



**KAMPÜS İÇİ KULLANIM AMAÇLI BİR ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMI
VE SİMÜLASYONU**

Latif Kasım UYSAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2019

Latif Kasım UYSAL tarafından hazırlanan “KAMPÜS İÇİ KULLANIM AMAÇLI BİR ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMI VE SİMÜLASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU

Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Fatih ŞAHİN

Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Seyfi POLAT

Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hitit Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 03/01/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Latif Kasım UYSAL

03/01/2019

KAMPÜS İÇİ KULLANIM AMAÇLI BİR ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMI VE SİMÜLASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Latif Kasım UYSAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2019

ÖZET

Elektrikli taşıtların taşımacılıkta kullanılması geçtiğimiz yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Marş motorlarının icadı ve içten yanmalı motorların gelişmesi ile uzun bir süre geri planda kalan elektrikli araçlar, çevre kirliliği, fosil yakıtların tükenmesi, batarya teknolojisindeki ve maliyetindeki gelişmeler gibi nedenlerle tekrar ilgi çekmeye başlamışlardır. Otomotiv imalatçıları çok sayıda tam elektrikli ve hibrit elektrikli aracı satışa sunmuştur. Batarya teknolojileri, enerji yönetim sistemleri, araç kontrol sistemleri, güç elektroniği gibi konulardaki çalışmalarla, elektrikli araçların daha çekici hale getirilmesi için çaba sarf edilmektedir. Bu çalışmada, enerji tüketim karakteristiğinin görülmesi amacıyla şasi ve tahrik elemanlarından oluşan basit bir elektrikli araç yapılmıştır. Bu temel yapıda enerji kaynağı olarak 60 V 65 Ah kurşun-asit batarya kullanılmıştır. Araç iki adet 60 V 3 kW fırçasız tekerlek içi motorla arkadan tahrik edilmiştir. Tahrik sistemi tamamlanan araçla Gazi Üniversitesi Merkez Yerleşkesi'nde sürüş testleri yapılmıştır. Eş zamanlı olarak, enerji tüketiminin simülasyon yoluyla tahmin edilmesi için doğrusal taşıt dinamiği modellenmesi yapılmıştır. Simülasyonlar MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Batarya karakteristiğinin görülmesi amacıyla sabit akım deşarj devresi tasarlanmış, batarya deşarj deneyi yapılmıştır. Aracın enerji tüketiminin ölçülmesi amacıyla, batarya gerilimini, her bir sürücünün çektiği akımı ölçen kart tasarlanmıştır. Araç şasi dinamometresi üzerinde test edilerek akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır. Aracın geliştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

Bilim Kodu : 93005
Anahtar Kelimeler : Elektrikli araç, tasarım, modelleme, simülasyon
Sayfa Adedi : 72
Danışman : Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU

DESIGN AND SIMULATION OF AN ELECTRICAL VEHICLE FOR ON CAMPUS

USE

(M. Sc. Thesis)

Latif Kasım UYSAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2019

ABSTRACT

The use of electric vehicles in transportation dates back to the beginning of the last century. Electric vehicles, which have been left behind for a long time due to the invention of starter motors and the development of internal combustion engines, have started to attract attention again for reasons such as environmental pollution, depletion of fossil fuels, developments in battery technology and cost. Automotive manufacturers have sold a large number of fully electric and hybrid electric vehicles. It is aimed to make electric vehicles more attractive with studies on battery technologies, energy management systems, vehicle control systems and power electronics. In this study, a simple electrical vehicle consisting of chassis and powertrain was built in order to observe the energy consumption characteristics of an electrical vehicle. For this basic structure 60 V 65 Ah lead-acid battery was utilized as energy storage. Vehicle is driven by two 60 V 3 kW brushless in-wheel motors from rear end. When propulsion system was completed, drive tests were carried out in Gazi University Central Campus. Simultaneously, longitudinal dynamics of the vehicle are modeled to estimate energy consumption by simulation. Simulations were performed in MATLAB / Simulink environment. A constant current discharge circuit is designed and the battery discharge test is performed in order to observe the battery characteristic. In order to measure the energy consumption of the vehicle, a card measuring the battery voltage and the current drawn by each driver is designed. The vehicle was tested on chassis dynamometer, battery voltage and current are measured. Suggestions were made for the development of the vehicle.

Science Code : 93005

Key Words : Electric vehicle, design, modeling, simulation

Page Number : 72

Supervisor : Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU

TEŞEKKÜR

Çalışma boyunca bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. H. Serdar Yücesu'ya, kıymetli hocalarım Doç. Dr. Fatih Şahin ve Doç. Dr. Hamit Solmaz'a, parça temini ve imalat hususlarında sürekli yardımlarını aldığım yakın arkadaşlarım Eray Arslan, Gökhan Yaşar ve Ali Alper Cığırım'e teşekkürü borç bilirim. Çalışma; Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri desteği ile "Kampüs İçi Kullanım Amaçlı Bir Elektrikli Araç Tasarımı ve İmalatı" başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR	3
2.1. Yapılan Çalışmalar	5
2.2. Elektrikli Araç Türleri.....	9
2.2.1. Elektrikli araçlar	9
2.2.2. Hibrit elektrikli araçlar	10
2.2.3. Yakıt hücresi araçlar	15
2.3. Elektrikli Araç Mimarisi	16
2.3.1. Enerji kaynağı ve depolama sistemi.....	16
2.3.2. Elektrik motorları	21
2.4. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motorlar	22
2.4.1. İndüksiyon motorları.....	22
2.4.2. DC motorlar	23
2.4.3. Daimi mıknatıslı motorlar	24
2.4.4. Anahtarlamalı relüktans motorlar	24

	Sayfa
2.4.5. Tekerlek içi motorlar	25
2.5. Elektrikli Araç Bataryaları	26
2.5.1. Kurşun – asit bataryalar	26
2.5.2. Nikel esaslı bataryalar	28
2.5.3. Lityum esaslı bataryalar	28
2.5.4. Diğer batarya araştırmaları	30
2.6. Rejeneratif Frenleme ve Elektrikli Araçların Verimi	31
2.7. Elektrikli Araçların Şarj Edilmesi ve Akıllı Şebekeler	32
2.7.1. İletken şarj sistemi ile şarj	32
2.7.2. Batarya değiştirme	33
2.7.3. Kablosuz şarj	34
2.7.4. Akıllı şebeke teknolojileri	34
2.8. Elektrikli Araçların Menzilini Etkileyen Faktörler	35
2.9. Batarya Modelleme	38
2.9.1. Elektrokimyasal modeller	38
2.9.2. İstatiksel modeller	39
2.9.3. Elektriksel eşdevre modelleri	39
2.10. Elektrikli Araçların Çevresel Etkileri	40
3. MATERYAL VE METOD	43
3.1. Tasarım ve İmalat	43
3.1.1. Motorlar ve sürücüler	45
3.2. Yapılan Ölçümler ve Ölçüm İçin Oluşturulan Devreler	48
3.2.1. Akım ve gerilim ölçümleri	48
3.2.2. Batarya deşarj deneyi	51

	Sayfa
3.2.3. Şasi Dinamometresi Testleri	52
3.3. Simülasyon	53
3.3.1. Motorların modellenmesi	53
3.3.2. Taşıt dinamikleri	54
3.3.3. Sürüş dirençleri	54
3.3.4. Test şartlarının seçilmesi	56
3.3.5. Hız kontrol modeli	58
3.3.6. Enerji tüketim ve batarya modeli	58
3.3.7. Diğer parametreler	59
3.3.8. Simülasyon sonuçları	60
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Metal-hava termodinamik çiftleri ve benzinin karşılaştırılması	30
Çizelge 3.1. Taşıt parametreleri	59
Çizelge 3.2. Simülasyon sonuçları.....	63



