seçimi.....	61
4.6.2 Pil kapasitesinin belirlenmesi.....	65
4.6.3 Menzil arttırıcıların ve çalışma noktalarının belirlenmesi.....	67
4.7 Seri Hibrit Taşıtın AVL Cruise Programında Modellenmesi.....	69
4.7.1 İki silindirli motorun menzil arttırıcı olarak kullanıldığı seri hibrit konfigürasyonu.....	70
4.7.2 Wankel motorunun menzil arttırıcı olarak kullanıldığı seri hibrit konfigürasyonu.....	78
4.8 Seri Hibrit Modellerim WLTP Çevriminde Koşturulması.....	80
4.8.1 Model 1'in WLTP çevriminde koşturulması.....	80
4.8.2 Model 2'nin WLTP çevriminde koşturulması.....	98
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	109

KISALTMALAR

AC :Alternatif Akım

Ah :Amper-saat

BMEP :Brake Mean Effective Pressure

CARB :California Air Resources Board

CHP :Combined Heat and Power

CI :Compression Ignition

CO :Karbon monoksit

DC :Doğru Akım

DMFC : Direct Methanol Fuel Cell

EM :Elektrik Motoru

EPA :Environmntal Protection Agency

FOC :Fied Oriented Control

FTP :Federal Test Procedure

HC :Hidrokarbon

HCCI : Homogeneous Charge Compression Ignition

ICE :Internal Combustion Engine

İYM :İçten Yanmalı Motor

Li-I :Lityum-İyon

Li-P :Lityum-Polimer

km :kilometre

kW :Kilowatt

NEDC :New European Driving Cycle

Ni-MH :Nikel-Metal hidrid

NIOOH :Nikel hidroksi-oksit

NO_x :Azot oksitler

NVH :Noise-Vibration-Harshness

PEFC :Polymer Electrolyte Fuel Cell

PHEV :Plug-In Hybrid Electric Vehicle

PM :Partikül Madde

PPS :Peaking Power Source

REEV :Range-Extended Electric Vehicle

REX :Range Extender

SI :Spark Ignition

SOC :State of Charge

SOFC : Solid Oxide Fuel Cell

SULEV : Super Ultra Low Emission Vehicle

WOT :Wide Open Throttle

WLTP : Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure

SEMBOLLER

λ :Hava fazlalık katsayısı

ΔG :Gibbs serbest enerjisindeki

A :Amper

B :Manyetik Alan

dB : Desibel

F :Manyetik Kuvvet

G_i :Tepkime sonucu oluşan ürünlerin serbest enerjisi

G_j :Tepkimeye girenlerin serbest enerjisi

I :Akım

M_i :Pil reaksiyonuna giren türü moleküler ağırlığı

V_r :Pil hücresinin tersinir voltaj değeri

R :Evrensel gaz sabiti

R_c :Kondüktör direnci

R_{int} : Reaksiyon sonucu oluşan iç direnç



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Elektrikli ve Hibrit araçlarda kullanılmaya aday pillerin teorik özgül enerjileri.....	30
Çizelge 2.2: Otomobil uygulamalarında kullanılan pillerin özellikleri.....	31
Çizelge 4.1: D segmenti Sedan Otomobil Satışları.....	49
Çizelge 4.2: Vites oranları ve kademeleri.....	51
Çizelge 4.3: FTP75, NEDC, WLTP çevrim verileri.....	55
Çizelge 4.4: Limit emisyon değerleri(g/km).....	55
Çizelge 4.5: Tahrik bileşenlerinin kütleleri.....	60
Çizelge 4.6: Elektrikli ve Hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorları.....	63
Çizelge 4.7: Menzil arttırıcı verileri.....	69



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Hibrit Elektrikli Araçların Sınıflandırılması.....	3
Şekil 1.2 : Seri Hibrit Güç Aktarım Konfigürasyonu.....	4
Şekil 1.3 : Paralel Hibrit Konfigürasyonu.....	7
Şekil 2.1 : EV ve HEV uygulamalarında kullanılan elektrik motorları..... sınıflandırılması.....	10
Şekil 2.2: Elektrikli tahrik sistemlerinin bileşenleri.....	11
Şekil 2.3: DC motorun çalışma prensibi.....	12
Şekil 2.4 : Menzil Artırıcı Çalışma Noktaları.....	18
Şekil 2.5 : Olası Menzil Artırıcı Konseptleri.....	18
Şekil 2.6: Konvansiyonel İYM tipindeki menzil artırıcıların sınıflandırılması.....	20
Şekil 2.7 : Menzil artırıcı tiplerinin fayda ve potansiyel grafiği.....	23
Şekil 2.8 : Tipik bir elektrokimyasal pil hücresi.....	25
Şekil 2.9 : Limit voltaj grafiği.....	25
Şekil 2.10 : Kurşun-Asit Pilin Deşarj Karakteristiği.....	26
Şekil 2.11 : Kurşun-asit pil hücresindeki elektrokimyasal işlemler.....	27
Şekil 2.12 : Pil Devresi Modeli.....	30
Şekil 2.13 : Kurşun asit pil şarj ve deşarj verim karakteristiği.....	32
Şekil 3.1 : Seri hibrit güç aktarma organları konfigürasyonu.....	39
Şekil 3.2 : Maksimum şarj seviyeli kontrol stratejisi.....	42
Şekil 3.3 : Maksimum şarj seviyeli pil kontrol stratejisinin akış şeması.....	43
Şekil 3.4 : Menzil artırıcı aç-kapa kontrol stratejisi.....	43
Şekil 3.5 : Güç derecesi vs hız oranı.....	44
Şekil 3.6 : FTP çevriminde maksimum pil şarj seviyesi stratejisine göre enerji değişimi.....	46
Şekil 4.1 : VW Passat yanal görünüm.....	50
Şekil 4.2 : VW Passat önden ve arkadan görünüm.....	50

Şekil 4.3 : NEDC hız profili.....	53
Şekil 4.4 : WLTP hız profili.....	53
Şekil 4.5 : FTP75 hız profili.....	54
Şekil 4.6 : US06 hız profili.....	54
Şekil 4.7 : SC03 hız profili.....	54
Şekil 4.8 : Hareket halindeki taşıta etki eden kuvvetler.....	55
Şekil 4.9 : Aerodinamik direnç kuvveti oluşum mekanizması.....	56
Şekil 4.10 : NEDC çevriminde konvansiyonel taşıtın güç gereksinimi.....	58
Şekil 4.11 : WLTP çevriminde konvansiyonel taşıtın güç gereksinimi.....	58
Şekil 4.12: NEDC çevriminde ivme değişim grafiği.....	59
Şekil 4.13: WLTP çevriminde ivme değişim grafiği.....	59
Şekil 4.14: Elektrik Motor Karakteristiği.....	62
Şekil 4.15: 60 kW'lık bir elektrik motorun farklı hız oranlarında hız-tork grafiği.....	62
Şekil 4.16: Elektrik motor güç karakteristiği.....	65
Şekil 4.17: Elektrik motor tork karakteristiği.....	65
Şekil 4.18: Hibrit Taşıtın WLTP çevrimindeki güç tüketimi.....	66
Şekil 4.19: WLTP çevriminde rejeneratif frenleme ile geri kazanılan fren gücü.....	67
Şekil 4.20: Maksimum kayma karakteristiği.....	71
Şekil 4.21: Kayma karakteristiğinin asimptotu.....	72
Şekil 4.22: Gaz pedalı karakteristiği.....	75
Şekil 4.23: Fren Pedalı karakteristiği.....	75
Şekil 4.24: Elektrik motoru tork eğrisi.....	76
Şekil 4.25: Elektrik motoru verim haritası.....	77
Şekil 4.26: Elektriksel direnç karakteristiği.....	78
Şekil 4.27: Seri Hibrit Model 1 AVL Cruise konfigürasyonu.....	78
Şekil 4.28: Seri Hibrit Model 2 AVL Cruise konfigürasyonu.....	79
Şekil 4.29: Model 1'in WLTP çevriminde %80 SOC için SOC-Zaman grafiği.....	81
Şekil 4.30: Model 1'in WLTP çevriminde %80 SOC için rejeneratif frenleme durumunda SOC-Zaman grafiği.....	81
Şekil 4.31: Model 1 %80 SOC için pillerin elektriksel gücü.....	82
Şekil 4.32: Model 1 %80 SOC için pillerin güç kayıpları.....	82
Şekil 4.33: Model 1 %80 SOC için elektrik motorun hız ve mekanik güç eğrileri.....	83

Şekil 4.34: Model 1 %80 SOC için elektrik motor tork eğrisi.....	83
Şekil 4.35: Model 1 %80 SOC için elektrik motorun verim,güç ve güç kaybı eğrileri.....	84
Şekil 4.36: Model 1 %80 SOC için elektrik motor Güç-Zaman grafiği.....	84
Şekil 4.37: Model 1 %80 SOC için elektrik motorun güç kayıpları.....	85
Şekil 4.38: Model 1 %80 SOC için Elektrik motorun Verim-Zaman grafiği.....	85
Şekil 4.39: Model 1 %80 SOC için Çevrim boyunca taşıtın güç tüketimi.....	86
Şekil 4.40: Model 1 %80 SOC elektrik motoru verim haritası.....	86
Şekil 4.41: Model 1 %55 SOC için rejeneratif frenleme yokken SOC-Zaman grafiği.....	87
Şekil 4.42: Model 1 %55 SOC için rejeneratif frenleme devrede iken SOC-Zaman grafiği.....	87
Şekil 4.43: Model 1 %55 SOC için pillerden çekilen güç.....	88
Şekil 4.44: Model 1 %55 SOC için pillerdeki güç kaybı eğrisi.....	88
Şekil 4.45: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun hız ve mekanik güç eğrileri.....	89
Şekil 4.46: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun verimi,güç tüketimi ve güç kaybı.....	89
Şekil 4.47: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun güç tüketimi.....	90
Şekil 4.48: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun Verim-Zaman grafiği.....	90
Şekil 4.49: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun güç kayıpları.....	91
Şekil 4.50: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun Tork-Zaman grafiği.....	91
Şekil 4.51: Model 1 %55 SOC için taşıtın çevrim boyunca güç tüketimi.....	92
Şekil 4.52: Model 1 %30 SOC için pillerden çekilen güç ve pillerin şarj edilmesi.....	93
Şekil 4.53: Model 1 %30 SOC için pillerin güç kayıpları.....	93
Şekil 4.54: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun elektriksel güç tüketimi.....	94
Şekil 4.55: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun hız ve mekanik güç eğrileri.....	94
Şekil 4.56: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun güç kayıpları.....	95
Şekil 4.57: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun Tork-Zaman grafiği.....	95
Şekil 4.58: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun Verim-Zaman grafiği.....	96

Şekil 4.59: Model 1 %30 SOC için Menzil Arttırıcı Güç-Zaman grafiği.....	96
Şekil 4.60: Model 1 %30 SOC için Jeneratör Mekanik güç-Zaman grafiği.....	97
Şekil 4.61: Model 1 %30 SOC için Jeneratörün verim,elektriksel güç ve güç kaybı eğrileri.....	97
Şekil 4.62: Model 1 %30 SOC için SOC-Zaman grafiği.....	98
Şekil 4.63: Model 2 %30 SOC için Pillerin elektriksel gücünün zamana bağlı değişimi.....	99
Şekil 4.64: Model 2 %30 SOC için Pillerin güç kayıpları.....	99
Şekil 4.65: Model 2 %30 SOC için Elektrik motorun Elektriksel Güç-Zaman grafiği.....	100
Şekil 4.66: Model 2 %30 SOC için Elektrik motorun hız ve mekanik güç..... eğrileri.....	100
Şekil 4.67: Model 2 %30 SOC için Elektrik motorun Tork-Zaman grafiği.....	101
Şekil 4.68: Model 2 %30 SOC için Elektrik motorun Verim-Zaman grafiği.....	101
Şekil 4.69: Model 2 %30 SOC için Jeneratörün verim,elektriksel güç ve güç kaybı eğrileri.....	102
Şekil 4.70: Model 2 %30 SOC için Jeneratörün mekanik gücü.....	102
Şekil 4.71: Model 2 %30 SOC için Wankel motorun Güç-Zaman grafiği.....	103
Şekil 4.72: Model 2 %30 SOC için SOC-Zaman grafiği.....	103
Şekil 4.73: Çevrim boyunca taşıtın güç tüketimi.....	104

SERİ HİBRİT TAŞIT TASARIMI

ÖZET

Bu tezde İstanbul'da en çok kullanılan konvansiyonel araçlardan biri seçilerek güç aktarma organları seri hibrit konfigürasyonuna dönüştürülmüştür. Seri hibrit konfigürasyonunun seçilmesinin en önemli sebepleri içten yanmalı motoru en verimli olduğu noktada çalıştırabilme imkanı sunması, paralel hibrite göre daha basit bir kontrol stratejisine ihtiyaç duyması, taşıt tahriki tamamen elektrik motoru tarafından sağlandığından tek bir vites oranı ile transmisyonu basitleştirebilme imkanı sunması olarak sıralanabilir. Buna bağlı olarak taşıt boyutları aynı tutularak ve konvansiyonel taşıtın ivmelenme performansı referans alınarak seri hibrit taşıt için gerekli elektrik motorun tork ve güç ihtiyacı hesaplanarak tasarıma başlanmıştır. Elektrik ve hibrit elektrikli araç uygulamalarında kullanılan elektrik motorları ile ilgili literatür çalışması yapılarak hangi tür elektrik motorunun bu taşıt için en uygun olduğu belirlenmiştir. Menzil arttırıcılar üzerine literatür çalışması yapılarak menzil arttırıcıların gereken özellikleri belirlenmiştir. Seri hibrit konfigürasyonunun bir diğer avantajı da konvansiyonel taşıtlar için yetersiz kalan bazı içten yanmalı motor teknolojilerinin menzil arttırıcı olarak kullanılabilmesine olarak sağlamasıdır. Bu nedenle İTÜ Otomotiv Laboratuvarı'nda bulunan Wankel motoru ve tek silindirli benzin motoru iki silindirli olarak düşünülerek menzil arttırıcı olarak AVL Cruise programında denenmiştir. Menzil arttırıcıların pilleri şarj etmedeki performansı incelenmiştir. AVL Cruise'da yapılan simülasyonlar, gerçek sürüş koşullarını en iyi şekilde yansıttığından, transient bir çevrim olduğundan WLTP çevriminde yapılmıştır. Taşıtta kullanılacak pil kapasitesinin belirlenmesinde de WLTP çevriminden yararlanılmıştır. Literatürdeki çalışmalara göre seri hibrit araçlar için en uygun tasarımın günlük sürüş menzilin(50-70 km) pillerden karşılanması ve daha yüksek güç ihtiyacı için menzil arttırıcının devreye girmesi yönündedir. Buna bağlı olarak hibrit taşıtın WLTP çevrimindeki güç tüketimine göre pil kapasitesi belirlenmiştir. Ayrıca seri hibrit taşıt ile konvansiyonel taşıtın WLTP çevrimindeki güç tüketimleri karşılaştırılmıştır. Hibrit araçlardaki enerji depolama aracı olan piller ile ilgili literatür çalışması yapılarak taşıtta kullanılacak pil seçilmiştir. Taşıtın tahrik bileşenleri belirlendikten sonra AVL Cruise iki farklı seri hibrit taşıt modeli oluşturulmuştur. Bu modellerden birinde menzil arttırıcı iki silindirli benzin motoru, diğerinde ise Wankel motorudur. Oluşturulan modeller WLTP çevriminde koşularak tahrik bileşenlerinin performansı incelenmiştir. Tezde ayrıca termostat kontrol strateji de incelenmiştir. Pillerin şarj seviyesi belirlenen minimum değere ulaştığında menzil arttırıcı çalıştırılmıştır.



SERIES HYBRID ELECTRIC VEHICLE DESIGN

SUMMARY

Due to the exhaust emissions of internal combustion engines, limited reserves of fossil fuels, environmental and air pollutions automotive industry is searching for alternative propulsion systems. Electric vehicles are one of the options for transportation in the future. Electric vehicles have zero emissions and electrification of the drivetrain has several advantages over conventional internal combustion engine powered vehicles. Torque-speed characteristic of electric motor is very close to ideal for transportation. It enables excellent acceleration performance. Electric motors operate quieter than internal combustion engines. Also, electrification of the drivetrain can simplify the transmission since electric motors do not need a multigear transmission. But a full electric vehicle has some disadvantages as well. Today, batteries still have problems with range, charging and cost. Low energy density, long charging time and high costs prevent the industry to develop the pure electric vehicles. Thus, the most realistic solution is to combine the electric propulsion and internal combustion engines. There are different hybrid electric vehicle configurations such as series, parallel, series-parallel and complex hybrids. They all have different advantages and disadvantages. But the series hybrid configuration has easier control than the others and it combines the electric propulsion and internal combustion engines in a precise manner. In series hybrid electric vehicles, electric motor is the only component that propels the vehicle. When the internal combustion engine is shut off, vehicle operates as a pure electric vehicle using the energy in the batteries. When the state of charge of the batteries is depleted, internal combustion engine starts to operate to charge the batteries. Other hybrid configurations need more complex control strategy. In parallel hybrid vehicles, internal combustion engine is also connected to wheels, thus requiring a multigear transmission. In series hybrid vehicles, internal combustion engine is not mechanically connected to the wheels and so the internal combustion engine can be operated anywhere in its speed-torque diagram including the most efficient operating points. Thus, series hybrid electric vehicles are considered as the bridge between conventional internal combustion engine powered vehicles and pure electric vehicles. Researches suggest that the most realistic, optimum solution for electrification of vehicles is to design a vehicle that is powered by the battery for daily distance driving and adding an internal combustion engine range extender to recharge the battery. Another advantage of this configuration is that it allows to use different internal combustion engines that were insufficient for conventional vehicles such as Wankel engine, 2 stroke engines etc. Thus this thesis is focused on the design principles of series hybrid electric vehicles and range extenders. A conventional internal combustion powered vehicle is selected and its powertrain is modified to series hybrid configuration without changing the vehicles dimensions.

At the beginning of this design study, power rating of the electric motor is determined. Same acceleration performance of the conventional and series hybrid vehicle is considered to compare two vehicles better. Maximum power of the conventional vehicle was 88 kW. Power rating of the electric motor for series hybrid vehicle is calculated as 120 kW for same acceleration performance i.e. 11 seconds from 0 to 100 km/h. Series hybrid vehicle is 200 kg heavier than the conventional vehicle because of the weight of the batteries and generator. Thus, it required higher power demand than the conventional vehicle. Another parameter that affected the power rating of the electric motor was the speed ratio. Different electric motor types such as induction motors, permanent magnet motors, switched reluctance motors have different speed ratios. This changes the base speed of the electric motor and thus its acceleration performance and power rating. Electric motor selection was made according to literature review on electric motors. After determining the power rating of the electric motor, a literature review was made on range extenders and their requirements. As range extenders, two internal combustion engines in ITU Automotive Laboratory were selected. One is Wankel engine, the other is normally a single cylinder gasoline engine but its power output was insufficient for range extender application so it was considered as a two cylinder gasoline engine. Performance of these range extenders on recharging the batteries was investigated in AVL Cruise. Two models were constructed in AVL Cruise. One has the Wankel engine as its range extender and the other has two cylinder gasoline engine. Engine on-off or thermostat control strategy was used as control strategy of the vehicle. In this control strategy, range extender is shut off until the state of charge of the batteries reaches a predefined minimum level. When the state of charge is minimum range extender starts to operate at a predefined speed. WLTP was selected for simulations since it is more transient and closer to the real driving conditions than other cycles such as NEDC. At the beginning of the simulation, initial state of charge was defined as maximum, intermediate and minimum levels. Maximum state of charge was set as 80 %, intermediate state of charge was set as 55% and minimum state of charge was set as 30%. Effect of regenerative braking on batteries was also investigated. It was observed that when the regenerative braking is off battery depletion had higher rate. Regenerative braking slowed down the battery depletion. For 80 % and 55 % state of charge levels, approximately same graphics were obtained. There was only a small difference due to the charge and discharge characteristic of batteries. In all cases, electric motor curves for electric motor's speed, torque, mechanical power, electrical power, power loss are the same since the vehicle follows the same velocity profile and electric motor can receive required electric power to propel the vehicle from the batteries. Mechanical power that the electric motor produced was obtained as 40 kW. This is the power that propels the vehicle. Electrical power consumption of electric motor as obtained as 45 kW. Approximately 5 kW power loss occurred for electric motor. For batteries, power loss was calculated as 1 kW. When the state of charge of the batteries was set as the minimum value (30%) at the beginning of the simulation, range extender started to operate to charge the batteries. When two cylinder gasoline engine was used as the range extender final state of charge reached 45%. When Wankel engine was used as the range extender, final state of charge at the end of the cycle was 50%. Wankel engine operated at 4000 rpm, 5 bar delivering 22,3 kW output power. Two cylinder gasoline engine operated at 2500 rpm and delivered 18,66 kW output power. There was 10% power loss in the generator.

In order to expand this study and investigate the performance of these range extenders further, a highway cycle can be used. WLTP cycle is very transient and has high power demand at the end of the cycle. WLTP was combined with engine on-off control strategy in this study. Maximum SOC control strategy is another common control strategy for hybrid vehicles. As another driving condition, a steady driving in a highway and maximum state of charge control strategy can be used to analyze these range extenders further.





1. GİRİŞ

Egzoz emisyonları, fosil yakıtların miktarının azalması gibi nedenler başta olmak üzere otomotiv sektörü konvansiyonel içten yanmalı motorlara alternatif tahrik sistemi arayışındadır. Taşıtların elektrifikasyonu emisyonlar, yakıt tüketimi açısından olumlu etkiler sağladığı gibi taşıt tekniği açısından da olumlu yönleri sahiptir. Taşıtların elektrifikasyonu güç aktarım sistemleri açısından oldukça fazla çeşitlilik sağlamaktadır. Bu nedenle, tamamen elektrikli bir taşıtın içten yanmalı motor ile çalışan bir taşıta göre farklı yönlerden avantajları vardır(Emisyonlar, Ses, Titreşim, Yakıt tüketimi)[1].

Fakat günümüzdeki pil teknolojisinde maliyet, ömür, menzil, ağırlık, enerji depolama kapasitesi gibi kısıtlamalar mevcuttur[1]. Ayrıca tamamen elektrik tahrikli taşıtların metropol şehirlerde başka türlü dezavantajları da vardır. Trafik yoğun olduğu New York, İstanbul gibi şehirlerde elektrikli bir taşıtın menzili, kabin ısıtma/soğutması gibi gereksinimlerin pillerden sağlanmasından dolayı oldukça düşmektedir[2]. Elektrikli taşıtların bu eksik yönlerini tamamlamak için günümüz teknolojisinde en uygun çözüm elektrikli taşıt ile konvansiyonel içten yanmalı motorlu taşıtın birleşimi olan hibrit taşıtlardır. Hibrit taşıtlar daha az pil kullanıldığı için maliyet bakımından elektrikli taşıtlardan ucuzdur. Emisyon kısıtlamaları konvansiyonel içten yanmalı motorlu taşıtlarda olduğu kadar katı değildir[3]. Bu avantajları dolayısıyla günümüzde maliyet, emisyonlar, çevre, performans kriterleri bakımından en uygun çözüm öncelikli olarak elektrik tahrikli ve buna ek güç kaynağı olarak içten yanmalı bir motor içeren hibrit taşıtlardır. Günümüzdeki pil teknolojisi göz önüne alındığında günlük sürüş menzili pillerden karşılayacak şekilde pil kapasitesi tasarlamak ve buna ek olarak bir menzil artırıcı kullanmak en iyi yaklaşım olarak kabul edilmektedir[2].

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı konvansiyonel içten yanmalı motorlu taşıtlardan hibrit taşıtlara geçişin yaygınlaştığı bu dönemde, hibrit bir taşıtın tasarım ve optimizasyonunu yapmaktır. Bu amaçla, İstanbul trafiğinde yaygın kullanılan konvansiyonel bir taşıt seçilmiş ve hibrit

bir taşıta çevrilmiştir. Seçilen taşıt, belirli yol dirençleri eklenerek NEDC ve WLTP hız profiline göre seyir ettirilmiştir. Taşıtın bu çevrimdeki yaklaşık güç tüketimi belirlendikten sonra elektrifikasyonu amaçlanmıştır.

Tezin diğer amaçları ise alternatif menzil arttırıcı konseptlerinin belirlenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda konvansiyonel içten yanmalı motorlu taşıtlar için yetersiz kalan konseptler menzil arttırıcı olarak denenmiştir.

1.2 Hibrit Elektrikli Araçlar

Konvansiyonel içten yanmalı motorlu taşıtlar fosil yakıtların yüksek enerji yoğunluğu avantajından faydalanarak uzun bir sürüş menziline sahiptir. Fakat, konvansiyonel içten yanmalı motorlu taşıtların egzoz emisyonlarından kaynaklanan çevre kirliliği ve kötü yakıt ekonomisi gibi dezavantajları vardır. Kötü yakıt ekonomisinin öncelikli sebepleri içten yanmalı motorun verimli olduğu bölgeden uzakta olan gerçek sürüş koşulları ve taşıtın kinetik enerjisinin frenleme sırasında geri kazanılamayıp çevreye yayılmasıdır.

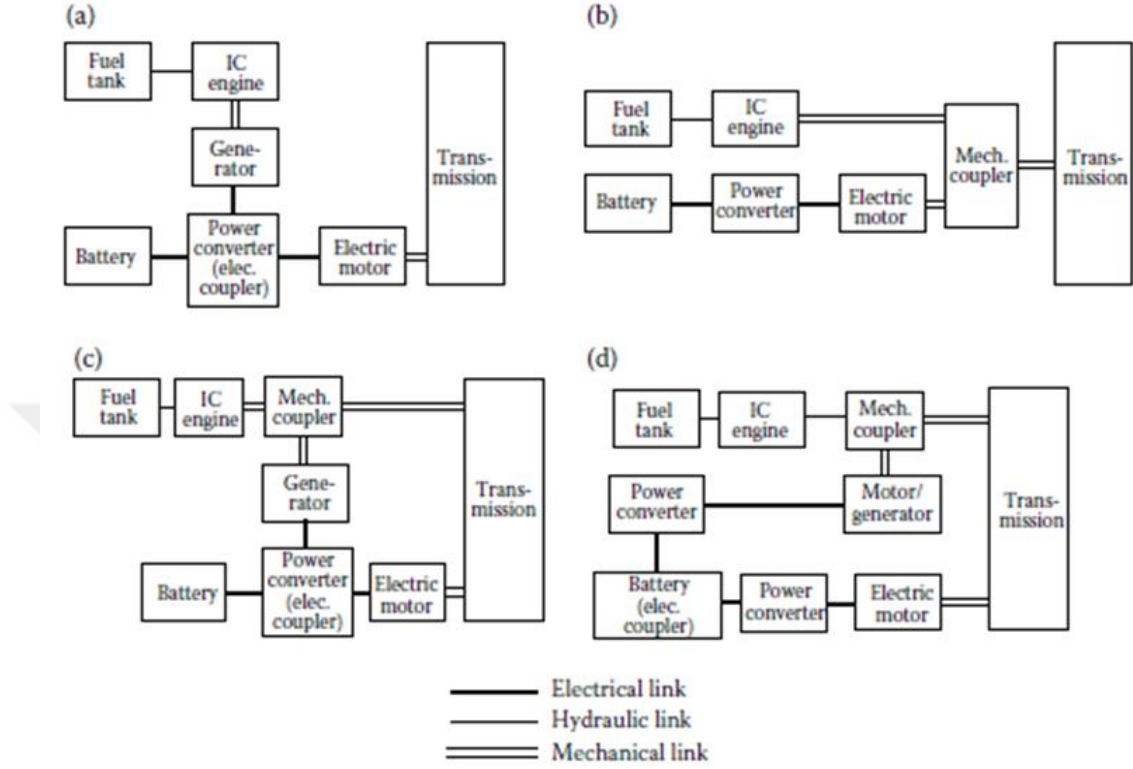
Diğer taraftan Batarya-destekli Elektrikli Araçlar, konvansiyonel içten yanmalı motorlu araçlara göre yüksek enerji verimi ve sıfır emisyon sağlaması açısından daha avantajlıdır. Fakat günümüzde batarya teknolojisi, bataryaların uzun şarj süresi ve düşük menzili sebebiyle içten yanmalı motorlar ile yarışabilecek düzeyde değildir[1]. Hibrit elektrikli araçlar hem konvansiyonel içten yanmalı motorlu araçların hem de batarya-destekli elektrikli araçların avantajlarına sahip olduğundan bu dezavantajları kompanse edebilecek bir teknolojidir.

Hibrit araçların güç aktarım mimarisi basit olarak enerji akışını sağlayan bileşenlerin birbiri ile bağlantısına göre tanımlanmıştır[4]. Günümüzde hibrit elektrikli araçlar Seri, Paralel, Seri-Paralel ve Kompleks Hibrit olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Hibrit araçların sınıflandırılması Şekil 1.1'de verilmiştir.

Şekil 1.1a seri hibrit aktarma organları mimarisini göstermektedir. Bu konfigürasyonun en önemli özelliği iki elektriksel gücün güç dönüştürücü ile birleştirilmesidir. Bu konfigürasyonda içten yanmalı motor ve jeneratör birincil güç kaynağıdır ve bataryalar ekstra enerji deposu olarak kullanılır.

Şekil 1.1b paralel hibrit konfigürasyonunu göstermektedir. Bu konfigürasyonun en önemli özelliği iki mekanik gücün mekanik kuplör ile birleştirilmesidir. İçten yanmalı

motor birincil güç kaynağıdır. Elektrik motoru ve bataryalar enerji deposu fonksiyonundadır.



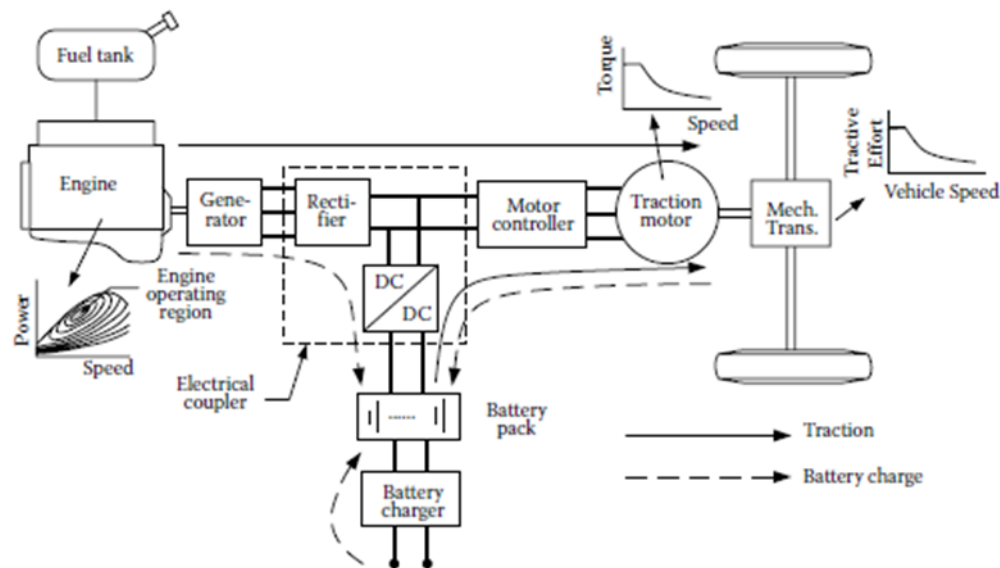
Şekil 1.1: Hibrit Elektrikli Araçların Sınıflandırılması:(a) Seri Hibrit(Elektriksel Kuple) .(b) Paralel Hibrit(Mekanik Kuple).(c) Seri-Paralel Hibrit(Elektriksel ve Mekanik Kuple).(d) Kompleks Hibrit(Elektriksel ve Mekanik Kuple).

Şekil 1.1c seri-paralel hibrit konfigürasyonunu göstermektedir. Bu sistemin en belirgin özelliği hem mekanik hem de elektriksel güç birleştiricisi içermesidir. Bu konfigürasyon seri ve paralel sistemlerin birleşimidir. Her iki sistemin de en önemli özelliklerini içinde bulundurmaktadır ve seri ya da paralel konfigürasyonlardan daha fazla operasyon moduna sahiptir. Diğer taraftan bu sistem daha karmaşık ve daha pahalıdır.

Şekil 1.1d kompleks hibrit konfigürasyonunu ifade etmektedir. Bu sistem seri-paralel konfigürasyona benzeyen bir sistemdir. Tek farkı elektriksel birleştirici fonksiyonunun güç dönüştürücüden bataryalara alınması ve bir tane daha güç dönüştürücü eklenmesidir.

1.2.1 Seri hibrit elektrikli araçlar

Seri hibrit araçlarda iki farklı elektriksel güç kaynağı aracın tahriki için tek bir elektriksel güç birimini(Elektrik Motor) beslemektedir.



Şekil 1.2: Seri Hibrit Güç Aktarım Konfigürasyonu.

Şekil 1.2’de seri hibrit güç aktarım konfigürasyonu gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi seri hibrit bir taşıtın tahriki elektik motoru vasıtasıyla sağlanmaktadır. İçten yanmalı motorun mekanik enerjisi jeneratör ile elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Aynı şekilde bataryalardan gelen elektriksel güç ve jeneratörden sağlanan elektriksel güç birleştirilerek elektrik motoru tahrik edilmektedir[4].

Görüldüğü gibi güç akışı iki yönlüdür. Taşıtın tahriki için içten yanmalı motor ve bataryalar elektrik motoruna güç sağlamaktadır. Diğer yönden bataryaların şarj edilebilmesi için de içten yanmalı motor ya da elektrik motoru kullanılabilir. Rejeneratif frenlemede elektrik motoru bir jeneratör görevi görerek taşıtın kinetik enerjisini bataryaları şarj etmede kullanabilmektedir.

Bunun dışında bataryalar dışarıdan bir elektrik kaynağı ile de şarj edilebilir. Bu tür taşıtlara Plug-In Hybrid Electric Vehicle(PHEV),Dışarıdan Şarj Edilebilen Hibrit Elektrikli Taşıt denmektedir. Bataryaların dışarıdan şarj edilemediği seri hibrit taşıtlara ise Range-Extended Electric Vehicle(REEV) yani Menzil Arttırıcı Hibrit Elektrikli Taşıt denmektedir.

Seri hibrit elektrikli araçlar aşağıdaki çalışma modlarında çalışabilir;

- 1) Salt elektrik tahrik Modu:Bu modda içten yanmalı motor kapalıdır ve taşıt sadece bataryalar ile tahrik edilir.
- 2) Salt İYM modu:Araca gerekli tahrik gücü sadece içten yanmalı motor(İYM) ve jeneratör çiftinden sağlanır.
- 3) Hibrit tahrik modu:Tahrik gücü hem içten yanmalı motor-jeneratör çiftinden hem de bataryalardan elde edilir ve elektriksel olarak birleştirilir.
- 4) İYM tahrikli batarya şaj modu:İçten yanmalı motor-jeneratör çifti hem taşıt tahrikini sağlarken hem de bataryaları şarj edecek şekilde çalıştırılır. İYM-jeneratör çiftinin elektriksel gücü elektriksel kuplörde bölünür.
- 5) Rejeneratif frenleme modu:İYM-jeneratör çifti kapalıdır ve elektrik motoru taşıtın kinetik ya da potansiyel enerjisi ile tahrik edilen bir jeneratör olarak çalışır. Üretilen güç ile piller şarj edilir ve daha sonra tekrar aracın tahrikinde kullanılır.
- 6) Batarya şarj modu:Elektrik motoruna güç akışı yoktur ve İYM-jeneratör çifti sadece pilleri şarj etmede kullanılır.
- 7) Hibrit batarya şarj modu:Hem elektrik motoru hem de İYM-jeneratör çifti frenleme esnasında jeneratör görevi görerek pilleri şarj ederler

Seri hibrit sisteminin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- 1) İçten yanmalı motor ile tekerlekler arasında mekanik bağlantı yoktur. Bu nedenle içten yanmalı motor hız-tork diagramının herhangi bir noktasında çalışabilir. Bu avantaj,doğru kontrol yöntemlerinin uygulanmasıyla birlikte içten yanmalı motorun her zaman en verimli olduğu noktalarda çalışmasına olanak sağlayabilir. Böylelikle motorun verimi ve emisyon değerleri iyileştirilebilir.
- 2) Elektrik motorların hız-tork profili taşıt tahriki için çok uygun olduğundan,güç aktarımı çoklu vites kutusuna ihtiyaç duymayabilir. Güç aktarımı bu sebeple basitleşebilir ve maliyet azaltılabilir.
- 3) Seri hibrit güç aktarım sisteminin kontrol stratejisi,içten yanmalı motor ile tekerlekler arasında mekanik bir bağlantı olmadığından diğer konfigürasyonlara göre daha basittir.

Bunların yanında,seri hibrit sisteminin aşağıdaki gibi bazı dezavantajları vardır:

- 1) İçten yanmalı motorun enerjisi iki kez form değiştirmektedir. İlk olarak jeneratörde mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür daha sonra ise elektrik motorunda elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülür. Bu durumda jeneratör ve elektrik motorun verimlerine bağlı olarak kayıplar artmaktadır.
- 2) Jeneratörün getirdiği ağırlık ve maliyet vardır.
- 3) Elektrik motoru taşıtı tahrik eden tek güç ünitesi olduğundan, ivmelenme ve yokuş çıkma performansına göre yeterli gücü üretecek şekilde boyutlandırılmalıdır[4].

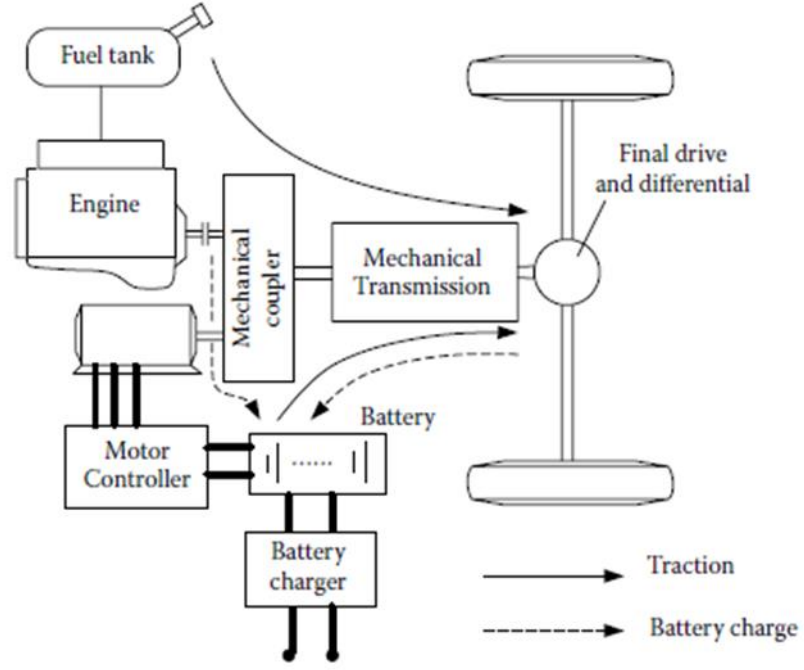
1.2.2 Paralel hibrit elektrikli araçlar

Paralel hibrit yapıdaki aktarma organlarında içten yanmalı motor konvansiyonel taşıtlarda olduğu gibi mekanik gücü direkt tekerleklerle aktarır. İçten yanmalı motora yardımcı olarak tekerleklerle mekanik olarak bağlı bir elektrik motor bulunur. İçten yanmalı motorun ve elektrik motorun güçleri mekanik olarak birleştirilir ve tekerleklerle iletilir[4]. Şekil 1.3'te paralel hibrit konfigürasyonu gösterilmiştir.

Paralel hibritin en büyük dezavantajı ise İYM ile tekerleklerin mekanik olarak bağlantılı olmasıdır. Bu nedenle İYM çalışma noktaları daha dar bir hız tork aralığında sabitlenemez. Bu da İYM verimini düşürür ve yakıt tüketimini artırır.

Seri hibrit sistemdeki tüm çalışma modları burada da geçerlidir. Paralel hibrit sistemin seri hibrit sisteme göre en önemli avantajları şunlardır;

- 1) Hem İYM hem de EM direkt olarak ürettikleri torku tekerleklerle iletir. Seri hibritte olduğu gibi enerji dönüşümü yoktur. Bu nedenle enerji kayıpları daha az olabilir.
- 2) Seri hibrite göre daha küçük bir elektrik motoru içerdiğinden ve jeneratör bulunmadığından daha kompakt bir yapıdadır[4].



Şekil 1.3: Paralel Hibrit Konfigürasyonu.



2. HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TAHRİK BİLEŞENLERİ

2.1 Elektrik Motorlar

Elektrik motorlar elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek taşıtı tahrik ederler ve rejeneratif frenleme ile bataryaları şarj edecek elektrik enerjisini üretirler. Elektrik motorlara gerekli voltaj ve akımı ayarlamak için güç konvertörleri kullanılır.

Elektrikli ve hibrit taşıtlarda elektrik motor seçimi birkaç faktöre dayanır. Sürücünün performans açısından beklentisi, taşıt sınırlamaları ve enerji kaynağı elektrik motoru seçimi için ana parametrelerdir[4].

Sürücünün performans beklentileri ivmelenme, maksimum hız, yokuş çıkma kabiliyeti, frenleme kabiliyeti ve menzildir.

Taşıt sınırlamaları taşıtın boyutları ile ilgili olan hacim, bagaj ve ağırlık parametreleridir.

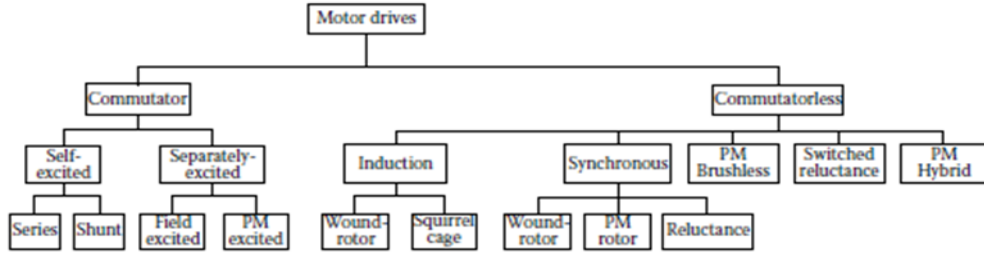
Pil, yakıt hücresi, ultrakapasitör, volan gibi farklı hibrit enerji kaynakları da elektrik motor seçimini etkileyen diğer parametrelerdir.

Genel olarak elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorlarından istenilen özellikler yüksek ivmelenme ve yavaşlama oranı, yüksek torkta ve düşük hızda yokuş çıkma kabiliyeti, düşük torkta ve yüksek hızda seyir kabiliyeti ve geniş bir hız aralığında çalışabilme kabiliyetidir[4].

