



GİRESUN
ÜNİVERSİTESİ

Yüksek Lisans Tezi

Ad Soyad : Başak GÖK

Yıl : 2018

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLI ARABALARIN
TASARIMI VE SİMÜLASYONU

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başak GÖK

20152108008

2018

GİRESUN

Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güre Yerleşkesi 28200 / Giresun

**T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİKLİ ARABALARIN TASARIMI VE SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Başak GÖK

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan ADATEPE

Ağustos 2018

T.C.

**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİKLİ ARABALARIN TASARIMI VE SİMÜLASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Başak GÖK

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Bu tez 28/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr.
Hasan GEDİKLİ
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr.
Hakan ADATEPE
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi
Onur Özdal MENGİ
Üye**

**Doç. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Başak GÖK
28/08/2018

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın gerçekleőtirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaőan, kullandığı her kelimenin hayatıma kattığı önemini asla unutmayacağım saygıdeğer danıőman hocam; Doç. Dr. Hakan ADATEPE 'ye, çalıőmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen, tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLOLAR LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Elektrikli Araçların Tarihi ve Günümüzdeki Yeri.....	1
1.2. Elektrikli Araçların Avantaj ve Dezavantajları.....	2
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Elektrikli Araba Türleri.....	3
2.1.1. Enerjiyi Elektrik Hatlarından Alan Elektrikli Araçlar.....	3
2.1.2. Bataryalı Elektrikli Araçlar.....	4
2.1.3. Yakıt Pili Elektrikli Araçlar.....	4
2.2. Bataryalar.....	5
2.2.1. Kurşun-Asit Bataryalar.....	6
2.2.2. Nikel-Kadmiyum Bataryalar.....	7
2.2.3. Nikel Metal Hidrit Bataryalar.....	8
2.2.4. Sodyum-Sülfür Bataryalar.....	9
2.2.5. Lityum-İyon Bataryalar.....	10
2.3. Motorlar.....	11
2.3.1. DC Motorlar.....	11
2.3.2. Asenkron Motorlar.....	12

2.3.3. Daimi Mıknatıslı Motorlar.....	13
2.3.4. Anahtarlama Relüktans Motorlar.....	14
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Materyal	16
3.1.1. AVL Cruise Programı ile İçten Yanmalı Motorlu Aracın Elektrikli Araca Dönüşüm Modeli.....	16
3.2. Yöntem	16
3.2.1. Volkswagen Polo IV Modellenmesi.....	16
3.2.1.1. Modüllerde Kullanılan Parametreler.....	19
3.2.1.1.1. Taşıt Modülü.....	19
3.2.1.1.2. İçten Yanmalı Motor Modülü.....	20
3.2.1.1.3. Elektrik Motor Modülü.....	22
3.2.1.1.3.1. Elektrik Motoru Denklem Sistemi.....	23
3.2.1.1.4. Batarya Modülü.....	24
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI	28
4.1. Lityum-İyon, Nikel Metal Hidrit ve Nikel-Kadmiyum Bataryaların Farklı SOC Değerlerindeki Verileri.....	28
4.2. Elektrik Motorunun Farklı SOC Değerlerindeki Verileri.....	37
BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ	39
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	45

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

α	: Açısal ivme
α	: Isı transferi katsayısı
ω	: Açısal hız
I	: Atalet momenti
I_{ak}	: Akım
M	: Tork
M_1	: Motorun karakteristik eğrisindeki değişken tork
M_{mak}	: Maksimum tork
$P_{\text{çev}}$: Çevreye geçen ısı gücü
P_{elek}	: Gerçek elektriksel güç
$P_{ısı}$: Isıya dönüşen güç
$P_{kayıp}$: Güç kaybı
P_{mek}	: Gerçek mekanik güç
$P_{mek,mak}$: Mekaniksel maksimum güç
T	: Sıcaklık
$T_{\text{çev}}$: Çevreye geçen sıcaklık
V	: Voltaj
ASM	: Asenkron Motor
NEDC	: New European Driving Cycle (Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi)
SOC	: State of Charge (Batarya Şarj Durumu)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İlk hibrid elektrikli araç.....	1
Şekil 1.2. İlk ticari elektrikli araç.....	1
Şekil 2.1. Elektrikli tramvay.....	3
Şekil 2.2. Elektrikli trolleybus.....	3
Şekil 2.3. Bataryalı elektrikli araç.....	4
Şekil 2.4. 2003 'de hizmete sunulan yakıt pilli otobüs.....	5
Şekil 2.5. Honda tarafından yapılan ilk yakıt pilli araç.....	5
Şekil 2.6. Kurşun-Asit bataryasının iç yapısı.....	7
Şekil 2.7. Nikel-Kadmiyum bataryasının iç yapısı	8
Şekil 2.8. Nikel Metal Hidrit bataryasının iç yapısı	9
Şekil 2.9. Sodyum- Sülfür bataryanın iç yapısı	9
Şekil 2.10. Lityum-İyon bataryanın iç yapısı.....	10
Şekil 2.11. Motor tiplerinin iç yapısı.....	11
Şekil 2.12. DC motor ve çalışma prensibi.....	12
Şekil 2.13. Asenkron motorun iç yapısı.....	13
Şekil 2.14. Daimi mıknatıslı motorun iç yapısı.....	14
Şekil 2.15. Anahtarlama relüktans motorun iç yapısı.....	15
Şekil 3.1. Volkswagen Polo IV' ün AVL Cruise modeli.....	17
Şekil 3.2. Volkswagen Polo aracının Lityum-İyon batarya ile elektrikli araca dönüşüm modeli.....	18
Şekil 3.3. Volkswagen Polo aracının Nikel Metal Hidrit batarya ile elektrikli araca dönüşüm modeli.....	19
Şekil 3.4. Volkswagen Polo aracının Nikel-Kadmiyum batarya ile elektrikli araca dönüşüm modeli.....	19
Şekil 3.5. Volkswagen Polo içten yanmalı motorlu aracın tork- motor devri grafiği.....	21

Şekil 3.6. Lityum-İyon bataryanın şarj durumuna bağlı olarak gerilimi.....	25
Şekil 3.7. Nikel Metal Hidrit bataryanın şarj durumuna bağlı olarak gerilimi.....	26
Şekil 3.8 Nikel-Kadmiyum bataryanın şarj durumuna bağlı olarak gerilimi.....	27
Şekil 4.1. Lityum-İyon bataryanın %90 SOC durumunda güç ve SOC değişimi....	29
Şekil 4.2. Lityum-İyon bataryanın %40 SOC durumunda güç ve SOC değişimi....	29
Şekil 4.3. Lityum-İyon bataryanın %90 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi.....	30
Şekil 4.4. Lityum-İyon bataryanın %40 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi.....	31
Şekil 4.5. Nikel Metal Hidrit bataryanın %90 SOC durumunda güç ve SOC değişimi.....	32
Şekil 4.6. Nikel Metal Hidrit bataryanın %40 SOC durumunda güç ve SOC değişimi.....	32
Şekil 4.7. Nikel Metal Hidrit bataryanın %90 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi.....	33
Şekil 4.8. Nikel Metal Hidrit bataryanın %40 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi.....	34
Şekil 4.9. Nikel-Kadmiyum bataryanın %90 SOC durumunda güç ve SOC değişimi.....	34
Şekil 4.10. Nikel-Kadmiyum bataryanın %40 SOC durumunda güç ve SOC değişimi.....	35
Şekil 4.11. Nikel-Kadmiyum bataryanın %90 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi.....	36
Şekil 4.12. Nikel-Kadmiyum bataryanın %40 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi.....	36
Şekil 4.13. Elektrik motorunun %90 SOC durumunda motorun torku, motor devri ve güç değişimi.....	38
Şekil 4.14. Elektrik motorunun %40 SOC durumunda motorun torku, motor devri ve güç değişimi.....	38

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların parametreleri.....	6
Tablo 2.2. Elektrik motorlarının özelliklerinin karşılaştırılması.....	15
Tablo 3.1. İçten yanmalı motorun tam yük moment karakteristiği.....	21
Tablo 3.2. Elektrik motorunun dönme hızı–tork değerleri.....	22



ELEKTRİKLİ ARABALARIN TASARIMI VE SİMULASYONU

ÖZET

Bu tez çalışmasında, elektrikli araç simülasyonu için AVL Cruise programı kullanılmıştır. Volkswagen Polo aracının teknik özellikleri programdaki modüller içerisine girilmiş, sisteme araç bilgileri tanıtılmış ve sürüş testi yapılmıştır. Günümüzde, elektrikli arabaların yaygınlaşmasının sebebi, oluşan kötü ekosistemin iyileştirmesine yönelik bir çözüm, araştırmacılar tarafından düşünülmüştür. Bu sebeple içten yanmalı motorlu araçların yerine elektrikli ya da hibrid araçlara eğilim artmıştır. Volkswagen Polo araç modeli, elektrikli araca çevrilmiştir. Aracın performansını incelemek için üç farklı batarya kullanılmıştır. Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (New European Driving Cycle) NEDC'nde çalışmalar yapılmıştır. Elektrikli arabalarda kullanılan batarya tipleri çok önemlidir. Geliştirilen bataryalardan en uygunu Lityum-İyon, Nikel Metal Hidrit ve Nikel-Kadmiyum bataryalarıdır. Doğru batarya şarj dolum oranları ile araç performansı incelenmesi yapılmıştır. Motor olarak asenkron motor tipi kullanılmıştır. Çevrim sonunda irdemeler ve hesaplamalar ile Volkswagen Polo aracının elektrikli araç olarak piyasaya sürülmesi halinde, otomotiv üreticileri ve alıcılarına ne gibi faydalar sağlayacağını değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Elektrikli araba, Batarya, Motor

DESIGN AND SIMULATION OF ELECTRIC VEHICLES

SUMMARY

In this thesis study, AVL Cruise program is used for electric vehicle simulation. The technical specifications of the Volkswagen Polo vehicle were entered into the modules in the program, the vehicle information was introduced to the system and the driving test was carried out. Nowadays, a solution to the improvement of the worse ecosystem, which is caused by the spread of electric cars, is considered by researchers. Therefore, the tendency for electric or hybrid vehicles to replace internal combustion motor vehicles has increased. The Volkswagen Polo vehicle model is turned into electric vehicle. Three different batteries were used to study the vehicle's performance. New European Driving Cycle Work has been done at the NEDC. Battery types used in electric vehicles are very important. Lithium-Ion, Nickel Metal Hydride and Nickel-Cadmium batteries are the most suitable from the developed batteries. Accurate battery charging rates and vehicle performance have been examined. An asynchronous motor type is used as the motor. At the end of the cycle, reviews and calculations were made to assess the benefits of the Volkswagen Polo vehicle to automotive manufacturers and buyers, when driven into the market as an electric vehicle.

Keywords: Electric vehicle, Battery, Motor

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Elektrikli Araçların Tarihi ve Günümüzdeki Yeri

1830'lu yılların ilk elektrikli araçları tek kullanımlık bataryalar kullanılmıştır [1]. 1835 yılında Prof. Stratingh ilk elektrikli araba modelini ürettiği ve aynı yıllar içerisinde Thomas Davenport tek kullanımlık batarya ile ilk elektrikli araç uygulaması yaptığı [2,3] 19. yy sonlarına doğru şarj edilebilir bataryalar üretilmeye başlanmıştır [1]. 1881'de Gustave Trouve şarj edilebilir batarya kullanarak 3 tekerlekli elektrikli bisiklet yapmıştır [2,3]. Böylece elektrikli araçlar içten yanmalı motorlu araçlara göre daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır [1]. Ülkemize elektrikli araç ilk 1888 yılında gelmiştir ve bu elektrikli araç 1 BG gücünde motora sahiptir [4,5].

Tarihte yerini alan ilk hibrid elektrikli araç 1902 yılında Porsche tarafından üretildi ve Porsche müzesinde sergilenmektedir [6] ve Şekil 1.1'de gösterilmiştir. 1895 yılında ilk ticari elektrikli araç Morris ve Salom tarafından Electrobat üretmişler ve taksi olarak kullanıma sunulmuştur [7] ve Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. İlk hibrid elektrikli araç [8]



Şekil 1.2. İlk ticari elektrikli araç [9]

1915’li yıllarda piyasada ucuz petrol olması nedeniyle elektrikli araçların yerine içten yanmalı motorlu araçlar kullanılmaya başlandı [10]. 2000’li yıllarda hibrid elektrikli araçlar yollarda yerini almaya başladı [11].

İçten yanmalı motorlu araçların çevreye verdiği zararları azaltmak sebebiyle gündeme tekrar gelmiş ve bu konuda yoğun çalışmalar başlamıştır. Ayrıca Elektrikli araçların sürdürülebilir enerji kaynaklarından da faydanılması ile bataryalarının tekrar doldurulması özelliğine sahiptir [12]. Günümüzde Ford, Renault, Toyota, BMW, Tesla gibi pek çok araba firması elektrikli arabaların gelişmesi için çalışmalar yapmaya ve bu arabaları piyasa sürmeye devam devam etmektedir [13].

1.2. Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları

Elektrikli araçlar sessiz ve çevre dostu araçlardır [14]. Zararlı gazların emisyonu yoktur [15]. İçten yanmalı motorlu araçlarda verim %40 iken, elektrikli araçlarda verimlilik %90’dır. Yüksek verimle çalışan bu araçlar sahip oldukları elektrik motorlarının yüksek torkları sayesinde içten yanmalı motora sahip araçlardan daha kısa zamanda aracın hızlanması gerçekleşir [16]. Elektrikli araçlar basit yapılara sahiptir. Dişli kutusu, egzoz sistemi, soğutma gibi yapılara gerek duymaz. Elektrikli araçlar ilerde geliştirilebilecek teknolojilere uyarlanabilme özelliğine sahiptir [14]. Elektrik motorlarının, frenleme ve yokuş aşağı inme durumlarında elektrik üretebilme özelliği ile bataryalar şarj edilebilmektedir [17]. Elektrik motorlarının fiyatlarının pahalı olmaması, uzun süre kullanılabilirliği ve kolay değiştirilebilmektedir [14]. Bütün bu avantajlara rağmen bataryalarının ağırlığının fazla olması ve maliyenin yüksek olması, 4-5 yıl sonra bazı yapıların yenilenmesi gerektiği, tamamen şarj edilme süresinin 7-8 saat sürmesi gibi dezavantajlara da sahiptir [14,17,18]. Ancak gelişen teknoloji sayesinde bu olumsuzluklar giderilmeye çalışılmaktadır. Lityum iyon bataryaları kullanan elektrikli araçlarda hızlı şarj teknolojisi kullanılarak şarj süresi 1 ila 3 saat arasında dolmaktadır [18].

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Elektrikli Araç Türleri

Elektrikli araçlar tümü elektrikli araç ve hibrid elektrikli araç olmak üzere ikiye ayrılır. Tümü elektrikli araçlar da kendi içerisinde enerjiyi kullandığı sisteme göre üç kısma ayrılır. Bunlar:

- Enerjiyi doğrudan elektrik hatlarından alan elektrikli araçlar,
- Enerjiyi önceden depolanmış sistemlerden alan elektrikli araçlar,
- Enerji ihtiyacı olduğunda anında üretip taşınabilir sistem kullanan elektrikli araçlar. [14]

2.1.1. Enerjiyi Elektrik Hatlarından Alan Elektrikli Araçlar

Bu araç tipleri günümüzde tren, trolleybüs, tramvay, metro olarak bilinmektedir [1]. Şekil 2.1’de elektrikli tramvay ve Şekil 2.2’de elektrikli trolleybüsün fotoğrafları gösterilmiştir. Şehirlerde ulaşım aracı olarak kullanılıyor ve ayrıca ulaşım maliyetinin az ve çevreye zarar vermemesinden dolayı tercih edilmektedir.