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. 2006-2015 yılları arasında dünya çapında araç sayısı	3
Şekil 2.2. Taşımacılık sektörünün CO ₂ salınımı	3
Şekil 2.3. Motor optimizasyonları ile sağlanan CO ₂ emisyon azalımı	4
Şekil 2.4. Araç elektrikleştirilmesi ile CO ₂ azalımı.....	5
Şekil 2.5. Temel elektrikli araç bileşenleri	9
Şekil 2.6. Hibritlik derecesine göre HEA'ların sınıflandırılması	11
Şekil 2.7. Seri hibrit araçta hareket ve güç aktarımı	12
Şekil 2.8. Paralel hibrit yapısı	13
Şekil 2.9. Seri/paralel hibrit yapısı.....	14
Şekil 2.10. (a) Şarj edilmeyen (b) Şarj edilebilir hibrit yapıları	15
Şekil 2.11. Bir araç üzerinde yakıt pili sistemi gösterimi	16
Şekil 2.12. Farklı enerji kaynaklarının özgül enerji ve özgül güçleri.....	17
Şekil 2.13. Kurşun-asit batarya yapısı	18
Şekil 2.14. Yakıt hücresi yapısı ve çalışma prensibi	20
Şekil 2.15. Elektrikli araç enerji kaynağının hibritleştirilmesi	21
Şekil 2.16. İndüksiyon motoru.....	22
Şekil 2.17. DC motor	23
Şekil 2.18. Daimi mıknatıslı fırçasız motor	24
Şekil 2.19. Anahtarlama relüktans motor	25
Şekil 2.20. Kurşun-asit batarya kimyası	27
Şekil 2.21. Nikel esaslı batarya kimyası	28
Şekil 2.22. Lityum iyon batarya kimyası	29
Şekil 2.23. Geri kazanımlı frenleme verim haritası	31

Şekil	Sayfa
Şekil 2.24. Şarj sisteminde güç akışı	34
Şekil 2.25. Araç kütlesi ve rejeneratif frenleme verimine bağlı olarak enerji ihtiyacı ...	36
Şekil 2.26. Batarya kapasitesi ve ağırlığın menzile etkisi	37
Şekil 2.27. Motor seçiminin menzile etkisini gösteren grafik	37
Şekil 2.28. Thevenin batarya modeli	40
Şekil 3.1. İlk araç çizimi	43
Şekil 3.2. Araç yapısını gösteren şematik	44
Şekil 3.3. Motor verileri	45
Şekil 3.4. Motor, sürücü ve pedal bağlantıları	47
Şekil 3.5. 12-24 V DC konvertör devre şematiği	49
Şekil 3.6. Akım sensörü ve sinyal yalıtım devresi şematik diyagramı	50
Şekil 3.7. Sabit akım deşarj devresi şematiği	51
Şekil 3.8. Akü deşarj karakteristiği (2A)	52
Şekil 3.9. Şasi dinamometresi testinden alınan ölçümler	52
Şekil 3.10. Elektrik motorunun tarama tabloları ile modellenmesi	53
Şekil 3.11. Taşıt dinamik modeli	54
Şekil 3.12. Bir araca etki eden dirençler	55
Şekil 3.13. Taşıt dirençleri modeli	56
Şekil 3.14. Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi	57
Şekil 3.15. Dünya Çapında Uyumlu Hafif Taşıtlar Test Prosedürü - Class I	58
Şekil 3.16. Hız kontrol modeli	58
Şekil 3.17. Batarya ve Enerji Tüketim Modeli	59
Şekil 3.18. WLTP çevrimine göre kullanılabilir şarj	60
Şekil 3.19. NEDC'ye göre alınan yol ve kullanılabilir şarj	61

Şekil	Sayfa
Şekil 3.20. WLTP boyunca tork değişimi.....	61
Şekil 3.21. NEDC boyunca tork değişimi.....	62
Şekil 3.22. WLTP boyunca tahrik gücü.....	62
Şekil 3.23. NEDC boyunca tahrik gücü.....	63



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Test için üretilen araç.....	44
Resim 3.2. Akü ve elektrik tesisatının yerleşimi	45
Resim 3.3. Kullanılan tekerlek içi motor	46
Resim 3.4. Motor sürücüsü	46
Resim 3.5. Akım ve gerilim ölçümü telemetri sisteminin uygulaması.....	48



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
----------	-------------

A	Amper
Ah	Amper-saat
F	Farad
kg	Kilogram
km	Kilometre
kN	Kilonewton
kΩ	Kiloohm
m	Metre
m²	Metrekare
m³	Metreküp
N	Newton
Ω	Ohm
s	Saniye
V	Volt
W	Watt

Kısaltmalar	Açıklamalar
-------------	-------------

AC	Alternatif akım
AGM	Emdirilmiş cam elyaf (Absorbent glass mat)
ARM	Anahtarlamalı relüktans motor
BLDC	Fırçasız doğru akım (Brushless DC)
DC	Doğru akım
EA	Elektrikli araç
EKDS	Enerji kaynağı ve depolama sistemi

Kısaltmalar**Açıklamalar**

EKÜ	Elektronik kontrol ünitesi
EM	Elektrik motoru
ETS	Elektrikli tahrik sistemi
HEA	Hibrit elektrikli araç
İYM	İçten yanmalı motor
PEM	Polimer elektrolit membran
SOC	Şarj durumu (State of Charge)
TTW	Depodan Tekerleklere (Tank-To-Wheel)
VRLA	Supap ayarlı kurşun asit (Valve regulated lead acid)
WTW	Kaynaktan Tekerleklere (Well-To-Wheel)

1. GİRİŞ

Karayolu taşımacılığında kullanılan araçlar, CO₂ emisyonlarında büyük pay sahibidirler. İklim değişikliği, küresel ısınma, yerleşim yerlerinde sağlığı tehdit eden hava kirliliği, ülkeleri, araç emisyonlarının düşürülmesi konusunda önlemler almaya sevk etmiştir. Bu araçların enerji kaynağı olan fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükenecek olması, ülkeler için dışa bağımlılık yaratması, temin edilme güçlükleri söz konusudur. Bu durum taşımacılıkta petrolden bağımsız ve düşük emisyonlu araçların üretilmesi arzusuna yol açmıştır. Bu iki özellik elektrikli araçlarda mevcut özelliklerdir. Elektrikli araçlar herhangi bir kaynaktan elde edilen elektrik enerjisi ile çalıştırılabilirler ve enerjinin üretiminden kaynaklı emisyonlar dışında herhangi bir emisyonu neden olmazlar. Basitçe ifade etmek gerekirse tükenen fosil yakıtlar ve bu yakıtların sebep olduğu çevre kirliliği elektrikli taşıtların yaygınlaşmasına neden olmaktadır [1-4].