Genel olarak elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorları komütatörlü motorlar ve komütatörsüz motorlar olarak iki gruba ayrılabilir[4]. Bir komütatör, belirli tip elektrik motorlarında periyodik olarak rotor ve dış devre arasındaki akım yönünü tersine çeviren bir elektrik anahtarıdır. Şekil 2.1’de elektrik motorlarının sınıflandırılması verilmiştir

Komütatörlü motorlar genel olarak seri uyarımlı, şönt uyarımlı, kalıcı mıknatıs uyarımlı DC motorlarıdır. DC motorlar akımı armatüre ulaştırmak için komütatöre ve fırçalara ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle bakımları zordur ve yüksek hızda çalışmaya uygun değildir. Buna rağmen oturmuş teknolojileri ve basit kontrol edilebilme

özelliklerinden dolayı DC motorlar elektrik tahrik sistemleri içinde kendilerini göstermektedir[4].



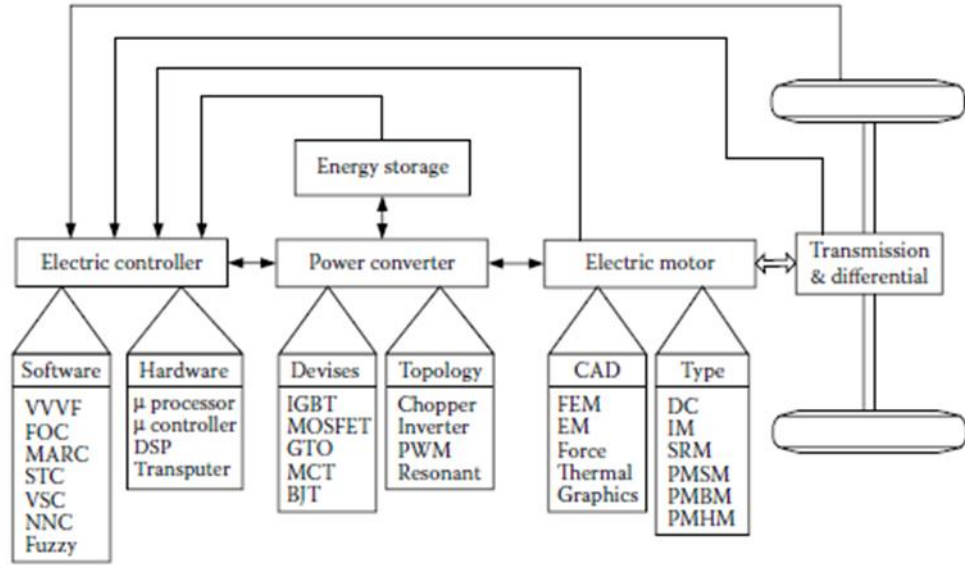
Şekil 2.1: EV ve HEV uygulamalarında kullanılan elektrik motorların sınıflandırılması.

Son teknolojik gelişmeler ile komütatörsüz motorlar için yeni bir dönem başlamıştır. Komütatörsüz motorların komütatörlü motorlara göre daha yüksek verim, daha yüksek güç yoğunluğu ve daha düşük çalışma maliyeti gibi avantajları vardır. Ayrıca komütatörsüz motorlar komütatörlü DC motorlara göre daha güvenilir ve bakımları daha kolaydır.

Komütatörsüz motorların bu avantajlarından dolayı indüksiyon motorları da elektrikli ve hibrit araçların tahrikinde kabul görmüş komütatörsüz motor tipidir. İndüksiyon motorlarının düşük maliyet, yüksek güvenilirlik, dayanıklılık ve bakıma ihtiyaç duymamaları gibi avantajları vardır. Fakat indüksiyon motorlarının geleneksel kontrol yöntemi olan değişken-voltaj değişken-frekans metodu istenen performansı sağlayamamaktadır. Güç elektronisindeki gelişmeler ve mikroişlemci teknolojisindeki gelişmeler sayesinde indüksiyon motorları field-oriented control(FOC) ya da vector kontrolü ile kontrol edilmektedir. Bu kontrol yöntemi ile indüksiyon motorlarının lineer olmayan davranışına bağlı olarak ortaya çıkan kompleks kontrol sorunu bir oranda çözülmüştür. Buna rağmen, FOC methodunu kullanan elektrikli ve hibrit araçlarda düşük yüklerde düşük verim ve sınırlı sabit güç aralığında çalışma gibi problemler mevcuttur[4]. Şekil 2.2’te elektrikli tahrik sistemlerinde kullanılan kontrol yöntemleri, yazılım ve donanımlar gösterilmiştir.

Konvansiyonel senkron motorlardaki alan sargılarını kalıcı mıknatıslarla değiştirerek, kalıcı mıknatıslı senkron motorlar konvansiyonel fırçaları, kayma halkalarını ve bakır kayıplarını elimine ederler. Bu tarz kalıcı mıknatıslı senkron

motorlara aynı zamanda kalıcı mıknatıslı fırçasız AC motorlar ya da sinüsoidal beslemeli kalıcı mıknatıslı fırçasız motorlar da denmektedir[4].



Şekil 2.2: Elektrikli tahrik sistemlerinin bileşenleri.

İndüksiyon motorları gibi bu kalıcı mıknatıslı senkron motorlar da genellikle yüksek performans gerektiren uygulamalarda FOC kontrol yöntemini kullanırlar. Kalıcı mıknatıslı senkron motorlar yüksek güç yoğunlukları ve yüksek verimleri nedeniyle elektrik ve hibrit araç uygulamalarına indüksiyon motorları ile rekabet edebilecek yüksek potansiyelli motorlar olarak görülmektedir[4].

Alan sargılarını ve kalıcı mıknatısları kullanmadan rotor kullanıldığında ise senkron relüktans motorlar oluşur. Bu motorlar genel olarak basit ve ucuzdur fakat diğer elektrik motor türlerine göre daha düşük güç verirler[4].

Kalıcı mıknatıslı DC motorların rotor ve stator kısımlarını tersine çevirerek kalıcı mıknatıslı fırçasız DC motorlar elde edilir. Bu motorların adında DC terimi geçse de doğru akımla çalışmazlar. Kalıcı mıknatıslı fırçasız DC motorlar aslında dik açılı alternatif akım çalışmaktadırlar. Bu motorlar en göze çarpan avantajları fırçaların çıkarılmış olmasıdır. Bir diğer avantajları ise akım ve akı arasındaki dik etkileşimden dolayı yüksek oranda tork üretebilmeleridir. Fırçasız konfigürasyon armatür sargılarının kesit alanını artırdığından avantaj sağlamaktadır[4].

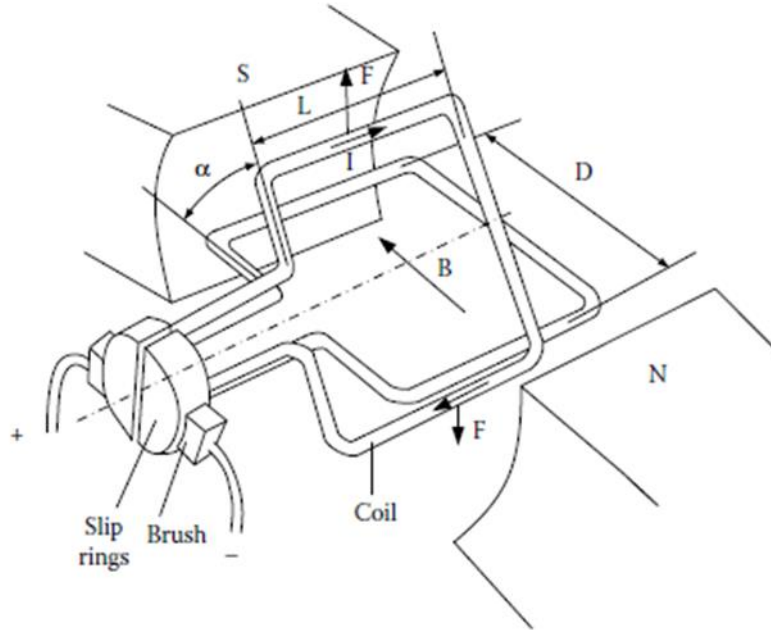
Anahtarlı relüktans motorlar da elektrikli ve hibrit elektrikli araç uygulamaları için potansiyel oluşturan motorlar olarak görülmektedir. Anahtarlı relüktans motorların

basit konstrüksiyon,düşük imalat maliyeti ve çok iyi tork-hız karakteristiği gibi avantajları vardır[4].

2.1.1 DC motorlar

DC motorlar ayarlanabilir hız, iyi hız regülasyonu ve sık frenleme, kalkış ve geri sürüş gereksinimleri gösteren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Basit kontrollerinden ve oturmuş bir teknoloji olmalarından dolayı farklı tipteki DC motorları elektrik tahriki gereken uygulamalarda kullanılmıştır[5].

DC motorların çalışma prensibi basittir. Elektrik akımı taşıyan bir tel manyetik alana konulduğunda tele etki eden bir manyetik kuvvet oluşur. Oluşan kuvvet tele diktir ve manyetik alanın yönü Şekil 2.3’da gösterildiği gibidir.



Şekil 2.3: DC motorun çalışma prensibi.

Burada I telden geçen akım, F oluşan manyetik kuvvet ve B de manyetik alandır. Kayma halkaları(Slip rings) güç ve elektrik sinyallerinin sabit bir yapıdan dönen bir yapıya aktarılmasını sağlayan elektromekanik bir cihazlardır. Bir kayma halkası,güç ya da sinyalleri iletirken dönmeyi gerektiren herhangi bir elektromekanik sistemde kullanılabilir.

DC motorlarda motorun hareketli kısmı olan rotor sargılarına gerilim uygulanması için kullanılan ara bağlantı elemanına fırça(brush), fırçaların temas ettiği rotor bölümüne

ise kollektör veya komutatör denir. DC motor fırçaları bakır alaşımlardan yapılabildiği gibi genellikle karbon alaşımlardan yapılmaktadır.

Oluşan manyetik kuvvet telin uzunluğu, elektrik akımının büyüklüğü ve manyetik alanın yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Bu durumda oluşan kuvvet:

$$F=BIL \quad (2.1)$$

Şekil 2.3’da gösterildiği gibi tel bir bobin(Coil) haline getirilirse iki tarafına etkiyen manyetik kuvvetler bir tork oluşturur. Oluşan tork:

$$T=BIL \cos\alpha \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Manyetik alan bir sargı serisi ile ya da kalıcı mıknatıslar ile oluşturulabilir. Manyetik alanı sargılar ile oluşturan motorlara Sargılı DC motor, kalıcı mıknatıslar ile oluşturan motorlara da Kalıcı Mıknatıslı DC motor denir.

Elektrik akımını taşıyan bobine armatür denmektedir. Pratikte, armatür çok sayıda bobinden oluşmaktadır.

Sürekli ve maksimum tork elde edebilmek için her bobini $\alpha = 0$ noktasına iletmek amacıyla kayma halkaları ve fırçalar kullanılmaktadır. Pratikte DC motorların performansı armatür voltajı, zıt elektromotor kuvveti ve manyetik alan akısına bağlıdır.

Manyetik alan ile armatür sargılarının etkileşim çeşidine göre dört çeşit sargılı DC motor tipi vardır. Bunlar Ayrı Tahrikli(Seperately Excited), Şant Tahrikli(Şant Excited), Seri Tahrikli(Series Excited), Bileşik Tahrikli(Compound Excited) motorlardır[5].

Ayrı tahrikli motorlarda manyetik alan ve armatür voltajı birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Şant motorlarda manyetik alan ve armatür birbirine paralel olarak ortak bir kaynağa bağlanmıştır. Bu nedenle manyetik alana ya da armatür akımının bağımsız bir şekilde kontrol edilebilmesi için uygun bir devre ve direnç eklenmelidir. Fakat bu verimli olmayan bir kontrol methodudur. Daha verimli bir kontrol yöntemi güç elektroniği tabanlı DC-DC dönüştürücü kullanmaktır. DC-DC dönüştürücüler düzgün armatür ve alan voltajı oluştururken aktif bir şekilde kontrol edilebilirler.

Seri tahrikli motorlarda ise alan akımı ve armatür akımı aynıdır.

2.1.2 İndüksiyon motorları

Komütatörsüz motorların konvansiyonel komütatörlü DC motorlara göre elektrikli ve hibrit araç uygulamalarında avantajları vardır. Günümüzde indüksiyon motor teknolojisi komütatörsüz motorlar arasında olgunlaşmıştır. DC motorlara kıyasla indüksiyon motorların ağırlıkları daha düşüktür, hacimleri daha düşüktür, maliyetleri daha düşüktür ve verimleri daha yüksektir. Bu avantajlar özellikle elektrik ve hibrit araç uygulamalarında istenen özelliklerdir.

İki çeşit indüksiyon motor tipi vardır. Bunlar rotoru sargılı(wound-rotor) indüksiyon motorlar ve sincap-kafesli(squirrel-cage) indüksiyon motorlarıdır. Yüksek maliyet, bakım ihtiyacı, düşük dayanıklılık gibi dezavantajları nedeniyle rotoru sargılı motorlar elektrikli ve hibrit araç uygulamalarında sincap-kafesli motorlara göre daha kötü bir alternatiftir. Bu nedenle sincap-kafesli motorlar genel olarak indüksiyon motorları olarak kabul edilmiştir.

2.1.3 Kalıcı mıknatıslı fırçasız DC motorlar

Kalıcı mıknatısların yüksek enerjisini alan tahrikinde kullanarak, kalıcı mıknatıslı motorlar yüksek güç yoğunluğu, yüksek hız ve yüksek çalışma verimi sağlayabilecek şekilde tasarlanabilirler[6]. Bu avantajlar elektrikli ve hibrit araçlar uygulamaları için istenen özelliklerdir. Kalıcı mıknatıslı motorlar ailesinde fırçasız DC motorlar elektrikli ve hibrit araç uygulamaları için en potansiyelli adaydır.

Fırçasız DC motorların avantajları şu şekilde açıklanabilir:

- Yüksek Verim:Fırçasız DC motorlar elektrik motor türleri içinde en verimli olanlardır. Bunun nedeni tahrik için kullanılan kalıcı mıknatısların güç tüketmemesidir. Mekanik komütatörün ve fırçaların olmamasından dolayı mekanik sürtünme kayıpları düşüktür ve bu nedenle verimleri yüksektir.
- Kompaktlık:Son zamanlarda yaygınlaşan yüksek enerji yoğunluklu nadir-toprak mıknatısları fırçasız DC motorların oldukça yüksek akı yoğunluğu elde etmesini sağlamıştır. Bu duruma bağlı olarak yüksek tork çıkışı elde edilebilir ve motor daha küçük ve daha hafif yapılabilir.
- Kontrol Kolaylığı:Fırçasız DC motorlar konvansiyonel DC motorlar kadar kolay olarak kontrol edilebilirler. Kontrol değişkenleri kolaylıkla erişilebilirler ve motorun çalışması boyunca sabittirler.

- Soğutma Kolaylığı: Rotorda akım sirkülasyonu yoktur. Bu nedenle fırçasız bir DC motorun rotoru ısınmaz. Sadece statorda ısı üretimi vardır. Statordaki ısıyı soğutmak da statik olduğundan ve motorun dış çevresinde olduğundan rotoru soğutmaktan daha kolaydır.
- Düşük bakım ihtiyacı, uzun ömür, dayanıklılık: Mekanik komütatörün ve fırçaların olmaması nedeniyle bu bileşenlerin gerektirdiği düzenli bakım ihtiyacı ve hata riski ortadan kalkmaktadır.
- Düşük ses emisyonları: Komütatörden kaynaklanan ses sorunu fırçasız DC motorlarda yoktur.

Bu avantajların yanında fırçasız DC motorların bazı dezavantajları da vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Maliyet: Nadir toprak mıknatısları diğer mıknatıslardan çok daha pahalı olduğundan fırçasız DC motorların maliyetlerini artırmaktadır.
- Sınırlı sabit güç menzili: Yüksek bir sabit güç menzili yüksek taşıt verimliliği elde etmek için kritik bir faktördür. Kalıcı mıknatıslı fırçasız DC motorlar baz hızlarının (base speed) iki katından yüksek bir maksimum hız elde etmede yetersizlerdir.
- Güvenlik: Fazla sayıdaki nadir-toprak mıknatısı motor konstrüksiyonunda tehlike arz etmektedir. Ayrıca herhangi bir kaza durumunda taşıt tekerlekleri serbest olarak dönüyorsa da bu mıknatıslardan kaynaklanan tehlikeler mevcuttur. Motorun hala mıknatıslar ile tahrik halinde olduğu ve motor terminallerinde yüksek voltaj bulunan bir kaza durumu yolcular için tehlikelidir.
- Demanyetizasyon: Mıknatıslar yüksek karşı manyetomotor kuvvetleri ve yüksek sıcaklıklar nedeniyle demanyetize olabilirler. Kritik demanyetizasyon kuvveti her mıknatıs malzemesi için farklıdır. Bu nedenle motorun düzgün soğutulmasına önem verilmelidir.
- Yüksek hız kabiliyeti: Mıknatısların yüzeye yerleştirildiği motorlar, rotor boyunduruğu ve kalıcı mıknatısların montajındaki sınırlı mekanik dayanımdan dolayı yüksek hızlara ulaşamazlar.

2.1.4 Anahtarlı relüktans motorlar

Anahtarlı relüktans motorlar düşük maliyetleri, güvenilir konvertör topolojileri, sağlam yapıları, geniş bir hız aralığındaki yüksek verimleri ve basit kontrol edilebilirlikleri ned-

eniyle elektrikli ve hibrit araç uygulamaları için iyi bir alternatiftir.

Anahtarlı relüktans motorların basit, sağlam ve düşük maliyetli yapıları vardır. Rotorda kalıcı mıknatıslar ya da sargılar yoktur[6]. Bu durum relüktans motorların hem maliyetlerini düşürür hem de yüksek hızlarda çalışmalarına olanak sağlar[6]. İndüksiyon ve kalıcı mıknatıslı motorların aksine, relüktans motorlar yüksek santrifüj kuvvetinden kaynaklanan mekanik arızalardan çekinmeden yüksek hızlara çıkabilmektedir.

2.2 Menzil Arttırıcılar

Günümüzdeki pil teknolojisinde hibrit elektrikli araçlar için en uygun konsept günlük ortalama sürüş mesafesinin, yaklaşık olarak 50-70 km, pil kapasitesinden karşılanması ve daha yüksek enerji ihtiyacının menzil arttırıcı ile karşılanmasıdır[7].

Öncelikli olarak pil tahrikli araçlar için, menzil arttırıcı gereksinimleri konvansiyonel araçlarda olduğundan farklıdır. İçten yanmalı motorun daha az kullanılmasından dolayı ses, titreşim, ağırlık, hacim gibi parametreler hibrit araçlarda verime göre daha önceliklidir.

Seri hibrit araçta kullanılacak bir menzil arttırıcının güç gereksinimi elektrik motorun gücüne, pil kapasitesine fakat özellikle yeniden şarj etme stratejisine göre belirlenir. Şarj stratesinin göz önüne alınmadığı bir durumda menzil arttırıcının gücü her türlü çalışma şartında herhangi bir güç eksikliğini önlemek için elektrik motorun gücüne eşit seviyede olmalıdır. Fakat böyle bir çözüm, menzil arttırıcının ağırlığını, hacmini ve maliyetini artırır.

Bu nedenle, pil kapasitesini ve İYM gücünü minimize etmek için doğru şarj stratejisinin belirlenmesi gerekir[2].

Menzil arttırıcı seçiminde taşıtın tamamen batarya ile çalışma durumunun İYM ile çalışmasına oranı önem taşımaktadır[2]. Salt batarya ile çalışma oranı ne kadar artarsa taşıt menzil arttırıcının olumlu yönlerinden o kadar faydalanır.

Menzil arttırıcı ile birlikte aracın pil kapasitesi en tipik günlük çalışma koşullarına göre düzenlenebilir. Bu koşullar da günde 100 km/h altı hızda 50 km'lik menzil olarak kabul edilmektedir[2].

2.2.1 Menzil arttırıcı seçim kriterleri

Ağırlık: Ağırlık, menzil arttırıcılar için üzerinde durulan bir çalışma konusudur. Menzil

arttırıcı sürekli olarak çalışmadığı,sadece bataryanın düşük olduğu durumlarda çalıştığı halde sürekli taşıt ile hareket halindedir ve taşıt ağırlığını artırmaktadır.

*Verim:*Menzil arttırıcılar için verim ikinci plandadır. İdeal olarak bir menzil arttırıcı sürekli olarak çalışma halinde olmamalıdır. Bu nedenle ulaşabileceği maksimum verimde çalışması değil bataryayı en hızlı şekilde şarj edecek şekilde çalışması yeterlidir.

*NVH(Noise-Vibration-Harshness):*NVH,menzil arttırıcılar için özel bir konudur. Elektrik motoru oldukça sessiz ve neredeyse sıfır titreşim ile çalışmaktadır. Bu nedenle tüketici menzil arttırıcının da sessiz ve az titreşimli olmasını isteyebilir. Konfor açısından bu parametre menzil arttırıcılar için konvansiyonel araçlarda olduğundan daha önemlidir.

*Hacim:*Hacim de ağırlık ile aynı doğrultuda incelenebilir. Daha küçük hacimli menzil arttırıcılar için talep vardır.

*Emisyon Standartları:*NO_x,HC,CO,PM,etc emisyonları için Avrupa Birliği,CARB,EPA PHEV ve REX araçlar için özel emisyon ölçüm prosedürleri tanımlamıştır. Avrupa Birliğinde menzil arttırıcılı araçlar NEDC çevriminde test edilmektedir[1]. İki test yapılmaktadır. İlk NEDC testi batarya full şarj durumunda iken,ikincisi ise batarya minimum şarj durumunda iken yapılmaktadır. İki testin ağırlıklı ortalamasının emisyon standartlarını sağlaması gerekmektedir. Taşıtın elektrik menzili ne kadar yüksekse,emisyon sınırları da o derece yüksektir. Örneğin 100 km elektrik menzili olan bir aracın,EURO 6 standartlarına göre 5 kat daha fazla emisyon yaymasına müseade edilir. Bu nedenle menzil arttırıcılar için emisyon kısıtlamaları daha düşüktür,emisyon değerleri konvansiyonel taşıtlara göre daha kötü olabilir[1].

Menzil arttırıcı seçiminde bir diğer önemli unsur da çalışma stratejisidir.2 ya da 3 çalışma noktası gereklidir. İlk çalışma noktası,düşük motor gücünün gerekli olduğu,taşıtın şehir içinde düşük hızda ya da rölantide seyir ettiği durumlar içindir.

Menzil arttırıcının ikinci çalışma noktası bataryayı daha yüksek hızda (70-100 km/h) şarj ettiği,yaklaşık olarak 20 kW güç verdiği noktadır. Bu çalışma noktasında yakıt ekonomisi önem kazanır. Üçüncü çalışma noktası taşıtın yüksek hızda (v> 100 km/h) seyir ettiği ve daha yüksek güç ihtiyacının bulunduğu noktadır.

Menzil arttırıcı çalışma noktalarının sınıflandırılması Şekil 2.4’de verilmiştir[1].

	Power	Criteria	Driving situation	Remark
Op. point	kW			
1.	~2-5	NVH Power	Idle speed, city driving	Only at very low SOC
2.	Min. 20	NVH Efficiency	Vehicle speed > 70 km/h	Optimal op. point
3.	>30	NVH, Durability Power	Highway, v > 100 km/h	Optional op. point

Şekil 2.4: Menzil arttırıcı çalışma noktaları.

2.2.2 Günümüzdeki olası menzil arttırıcı konseptleri

Şekil 2.5’de olası menzil arttırıcı konseptleri verilmiştir. Günümüzde kullanılan ve gelecekte kullanılması olası potansiyel menzil arttırıcı konseptleri aşağıda tanıtılmıştır[1].

Conventional internal combustion engines (ICE)	Turbo Engines
Alternative ICE	Thermoelectric Engines
Rankine Concepts	Fuel Cells
Expander Concepts	Shape Memory Alloy Concepts
Stirling Engines	

Şekil 2.5: Olası menzil arttırıcı konseptleri

2.2.2.1 Konvansiyonel içten yanmalı motorlar

Aşağıda menzil arttırıcı konsepti olarak en uygun içten yanmalı motorlar avantajları ve dezavantajları ile sınıflandırılmıştır. Konvansiyonel içten yanmalı motorların en büyük dezantajı belirli oranda ses ve titreşim ile çalışmalarıdır.

- 4-Zamanlı SI Port Enjeksiyonlu Motorlar ($\lambda = 1$): Yaygın kullanılan bir motor teknolojisidir. Kontrol ünitesi ve değişken sübap zamanlaması gibi yardımcı elemanlar hariç düşük maliyetli bir sistemdir. Stokiyometrik çalışma şartları nedeniyle is emisyonu yoktur ve 3 yollu katalitik konvertör ile egzoz gazlarının işlenmesi mümkündür. Dezavantjı ise orta seviyedeki verimidir.
- 4-Zamanlı Benzinli Direkt Enjeksiyonlu Motorlar ($\lambda > 1$): Bu motor teknolojisi 2000’li yılların başından beri seri üretimdedir ve temel olarak motor yüküne ve hızına göre iki modda çalışır. $\lambda = 1$ durumundaki homojen çalışma modu(WOT) ve kısmi yükte, $\lambda > 1$ durumundaki kademeli dolgu modu. Kısmi

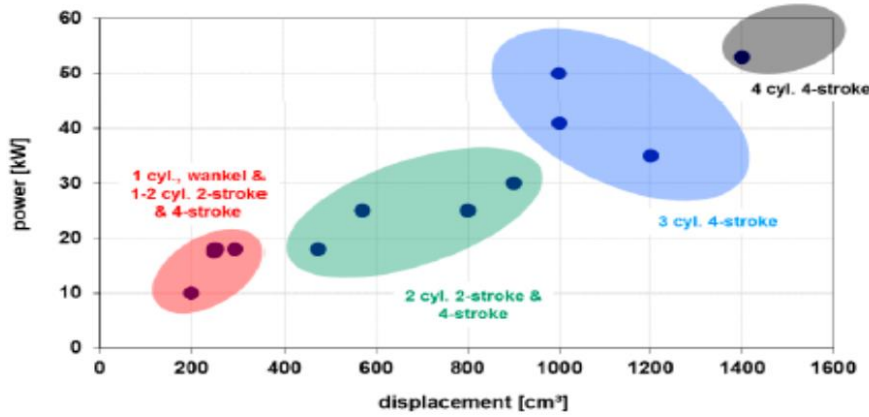
yükteki düşük yakıt tüketimi bu motorların en önemli avantajıdır. Fakat, daha yüksek maliyetli olmaları ve daha sesli ve titreşimli çalışmaları gibi dezavantajları mevcuttur.

- 4-Zamanlı Benzinli Direkt Enjeksiyonlu Motorlar ($\lambda = 1$, *homojen karışım*): Bu motor teknolojisinde konvansiyonel benzinli motorlara göre daha yüksek özgül güce ulaşmak mümkündür. Ayrıca vurultu davranışı daha iyidir ve üç yollu katalitik konvertör kullanmak mümkündür. Dezavantajları ise daha yüksek sistem maliyeti ve orta seviyedeki verimidir.
- 2-Zamanlı Benzinli Direkt Enjeksiyon Motorlar: 2-Zamanlı motorlar hafif ve kompakt tasarımları nedeniyle daha yüksek spesifik güç sağlarlar. Bu nedenle bu motor teknolojisi ağırlığın düşük olması istenen uygulamalarda yaygın olarak kullanılır[1]. Dezavantajları düşük volumetrik verime bağlı olarak düşük özgül yakıt tüketimi ve kötü HC emisyonlarıdır. Karbüratör yerine direkt enjeksiyon sistemi kullanılması ile volumetrik verim kaybı azaltılabilir. Ayrıca düşük maliyetli olması nedeniyle avantajlı bir sistemdir.
- Wankel Motoru: Kompakt olması, paça sayısının az olması, düşük ses ve titreşimde çalışması, tamamen rotasyonel hareketi nedeniyle Wankel motoru menzil arttırıcı uygulamaları için uygun bir alternatiftir. Dezavantajları pistonlu motorlardaki verime ulaşamaması, HC emisyonları, yağ tüketimi ve konvansiyonel 4-zamanlı motorlara göre daha yüksek maliyetidir[2].
- 4-Zamanlı Dizel Motorlar: Dizel motorları ise yüksek sıkıştırma oranları ve Hava/Yakıt oranları dolayısıyla en verimli motorlardır. Bu nedenle NO_x emisyonları yüksektir. Ayrıca yüksek silindir içi basıncı nedeniyle dizel motorlar benzinli motorlara göre daha sesli çalışırlar. Dizel motorların fakir karışımda çalışmasından dolayı katalitik konvertör kullanımı mümkündür değildir. HC ve CO emisyonları 4-zamanlı benzinli motorlara göre daha düşük olsa da dizel motorların en büyük dezavantajı egzoz emisyonlarıdır.
- 2-Zamanlı Dizel Motorlar: 2-zamanlı dizel motorların en büyük avantajları yüksek verimleridir. Bunun yanında dezavantajları ise 4-zamanlı dizel motorlarda olduğu gibi egzoz emisyonlarıdır[1].

2.2.2.2 Alternatif içten yanmalı motorlar

Alternatif içten yanmalı motor teknolojileri HCCI dizel, HCCI benzin, Stelzer motoru

ve hidrojen motorlarını içermektedir.



Şekil 2.6: Konvansiyonel İYM tipindeki menzil arttırıcıların sınıflandırılması.

- HCCI: HCCI sistemi dizel ve benzinli motorların avantajlarını birleştiren bir sistemdir. HCCI sisteminde dizel yanması çok fakir karışımda yanma sağlayarak düşük yanma sıcaklıkları ile NO_x emisyonlarını azaltmaktadır. Konvansiyonel dizel motorlarına göre HCCI dizel motorları daha büyüktür, verimleri daha düşüktür ve daha maliyetlidir.

HCCI benzinli motor ise kısmi yüklerde iyi yakıt tüketimine sahiptir. Konvansiyonel benzinli motorlara göre verimleri kısmi yüklerde daha yüksektir. Dezavantajları ise kompleks kontrol sistemine gerek duyması, daha yüksek maliyet ve daha yüksek silindir içi basınçtan kaynaklanan daha yüksek ses ve titreşimdir.

- Hidrojen Motorları: SI hidrojen motorları konvansiyonel benzinli motorlara yakın seviyede verimle çalışmaktadır. CI hidrojen motorlarının verimi ise daha yüksektir. Genel olarak, hidrojen motorlarının avantajları iyi soğuk başlangıç davranışı, karbon bazlı emisyonların ve partikül emisyonlarının olmayışı ve yüksek geliştirme potansiyelidir[1]. Dezavantajları ise hidrojenin depolanma zorluğu, yüksek maliyet, yüksek NO_x emisyonlarıdır.
- Stelzer Motoru: Stelzer motoru Frank Stelzer tarafından 1964'te geliştirilmiş serbest pistonlu, 2-zamanlı, buji ateşlemeli bir motordur. Motorda sübap ve rotasyon yapan parça yoktur. Az sayıdaki birkaç ana parçadan oluşur. Az parça sayısına ve tamamen liner oskilasyon hareketine bağlı olarak sürtünme

kayıpları azdır[1]. 2-zamanlı çalışma prensibine rağmen stokiyometrik çalışma durumunda katalitik konvertör kullanılabilir. Genel olarak,basit,küçük,hafif ve düşük maliyetli bir motordur. Dezavantajları yüksek HC emisyonları ve konvansiyonel benzinli motorlara göre düşük verimidir. Ayrıca bir jeneratöre bağlanarak elektrik enerji dönüşümü çok denenmemiştir.

2.2.3 Potansitel menzil arttırıcı konseptleri

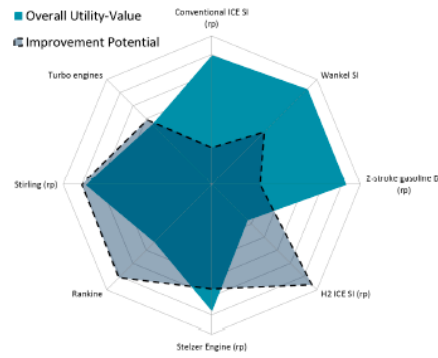
- Rankine Konseptleri: Rankine konseptleri harici bir ısı kaynağı ve faz değiştiren bir çalışma sıvısı ile çalışan Rankine çevrimine dayanır. Termal enerjinin mekanik enerjiye çevrilmesinde radyal,aksiyal ve pistonlu gibi bir çok farklı genişletici tipi kullanılabilir. Rankine uygulamaları genellikle stasyonær güç üretimi ve CHP üretimi için kullanılır. Yüksek güç elde etmek için yüksek kütsel debi gerekir ve bu nedenle boyutları büyüktür. Buna rağmen,otomotiv uygulamalarında kullanılmış bazı konseptler mevcuttur[1]. Rankine konseptlerinin düşük emisyonlar,birden çok yakıt kullanma,zararsız çalışma sıvısı gibi avantajları mevcuttur. Dezavantajları ise yüksek ağırlık,yüksek hacim ihtiyacı,yüksek ses ile çalışma,uzun ısınma ve çalışmaya başlama süresi ve konsensiyonel benzinli motorlara göre yüksek maliyettir.
- Genişletici Konseptleri: Rankine konseptlerinin aksine,genişletici konseptlerinde kullanılan çalışma sıvısı tek fazda çalışır. Yüksek basınçlı bir rezervuarda depolanan çalışma sıvısı bir genişleticide genişletilir. Bu konsept şuanda sadece teori aşamasındadır ve hiçbir otomotiv uygulamasında henüz kullanılmamıştır[1]. Helyum,hava gibi farklı çalışma sıvıları ve radial/aksiyal türbinler,pistonlar gibi farklı genişletici konseptleri düşünülmüştür. Bu sistemin avantajları çalışma sıvısının ve genişletici tipinin çeşitlilikleri,düşük emisyonlar ve dıştan yanmaya bağlı olarak birden çok yakıtın yakılabilmesidir. Fakat hacim,ağırlık,yakıtın depolanması,yüksek seste çalışma ve uzun ısınma süresi gibi dezavantajları mevcuttur.
- Stirling Motorları: Stirling motoru dıştan yanmalı bir motordur. Genel olarak çevrim prensibi soğuk gazın sıkıştırılması,ısıtılması,sıcak gazın genişletilmesi ve son olarak soğutulmasından sonra çevrimin tekrarı şeklindedir. Günümüzde Stirling motoru birleşik ısı ve güç üretiminde,kojenerasyon sistemlerinde,denizaltıların tahrikinde kullanılmaktadır[1]. Motor gücü 0.2 ile 200 kW arasında değişmektedir. Boyutlarına göre temel olarak üç farklı tipte

Stirling motoru mevcuttur. Bunlar α -motoru, β -motoru ve γ –motoru olarak sınıflandırılmaktadır. Avantajları uzun çevrim ömrü, düşük bakım gereksinimleri, yüksek BMEP, çok yüksek teorik verim, geniş bir aralıkta sabit verimde çalışabilmesi ve oldukça düşük ses emisyonlarıdır. Olumsuz yönleri ise yüksek sistem maliyeti, uzun ısınma süresi, sınırlı motor çalışma hızı, yüksek hacim gereksinimi ve yüksek ağırlıktır.

- **Türbin Motorları:** Bu konseptler Brayton çevrimine dayanmaktadır. İçten ve dıştan olmak üzere iki çeşit olası ısı tedarik yöntemi kullanılmaktadır. Otomotiv uygulamalarında gaz türbinlerinin kullanılması daha önce denenmiştir. Chrysler ve Rover türbin motorlu araçlar üretmiştir fakat bu araçlar sadece yarış aracı konseptindedir. Burada kullanılan türbin konseptleri ile seri hibrit taşıtlarda sadece bataryaları şarj etmek için kullanılacak türbin konseptleri arasında fark vardır. Çözülmesi gereken en büyük sorun yüksek yakıt tüketimidir. Yine de, türbin motorlarının menzil arttırıcı olarak denendiği bazı konseptler mevcuttur[1]. Genel olarak bu konseptin avantajları yüksek özgül güç, düşük hacim ve salt rotasyonel harekete bağlı olarak oluşan düşük titreşimdir. Dezavantajları ise düşük verim, kötü ses emisyonları(120 dB), kötü kontrol edilebilirlik ve yüksek malzeme maliyetidir
- **Termoelektrik Motor:** Bu konsept, Seebeck etkisi ile, daha yaygın olarak kullanılan tabir ile, termoelektrik etki prensibi ile çalışmaktadır. Seebeck etkisi, sıcaklık farklılıklarının doğrudan elektriğe dönüşümüdür. Bu adı, kaşifi olan Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck'ten almıştır. Seebeck 1821'de, farklı iki metalden yapılmış ve birer uçları birleştirilen bu metaller arasındaki sıcaklık farklılığından dolayı kapalı biçimdeki bir pusula iğnesinin saptırılabilirdiğini keşfetti. Bunun nedeni metallerin sıcaklık farklılığına farklı tepkiler vermesidir. Böylece bir elektrik akım döngüsü ve bir manyetik alan oluşur. Seebeck, bunun elektrik akımından kaynaklandığını farkedemedi. Bu yüzden, bu termoelektrik etkiyi fonomen olarak adlandırdı. Danimarkalı fizikçi Hans Christian Ørsted hatayı düzeltti ve "termoelektrik" terimini türetti[11]. Bu etki tarafından oluşturulan gerilim, kelvin farkı başına birkaç mikrovolttur. Bakır-konstantan alaşımı, oda sıcaklığında kelvin başına 41 mikrovoltluk bir Seebeck katsayısına sahiptir. Otomotiv uygulamalarında içten yanmalı motordan atılan ısıyı kullanarak bu konseptten yararlanmak için prototip araştırmaları yapılmaktadır.

Termoelektrik malzemelerin sınırlı sıcaklık aralığına ve yüksek verimine bağlı olarak sistemin verimi ağırlıklı olarak içten yanmalı motordan atılan ısının sıcaklığına bağlıdır. Konvansiyonel taşıtların transient çalışma koşullarına bağlı olarak egzoz sıcaklığı ve ısı enerjisi değişkendir. Menzil arttırıcı uygulamaları için ise hedef sabit bir sıcaklıkta çalışmadır. Bunun dışında iyi NVH davranışı, hareketli parçaların ve jeneratörün olmayışı gibi avantajları vardır. Dezavantajları ise şuanda prototip aşamasında olmasının yanısıra düşük verim, yüksek ağırlık ve yüksek alan ihtiyacıdır.

- **Yakıt Hücreleri:** Yakıt hücreleri günümüzde üzerinde durulan bir konudur. Bir çok otomobil üreticisi yakıt hücrelerini otomotiv uygulamalarında kullanmak için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmaktadır. Hidrojen, benzin ve dizel yakıtı bu konspette kullanılabilir. Hidrojenin emisyonlar açısından avantajları olsa da depolanma ve altyapı bakımında dezavantajları mevcuttur. Mobil uygulamalar için en fazla umut veren yakıt hücresi teknolojileri polimer elektrolit yakıt hücreleri (PEFC), direkt methanol yakıt hücreleri (DMFC) ve katı oksit yakıt hücreleridir (SOFC) [1]. Genel olarak konseptin avantajları yüksek verim, hareketli parçaların ve jeneratörün olmayışı, iyi NVH davranışı ve düşük emisyonlardır. Dezavantajları ise yüksek maliyet, yüksek ağırlık, kompleks malzemelerin kullanılması, ve yüksek termal duyarlılıktır.



Şekil 2.7: Menzil arttırıcı tiplerinin fayda ve potansiyel grafiği.

2.3 Enerji Depolama Araçları

Elektrikli ve hidrid araçlarda kullanılan enerji depolama araçları depoladıkları enerjiyi dışarıya vererek deşarj olan ya da dışarıdan enerji alarak şarj edilebilen araçlardır. Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan birkaç çeşit enerji depolama birimi vardır.

Genel olarak bunlar, kimyasal piller, ultrakapasitörler ya da süperkapasitörler ve ultra yüksek hızlı volanlardır. Yakıt hücreleri enerji depolama araçlarından çok enerji dönüşüm araçları olarak sınıflandırılmaktadır. Bu bölümde en yaygın enerji depolama araçları olarak kullanılan elektrokimyasal piller tanıtılmıştır.

Otomotiv uygulamalarında kullanılan enerji depolama araçlarından beklenen temel özellikler yüksek özgül enerji, yüksek özgül güç, verim, bakımlarının kolay olması, maliyet, çevresel uyumluluk ve güvenlik gibi özelliklerdir.

Elektrikli araç uygulamalarında taşıt menzilini etkilediğinden özgül enerji en önemli parametredir. Diğer taraftan, hibrit araç uygulamalarında ise özgül enerjiden çok özgül güç daha önemli bir parametredir[4].

2.3.1 Elektrokimyasal piller

Elektrokimyasal piller şarj edilirken elektrik enerjisini kimyasal enerjiye, deşarj edilirken ise kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal cihazlardır. Bir pil birleştirilmiş birkaç adet hücreden oluşur[4]. Bir hücre tüm elektrokimyasal özellikleri içeren bir ünedir. Bir pil hücresi üç ana bileşenden oluşur: iki elektrot (pozitif ve negatif) ve daldırıldıkları bir elektrolit. Bu üç bileşen Şekil 2.8’de gösterilmiştir.

Pil üreticileri genellikle pilleri kulometrik kapasiteleri, amper-saat ile ifade ederler. Kulometrik kapasite pilin deşarj edilirken tamamen şarjlı durumundan terminal voltajının limit voltajına düştüğü duruma kadar kazanılan amper-saat olarak tanımlanır[4]. Bir pilin limit voltajına kadar olan deşarj olma grafiği Şekil 2.9’de gösterilmiştir.

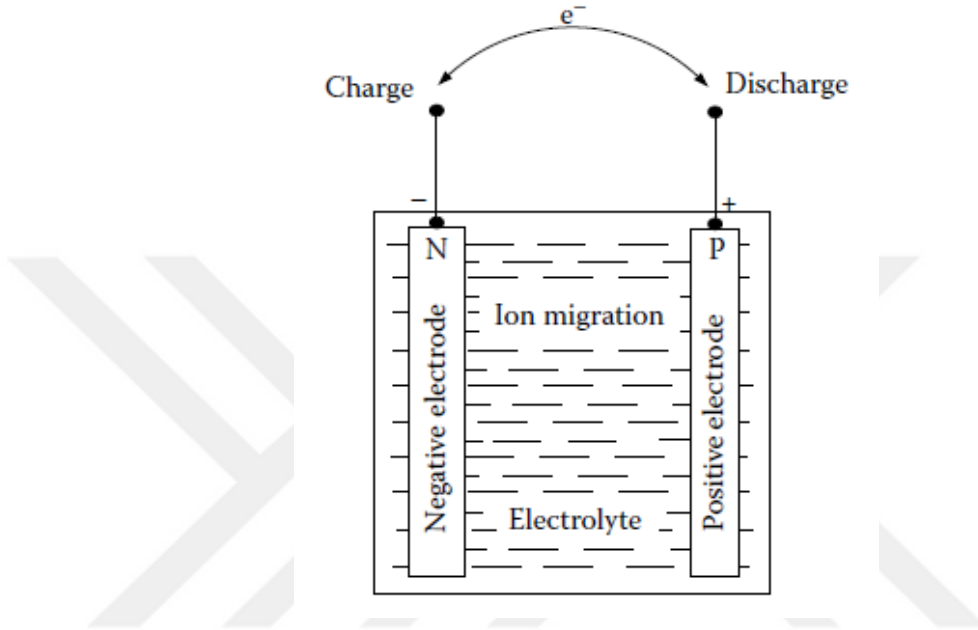
Belirtilmesi gereken bir diğer nokta da aynı pilin genellikle farklı deşarj akımlarına göre farklı amper-saat kapasiteye sahip olmasıdır. Genellikle, pil kapasitesi yüksek deşarj akımlarında azalır. Bu durum Şekil 2.10’te gösterilmiştir.