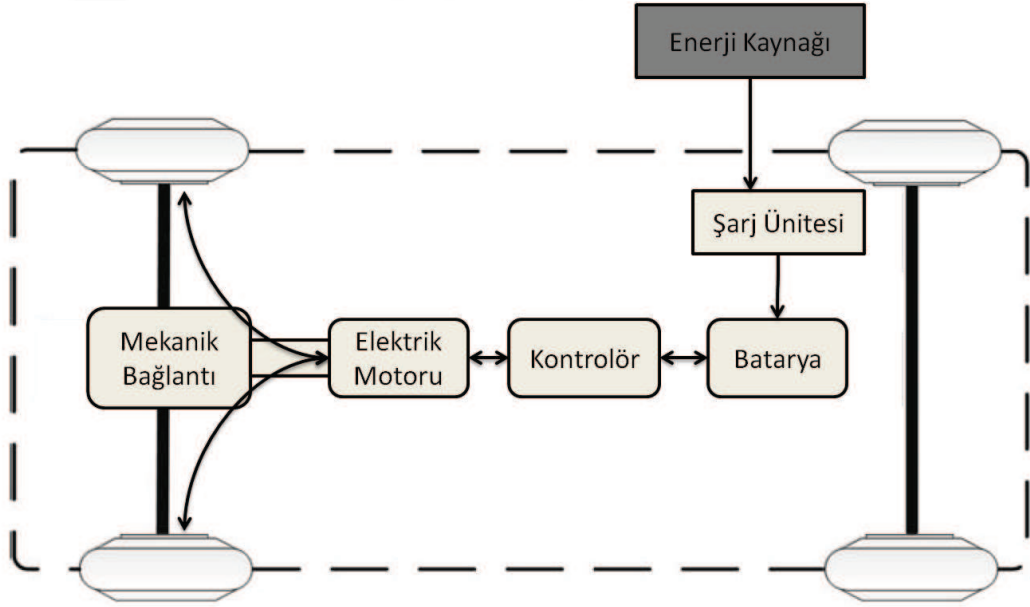
Şekil 2.1. Elektrikli tramvay [19]



Şekil 2.2. Elektrikli trolleybüs [20]

2.1.2. Bataryalı Elektrikli Araçlar

Bu araç tipinin sistemi basittir. Şekil 2.3’de gösterilmiştir. Bataryalı elektrikli araçlar enerjiyi önceden depolamış sistemlerden alan elektrikli araç modelidir. Araç enerjiyi depolaması için batarya, elektrik motoru ve kontrolörden oluşur. Batarya şebeke elektriğinden şarj edilebilmektedir. Kontrolör motorun güç ve hızını kontrol eder [1,16]. Bataryalı elektrikli araçların hareket etmesi elektrik motorları sayesinde olmaktadır ve elektrik motoruna sağlanan enerji bataryalarda aktarılır [13,21].



Şekil 2.3. Bataryalı elektrikli araç

2.1.3. Yakıt Pili Elektrikli Araçlar

Yakıt pilli araçlar enerji kaynağını doğada kendiliğinden var olan hidrojen kaynaklarının elektrokimyasal işlemleri sayesinde elde edilir [1]. İlk yakıt pilli araç çalışmaları 1838 yılında $H_2 - O_2$ pili üzerinde denenmiştir. İlk hidrojen kaynaklı pillerin kullanımı ise NASA tarafından uzay araçlarına yakıt amaçlı oluşturulmuştur [21]. Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de yakıt pil kullanılarak üretilen otobüs ve binek araç resmi gösterilmiştir.

Bataryalar enerjiyi depolayıp öyle araçlarda kullanılırken yakıt pilleri enerjiyi dönüştürerek araçlarda kullanılır [22]. Yakıt pilli araçlarda normal elektrikli araçlarda enerji kaynağı olarak kullanılan bataryalar yerine süperkapasitör kullanılmaktadır [11].



Şekil 2.4. 2003 'de hizmete sunulan yakıt pilli otobüs [1]



Şekil 2.5. Honda tarafından yapılan ilk yakıt pilli araç [1]

2.2. Bataryalar

Bataryalar iki tip yapıya sahiptir. Şarj edilemez batarya denilen primer yapı ve şarj edilebilir batarya bu da seconder yapıdır. Elektrikli araçlarda günümüzde kullanılan batarya yapısı seconder bataryalardır [11,23]. Batarya sisteminde istenen ve tercih edilen özellikler maliyet, performans, kullanım ömrüdür [11,17]. Bataryaların performansını etkileyen faktörler State of Charge (SOC) yani batarya şarj durumu, depolama kapasitesi, şarj-deşarj oranı, sıcaklık ve raf ömrüdür [24]. Bataryaların yaklaşık 3-4 yıllık kullanım ömrünün olması istenir ve buda tercih faktörlerinden biridir [25].

Bataryaları geliştirmek için başta Amerika olmak üzere birçok ülke yatırım yapmış ve hedefleri bulunmaktadır. Ortak hedefleri ise elektrikli araçların performanslarının içten yanmalı motorlu araçların performansına yaklaşımak istenmektedir [26]. Elektrikli araçlarda Kurşun-Asit, Nikel-Kadmiyum, Nikel Metal Hidrit, Sodyum-Sülfür ve Lityum-İyon yapılı bataryalar kullanılmaktadır [27].

Özgül enerji kilogram başına depolanan enerji, enerji yoğunluğu hacim başına depolanan enerji miktarı, özgül güç kilogram başına bataryadan alınabilecek güç

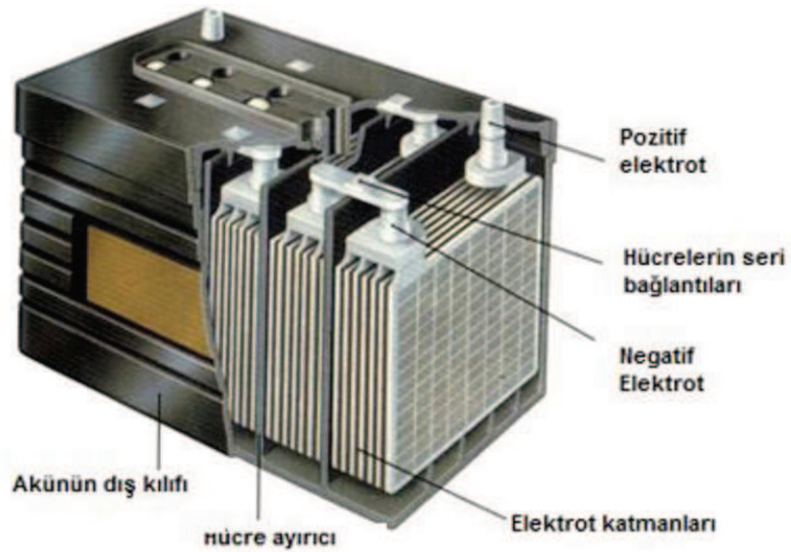
miktardır [27]. Batarya tiplerini bu parametrelere karşılaştırılması Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların parametreleri [26,28]

Batarya Tipleri	Özgül Enerji (Wh/kg)	Enerji Yoğunluğu (Wh/l)	Özgül Güç (W/kg)	Maliyet (\$/kWh)
Kurşun-Asit	35-40	54-95	75-300	150
Ni-Cd	40-60	70-90	150-300	300
NiMH	55-85	150	100-300	200-350
Na-S	150-240	150	90-230	250-450
Li-iyon	90	150	300	150-200

2.2.1. Kurşun-Asit Bataryalar

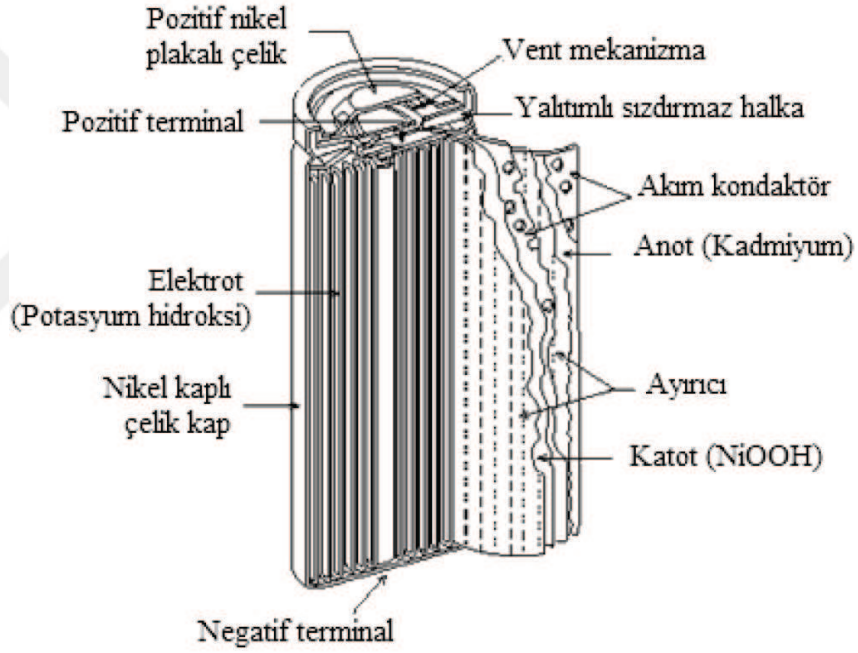
19. yüzyılın ikinci yarısında G. Plante tarafından icat edilen bu batarya eski bir tarihe dayanmasına rağmen hala elektrikli araçlarda kullanılmaktadır [29,30]. Bunun sebebi başlıca düşük maliyete sahip olmasıdır [1,25,30,31]. Bunun yanı sıra bu batarya türünün performansı düşük sıcaklıklardan etkilenmektedir ve bataryanın şarj edilme süresi 7-8 saati bulmaktadır [1]. Kurşun-Asit bataryanın iç yapısı gösteren resim Şekil 2.6’daki gibidir.



Şekil 2.6. Kurşun-Asit bataryasının iç yapısı [32]

2.2.2. Nikel-Kadmiyum Bataryalar

Nikel-Kadmiyum bataryalarının performansları Kurşun-Asit bataryalarının performansları kıyaslandığında neredeyse aynı olması bu iki bataryayı rakip yapmıştır [1,31]. Ayrıca Nikel-Kadmiyum bataryalar Kurşun-Asit bataryaların aksine düşük sıcaklıklarda daha iyi performans göstermektedirler [31]. Nikel-Kadmiyum bataryanın parçalanmış halindeki iç yapı Şekil 2.7'deki gibidir. Bu batarya tipinin şarj süresi 1 saat olmasına rağmen maliyeti yüksek ve kadmiyum metali çevreye zararlı olması da dezavantajıdır [1,25,30].

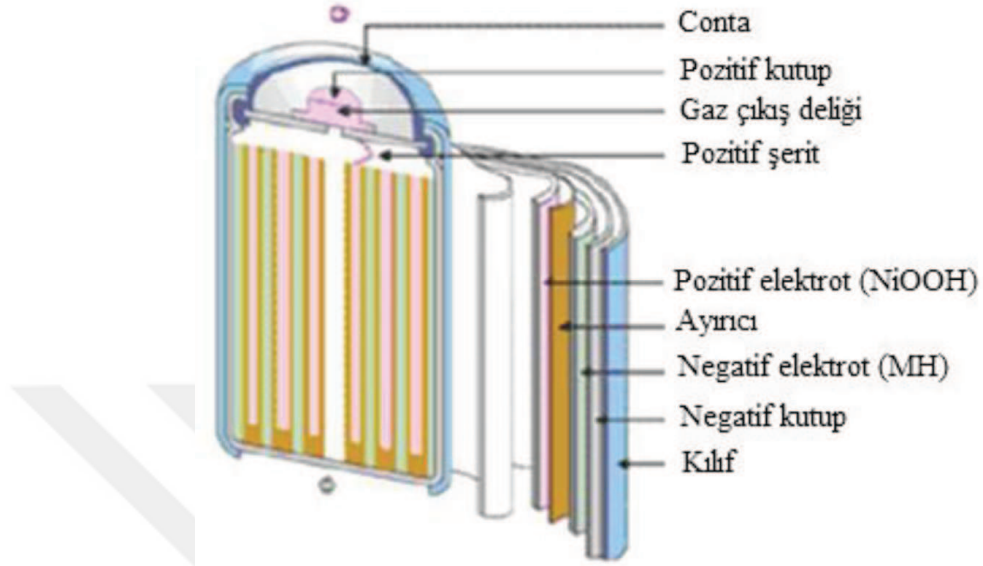


Şekil 2.7. Nikel-Kadmiyum bataryasının iç yapısı [33]

2.2.3. Nikel Metal Hidrit Bataryalar

Bu batarya tipi 20. Yüzyılın sonlarında ortaya çıkmıştır ve Nikel-Kadmiyum batarya tipine de benzemektedir [1,30]. Nikel Metal Hidrit batarya tipini Nikel-Kadmiyum batarya tipinden ayıran bir özellik çevreye zarar vermemesidir. Bu sebeple Nikel-Kadmiyum batarya tipi yerine kullanılmaya başlanmıştır [25]. Bu bataryanın iç

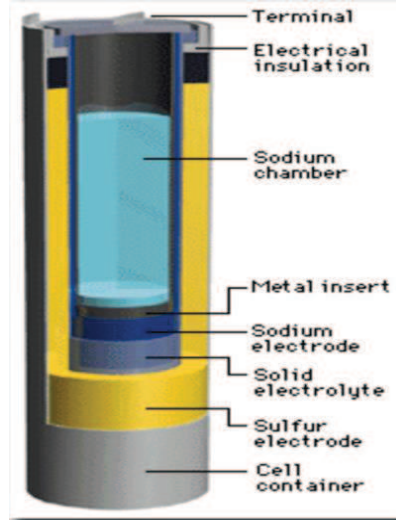
yapısı Şekil 2.8'deki gösterildiği gibidir. Şarj edilme süresi 1 saat olmasına rağmen maliyetinin yüksek olması dezavantajıdır [1].



Şekil 2.8. Nikel-Metal Hidrit bataryasının iç yapısı [33]

2.2.4. Sodyum-Sülfür Bataryalar

Bu batarya tipi 20. Yüzyılın sonlarında geliştirilmiştir [1,25]. Kurşun asit batarya tipinden 3-4 kat daha yüksek özgül enerjiye sahip olmasına rağmen bu batarya tipinin çalışma ortamı sıcaklığı 300-350 °C olması ve 200 °C aşağısında çalışmaması durumundan ısıyı batarya da tutmak zor olduğu için bu batarya için dezavantajdır [1,25,30,31]. Sodyum-Sülfür bataryanın yeniden şarj edilme süresi 8 saattir [1]. Sodyum-Sülfür bataryanın iç yapısı Şekil 2.9'da gösterilmektedir.

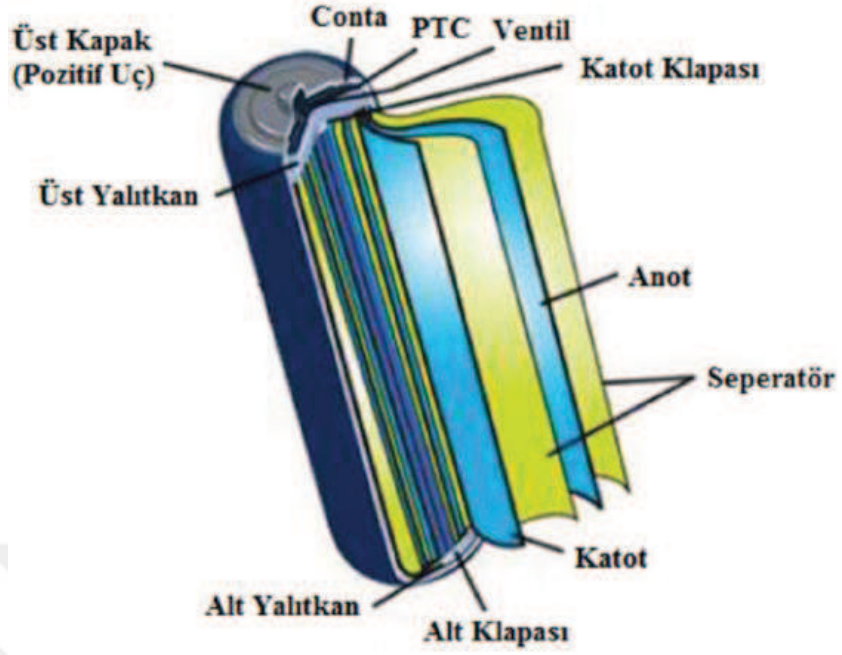


Şekil 2.9. Sodyum-Sülfür bataryanın iç yapısı [34]

2.2.5. Lityum-İyon Bataryalar

20. yüzyılın başlarında geliştirilmiş olan bu bataryalar elektrikli araçlar için kullanılan batarya tiplerinden karakteristiği en uygun olan batarya tipidir ve günümüzde hala geliştirilmeye devam edilmektedir [25,30,35]. Lityum-İyon bataryanın iç yapısı Şekil 2.10'da tüm ayrıntılarıyla gösterilmektedir.