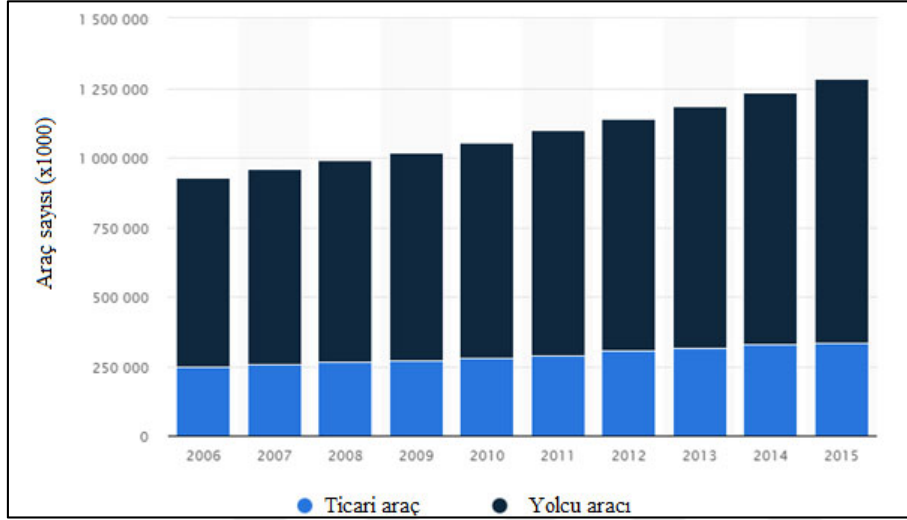
Çalışmada basit bir elektrikli araç inşa edilip testlere tabi tutulması ve simülasyonlarının yapılması amaçlanmıştır. Bu sayede elektrikli araç karakteristikleri birinci elden tecrübe edilebilecektir. Çalışma akabinde aracın mevcudu geliştirilerek Gazi Üniversitesi Merkez Yerleşkesine kazandırılması ve ileriki elektrikli araç çalışmalarında kullanılması amaçlanmaktadır.

Dünyada elektrikli araçlara ilginin arttığı ve araştırmaların bu alana yöneldiği göz önüne alındığında çalışmanın önemi anlaşılabılır. Türkiye, içten yanmalı motor (İYM) teknolojilerinde gelişmeleri takip edememiş, sektörde üretici ve geliştirici bir rol üstlenememiştir. Ülkemizin, içinde bulunduğumuz elektrikli araçlara geçiş sürecini iyi değerlendirmesi elzemdir.

Araçta, mevcut motor ve sürücüler kullanılmıştır. İmalat için Bilimsel Araştırma Projesi desteği alınmış, ancak kısıtlı olan bu bütçe, kur dalgalanmalarına da bağlı olarak, aşılmıştır. Başta Lityum-iyon batarya kullanılması istenmiş, yüksek maliyetlerinden dolayı vazgeçilerek kurşun-asit batarya tercihi yapılmıştır. Alüminyum şase imalatı düşünülmüş, ancak özel ekipman ve bilgi gerektirdiği için mevcut çelik profillerden şasi tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatı yapılan araç şasi dinamometresinde test edilmiş, araç parametreleri kullanılarak enerji tüketim simülasyonları yapılmıştır.

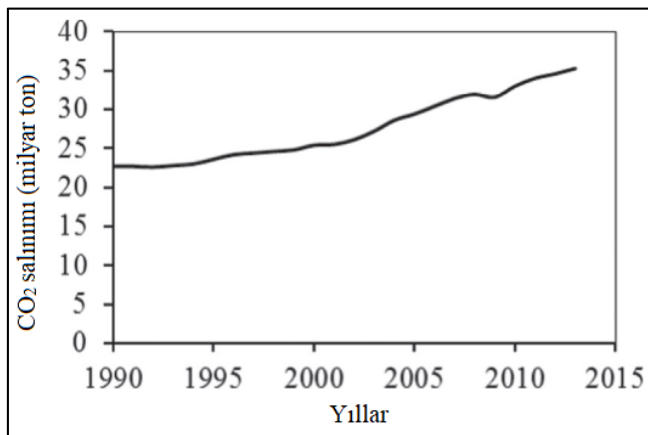
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi 2015 yılında araç sayısı, 947 milyon yolcu taşıtı ve 335 milyon ticari taşıt olmak üzere, bir milyardan üzerindedir [5]. Bu sayının 2035 yılında 2 milyara ulaşması beklenmektedir.



Şekil 2.1. 2006-2015 yılları arasında dünya çapında araç sayısı [5]

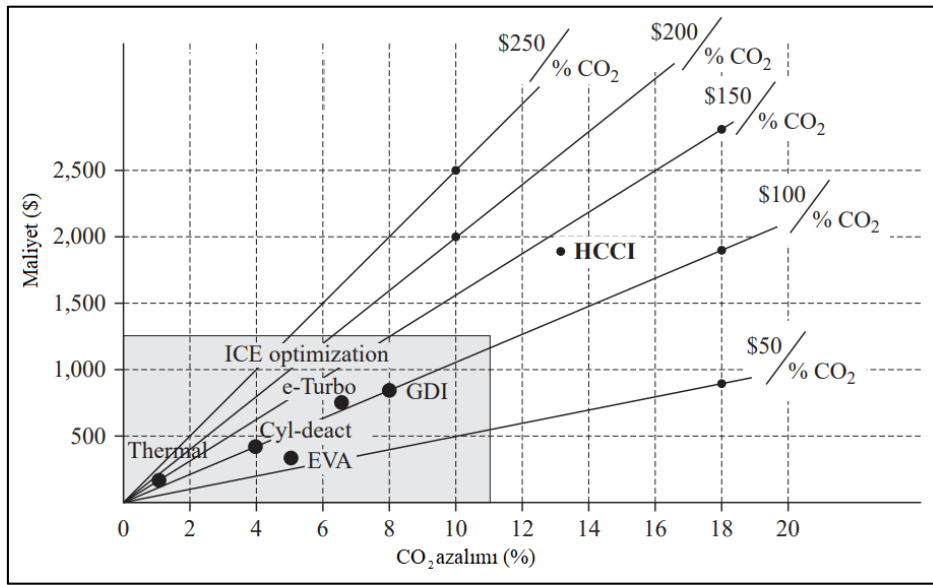
Şekil 2.2.’de 1990 – 2013 yılları arasında ulaşımdan kaynaklanan CO₂ emisyon değerleri görülmektedir. Şekle göre CO₂ emisyonları 1990 yılında 22,7 milyar metrik tondan, 2013 yılında 35,27 milyar metrik tona çıkmıştır [6]. CO₂ emisyonlarının bu günkü seviyede tutulabilmesi için yakıt veriminin iki katına çıkması, emisyonların çevre etkilerinin stabilize edilebilmesi için de bu emisyonların %80 oranında azaltılması gerekmektedir [7].



Şekil 2.2. Taşımacılık sektörünün CO₂ salınımı [6]

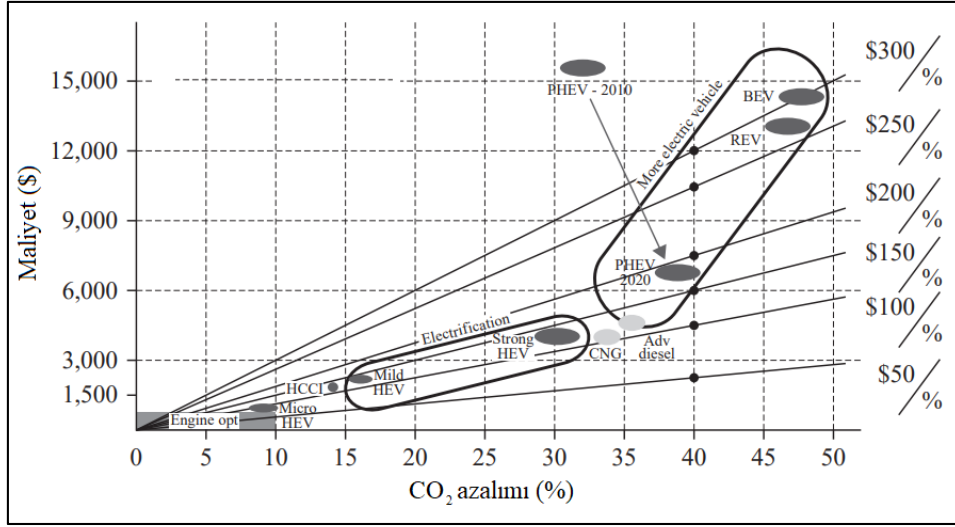
AB'nin 2020 taahhütleri çerçevesinde tüm sera gazı salınımlarının %20 oranında azaltılması hedefi belirlenmiştir. Buna hedefe göre 2020'de otomotiv CO₂ salınımları km'de 95 grama düşürülecektir [8].