Pil üreticileri genellikle bir pili amper-saat kapasitesinin yanında bir akım oranı ile ifade ederler. Örneğin, 100 Ah ve C/5 etiketli bir pilin 5 saatlik deşarj süresinde 100 Ah kapasitesi vardır (Deşarj akımı = $100/5 = 20$ A).

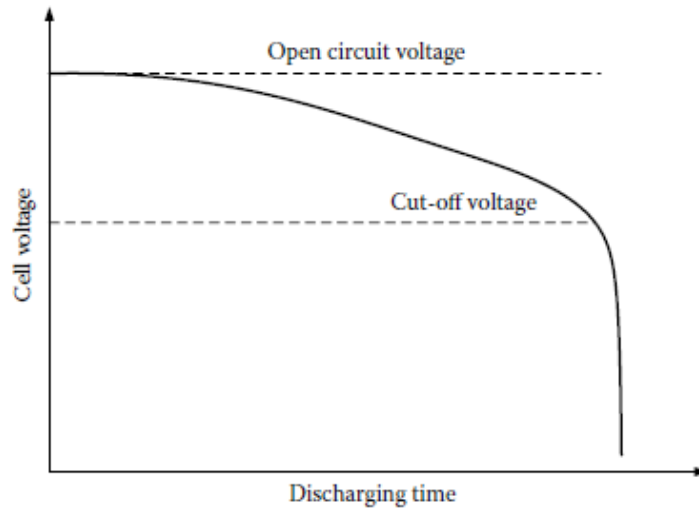
Pillerin bir diğer önemli parametresi ise State of Charge (SOC) yani şarj seviyesidir. Şarj seviyesi pilin anlık kalan kapasitesinin full şarjlı kapasitesine oranıdır[4]. Buna

göre,tamamen dolu bir pilin şarj seviyesi %100,tamamen deşarj olmuş bir pilin şarj seviyesi ise %0'dır. Farklı deşarj oranlarında farklı kapasiteler ve limit voltajları olduğundan şarj seviyesindeki, dt zaman aralığındaki değişim matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\Delta SOC = \frac{idt}{Q(i)} \quad (2.3)$$

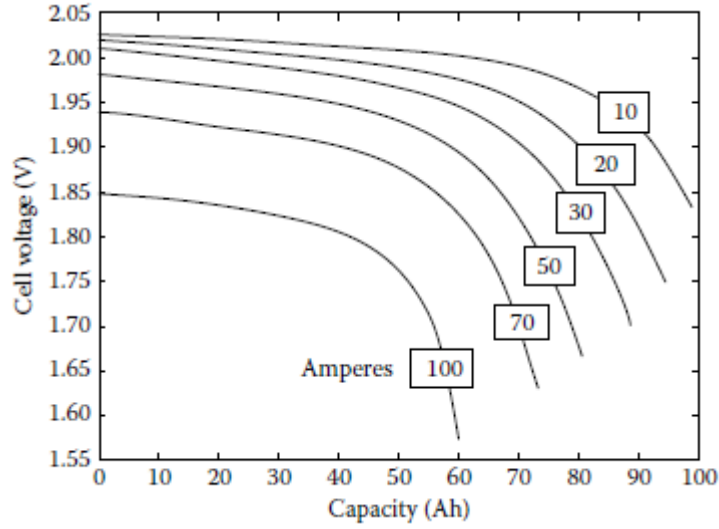


Şekil 2.8: Tipik bir elektrokimyasal pil hücresi.



Şekil 2.9: Limit Voltajı.

Burada i şarj ya da deşarj akımı $Q(i)$ ise i akım oranında pilin amper-saat olarak kapasitesidir. Deşarj durumunda i pozitif,şarj durumunda ise i negative işaret alır.



Şekil 2.10: Kurşun-Asit Pilin Deşarj Karakteristiği.

Bu nedenle, bir pilin şarj seviyesi şu şekilde ifade edilir:

$$SOC = SOC_0 - \int \frac{idt}{Q(i)} \quad (2.4)$$

SOC_0 pilin başlangıçtaki şarj seviyesidir.

Elektrik ve hibrit araçlar için enerji kapasitesi direkt olarak taşıtın menzilini ve çalışmasını etkilediğinden kulometrik kapasiteden (amper-saat) daha önemlidir. Pilden alınan enerji şu şekilde ifade edilebilir:

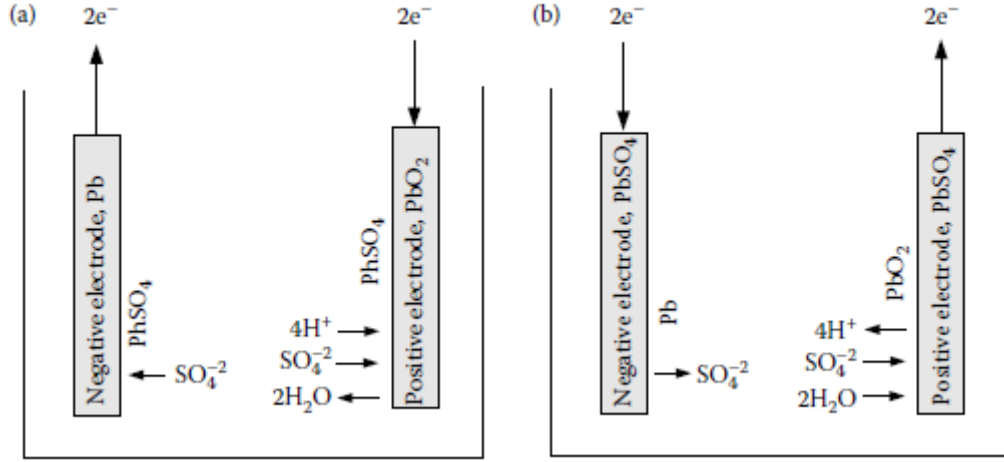
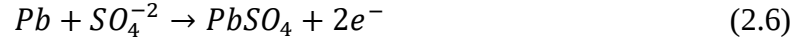
$$E_c = \int_0^t V(i, SOC) i(t) dt \quad (2.5)$$

Burada $V(i, SOC)$ pil akımının ve şarj seviyesinin fonksiyonu olarak pil terminallerindeki voltajdır.

2.3.1.1 Elektrokimyasal reaksiyonlar

Elektrokimyasal pillerin çalışma teorisini açıklamak için basitliğinden ve otomotiv uygulamalarındaki yaygın kullanımından dolayı kurşun-asit pil örnek olarak seçilmiştir.

Kurşun-asit bir pil elektrolit olarak sülfirik asitten ($2H^+ + SO_4^{2-}$) oluşan bir sulu çözelti kullanır. Elektrotlar gözenekli kurşun (Pb, anot, elektriksel olarak negatif) ve gözenekli kurşun oksittir (PbO_2 , katot, elektriksel olarak pozitif). Şekil 2.11’de deşarj durumunda gerçekleşen durum gösterilmiştir. Burada kurşun tepkimeye girerek kurşun sülfat olmuştur. Anottaki kimyasal reaksiyon şu şekilde yazılabilir:

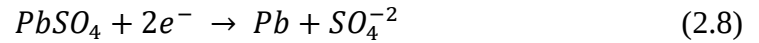


Şekil 2.11 : Kurşun-asit pil hücresindeki elektrokimyasal işlemler: (a)Deşarj ve (b)Şarj.

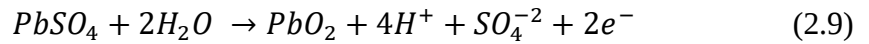
Bu reaksiyon sonucu iki elektron açığa çıkar. Aynı zamanda pozitif elektrotta PbO_2 tepkimeye girerek $PbSO_4$ ve su oluşur. Bu reaksiyon şu şekilde ifade edilebilir:



Şarj durumunda ise anot ve katottaki bu reaksiyonlar tersine dönerek gerçekleşir. Anotta:



Katotta ise:



reaksiyonu gerçekleşir. Kurşun-asit bir pilin hücre voltajı standart koşullarda yaklaşık olarak 2.03 V'tur. Bu değer elektrolitin konsantrasyonuna bağlıdır.

2.3.1.2 Termodinamik voltaj

Bir pil hücresinin termodinamik voltajı açığa çıkan enerjiyle ve elektron sayısı ile yakından ilişkilidir[4]. Bir pil hücresindeki reaksiyon sonucu açığa çıkan enerji Gibbs serbest enerjisindeki, ΔG , değişim ile ifade edilir. Genellikle birim mol büyüklüğü ile verilir. Bir kimyasal reaksiyon sonucu Gibbs serbest enerjisindeki değişim şu şekilde ifade edilir:

$$\Delta G = \sum_{\text{Ürünler}} G_i - \sum_{\text{Girenler}} G_j \quad (2.10)$$

Burada G_i tepkimeden çıkan ürünlerin serbest enerjisi, G_j ise tepkimeye girenlerin serbest enerjisidir. Tersinir bir tepkimede, ΔG tamamen elektrik enerjisine dönüştürülür.

$$\Delta G = -nFV_r \quad (2.11)$$

Burada n reaksiyonda transfer edilen elektron sayısı, $F=96,495$ Coulomb/Mol Faraday sabiti ve V_r hücrenin tersinir voltaj değeridir. Standard koşullarda (25 °C ve 1 atm basınçta), pil hücresinin tersinir voltajı şu şekilde ifade edilebilir:

$$V_r^0 = -\frac{\Delta G^0}{nF} \quad (2.12)$$

Burada ΔG^0 standart koşullarda Gibbs serbest enerjisindeki değişimdir.

Bir kimyasal reaksiyonda serbest enerjinin ve buna bağlı olarak hücre voltajının değişimi tepkimeye giren türlerin aktifliklerinin bir fonksiyonudur.

$$V_r = V_r^0 - \frac{RT}{nF} \ln \left[\frac{\prod_{\text{ürünlerin aktiflikleri}}}{\prod_{\text{girenlerin aktiflikleri}}} \right] \quad (2.13)$$

Burada R evrensel gaz sabiti, 8,31 J/mol K ve T kelvin cinsinden mutlak sıcaklıktır.

2.3.1.3 Özgül enerji

Özgül enerji birim pil ağırlığına karşılık gelen enerji kapasitesi olarak tanımlanır. Birimi Wh/kg'dır. Teorik özgül enerji, hücre reaktanlarının toplam kütesine karşılık üretilebilecek maksimum enerjidir. Daha önce açıklandığı gibi, bir pil hücreindeki enerji miktarı Gibbs serbest enerjisi, ΔG , ile ifade edilir. Teorik özgül enerjiye reaktanları ve ürünlerin efektif ağırlıkları (moleküler ağırlıkları) etki eder:

$$E_{\text{teorik özgül enerji}} = -\frac{\Delta G}{3.6 \sum M_i} = \frac{nFV_r}{3.6 \sum M_i} \text{ (Wh/kg)} \quad (2.14)$$

Burada $\sum M_i$ pil reaksiyonuna katılan her türün moleküler ağırlıklarının toplamıdır. Bu denklemde görüldüğü gibi piller için ideal çift ikisi de düşük atomik ağırlıklı, yüksek elektronegatif element ile yüksek elektropozitif elementten seçilmelidir. Negatif reaktanlar için hidrojen, lityum ya da sodyum en iyi seçenektir. Pozitif reaktanlar için ise hafif halojenler, oksijen ya da sülfür en iyi seçenektir [4]. Bu tarz çiftleri pillerde kullanmak için içerdikleri malzemelere göre efektif elektrot tasarımı gereklidir. Ayrıca

her iki elektrottaki malzemeler ile uygun olarak oldukça iletkenlik gösterecek elektrolit gereklidir. Bu kısıtlamalardan dolayı bazı sistemlerde oksijen ve sülfür element olarak değil de oksit ve sülfid olarak kullanılır. Oda sıcaklığında çalışma koşulları için,sulu elektrolitler yüksek iletkenliklerinden dolayı daha avantajlıdır. Alkali metaller su ile reaksiyona girdiklerinden elektrotlarda kullanılamaz. Belirli derecede elektropozitiflik sağlanan çinko,demir ya da alüminum gibi diğer metalleri seçmek gerekir. Elektrot çiftlerini seçerken genel olarak,üretimi pahalı,sağlık ve çevre bakımından zararlı ve nadir bulunan elementlerin elenmesi gerekir[4].

Elektrikli ve hibrit araç uygulamalarında kullanılmaya en uygun pillerin teorik özgül enerjileri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Pratikte ise özgül enerjiler teorik maksimum özgül enerji değerlerinden düşüktür.

2.3.1.4 Özgül güç

Özgül güç birim pil ağırlığı için pilin kısa bir sürede üretebileceği maksimum güç olarak tanımlanmaktadır. Özgül güç,pil ağırlığının düşürülmesinde ve özellikle hibrit araçlar gibi yüksek güç gereksinimi duyulan uygulamalarda önemlidir. Kimyasal bir pilin özgül gücü ağırlıklı olarak pilin iç direncine bağlıdır. Şekil 2.12’de gösterilen pil modeli için,pilin sağlayabileceği maksimum güç;

$$P_{peak} = \frac{V_0^2}{4(R_c + R_{int})} \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilir. Burada R_c kondüktör direnci, R_{int} ise kimyasal reaksiyon sonucu oluşan iç dirençtir. İç direnç, R_{int} , pil akımı ile bağlantılı olan voltaj düşüşünü, ΔV , temsil etmektedir. Voltaj düşüşünün iki bileşeni vardır: reaksiyon aktivitesi ΔV_A ve elektokit konsantrasyonu ΔV_c . ΔV_A ve ΔV_c için genel ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$\Delta V_A = a + b \log I \quad (2.16)$$

$$\Delta V_c = -\frac{RT}{nF} \ln(1 - \frac{I}{I_L}) \quad (2.17)$$

Burada a ve b sabit, R gas sabiti 8.314 J/Kmol, T mutlak sıcaklık, n reaksiyonda açığa çıkan elektron sayısı, F Faraday sabiti, 96,495 amper-saniye/mol ve I_L limit akımıdır.

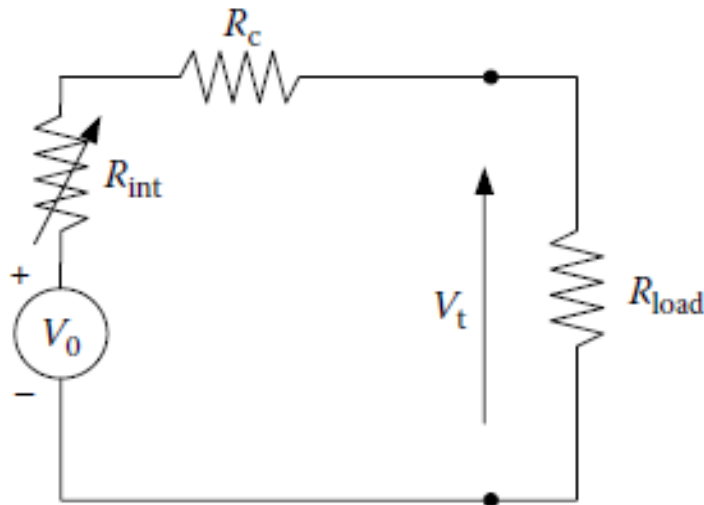
Çizelge 2.1: Elektrikli ve Hibrit araçlarda kullanılmaya aday pilleri teorik özgül enerjileri[4].

Cell Reaction				
Battery		Charge ⇐	Discharge ⇒	Specific Energy (Wh/kg)
(+)	(-)			
Acidic Aqueous Solution				
PbO ₂	Pb	PbO ₂ + 2H ₂ SO ₄ + Pb	⇌ 2PbSO ₄ + 2H ₂ O	170
Alkaline Aqueous Solution				
NiOOH	Cd	2NiOOH + 2H ₂ O + Cd	⇌ 2Ni(OH) ₂ + Cd(OH) ₂	217
NiOOH	Fe	2NiOOH + 2H ₂ O + Fe	⇌ 2Ni(OH) ₂ + Fe(OH) ₂	267
NiOOH	Zn	2NiOOH + 2H ₂ O + Zn	⇌ 2Ni(OH) ₂ + Zn(OH) ₂	341
NiOOH	H ₂	2NiOOH + H ₂	⇌ 2Ni(OH) ₂	387
MnO ₂	Zn	2MnO ₂ + H ₂ O + Zn	⇌ 2MnOOH + ZnO	317
O ₂	Al	4Al + 6H ₂ O + 3O ₂	⇌ 4Al(OH) ₃	2815
O ₂	Fe	2Fe + 2H ₂ O + O ₂	⇌ 2Fe(OH) ₂	764
O ₂	Zn	2Zn + 2H ₂ O + O ₂	⇌ 2Zn(OH) ₂	888
Flow				
Br ₂	Zn	Zn + Br ₂	⇌ ZnBr ₂	436
Cl ₂	Zn	Zn + Cl ₂	⇌ ZnCl ₂	833
(VO ₂) ₂ SO ₄	VSO ₄	(VO ₂) ₂ SO ₄ + 2H ₂ SO ₄	2VOSO ₄ + V ₂ (SO ₄) ₃ + 2H ₂ O	114
Molten Salt				
S	Na	2Na ₃ S a +	⇌ Na ₂ S ₃	760
NiCl ₂	Na	2Na + NiCl ₂	⇌ 2NaCl	790
FeS ₂	LiAl	4LiAl + FeS ₂	⇌ 2Li ₂ S + 4Al + Fe	650
Organic Lithium				
LiCoO ₂	Li - C	Li(y + x)C ₆ + Li(1 - (y - x))CoO ₂	⇌ Li _y C ₆ + Li(1 - y)CoO ₂	320 ^a

^a For maximum values of x = 0.5 and y = 0.

Pil direncinin ya da voltaj düşüşünün kesin olarak analiz edilmesi zordur ve genellikle ölçüm yoluyla elde edilir. Voltaj düşüşü deşarj akımının artması ile artar.

Çizelge 2.2’de elektrikli araçlar için potansiyel olarak uygun pil sistemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.12: Pil Devresi Modeli.

Çizelge 2.2: Otomobil uygulamalarında kullanılan pillerin özellikleri[4].

System	Specific Energy (Wh/kg)	Peak Power (W/kg)	Energy Efficiency (%)	Cycle Life	Self-Discharge (% per 48 h)	Cost (US\$/kWh)
<i>Acidic Aqueous Solution</i>						
Lead/acid	35-50	150-400	> 80	500-1000	0.6	120-150
<i>Alkaline Aqueous Solution</i>						
Nickel/cadmium	50-60	80-150	75	800	1	250-350
Nickel/iron	50-60	80-150	75	1500-2000	3	200-400
Nickel/zinc	55-75	170-260	65	300	1.6	100-300
Ni-MH	70-95	200-300	70	750-1200+	6	200-350
Aluminum/air	200-300	160	< 50	?	?	?
Iron/air	80-120	90	60	500+	?	50
Zinc/air	100-220	30-80	60	600+	?	90-120
<i>Flow</i>						
Zinc/bromine	70-85	90-110	65-70	500-2000	?	200-250
Vanadium redox	20-30	110	75-85	-	-	400-450
<i>Molten Salt</i>						
Sodium/sulfur	150-240	230	80	800+	0 ^a	250-450
Sodium/nickel chloride	90-120	130-160	80	1200+	0 ^a	230-345
Lithium/iron sulfide (FeS)	100-130	150-250	80	1000+	?	110
<i>Organic/Lithium</i>						
Li-I	80-130	200-300	> 95	1000+	0.7	200

^a No self-discharge, but some energy loss by cooling.

2.3.1.5 Enerji verimi

Pillerin şarj ya da deşarj durumunda oluşan enerji ya da güç kayıpları voltaj düşüşü şeklinde görünür.

Bu nedenle, herhangi bir çalışma noktasında pillerin şarj ya da deşarj olurkenki verimi hücre voltajının termodinamik voltaja oranı olarak tanımlanır.

Deşarj durumunda

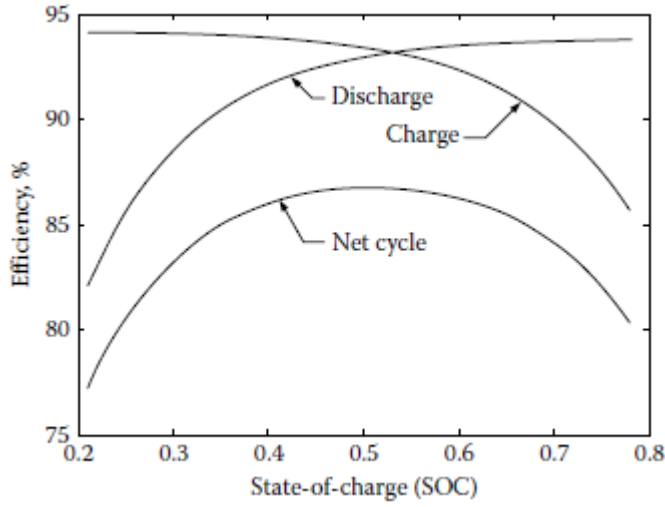
$$\eta = \frac{V}{V_0} \quad (2.18)$$

Şarj durumunda

$$\eta = \frac{V_0}{V} \quad (2.19)$$

Pil akımının ve pilde depolanan enerjinin ya da şarj durumunun bir fonksiyonu olan terminal voltajı kimyasal reaksiyon sonucu olan elektrik potansiyelinden deşarj durumunda daha düşük, şarj durumunda ise daha yüksektir. Şekil 2.13'da kurşun-asit pillerin şarj ve deşarj durumlarındaki verimleri gösterilmiştir. Pillerin yüksek şarj durumunda yüksek deşarj olma verimi, düşük şarj durumunda ise yüksek şarj olma verimi vardır. Net çevrim veriminin maksimum olduğu nokta orta seviyedeki şarj durumundadır. Bu nedenle, hibrit araçlardaki pil kontrol birimleri çalışma verimini

iyileştirmek için şarj durumunun orta seviyede kalması şeklinde bir kontrol stratejisi uygular[4].



Şekil 2.13: Kurşun asit pil şarj ve deşarj verim karakteristiği.

2.3.2 Pil teknolojileri

Günümüzde elektrik ve hibrit araç uygulamalarında kullanılabilecek piller kurşun-asit pil, nikel/demir, nikel/kadmiyum ve nikel/metal hibrit piller (Ni-MH) gibi nikel tabanlı piller ve lityum tabanlı lityum-polimer (Li-P), lityum-iyon (Li-I) pillerdir. Kadmiyum ve lityum tabanlı piller elektrikli ve hibrit araç uygulamaları için en iyi adaylar olarak görülmektedir.

2.3.2.1 Kurşun-asit piller

Kurşun-asit piller bir yüzyıldan beri otomotiv alanında ve diğer uygulamalarda elektriksel enerji depolama kaynağı olarak başarıyla kullanılmaktadır. Düşük maliyet, olgunlaşmış teknoloji ve diğer pil türlerine kıyasla yüksek güç kapasitesi gibi avantajları vardır. Bu avantajlar, özellikle yüksek güç yoğunluğunun birinci tercih olduğu hibrit araç uygulamalarında istenilen özelliklerdir. Kullanılan malzemeler (kurşun, kurşun oksit ve sülfirik asit) diğer pillerde kullanılan malzemelere kıyasla daha ucuz maliyetlidir.

Kurşun asit pillerin bazı dezavantajları da vardır. Kurşunun yüksek moleküler ağırlığından dolayı enerji yoğunluğu düşüktür. Sıcaklık karakteristikleri kötüdür. 10°C'nin altında özgül güç ve özgül enerji büyük oranda düşmektedir. Bu

özelliklerinden dolayı,kurşun-asit pillerin soğuk iklimlerde taşıt tahrikinde kullanılması zorlaşmaktadır.

Yüksek derecede korozyon olan sülfirik asit de taşıtlardaki insanlar için potansiyel bir tehlikedir. Kendi kendine deşarj reaksiyonlarında açığa çıkan hidrojen de oldukça yanıcı olduğundan başka bir potansiyel tehlikedir.

Elektrotlarda bulunan kurşun toksik olduğundan çevresel bir sorun teşkil etmektedir.

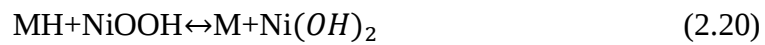
Elektrikli ve hibrit araç uygulamaları için yüksek performanslı farklı kurşun-asit piller geliştirilmiştir. Hızlı bir şekilde şarj olabilen ,40 Wh/kg'ın üzerinde özgül enerjiye sahip kurşun-asit piller geliştirilmiştir. İleri teknoloji kurşun-asit piller ile bu pillerin dezavantajları bir miktar giderilmiştir. Özgül enerjileri arttırılmış,ömürleri %50'nin üzerinde arttırılmış,parasitik olarak açığa çıkan hidrojen ve oksijeni absorbe etmek için tasarlanan elektrokimyasal işlemler ile güvenlik sorunları da iyileştirilmiştir.

2.3.2.2. Nikel tabanlı piller

Nikel kurşundan daha hafif bir metaldir ve pil uygulamalarında kullanılmak için istenilen oldukça iyi elektrokimyasal özellikleri vardır. Nikel tabanlı dört farklı pil teknolojisi vardır. Bunlar,nikel-demir,nikel-çinko,nikel-kadmiyum ve nikel-metal hidrit(Ni-MH) olarak sınıflandırılabilir.

- **Nikel/Demir piller:** Nikel/demir piller 20.yüzyılın başlarında ticari amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Forkliftlerde,maden lokomotiflerinde,demiryolu lokomotiflerinde kullanılmıştır. Pozitif elektrotta nikel hidroksi-oksit(NIOOH) ve negatif elektrotta metalik demir içeren bir sistemdir. Elektrolit lityum hidroksit içeren(50 g/L) konsantre potasyum hidroksit(240 g/L) çözeltisidir. Hücre reaksiyonu Çizelge 2.1'de verilmiştir. ve nominal açık devre voltajı 1.37 Volt'tur[4]. Nikel/demir piller gaz çıkışı,korozyon ve kendi kendine deşarj gibi sorunlara sahiptir. Bu piller su seviyesini muhafaza etme ihtiyacı ve deşarj işleminde açığa çıkan hidrojen ile oksijeni güvenli bir şekilde yok etme gereksinimleri nedeniyle komplektir. Nikel-demir piller aynı zamanda,kurşun asit piller kadar olmasa da, düşük sıcaklıklarda çalışmada sorun yaşarlar. Son olarak,nikelin maliyeti kurşunun maliyetinden çok daha fazladır. Nikel-demir pillerin en büyük avantajları kurşun-asit pillere kıyasla sahip oldukları yüksek güç yoğunluğudur.

- **Nikel/Kadmiyum piller:** Nikel/kadmiyum piller nikel/demir piller ile aynı pozitif elektrodu ve elektroliti kullanılırlar. Negatif elektrot olarak ise metalik kadmiyum kullanılır. Hücre voltajının değeri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Nominal açık hücre voltajı 1.3 Volt değerindedir. Nikel/demir piller ile benzer performans özellikleri gösterirler. Nikel/kadmiyum pil teknolojisi yüksek özgül güç(220 W/kg),yüksek ömür(2000 çevrim),elektriksel ve mekanik zorlamalara karşı yüksek tolerans,geniş bir aralıktaki deşarj akımına karşılık düşük bir voltaj düşüşü,hızlı şarj kapasitesi(18 dakikada %40-80 arası),geniş çalışma sıcaklık aralığı(-40°C ile -85 °C arası),düşük kendi kendine deşarj oranı(günlük olarak < % 0.5),ihmal edilebilecek düzeydeki korozyona bağlı olarak çok iyi uzun süreli depolanabilme özelliği,farklı boyutlarda tasarlanabilme gibi avantajları nedeniyle gelişmiştir[4]. Nikel/kadmiyum pillerin bazı dezavantajları da vardır. Bunlar yüksek maliyet,göreceli olarak düşük hücre voltajı ve kadmiyumun çevresel ve kanserojen zararlarıdır. Nikel/kadmiyum pillerin elektrik ve hibrit araç uygulamalarındaki en önemli üreticileri SAFT ve VARTA’dır. Nikel/kadmiyum pillerin kullanıldığı elektrikli araçlar Chrysler TE Van,Citroen AX,Mazda Roadster,Mitsubishi EV,Peugeot 106 ve Reanult Clio’dur.
- **Ni-MH piller:** Ni-MH piller 1992’den beri piyasadadır. Karakteristik özellikleri nikel/kadmiyum pillere benzemektedir. Temel farklılık Ni-MH pillerin kadmiyum yerine negatif elektrotta metal hidritte absorbe edilen hidrojen kullanmasıdır. Nikel/kadmiyum pillerden üstün özgül enerjileri,kadmiyum gibi toksik ve kansorejen özellikler içermemeleri nedeniyle Ni-MH piller nikel/kadmiyum pillerden üstündür. Ni-MH pillerdeki genel reaksiyon aşağıda verilmiştir. Pil deşarj olurken,negatif elektrottaki metal hidrit bir metal alaşımı oluşturmak için oksidize edilir. Pozitif elektrottaki nikel oksihidroksit,nikel hidroksite indirgenir. Pil şarj edilirken ise bu reaksiyonun tersi gerçekleşir. Şuanda,Ni-MH pillerin nominal voltajı 1.2 Volt,özgül enerjileri 65 Wh/kg ve özgül güçleri 200 W/kg’dır.



Ni-MH pillerdeki kilit bileşen hidrojen depo eden metal alaşımıdır. İki çeşit metal alaşımı kullanılmaktadır. Bunlar, AB_5 olarak bilinen,lanthanum nikel

tabanlı nadir-toprak alaşımları ve AB_2 olarak bilinen, titanium ve zirkonyum içeren alaşımlardır. AB_2 alaşımların AB_5 alaşımlarından yüksek kapasiteleri vardır. Fakat, şarj tutma ve stabil özelliklerinden dolayı AB_5 alaşımları tercih edilmektedir.

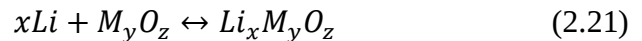
Ni-MH pillerin avantajları şu şekilde sıralanabilir: nikel tabanlı piller arasında en yüksek özgül enerji (70-95 Wh/kg) ve en yüksek özgül güç (200-300 W/kg) değerlerine sahiptirler, çevre dostudurlar, voltaj düşüşleri azdır ve hızlı şarj edilebilirler. Dezavantajları ise yüksek maliyetli olmalarıdır[4].

Ni-MH piller yakın gelecekte elektrik ve hibrit araç uygulamalarında kullanılabilecek önemli bir seçenek olarak görülmektedir. GM, Ovonic, GP, GS, Panasonic, SAFT, VARTA ve YUASA gibi çok sayıda pil üreticisi elektrikli ve hibrit araç uygulamalarında Ni-MH pilleri kullanmak için çalışmalar yapmıştır. 1993'ten beri, Ovonic Ni-MH pilleri Solectric GT Force elektrikli aracında kullanmış ve test etmiştir. 19 kWh kapasitesindeki piller 65 Wh/kg enerji vermiş, 134 km/h hıza ulaşmış, 0'dan 80 km/h'e 14 saniyede ulaşmış ve şehir içinde 206 km'lik sürüş menzili elde etmiştir. Toyota ve Honda da Prius ve Insight gibi hibrit araç modellerinde Ni-MH pilleri kullanmıştır.

2.3.2.3 Lityum tabanlı piller

Lityum en hafif metaldir ve elektrokimyasal açıdan ilginç karakteristik özelliklere sahiptir. Lityum oldukça yüksek termodinamik voltaj elde edilmesine olanak sağlar. Buna bağlı olarak oldukça yüksek özgül enerji ve özgül güç elde edilebilir. Temel olarak iki çeşit lityum tabanlı pil teknolojisi mevcuttur. Li-P ve Li-I.

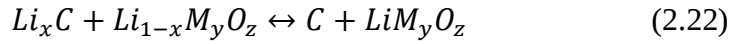
- Li-P piller: Li-P piller negatif elektrot için lityum ve pozitif elektrot için de oksit enterkalasyonlu bir geçiş metali (M_yO_z) kullanırlar. M_yO_z maddesi lityum iyonlarının arasına girebileceği ya da şarj ve deşarj olurken arasından çıkabileceği katmanlı bir yapıya sahiptir. İnce bir katı polimer elektrolit kullanılarak tasarımın güvenliği ve esnekliği artırılır. Genel elektrokimyasal reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.



Deşarj durumunda,negatif elektrotta oluşan lityum iyonları katı polimer elektrolit üzerinden pozitif elektrotun kristal yapısının içine girerler. Şarj durumunda ise bu işlemin tersi gerçekleşir.

Negatif elektrotta lityum folyo ve pozitif elektrotta vanadyum oksit(V_6O_{13}) kullanan Li/SPE/ V_6O_{13} hücresi Li-P pil ailesinin en iyi seçeneklerinden biridir. 3 Volt'luk nominal voltajda çalışır ve 155 Wh/kg'lık özgül enerjisi,315 W/kg'lık özgül gücü vardır. Diğer avantajları oldukça düşük kendi kendine deşarj oranı(aylık %0.5),farklı şekillerde ve boyutlarda tasarlanabilme özellikleridir. Diğer taraftan,düşük sıcaklıklardaki düşük performansı da en önemli dezavantajdır.

- Li-I piller: Li-I piller 1991'de ilk kez duyurulduklarından beri gelişmektedir ve günümüzde elektrikli ve hibrit araç uygulamaları için en fazla umut vaad eden şarj edilebilir pil tipi olarak görülmektedir. Li-I piller metalik lityum yerine negatif elektrot olarak lityum ile birleştirilmiş karbon geçiş metali ve oksit enterkalasyonu($Li_{1-x}M_yO_z$) kullanmaktadır. Elektrolit olarak sıvı organik bir çözelti ya da katı polimer kullanılmaktadır. Şarj ve deşarj boyunca lityum iyonları pozitif ve negatif elektrot arasında gidip gelirler. Genel kimyasal reaksiyon şu şekildedir:



Deşarj durumunda,lityum iyonları negatif elektrottan serbest bırakılırlar,elektrolit yardımıyla pozitif elektrotta gelirler. Şarj durumunda ise bu durumun tersi gerçekleşir. Olası pozitif elektrot malzemeleri $Li_{1-x}CoO_2$, $Li_{1-x}NiO_2$ ve $Li_{1-x}Mn_2O_4$ şeklindedir. Bu malzemelerin avantajları hava içinde stabil olmaları,yüksek voltaj ve lityum enterkalasyon reaksiyonu için tersinirlik olarak sayılabilir.

$Li_xC/Li_{1-x}NiO_2$ tipi,genel yazılışıyla $C/LiNiO_2$ ya da basit tabiriyle nikel tabanlı Li-I pillerin 4 V değerinde nominal voltajı vardır. Özgül enerjileri 120 Wh/kg,enerji yoğunlukları 200 Wh/L ve özgül güçleri 260 W/kg değerindedir. Kobalt tabanlı Li-I pillerin daha yüksek özgül enerjileri ve enerji yoğunlukları vardır fakat maliyetleri daha yüksektir ve kendi kendine deşarj olma oranları da önemli ölçüde daha yüksektir. Mangan tabanlı Li-I pil tipi en düşük maliyetlidir.Özgül enerjisi ve enerji yoğunluğu kobalt tabanlı ve nikel tabanlı tiplerin arasındadır. Beklentiler Li-I pillerin gelişiminin,düşük

maliyet,manganın bolluğu ve evre dostu olması nedeniyle mangan tabanlı tiplere kayacağı yönündedir.

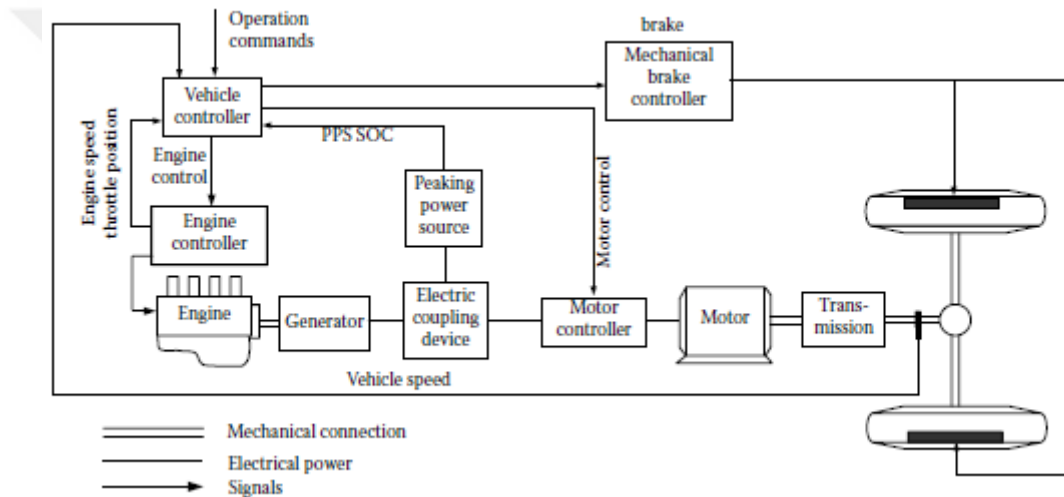
Saft,GS Hitachi,Panasonic,Sony ve Varta gibi birçok pil reticisi Li-I pillerin geliştrilmesi için çalışmalar yapmıştır. Saft 1993'te nikel tabanlı Li-I piller ile çalışmaya başlamıştır. Son dönemde,Saft hibrit elektrikli araç uygulamalarında kullanılmak üzere yüksek güçlü Li-I pillerin geliştirildiğini açıklamıştır. Bu pillerin özgül enerjisi 85 Wh/kg ve özgül gücü 1350 W/kg değerindedir. Saft ayrıca elektrikli araç uygulamaları için,150 Wh/kg ve 420 W/kg (%80 şarj Durumunda,150 Amper akımlı)kapasitesinde yüksek enerjili piller de duyurmuştur.





3. SERİ HİBRİT TASARIM PRENSİPLERİ

Şekil 3.1’de tipik bir seri hibrit konfigürasyonu gösterilmiştir. Seri hibrit araçlar elektrik motoru tarafından tahrik edilir. Elektrik motor pillerden ve içten yanmalı motor/jeneratör çiftinden güç alır. Bu iki güç kaynağının gücü güç kuplöründe birleştirilir. Güç kuplörü elektronik bazlı ve kontrol edilebilen elektriksel bir kuplör cihazıdır. Sürücünün güç ihtiyacına bağlı olarak birçok farklı operasyon modu mevcuttur.



Şekil 3.1: Seri hibrit güç aktarma organları konfigürasyonu.

İvmelenme,yokuş çıkma kabiliyeti ve maksimum hız bakımından taşıt performansı tamamen elektrik motorunun boyutlarına ve karakteristiğine bağlıdır. Seri hibrit konfigürasyonunda içten yanmalı motor/jeneratör çiftinin mekanik olarak tekerlekler ile bir bağlantısı yoktur. İçten yanmalı motorun hızı ve torku taşıt hızından ve tahrik için ihtiyaç duyulan tork büyüklüğünden bağımsızdır. Bu nedenle seri hibrit konfigürasyonunda içten yanmalı motor herhangi bir noktada çalıştırılabilir. Genellikle,içten yanmalı motor yakıt tüketimini ve emisyonları en aza indirecek şekilde çalıştırılır. İçten yanmalı motorun çalışma noktası sürüş modlarına ve kontrol stratejisine de büyük oranda bağlıdır.

3.1 Çalışma Modları

Seri hibrit konfigürasyonun birkaç farklı çalışma modu mevcuttur. Bu modlar sürüş koşullarına ve sürücünün isteğine göre seçilir. Seri hibrit konfigürasyondaki çalışma modları şunlardır;

1. Hibrit Tahrik Modu:Yüksek miktarda güç ihtiyacı olduğunda çalışılan moddur. Sürücü gaz pedalına sonuna kadar basar,hem içten yanmalı motor/jeneratör çifti hem de PPS ürettikleri güçleri elektrik motora temin eder. Bu modda,içten yanmalı motor verim ve emisyonlar açısından optimum noktada çalıştırılmalıdır. Bu sürüş modu matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_{Talep} = P_{e/g} + P_{PPS} \quad (3.1)$$

Burada P_{Talep} sürücü tarafından talep edilen güç miktarı, $P_{e/g}$ içten yanmalı motor/jeneratör çiftinin gücü ve P_{PPS} de maksimum güç kaynağından elde edilen güçtür.

2. Maksimum Güç Kaynağı Tahrik Modu:Bu çalışma modunda sadece maksimum güç kaynağı yani piller talep edilen güç miktarını karşılar.

$$P_{Talep} = P_{PPS} \quad (3.2)$$

3. İçten Yanmalı Motor/Jeneratör Tahrik Modu:Bu çalışma modunda sadece içten yanmalı motor//jeneratör çifti talep edilen güç miktarını karşılar.

$$P_{Talep} = P_{e/g} \quad (3.3)$$

4. Maksimum Güç Kaynağı Şarj Modu:Pillerin enerji seviyesi belirli bir sınırın altına düştüğünde,piller şarj edilmelidir. Bu rejeneratif frenleme yoluyla ya da içten yanmalı motor/jeneratör tarafından gerçekleştirilebilir. Genellikle rejeneratif frenleme yeterli olmadığından içten yanmalı motor/jeneratör çiftinin maksimum güç kaynağını şarj etmesi gerekir. Bu modda,içten yanmalı motor/jeneratör çiftinden elde edilen güç bölüştürülür. Bir miktar taşıt tahrikinde kullanılırken diğer kısım pilleri şarj etmede kullanılır.

$$P_{Talep} = P_{e/g} + (-)P_{PPS} \quad (3.4)$$

Burada P_{PPS} işareti,piller şarj edilmekte olduğu için negatiftir. Bu çalışma modu içten yanmalı motor gücünün talep edilen güç miktarından fazla olduğu durumlarda efektiftir.

5. Rejeneratif Frenleme Modu:Bu modda taşıt fren yaptığından elektrik motor bir jeneratör görevi görerek taşıt kütleinin sahip olduğu kinetik enerjiyi pilleri şarj etmek için elektrik enerjisine dönüştürür.