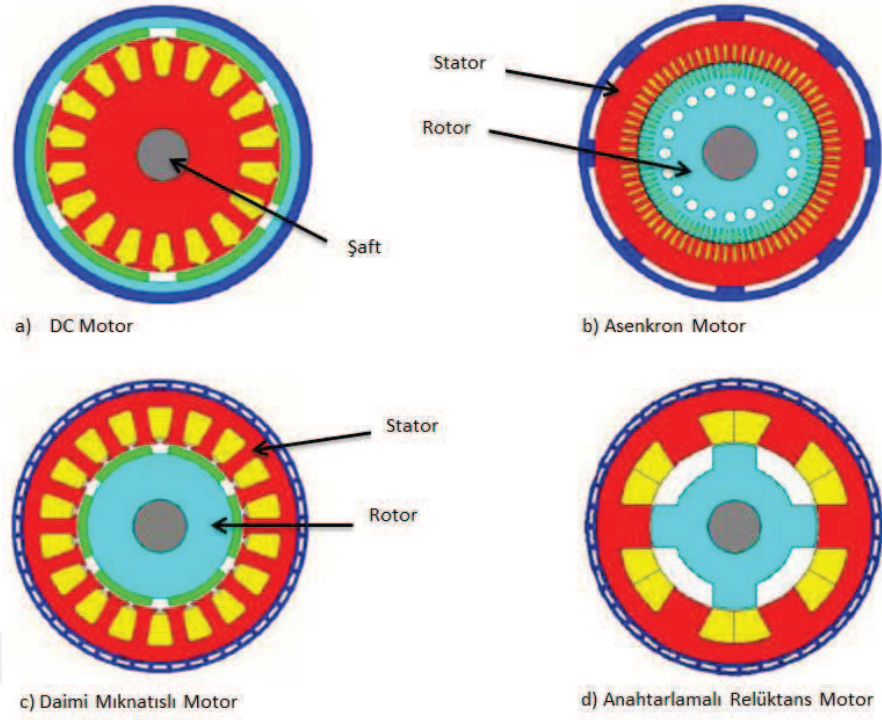
Yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ile diğer bataryaları geride bırakmaktadır [25]. Ayrıca lityum-iyon batarya tipinin diğer bataryalardan ayıran bir diğer özelliği en küçük frenleme anında bile kendi kendini şarj edebilir ve şarj süresi 2-3 saattir [1,25]. Bu bataryanın ömürlerinin uzun olması avantajı iken maliyetli, çalışma sıcaklığı 45 °C olması ve üretildiği andan itibaren özelliğini yitirmeye başlaması da dezavantajıdır. Bu sebeple batarya ömrü kısılmasını engellemek için lityum-iyon tipli batarya kullanılan araçta soğutma sisteminin iyi olması gerekmektedir [26,31].



Şekil 2.10. Lityum-İyon bataryanın iç yapısı [33]

2.3. Motorlar

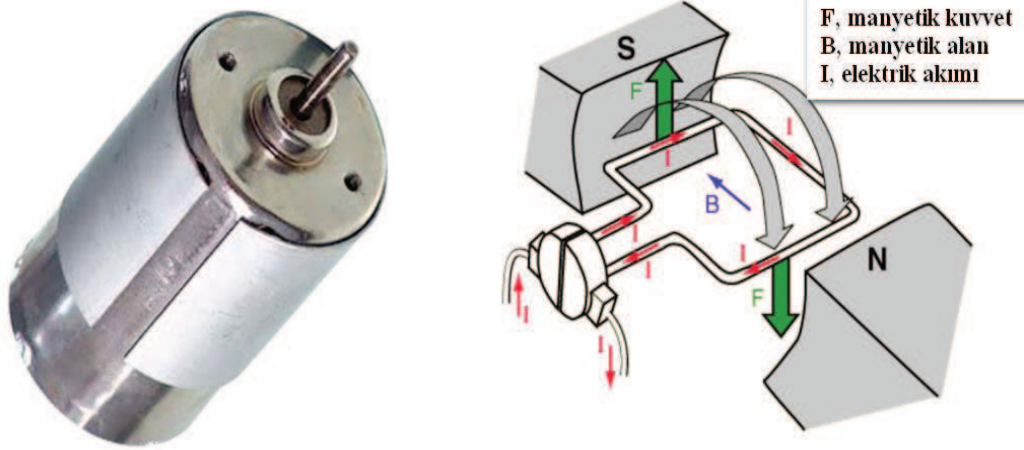
Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren motorlardır. Elektrikli araçlar için gerekli olan motorların seçiminde tercih edilen unsurlar elektrik motorunun verimi, performansı, özgül gücü, maliyeti ve bakım sıklığıdır [6]. Elektrikli motorların günümüzde en sık kullanılanları DC motorlar, Asenkron motorlar, Daimi mıknatıslı motorlar ve Anahtarlamalı relüktans motorlardır [17]. Motor tiplerinin iç yapısı Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Motor tiplerinin iç yapısı [36]

2.3.1. DC Motorlar

DC motorların çalışma prensibi dönen rotor ve sabit statorun manyetik alan içerisinde akan akımın iletken bobinleri uyarması ile bir tork üretilir ve enerji hareket enerjisine dönüşür [1,37,38]. DC motorun iç yapısı ve çalışma prensibi Şekil 2.12’de gösterilmektedir. DC motorlar çoğunlukla fırçalı olarak kullanılır buda motor kullanım esnasında zamanla verimin düşmesine neden olur ve bakım maliyeti fazla olması sebebiyle elektrikli araçlarda kullanılmak yerine taşınabilir aletler ve ev aletlerinde kullanımı tercih edilmektedir [1,25,39].

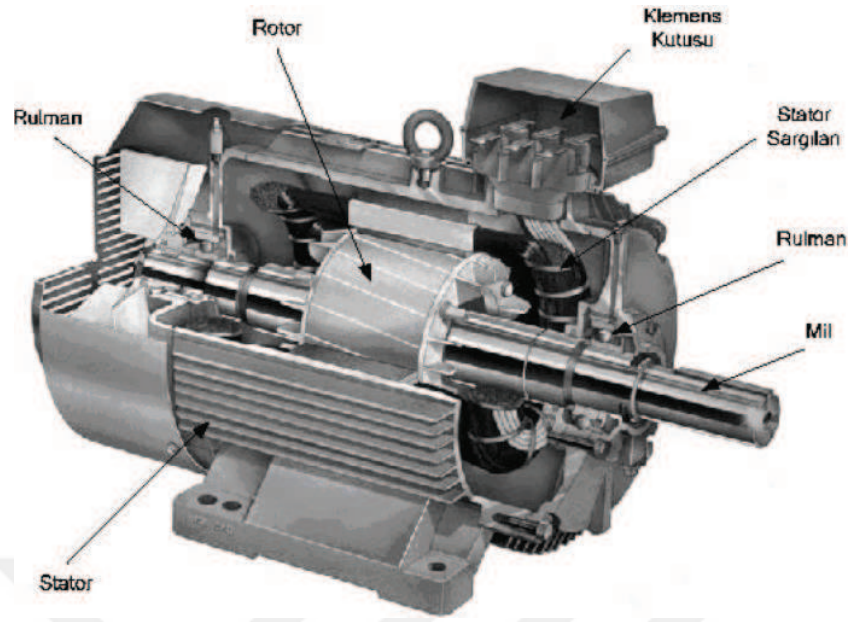


Şekil 2.12. DC motor ve çalışma prensibi [1]

2.3.2. Asenkron Motorlar

Asenkron motorlar elektrikli araç için kullanılan motorlar arasında verimi en iyi, maliyeti en uygun olan, bakım gerektirmemesi ve günümüzde elektrikli motor tiplerinden en çok tercih edilenidir [2,16,21,40]. Asenkron motorların yaygın olmasının bir başka nedeni basit ve sağlam bir yapıya sahip olmasıdır [41]. Ayrıca asenkron motorların elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirdiği gibi mekanik enerjiyi de elektrik enerjisine çevirip ters etkiyle jeneratör görevini üstlenerek bataryayı şarj etme özelliğine de sahiptir [42].

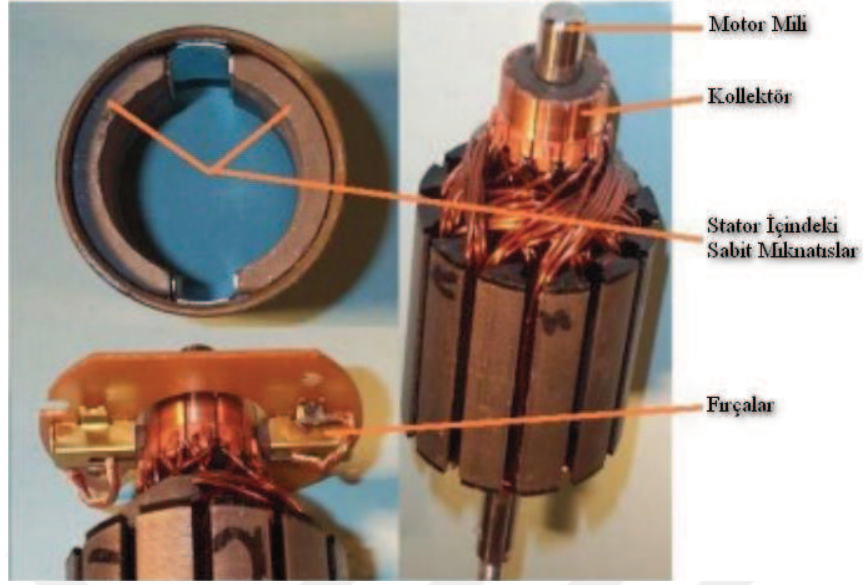
Asenkron motorlar yapısında iç kısmında bulunan iletkenlerin bulunduğu dönen rotor ve dış kısmında stator sargısı bulunur. Asenkron motorun iç yapısı Şekil 2.13'te gösterilmektedir. Stator sargıya verilen gerilim ve akımın geçtiği rotor arasında manyetik alan oluşur ve rotor parçasında gerilim meydana gelir ve stator sargılara doğru yönelen akım ortaya çıkar [10].



Şekil 2.13. Asenkron motorun iç yapısı [43]

2.3.3. Daimi Mıknatıslı Motorlar

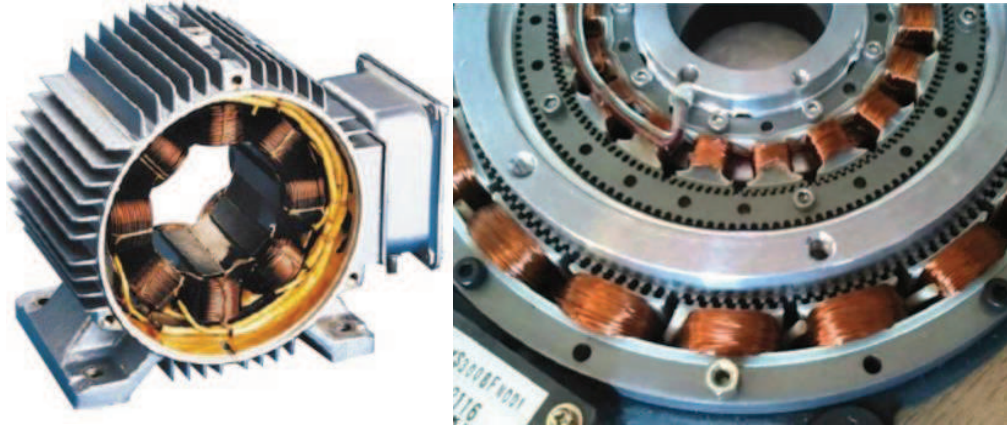
20. yüzyılın sonlarına doğru gelişen daimi mıknatıslar, motorlarda kullanımı ile verim artmıştır ve yüksek güç yoğunluğuna sahip olmuştur. Bu sebeple fırçalı DC motorların yerini almıştır. Ayrıca hız kontrolleri Asenkron motorlardan daha kolaydır [2,25,44]. DC ve Asenkron motorların aksine daimi mıknatıslı motorlarda uyarılması için sargılar yerine mıknatıs kullanılmıştır [11]. Daimi mıknatıslı motorların iç yapısı Şekil 2.14'te gösterilmektedir. Isıtma ve havalandırma sistemlerinde, soğutma sistemlerinde, pompa ve fanlarda bu motor tipi kullanılmaktadır [43]. Güç tüketmemesi, fırçasız olması bu motor tipi ömrünü uzatmaktadır ve gürültüsüz bir motordur [2]. Ancak mıknatısın ısınması ile özelliğini kaybetmesi de dezavantajıdır [11].



Şekil 2.14. Daimi mıknatıslı motorun iç yapısı [45]

2.3.4. Anahtarlama Relüktans Motorlar

Anahtarlama relüktans motorların teorik olarak ilk çalışmaları 19. Yüzyılın ortalarında başlamıştır [41]. Motor tiplerinden yapısal olarak en basit olanı anahtarlama relüktans motor tipleridir [2,31]. Bu motorun yapısında diğer motorlarda bulunan mıknatıs ve sargılar bulunmamaktadır [2,25]. Anahtarlama relüktans motorun iç yapısı Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Ayrıca fırçası bulunmaması da sürtünmeden dolayı oluşacak kayıpları engellemiş olmaktadır. Mıknatısın, sargıların olmaması ve fırçasız olması maliyetini düşürmektedir [2]. Yüksek hızlara dayanıklı olan bu motor tipi gürültülü olması dezavantajıdır [2,18,40]. Bu motor tipi çamaşır makinesi ve jeneratör gibi sistemlerde kullanılmaktadır [2].



Şekil 2.15. Anahtarlama relüktans motorun iç yapısı [11]

Elektrik motorları hakkında elde edilen tüm bilgiler Tablo 2.2'deki gibidir. Bu tabloda görüldüğü gibi asenkron motorun güvenilirliği ve maliyetinin diğerlerine göre daha uygun olmasının yanı sıra güç yoğunluğu ve veriminin de iyi olması diğer motorlardan daha çok avantajlı yapmaktadır. Bu da tez çalışmasında kullanılacak motorun asenkron motor olarak seçilmesinde karar kılınmasında yararlı olmuştur.

Tablo 2.2. Elektrik motorlarının özelliklerinin karşılaştırılması [46]

	DC Motor	Asenkron Motor	Daimi Mıknatıslı Motor	Anahtarlama Relüktans Motor
Güç Yoğunluğu	-	+	+	+
Kontrol	+	0	+	-
Kolaylığı				
Güvenirlik	-	+	0	+
Verim	-	+	+	0
Maliyet	0	+	0	0
TOPLAM	+	++++	+++	++

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. AVL Cruise Programı ile İçten Yanmalı Motorlu Aracın Elektrikli Araca Dönüşüm Modeli

AVL Cruise ticari programı, bir aracın sürüş performansı, yakıt sarfiyatı, frenleme sistemi performansı gibi birçok hesaplamaları kısa sürede simülasyonu gerçekleştirerek motosiklet, otomobil ve traktör gibi araçların modellenmesine olanak tanır. İçten yanmalı motorlu araçların modellenmesinin yanı sıra elektrikli araçların modellenmesine de izin verir. Ayrıca AVL Cruise ticari programı birçok yazılım programı (Matlab, Fortran, C++) ile birlikte çalışmayı da mümkün kılar.