Şekil 2.3'te motor optimizasyonları yolu ile elde edilen CO₂ emisyon iyileştirmeleri görülmektedir. \$50 /% CO₂ - \$100 /% CO₂ aralığında %10 mertebesinde emisyon düşüşü mümkün olmuştur. Bunun ötesinde, Otto döngüsü ve dizel çevrim operasyonu arasındaki farklılığı ortadan kaldıran HCCI gibi daha ileri teknolojiler takip edilmektedir [9].



Şekil 2.3. Motor optimizasyonları ile sağlanan CO₂ emisyon azalımı [9]

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi CO₂ emisyonlarının daha ileri seviyede düşürülmesi için araçların elektrikleştirilmeleri gerekmektedir.



Şekil 2.4. Araç elektrikleştirilmesi ile CO₂ azalımı [9]

Problemin çevresel boyutu yanında ekonomik boyutu da mevcuttur. Fosil yakıt kaynakları olmayan ülkeler, fosil yakıt ticaretinde dış ticaret açığı vermekte yakıt satın aldıkları ülkelere bağımlı hale gelmektedirler. Dünya petrolünün dörtte birini tüketen ABD'nin 2008 yılında, ham petrol ve petrol türevi ürünlerdeki dış ticaret açığı toplam dış ticaretinin % 56'sını oluşturmuştur. Petrol tüketicisi olan ülkelerin petrol arzı ve fiyatının belirlenmesinde sınırlı etkisi vardır. Uluslararası Enerji Ajansı, petrol fiyatındaki her % 10'luk artışın dünyanın gayri safi yurt içi hasılasında % 0.5'lik daralmaya neden olduğunu tahmin etmektedir [8].

2.1. Yapılan Çalışmalar

Bu kısımda, çalışma kapsamında EA mimarileri, batarya teknolojileri, elektrik motorları, modelleme ve simülasyon, EA'ların çevresel etkileri üzerine yapılan taramalardan örnekler sunulacaktır.

Jochem ve diğerleri (2015), Almanya'da 2030 yılında elektrikli araç sayısının 6 milyona (%15 pazar payı) ulaşacağı ve elektriğin %60 oranında yenilebilir kaynaklardan elde edileceği kabulleri ile bu araçların şebekeye bağlanmasından kaynaklanacak CO₂ emisyonlarını farklı yaklaşımlarla öngörmeye çalışmış, bu yaklaşımların avantaj ve dezavantajlarını tartışmışlardır. Kontrollü ve kontrolsüz şarj senaryoları için bu yöntemler kullanılmıştır. Alman elektrik sisteminin optimize edilmiş bir tabandan tepeye modeli olan PERSEUS-NET-TS modeli ile yöntemler değerlendirilmiştir. Yapılan kabullere göre, Almanya'da CO₂ salınımlarında genelde iyileşme görülmüşse de, İYM emisyonlarının da

azalacağı düşünülürse, bazı ülkeler için emisyonlarda ciddi bir düşüş olmayabileceği vurgulanmıştır. Yenilebilir enerjinin önemine dikkat çekilmiş, araçların düşük talep saatlerinde kontrollü şarj edilmeleri tavsiye edilmiştir [10].

Cedden (2014) çalışmasında, bilgisayar ortamında üç boyutlu olarak elektrikli bir aracın şasi ve aktarma organları tasarımı gerçekleştirmiştir. Mevcut elektrikli araç mimarileri incelenmiş, buna göre tasarlanan şasi, karoser, aktarma organlarının yerleşimi yapılmıştır. Elde edilen mimariler için şasi Catia programı ile analiz edilmiştir [11].

Mökükçü (2014), içten yanmalı bir aracın, elektrikli araca dönüştürülmesi projesi için motor tasarımı yapmıştır. Projede hafif bir binek araç satın alınmış, bu aracın elektrikli araca çevrilmesi planlanmıştır. Aracın güç gereksinimleri hesaplandıktan sonra motor tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan motor 10 kutuplu sabit mıknatıslı fırçasız bir doğru akım motorudur. İç rotorlu bu motor için mıknatıs tipi Samaryum Kobalt (SmCo) olarak belirlenmiştir. Motor analitik tasarımları yapıldıktan sonra elektromanyetik ve ısıl sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Motor verilerinin sağlaması yapıldıktan sonra üretim için mekanik tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Projede elektrik motoru tasarımı haricinde motor sürücüsü tasarımı da yapılmıştır [12].

Karaoğlu (2014), tasarlanacak olan bir elektrikli araç için ihtiyaca uygun ve optimum yapı elemanlarının seçimini yapmış, taşıtın performans özelliklerini belirlemiş, tasarladığı aracı standart test çevrimlerine tabi tutmuş, bir çevrim boyunca değişen temel özellikleri incelemiştir. Teorik olarak elde edilen parametrelerle, ADVISOR programı kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak, aracın enerji sarfıyatı ve sürüş menzili belirlenmiştir [13].

Poullikas (2014) makalesinde elektrikli araç türlerini ele almış, çalışma prensiplerini açıklamış, bu araçlar için uygun görülen batarya çeşitlerinden bahsetmiştir. Yazıda şarj metot ve stratejilerine değinilerek, avantaj ve dezavantajlarıyla şebeke-arac etkileşimlerine (V2G ve G2V) yer verilmiştir [14].

Öztürk (2013) çalışmasında bir elektrikli aracı, Matlab programı ile modellemiştir. Analiz için asenkron motor ve Li-iyon bataryaları modellenmiştir. Rejeneratif frenleme etkisi de simülasyonlarda hesaba katılmıştır. Elektrik makinesinin kontrolünde Alan Yönlendirmeli

Kontrol (FOC) metodu uygulanmıştır. Enerji tüketimi; SOC (State of Charge) ve enerji kazanımlarında yol ve hız durumlarına göre incelenmiştir. Oluşturulan modellemede elektrikli aracın hızı geleneksel PI ve Bulanık Mantık Kontrol metotları ile kontrol edilmiştir. Özellikle şarj durumu ve bataryadaki enerji değişimi durumları incelenmiş ve bulanık mantık kontrol yönteminin PI kontrol yönteminden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca elde edilen benzetim sonuçlarına göre anlık hız değişimlerinde bulanık mantık kontrol metodunun daha iyi bir performans sergilediği saptanmıştır. Bataryadaki enerji tüketiminin dur-kalk ve yokuş aşağı-yukarı durumlarına göre de anlık değiştiği gözlemlenmiştir [15].

Catenacci ve diğerleri (2013) tam elektrikli araçlar ve şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar için akülerin mevcut teknik durumu hakkında uzmanların değerlendirmelerini toplamak ve gelecekteki maliyetleri, bunların etrafındaki belirsizlikleri ve kamu destek programlarının etkilerini belirlemek için olasılık tahminlerini toplama amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaya Avrupa Birliği ülkelerinden bataryalar konusunda uzman 15 kişi katılmıştır. Çalışmada EA'nın başarısının yüksek batarya fiyatları tarafından sınırlandığı, batarya fiyatlarının 2030 yılına kadar rekabet edebilir hale gelmesi için ar-ge çalışmalarının ikiye katlanması gerektiği ifade edilmiştir. En önemli alternatifler olarak Li-iyon ve Ni-MH bataryalara yoğunlaşılması gerektiği vurgulanmıştır [16].