3.2 Kontrol Stratejileri

Kontrol stratejisi taşıt kontrolcüsünde önceden tanımlanmış olan ve her bileşenin çalışma şartlarını belirleyen kontrol emirleridir. Taşıt kontrolcüsü sürücünün güç ve tork talebine göre, her bileşenden aldığı geribildirimlere göre ve önceden tanımlanmış kontrol stratejisine göre her bileşenin çalışma koşullarını belirler. Genel olarak seri hibrit konfigürasyonunda temel kontrol hedefleri şu şekildedir[8];

1. Sürücünün güç talebini karşılamak.
2. Her bileşeni en verimli şekilde çalıştırmak.
3. Frenleme enerjisini mümkün olduğu kadar geri kazanmak.
4. Maksimum güç kaynağının yani pillerin şarj durumunu önceden belirlenmiş aralıkta tutmak.

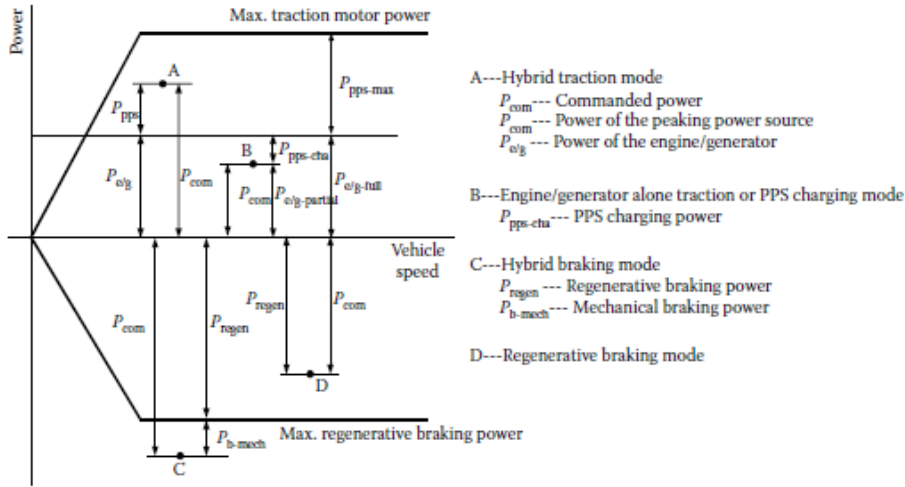
Bu hedefler doğrultusunda taşıt kontrolcüsü sürücünden aldığı çalışma talimatları ve aktarma organındaki her bileşenden aldığı geribildirimlere göre hangi sürüş modunda çalışılacağına karar verir.

Pratikte, farklı sürüş şartları için taşıtların aktarma organlarının uyabileceği birçok farklı kontrol stratejisi mevcuttur. Seri hibrit araçlarda en yaygın iki kontrol stratejisi maksimum güç kaynağının maksimum şarj durumu ve menzil arttırıcı aç-kapa stratejisi ya da diğer adıyla termostat kontrol stratejisidir.

3.2.1 Maksimum şarjlı pil kontrol stratejisi

Bu kontrol stratejisinin amacı aynı zamanda hem sürücünün güç ihtiyacını karşılamak hem de pillerin şarj durumunu maksimum seviyede tutmaktır. İçten yanmalı motor/jeneratör çifti birincil güç kaynağı, piller ise ikincil güç kaynağıdır. Bu kontrol kaynağı ivmelenme, maksimum hız, yokuş çıkma gibi performans gereksinimleri olan, kısa aralıklı dur-kalk şeklinde sürüş durumunda kullanılan taşıtlar için uygun olan tasarım kriteri olarak kabul edilmektedir. Pillerin maksimum şarj durumunda olması taşıtın istenilen yüksek performans ihtiyacı sağlamasına olanak tanımaktadır[4].

Şekil 3.2’de Maksimum SOC Kontrol Stratejisi açıklanmıştır. A,B,C,D noktaları ivmelenme ya da rejeneratif frenleme modu için sürücünün verdiği güç talimatlarını ifade etmektedir.



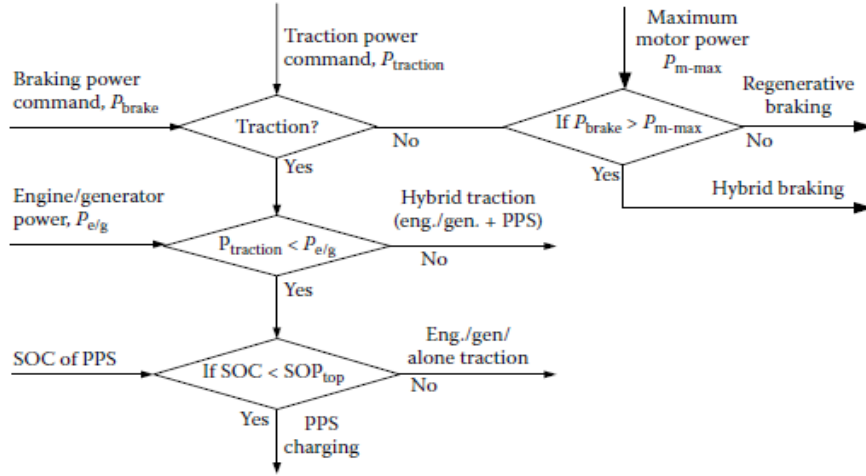
Şekil 3.2: Maksimum SOC kontrol stratejisi.

A noktasında talep edilen tahrik gücü içten yanmalı motor/jeneratör çiftinin sağlayabileceği güçten yüksektir. Bu durumda piller devreye girerek talep edilen güç ihtiyacının geri kalanını karşılar.

B noktasında talep edilen güç miktarı içten yanmalı motor/jeneratör ünitesinin optimum çalışma noktasında üretebileceği güçten düşüktür. Bu durumda pillerin şarj seviyesine göre iki farklı çalışma modu kullanılabilir. Eğer pillerin şarj seviyesi belirlenen tepe noktasından düşükse, yaklaşık olarak %70-80 aralığından düşükse, içten yanmalı motor tam yükte çalıştırılır. İçten yanmalı motor gücünün bir kısmı taşıt tahriki için gereken güçü sağlarken bir geri kalan kısmıyla pillerin enerji seviyesi artırılır. Fakat, pilleri şarj seviyesi belirlenen tepe noktasındaysa İçten Yanmalı Motor/Jeneratör tahrik modu kullanılabilir. Sürücünün ihtiyaç duyduğu güç tamamen içten yanmalı motor tarafından sağlanır.

C noktasında talep edilen fren gücü elektrik motorun üretebileceği maksimum rejeneratif fren gücünden yüksektir. Bu durumda, hibrit frenleme modu kullanılır. Elektrik motoru üretebileceği maksimum fren gücünü üretir ve mekanik frenleme sistemi geri kalan fren gücü ihtiyacını karşılar.

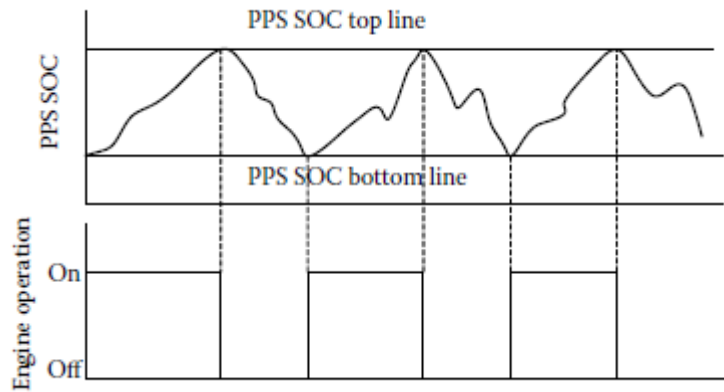
D noktasında talep edilen fren gücü elektrik motorun sağlayabileceği maksimum fren gücünden düşüktür. Bu durumda rejeneratif frenleme kullanılır.



Şekil 3.3: Maksimum şarj seviyeli pil kontrol stratejisinin akış şeması.

3.2.2 Menzil arttırıcı aç-kapa ya da termostat kontrol stratejisi

Maksimum Şarjlı Pil kontrol stratejisi pillerin şarj seviyesini yüksek seviyede tutma amaçlıdır. Fakat uzun süre düşük yükte giderken ya da uzun süre sabit hızda giderken piller kolaylıkla şarj edilebilirken içten yanmalı motor optimum noktasında verebileceği güçten daha az güç verecek şekilde çalıştırılır. Bu sürüş koşullarında menzil arttırıcı aç-kapa stratejisi kullanılabilir. Şekil 3.4’de menzil arttırıcı aç-kapa stratejisi gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Menzil arttırıcı aç-kapa kontrol stratejisi.

İçten yanmalı motorun çalışması tamamen pillerin şarj seviyesine bağlıdır. Maksimum güç kaynağının şarj durumu belirlenen tepe noktasına ulaştığında menzil arttırıcı kapatılır ve taşıt tamamen maksimum güç kaynağı ile tahrik edilir. Pillerin şarj seviyesi belirlenen en düşük noktaya ulaştığında ise menzil arttırıcı açılır ve piller menzil

arttırıcı ile şarj edilir. Bu sayede içten yanmalı motor her zaman optimum çalışma noktasında çalışır[4].

3.3 Elektrik Motorun Güç Derecesinin Belirlenmesi

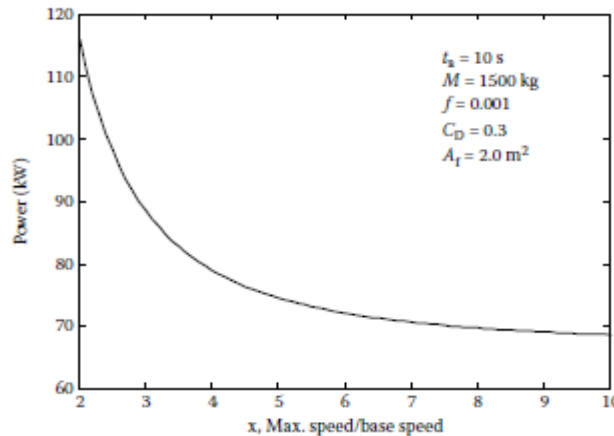
Seri hibrit araçlarda elektrik motorunun güç derecesi taşıtın ivmelenme performansına, motor karakteristiğine ve transmisyon karakteristiğine bağlıdır. Tasarımın başında elektrik motorunun güç derecesi ivmelenme performansına göre hesaplanabilir. Taşıtın sıfırdan belirli bir hıza ivmelenmesi için geçen süre kullanılarak, aşağıdaki formül ile güç derecesi belirlenebilir.

$$P_t = \frac{\delta M}{2t_a} (V_f^2 + V_b^2) + \frac{2}{3} M g f_r V_f + \frac{1}{5} \rho_a C_D A_f V_f^3 \quad (3.5)$$

Burada M, kg biriminde toplam taşıt kütlesi, t_a , saniye olarak istenilen ivmelenme süresi, V_b m/s olarak elektrik motorun baz hızına karşılık gelen taşıt hızı, V_f m/s olarak ivmelenme sonunda ulaşılan taşıt hızı, g yerçekimi ivmesi, ρ_a 1.202 kg/m³ değerindeki hava yoğunluğu, A_f metrekaare olarak taşıtın ön alanı ve C_D aerodinamik direnç katsayısıdır.

Bu denklemdeki ilk terim taşıt kütlesini ivmelendirirken için gerekli gücü ifade etmektedir. İkinci ve üçüncü terimler ise ortalama olarak yuvarlanma direncini ve aerodinamik direnci aşmak için gerekli gücü ifade etmektedir.

Şekil 3.5’de elektrik motor güç derecesinin hız oranı ile değişim grafiği verilmiştir. Hız oranı elektrik motorun maksimum hızın baz hızına oranıdır.



Şekil 3.5: Güç derecesi vs hız oranı.

Elektrik motoru ivmelenme performansına göre tasarlanabileceği gibi yokuş çıkma

performansına göre de tasarlanabilir. Yokuş çıkma için gerekli çekiş gücü aşağıda verilmiştir.

$$P_{grade} = \left(Mgf_r \cos \alpha + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 + Mgsin \alpha \right) V \quad (W) \quad (3.6)$$

Burada α yokuşun eğim açısıdır.

3.4 Menzil Arttırıcı Güç Derecesinin Belirlenmesi

Seri hibrit konfigürasyonunda menzil arttırıcılar pillerin şarjının tükenmemesi için düzenli olarak güç sağlamaktadır. Menzil arttırıcının güç derecesinin belirlenmesinde iki sürüş koşulu göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlardan biri, otoyolda seyir hali gibi sabit hızda uzun süre sürüş durumu diğeri ise şehirlerde karşılaşılan, sık sık dur/kalk yapılan sürüş durumudur. Daha önce belirtildiği gibi pillerin enerji tüketimi kontrol stratejisi ile yakından bağlantılıdır.

Sabit hızda ve düz yolda, menzil arttırıcının verdiği güç şu şekilde hesaplanabilir:

$$P_{e/g} = \frac{V}{1000 \eta_t \eta_m} \left(Mgf_r + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 \right) \quad (kW) \quad (3.7)$$

Burada η_t ve η_m sırasıyla transmisyonun ve elektrik motorun verimleridir. 130 km/h hızında seyir hali için, transmisyon ve elektrik motoru kayıpları da hesaba katılırsa, $\eta_t = 0.90$, $\eta_m = 0.80$ yaklaşık olarak 35 kW bir güç gerekmektedir.

Taşıt şehir içinde sık sık dur-kalk yaparak sürüş yaptığında ise menzil arttırıcı yol dirençlerine harcanan güce eşit ya da biraz daha fazla güç üretmelidir. Yol dirençlerine harcanan güç ortalama olarak:

$$P_{ave} = \frac{1}{T} \int_0^T (Mgf_r + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2) V dt + \frac{1}{T} \int_0^T \delta M \frac{dV}{dt} dt \quad (3.8)$$

Burada δ rotasyonel eylemsizlik faktörü ve dV/dt taşıt ivmesidir. Bu denklemdeki ilk terim yuvarlanma direncini ve aerodinamik direnci yenmek için gerekli ortalama gücü ifade etmektedir. İkinci terim ise ivmelenme ve frenleme için tüketilen ortalama gücü ifade etmektedir.

Menzil arttırıcı tasarımında, güç kapasitesi sabit hızda sürüş durumunda (otoyolda seyir) taşıtın tahriki için gerekli gücü destekleyecek şekilde olmalıdır. Şehir içi sürüş durumunda ise ortalama güce eşit olmalıdır. Tasarımda taşıtın ortalama güç tüketimini belirlemek için şehir içi sürüş çevrimleri kullanılmaktadır.

3.5 PPS Güç Kapasitesi

PPS elektrik motoruna herhangi bir zamanda gereken gücü sağlayabilecek kapasitede olmalıdır. Elektrik motorun güç kapasitesinden tamamen faydalanabilmek için menzil arttırıcının ve PPS'in güçleri toplamı elektrik motorun maksimum gücünden büyük ya da en azından ona eşit olmalıdır. Bu nedenle, PPS'in güç kapasitesi şu şekilde ifade edilebilir:

$$P_{PPS} \geq \frac{P_{m,maks}}{\eta_m} - P_{e/g} \quad (3.9)$$

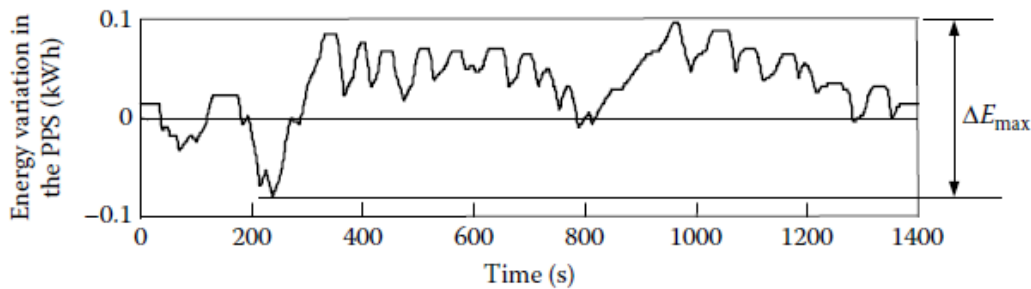
Burada $P_{m,maks}$ elektrik motorun maksimum gücü, η_m elektrik motorun verimi ve $P_{e/g}$ ise menzil arttırıcının seçilen çalışma noktasındaki gücüdür.

3.6 PPS Enerji Kapasitesi

Sık sık, kısa aralıklarla ivmelenme, frenleme yapılan sürüş koşullarında pillerdeki şarj seviyesi düşmektedir. Pillerin enerji kapasitesini doğru olarak belirleyebilmek için bazı tipik sürüş çevrimlerindeki enerji değişimleri bilinmelidir. Maksimum güç kaynağındaki enerji değişimi şu şekilde ifade edilebilir:

$$\Delta E = \int_0^T P_{PPS} dt \quad (3.10)$$

Pozitif P_{PPS} şarj edilme gücünü, negatif P_{PPS} ise deşarj edilme gücünü ifade etmektedir. Maksimum güç kaynağının enerji değişimi kontrol stratejisi ile doğrudan bağlantılıdır. Şekil 3.6'de FTP çevriminde, maksimum pil şarj seviyesi kontrol stratejisine göre enerji değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.6: FTP çevriminde maksimum pil şarj seviyesi stratejisine göre enerji değişimi.

Eğer pillerin belirlenen maksimum ve minimum şarj seviyelerinde çalışmasına göre tasarım yapılırsa pillerin enerji kapasiteleri şu şekilde belirlenebilir:

$$E_{kap} = \frac{\Delta E_{maks}}{SOC_{maks} - SOC_{min}} \quad (3.11)$$

Şarj seviyesinin çalışma aralığı kullanılan pile göre değişmektedir. Kimyasal pillerin en verimli çalıştıkları optimum aralık 0.4-0.7 aralığıdır.





4. KONVANSİYONEL BİR TAŞITIN SERİ HİBRİT TAŞITA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

4.1 Konvansiyonel Taşıt Seçimi

Konvansiyonel taşıt seçiminde satış rakamları dikkate alınmış ve İstanbul trafiğinde en yaygın olarak kullanılan araçlardan biri seçilmiştir. Çizelge 4.1'te 2017 yılı içi D segmenti araçların satış rakamları verilmiştir.

Çizelge 4.1: D segmenti Sedan Otomobil Satışları[12].

D SEGMENTİ SEDAN OTOMOBİL SATIŞLARI (OCAK 2017-KASIM 2017)													
SIRA	MARKA	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	TOPLAM
1	VW Passat	667	1.734	2.542	2.799	2.951	2.266	2.172	2.566	2.153	2.513	2.971	25.334
2	Mercedes C Serisi	538	542	391	827	888	1.579	541	793	1.151	1.054	3.222	11.526
3	BMW 3 Serisi	102	582	530	629	983	824	746	769	587	488	1.419	7.659
4	Skoda Superb	235	561	874	579	657	768	330	598	620	848	1.172	7.242
5	Opel Insignia	436	363	504	476	729	597	311	439	471	820	1.317	6.463
6	Audi A4	228	222	392	671	497	417	172	167	333	550	687	4.321
	VW CC	141	157	211	251	278	199	129	197	154	188	223	2.128
7	Renault Talisman	16	44	140	161	140	287	166	139	116	186	240	1.635
8	Ford Mondeo	62	105	224	129	131	97	78	109	83	105	163	1.286
9	Volvo S60	69	67	63	100	283	153	41	81	88	114	131	1.190
10	Peugeot 508	41	189	75	51	107	267	24	31	24	34	211	1.054
11	Toyota Avensis	49	49	81	50	39	44	27	53	28	46	88	554
12	Jaguar XE	14	13	21	12	9	6	1	8	13	11	18	126
13	Citroen DS 5	1	5	1	0	8	8	5	4	6	10	22	70
14	Mazda 6	3	3	4	9	6	1	0	18	14	0	1	59
15	Renault Latitude	13	39	7	0	0	0	0	0	0	0	0	59
16	BMW i3	1	2	3	2	2	7	0	1	2	0	2	22
18	Honda Accord	2	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	10
19	Infiniti Q50	0	0	0	3	0	2	0	2	1	0	0	8
21	Lexus IS	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	6
	TOPLAM	2.618	4.678	6.070	6.749	7.708	7.522	4.743	5.975	5.846	6.967	11.891	70.752

Çizelge 4.1'te verilen satış rakamları dikkate alınarak konvansiyonel taşıt olarak Volkswagen Passat seçilmiştir. Seçilen taşıtın güç aktarma organları seri hibrit güç aktarma konfigürasyonuna dönüştürülmüştür.

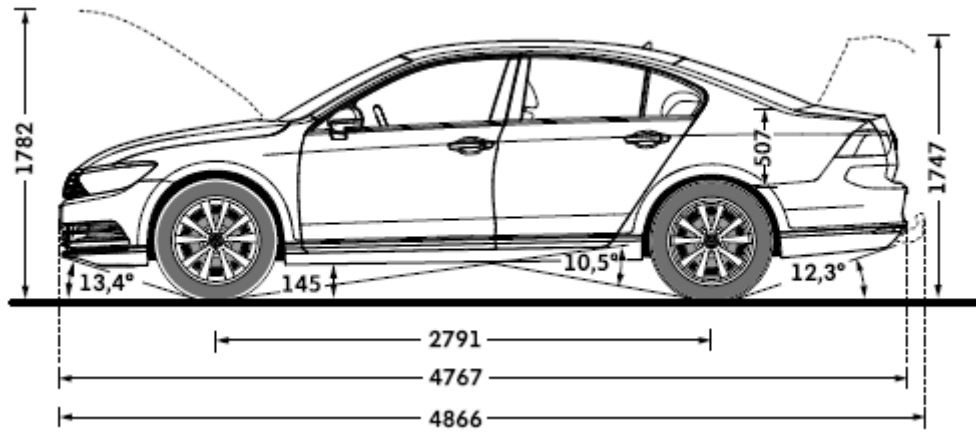
4.2 Konvansiyonel Taşıtın Tanıtılması

Seçilen konvansiyonel taşıtın boyut,motor,performans ve tüketim verileri ürün katalogundan alınmış ve aşağıda verilmiştir[13].

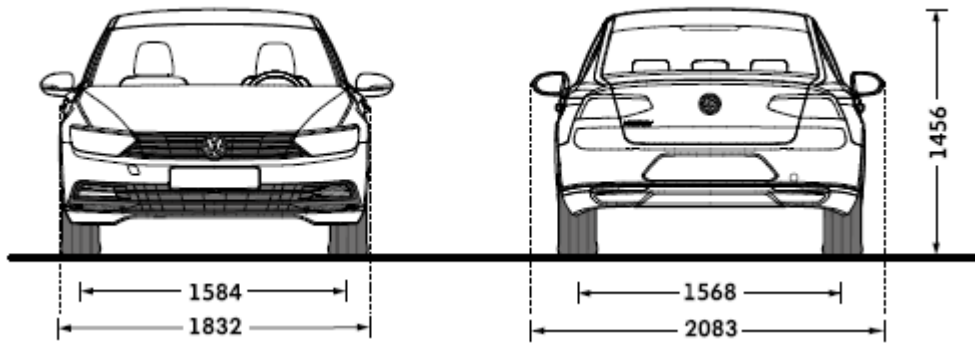
-VW Passat (1,6 lt TDI BMT 120 PS Manuel/DSG)

Boyutlar ve Ağırlık

- Uzunluk(mm): 4767
- Genişlik(mm): 1832
- Yükseklik(mm): 1477
- Aks aralığı(mm): 2791
- Yakıt Tankı(lt): 59
- Dönme Çapı(m): 11,7
- Bagaj Kapasitesi(lt):650
- Boş Ağırlık(kg): 1485



Şekil 4.1: VW Passat yanal görünüm.



Şekil 4.2: VW Passat önden ve arkadan görünüm.

Taşıt Özellikleri

- Motor Tipi: 4 silindir 16 V dizel TDI CR motor
- Motor hacmi(lt/cm3)= 1,6/1598
- Maks. güç, kW (PS) (dv/dk)= 88 (120)/4000
- Maks. tork, Nm (dv/dk)= 250/1750-3500

- Karışım sistemi= Common-rail direkt dizel enjeksiyon
- Çekiş Sistemi:Önden Çekişli
- Son dişli oranı(i_0) =3,27
- Aerodinamik katsayı:0,27

Performans

- Maksimum hız (km/s)=204
- 0 - 100 km/s hızlanma (sn)=11
- Beygir Gücü=120

Lastik

- 215/60R15
- Lastik Çapı:665 mm
- Genişlik:215 mm
- Lastik yanağı:130 mm
- Çevre:2085 mm

Vites oranları ve kademeleri

Çizelge 4.2: Vites oranları ve kademeleri[14].

Vites	Vites Oranı	Vites Kademesi
1 (i_{g_1})	3.78	0-30 km/saat
2 (i_{g_2})	2.12	30-50 km/saat
3 (i_{g_3})	1.43	50-70 km/saat
4 (i_{g_4})	1.03	70-90 km/saat
5 (i_{g_5})	0.84	90-.... km/saat

Tüketim Değerleri

- CO₂ (g/km)= 110/107
- Yakıt tüketimi (lt/100 km)
 - Şehir içi: 4,9/4,6
 - Şehir dışı: 3,8/3,9
 - Ortalama: 4,2/4,1

4.3 Konvansiyonel Taşıtın Farklı Sürüş Çevrimlerinde Koşulması

Güç tüketimini belirlemek için seçilen konvansiyonel taşıt NEDC ve WLTP sürüş çevrimlerinde koşulmuştur. Bu iki sürüş çevriminin seçilmesinin belirli sebepleri vardır. Elektrikli ve hibrit araçlar için oluşturulan emisyon regülasyonlarına göre Avrupa Birliği bölgesinde emisyon testleri NEDC çevrimine göre, Amerika'da ise FTP75 çevrimine göre yapılmaktadır.

EU6 standartlarına göre elektrikli taşıtlar için iki test gerekmektedir. İki testte de NEDC çevrimi zorunludur. İlk test elektriksel enerji depolama aracının tam dolu şarj durumunda olduğu durumda, ikinci test ise elektriksel enerji depolama aracının minimum şarj durumunda yapılmaktadır.

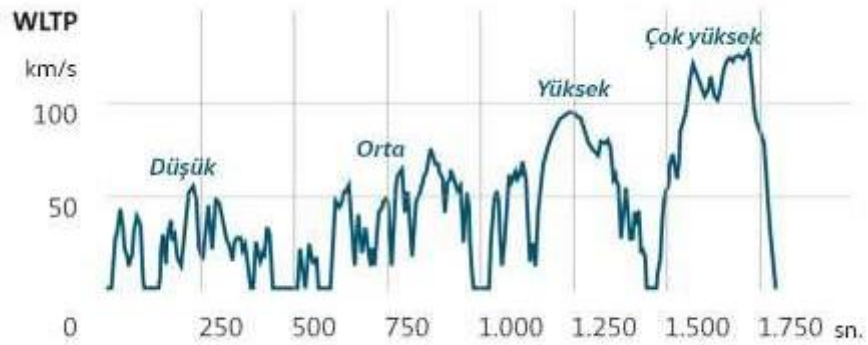
NEDC çevrimi yerine WLTP çevriminin seçilmesinin nedenleri şunlardır[15]:

- WLTP çevriminin gerçek, dinamik sürüş koşullarını yansıtan değişken ivmelenme durumu, NEDC çevriminin daha teorik bazlı olması.
- NEDC çevriminin 1980'lerde oluşturulmuş eski bir çevrim olması, WLTP çevriminin 2017 yılında oluşturulmuş, yeni ve daha kapsamlı bir test olması.
- NEDC ve WLTP çevrimlerini karşılaştıran çalışmaların yapılmakta olması. 2016 yılında TNO bu iki çevrimi karşılaştıran bir makale yayınlamıştır. Bu makalede birçok farklı dizel araç için iki çevrimdeki emisyon değerleri karşılaştırılmıştır.
- WLTP çevrimi NEDC çevrimine göre çok daha kapsamlı, dinamik sürüş koşullarını yansıtan, daha uzun süreli, daha yüksek maksimum hıza çıkılan bir çevrimdir.
- Çevrim süresi NEDC çevriminde 20 dakika, WLTP çevriminde 30 dakikadır.
- Çevrim mesafesi NEDC çevriminde 11 kilometre, WLTP çevriminde ise 22.65 kilometredir.
- WLTP çevriminde daha fazla sayıda faz vardır. NEDC çevrimi 2 fazlıdır. Bu çevrimler %66 oranında kentsel, %34 oranında kentsel olmayan sürüş koşullarını içerir. WLTP çevrimi 4 adet daha dinamik fazdan oluşur. %52 kentsel, %48 kentsel olmayan sürüş koşullarını içerir.
- NEDC çevriminde ortalama hız 36.6 km/saat iken WLTP çevriminde ortalama hız 46.5 km/saat'tir.
- NEDC çevriminde maksimum hız 120 kilometre/saat iken WLTP çevriminde maksimum hız 131 kilometre/saat'tir.

- NEDC çevriminin metropol şehirler için gerçek sürüş koşullarını yansıtmaması da bir diğer sebeptir. NEDC çevrimini trafiğin yoğun olduğu, sık dur kalk şeklinde sürüş durumunun olduğu New York gibi şehirlerin sürüş çevrimi ile karşılaştıran araştırmalar da yapılmış. Bu araştırmaların sonucuna göre NEDC çevrimi elektrikli araçlar için gerçek güç tüketimini yansıtmayan bir çevrimdir.

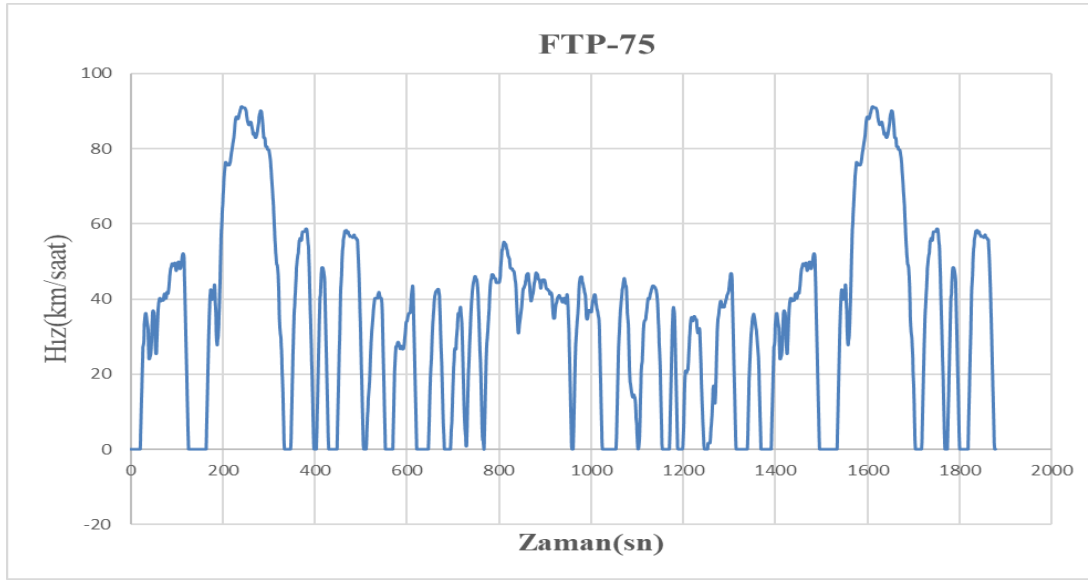


Şekil 4.3: NEDC hız profili.

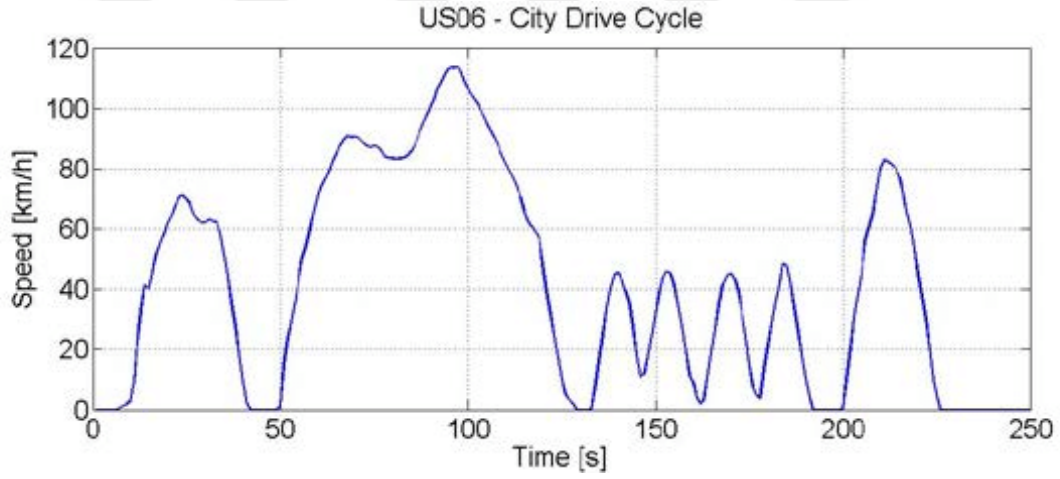


Şekil 4.4: WLTP hız profili.

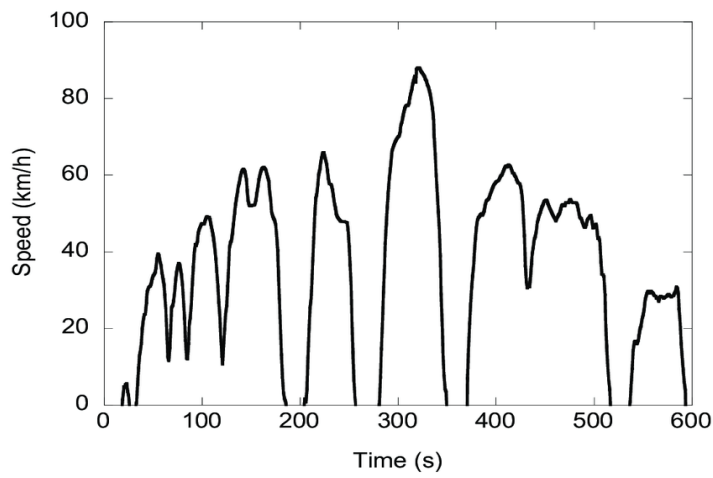
FTP75 çevrimi ise SULEV emisyon standartlarında kullanılan bir çevrimdir. SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) emisyon standartlarını sağlamak için üç çevrimden gerekli değerleri elde etmek gerekir. Bunlardan biri FTP75 çevrimidir. Diğer iki çevrim yüksek yükte koşulan US06 ve klima çevrimi olan SC03 çevrimidir. SULEV emisyon limitleri her test için sağlanmalıdır[3].



Şekil 4.5: FTP75 hız profili.



Şekil 4.6:US06 hız profili.



Şekil 4.7: SC03 hız profili.

FTP75,NEDC ve WLTP çevrimlerinin verileri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3: FTP75,NEDC,WLTP çevrim verileri.

	Süre(sn)	Mesafe(m)	Ortalama Hız(km/saat)	Maksimum Hız(km/saat)	Emisyon Standardı
NEDC	1180	11017	33.6	120	EU6
WLTP	1800	22649	46.5	131	-
FTP75	1874	17787	34.2	91.25	SULEV

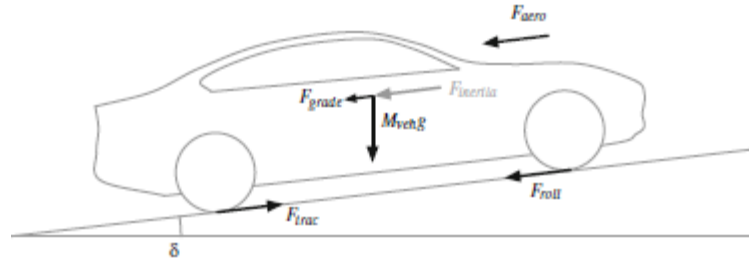
Çizelge 4.4’te ise g/km olarak EU6 ve SULEV emisyon standartlarındaki limit değerler verilmiştir.

Çizelge 4.4: Limit emisyon değerleri(g/km)[3].

	THC	NMOG	CO	NO_x	PM	HCHO
EU6	0.1	0.068	1	0.06	0.0045	-
SULEV	0.006	0.006	0.62	0.012	0.006	0.002

4.4 Yol Dirençleri ve Dinamik Taşıt Denklemleri

Bu bölümde çevrimlerin hız profillerine göre oluşan yol dirençleri ve taşıtın genel dinamik denklemleri açıklanmıştır.



Şekil 4.8:Hareket halindeki taşıta etki eden kuvvetler

Şekil 4.8’da hareket etmekte olan bir taşıta etki eden kuvvetler gösterilmiştir. Taşıtın hareketine direnç gösteren yuvarlanma direnci,aerodinamik direnç,eğim direnci ve ivmelenme direnci aşağıda açıklanmıştır.

4.4.1 Yuvarlanma direnci

Yuvarlanma direnci lastik malzemesindeki histereze sonucu oluşmaktadır.

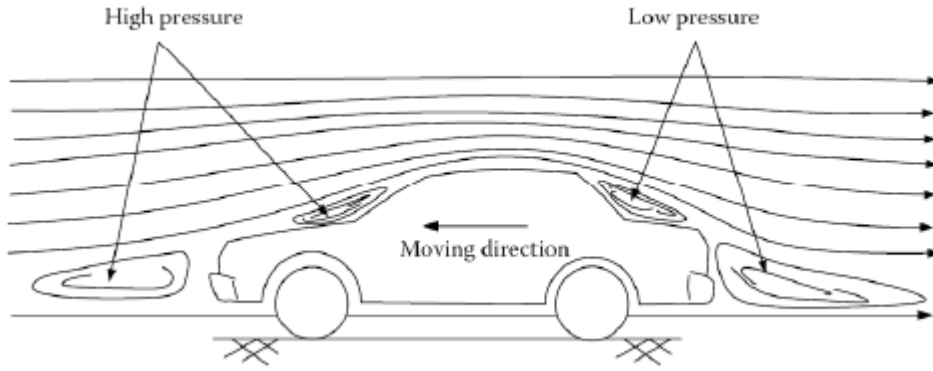
$$F_{yuvarlanma}=f_r \cdot M \cdot g \quad (4.1)$$

Burada M taşıt kütlesi, g yerçekimi ivmesi, f_r de yuvarlanma direç katsayısıdır. f_r değeri yol yapısına göre değişmektedir. Yuvarlanma direncinin hıza bağlı değişimi için aşağıda verilen formül kullanılabilir.

$$f_r = 0.01 \left(1 + \frac{v}{160} \right) \quad (4.2)$$

Bu formül 128 km/saat değerindeki hıza kadar geçerlidir. Yapılan hesaplamalarda yuvarlanma direç katsayısının belirlenmesine bu formül kullanılmıştır.

4.4.2 Aerodinamik direnç kuvveti



Şekil 4.9: Aerodinamik direnç kuvveti oluşum mekanizması

Aerodinamik direnç kuvveti *Şekil direnci* ve *Deri sürtünmesi* bileşenlerinden oluşarak taşıtın hareketine direnç gösterir.

Şekil Direnci: Taşıtın ileriye doğru tahriki taşıtın önünde bulunan havayı iter. Fakat hava anlık olarak taşıtın önünden gidemez ve bu yüzden basıncı artar. Böylece taşıtın önünde yüksek basınçlı bir hava kütlesi oluşur. Ayrıca, taşıtın arkasında kalan hava kütlesi de taşıtın tahrikinden dolayı oluşan boşluğu anında dolduramaz ve buna bağlı olarak taşıtın arkasında düşük basınçlı bir hava kütlesi oluşur. Öndeki yüksek basınçlı hava kütlesi taşıtı iterken arkadaki düşük basınçlı hava kütlesi taşıtı çeker. Bu nedenle taşıtın tahrikine direnç oluşur.

Deri Sürtünmesi: Taşıt yüzeyine yakın olan hava kütlesi neredeyse taşıt ile aynı hızda hareket eder. Fakat taşıta uzak olan hava kütlesi sabit kalır. Arada kalan hava moleküllerinin hızları geniş bir aralıkta değişir. İki hava molekülünün hızları arasındaki fark bir sürtünme oluşturur. Bu sürtünme aerodinamik direnç kuvvetinin ikinci bileşenidir.

Aerodinamik direnç kuvveti şu şekilde hesaplanabilir:

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \rho A_f C_D (V - V_w)^2 \quad (4.3)$$

Burada ρ havanın yoğunluğu, C_D taşıtın şekline bağlı olan aerodinamik direnç katsayısı, V_w rüzgar hızı, V taşıtın hızı, A_f ise taşıtın ön alanıdır. Yapılan hesaplamalarda rüzgar hızının büyüklüğü, geliş açısı gibi veriler bulunmadığından ve rüzgar hızı sıfır kabul edilmiştir.

4.4.3 Yokuş direnci

Bir araç eğimli bir yolda yukarıya doğru hareket ediyorsa ağırlığından dolayı bir direnç kuvveti oluşur. Bu yokuş direnci,

$$F_{yokuş} = Mgsin\alpha \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada α taşıtın yatay eksen ile yaptığı eğim açısıdır. Konvansiyonel taşıt için yapılan hesaplamalarda hız profilleri düz yol için olduğundan taşıtın düz yolda hareket ettiği kabul edilmiş ve yokuş direnci hesaba katılmamıştır.

4.4.4 İvmelenme direnci

İvmelenme direnci taşıt kütlesinin ataletinden ve taşıttaki rotasyonel kütlelerin translasyonel hareketine bağlı olarak oluşmaktadır. İvmelenme direnci,

$$F_{ivmelenme} = \delta Ma \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada M taşıt kütlesi, a taşıt ivmesi, δ ise rotasyonel atalet faktörüdür. WLTP çevriminde taşıtın anlık ivme değerleri de verilmektedir. FTP75 çevriminde ise anlık ivme değerleri her saniye için hesaplanmıştır. Rotasyonel atalet faktörü için ise aşağıdaki ampirik formül kullanılmıştır.

$$\delta = 1.04 + 0.0025 i_g^2 i_0^2 \quad (4.6)$$

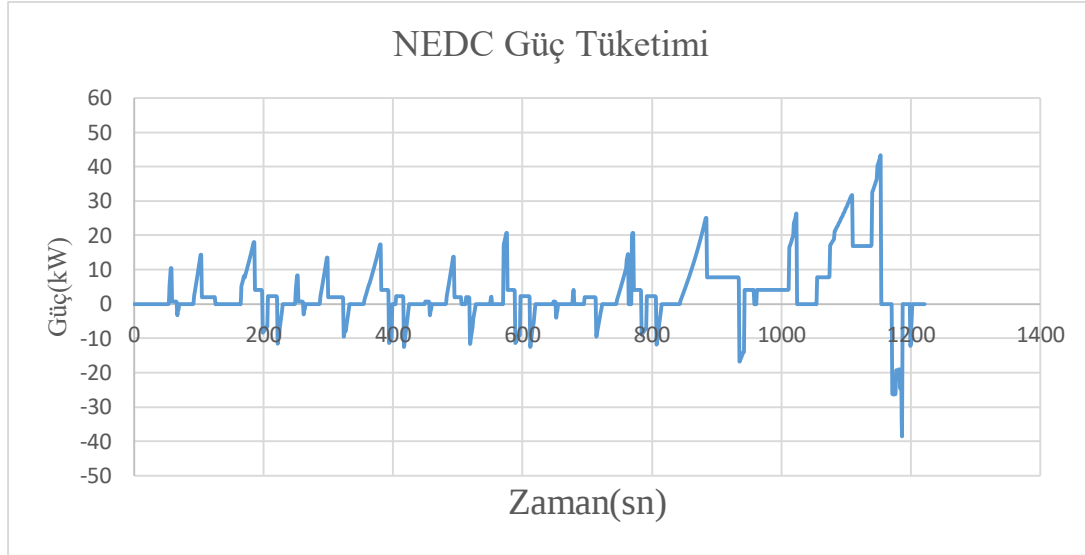
Burada i_g vites oranı, i_0 ise son dişli oranıdır.