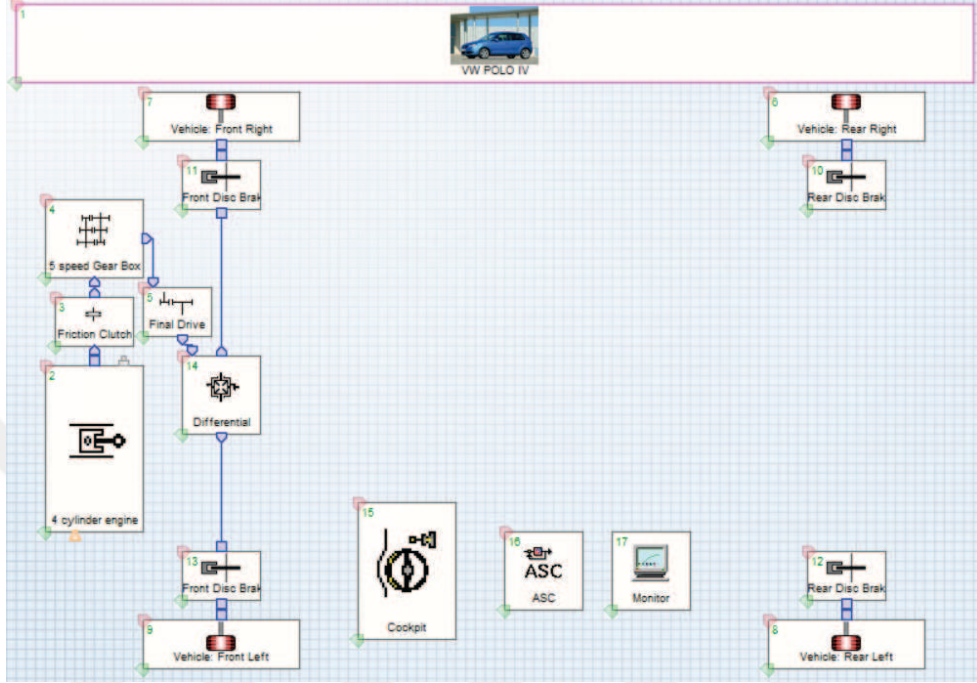
AVL Cruise ticari programı modüler yapısı, motor, dişli kutusu ve kavrama gibi birçok erişilebilir bileşenler aracılığı ile taşıtın serbest modellenmesine izin vermektedir. Bu modüller kullanıcıya taşıt için standart çıktı değerleri tanımlanmıştır ve kullanıcı diğer çıktı değerlerini ekleyebilmektedir. Kullanıcının standart çıktı değerlerini değiştirebilmesine de olanak tanımaktadır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Volkswagen Polo IV Modellenmesi

Kullanılan araba modeli Volkswagen markasının Polo aracının, Polo IV neslidir. Dönüşüm için Volkswagen Polo aracının seçilmesinin nedeni; fiyatlarının uygun olması ve orta sınıf taşıta girdiği için teorikte yapılan elektrikli araca dönüşümü gibi, uygulamada da elektrikli araca dönüşümü gerçekleştirilebilecek bir araba modeli

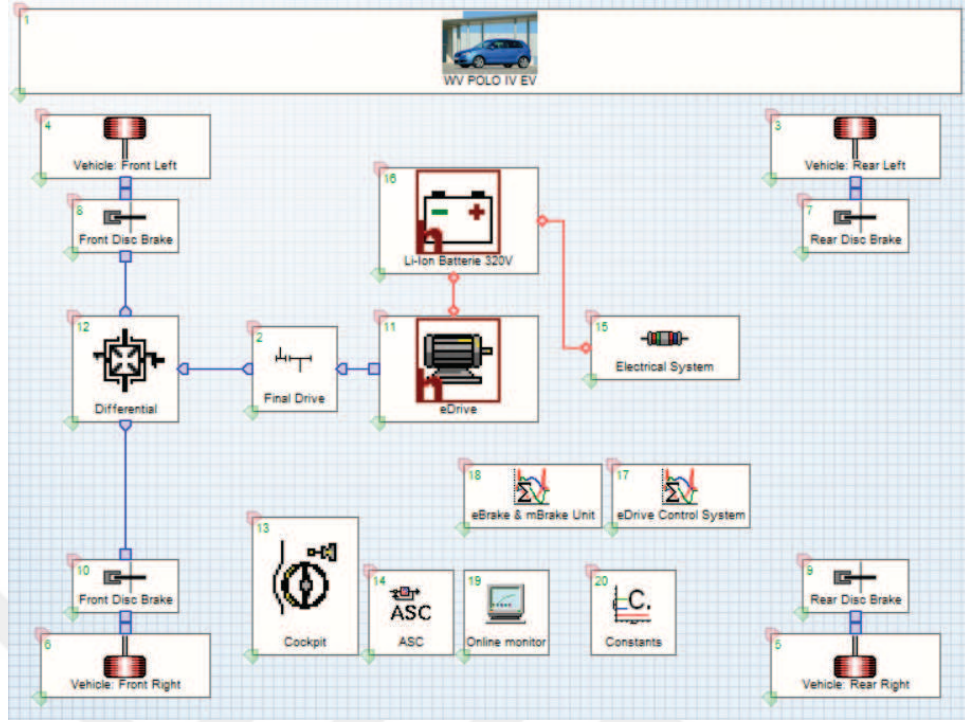
olmasıdır. Volkswagen Polo aracının AVL Cruise programında modellenmiş hali Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Volkswagen Polo IV' ün AVL Cruise modeli

İçten yanmalı motorlu araç olan Volkswagen Polo IV modeli programın kapasitesi ve eldeki veriler esas alınarak elektrikli motor ve üç farklı batarya kullanılmıştır. Elektrikli araca dönüşümü AVL Cruise programı ile modellenmiş ve Avrupa Birliği'nin Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (New European Driving Cycle) NEDC 'de çalıştırılmıştır. Bu sayede Volkswagen Polo IV elektrikli aracımızın, sürüş performansı incelenmesi mümkün olmuştur.

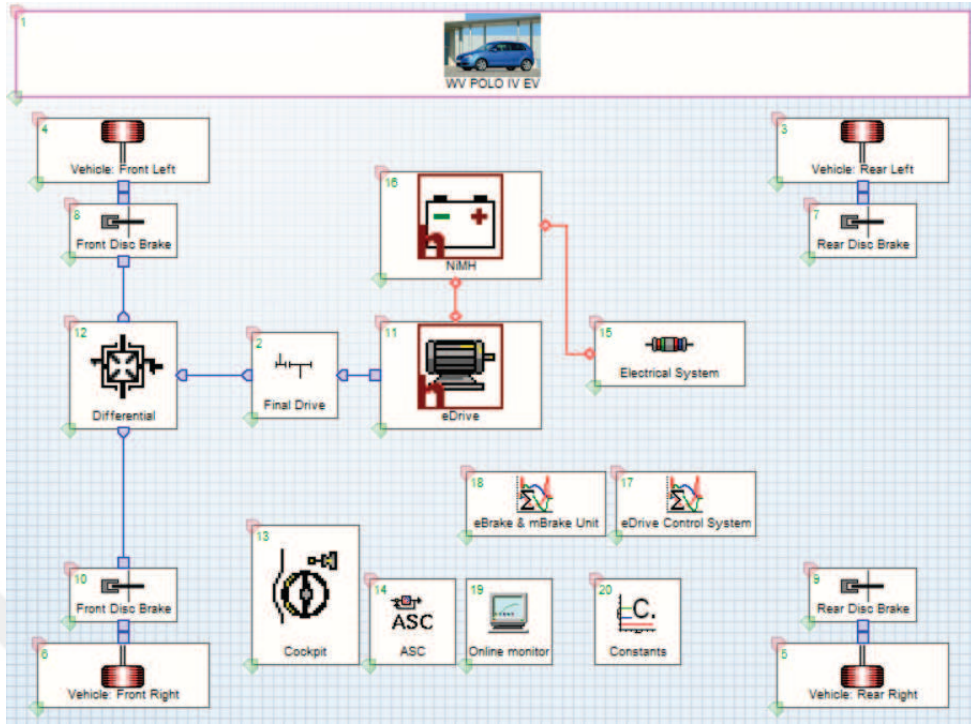
Volkswagen Polo aracının elektrikli araca dönüşüm modelini oluşturmak için ilk olarak AVL Cruise programında yer alan “Electric Vehicle” adlı modelinden alınan elektrik motoru ve Lityum-İyon batarya modüllerinin verilerinden yararlanılmıştır. Volkswagen Polo aracı elektrikli arabaya dönüştürülürken öncelikle içten yanmalı motor ve dişli kutusu atılmış onun yerine asenkron motor, Lityum-İyon batarya ve elektrik sistemleri eklenmiştir. Volkswagen Polo aracının Lityum-İyon batarya ile elektrikli araca dönüşümü Şekil 3.2’de görülmektedir.



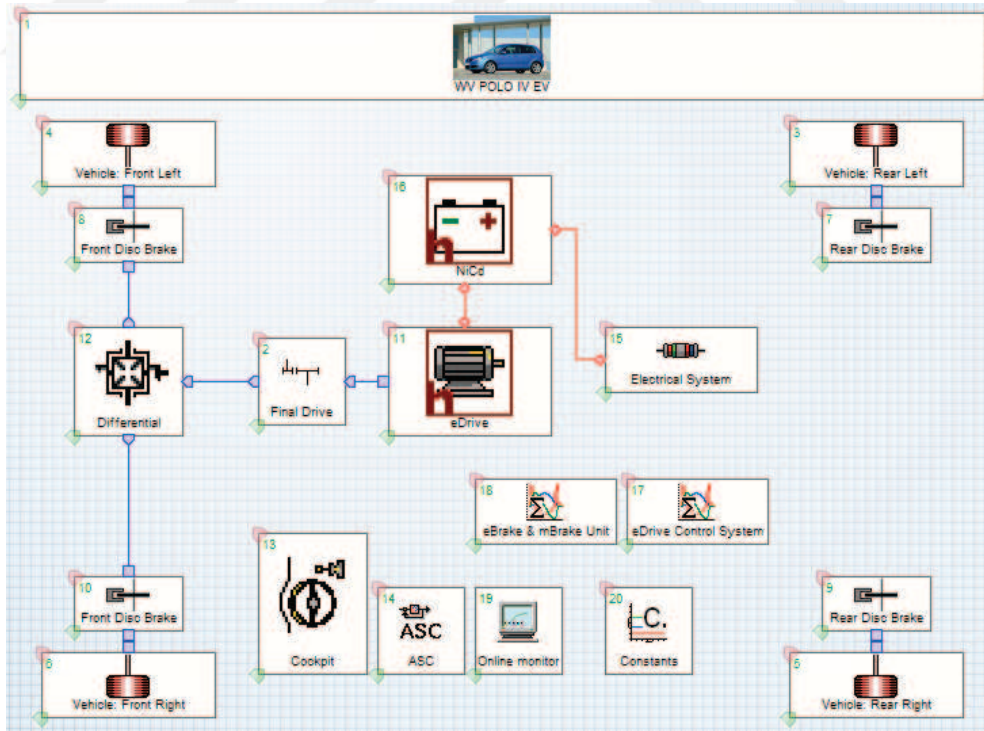
Şekil 3.2. Volkswagen Polo aracının Lityum-İyon batarya ile elektrikli araca dönüşüm modeli

Volkswagen Polo aracının ikinci modelini oluşturmak için AVL Cruise programında yer alan “Range Extender” adlı modelden alınan Nikel Metal Hidrit batarya modülünden yararlanılmıştır. Volkswagen Polo aracının benzin ile çalışan içten yanmalı motorunun yerine elektrik motoru kullanılmıştır ve motor tipi olarak asenkron motor seçilmiştir. Elektrik motorunun güç kaynağı olarak kullanılan Nikel Metal Hidrit batarya ile oluşturulan elektrikli araç modelinin AVL Cruise ’daki modellenmiş hali Şekil 3.3’te görülmektedir.

Volkswagen Polo aracının elektrikli araca dönüşümü için son parametre ise Nikel-Kadmiyum batarya kullanılarak oluşturulan modeldir. Batarya modeli oluşturulurken AVL Cruise içindeki “Hybrid 1” modelindeki bataryadan yararlanılmıştır. Elektrikli aracın modellenmiş hali Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Volkswagen Polo aracının Nikel Metal Hidrit batarya ile elektrikli araca dönüşüm modeli



Şekil 3.4. Volkswagen Polo aracının Nikel-Kadmiyum batarya ile elektrikli araca dönüşüm modeli

3.2.1.1.Modüllerde Kullanılan Parametreler

3.2.1.1.1. Taşıt Modülü

Yakıt deposu hacmi [m³]: 0,045

Römork ile ön aks arası mesafe [mm]: 3250,0

Dingil mesafesi [mm]: 2407,0

Aracın yük durumuna göre ağırlık merkezi mesafesi [mm]: Aracın boş, yarı dolu ve dolu olmasından bağımsız olarak 997,0

Aracın yük durumuna göre ağırlık merkezi yüksekliği [mm]: boşken 482,0; yarı doluyken 475,0; doluyken 460,0

Yük durumuna göre römork kancasının yüksekliği [mm]: boşken 380,0; yarı doluyken 370,0; doluyken 358,0

Ön aks lastik hava basıncı [bar]: Aracın boş, yarı dolu ve dolu olmasından bağımsız olarak 2,0

Arka aks lastik hava basıncı [bar]: Aracın boş, yarı dolu ve dolu olmasından bağımsız olarak 2,2

Aracın kütlesi [kg]: 925,0

Maksimum kütle [kg]: 1420,0

Kesit alanı [m²]: 2,21

Hava direnç katsayısı [-]: 0,28

3.2.1.1.2. İçten Yanmalı Motor Modülü

Volkswagen Polo aracının içten yanmalı motor bileşenleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Motor tipi göstergesi [-]: Benzinli

Motor hacmi [cm³]: 1390,0

Motor çalışma sıcaklığı [°C]: 80

Silindir sayısı [-]: 4

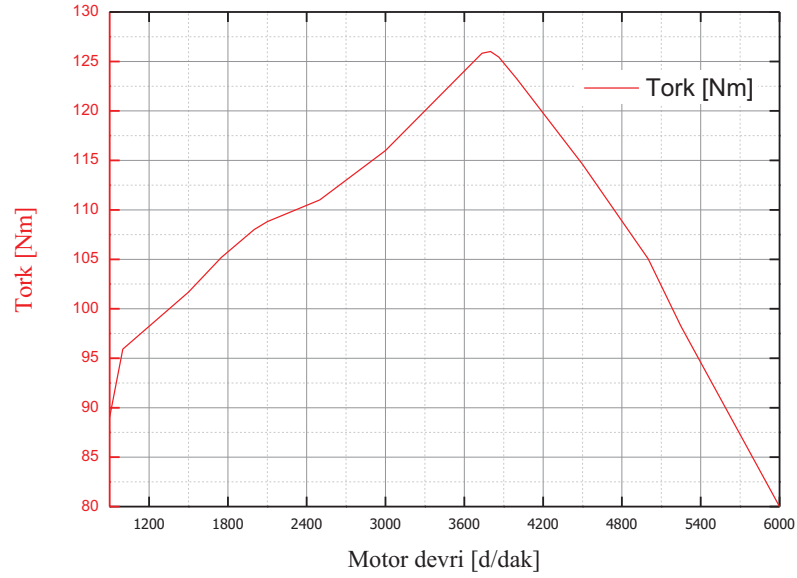
Zaman sayısı [-]: 4

Motorun maksimum dönme hızı [d/dak]: 6000,0

İçten yanmalı motorun tam yük karakteristiği Tablo 3.1 ve Şekil 3.5'te görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Tablo 3.1: İçten yanmalı motorun tam yük moment karakteristiği

Motor dönme hızı [d/dak]	Moment [Nm]
900,0	89,0561
1000,0	95,9161
1500,0	101,679
2000,0	108,0
3000,0	116,0
4000,0	123,254
4500,0	114,592
5000,0	105,042
6000,0	80,0001



Şekil 3.5. Volkswagen Polo içten yanmalı motorlu aracın tork- motor devri grafiği

3.2.1.1.3. Elektrik Motor Modülü

Modelde bir adet elektrik motoru modül kullanılmıştır. Kullanıcı tanımlı değişkenler ise AVL Cruise içindeki “Electric Vehicle” adlı modelden alınarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Motor tipi [-]: ASM

Gerilim [V]: 320,0

Atalet momenti [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]: $1\cdot 10^{-4}$

Maksimum dönme hızı [d/dak]: 10000,0

Başlangıç sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]: 20,0

Elektrik motorunun dönme hızı–tork değerleri Tablo 3.2’deki gibi tanımlanmıştır. Motorun jeneratör olarak kullanılması halinde tork değerleri, motorun aynı dönme hızları için aynı değerlere sahip ancak ters yönde tanımlanmıştır.