Kumar ve Jain (2013) yazdıkları derleme makalesinde, elektrikli ve hibrit araç türleri, mimarileri hakkında kısa bilgi vermişler, enerji kaynaklarını ve kullanılan elektrik motorlarını tanıtmışlardır. Konu üzerindeki literatür eksikliği belirtilerek, özellikle elektrikli tahrik sistemleri üzerinde durulmuştur. Güç akışı ve kontrol algoritmalarına değinilmiş, elektrikli tahrik sistemleri yol haritasında gerçekleşen teknolojik gelişmelere ve gelecek zorluklara vurgu yapılmıştır [17].

Gerssen ve diğerleri (2012), elektrikli araçlar için mevcut ve yeni batarya teknolojilerini incelemişlerdir. Çalışmada, literatür araştırmalarına başvurularak, beş batarya teknolojisi için (Li-iyon, Li-S, Li-hava, ZEBRA, Zn-hava), kısa (>5 yıl), orta (5-20 yıl), uzun (>20 yıl) vadelerde performans ve fiyat kestirimleri yapılmıştır. Bataryaların özgül enerji, özgül güç, ömür, çevrim ömrü, verim, çalışma sıcaklığı ve güvenlikleri incelenerek maliyetleri ile ilişkilendirilmiştir. Elektrikli araç uygulamalarında her bir batarya türünün enerji tüketiminin görülmesi amacıyla, beş kapılı kompakt araç referans alınarak sürüş çevrimi

analizleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, kısa ve orta vadede en avantajlı batarya türü olarak, Li-iyon öne çıkmıştır. Lityum-sülfür ve metal-hava bataryaları ticarileşebilirlerse, uzun vadede bataryalardan beklentileri karşılayabilecekleri öngörülmüştür [18].

Uğur (2011) elektrikli araçlarda enerji yönetimiyle ilgili bir çalışma yapmış, bu çalışmada, batarya ve ultrakapasitör arasında yük paylaşımı sağlayan bir DC/DC dönüştürücü, gerilim düzenleyici PI kontrolör üzerinden kontrol edilmiştir. Bu sistem, prototip araç üzerinde test edilmiştir. Bataryalar aracın güç ihtiyacını karşılarken, ultrakapasitörler aşırı güç ihtiyacını karşılamada kullanılmıştır. Bir güzergâh oluşturularak, batarya ve ultrakapasitör ayrı ayrı test edilmiş, son olarak hibrit sistem testleri yapılmıştır. Hibrit sistemle, araçtan aynı performansı almak için çok daha küçük batarya boyutları kullanılabildiği sonucuna ulaşılmıştır [19].

Watts ve diğerleri (2010) tekerlek içi motorların teknolojilerini ve ekonomik avantajlarını anlatmış, problemlerini ve bu problemler için çözüm önerilerini sunmuşlardır. Çalışmaya göre; elektrikli araçlar hub motorlar ile birden fazla tekerlekten tahrik edilerek konvansiyonel aracın güç seviyesi yakalanırken, motor ve aktarma organlarından boşalan alanların bataryalar için kullanılması sayesinde araç menzilleri de uzatılabilir. Otomotiv üreticileri, bu avantajı kullanarak, tüketicinin alıştığı ve arzuladığı performansı onlara sunabilir, bu da elektrik aracın yaygınlaşmasını sağlayabilir. Bütün tekerleklerin bağımsız tahrik edilebilmesi sayesinde de çok daha hassas kontrol stratejileri uygulanabilecektir. Motor ve aktarma organlarını konumlandırma gibi bir problem olmadığı için varolan araç modelleri kolayca tam elektrikli olarak tasarlanabileceklerdir. Çalışma, referans göstererek, yaysız kütle probleminin aşılabılır bir mühendislik problemi olduğunu savunmakta, fren entegrasyonu için de tasarım önermektedir [20].

Ertaç (2008), farklı elektrikli taşıt teknolojileri, taşıt tasarım ve simülasyonu için uygun programlar hakkında araştırmalar yapmış, küçük bir elektrikli taşıtın tasarım ve simülasyonunu yapmıştır. Araç için gerekli tahrik gücü ve istenilen menzil için gerekli batarya gücü kapasitesi hesaplamaları yapmıştır [21].

Romm (2005), alternatif araçlar üzerine yaptığı araştırma çalışmasında farklı kaynaklardan aldığı alıntılara yer vererek, yakın gelecek için tam elektrikli, hibrit ve yakıt hücresi araçların durumunu incelemiştir. Çalışmada, maliyetleri, herhangi bir altyapı gereksinimleri olmayışı,

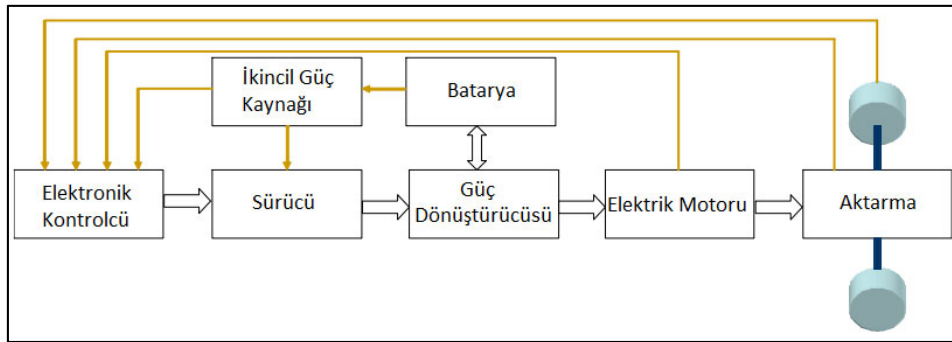
şarj ve menzil kaygısı oluşturmamaları, yakıt ve emisyon avantajları ile şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar öne çıkmıştır [22].

2.2. Elektrikli Araç Türleri

Elektrikli araçlar enerji tüketimi, hava kirliliği, petrol bağımlılığı açılarından ele alındığında istenilen özelliklere sahiptirler. Ancak kullanılan bataryaların maliyet ve ağırlıkları sebebiyle EA'lar düşük menzilli olarak tasarlanıp üretilmektedirler. Bu problemin aşılması ve elektrikli araçların, konvansiyonel araçlar gibi, daha esnek kullanıma sahip olmaları için hibrit yapılar ortaya konulmuştur. Günümüz elektrikli araç incelemelerinde mevcut teknolojinin; tam elektrikli, hibrit elektrikli ve yakıt hücresi araçlar olmak üzere üç genel başlık altında toplandıkları görülmektedir.

2.2.1. Elektrikli araçlar

Tümü elektrikli araçlarda hareket, sadece bataryalardan sağlanan elektrik enerjisiyle tahrik edilen, elektrik motorundan sağlanmaktadır. Araç bataryaları, şebekeye bağlanarak şarj edilir [23-25].



Şekil 2.5. Temel elektrikli araç bileşenleri [24]

Elektrikli araçların avantajları:

1. Elektrikli araçların verimleri yüksektir.
2. Egzoz emisyonları yoktur, bu sayede yerel hava kirliliğine neden olmazlar.
3. İvmelenmeleri iyidir.
4. Geri kazanımlı frenleme özellikleri ile enerji tasarrufu sağlarlar. Bu özellik sayesinde menzil %10 - %15 oranında artabilir.
5. Bakım ve onarım maliyetleri daha düşüktür.