4.5 Konvansiyonel Taşıtın NEDC ve WLTP Çevrimlerinde Koşulması

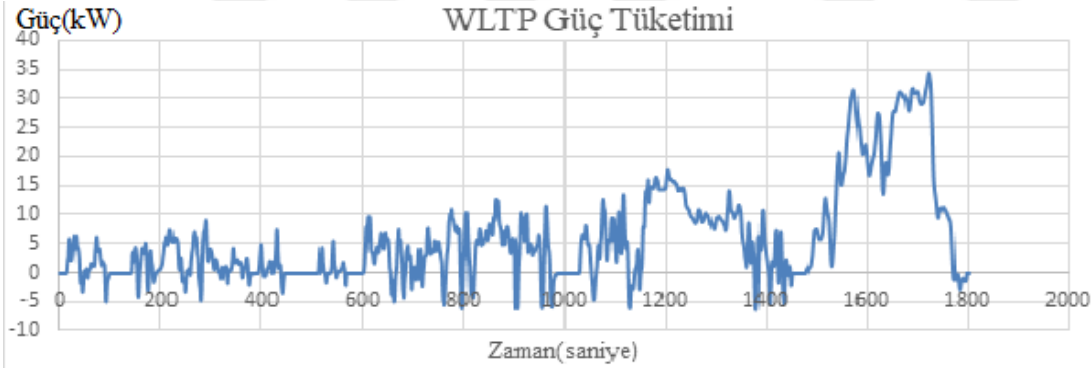
Seçilen konvansiyonel taşıtın güç tüketimini belirlemek için taşıt NEDC ve WLTP çevrimlerinde koşulmuştur. Güç aktarma organları seri hibrit konfigürasyonuna dönüştürüldükten sonra da hibrit taşıt AVL Cruise programında WLTP çevriminde

koşulmuştur. Konvansiyonel taşıtının motor karakteristiği bilinmediğinden hesaplamalar Excel kullanılarak yapılmıştır.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de NEDC ve WLTP çevrimlerinde taşıtın güç tüketimi verilmiştir.



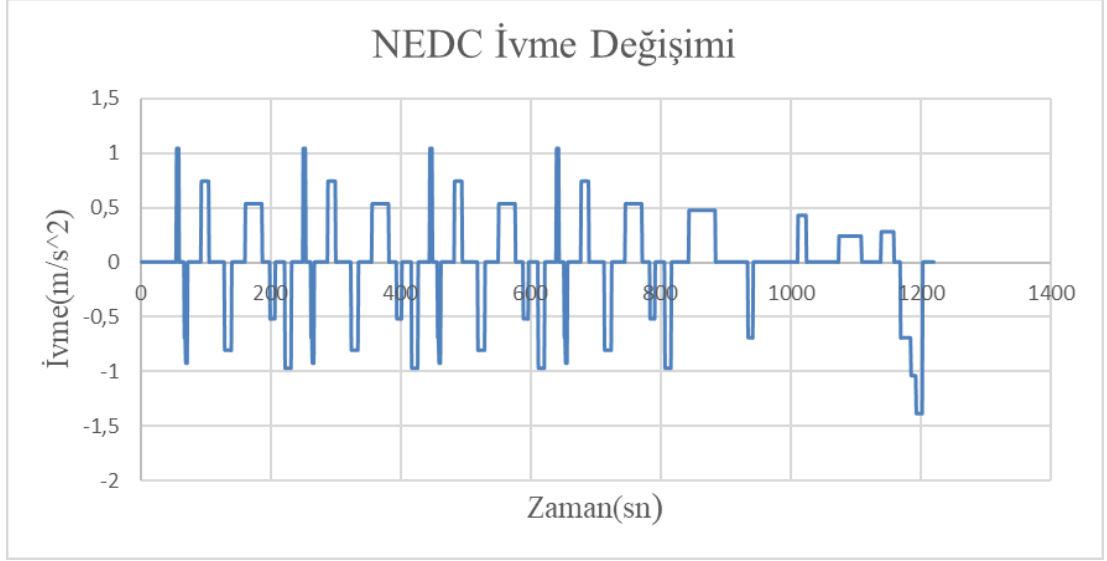
Şekil 4.10: NEDC çevriminde konvansiyonel taşıtın güç gereksinimi.



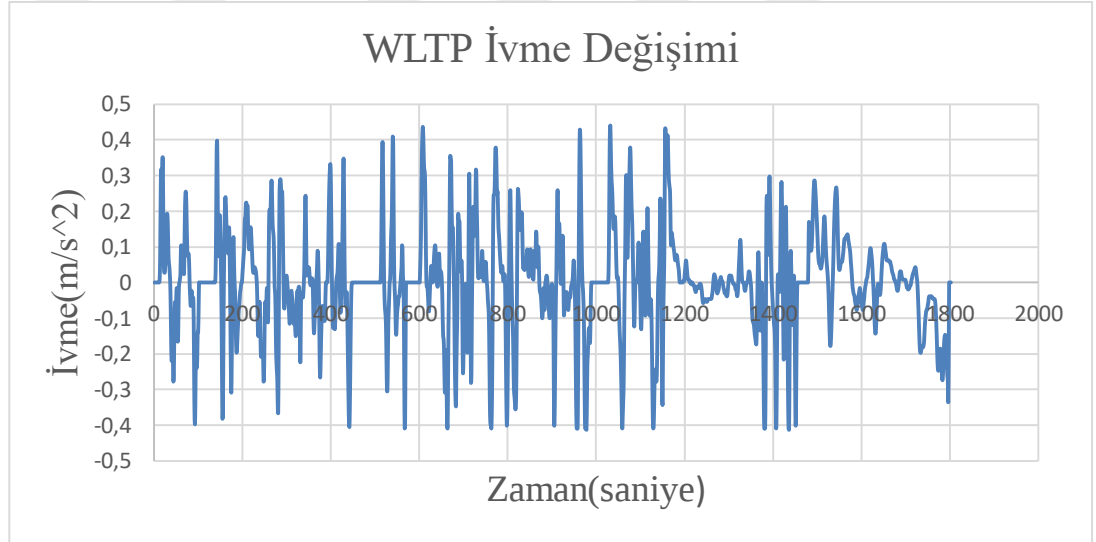
Şekil 4.11: WLTP çevriminde konvansiyonel taşıtın güç gereksinimi.

Şekil 4.11’te de görüldüğü gibi WLTP çevriminde taşıtın maksimum güç ihtiyacı yaklaşık olarak 35 kW’tır. Bu değer yaklaşık olarak 130 km/saat hızda seyir edebilmek için gerekli olan güç değeridir.

NEDC çevriminde maksimum hız daha düşük olduğu halde daha yüksek güç değeri görülmektedir. Bunun nedeni iki çevrimdeki ivme farkıdır. NEDC çevriminde ivmelenme direnci daha yüksek güç tüketimine neden olmuştur. WLTP çevrimindeki ivme değişimi daha dinamik ve gerçek sürüş koşullarını daha iyi yansıtan değerlerdedir. İki çevrim boyunca taşıtının ivme değişim grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.12: NEDC çevriminde ivme değişim grafiği.



Şekil 4.13: WLTP çevriminde ivme değişim grafiği.

4.6 Seri Hibrit Taşıtın Tanıtılması

Seçilen konvansiyonel taşıtın güç aktarma organları seri hibrit konfigürasyonuna dönüştürülmüştür. Menzil arttırıcı olarak Wankel motoru ve iki silindirli benzin motoru kullanılmıştır.

Seri hibrit konfigürasyonunda taşıt tahriki sadece elektrik motoru tarafından sağlandığından yeterli büyüklükte bir elektrik motoru gerekmektedir. Büyük bir elektrik motorun diğer bir avantajı da rejeneratif frenlemede daha yüksek enerji geri kazanımıdır. Piyasadaki seri hibrit taşıtlarda da 100-125 kW'lık elektrik motorları

mevcuttur. Bu nedenle elektrik motorun güç derecesini belirlemede Bölüm 4.3'te belirtilen tasarım prensipleri göz önüne alınmıştır.

Konvansiyonel taşıt ile seri hibrit taşıtı yakıt tüketimi, emisyon değerleri açısından daha iyi karşılaştırmak için konvansiyonel taşıtın ivmelenme performansı referans olarak alınmıştır. Aynı şekilde, daha iyi bir karşılaştırma yapabilmek adına taşıt boyutları da değiştirilmemiştir.

Taşıt kütlelerinin eklenen pil, jeneratör, elektrik motoru nedeniyle yaklaşık olarak 200 kg artacağı öngörülmüştür. Konvansiyonel ve hibrit taşıtın tahrik bileşenlerinin kütleleri Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5: Tahrik bileşenlerinin kütleleri.

Bileşen	Konvansiyonel	Hibrit	Kütle(kg)
1,6 L 4 Silindirli Motor	✓	-	200
Vites Kutusu	✓	-	50
Elektrik Motor	-	✓	100
Pil	-	✓	210
Jeneratör	-	✓	50
Wankel Motoru	-	✓	75
2 Silindirli Benzin Motoru	-	✓	114

Menzil artıcı olarak Wankel motoru kullanıldığında taşıt ağırlığı 185 kg, 2 silindirli benzin motoru kullanıldığında ise 224 kg olmaktadır. Bu iki değer ortalama alınarak, taşıt kütlelerinde yaklaşık olarak 200 kg değerinde bir artış hesaba katılmıştır.

Pillerin enerji kapasitesini ve kütlelerini belirlerken hibrit taşıt WLTP çevriminde koşulsuz ve güç tüketimine göre gerekli pil kapasitesi belirlenmiştir. Taşıtın tahrik bileşenlerinin belirlenmesi alt bölümlerde daha detaylı olarak açıklanmıştır.

Seri hibrit taşıtın tüm özellikleri şu şekildedir;

Boyutlar ve Ağırlık

- Uzunluk(mm): 4767
- Genişlik(mm): 1832
- Yükseklik(mm): 1477
- Aks aralığı(mm): 2791

- Yakıt Tankı(lt): 59
- Boş Ağırlık(kg): 1685

Taşıt Özellikleri

- Çekiş Motoru:Kalıcı Mıknatıslı Fırçasız DC Motor
- Maks.Hız:7500 rpm
- Maks. güç= 120 kW
- Maks. Tork= 305 Nm
- Çekiş Sistemi:Önden Çekişli
- Tek vites oranı =6
- Aerodinamik katsayı:0,27
- Menzil Arttırıcı 1:Wankel motoru
- Menzil Arttırıcı 2:2 Silindirli benzin motoru

Performans

- Maksimum hız (km/s)=156
- 0 - 100 km/s hızlanma (sn)=11

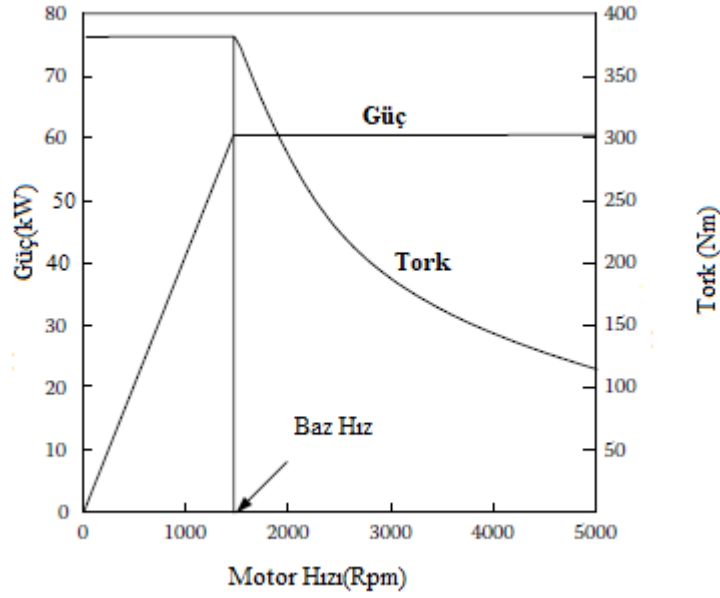
Lastik

- 215/60R15
- Lastik Çapı:665 mm
- Genişlik:215 mm
- Lastik yanağı:130 mm
- Çevre:2085 mm

4.6.1 Elektrik motoru seçimi

Bölüm 4.3'te de belirtildiği gibi seri hibrit araçlarda elektrik motorunun güç derecesi taşıtın ivmelenme performansına,motor karakteristiğine ve transmisyon karakteristiğine bağlıdır.

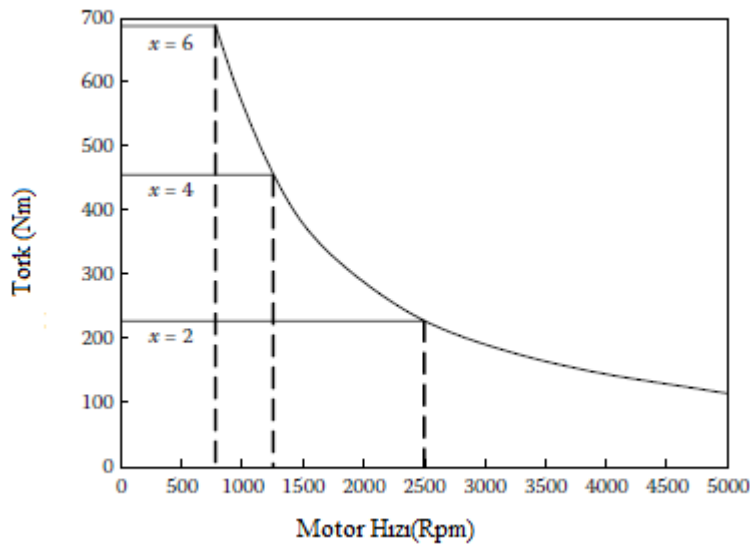
Şekil 4.14'da tipik bir elektrik motor karakteristiği verilmiştir. Görüldüğü gibi düşük hızlarda(baz hızından düşük) elektrik motoru sabit bir tork sağlamaktadır. Yüksek hızlarda(baz hızından yüksek) motor sabit güç sağlamaktadır. Bu karakteristik genel olarak hız oranı x ile ifade edilmektedir. Hız oranı, x ,elektrik motorun maksimum hızının baz hızına oranı olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4.14: Elektrik Motor Karakteristiği.

Düşük hızlarda, akı sabit kalırken motora sağlanan voltaj, hız ile orantılı olarak artmaktadır. Baz hız noktasında ise motor voltajı kaynak voltajına ulaşmaktadır. Baz hızından sonra motor voltajı sabit kalırken akı zayıflamaktadır ve hıza bağlı olarak hiperbolik bir şekilde düşmektedir.

Şekil 4.15’de 60 kW’lık bir elektrik motorunun farklı hız oranları(x) için hız-tork karakteristiği verilmiştir.



Şekil 4.15: 60 kW’lık bir elektrik motorunun farklı hız oranlarında hız-tork grafiği.

Açıkça görüldüğü gibi uzun sabit güç eğrisi için motor torku düşük hızlarda artmaktadır. Bu durumda taşıtın ivmelenme ve yokuş çıkma performansı iyileşmekte ve transmisyon gereksinimi basitleşmektedir.

Farklı motorlar konstrüksiyonlarına ve karakteristiklerine bağlı olarak farklı hız oranlarına sahiptir. Örneğin kalıcı mıknatıslı motorların hız oranı kalıcı mıknatıslardan dolayı oluşan yüksek manyetik alana bağlı olarak düşüktür ($x < 2$). Anahtarlı relüktans motorların hız oranı $x > 6$ şeklindedir ve indüksiyon motorlarının hız oranı yaklaşık olarak $x = 4$ şeklindedir.

Çoklu ya da tek oranlı transmisyon kullanımı da elektrik motorun hız-tork karakteristiğine bağlı olarak belirlenmektedir. Motorun güç derecesine göre, eğer motor uzun bir sabit güç bölgesine sahip ise tek bir vites oranı yeterlidir. Diğer durumda çoklu (iki ya da daha fazla) vites gerekmektedir.

Şuanda otomotiv uygulamalarında en çok tercih edilen elektrik motorları nadir toprak elementlerini mıknatıs olarak kullanan kalıcı mıknatıslı motorlardır. Yüksek özgül tork sağlamaları ve kayıplarının düşük olması nedeniyle kullanımları yaygındır. Çizelge 4.6'de piyasadaki bazı araçlarda kullanılan elektrik motoru tipleri verilmiştir[9].

Çizelge 4.6: Elektrikli ve Hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorları.

Taşıt	Motor Tipi	Motor Özelliği
BMW i3	Kalıcı mıknatıslı	Nadir toprak elementleri
Chevrolet Volt	Kalıcı mıknatıslı	Ferrit/Nadir toprak elementleri
Hyundai Sonata	Kalıcı mıknatıslı	Nadir toprak elementleri
Mitsubishi PHEV	Kalıcı mıknatıslı	Nadir toprak elementleri
Nissan Leaf	Kalıcı mıknatıslı	Nadir toprak elementleri
Porsche Panamera	Kalıcı mıknatıslı	Nadir toprak elementleri
Tesla Model S	İndüksiyon	Bakır kafesli
Toyota Prius	Kalıcı mıknatıslı	Nadir toprak elementleri

İndüksiyon motorlarının bir diğer dezavantajı da 5000 rpm'den yüksek hızlara ulaşamıyor olmalarıdır. Kalıcı mıknatıslı motorlar ise 6000-7500 rpm arasında çalışabilmektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı tasarlanan seri hibrit taşıtta elektrik motoru olarak kalıcı mıknatıslı motor seçilmiştir. Bölüm 3.3'te de verilen denklem 3.5'e göre elektrik motorun güç derecesi hesaplanmıştır.

$$P_t = \frac{\delta M}{2t_a} (V_f^2 + V_b^2) + \frac{2}{3} M g f_r V_f + \frac{1}{5} \rho_a C_D A_f V_f^3$$

Seçilen konvansiyonel taşıtın ivmelenme performansı referans alınmıştır. Bu durumda 0-100 km/saat arasında taşıtın ivmelenme süresi 11 saniyedir. Konvansiyonel taşıtın kütlesi 1485 kg iken hibrit taşıtın kütlesi 1685 kg'dır. Bu durumda güç derecesi için gerekli tek parametre taşıtın elektrik motorun baz hızındaki hızıdır.

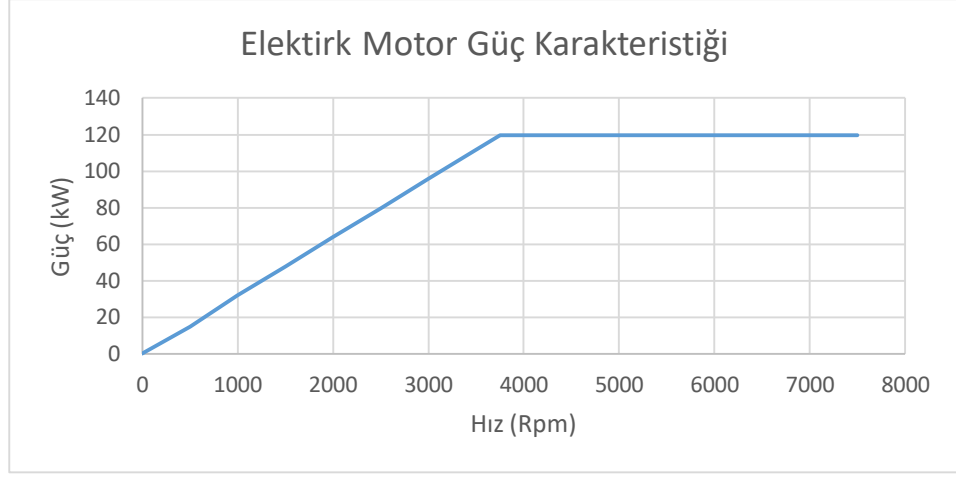
Elektrik motoru olarak maksimum hızı 7500 rpm olan bir kalıcı mıknatıslı motor seçilmiştir. Bu durumda elektrik motorun baz hızı 3750 rpm olmaktadır. Tek oranlı transmisyon bu noktada taşıt maksimum hızı ve elektrik motor baz hızı dikkate alınarak 6 olarak belirlenmiştir. Bu durumda taşıtın elektrik motorun baz hızındaki hızı;

$$V = (3750 \text{ rpm}) \frac{\pi}{30i_g} r_d$$

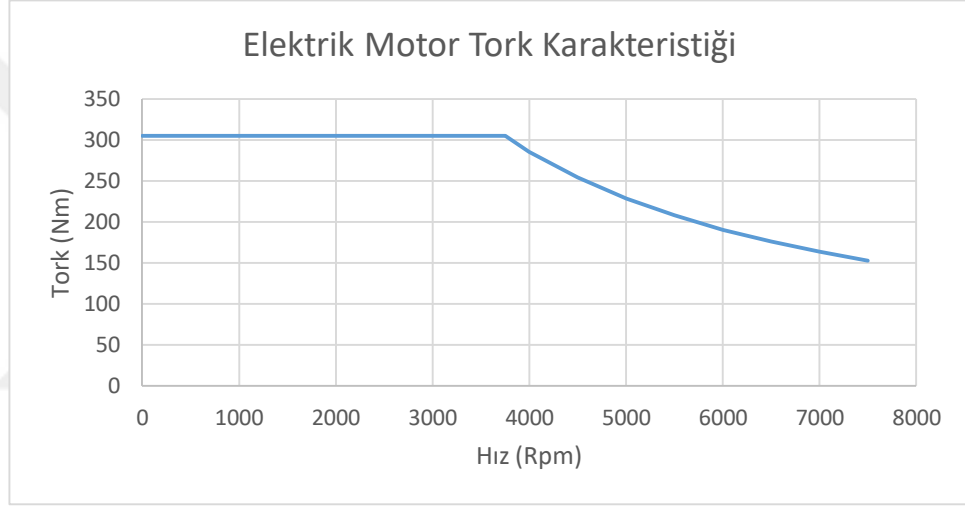
formülü ile hesaplanmıştır. Burada i_g tek oranlı vites, r_d dinamik tekerlek yarıçapıdır. Konvansiyonel taşıtın tekerleklerinde bir değişiklik yapılmadığından dinamik tekerlek yarıçapının değeri 0,3325 m olarak kalmıştır. Bu durumda elektrik motorun baz hızındaki taşıt hızı;

$$V = (3750 \text{ rpm}) \frac{\pi}{30 \times 6} (0,3325 \text{ m}) = 21,76 \text{ m/s}$$

olarak hesaplanmıştır. Tüm değerler güç derecesi için verilen formülde yerine yazıldığında hibrit taşıtın güç derecesi $P_t = 119,3 \text{ kW}$ olarak hesaplanmıştır. Taşıtın güç derecesi belirlendikten sonra Excel'de Hız-Tork ve Hız-Güç karakteristikleri oluşturulmuştur. Elektrik motorun karakteristik eğrileri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.16: Elektrik motor güç karakteristiği.

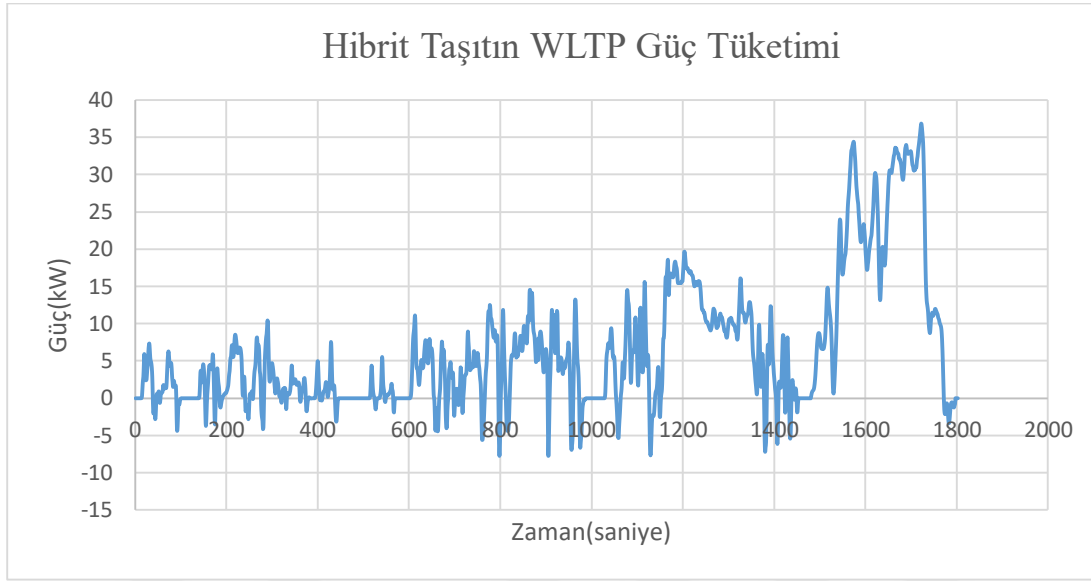


Şekil 4.17: Elektrik motor tork karakteristiği.

4.6.2 Pil kapasitesinin belirlenmesi

Pil kapasitesi günlük sürüş menziline göre belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmalar da pil kapasitesinin günlük sürüş menziline göre belirlenmesine yöneliktir. Örneğin Almanya için pillerden karşılanacak günlük menzil 50 km olarak düşünülmektedir. Bu nedenle pil kapasitesi belirlenirken hibrit taşıt WLTP çevriminde koşulmuştur. Taşıt kütleindeki artışa bağlı olarak hibrit taşıtın WLTP çevrimindeki güç tüketimi konvansiyonel taşıtın güç tüketiminden yüksektir. Şekil 4.18’de hibrit taşıtın WLTP çevrimindeki güç tüketimi gösterilmiştir.

WLTP çevrimi 22,65 kilometre menziline ve 30 dakika süresindedir. Hibrit taşıtın WLTP çevrimindeki güç tüketimi yaklaşık olarak 37 kW olarak hesaplanmıştır. Bu durumda çevrimi bir kez gidebilmek için gerekli pil kapasitesi;



Şekil 4.18: Hibrit Taşıtın WLTP çevrimindeki güç tüketimi.

$$E_{pil} = (37 \text{ kW}) \times (0.5 \text{ saat}) = 18.5 \text{ kWsaat}$$

olarak hesaplanır. Günlük menzil için WLTP çevriminin iki kez gidileceği düşünülürse pillerin enerji kapasitesi;

$$E_{pil} = (18.5 \text{ kWsaat}) \times 2 = 37 \text{ kWsaat}$$

Hibrit taşıtta elektrik motoru jeneratör olarak kullanılarak rejeneratif frenleme ile konvansiyonel taşıtlarda kaybolan frenleme enerjisi geri kazanılabilir. Pil terminallerindeki rejeneratif frenleme gücü şu şekilde ifade edilir:

$$P_{b-in} = -\frac{\alpha V}{\eta_t \eta_m} (Mg(f_r + i) + \frac{1}{2} \rho_a C_D A_f V^2 + M \delta \frac{dV}{dt}) \quad (4.7)$$

Burada yol eğimi, i ve ivme, $\frac{dV}{dt}$ negatif işaretlidir. α ($0 < \alpha < 1$) rejeneratif frenleme faktörü olarak tanımlanan, elektirik motoru tarafından geri kazanılan toplam fren enerjisi yüzdesidir.

Rejeneratif frenleme faktörü α uygulanan fren kuvvetinin ve fren sisteminin tasarımının ve kontrolünün bir fonksiyonudur.

Pillerin net enerji tüketimi şu şekilde hesaplanabilir:

$$E_{out} = \int_{T_{ahrik}}^t P_{b-out} dt - \int_{Frenleme}^t P_{b-in} dt \quad (4.8)$$

Rejeneratif frenleme faktörü(α) 0,5,transmisyon verimi(η_t) 0,95 ve elektrik motor verimi(η_m) 0,80 alınması durumunda rejeneratif frenleme durumunda geri kazanılacak fren gücü WLTP çevrimi için hesaplanmıştır.



Şekil 4.19: WLTP çevriminde rejeneratif frenleme ile geri kazanılan fren gücü.

Frenleme durumunda taşıt ivmesi negatif olduğundan fren gücü denkleminin işareti pozitif olacaktır. Şekil 4.19’de pozitif güç değerleri rejeneratif frenlemede kazanılan güç değerleridir. Şekil 4.19’de görüldüğü gibi rejeneratif frenleme sonucu 5 kW değerinde fren gücü geri kazanılabilmektedir.

Pillerin ağırlığı,maliyeti ve rejeneratif frenleme sonucu oluşan güç kazanımı da düşünülerek hibrit taşıtın pil kapasitesi 35 kWsaat olarak belirlenmiştir. Bu durumda günlük 45,3 km’lik menzil için taşıtın pil kapasitesi 35 kWsaat’tir.

Çizelge 2.2’de otomotiv uygulamalarında kullanılan pillerin özellikleri verilmişti. Günümüzde lityum iyon piller yüksek özgül enerjileri,yüksek verimleri ve uzun ömürleri ile elektrikli ve hibrit araçlar için en uygun pil teknolojisi olarak kabul edilmektedir. Lityum iyon pillerin özgül enerjileri 100-265 Wh/kg aralığındadır. Örneğin Porsche Panamera’da 85 kWsaat kapasiteli lityum iyon piller 510 kg değerinde bir kütleye sahiptir. Bu pillerin özgül enerjisi 167 Wh/kg değerindedir.Bu piller referans olarak alınarak seri hibrit taşıta 35 kWsaat’lik pil konulduğunda pillerin kütlesi 210 kg olmaktadır.

4.6.3 Menzil arttırıcıların ve çalışma noktalarının belirlenmesi

Tasarlanan seri hibrit taşıtta menzil arttırıcı olarak İTÜ Otomotiv Laboratuvarı'ndaki deney motorları kullanılmıştır. İTÜ Otomotiv Laboratuvarı'nda iki adet içten yanmalı motor kullanılmaktadır. Biri Wankel motoru diğeri ise tek silindirli bir benzin motorudur. Motorların çalışma noktalarını, çalışma şartlarını, yakıt tüketimlerini ve emisyon değerlerini içeren deney verileri mevcut olduğu için taşıtın AVL Cruise'da modellenmesinde bu veriler kullanılmıştır.

Tek silindirli motorun tam yükte verdiği maksimum güç yaklaşık olarak 10 kW'tır. Yapılan literatür taramasında ve batarya hesabında bu gücün menzil arttırıcının maksimum güç çıkışı için yeterli olmadığı görülmüş ve tek silindirli motorun değerleri iki ile çarpılarak iki silindirli motor olarak düşünülmüştür.

Yapılan literatür taramalarında menzil arttırıcıların genellikle verim, yakıt tüketimi açısından en verimli olduğu 3-4 noktada çalıştırıldığı belirlenmiştir. Seri hibrit konfigürasyonunun en büyük avantajlarından biri içten yanmalı motor ile tekerlekler arasında mekanik bir bağlantı olmadığından, içten yanmalı motoru en verimli olduğu noktalarda çalıştırabilmektir.

Örneğin BMW i3 modellerinde 125-137 kW'lık elektrik motoru ve 0,65 litrelik menzil arttırıcı bulunmaktadır. Menzil arttırıcının maksimum gücü 28 kW'tır. Menzil arttırıcı 22-42 kWh kapasitesindeki pilleri şarj etmede kullanılmaktadır[10].

BMW i3 modelindeki menzil arttırıcının çalışma noktaları şu şekildedir[10];

- Yüksek şarj seviyesi:Pillerdeki şarj seviyesi %16,5'in altına düştüğünde menzil arttırıcı 2400 rpm hızında ve 4,6 bar yükte çalışarak 25 Nm tork ve 6,3 kW güç verir.
- Orta şarj seviyesi:Pillerdeki şarj seviyesi %13,5 ile %15,5 arasında iken menzil arttırıcı 3600 rpm hızında ve 7,8 bar yükte çalışarak 40 Nm tork ve 15,1 kW güç verir.
- Düşük şarj seviyesi:Pillerin şarj seviyesi %13,5'in altına düştüğünde menzil arttırıcı 4500 rpm hızında ve 10,7 bar yükte çalışarak 55 Nm tork ve 25,9 kW güç verir.

Deney motorlarının verileri Çizelge 4.7'da verilmiştir.

Çizelge 4.7: Menzil arttırıcı verileri.

Deney Motoru	Kütle(kg)	Hacim(Litre)
Wankel	75	0,65
Tek Silindirli Benzin Motoru	57	0,454
İki Silindirli Benzin Motoru	114	0,908

Menzil arttırıcıların çalışma noktaları ise şu şekildedir;

Wankel Motoru

- Yüksek şarj seviyesi:2500 rpm hızda ve 2,81 bar yükte motor 7,6 kW güç ve 29,2 Nm tork vermektedir.
- Orta şarj seviyesi:3000 rpm hızda ve 4,43 bar yükte 14,4 kW güç ve 45,9 Nm tork vermektedir.
- Düşük şarj seviyesi:4000 rpm hızda ve 5,15 bar yükte motor 22,3 kW güç ve 53,2 Nm tork vermektedir.

İki Silindirli Benzin Motoru

- Yüksek şarj seviyesi:1500 rpm hızda ve 7 bar yükte motor 7,94 kW güç ve 50,45 Nm tork vermektedir.
- Orta şarj seviyesi:2000 rpm hızda ve 7 bar yükte motor 10,63 kW güç ve 50,53 Nm tork vermektedir.
- Düşük şarj seviyesi:2500 rpm hızda ve 9,85 bar yükte motor 18,66 kW güç ve 71,13 Nm tork vermektedir.

4.7 Seri Hibrit Taşıtın AVL Cruise Programında Modellenmesi

Wankel motoru ve 2 silindirli benzin motoru ile oluşturulan seri hibrit konfigürasyonları AVL Cruise programında modellenmiştir. Oluşturulan modeller WLTP çevriminde koşturulmuştur. İki silindirli benzin motorunun menzil arttırıcı olarak kullanıldığı model Seri Hibrit Model 1,Wankel motorunun menzil arttırıcı olarak kullanıldığı model ise Seri Hibrit Model 2 olarak adlandırılmıştır.

AVL Cruise programı yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini simüle edebildiği gibi taşıt performansını da simüle edebilmektedir. Cruise genel olarak güç aktarma organlarının geliştirilmesinde yakıt tüketiminin,emisyonların,vites

oranlarının, frenleme performansının hesaplanmasında ve optimize edilmesinde kullanılmaktadır.

Elektrik motorun verimi için Cruise içinde bulunan elektrik motor verim haritası seçilmiştir. Bazı bileşenler için bulunamayan parametreler de Cruise içindeki elektrikli araç ve menzil arttırıcılı hibrit araç modellerinden yararlanılarak girilmiştir.

4.7.1 İki silindirli motorun menzil arttırıcı olarak kullanıldığı seri hibrit konfigürasyonu

-Taşıt Modülü

- **Modül İsmi:**Seri Hibrit Model 1
- **Modül Özellikleri**
 - Ön Aks Yüğü:Limitli
 - Sürüş Direnci:Fiziksel(Sürüş direnci sürüklenme katsayısı,yuvarlanma direnci gibi fiziksel değerlere göre tanımlanmıştır.)
 - Rüzgar Direnci Hesaplanması:Ön yüzey alanı ve aerodinamik katsayı(varsayılan ayar)
 - Aerodinamik Katsayılar:Sabit aerodinamik katsayı
 - Hava Kaldırma Kuvveti:Hesaba katılmış
 - Lateral Taşıt Dinamiği:Hesaba dahil değil(Sürüş çevrimlerinde taşıt düz yolda seyir ettiği için viraj davranışı hesaba katılmamıştır)
- **Modül Verileri**
 - Yakıt Deposu Hacmi:0,059 m^3
 - İçten yanmalı motor ile ortam arası basınç farkı:0,0 mbar
 - İçten yanmalı motor ile ortam arası sıcaklık farkı:0,0 K
 - Römork Çubuğu ile ön aks arasındaki mesafe:2791 mm
 - Aks aralığı:2791
 - Bench testindeki destek noktasının yüksekliği:500 mm
 - Ağırlık merkezi mesafesi:1400 mm
 - Ağırlık merkezi yüksekliği:500 mm
 - Ön aks lastik hava basıncı:2,4 bar
 - Arka aks lastik hava basıncı:2,4 bar
 - Boş Ağırlık:1685 kg
 - İzin verilen maksimum ağırlık:2000 kg

Ön yüzey alanı: $2,64 \text{ m}^2$

Aerodinamik katsayı: 0,27

Ön aks hava kaldırma katsayısı: 0,032

Arka aks hava kaldırma katsayısı: 0,01

-Tekerlek Modülleri

- **Modül İsmi:** Sağ Ön, Sol Ön, Sağ Arka, Sol Arka

- **Modül Özellikleri**

Dinamik yuvarlanma yarıçapı: sabit değer

Kayma: Limitli fonksiyon

Yuvarlanma direnci modeli: standart

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

- **Modül Verileri**

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

Lastik sürtünme katsayısı: 1

Referans tekerlek yükü: 4300 N

Tekerlek yükü düzeltme katsayısı: 0,02

Statik yuvarlanma yarıçapı: 331,9 mm

Statik yuvarlanma çevresi: 2085 mm

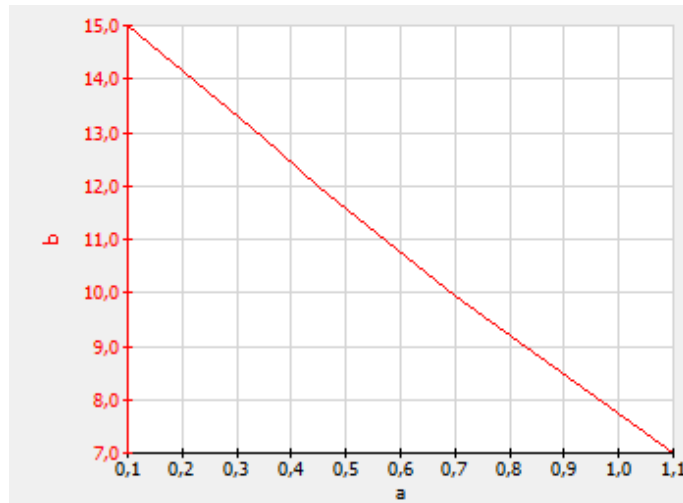
Dinamik yuvarlanma yarıçapı: 332,5 mm

Dinamik yuvarlanma çevresi: 2089,16 mm

Kayma Karakteristiğinde Maksimum:

a= Yolun sürtünme katsayısı(-)

b= Maksimum çekişte kayma(%)

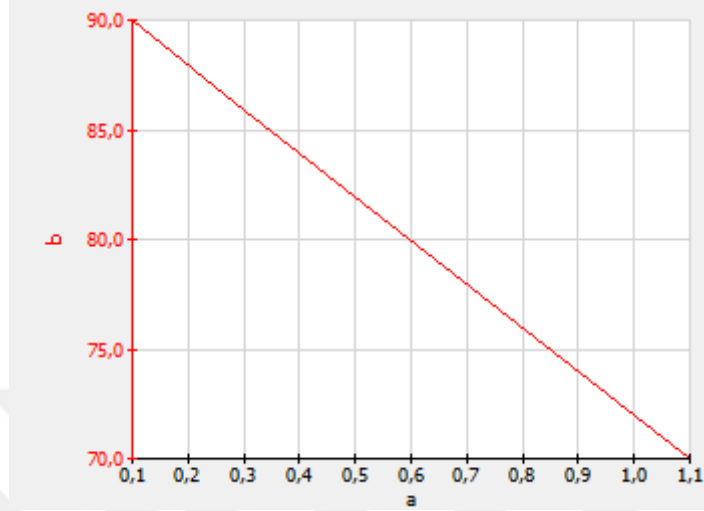


Şekil 4.20: Maksimum kayma karakteristiği.

Kayma karakteristiğinin asimptotu

a=Yolun sürtünme katsayısı(-)

b=Sonsuz kayma durumunda özgül çekiş(%)



Şekil 4.21: Kayma karakteristiğinin asimptotu.