Tablo 3.2: Elektrik motorunun dönme hızı–tork değerleri

Motor Dönme Hızı [d/dak]	Tork [Nm]
1,0e-4	240,0
3500,0	205,0
4000,0	180,0
4500,0	160,0
5000,0	140,0
5500,0	130,0
6000,0	120,0
6500,0	110,0
7000,0	105,0
7500,0	95,0

3.2.1.1.3.1. Elektrik Motoru Denklem Sistemi

Elektrik motorunun mekaniksel momenti hesaplanırken 3.1'deki denklem kullanılmaktadır.

$$M = M_1 - I * \alpha \quad (3.1)$$

M =Tork, M_1 =Motorun karakteristik eğrisindeki değişken tork,
 I =Atalet momenti, α = Açısai ivme

Elektrik motorunun elektriksel kısmının gücü hesaplanırken 3.2'deki denklem kullanılmıştır.

$$P_{elek} = P_{mek} + P_{kayıp} \quad (3.2)$$

$P_{elek} > 0$ ise motor

$P_{elek} < 0$ ise jeneratör

P_{elek} =Gerçek elektriksel güç,

P_{mek} =Gerçek mekanik güç,

$P_{kayıp}$ =Güç kaybı

Mekanik gücü hesaplamak için 3.3'teki denklem kullanılmaktadır.

$$P_{mek} = \omega * M \quad (3.3)$$

ω =Açısal hız

Ayrıca elektriksel akımı bulmak için 3.4'teki denklemi kullanılır.

$$I_{ak} = \frac{P_{elek}}{V} \quad (3.4)$$

I_{ak} =Akım, V =Voltaj

Açısal hızları kullanarak maksimum torku hesaplamak için 3.5'teki denklemden yararlanılmaktadır.

$$M_{mak} = \frac{P_{mek,mak}}{\omega} \quad (3.5)$$

M_{mak} =Maksimum tork, $P_{mek,mak}$ =Mekaniksel maksimum güç

Isıya dönüşen gücü bulmak için 3.6'daki denklemi kullanılır.

$$P_{ısı} = P_{kayıp} + P_{çev} \quad (3.6)$$

$P_{ısı}$ =Isıya dönüşen güç, $P_{çev}$ =Çevreye geçen ısı gücü

Çevreye geçen ısı bulmak için 3.7'deki denklemi kullanılır.

$$P_{çev} = \alpha * (T - T_{çev}) \quad (3.7)$$

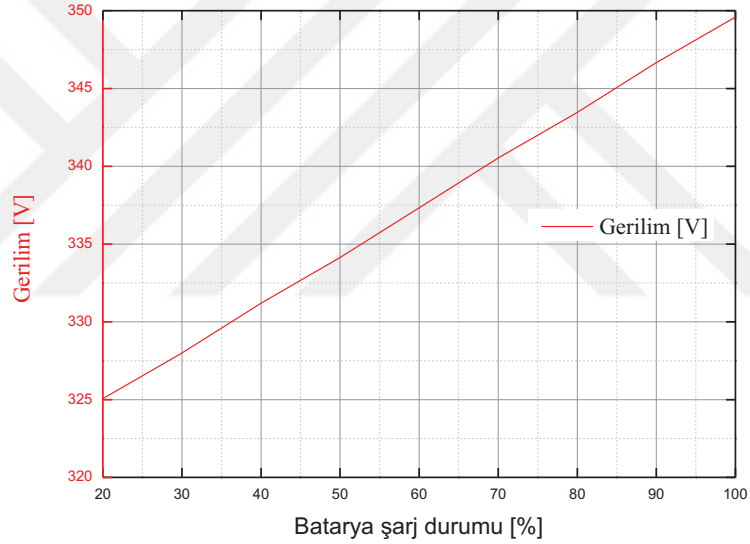
α =Isı transferi katsayısı, T =Sıcaklık ve $T_{çev}$ =Çevreye geçen sıcaklık

3.2.1.1.4. Batarya Modülü

Modelde Lityum-İyon, Nikel Metal Hidrit ve Nikel-Kadmiyum olmak üzere üç tip batarya kullanılmıştır. Bataryaların teknik özellikleri için AVL Cruise programı içindeki batarya modülleri ve piyasadaki mevcut bataryalar referans alınmıştır.

Lityum-İyon batarya için AVL Cruise içinde tanımlanmış bir model olan "Electric Vehicle" modelinden alınmıştır. Şekil 3.6'da bu bataryanın şarj durumuna bağlı gerilim grafiği gösterilmektedir ve Lityum-İyon batarya modülü aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Maksimum şarj miktarı [Ah]: 10,0
Gerilim [V]: 320,0
En yüksek gerilim [V]: 420,0
En düşük gerilim [V]: 220,0
Sıra başına hücre sayısı [-]: 1
Hücre sırası sayısı [-]: 10
İşletme sıcaklığı [°C]: 25,0
Şarj durumunda direnç [Ohm]: 0,8
Deşarj durumunda direnç [Ohm]: 0,6

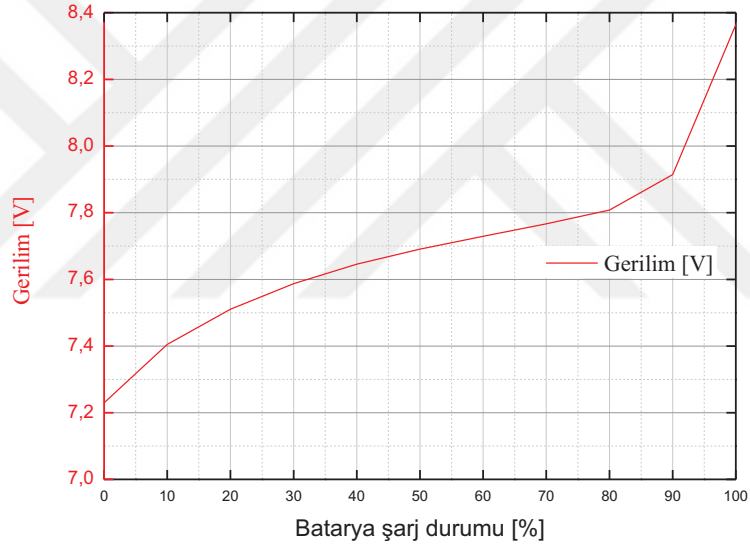


Şekil 3.6. Lityum-İyon bataryanın şarj durumuna bağlı olarak gerilimi

Kullanıcı tanımlı değişkenler AVL Cruise programı içinde yer alan “Range Extender” adlı modelinde bulunan Nikel Metal Hidrit batarya modülünden yararlanılmıştır ve bu bataryanın şarj oranına bağlı olarak değişen gerilim grafiği Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Batarya modülü aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Maksimum şarj miktarı [Ah]: 5,0
Gerilim [V]: 7,2
Maksimum gerilim [V]: 9,0

Minimum gerilim [V]: 6,0
Sıra başına hücre sayısı [-]: 40
Hücre sırası sayısı [-]: 2
İşletme sıcaklığı [°C]: 25,0
Bir hücrenin kütlesi [kg]: 0,99792
Özgül ısı iletimi [W/K]: 0,7
Özgül ısı [J/kgK]: 800,0
Şarj halindeki direnç [Ohm]: 0,0197
Boşalma halindeki direnç [Ohm]: 0,0269



Şekil 3.7. Nikel Metal Hidrit bataryanın şarj durumuna bağlı olarak gerilimi

AVL Cruise programı içinde yer alan “Hybrid 1” adlı modelinde yer alan batarya, Nikel-Kadmiyum batarya modülünü oluşturmakta yararlanılmıştır. Bu bataryanın şarj oranına bağlı olarak değişen gerilim grafiği Şekil 3.8’de gösterilmiştir. Batarya modülü aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

Maksimum şarj miktarı [Ah]: 55
Gerilim [V]: 120,0

Maksimum gerilim [V]: 180,0

Minimum gerilim [V]: 100,0

Sıra başına hücre sayısı [-]: 10

Hücre sırası sayısı [-]: 2

İşletme sıcaklığı [$^{\circ}$ C]: 25,0

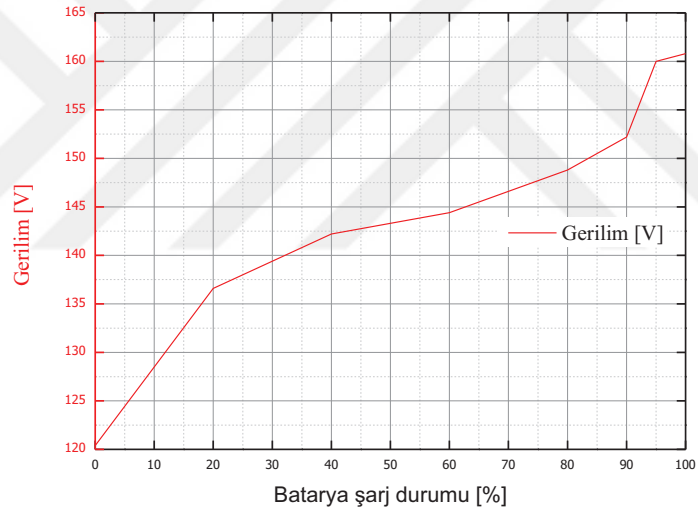
Bir hücrenin kütlesi [kg]: 0,5

Özgül ısı iletimi [W/K]: 250

Özgül ısı [J/kgK]: 1000

Şarj halindeki direnç [Ohm]: 0,6

Boşalma halindeki direnç [Ohm]: 0,5



Şekil 3.8. Nikel-Kadmiyum bataryanın şarj durumuna bağlı olarak gerilimi

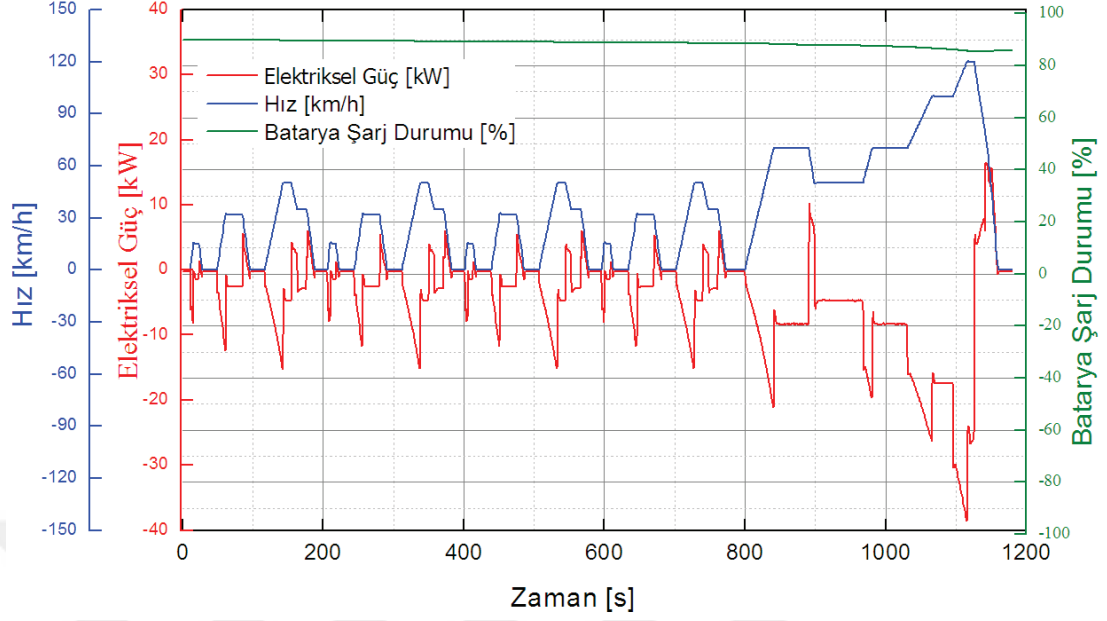
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Volkswagen Polo aracının elektrikli araca dönüşümünde üç farklı batarya kullanılmıştır. Elektrikli aracın performansları ve enerji tüketimleri için NEDC çevriminde simülasyonu yapılmış ve incelenmiştir. Lityum-İyon, Nikel Metal Hidrit ve Nikel-Kadmiyum bataryalarının seçilme sebebi, diğer bataryalara göre çalışma ortamının fazla sıcak olmasından etkilenmemeleri ve şarj sürelerinin daha kısa olmasıdır.

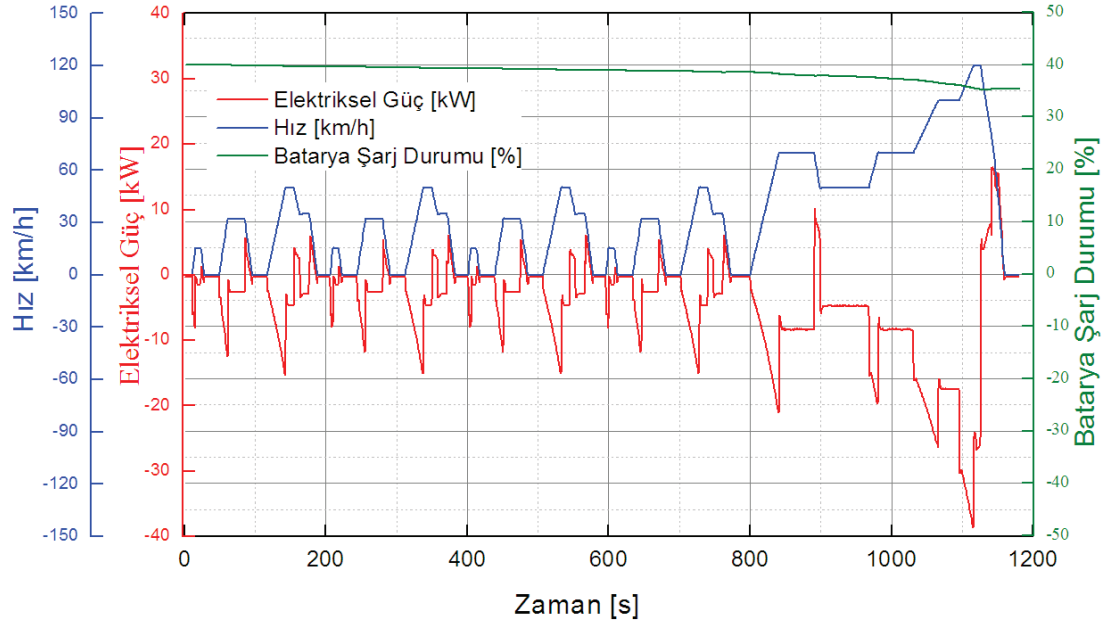
NEDC, binek araçların performans ve enerji tüketimini ölçmek için hazırlanmış bir sürüş çevrimidir. NEDC çevrim grafiğinin oluşumunda 4 adet tekrarlanmış 0-200, 200-400, 400-600 ve 600-800 zaman aralıklarında araç şehir içinde sürüş testine tutulmuş ve 1 adet 800-1200 zaman aralığında şehir dışı sürüş çevriminden oluşur. Dolayısıyla NEDC, toplam 5 adet sürüş çevrimlerinin toplamından oluşmaktadır.

4.1. Lityum-İyon, Nikel Metal Hidrit ve Nikel-Kadmiyum Bataryaların Farklı SOC Değerlerindeki Verileri

Elektrikli araca dönüştürülen Volkswagen Polo aracı için ilk olarak Lityum-İyon batarya kullanılmıştır. Bu bataryanın araç performansı incelendiğinde elektrikli güç ve aracın hızının zamana göre değişim grafiği elde edilmiştir. 10 hücreli olarak seçilen Lityum-İyon bataryası öncelikle batarya şarj durumu (SOC) %90 ve %40 olduğu durumlarda incelenmiş ve NEDC çevriminde koşturulmuştur. Elde edilen verilerden çizilen grafikler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'dedir.