6. Aralarında yenilenebilir kaynakların da olduğu herhangi bir kaynaktan elde edilen elektrikle şarj edilebilirler. Petrole bağımlı değildir.
7. Şarj işlemi elektriğin ucuz olduğu gece saatlerinde yapılabilir.

Dezavantajları:

1. Elektrik depolama sistemlerinin maliyeti yüksektir. Dolayısıyla ilk alış maliyetleri yüksek olmaktadır.
2. Şarj işlemleri uzun zaman almaktadır.
3. Elektrikli araçlar daha uzun menzil için daha fazla bataryaya ihtiyaç duymakta bu da araç ağırlıklarının oldukça artmasına sebep olmaktadır.
4. Bir şarj altyapısı oluşturulması gerekmektedir. Bu da büyük bir maliyet demektir.
5. Yeterli satış sonrası hizmet altyapıları oluşmamıştır.
6. Bataryalarda kullanılacak birincil elementlerin tükenmesi konusunda endişeler gündeme gelmiştir.
7. Sessiz çalışmaları bir avantaj olduğu gibi, trafikte fark edilmelerini zorlaştırmaktadır.
8. Elektrikli araç sayısının artması, elektrik şebekesi üzerinde büyük bir yüke neden olacaktır.

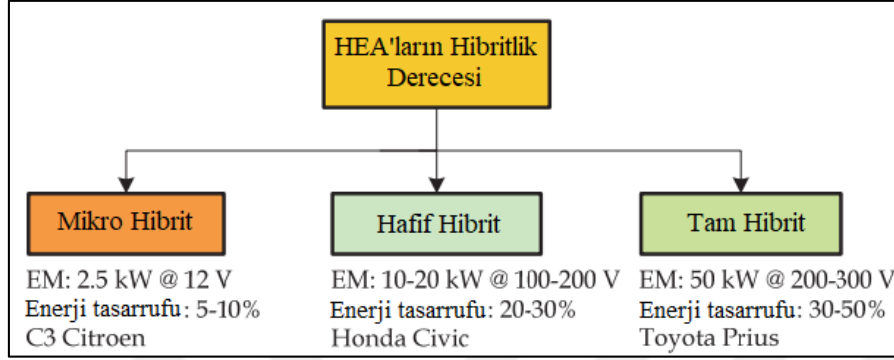
Depolama sistemleri ve şarj sürelerine bağlı olarak elektrikli araçların menzili genelde kısa mesafelerle sınırlandırılmaktadır [1,8,14,26-28].

2.2.2. Hibrit elektrikli araçlar

Farklı avantajlarından yararlanmak amacıyla iki (ya da daha fazla) güç kaynağının kullanıldığı araçlara hibrit araç adı verilir. Hibrit elektrikli araçlarda, yaygın olarak, bir İYM ile bir elektrik motoru birlikte kullanılır.

Elektrikli araçların menzil ve şarj dezavantajları hibrit araçlar ile giderilmiştir. Hibrit elektrikli araçlar, geleneksel bir araçla aynı seviyede menzil ve performans değerlerine sahip olabilmektedirler. HEA geleneksel araçlara göre daha yüksek verim ve daha düşük emisyon değerleri sunmaktadır. Avantajlarına karşılık bu araçların yapısı elektrikli ve fosil yakıtlı araçlara oranla daha karmaşıktır. Konvansiyonel araçlara göre daha ağırdırlar, ilk maliyetleri daha yüksektir.

Elektrik motorunun maksimum gücünün, toplam çekiş gücüne oranı hibritlik derecesi olarak tanımlanır. Yüksek hibritlik derecesi daha büyük elektrik motoru ve daha küçük bir İYM demektir [14]. Hibrit elektrikli araçlar hibritlik derecelerine göre; mikro hibrit, hafif (mild) hibrit ve tam hibrit olmak üzere üç gruba ayrılırlar.



Şekil 2.6. Hibritlik derecesine göre HEA'ların sınıflandırılması [29]

Mikro hibritlerde araç durduğu anda içten yanmalı motor durdurulur. Starter jeneratörü sadece motoru başlatmak için kullanılır. Frenleme anında rejeneratif enerji elde edilmez ve birkaç yüz watt saatlik enerji gereklidir.

Hafif hibritlerin mikro hibritlerden temel farkı, rejeneratif frenleme ile bir miktar enerjinin tasarruf edilmesi ve İYM başlatılırken araç elektrik modunda başladığı için, daha fazla elektrik enerjisi kullanılmasıdır. Yakıt tüketimindeki kazanç aynı sürüş koşullarında neredeyse iki katına çıkarılabilmektedir (% 5 - 25).

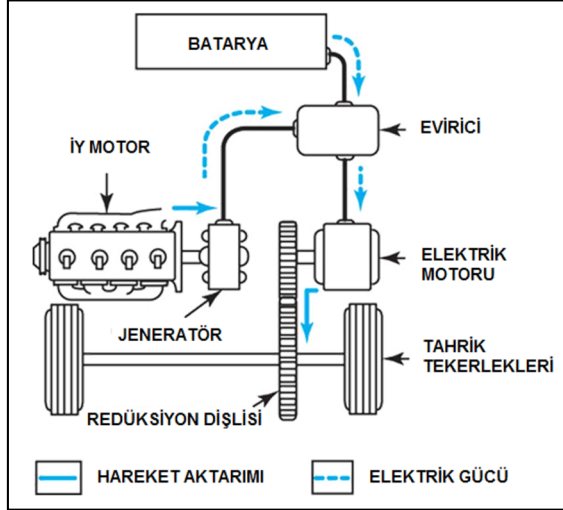
Tam hibritlerde İYM ve elektrik motoru aracın tahrik edilmesinde kullanılır. Sadece elektrik modunda birkaç km gidebilmek mümkündür. Batarya enerjisi düşük olabilir ama yüksek güç gereklidir [30].

Hibrit elektrikli araçlar mimarilerine göre seri, paralel, seri-paralel hibrit olarak üç grupta incelenir.

Seri Hibrit

Şekil 2.7'de yapısı görülen seri hibrit elektrikli araçlarda, içten yanmalı motor elektrik enerjisi üretilmesi amacıyla kullanılır, aracı doğrudan tahrik etmez. İYM çıkışından bir

jeneratör tahrik edilerek mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Üretilen elektrik enerjisi elektrik motorunu sürebilmekte ve pil paketlerini şarj edebilmektedir [23,31].



Şekil 2.7. Seri hibrit araçta hareket ve güç aktarımı

İYM tahrik amaçlı kullanılmadığından küçük hacimde olabilir ve sürekli yüksek verim bölgelerinde çalıştırılabilir. Böylece aracın enerji tüketimi ve emisyonları düşürülür.

Seri hibritlerin avantajları:

- Motor- jeneratör setinin konum esnekliği.
- Aktarma organlarının basitliği.
- Dur/kalk yapılan kısa mesafeli yolculuklara uygunluk.