-Ön Fren Modülleri

- **Modül İsmi:**Front Disc Brake
- **Modül Özellikleri**
Mod:Dinamik
Kontrol Değişkeni:Fren Basıncı
- **Modül Verileri**
Fren Pistonu Yüzey Alanı:1800 mm²
Sürtünme Katsayısı:0,25
Özgül Fren Faktörü:1
Efektif Sürtünme Yarıçapı:130 mm
Verim:0,99
Eylemsizlik Momenti:0,02 kg.m²

-Arka Fren Modülleri

- **Modül İsmi:**Rear Disc Brake
- **Modül Özellikleri**
Mod:Dinamik
Kontrol Değişkeni:Fren Basıncı
- **Modül Verileri**

Fren Pistonu Yüzey Alanı:1500 mm²

Sürtünme Katsayısı:0,25

Özgül Fren Faktörü:1

Efektif Sürtünme Yarıçapı:110 mm

Verim:0,99

Eylemsizlik Momenti:0,015 kg.m²

-Tek Oranlı Dişli Modülü

- **Modül İsmi:**Tek vites kademesi

- **Modül Özellikleri**

Hesaplama:Transmisyon oranına göre

Kayıplar:Verim

- **Modül Verileri**

Transmisyon Oranı:6

Giriş atalet momenti:0,001 kg.m²

Çıkış atalet momenti:0,0015 kg.m²

Verim:0,95

-Diferansiyel Modülü

- **Modül İsmi:**Diferansiyel

- **Modül Özellikleri**

Kayıplar:Verim

- **Modül Verileri**

Diferansiyel Kilidi:Kilitsiz

Tork Ayrılma Farkörü:1

Giriş Atalet Momenti:0,0015 kg.m²

Çıkış Atalet Momenti :0,0015 kg.m²

Çıkış Atalet Momenti 2:0,0015 kg.m²

Verim:0,95

-İçten Yanmalı Motor Modülü

- **Modül İsmi:**2 silindirli benzin motoru

- **Modül Özellikleri**

İstenilen Hesaplamalar:Performans,Yakıt Tüketimi,Emisyonlar

Sıcaklık Modeli:Hesaba katılmamış

Rölantideki Yakıt tüketimi/Emisyon değerleri:Sabit değer

Yakıt tüketimi/Emisyon değerleri:Motor eğrisinden

Rölantideki hız:Sabit değer

Maksimum hız:Sabit değer

Kontrol değişkeni:Yük sinyali

Egzoz sistemi modeli:Standart egzoz sistem modeli

- **Modül Verileri**

Motor tipi:Benzinli

Aşırı doldurma:yok

Motor hacmi:908 cm^3

Motor çalışma sıcaklığı:90°C

Silindir sayısı:2

Zaman sayısı:4

Rölanti devri:997 devir/dakika

Maksimum devir:3000 rpm

Atalet momenti:0,09 $kg \times m^2$

Tepki süresi:0,2 s

Yakıt:Benzin

Yakıt ısı değeri:45000 kJ/kg

Yakıt yoğunluğu:0,75 kg/litre

Özgül karbon içeriği:0,86

Rölantideki yakıt tüketimi:0,184 kg/saat

Rölantideki NO_x emisyonu:0 kg/saat

Rölantideki CO emisyonu:0,1712 kg/saat

Rölantideki HC emisyonu:0,036 kg/saat

-Kokpit Modülü

- **Modül İsmi:**Kokpit

- **Modül Özellikleri**

Gaz pedalı seçimi:Eğriden

- **Modül Verileri**

Vites değişimi:Otomatik

Vites sayısı:1 ileri,1 geri

Maksimum fren gücü:100 N

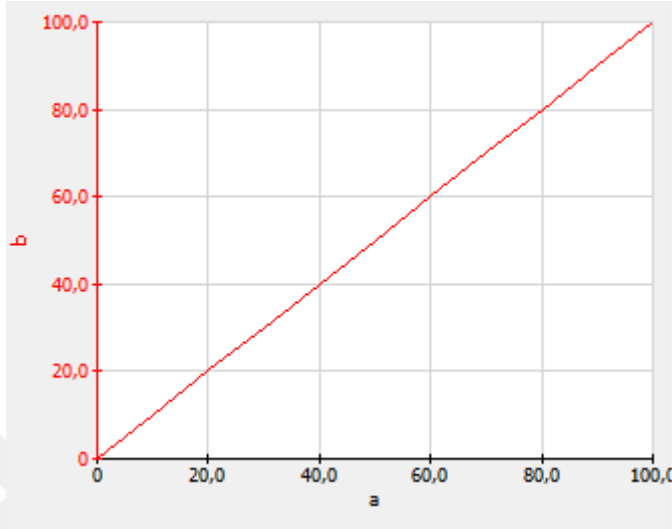
Retarder adım sayısı:0

Fren ışığı açılma sınırı:1%

Gaz Pedalı Karakteristiği:

a=Gaz pedalı hareket mesafesi(%)

b=Yük sinyali(%)

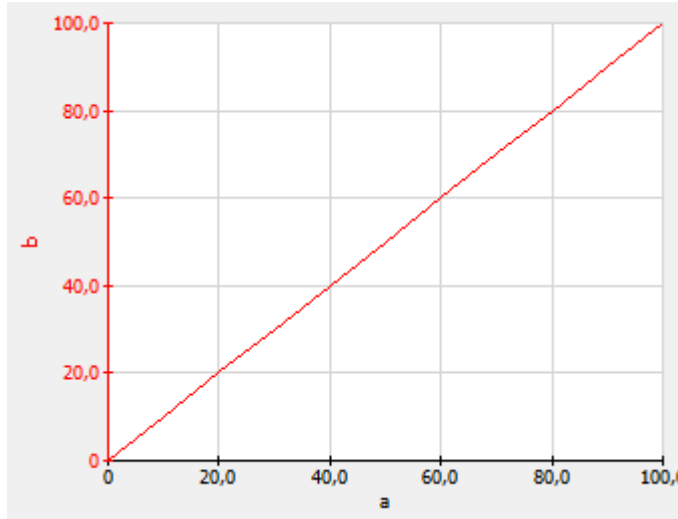


Şekil 4.22: Gaz pedalı karakteristiği.

Fren pedalı karakteristiği:

a=Özgül fren pedalı kuvveti(%)

b=Fren basıncı(bar)



Şekil 4.23: Fren Pedalı karakteristiği.

-Kayma Kontrolü

- **Modül Verileri**

Orantısal parametre:1

Türevsel parametre:0,0 s

Integral parametre:1,0 1/s

-Elektrik Makinesi Modülü

- **Modül İsmi:**Elektrik Motoru

- **Modül Özellikleri**

Kayıplar:Verim

Sıcaklık:Data bus verilerinden

Akım Limti:Kapalı

Hız Limitleyici:Kapalı

Kontrol Değişkeni:Yük Sinyali

- **Modül Verileri**

Makine Tipi:Kalıcı mıknatıslı senkronize motor(PSM)

Karakteristik Eğriler:Motor çalışma şekline göre

Nominal voltaj:350 V

Maksimum devir:7500 devir/dakika

Eylemsizlik momenti:0,04 $kgxm^2$

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

Makine ağırlığı:100 kg

Başlangıç sıcaklığı:20 °C

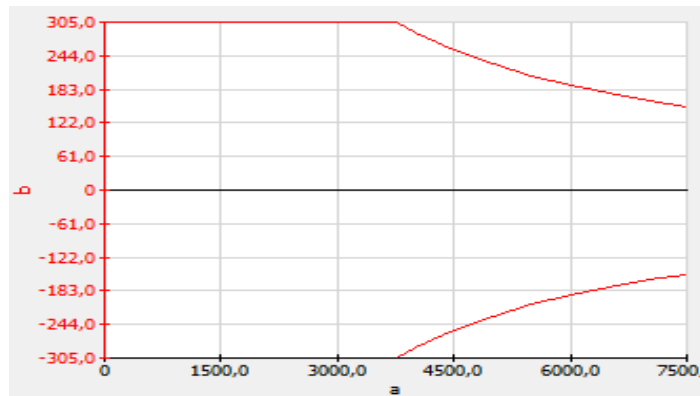
En yüksek verimin olduğu sıcaklık: 20 °C

Artık indüksiyon sıcaklık katsayısı:1e-5 1/K

Elektrik motoru karakteristiği

a=Motor hızı(rpm)

b=Tork(Nm)



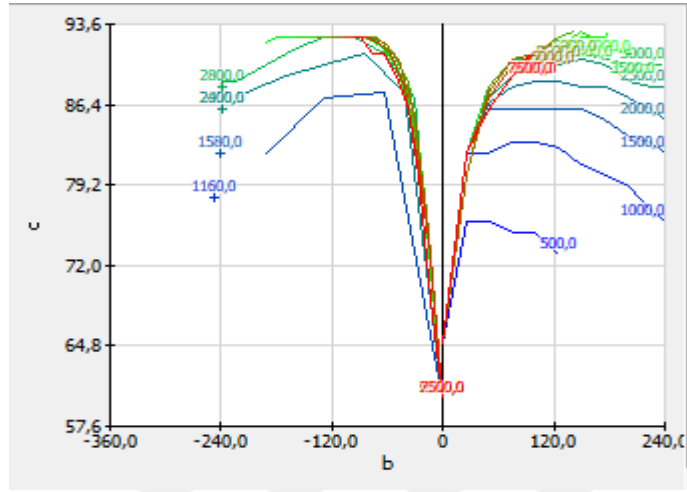
Şekil 4.24: Elektrik motoru tork eğrisi.

Elektrik motoru verim haritası

a=Motor hızı(rpm)

b=Tork(Nm)

c=Verim(%)



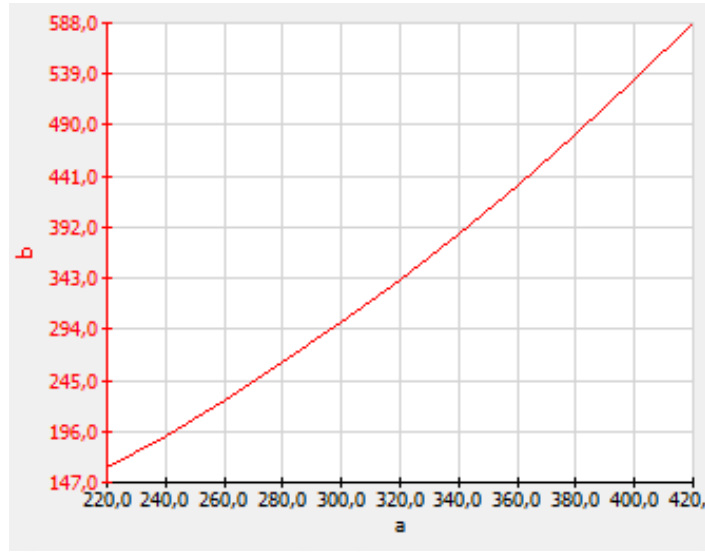
Şekil 4.25: Elektrik motoru verim haritası.

-Batarya Modülü

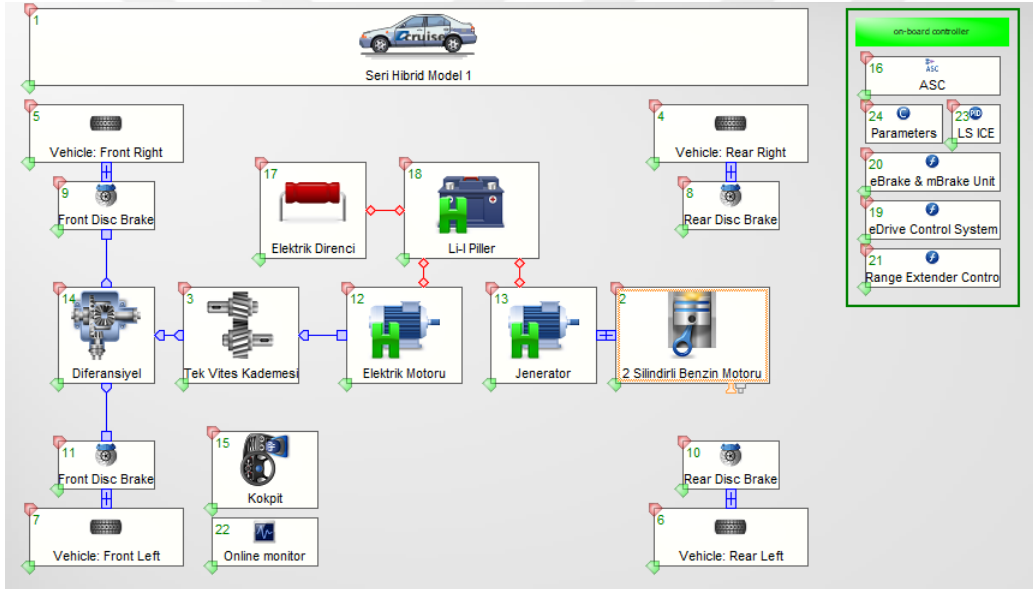
- **Modül İsmi:**Li-I Piller
- **Modül Özellikleri**
Sıcaklık:Data Bus verilerinden
Direnç:Sabit
- **Modül Verileri**
Maksimum Şarj:15 As
Başlangıç şarj seviyesi:%80(maksimum şarj seviyesi)
Nominal voltaj:3,7 V
Maksimum voltaj:4,15 V
Minimum voltaj 3 V
Hücre sırası başına hücre sayısı:210
Hücre sırası sayısı:3

-Elektrik harcıyıcı modülü

- **Modül İsmi:**Elektrik direnci
- **Modül Özellikleri**
Input tanımlaması:Direnç
- **Modül Verileri**
Nominal Voltaj:320 V
Eşik değeri:0,5



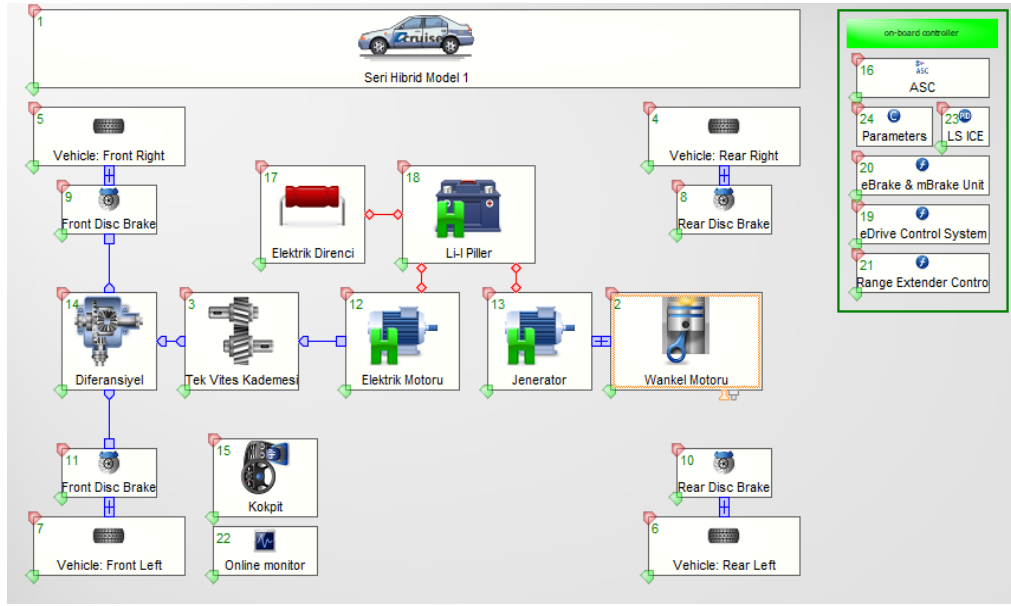
Şekil 4.26: Elektriksel direnç karakteristiği.



Şekil 4.27: Seri Hibrit Model 1 AVL Cruise konfigürasyonu.

4.7.2 Wankel motorunun menzil arttırıcı olarak kullanıldığı seri hibrit konfigürasyonu

İki model arasındaki tek fark menzil arttırıcılar olduğu için Wankel motorunun menzil arttırıcı olarak kullanıldığı modelin içten yanmalı motor modülü dışındaki tüm modülleri Model 1 ile aynıdır. AVL Cruise’da Model 2 için oluşturulan içten yanmalı motor modülü aşağıda verilmiştir. AVL Cruise’da Wankel motoru için ayrı bir seçenek bulunmadığından Wankel motoru 3 silindirli bir pistonlu motor olarak modellenmiştir. Seri hibrit model 2’nin Cruise modeli Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28: Seri Hibrit Model 2 AVL Cruise konfigürasyonu.

-İçten Yanmalı Motor Modülü

- **Modül İsmi:**Wankel Motoru

- **Modül Özellikleri**

İstenilen Hesaplamalar:Performans,Yakıt Tüketimi,Emisyonlar

Sıcaklık Modeli:Hesaba katılmamış

Rölantideki Yakıt tüketimi/Emisyon değerleri:Sabit değer

Yakıt tüketimi/Emisyon değerleri:Motor eğrisinden

Rölantideki hız:Sabit değer

Maksimum hız:Sabit değer

Kontrol değişkeni:Yük sinyali

Egzoz sistemi modeli:Standart egzoz sistem modeli

- **Modül Verileri**

Motor tipi:Benzinli

Aşırı doldurma:yok

Motor hacmi:650 cm^3

Motor çalışma sıcaklığı:90°C

Silindir sayısı:3

Zaman sayısı:2

Rölanti devri:1200 devir/dakika

Maksimum devir:5000 rpm

Atalet momenti: $0,05 \text{ kg} \times \text{m}^2$

Tepki süresi: 0,2 s

Yakıt: Benzin

Yakıt ısı değeri: 45000 kJ/kg

Yakıt yoğunluğu: 0,75 kg/litre

Özgül karbon içeriği: 0,9

4.8 Seri Hibrit Modellerin WLTP Çevriminde Koşturulması

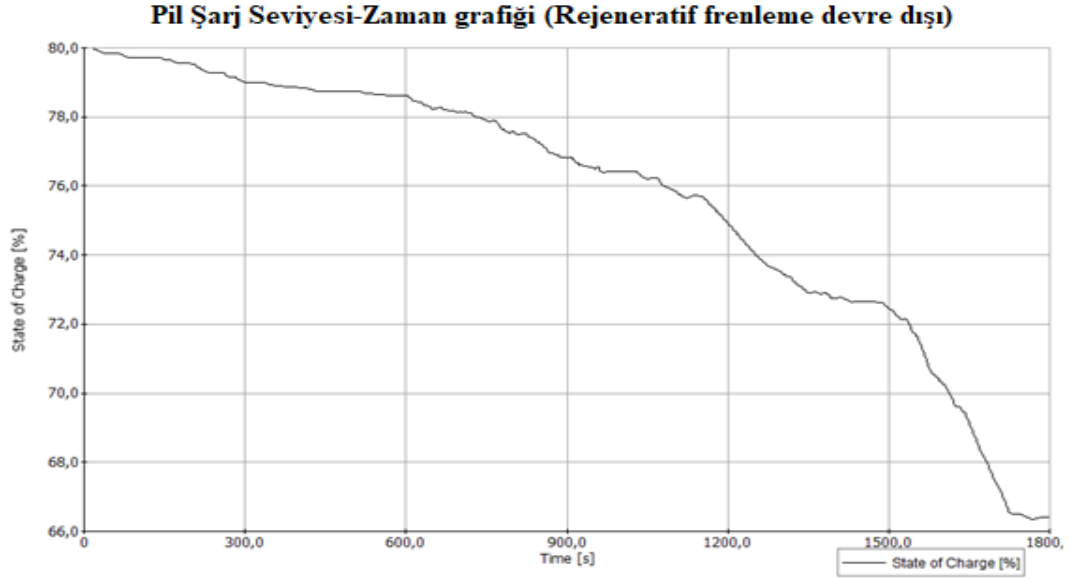
Oluşturulan ve AVL Cruise’da modellenen seri hibrit modelleri AVL Cruise programı içinde bulunan WLTP çevriminde koşturulmuştur. Her iki model de maksimum, minimum ve ortalama şarj seviyeleri için belirlenen çevrimde koşturulmuştur.

Elektrokimyasal pillerin en uzun ömürlü oldukları çalışma aralığı genel olarak %30-%80 şarj seviyesidir. Bu nedenle seçilen lityum iyon pillerin maksimum şarj seviyesi %80, minimum şarj seviyesi ise %30 olarak belirlenmiştir. İki değer ortalama olarak %55 şarj seviyesi için de taşıtın, elektrik motorunun ve pillerin performansı incelenmiştir.

4.8.1 Model 1’in WLTP çevriminde koşturulması

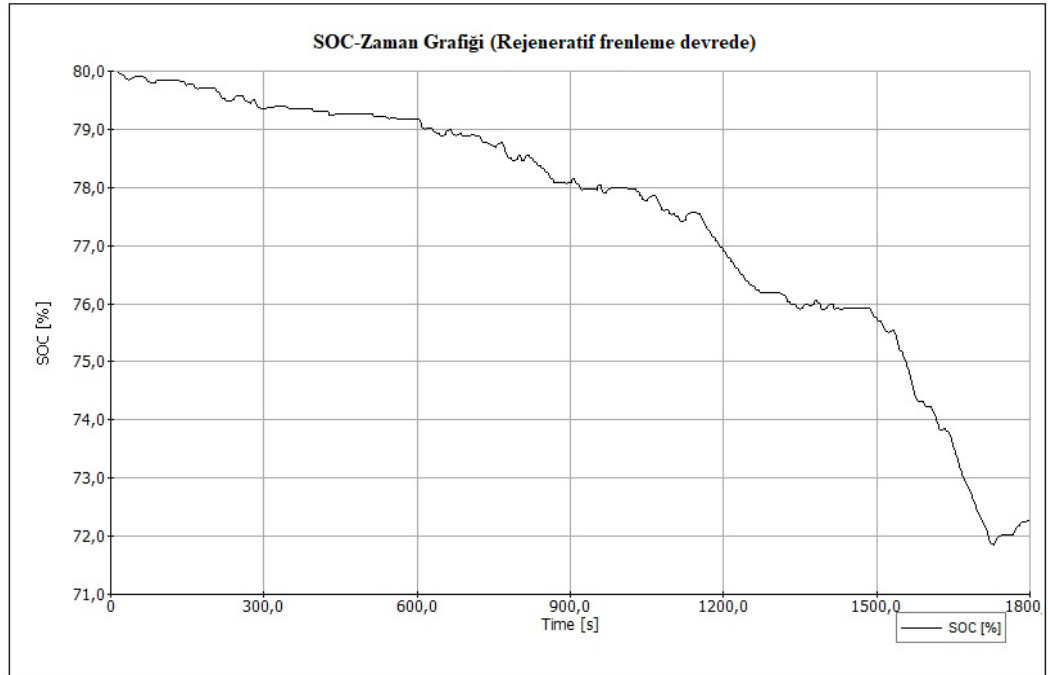
- **Maksimum Şarj Seviyesinde(%80)**

İlk olarak pillerin full şarjda olduğu durum incelenmiştir. Şekil 4.29’da WLTP çevriminde pillerin şarj seviyesinin rejeneratif frenleme devre dışı olduğunda nasıl değiştiği görülmektedir. Pillerin tamamen dolu olduğu durum için taşıt WLTP çevriminde koşturulduğunda ve rejeneratif frenleme uygulanmadığında çevrim sonunda pillerin şarj seviyesi yaklaşık olarak %66 değerine düşmektedir. Maksimum şarj seviyesinde başlangıç durumunda pillerin şarj seviyesi minimum değer olan %30’a düşmediğinden menzil arttırıcı devreye girmemiştir.

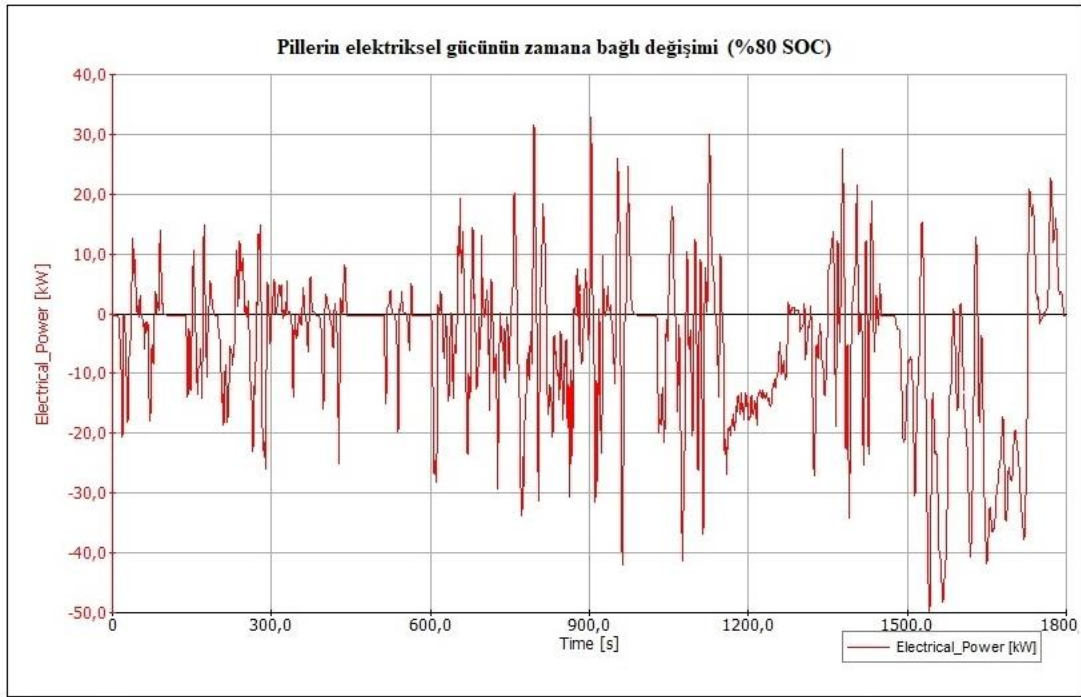


Şekil 4.29: Model 1'in WLTP çevriminde %80 SOC için SOC-Zaman grafiği.

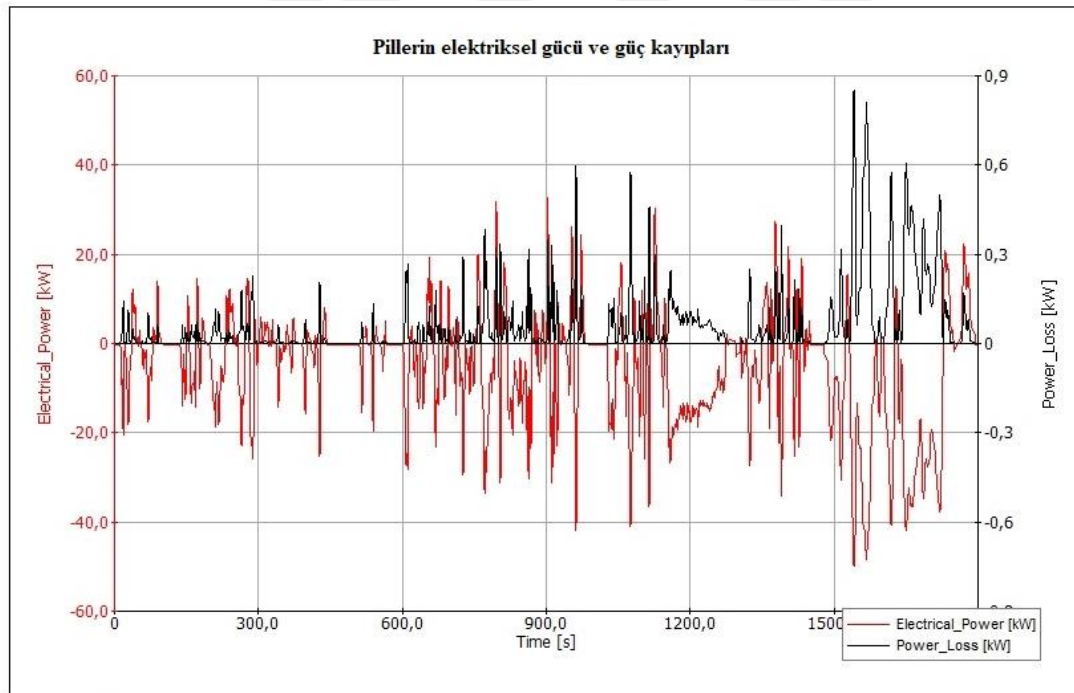
Şekil 4.30'de ise rejeneratif frenleme durumunda WLTP çevriminde pillerin şarj seviyesinin değişimi görülmektedir. Görüldüğü gibi rejeneratif frenleme uygulandığı takdirde çevrim sonunda pillerin şarj seviyesi %72'ye kadar düşmektedir.



Şekil 4.30: Rejeneratif frenleme durumunda SOC-Zaman grafiği.

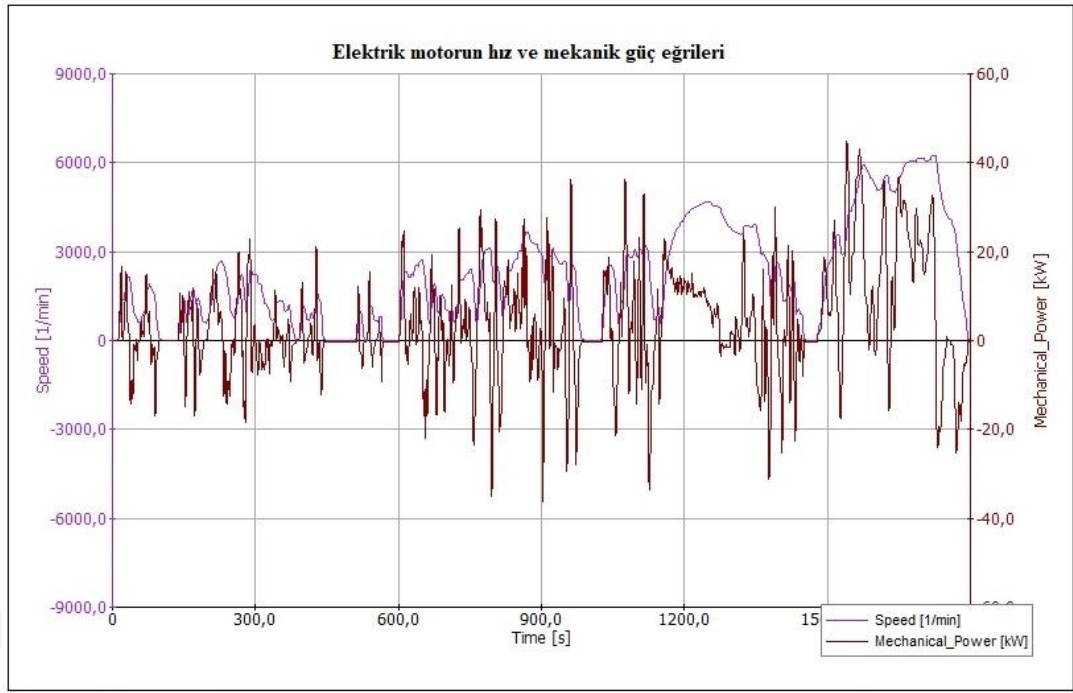


Şekil 4.31: Model 1 %80 SOC için pillerin elektriksel gücü.



Şekil 4.32: Model 1 %80 SOC için pillerin güç kayıpları.

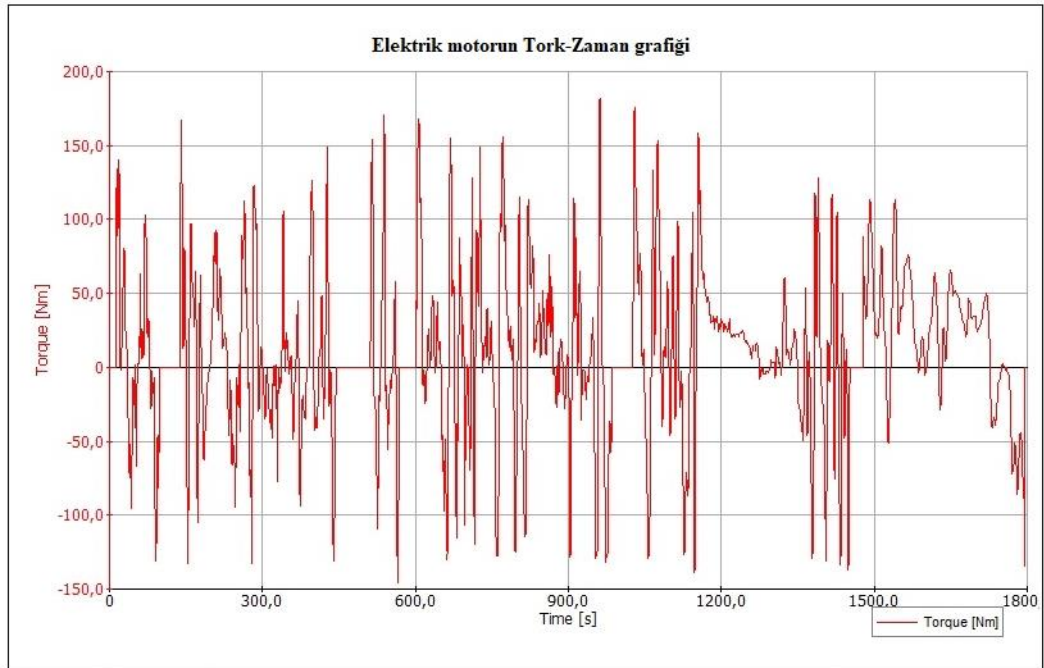
Şekil 4.32’te pillerin güç kayıpları görülmektedir. AVL Cruise içerisindeki elektrik direnci modülü ile pillerin ve elektrik motorun elektriksel güç kayıpları da hesaplanmıştır.



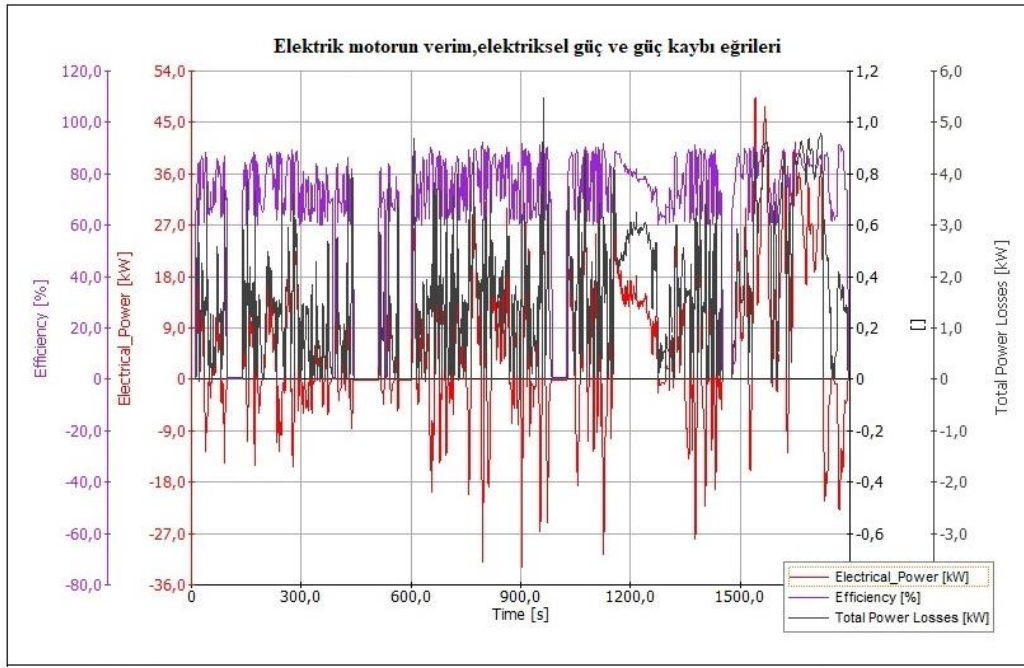
Şekil 4.33: Model 1 %80 SOC için elektrik motorun hız ve mekanik güç eğrileri.

Şekil 4.33'te elektrik motorun tork, hız ve mekanik güç eğrileri gösterilmiştir. Elektrik motorun ürettiği yaklaşık olarak 40 kW'lık güç çevrim boyunca taşıtın tahrikinde kullanılmıştır.

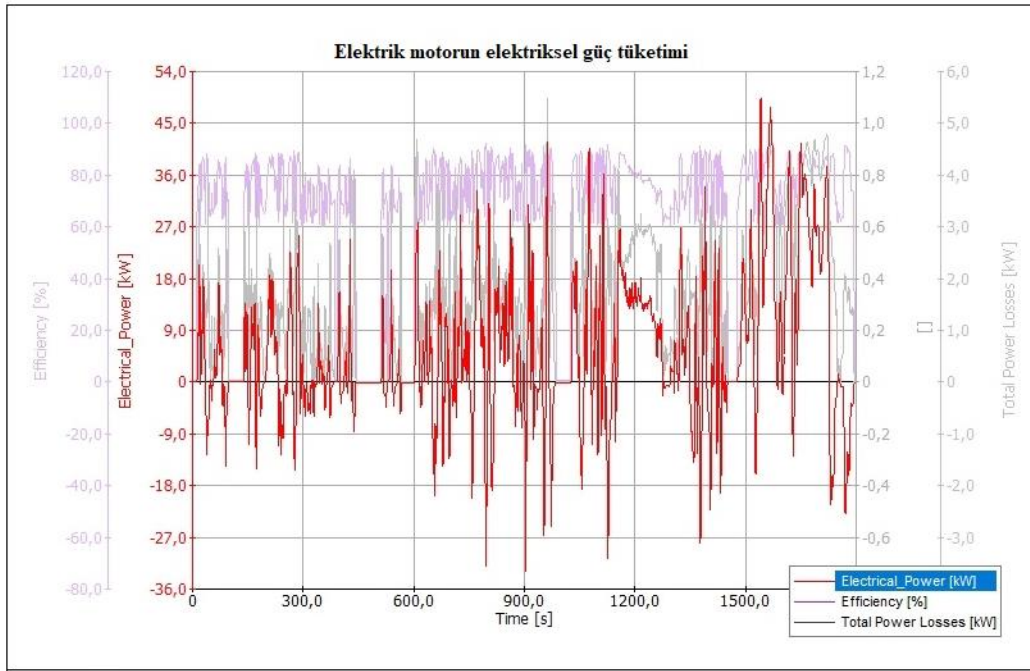
Elektrik motorun maksimum hızı çevrimdeki en yüksek hız değeri için yaklaşık olarak 6000 rpm değerine ulaşmaktadır.



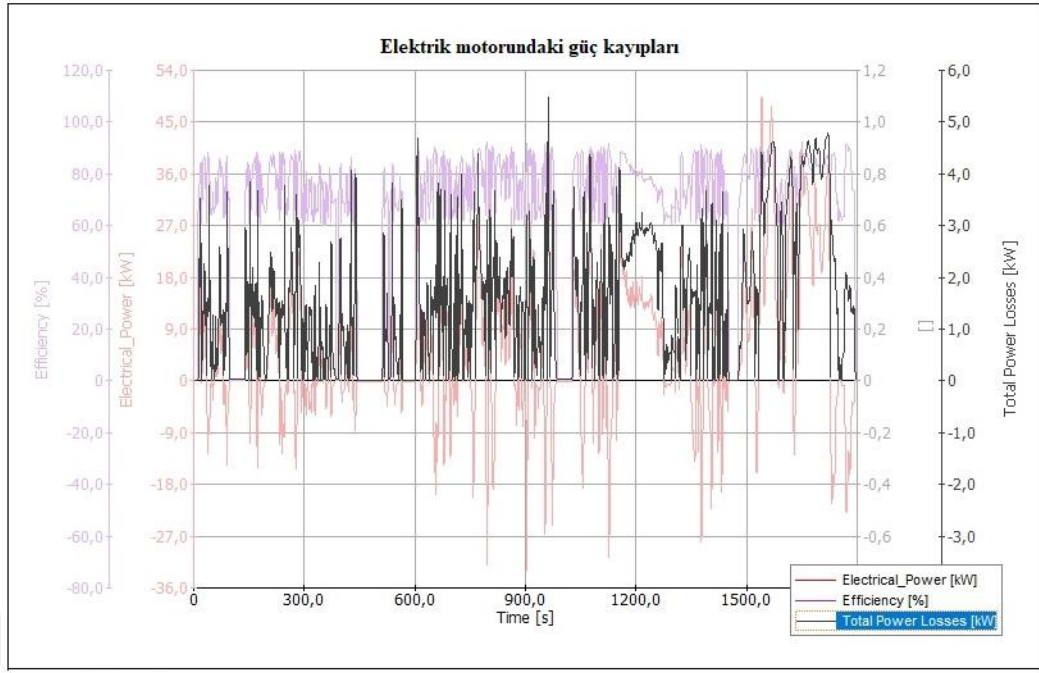
Şekil 4.34: Model 1 %80 SOC için elektrik motor tork eğrisi.



Şekil 4.35: Model 1 %80 SOC için elektrik motorun verim,güç ve güç kaybı eğrileri.

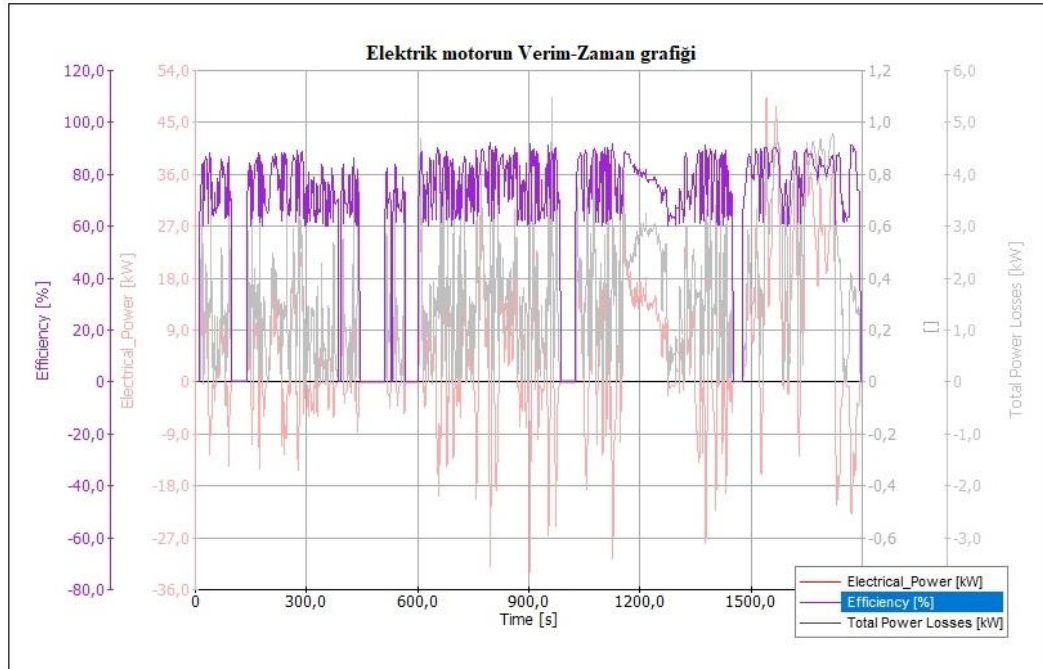


Şekil 4.36: Model 1 %80 SOC için elektrik motor Güç-Zaman grafiği.

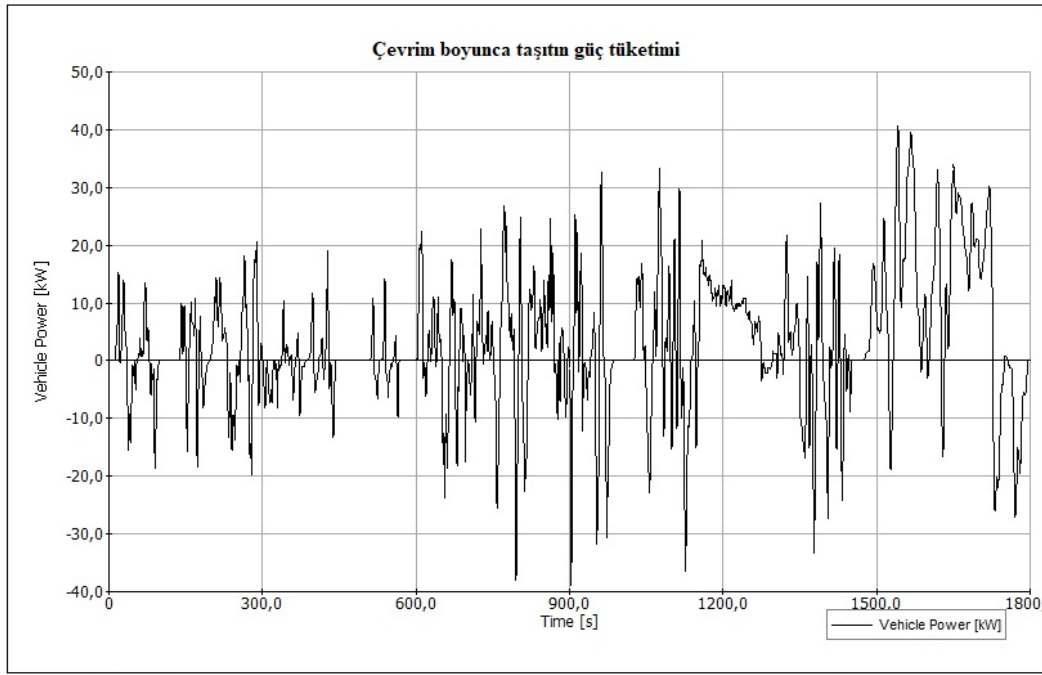


Şekil 4.37: Model 1 %80 SOC için elektrik motorun güç kayıpları.