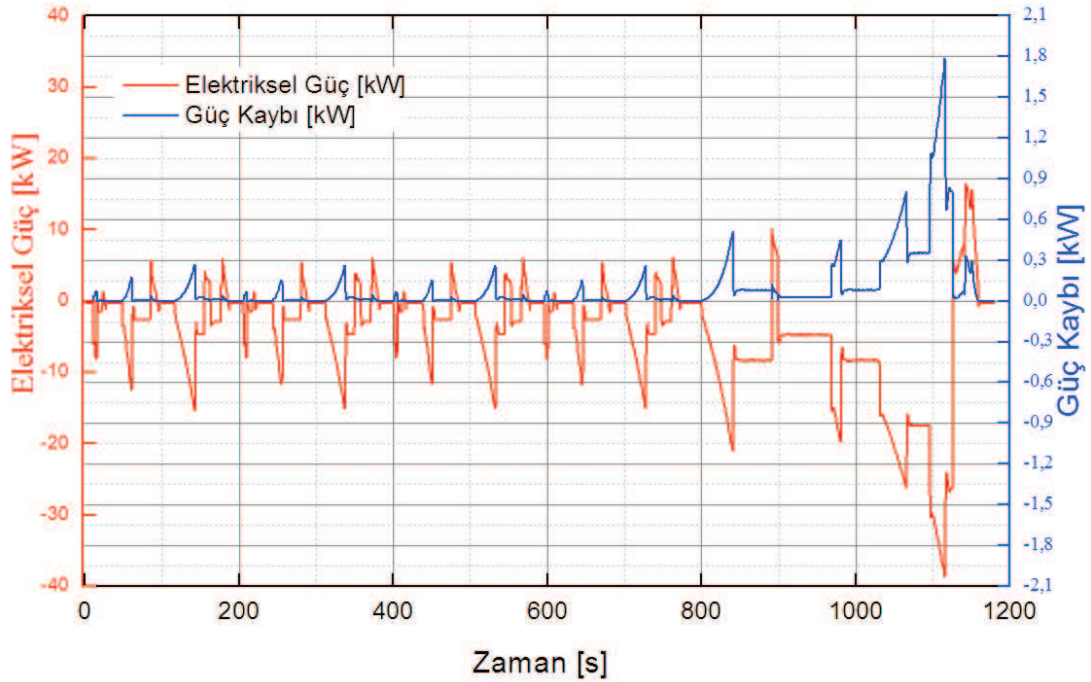
Şekil 4.1. Lityum-İyon bataryanın %90 SOC durumunda güç ve SOC değişimi



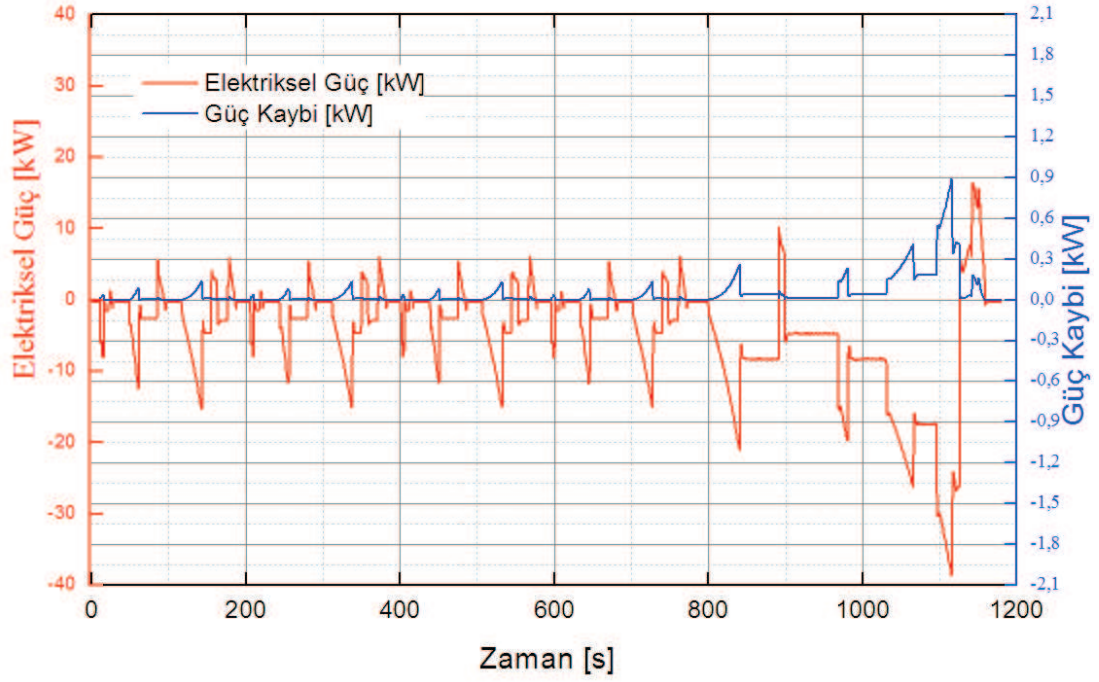
Şekil 4.2. Lityum-İyon bataryanın %40 SOC durumunda güç ve SOC değişimi

Elde edilen verilerden oluşan bu grafiklerde elektriksel güç incelendiğinde, aracın hızlanmaya başlamasıyla birlikte bataryalardan elektrik enerjisi çekilmeye başlamıştır. Ancak frenlemeler yada aracın ani durmaları sebebiyle enerjinin geri kazanımıyla batarya kendini yeniden şarj edebilmiştir.

Lityum-İyon batarya kullanılan araçta şehir içinde sürüş testi yapıldığında, elektriksel gücün maksimum değeri 6kW ve araç hızı maksimum 50km/h hıza ulaşmaktadır. Şehir dışında sürülen bu araç maksimum 12kW elektriksel gücüne çıkarken aracın hızı maksimum 120km/h hıza ulaşmıştır. SOC 'nin zamanla değişimi, Şekil 4.1'de %3'lük bir değişim söz konusu iken, Şekil 4.2'de %5'lik bir değişim göstermektedir. Ancak Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de SOC durumunun aracın performansında bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu da bataryaların performansının SOC ile bir bağlantısının olmadığı anlamına gelmektedir. Ancak Şekil 4.3'te SOC durumunun bataryanın performansına bir etkisinin olduğu görülmektedir. Bu da bataryaların performansının SOC ile bir bağlantısının olduğu anlamına gelmektedir.



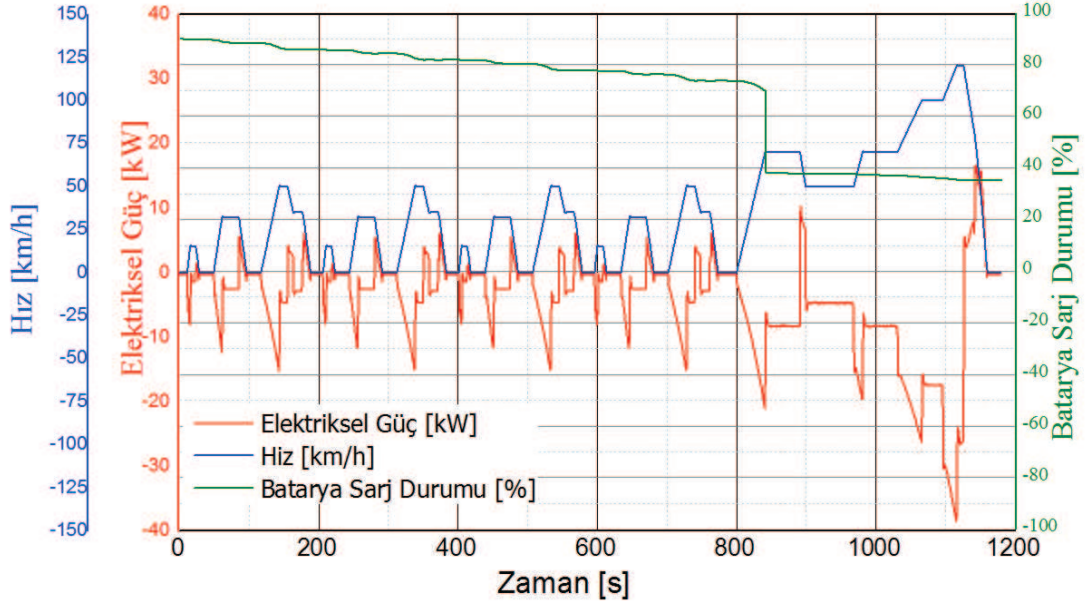
Şekil 4.3. Lityum-İyon bataryanın %90 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi



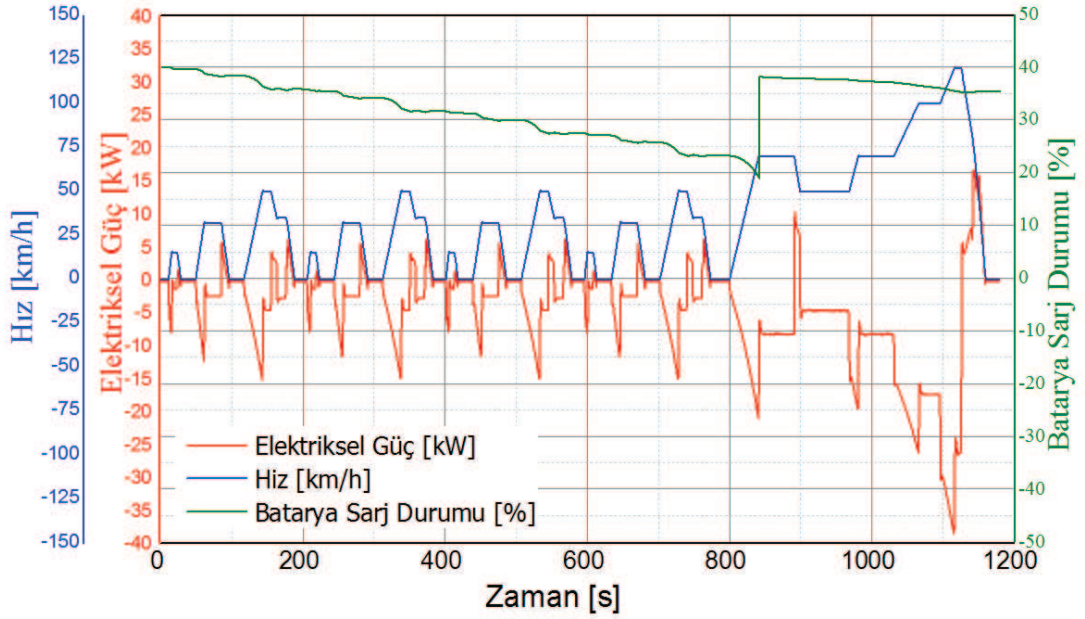
Şekil 4.4. Lityum-İyon bataryanın %40 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi

Lityum-İyon batarya kullanılan araç şehir içinde kullanıldığı zaman süresince farklı SOC seviyelerinde güç kaybında bir değişiklik olmaz iken şehir dışında koşturulan araçta güç kaybı gerçekleşmeye başlamıştır. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te elektriksel güç ve güç kaybı grafiği verilmiştir. %90 SOC durumunda maksimum güç kaybı 1,789kW değerinde iken %40 SOC durumunda maksimum güç kaybı 0,89kW değerindedir. Bataryanın zamanla oluşan güç kaybı %50,3 iyileşme olmuştur.

Volkswagen Polo aracını Nikel Metal Hidrit batarya kullanılarak sürüş çevrimi yapıldığında elde edilen verilerle elektriksel güç ve araç hız grafiği Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



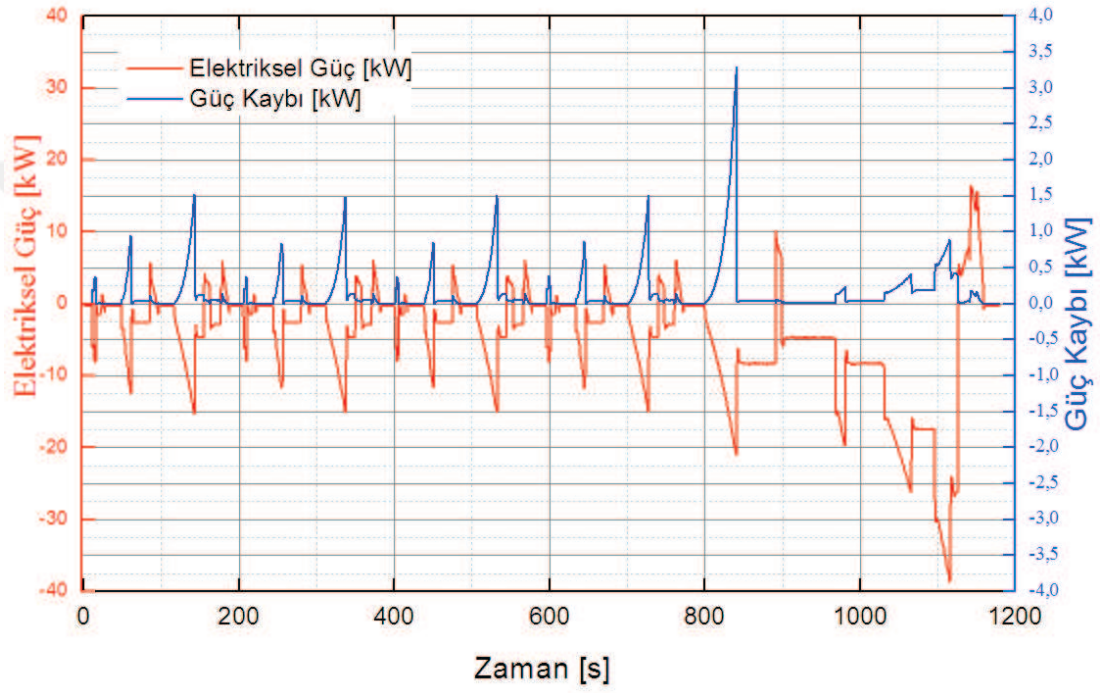
Şekil 4.5. Nikel Metal Hidrit bataryanın %90 SOC durumunda güç ve SOC değişimi



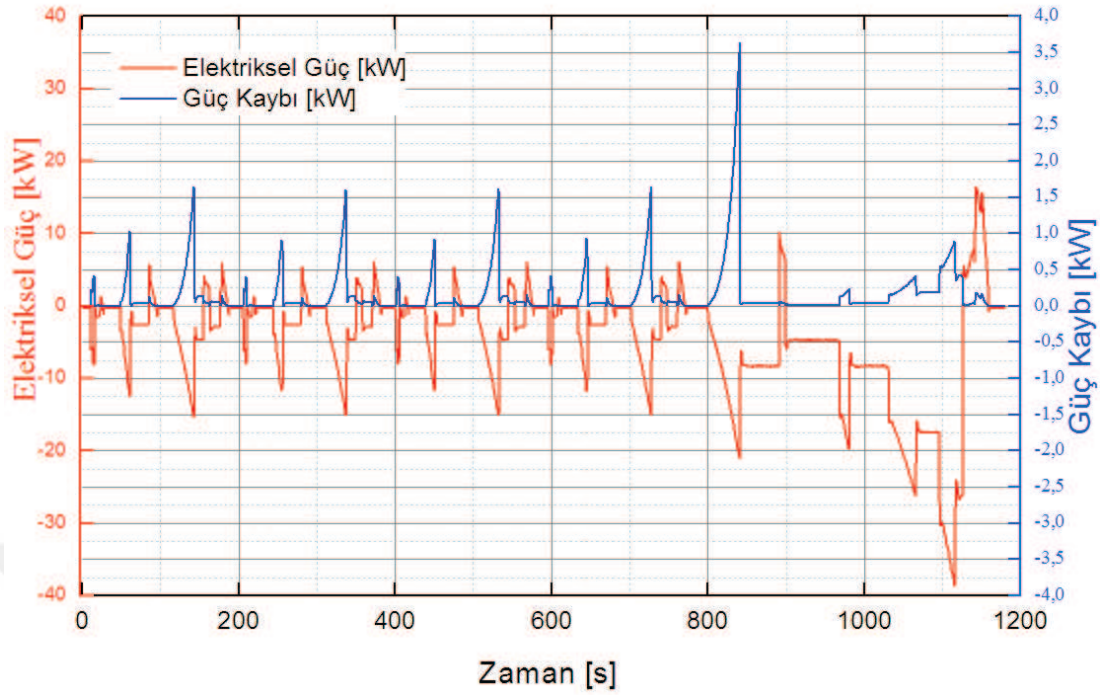
Şekil 4.6. Nikel Metal Hidrit bataryanın %40 SOC durumunda güç ve SOC değişimi

Nikel Metal Hidrit batarya kullanılan araçta şehir içinde sürüş testi yapıldığında elektriksel güç maksimum 6kW değerinde ve araç hızı maksimum 50km/h hıza ulaşmaktadır. Şehir dışında sürülen bu araç 6kW elektriksel güce sahip iken aracın hızı maksimum yaklaşık 70km/h hıza ulaşmıştır. SOC 'nun zamanla değişimi Şekil

4.5'de şehir içi çevriminde %16'lık bir değişim var iken şehir dışı sürüş testinde %6'lık bir değişim söz konusudur. Şekil 4.6'de şehir içi sürüş testinde iken %20'lik bir değişim göstermekteyken şehir dışı sürüş testinde %12'lik bir değişim vardır. SOC seviyesinin aracın performansında bir etkisi olmadığı görülmüştür. Ancak şehir içinde kullanılacak bir araç için bu batarya tipi sorun teşkil etmeyecek, fakat şehir dışına uzun yola çıkacak biri için performansı yeterli değildir.