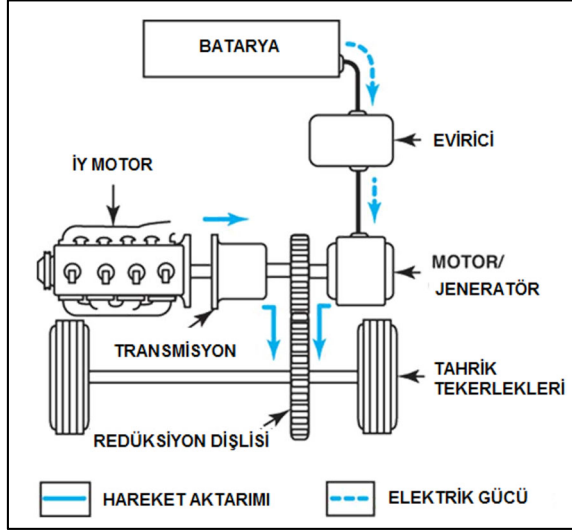
Dezavantajları:

- İçten yanmalı motor, jeneratör ve elektrik motoru gereksinimi.
- Motor, yüksek eğime tırmanma gibi sürekli maksimum güç gerektiren durumlar için tasarlanmalıdır.
- Tüm aktarma organları bileşenlerinin uzun mesafe, yüksek hızda sürüş için maksimum güce uygun boyutlandırılması gerekir.

Paralel Hibrit

Paralel hibrit elektrikli araçlarda araç hareketi içten yanmalı motor ve elektrik motoru tarafından aktarma organları ile beraber sağlanmaktadır (Şekil 2.8). Elektrik motoru düşük

hız ve ivmelerde tek başına aracı hareket ettirebilir, ancak esas görevi İYM'ye destek olmaktır. Tahrik amaçlı batarya boyutları çok büyük değildir.



Şekil 2.8. Paralel hibrit yapısı

Avantajları:

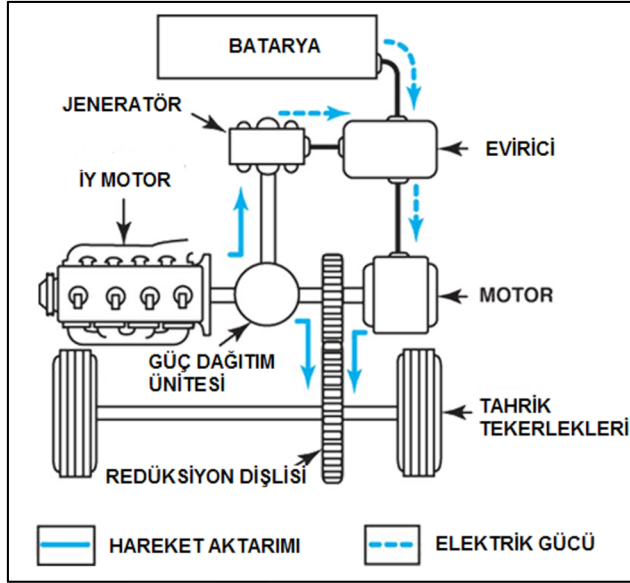
- Sadece İYM ve motor / jeneratöre ihtiyaç duyar.
- Piller bitene kadar aynı performansı elde etmek için daha küçük bir İYM ve elektrik motoru kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Kontrol karmaşıklığı artar, çünkü güç akışı iki paralel kaynaktan düzenlenmeli ve karıştırılmalıdır.
- İYM ve motordan gelen gücün harmanlanması için karmaşık bir mekanik cihaza ihtiyaç duyulur.

Seri/Paralel Hibrit

Yapısı Şekil 2.9'da gösterilen seri-paralel hibritler, bu iki farklı mimarinin avantajlarının kullanılması amacıyla oluşturulmuş sistemlerdir. Paralel hibritte olduğu gibi, içten yanmalı motor tekerlekleri doğrudan döndürebilir ya da seri hibritteki gibi tamamen tekerleklerden bağlantısı kesilebilir. Düşük hızlarda daha çok seri hibrit gibi davranır, yüksek hızlarda içten yanmalı motor devreye girer.

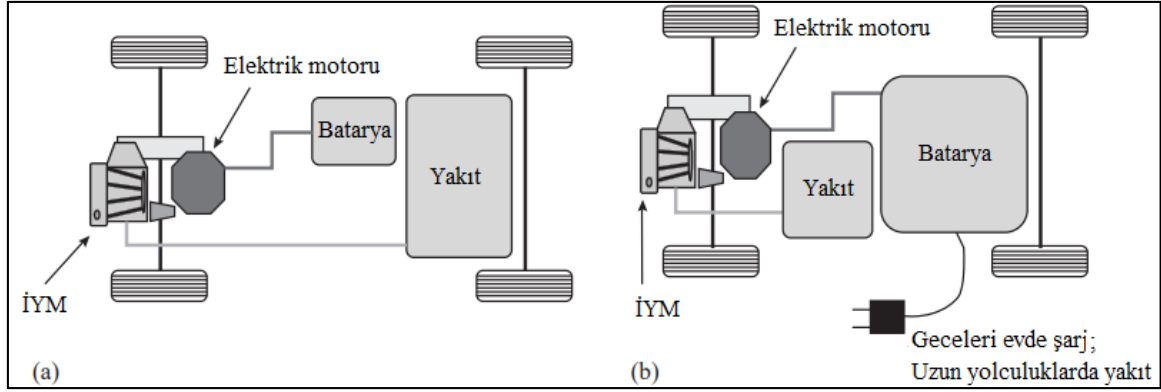


Şekil 2.9. Seri/paralel hibrit yapısı

Güç bölme aygıtı, İYM çıkışından aldığı gücü, mekanik ve elektrik iletim yollarına böler. İYM bataryayı şarj etmek ya da aracı tahrik etmek için kullanılabilir. Seri veya paralel aktarma organlarına göre sürekli yüksek çıkış gücü sağlayabilmektedirler.

Şarj edilebilir hibrit araçlar

Bu tanımların dışında hibrit araçların şarj edilebilirlikleri de sınıflandırmada karşımıza çıkmaktadır (Şekil 2.10). Şarj edilmeyen hibritler enerjilerini, üzerlerinde bulunan İYM / jeneratör sistemlerinden elde ederler. Şarj edilebilir (plug-in) hibrit araçlar, daha büyük batarya paketlerine sahiptirler ve şebekeden şarj edilebilirler. Böylece; daha uzun mesafeleri sadece elektrikle kat edebilirler, fosil yakıtlara bağımlılıkları azaltılmış olur. Buna karşılık daha büyük bataryalar ve araç üstü şarj sistemi ekstra maliyet getirir.



Şekil 2.10. (a) Şarj edilmeyen (b) Şarj edilebilir hibrit yapıları [9]

2.2.3. Yakıt hücreli araçlar

Elektrikli araçların menzillerinin uzatılması için başvurulan yöntemlerden biri de, bu araçların üzerine elektrokimyasal reaksiyonlarla elektrik üretebilen yakıt hücrelerinin yerleştirilmesidir. Yakıt hücreleri pek çok farklı yakıtla çalışabilirler, ancak elektrikli araçlar için özellikle üzerinde durulan yakıt hücreleri hidrojenli yakıt hücreleridir [8,32].

Hidrojenli yakıt hücreleri membran yapısından dolayı polimer elektrolit membran (PEM) ya da proton değişim membran (proton exchange membrane) yakıt hücreleri olarak adlandırılırlar.

Yakıt pilli elektrikli araçların yapısı seri hibrit elektrikli araçlarınkine benzemektedir. Seri hibritlerde bulunan yakıt deposu yerine hidrojen tankı, elektrik üreten içten yanmalı motor ve jeneratör yerine de yakıt pilleri bulunmaktadır [23].

Yakıt hücrelerinde gerçekleşen reaksiyon ürünü sudur, dolayısıyla bu araçlar herhangi bir emisyonu neden olmazlar. Yakıt dolumları, geleneksel bir araç gibi, kısa sürede gerçekleşmektedir. Karmaşık bir mimariye ve ağır yapıya sahiptirler. Bu araçların en büyük engelleri; hidrojenin elde edilmesi, nakledilmesi, istasyonlarda ve araç üzerinde depolanması ile ilgili zorluklar ile, yapılarında değerli metal bulunduran yakıt hücresi yığınlarının yüksek maliyetleri olmaktadır. Şekil 2.11.'de yakıt pili uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.11. Bir araç üzerinde yakıt pili sistemi gösterimi [32]

2.3. Elektrikli Araç Mimarisi

Elektrikli araçların kalbi durumunda olan elektrikli tahrik sistemleri (ETS) dört ana bileşende incelenebilir.