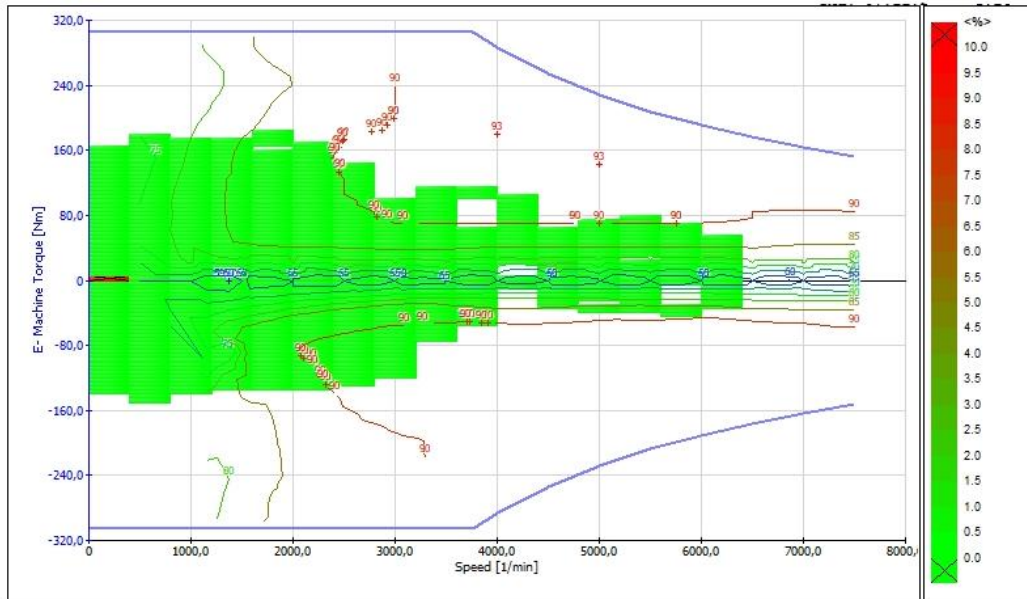
Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de elektrik motorun elektriksel güç tüketimi ve güç kayıpları görülmektedir. Elektrik motor yaklaşık olarak 45 kW’lık elektriksel güç kullanmaktadır. Yaklaşık olarak 5 kW’lık maksimum güç kaybı oluşmaktadır. Bu iki değerin farkı olarak elektrik motor 40 kW’lık mekanik gücü tekerlere iletmektedir.



Şekil 4.38: Model 1 %80 SOC için Elektrik motorun Verim-Zaman grafiği.



Şekil 4.39: Model 1 %80 SOC için Çevrim boyunca taşıtın güç tüketimi.

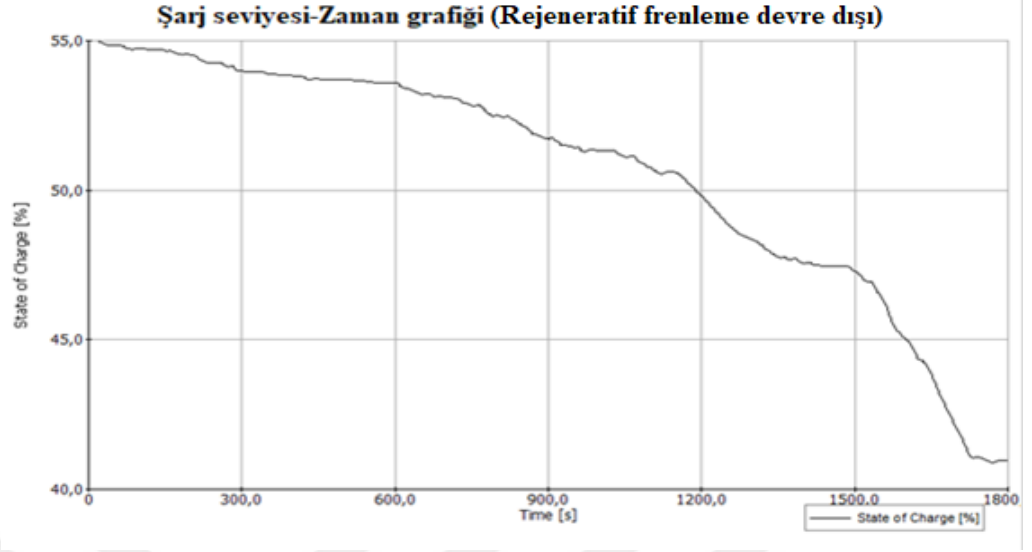


Şekil 4.40: Model 1 %80 SOC elektrik motoru verim haritası.

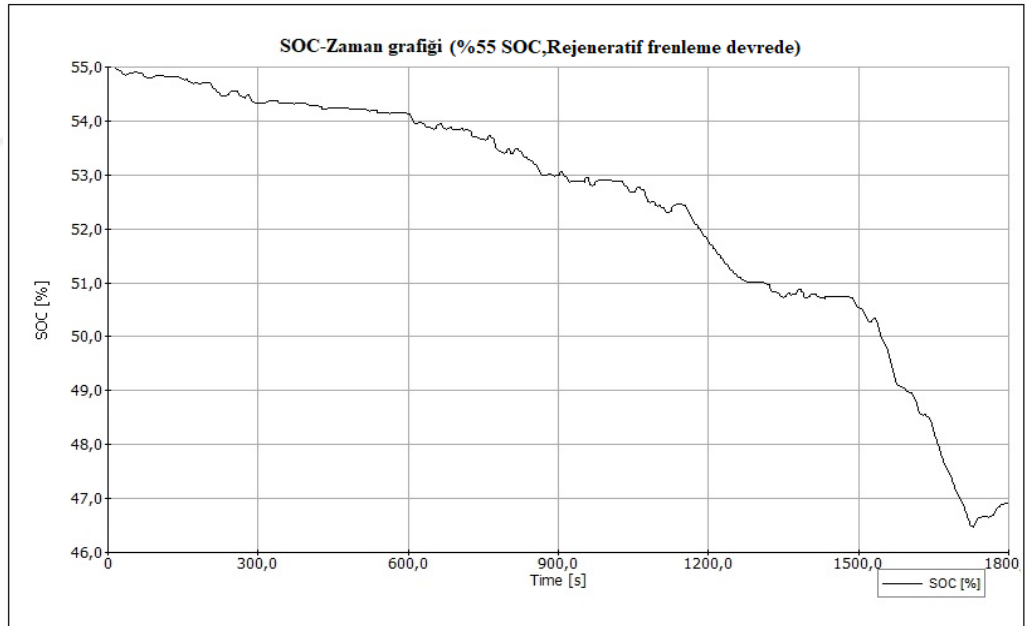
- **Ortalama Şarj Seviyesinde(%55)**

Taşıt maksimum ve minimum şarj seviyelerinin ortalaması alınarak WLTP çevriminde koşturulmuştur. Ortalama şarj seviyesi ile maksimum şarj seviyesinde elde edilen eğriler oldukça benzerdir. Yalnızca pillerindeşarj karakteristiğinden dolayı çok küçük bir değişiklik mevcuttur. Ortalama şarj

seviyesinde de çevrim sonuna kadar minimum şarj seviyesine ulaşılmadığından menzil arttırıcı devreye girmemektedir.



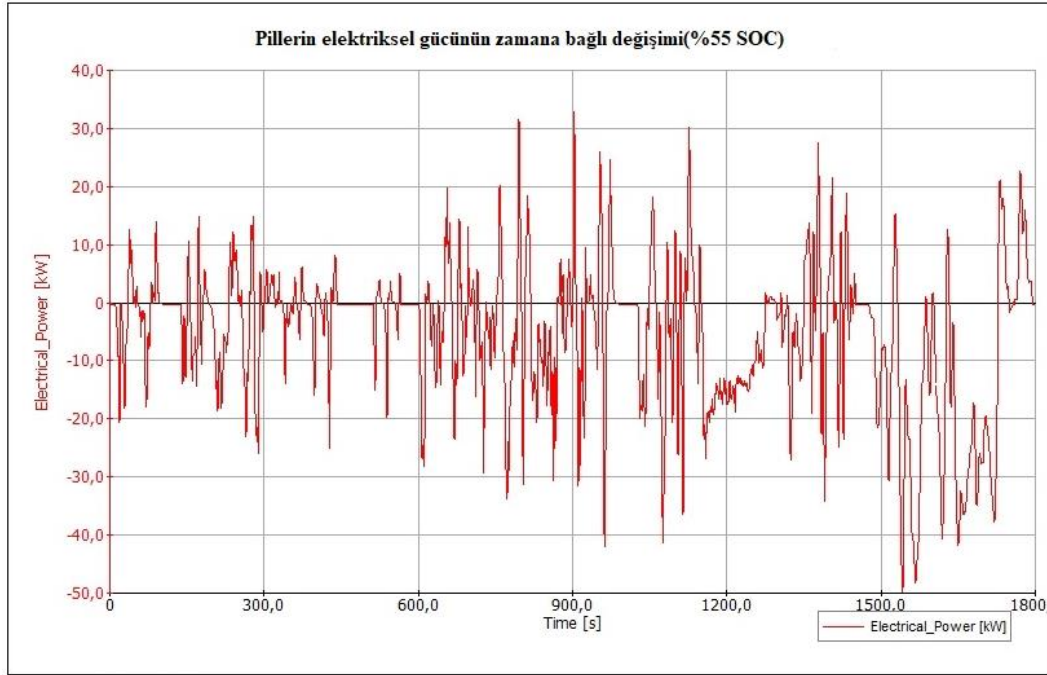
Şekil 4.41: Model 1 %55 SOC için rejeneratif frenleme yokken SOC-Zaman grafiği.



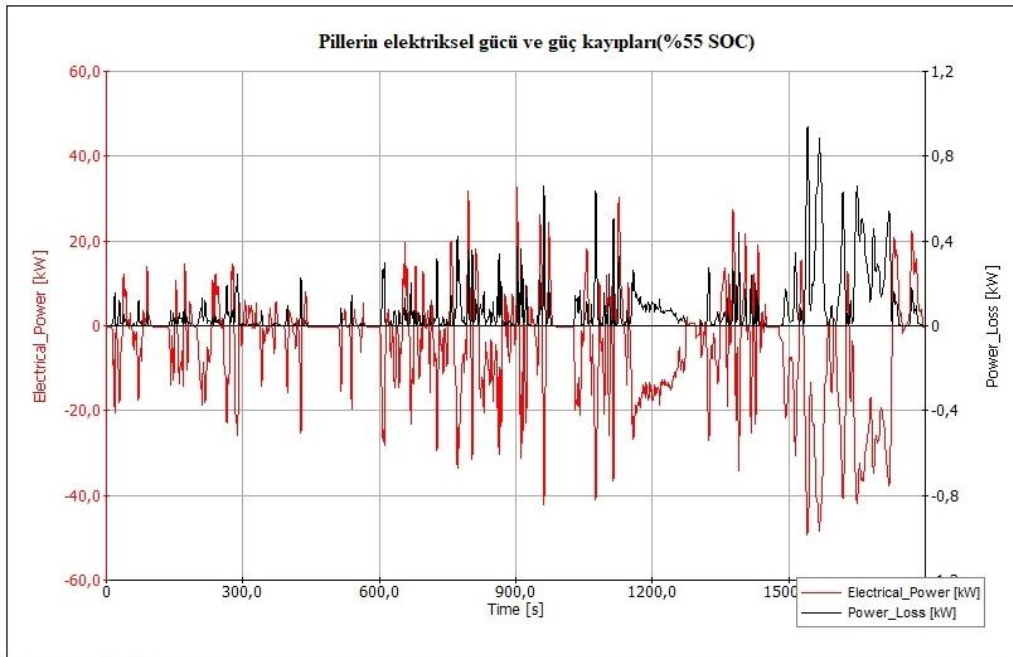
Şekil 4.42: Model 1 %55 SOC için rejeneratif frenleme devrede iken SOC-Zaman grafiği.

Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de rejeneratif frenlemenin kapalı ve açık olduğu durumlarda şarj seviyesinin çevrim boyunca nasıl değiştiği görülmektedir. Rejeneratif frenleme devrede değilken başlangıç şarj seviyesi %55 çevrim sonunda yaklaşık olarak %40

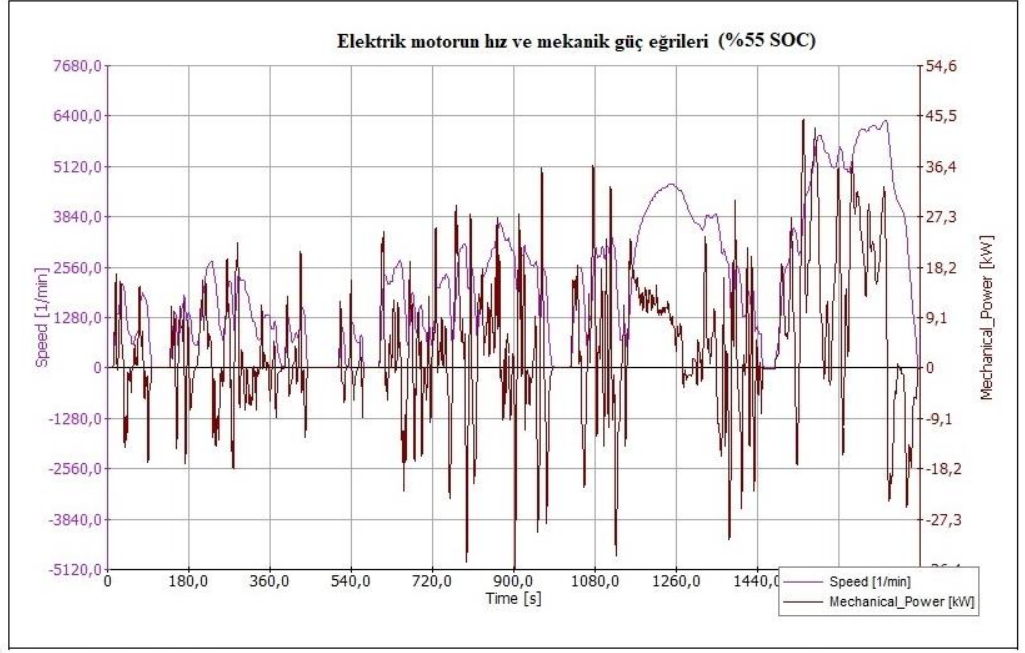
değerine düşmektedir. Rejeneratif frenleme uygulandığında ise piller frenleme sonunda şarj edildiğinden çevrim sonunda şarj seviyesi %47 değerindedir.



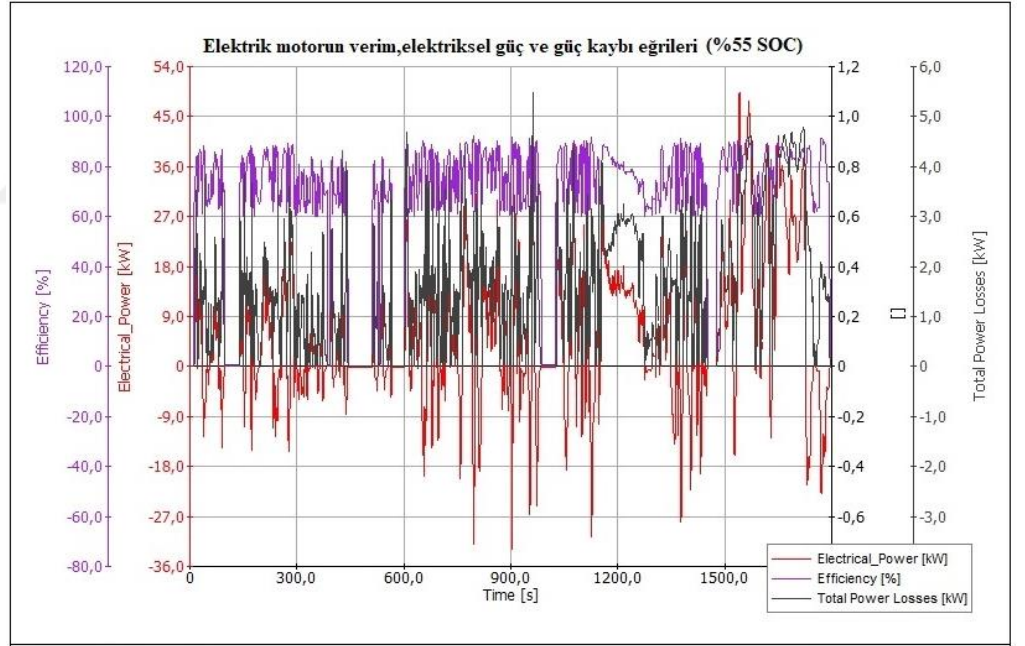
Şekil 4.43: Model 1 %55 SOC için pillerden çekilen güç.



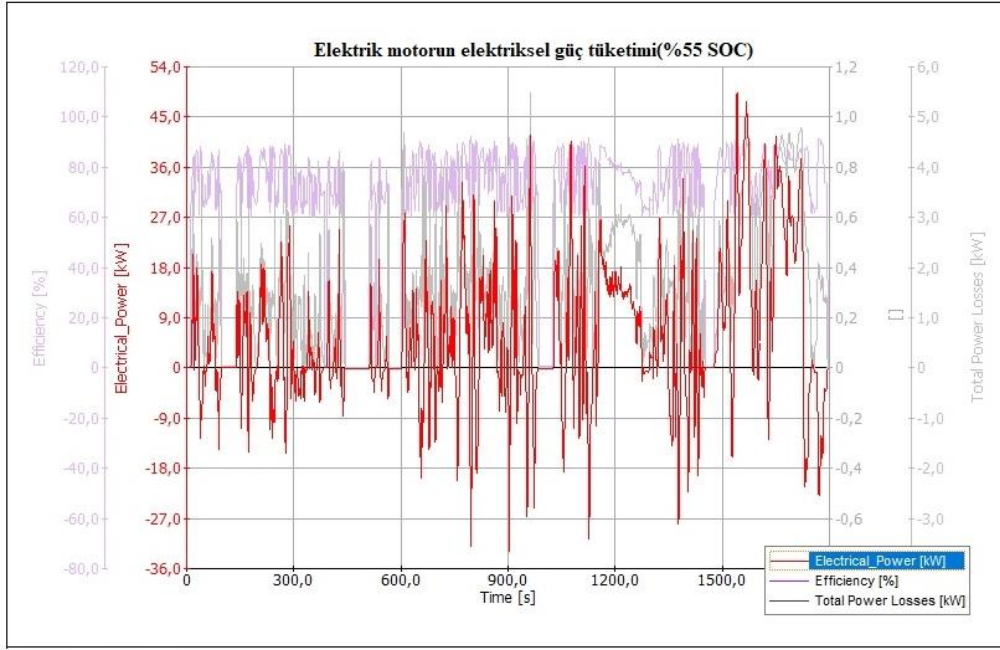
Şekil 4.44: Model 1 %55 SOC için pillerdeki güç kaybı eğrisi.



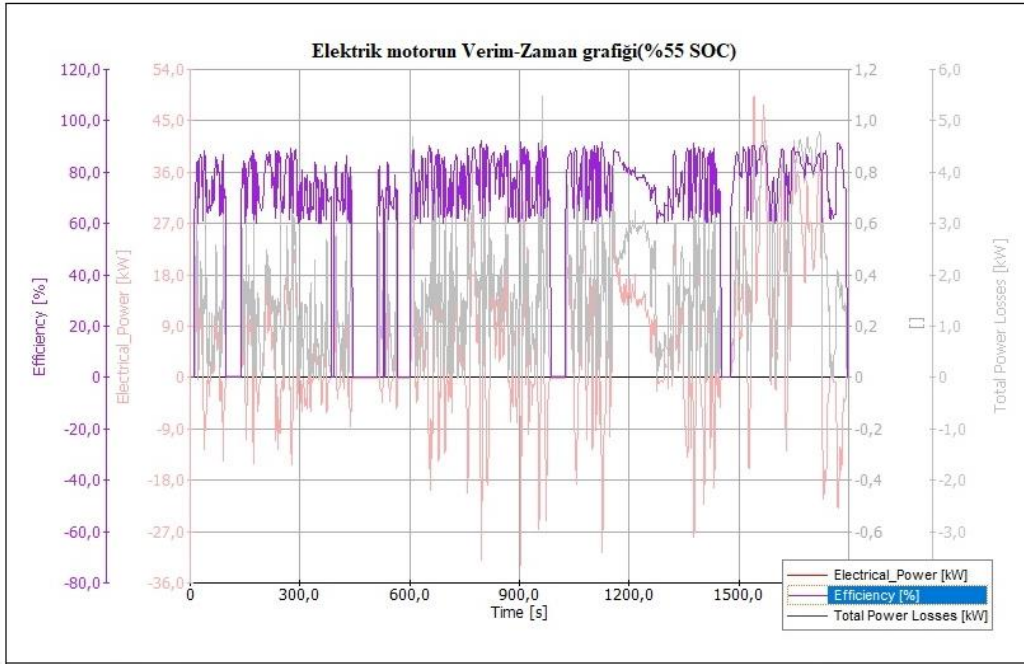
Şekil 4.45: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun hız ve mekanik güç eğrileri.



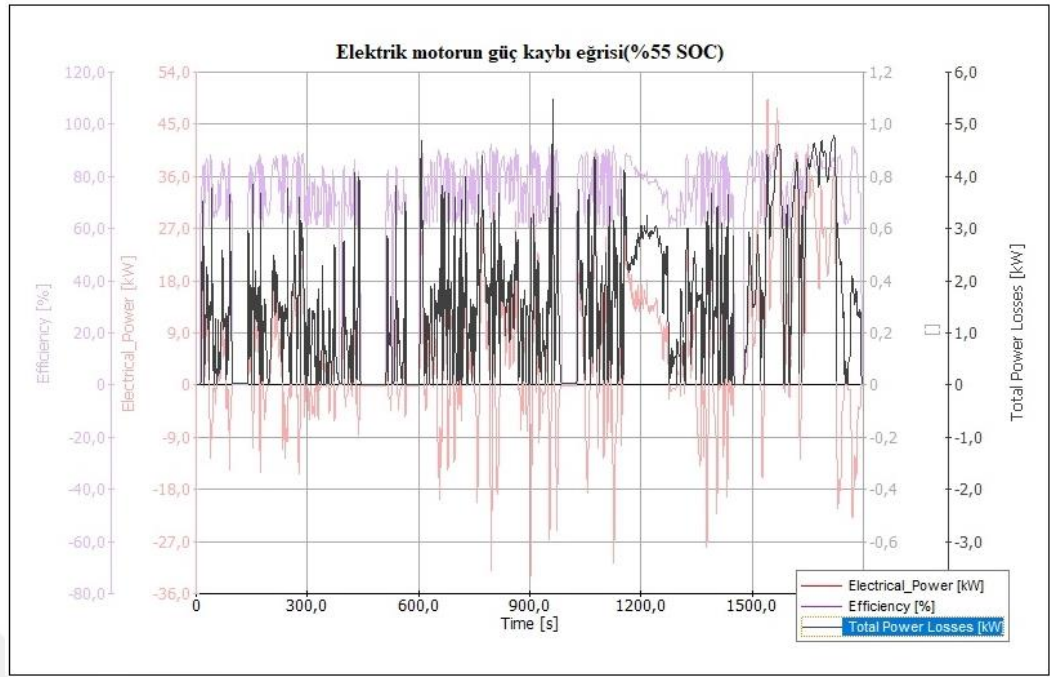
Şekil 4.46: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun verimi,güç tüketimi ve güç kaybı.



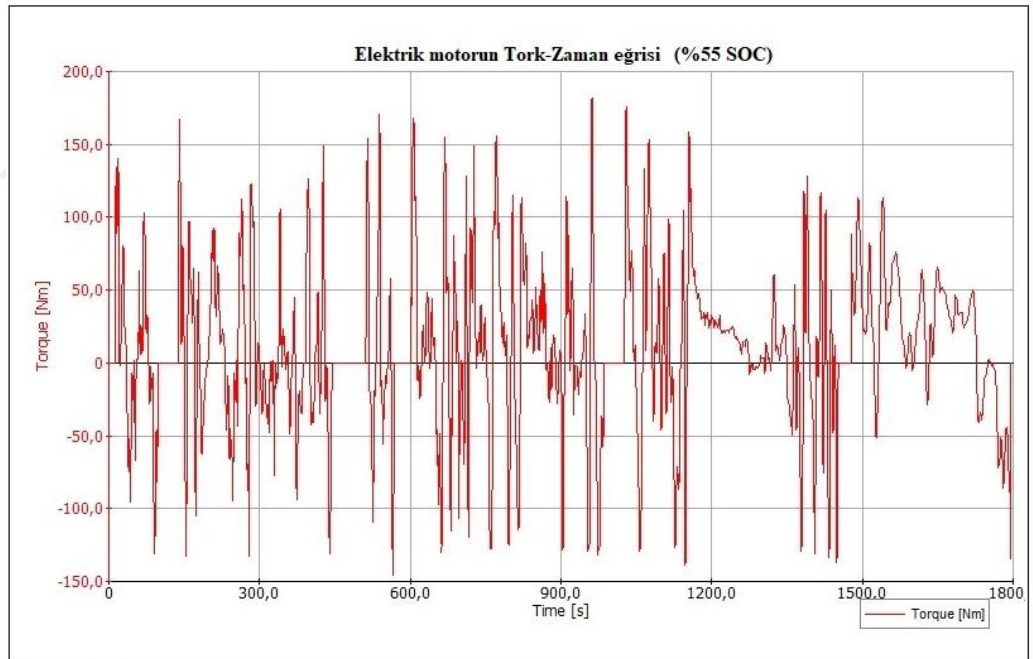
Şekil 4.47: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun güç tüketimi.



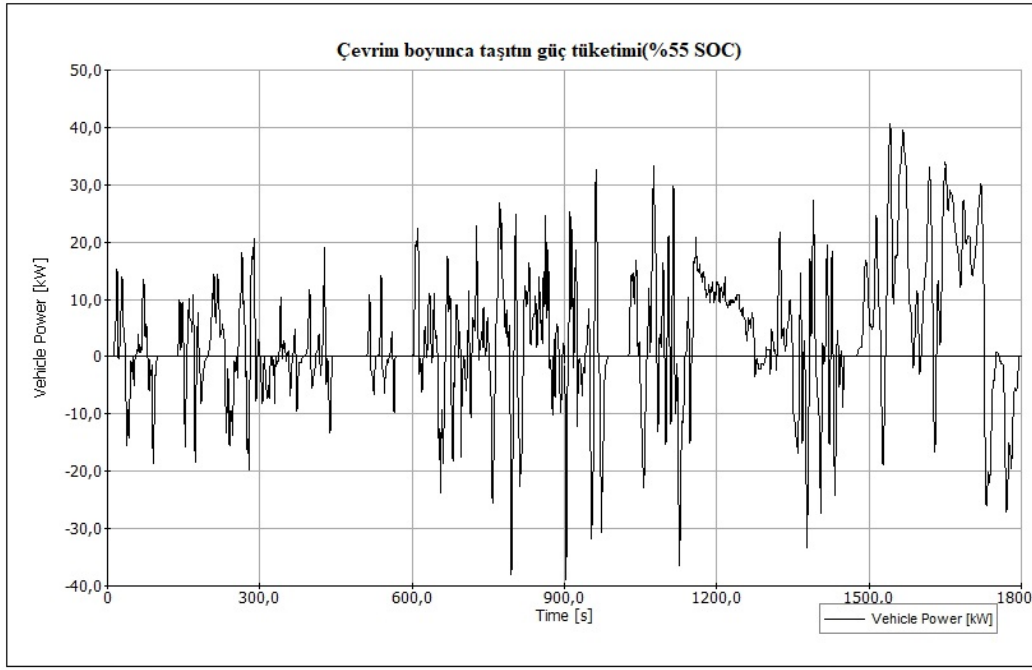
Şekil 4.48: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun Verim-Zaman grafiği.



Şekil 4.49: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun güç kayıpları.



Şekil 4.50: Model 1 %55 SOC için elektrik motorun Tork-Zaman grafiği.

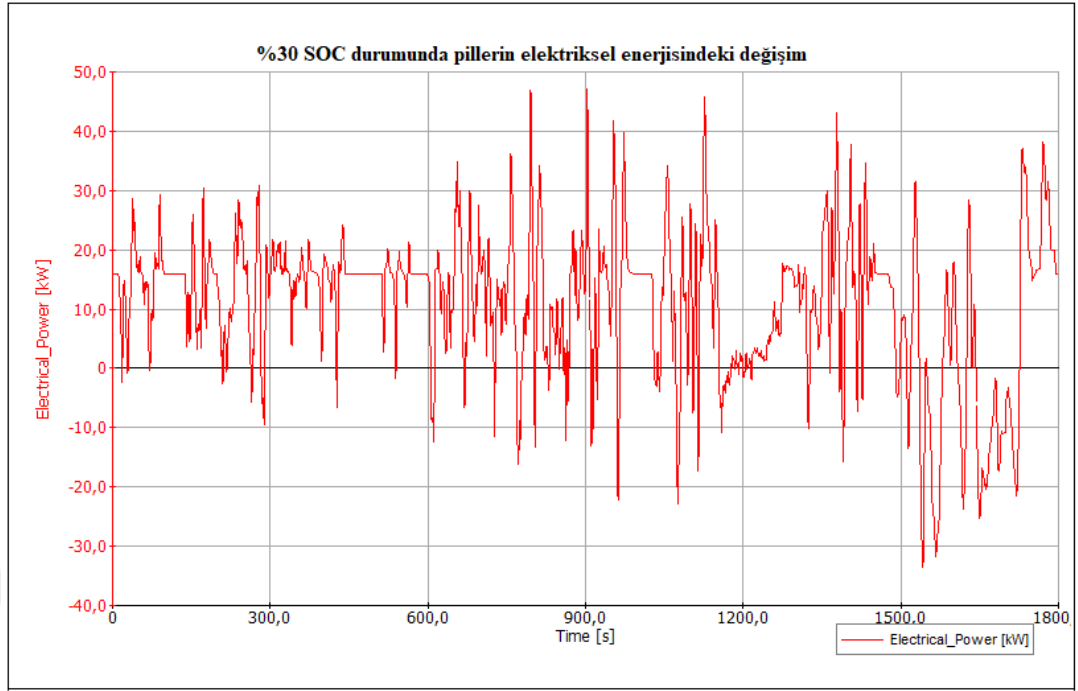


Şekil 4.51: Model 1 %55 SOC için taşıtın çevrim boyunca güç tüketimi.

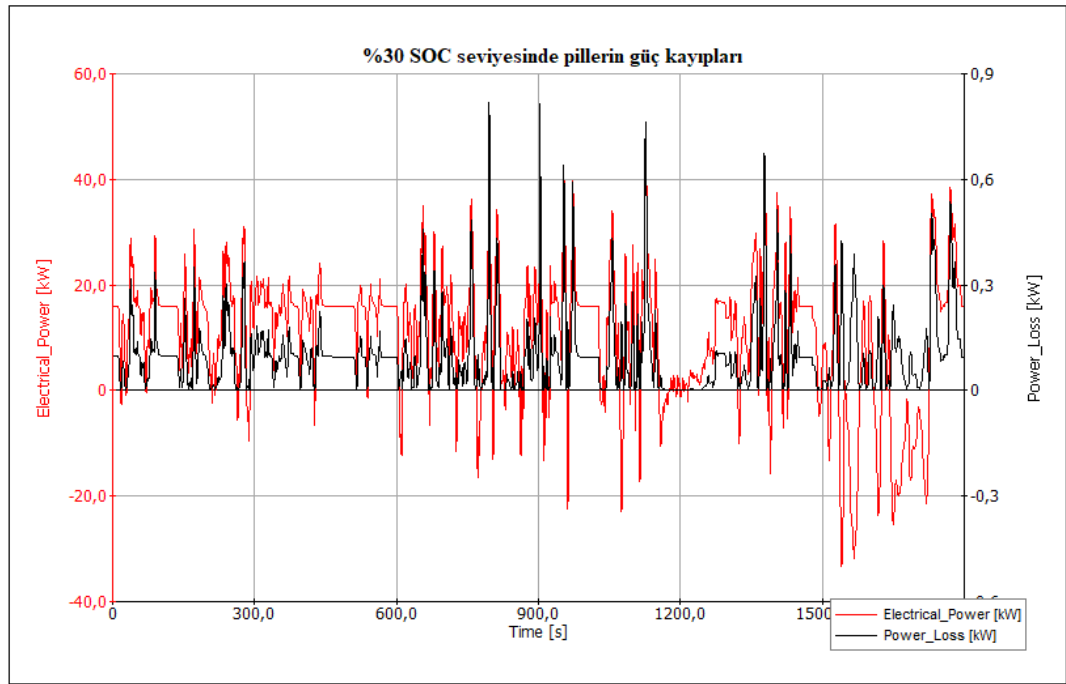
Seri hibrit konfigürasyonunda elektrik motoru taşıt tahriki sağlayan tek bileşen olduğu için ve şarj seviyesi %55'ten başladığında da gerekli gücü pillerden çekebildiği için elektrik motorun tork,hız, mekanik güç,elektriksel güç,verim eğrileri pillerin şarj seviyesi %80 ve %55 olduğu durumlarda aynıdır.

- **%30 Şarj Seviyesinde**

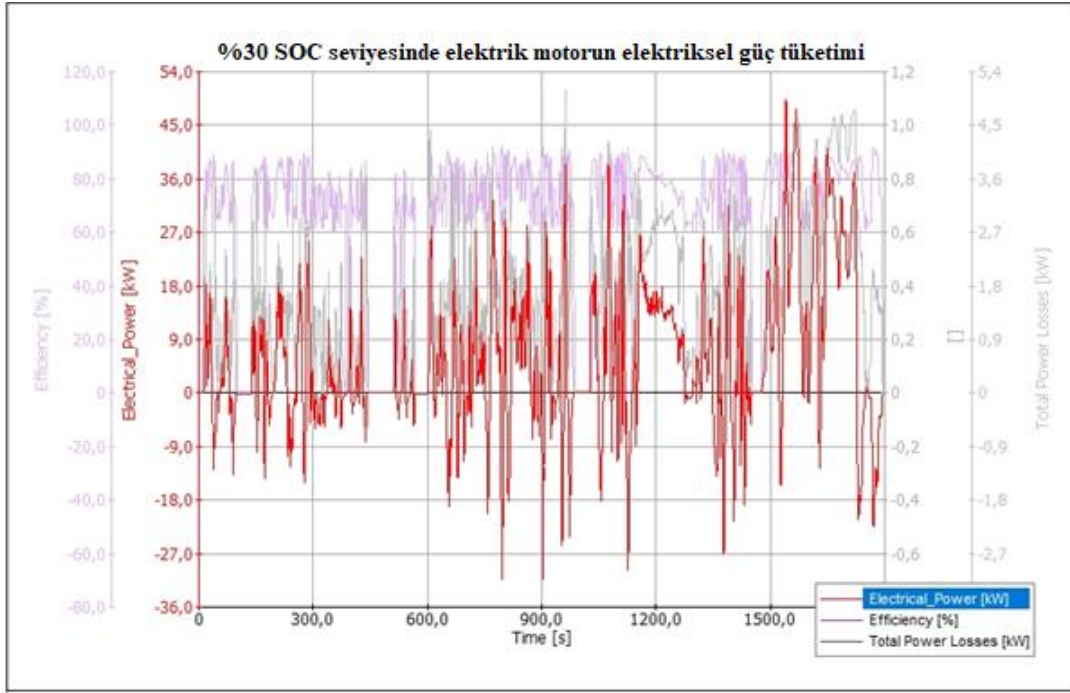
Pillerin şarj seviyesi %30'un altına düştüğünde menzil arttırıcı çalışmaya başlamakta ve pilleri şarj etmektedir. Minimum şarj seviyesi kabul edilen %30 değerinde iki silindirli benzin motoru olan menzil arttırıcı 2500 rpm de çalıştırılmış ve 18,66 kW güç vermiştir. Bunun pilleri ne kadar şarj ettiği incelenmiştir.



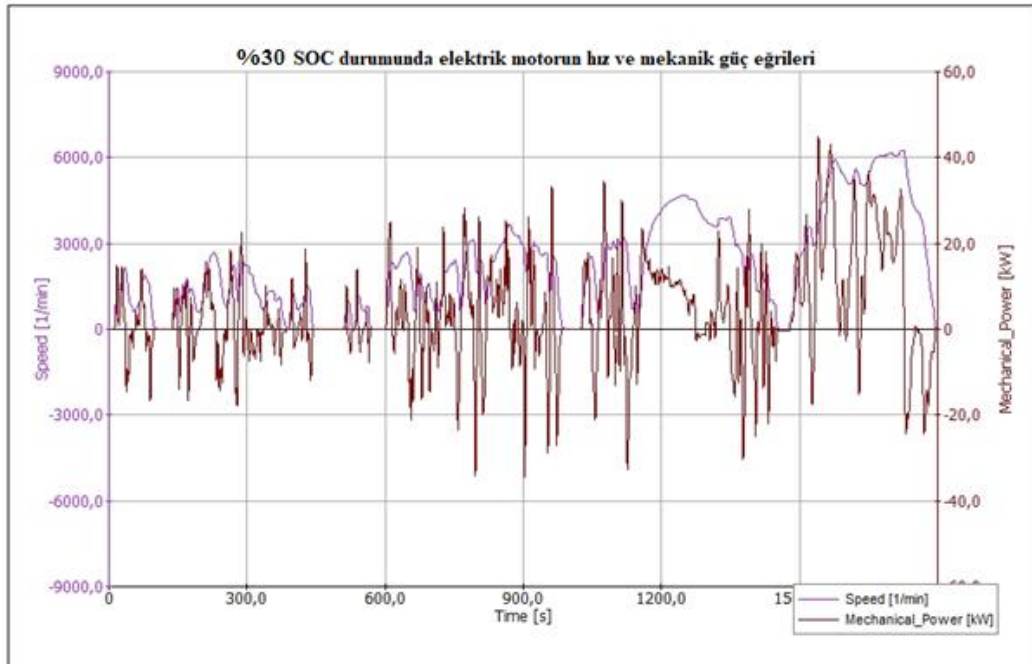
Şekil 4.52: Model 1 %30 SOC için pillerden çekilen güç ve pillerin şarj edilmesi.



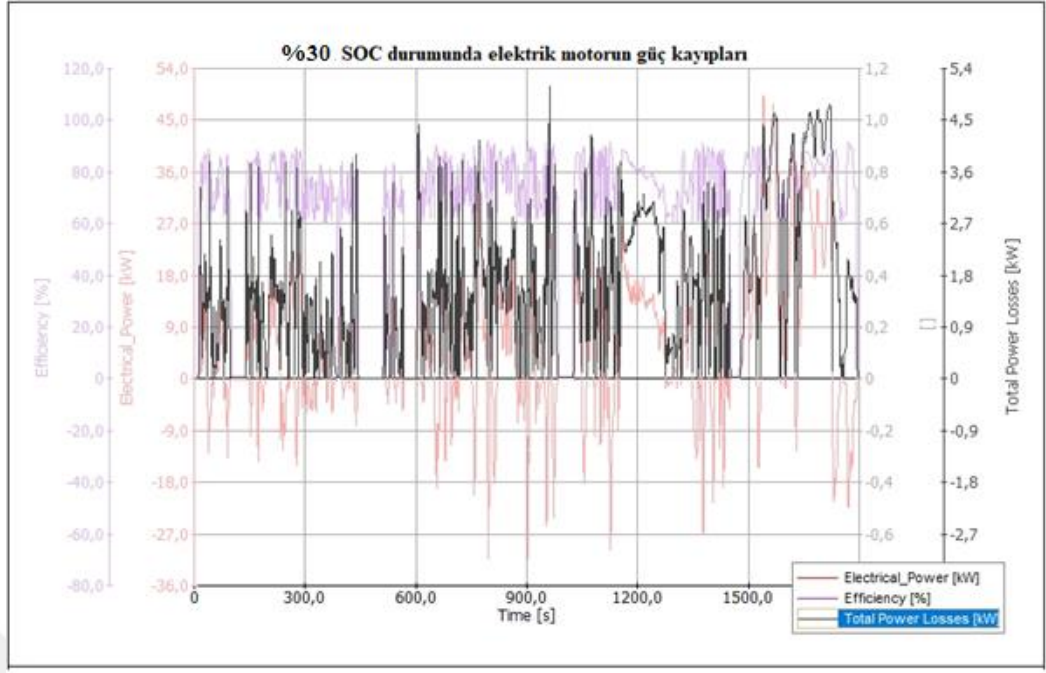
Şekil 4.53: Model 1 %30 SOC için pillerin güç kayıpları.



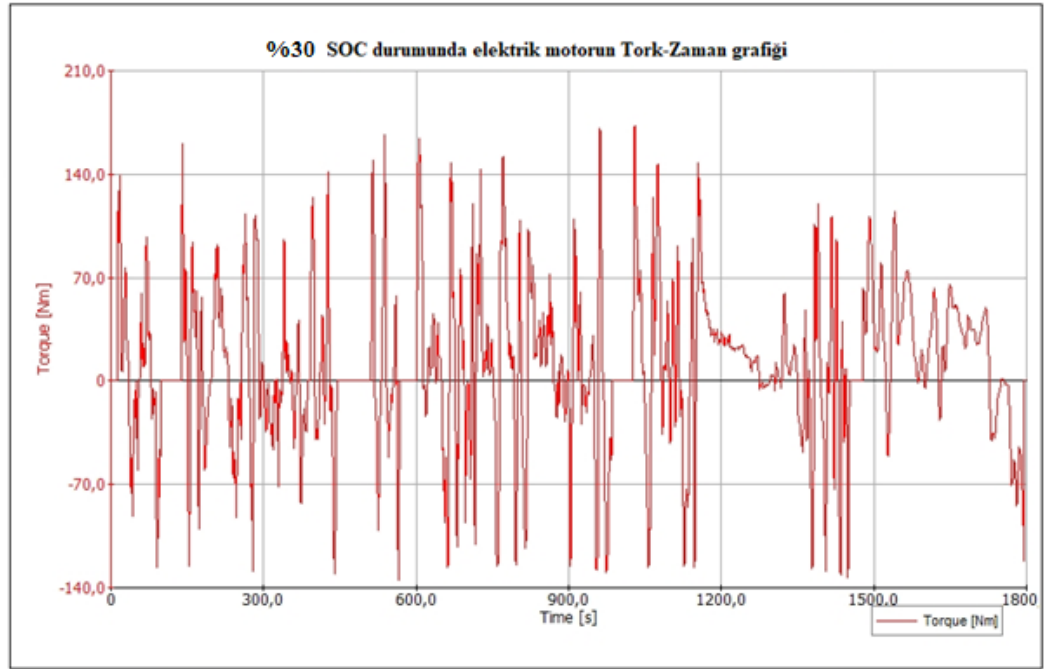
Şekil 4.54: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun elektriksel güç tüketimi.