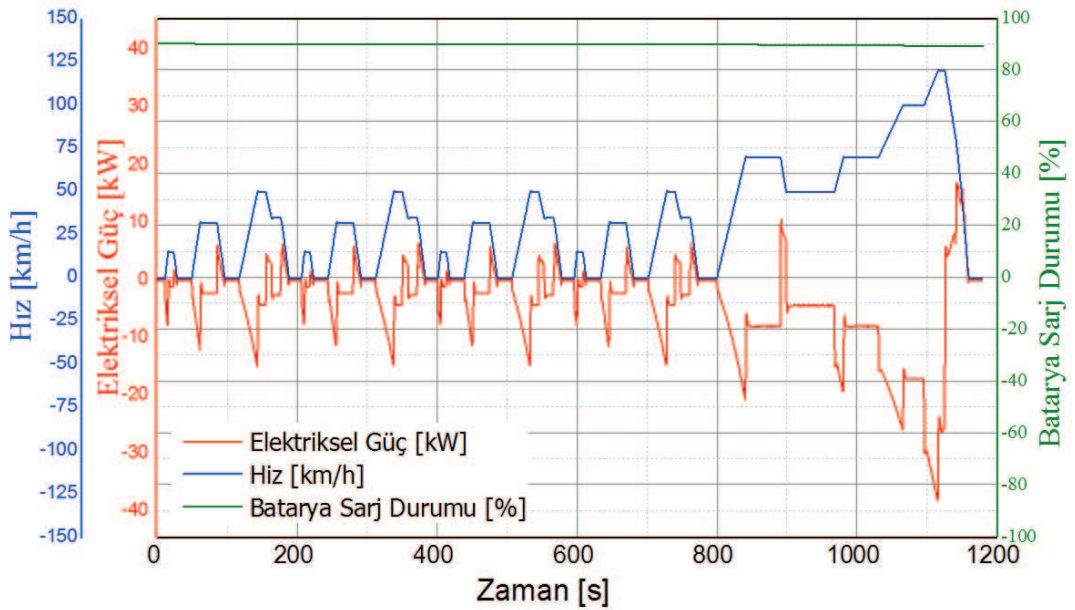


Şekil 4.7. Nikel Metal Hidrit bataryanın %90 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi

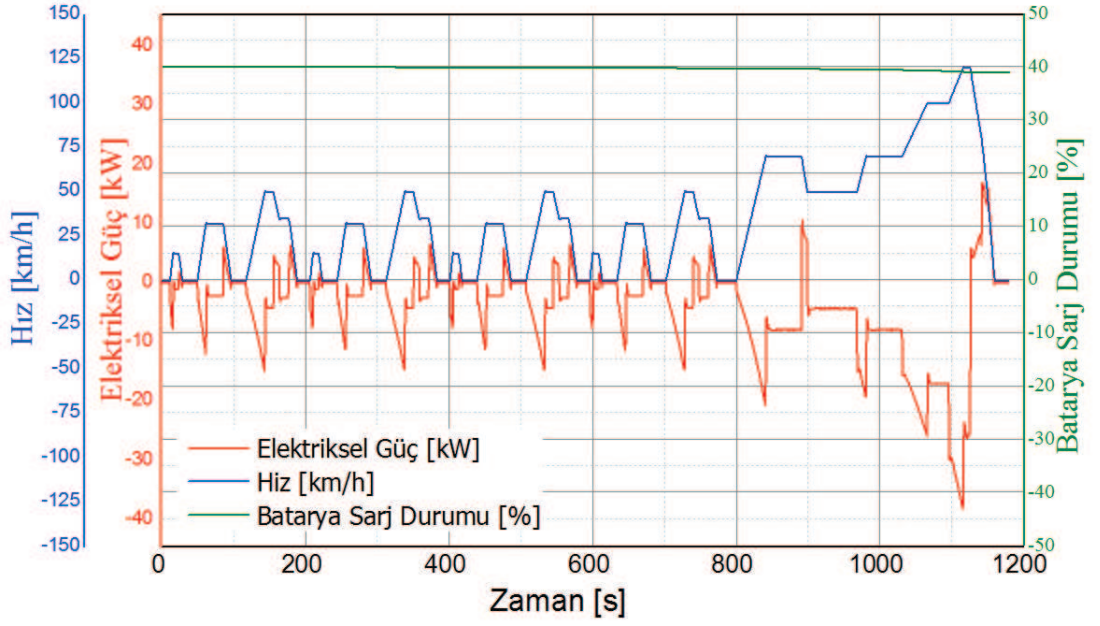


Şekil 4.8. Nikel Metal Hidrit bataryanın %40 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de elektriksel güç ve güç kaybı grafiği verilmiştir. Nikel Metal Hidrit batarya kullanılan araç %90 SOC durumunda maksimum güç kaybı 3,3kW değerinde iken %40 SOC durumunda maksimum güç kaybı 3,64kW değerindedir. Bataryanın zamanla oluşan güç kaybında yaklaşık %10’luk bir artış olmuştur.



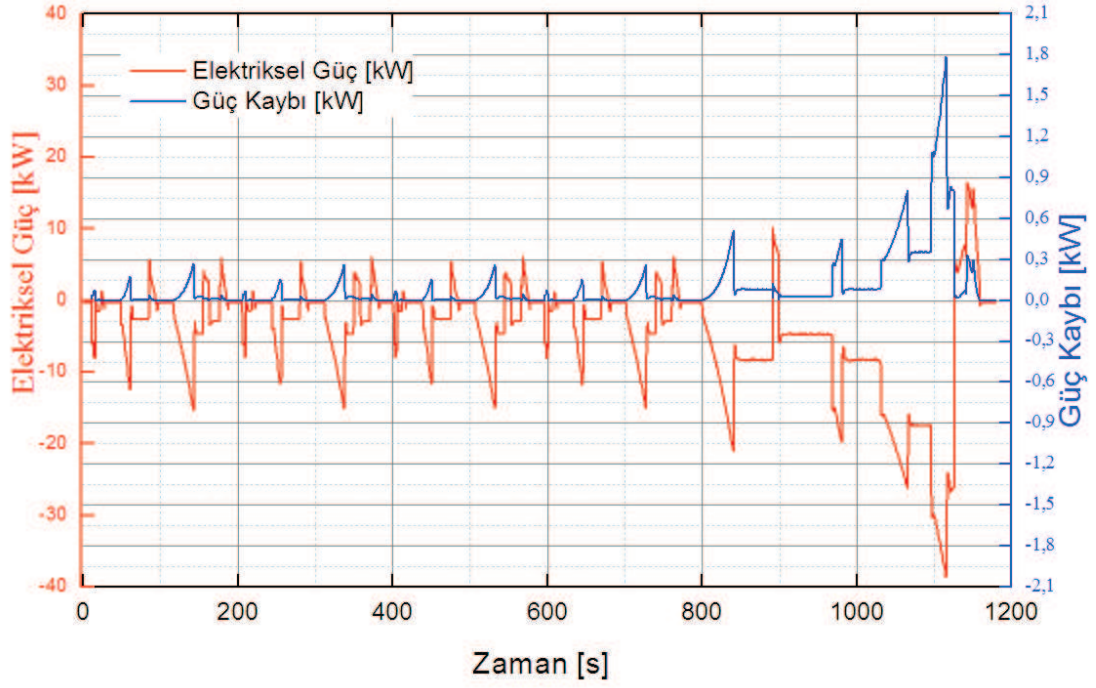
Şekil 4.9. Nikel-Kadmiyum bataryanın %90 SOC durumunda güç ve SOC değişimi



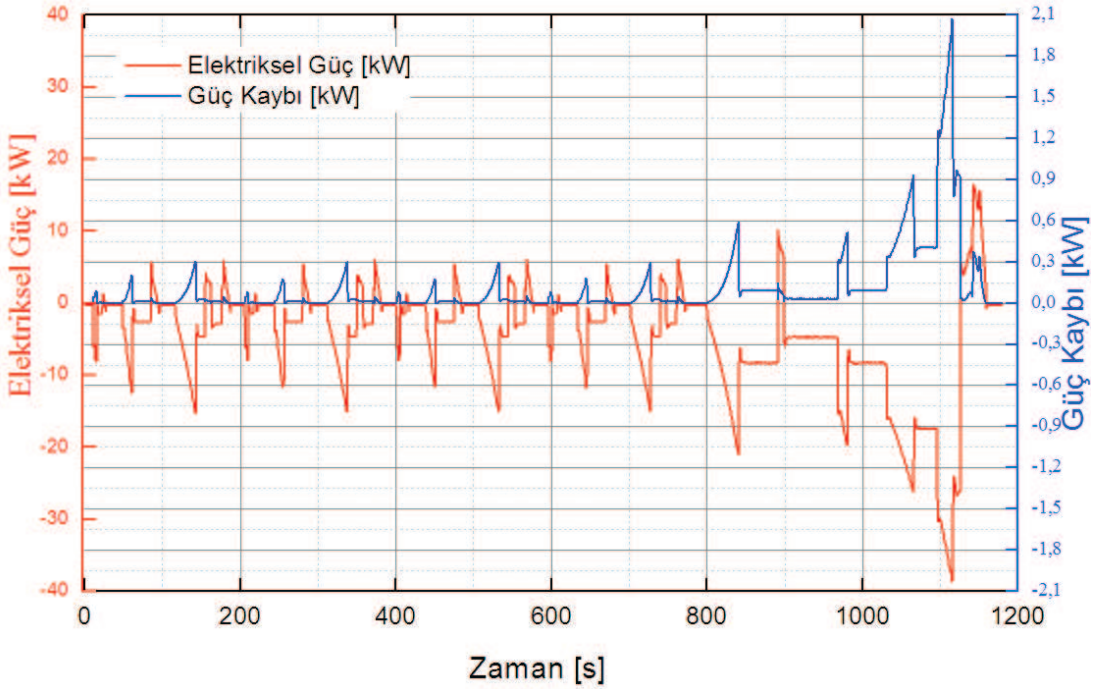
Şekil 4.10. Nikel-Kadmiyum bataryanın %40 SOC durumunda güç ve SOC değişimi

Nikel-Kadmiyum batarya kullanılan araçta şehir içinde sürüş testi yapıldığında elektriksel güç maksimum 6kW değerinde ve araç hızı maksimum 50km/h hıza ulaşmaktadır. Şehir dışında sürülen bu araç 16kW değerinde elektriksel güce sahip iken aracın hızı maksimum yaklaşık 120km/h hıza ulaşmaktadır.

SOC 'nun zamanla değişimi Şekil 4.9'da %2 'lik bir değişim söz konusu iken Şekil 4.10'da %3'lük bir değişim göstermektedir. SOC durumunun aracın performansında bir etkisinin olmamasına rağmen şehir içi ve şehir dışında kullanılacak bir araç için bu batarya sorun teşkil etmeyecek olmasına rağmen diğer bataryalara göre maliyetinin yüksek olması sebebiyle daha az tercih edilir.



Şekil 4.11. Nikel-Kadmiyum bataryanın %90 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi



Şekil 4.12. Nikel-Kadmiyum bataryanın %40 SOC durumunda elektriksel güç ve güç kaybı değişimi

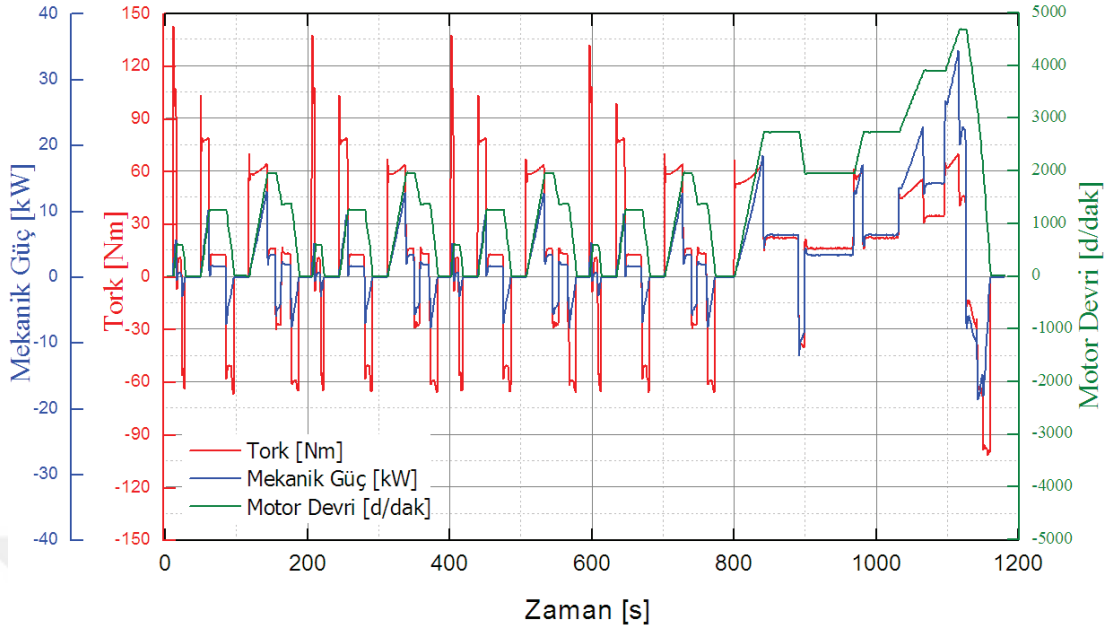
Nikel-Kadmiyum batarya kullanılan araç şehir içi ve şehir dışı sürüş testlerinde iken farklı SOC seviyelerinde güç kaybında bir değişiklik olmamıştır. Şekil 4.11 ve Şekil

4.12’de elektriksel güç ve güç kaybı grafiği verilmiştir. %90 SOC durumunda maksimum güç kaybı 1,78kW değerinde iken %40 SOC durumunda maksimum güç kaybı 2,076kW değerindedir. Bataryanın zamanla oluşan güç kaybında yaklaşık %16’lık bir artış olmuştur.