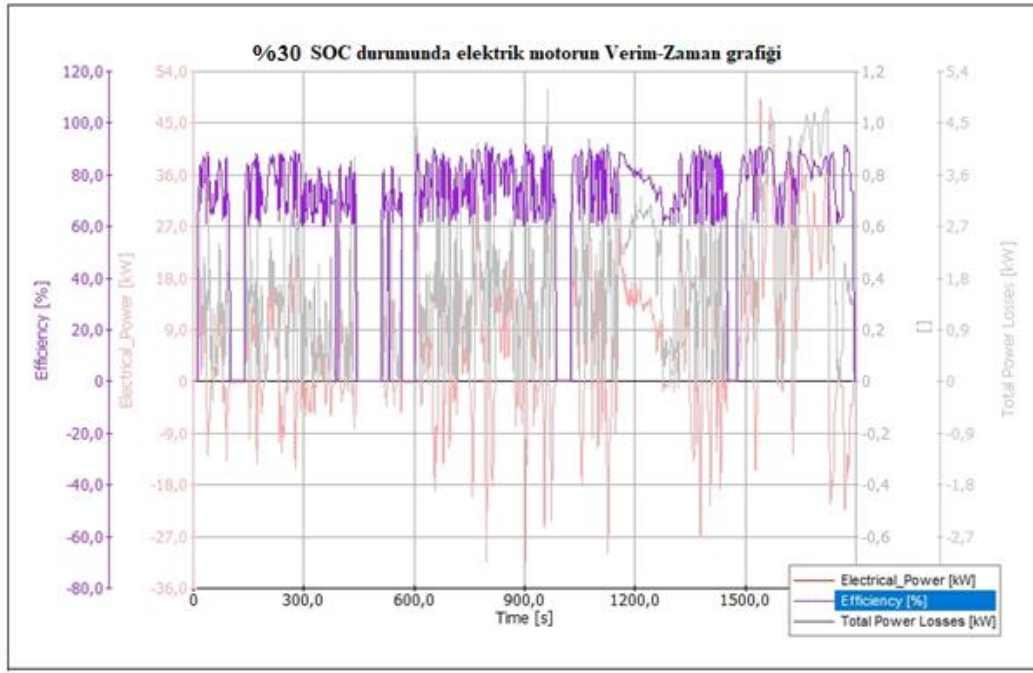
Şekil 4.55: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun hız ve mekanik güç eğrileri.



Şekil 4.56: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun güç kayıpları.

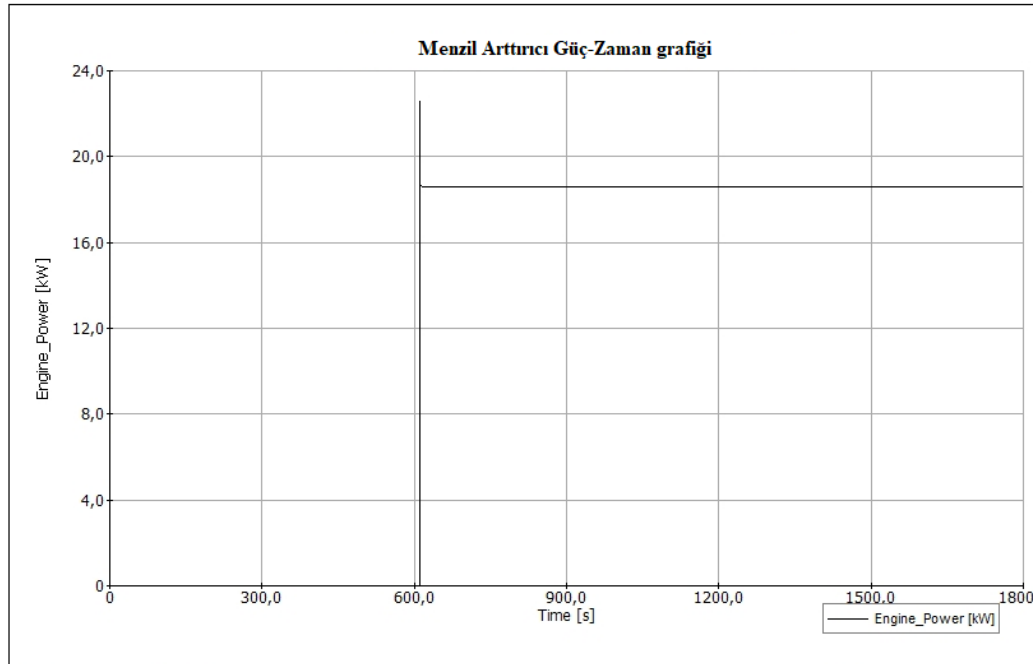


Şekil 4.57: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun Tork-Zaman grafiği.

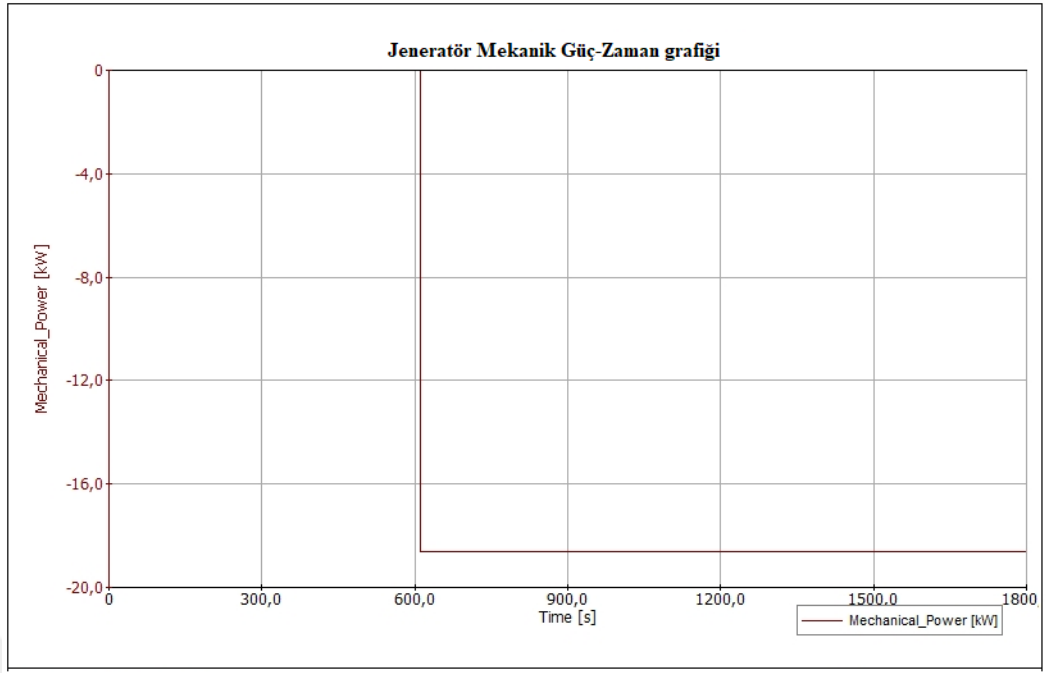


Şekil 4.58: Model 1 %30 SOC için elektrik motorun Verim-Zaman grafiği.

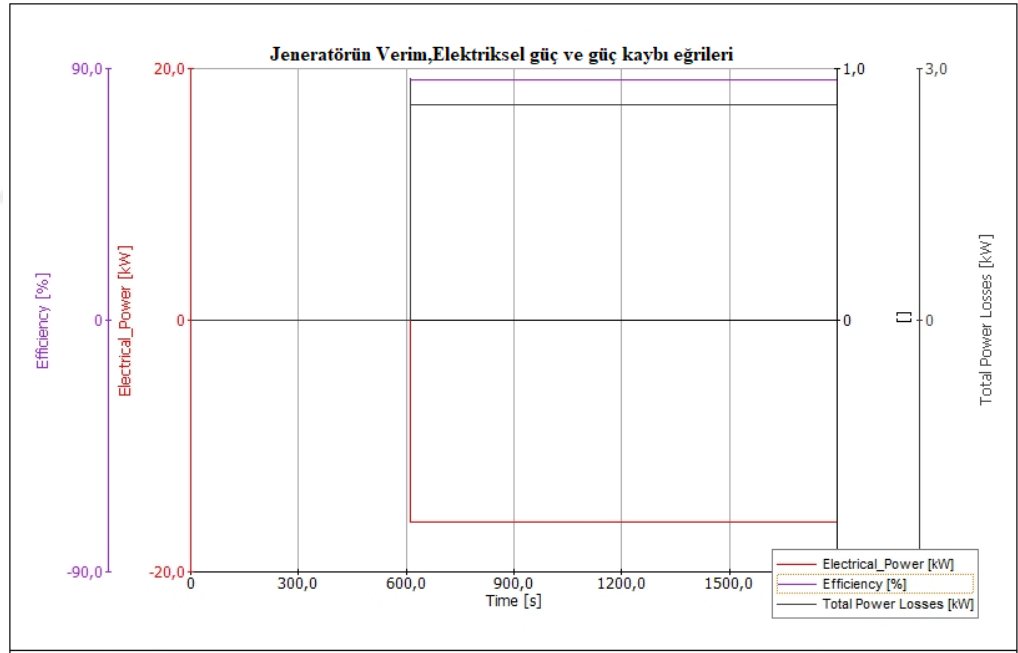
Şekil 4.54-4.58’de görüldüğü gibi elektrik motorun tork,hız,elektriksel güç,mekanik güç,güç kaybı eğrileri her üç durumda da aynıdır ve pillerin şarj seviyesinden bağımsızdır. Her üç durumda da elektrik motor pillerden ihtiyacı olan gücü çekebilmekte ve aynı hız profilinde seyir etmektedir. Bu nedenle elektrik motorun değerleri her üç durumda da aynıdır.



Şekil 4.59: Model 1 %30 SOC için Menzil Arttırıcı Güç-Zaman grafiği.



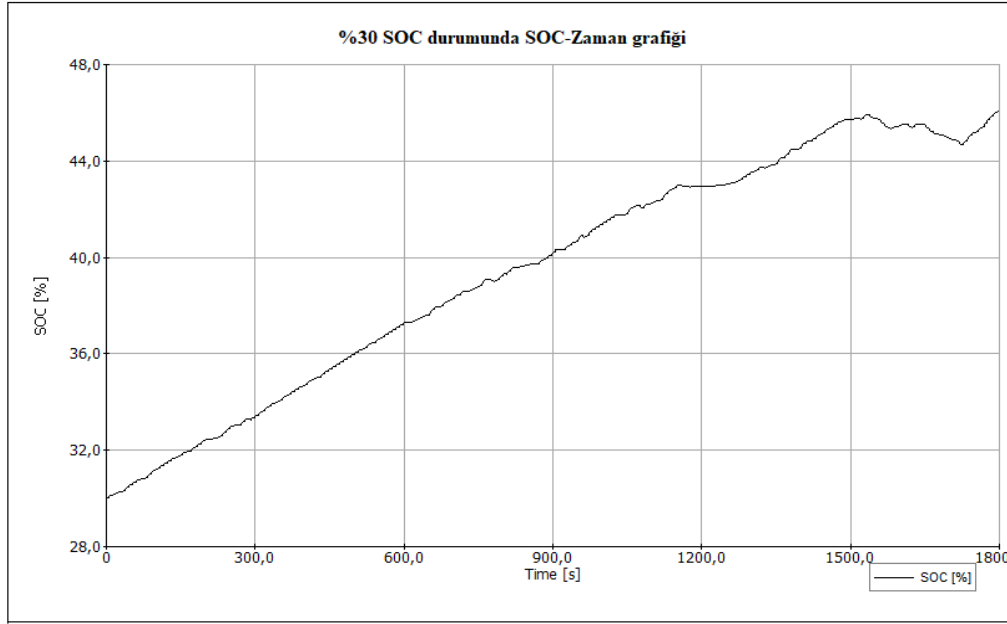
Şekil 4.60: Model 1 %30 SOC için Jeneratör Mekanik güç-Zaman grafiği.



Şekil 4.61: Model 1 %30 SOC için Jeneratörün verim,elektriksel güç ve güç kaybı eğrileri.

Şekil 4.60 ve Şekil 4.61’de jeneratörün mekanik güç,elektriksel güç,verim ve güç kaybı eğrileri görülmektedir. İki silindirli benzin motorunun çıkış gücü 18,66 kW jeneratörün mekanik gücüne eşittir. Jeneratör yaklaşık olarak %90 verim ile çalışmakta

ve yaklaşık olarak 2 kW'lık güç kaybı oluşmaktadır. Bu nedenle jeneratör ürettiği ve pilleri şarj etmede kullandığı elektriksel güç yaklaşık olarak 16 kW'dır.



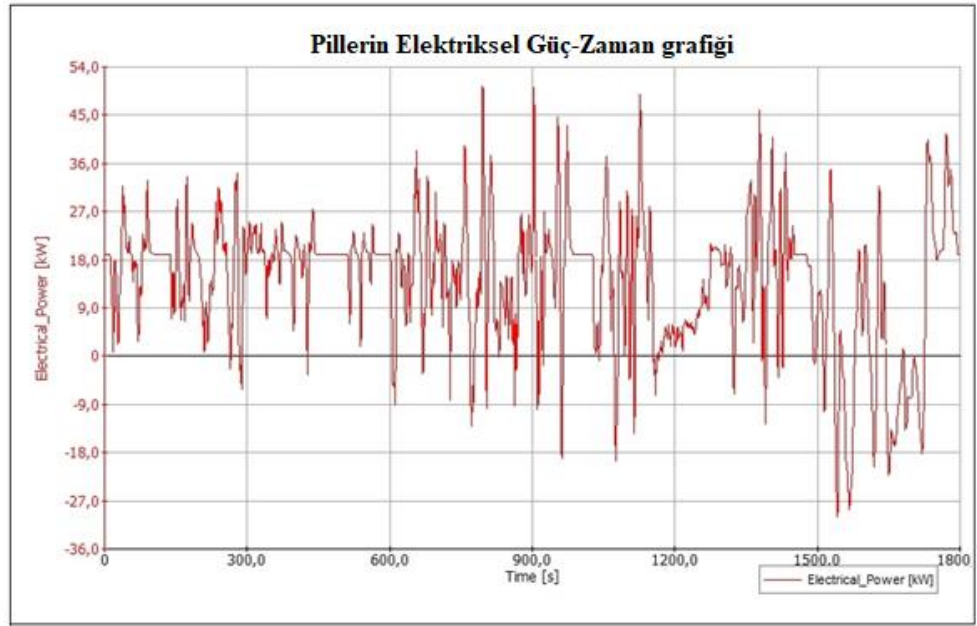
Şekil 4.62: Model 1 %30 SOC için SOC-Zaman grafiği.

Şekil 4.62’de ise iki silindirli benzin motorunun WLTP çevriminde ve termostat kontrol stratejisinde pilleri şarj etme grafiği verilmiştir. Pillerin şarj seviyesi çevrim başlangıcında %30 olduğunda menzil arttırıcı çevrim boyunca çalışmakta ve pillerin şarj seviyesini %45 seviyesine çıkarmaktadır. WLTP çevriminin son kısımlarında taşıt hızı ve buna bağlı olarak güç tüketimi arttığından şarj seviyesi bu noktalarda azalmaktadır.

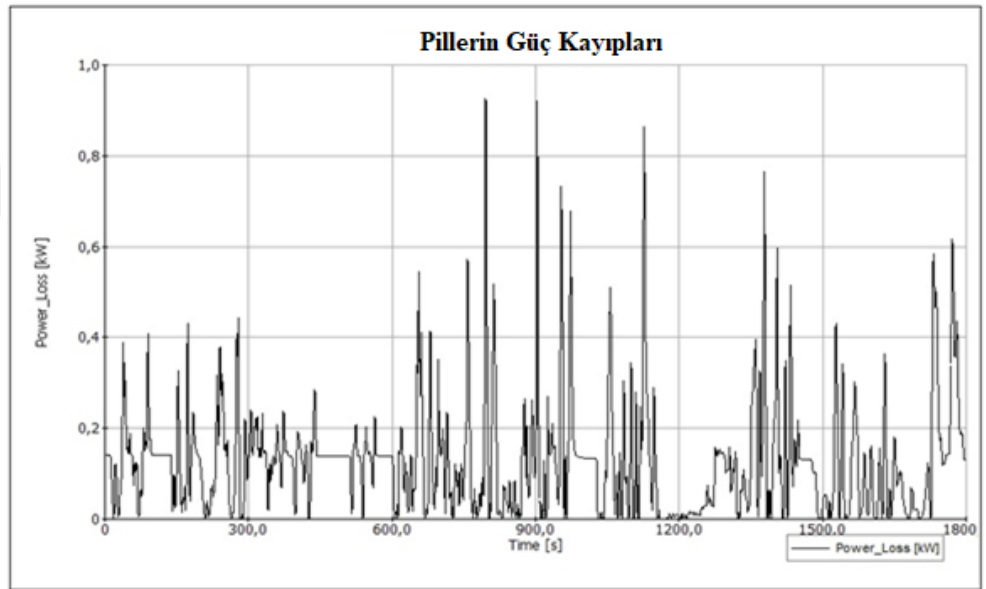
4.8.2 Model 2’nin WLTP çevriminde koşturulması

Seri hibrit Model 2’de Wankel motoru menzil arttırıcı olarak kullanılmıştır. WLTP minimum(%30) şarj seviyesi için simülasyonlar yapılmıştır. Ortalama şarj seviyesinde(%55) ve maksimum şarj seviyesinde(%80) menzil arttırıcı devreye girmediğinden grafikler Model 1’in maksimum ve ortalama şarj seviyelerinde elde edilen grafikler ile birebir aynıdır.

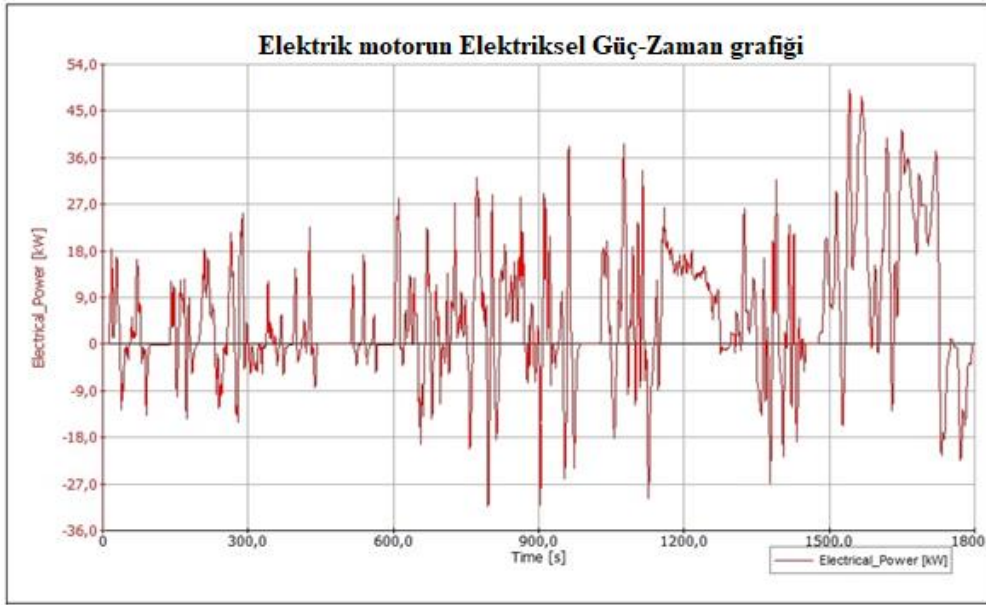
- **%30 şarj durumunda**



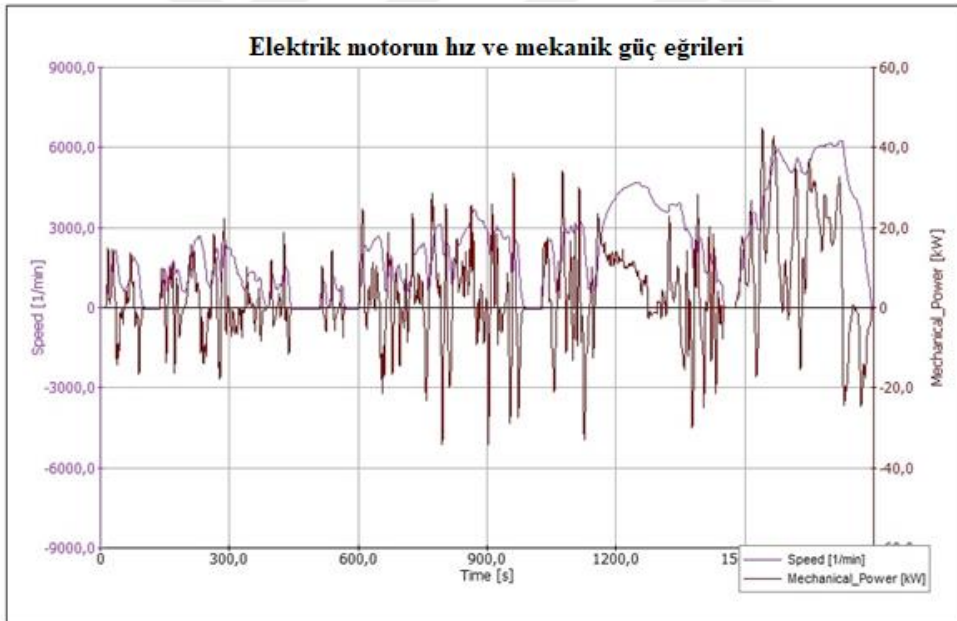
Şekil 4.63: Model 2 %30 SOC için Pillerin elektriksel gücünün zamana bağlı değişimi.



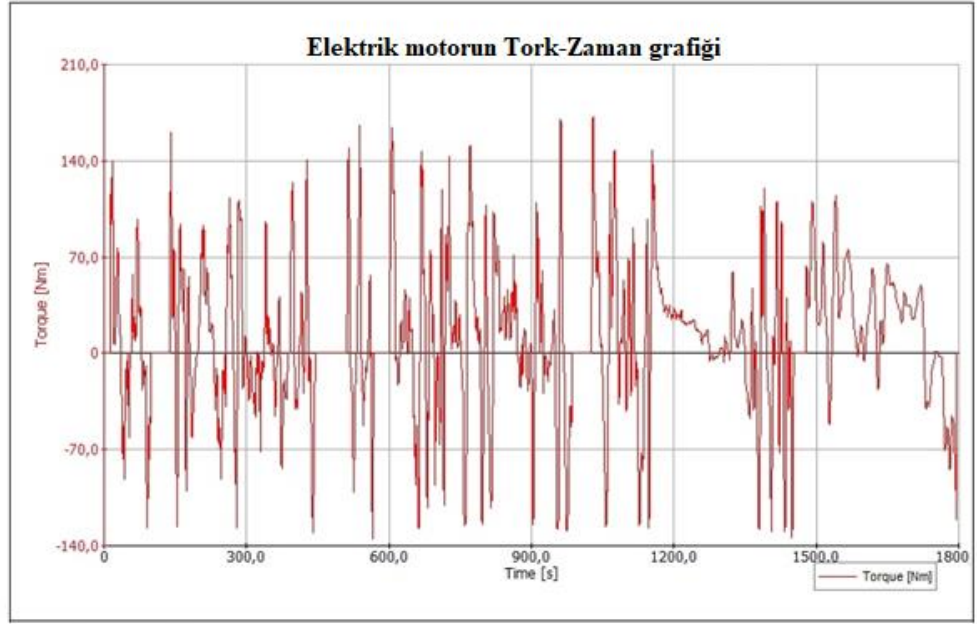
Şekil 4.64: Model 2 %30 SOC için Pillerin güç kayıpları.



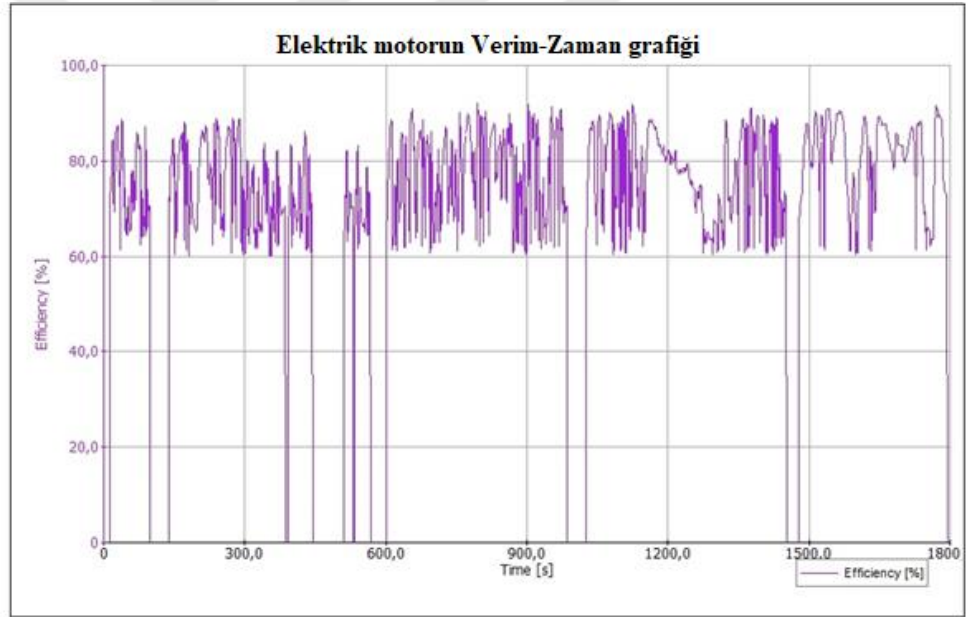
Şekil 4.65: Model 2 %30 SOC için Elektrik motorun Elektriksel Güç-Zaman grafiği.



Şekil 4.66: Model 2 %30 SOC için Elektrik motorun hız ve mekanik güç eğrileri.

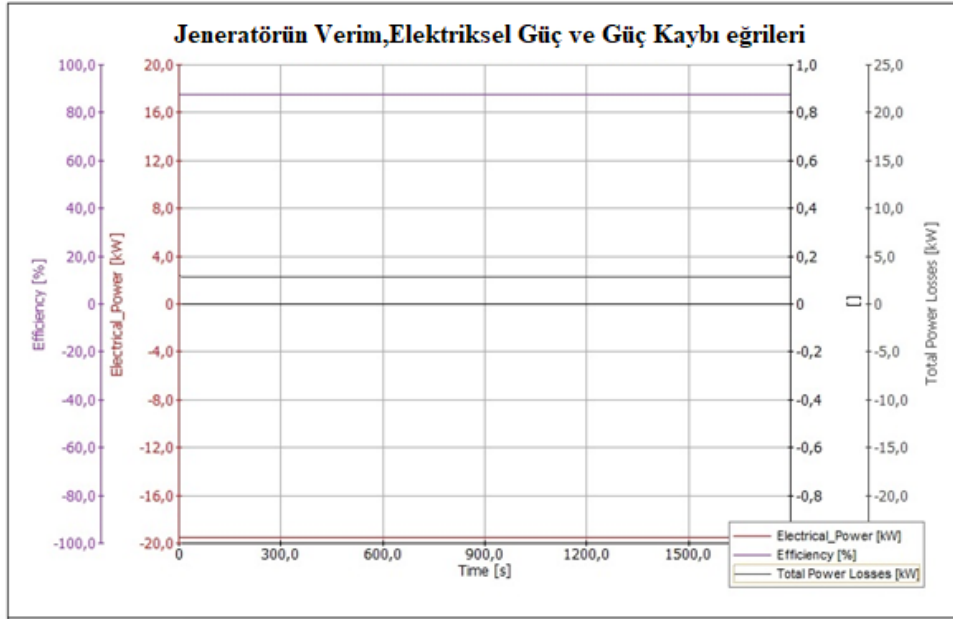


Şekil 4.67: Model 2 %30 SOC için Elektrik motorun Tork-Zaman grafiği.



Şekil 4.68: Model 2 %30 SOC için Elektrik motorun Verim-Zaman grafiği.

Elektrik motorun verim,hız,mekanik güç,elektiriksel güç ve güç kaybı eğrileri de Model 1 için elde edilen eğriler ile aynıdır. Her iki durumda da taşıt aynı hız profilini izlediğinden ve elektrik motor ihtiyacı olan gücü pillerden çekebildiğinden bir değişiklik yoktur.

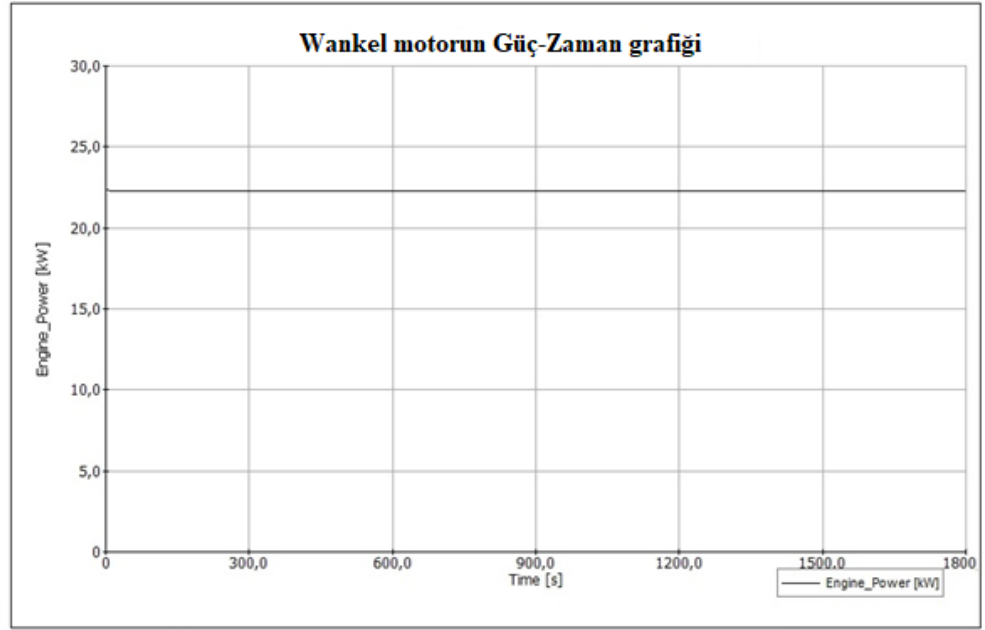


Şekil 4.69: Model 2 %30 SOC için Jeneratörün verim,elektriksel güç ve güç kaybı eğrileri.

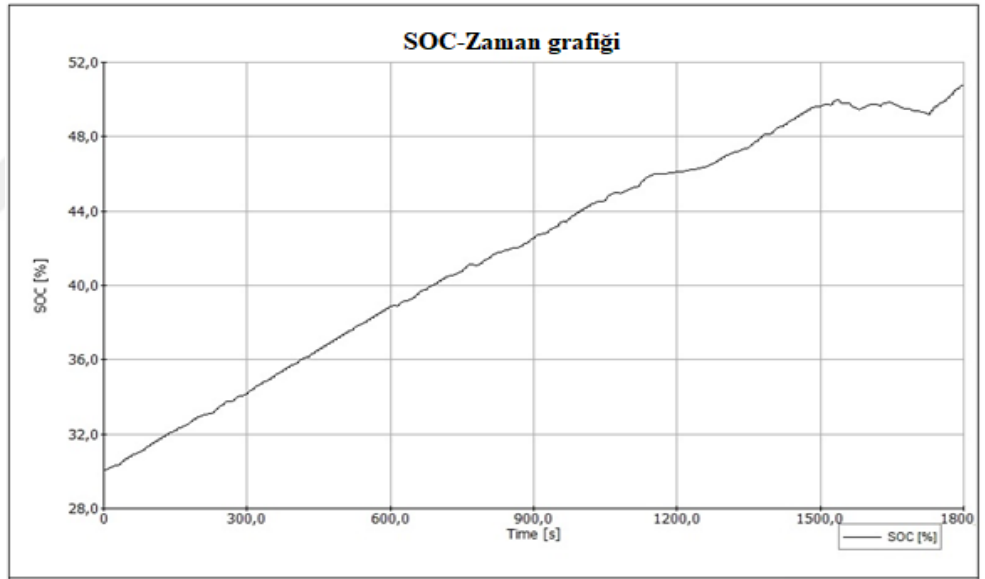


Şekil 4.70: Model 2 %30 SOC için Jeneratörün mekanik gücü.

Wankel motorunun benzil arttırıcı olarak kullanıldığı durumda Wankel motoru 4000 rpm’de çalışarak 22,3 kW’lık güç vermektedir. Jeneratörde yaklaşık olarak 2,5 kW’lık güç kaybı olduğu Şekil 4.69’de görülmektedir. Bu durumda jeneratörün ürettiği ve pilleri şarj etmede kullandığı elektriksel güç yaklaşık olarak 20 kW olmaktadır.

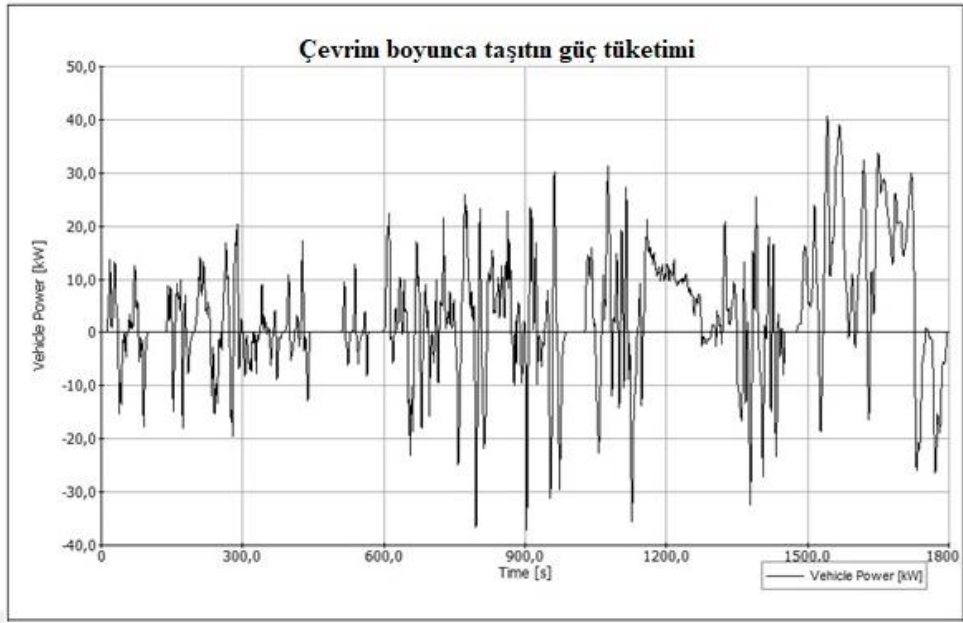


Şekil 4.71: Model 2 %30 SOC için Wankel motorun Güç-Zaman grafiği.



Şekil 4.72: Model 2 %30 SOC için SOC-Zaman grafiği.

Şekil 4.72’de Wankel motorun pilleri şarj etme performansı gösterilmiştir. Çevrim başlangıcında şarj seviyesi %30 olduğunda ve Wankel motoru devreye girdiğinde çevrim sonunda şarj seviyesi %50’ye ulaşmaktadır.



Şekil 4.73: Çevrim boyunca taşıtın güç tüketimi.

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Seçilen konvansiyonel bir taşıt bu tez çalışması kapsamında seri hibrit taşıta dönüştürülmüştür. Konvansiyonel taşıtı ve seri hibrit taşıtı daha iyi karşılaştırabilmek için konvansiyonel taşıttaki içten yanmalı motorun ivmelenme performansı seri hibrit taşıtın güç derecesini belirlerken kullanılmıştır. Elektrik motorun güç derecesinin belirlenmesinde, kullanılan elektrik motor tipi de önemli bir parametredir. Farklı tipte elektrik motorlarının farklı hız oranları vardır. Kalıcı mıknatıslı elektrik motorların hız oranları 2 iken,indüksiyon motorlarının hız oranları 4'tür. Hız oranına bağlı olarak elektrik motorun baz hızı değiştiği için ivmelenme performansı değişmektedir. Buna bağlı olarak piyasadaki elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorları karşılaştırılmış ve elektrik motoru seçimi yapılmıştır. Konvansiyonel taşıttaki içten yanmalı motorun maksimum güç derecesi 88 kW iken aynı performansı sağlayacak elektrik motoru için gerekli güç derecesi 120 kW olarak hesaplanmıştır. Elektrik motorun daha yüksek güce ihtiyaç duymasının bir diğer nedeni de seri hibrit taşıta eklenen piller ve jeneratör nedeniyle ağırlığının 200 kg kadar artmasıdır. Seçilen konvansiyonel taşıt WLTP çevriminde Excel kullanılarak koşturulmuş ve maksimum güç tüketiminin 35 kW olduğu hesaplanmıştır. Taşıt seri hibrite dönüştürüldükten sonra ise AVL Cruise programında aynı çevrimde koşturulmuş ve güç ihtiyacı 40 kW olarak hesaplanmıştır. Taşıt kütlesindeki artışa bağlı olmak daha yüksek güç tüketiminin olması beklenen bir durumdur. AVL Cruise'da yapılan simülasyonlar sonunda taşıtın tahrik elemanlarının performansı incelenmiştir. İki silindirli benzin motorunun kullanıldığı model çevrim başlangıcında pillerin şarj seviyesi %80,%55 ve %30 olacak şekilde WLTP çevriminde koşturulmuştur.%80 ve %55 şarj seviyelerinde çevrim boyunca pillerin şarj seviyesi belirlenen minimum değer olan %30'a düşmediğinden menzil arttırıcı devreye girmemiştir. Rejeneratif frenlemenin şarj seviyesi üzerindeki etkisi incelenmiştir.%80 şarj seviyesinde rejeneratif frenleme uygulanmadığında çevrim sonunda şarj seviyesinin %66 değerine düştüğü,rejeneratif frenleme uygulandığında ise geri kazanılan enerji ile şarj seviyesinin %72 seviyesine indiği görülmüştür. Başlangıç şarj seviyesinin %55 olduğu durumda ise rejeneratif frenleme uygulanmadığında çevrim sonunda şarj seviyesi %40'a düşerken,rejeneratif

frenleme uygulandığında %47'ye düşmektedir. Pillerin şarj seviyesi çevrim başlangıcında %30 olduğunda ise iki silindirli benzin motoru devreye girmekte ve 2500 rpm'de çalışarak 18,66 kW'lık güç vermektedir. Jeneratörde %10 oranında bir güç kaybı olduğu görülmüştür. İki silindirli benzin motoru pillerin şarj seviyesini çevrim sonunda %45 seviyesine çıkarmıştır. Daha sonra aynı simülasyonlar Wankel motorunun menzil arttırıcı olarak kullanıldığı Model 2'de tekrarlanmıştır. Maksimum ve ortalama şarj seviyelerinde menzil arttırıcı devreye girmediğinden elde edilen grafikler Model 1'in grafikleri ile aynıdır. Çevrim başlangıcında şarj seviyesi %30 olduğunda ise Wankel motoru 4000 rpm devirde çalışarak 22,3 kW güç vermiştir ve çevrim sonunda pillerin şarj seviyesini %50'ye çıkarmıştır. Her iki durumda da menzil arttırıcılar termostat kontrol stratejisinde çalıştırılmıştır. Yalnızca pillerin şarj seviyesi belirlenen minimum seviyeye ulaştığında devreye girmişlerdir. Bu nedenle bu çalışmanın genişletilebilmesi için menzil arttırıcılar farklı noktalarda ve farklı kontrol stratejilerinde çalıştırılabilir.İncelenebilecek bir diğer nokta da daha stabil çevrimlerde ve otoyol şartlarında menzil arttırıcıların performansının incelenmesi olabilir. WLTP çevrimi transient bir çevrimdir ve çevrimin sonlarında taşıtın hızı 130 km/saat seviyelerine çıkmaktadır. Daha stabil bir çevrimin kullanılması özellikle elektrik motorun verim,tork eğrileri ve pillerin elektriksel güç eğrilerinin daha iyi analiz edilmesine olanak sağlayabilir. Genel olarak elde edilen bulgular menzil arttırıcılar ile ilgili yapılan çalışmalara paralel yöndedir. Menzil arttırıcıların yüksek güç ihtiyacı olan durumlarda 25 kW güç vermesi gerekmektedir. Özellikle Wankel motoru menzil arttırıcı konsepti olarak uygun kabul edilmektedir. Bu çalışmada Wankel motorunun 4000 rpm,5 bar durumundaki performansı incelenmiştir ve menzil arttırıcı olarak uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Trattner, A.,Pertl, P.,Schmidt, St. P.** (2011).Novel Range Extender Concepts for 2025 with Regard to Small Engine Techonologies.SAE International,Japan,Alt.Power.Volume 1,Issue 2.JSAE 20119596/SAE 2011-32-0596.
- [2] **Fraidl, G.K.,Beste, F., Kapus, P.E.,Korman, M.,Sifferlinger, B.,Benda, V.**(2011). Challenges and Solutions for Range Extenders-From Concept Considerations to Practical Experiences. SAE International.doi:10.4271/2011-37-0019.
- [3] **Ebner, A.,Winkler, F.,Abart, M.,Luz, R.,Kirchberger, R.,Schmidt, S.,Eichlseder, H.**(2010). Study of Possible Range Extender Concepts with Respect to Future Emission Limits. SAE International.doi:10.4271/2010-32-0129.
- [4] **Ehsani, M.,Gao, Y.,Emadi, A.**(2010). Modern Electric,Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles;Fundamentals,Theory and Design.Boca Raton:CRC Press.
- [5] **Baltatanu, A.,Florea, L.M.**(2013). Comparison of Electric Motors Used for Electric Vehicles Propulsion.International Conference of Scientific Paper.AFASES 2013.
- [6] **Sharma, S.,Kumar, V.**(2013).Optimized Motor Selection for Various Hybrid and Electric Vehicles.SAE International.doi:10.4271/2013-01-2833.
- [7] **Capaldi, P.**(2011).A Compact 10 kW Electric Power Range Extender Suitable for Plug-In and Series Hybrid Vehicles.SAE International.doi:10.4271/2011-24-0085.
- [8] **Hofman, T.,Steinbuch, M.,van Druten, R.,Serrarens,A.**(2004).Design Specifications for Hybrid Vehicles.AVEC 2004.
- [9] **Villani,M.**(2018). High Performance Electrical Motors for Automotive Applications – Status and Future of Motors with Low Cost Permanent Magnets.European Union’s Horizon 2020 Research and Innovation Programme.
- [10] **Turner, M.,Turner J.,Vorraro G.**(2019).Mass Benefit Analysis of 4-Stroke and Wankel Range Extendersin an Electric Vehicle over a Defined Drive Cycle with Respect to Vehicle Range and Fuel Consumption.SAE International.doi:10.427/2019-01-1282
- [11] **Url-1**< <https://www.mekatronikmuhendisligi.com/termo-ele.html>> ,erişim tarihi 05.07.2019
- [12] **Url-2**< <https://www.sekizsilindir.com/2016/12/2016-kasim-otomobil-modeli-satislari.html>>,erişim tarihi 07.07.2019
- [13] **Url-3** < <http://www.uzayoto.com.tr/assets/Download/passat-variant.pdf>>, erişim tarihi 08.07.2019
- [14] **Url-4**< <http://www.a2resource.com/eandt/ratios.html>>,erişim tarihi 09.07.2019

[15] **Url-5**<<https://wltpfacts.eu/from-nedc-to-wltp-change/>>,erişim tarihi 09.07.2019



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Anılcan ÖZKAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.08.1991 , Üsküdar/İstanbul
E-posta : ozkana17@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Işık Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Otomotiv Programı