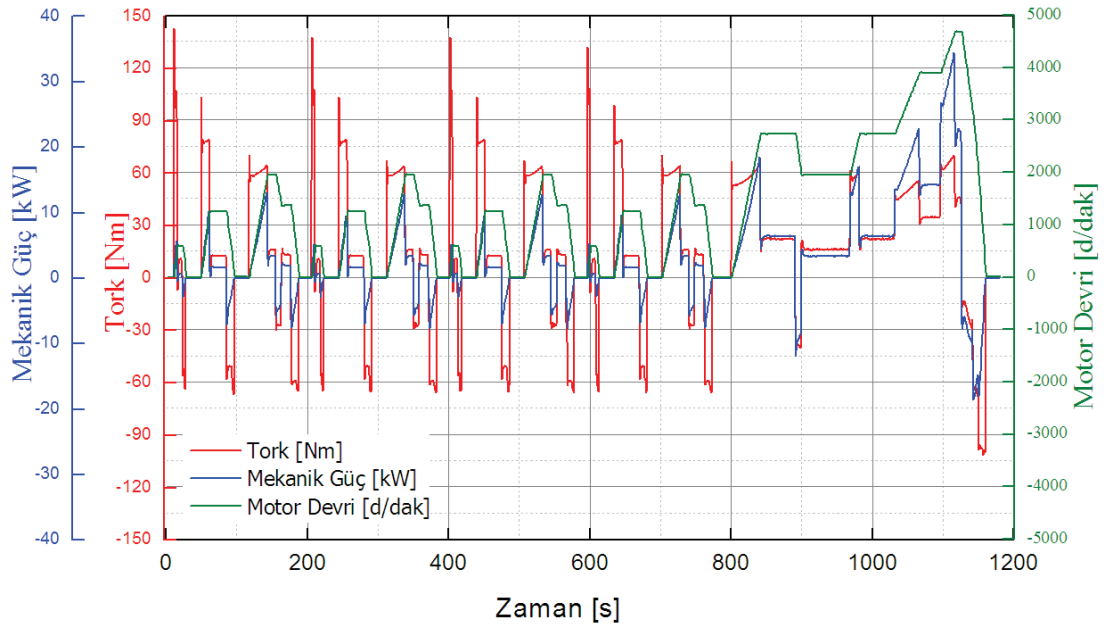
Bu 3 bataryanın performans, elektriksel güç ve maliyeti birlikte düşünüldüğünde, Lityum-İyon batarya ile elektrikli araç dönüşümü yapılmasının daha iyi olduğu simülasyon sonuçlarından görülmüştür. 3 farklı batarya için 2 farklı SOC değeri için ilk olarak Lityum-İyon batarya için NEDC çevriminin 10,923km uzunluğunda olduğu dikkate alınmıştır. Bu bataryanın ortalama enerji tüketimi yaklaşık 13,12kWh/100km değerindedir. NEDC çevrimindeki test sürüşü için gerekli enerji tüketimi 1,48kWh değerindedir. Nikel Metal Hidrit batarya için 4,407km mesafesinde dikkate alınmıştır. Bu bataryanın ortalama enerji tüketimi 13,65kWh/100km değerindedir. Nikel Metal Hidrit bataryanın test sürüşü için gerekli enerji tüketimi 0,62kWh değerindedir. Nikel-Kadmiyum batarya için ortalama enerji tüketimi 13,64kWh/100km değerindedir. Bu bataryanın NECD çevrimini tamamlaması için gerekli enerji tüketimi ise 1,49kWh değerindedir. 2018 yılında ülkemizde elektrik tüketim maliyeti 1kWh için ortalama 0,49 TL ödenmektedir. Araçların 100km de yaklaşık 14kWh enerji tükettiği hesaplandığında elektrikli araç için yakıt maliyeti yaklaşık 7 TL ‘ye denk gelmektedir. Volkswagen Polo aracı şehir içi ve şehir dışı sürüşlerinde ortalama 100km için 7litre benzin tüketmektedir. Benzinin litresi 6,26TL olduğu düşünülürse bu aracın 100km sürüş için 43,82TL yakıt masrafı bulunmaktadır. Bu da elektrikli araçların, içten yanmalı motorlu araçlara göre 100km için 36,82TL yani yaklaşık 6 kat daha az maliyetli olduğunu göstermektedir.

4.2. Elektrik Motorunun Farklı SOC Değerlerindeki Verileri

Volkswagen Polo aracının dönüşümünde asenkron motor kullanılmıştır. 2 farklı SOC seviyesinde aracın elektrik motorundaki tork, mekanik güç ve motor devrinin zamana göre elde edilen verileri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Elektrik motorunun %90 SOC durumunda motorun torku, motor devri ve güç değişimi



Şekil 4.14. Elektrik motorunun %40 SOC durumunda motorun torku, motor devri ve güç değişimi

Araç motorunun maksimum tork değeri 143Nm, maksimum mekanik gücü 34,4kW değerinde ve maksimum motor devri 4695 d/dak'dır. Asenkron motorunun tork ve güç karakteristiği, SOC seviyelerinde değişiklik göstermemiştir. Frenleme sırasında oluşan eksi mekanik güç ve tork değerleri, aracın yavaşlamasında destek olmaktadır.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmada kullanılan AVL Cruise ticari programı ile Volkswagen Polo aracın elektrikli araca dönüşümler için 3 farklı batarya kullanılmıştır. Elektrikli araç performansı ve enerji tüketimi hesaplanması için simülasyonlar yapılmıştır. Modellerin simülasyonunda NEDC çevrimi kullanılmıştır. Bu simülasyonlarda bataryaların farklı şarj durumlarında elektrik tüketimi, araç hızı ve güç kaybı hesaplanmış ayrıca elektrik motorunun tork, hız ve mekanik güç grafikleri incelenmiş ve özetle aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

- a. Lityum-İyon batarya için batarya şarj durumunun araç performansını etkilemediği, şehir içi sürüşünde maksimum 50km/h hıza ulaşıldığı ve şehir dışı sürüşünde ise 120 km/h hıza ulaşılmıştır. Bu batarya için %90 SOC seviyesinde 38,58kW değerinde bir elektriksel güç olduğu anda, maksimum güç kaybı 1,789kW değerindedir. %40 SOC seviyesinde ise güç kaybı 0,89kW değerindedir. Lityum-İyon bataryanın yüzdelerik güç kayıpları karşılaştırıldığında %50'lik bir iyileşme olmuştur. Bu da bataryanın zamanla kendini toparlayabildiği ve ömrü tamamen bitene kadar performansını aynı şekilde devam edeceğini göstermektedir.
- b. Nikel Metal Hidrit batarya için farklı batarya şarj durumlarında şehir içi ve şehir dışı çevrimlerde farklılık göstermektedir. Bu batarya için %90 SOC seviyesinde 21,07kW değerinde bir elektriksel güç olduğu anda, maksimum güç kaybı 3,3kW değerindedir. %40 SOC seviyesinde güç kaybı ise 3,64kW değerindedir. Bataryanın yüzdelerik güç kayıpları karşılaştırıldığında %10'luk bir artış olmuştur. Bu da bataryanın, şarjının çabuk bitmesine ve şarj etme sayının artmasına sebep olmaktadır. Elektrikli araçlar için şarj istasyonları şehirlerde hala yeterince çok değildir. Bu bataryanın kullanımı için bir dezavantaj yaratmaktadır. Nikel Metal Hidrit batarya kullanılan aracın şehir

içi sürüşünde maksimum 50km/h hıza ulaşabildiği ve şehir dışı sürüşünde ise 70 km/h hıza ulaşılmıştır.

- c. Nikel-Kadmiyum batarya için farklı batarya şarj durumlarında şehir içi sürüşünde maksimum 50km/h hıza ulaşabildiği ve şehir dışı sürüşünde ise 120 km/h hıza ulaşılmıştır. Bu batarya için %90 SOC seviyesinde 38,58kW değerinde bir elektriksel güç olduğu anda maksimum güç kaybı 1,789kW değerindedir. %40 SOC seviyesinde güç kaybı 2,076kW değerindedir. Bataryanın yüzdelik güç kayıpları karşılaştırıldığında %16'lık bir artış gerçekleşmiştir. Bunun sebebi Nikel Metal Hidrit ve Nikel-Kadmiyum bataryaları düşük sıcaklıktaki ortamlarda daha verimli çalıştılarından bataryanın kimyasal özelliklerinin zamanla etkilenip güç kaybındaki artış Lityum-İyon bataryaya göre daha fazla olmuştur.
- d. Elektrikli araçlarla sürüşte gidilecek mesafeler sınırlıdır. Bu batarya türleri gün içerisinde kısa mesafede yani şehir içi sürüşlerde bir yerden bir yere gitmek için daha uygundur.
- e. Elektrik tüketim maliyeti 2018 yılı içerisinde 1kWh için ortalama 0,49 TL ödenmektedir. Araçların 100km de yaklaşık 14kWh enerji tükettiği hesaplandığında elektrikli araç için yakıt maliyeti yaklaşık 7 TL 'ye denk gelmektedir. Volkswagen Polo aracı şehir içi ve şehir dışı sürüşlerinde ortalama 100km için 7litre benzin tüketmektedir. Benzinin litresi 6,26TL olduğu düşünülürse bu aracın 100km sürüş için 43,82TL yakıt masrafı bulunmaktadır. Bu da elektrikli araçların, içten yanmalı motorlu araçlar kıyaslandığında yakıt maliyetlerinde 6 kat daha az olduğunu göstermektedir.
- f. Volkswagen Polo aracının elektrikli araca çevrilmesi durumunda, simülasyonu yapılan elektrikli araçlar içerisinde en iyi performansa ve istenilen özelliklere sahip olan araç Nikel-Kadmiyum ve Lityum-İyon batarya kullanılan elektrikli araçlar gibi gözükse de ikisi kıyaslandığında Nikel-Kadmiyum batarya daha pahalı ve kadmiyum metalinin çevreye zararlı etkisi olduğundan dolayı elektrikli araç için en uygun bataryanın Lityum-İyon batarya olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Larminie, J., Lowry, J. 2003. Electric Vehicle Tecnology Explained, John Wiley&Sons, West Sussex, England, 8-20, 60-64, 184-220.
- [2] Mehrdad, E., Yimin, G., Sebastien, E.G., Ali, E. 2005. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, CRC Press, United States of Amerika, 13-199.
- [3] <http://www.elektrikliotomobiller.org/2011/10/13/elektrikli-otomobilin-tarihcesi/>., Erişim Tarihi:07.08.2017
- [4] https://tr.wikipedia.org/wiki/Elektrikli_otomobil., Erişim Tarihi:10.07.2018
- [5] Yıldırım, M. 2015. Tekerlek İçi Motorlu Elektrikli Araçlarda Elektronik Diferansiyel Sistemin Gerçekleştirilmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [6] <http://www.hybrid-vehicle.org/>., Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [7] Vatan, O. 2011. Modelling And Simulation Of Longitudinal Dynamics Of Electric Vehicles. İstanbul Technical University, Institute Of Science And Technology, Department of Mechanical Engineering, M.Sc. Thesis.
- [8] <http://www.automostory.com/first-hybrid-car.htm>., Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [9] <http://www.kcstudio.com/electrobat.html>., Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [10] Leitman, S., Brant, B. 2009. Build Your Own Electric Vehicle, The McGraw-Hill Companies, United States of Amerika, 33- 60, 133-193.
- [11] Ertaç, Y. 2008. Elektrikli Taşıtların Tasarımı ve Simülasyonu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [12] Elbakush, E., Sharaf, A. M. 2013. An Efficient AC Drive Scheme for Electric Vehicles, 5810–5827.
- [13] Şen, G. 2012. Şarj Edilebilen Elektrikli Araçların Kesintisiz Güç Kaynağı Olarak Kullanılmasını Sağlayan Bir Güç Ünitesinin Tasarımı ve Uygulaması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.

- [14] Keskin, F. 2014. Yakıt Pili-Bataryalı Hibrid Bir Elektrikli Araçta Enerji Yönetiminin Sağlanması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [15] <https://auto.howstuffworks.com/fuel-efficiency/vehicles/electric-car-battery3.htm>., Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [16] Khajepour, A., Fallah, S., Goodarzi, A. 2014. Electric And Hybrid Vehicles, John Wiley&Sons, West Sussex, England, 47-56.
- [17] Karaoğlan, M.U. 2014. Elektrik Tahrikli Bir Binek Otomobilin Tahrik Sisteminin Matematiksel Modellenmesi ve Simülasyonu. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [18] Başer, E. 2016. Elektrikli Araçlarda Yol Koşullarına Uygun Motor Seçimi Algoritması Geliştirme. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [19] <http://www.iett.istanbul/tr/main/pages/nostaljik-tramvay-hakkinda/92>., Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [20] <http://www.iett.istanbul/tr/main/pages/trolleybus/30>., Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [21] Kerem, A. 2014. Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(1), 1–13.
- [22] Tuna, M. 2008. Hibrit Elektrikli Araçlarda (HEA) Kullanılan Konvertörlerin Genelleştirilmiş Durum Uzay Ortalama (GSSA) Yöntemi ile Modellenmesi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [23] Rosario, L. 2007. Power and energy management of multiple energy storage systems in electric vehicles. Department of Aerospace Power & Sensors, Cranfield University, DCMT Shrivenham, PhD Thesis.
- [24] Zoroofi, S. 2008. Modeling and simulation of vehicular power systems. Chalmers University of Technology Electric Power Engineering, M.Sc. Thesis.
- [25] Ünlü, N., Karahan, Ş., Tür, O., Uçarol, H., Özsu, E., Yazar, A. 2003. Elektrikli Araçlar. TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü.
- [26] Sayın, A.A. 2011. Elektrikli Taşıt Araçlarında Kullanılan Lityum-İyon Bataryaların Modellenmesi ve Benzetimi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.

- [27] Kahveci, H. 2013. Doğrudan Sürürlü Elektrikli Araçlar İçin Bulanık Mantık Tabanlı Elektronik Diferansiyel Sisteminin Gerçeklenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- [28] Kuşdoğan, Ş., Demirel, B. 2007. Enerji Depolama Sistemlerine Bir Uygulama Olarak Kurşun Asitli Bataryaların Çift Katlı Olarak Yeniden Tasarlanması Ve Verimlerinin Değerlendirilmesi. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kong., Ankara.
- [29] Uğur, E. 2011. Prototip Bir Elektrikli Araç Üzerinde Enerji Yönetim Sisteminin Uygulanması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [30] Altan, N. 2012. Güneş Pili Ve Hidrojen Yakıt Pilinden Beslenen Küçük Bir Elektrikli Araç için Batarya Şarj Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [31] Uçarol, H. 2003. Karma Elektrikli Araçlar. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [32] <http://www.elektrikport.com/makale-detay/batarya-ve-piller/4228#ad-image-3>., Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [33] Nogueira C.A., Margarido F., 2007. Chemical and physical characterization of electrode materials of spent sealed Ni-Cd batteries, Waste Management, 27, 1570-1579.
- [34] <http://cenvironment.blogspot.com/2012/11/sodium-sulfur-battery.html>., Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [35] <http://spectrum.ieee.org/transportation/advanced-cars/lithium-batteries-take-to-the-road>., Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [36] Çimen, M.A. 2010. Elektrikli ve Seri Hibrit Elektrikli Araçlarda Simülasyon Kullanarak Kalıcı Miknatıslı Senkron Tahrik Motoru Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [37] Mökükçü, M. S. 2014. Electric Vehicle Powertrain Design and Implementation. Istanbul Technical University, Graduate School Of Science Engineering And Technology, Department of Mechatronics Engineering M.Sc. Thesis.
- [38] Timuçin, B. 2016. Hibrit Elektrikli Otobüste (Phileas) Sürücü Sistemlerinin Modellenmesi ve Güç Aktarma Organlarının Tasarımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.

- [39] Zeraouia, M., Benbouzid, M.E.H. ve Diallo, D., 2006. Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study. Vehicular Technology IEEE Transactions, 55(6):1756-1764.
- [40] Nikowitz, M. 2016. Lecture Notes in Mobility Advanced Hybrid and Electric Vehicles System Optimization and Vehicle. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26305-2>
- [41] Demirođlu, O. 2012. Elektrikli/Hibrid Araçların Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [42] Boyalı, A. 2008. Hibrid Elektrikli Yol Taşıtlarının Modellenmesi ve Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği ABD, Doktora Tezi.
- [43] Koç, C. 2012. Hibrid Araçlarda Değişik Parametrelere Göre Elektrik Motoru Seçimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi.
- [44] Grunditz, E. and Jansson, E. 2009. Modelling and simulation of a hybrid electric vehicle for shell ecomarathon and an electric gokart, M.Sc. Thesis, Chalmers University of Technology Electric Power Engineering, 10-12.
- [45] [http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/stator-nedir-15055/.](http://www.elektrikrehberiniz.com/elektrik-motorlari/stator-nedir-15055/), Erişim Tarihi: 10.08.2017
- [46] Mazman, M., Uzun, D., Kaypmaz, C., Biçer, E. 2011. Elektrikli Araçlar İçin Enerji Depolama Çözümleri, Mühendis ve Makina 21–23.

ÖZGEÇMİŞ

Başak Gök 1993 yılında Giresun 'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Giresun'da tamamladı. 2011 yılında Hamdi Bozbağ Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Aksaray Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2015 yılında Giresun Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılında Gebze Teknik Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.