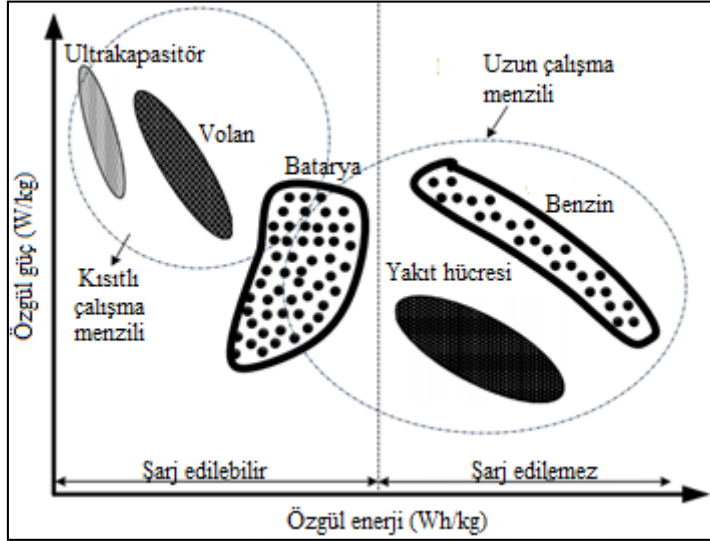
- 1) Enerji kaynağı ve depolama sistemi (EKDS)
- 2) Elektrik motoru (EM)
- 3) Güç elektroniği dönüştürücüsü
- 4) Elektronik kontrol ünitesi (EKÜ) [17]

2.3.1. Enerji kaynağı ve depolama sistemi

Bu sistem temel olarak, enerji kaynağını ve yerleşik enerji depolama birimini içerir. Verim, yakıt ekonomisi, elektrikli menzil büyük bir oranda enerji kaynağı ve depolama sistemine bağlıdır. EKDS tasarımında öngörülen maliyet sınırları içerisinde, enerji yoğunluğu, güç yoğunluğu, yaşam döngüsü, boyut, güvenlik, bakım, dayanıklılık ve geri dönüştürülebilirlik dikkate alınır.

Çoğu EA'da ana batarya dışında, bir de 12 V batarya bulunur. Farlar, silecekler, korna, hava yastığı gibi yardımcı sistemleri çalıştıran bu batarya sıradan kurşun asit akü olabilir. Bu ek batarya bir DC/DC dönüştürücü ile ana bataryadan şarj edilir. Yardımcı sistemler, araç kullanımda iken, dönüştürücüden geçerek gelen ana batarya akımı ile beslenir. Araç durdurulduğunda ise ek aküden gelen akım kullanılır [17].

EA enerji kaynağı olarak genelde değişik türde bataryalar kullanılmakla birlikte, volan, yakıt hücresi, süperkapasitör sistemlerinin kullanımı da incelenmektedir. Şekil 2.12’de farklı enerji kaynaklarının enerji seviyeleri görülmektedir.



Şekil 2.12. Farklı enerji kaynaklarının özgül enerji ve özgül güçleri [17]

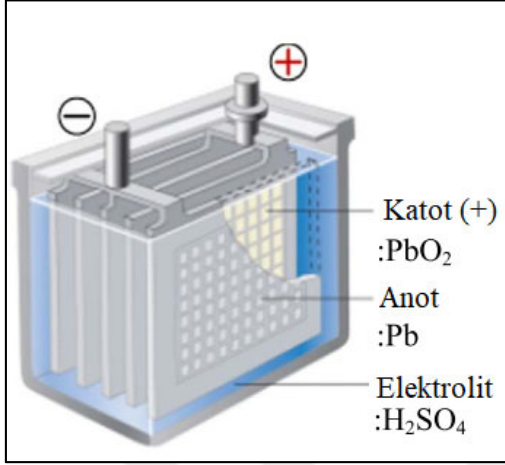
Batarya

Bataryalar elektrik enerjisini depolayabilen elektrokimyasal cihazlardır. Elektrokimyasal depolama sistemlerinde elektrik enerjisi, kimyasal enerji olarak depolanır ve istendiğinde tekrar elektrik enerjisi olarak kullanılabilir. Bu işlem düşük fiziksel değişikliklerle ve yüksek enerji verimiyle birçok kez tekrarlanabilir. Bununla birlikte, kimyasal reaksiyon hücre yaşamını ve depolanabilen enerjiyi azaltabilir. Bu tür aküler, zararlı emisyon yaymazlar ve fazla bakıma ihtiyaç duymadan çalışırlar.

İkincil (şarj edilebilir) piller, EA'lar ve diğer elektrik-elektronik uygulamalar için enerji depolama cihazları arasında pazara hâkimdir. Yüksek özgül enerji, yüksek güç yoğunluğu, düz deşarj profili, düşük direnç, ihmal edilebilir hafıza etkisi ve geniş sıcaklık performansı gibi iyi özelliklere sahiptirler.

Avantajlarına karşılık bataryalar pahalı ve ağır bileşenlerdir. Ayrıca, çoğu pil zehirli maddeler içerir. Bu nedenle, pillerin atılması sırasında çevreye etkileri dikkate alınmalıdır.

Şekil 2.13'te görüldüğü gibi genel yapıları, anot ve katot adı verilen iki elektrot, elektrolit ve bir muhafazadan oluşur [6].



Şekil 2.13. Kurşun-asit batarya yapısı [6]

Elektrikli araç bataryalarından, yüksek enerji yoğunluğu, uzun ömür, derin deşarj yeteneği, hızlı şarj olabilme, minimum bakım ihtiyacı, çevreci olması gibi özellikler beklenir.

Elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan bataryalar;

- Kurşun-Asit
- Nikel Metal Hidrit
- Lityum-İyon bataryalardır.

Ultrakapasitör

Ultrakapasitörler elektrostatik prensibiyle çalışan elektrokimyasal cihazlardır. Yüksek güç yoğunluğuna sahip olup, yüz binlerce kez şarj olup boşalabilirler. Bataryalarla kıyaslandıklarında şarj ve deşarjları çok hızlıdır. Ancak, düşük enerji yoğunluğuna sahiptirler.

Düşük enerji yoğunluğuna sahip olmaları, elektrikli araçlarda tek güç kaynağı olarak kullanılmalarını imkânsız hale getirir. Bununla birlikte, bir DC / DC dönüştürücü aracılığıyla batarya ile süper kapasitörün birlikte kullanılması umut verici bulunmaktadır. Güç elektroniğinde yapılan iyileştirmeler sayesinde aracın enerji ve güç gereksinimlerinin ayrıştırılması mümkün hale gelmektedir. Böylece süper kapasitör bir döngü sırasında enerji sağlamak yerine, akünün verdiği enerjiyi düzeltir. Daha yüksek güç yoğunluğu rejenerasyon

verimliliğini artırır, sonuç olarak menzili ve ivmeyi artırır. Ayrıca, aküdeki mevcut dalgalanmayı düzeltir, sıcaklığını düşürür ve böylece pilin ömrünü uzatır. Endüstrinin, güç ve enerji arasında maliyetli ödünler yerine yüksek enerji yoğunluğuna sahip pillere odaklanmasını sağlar [1].

Volan

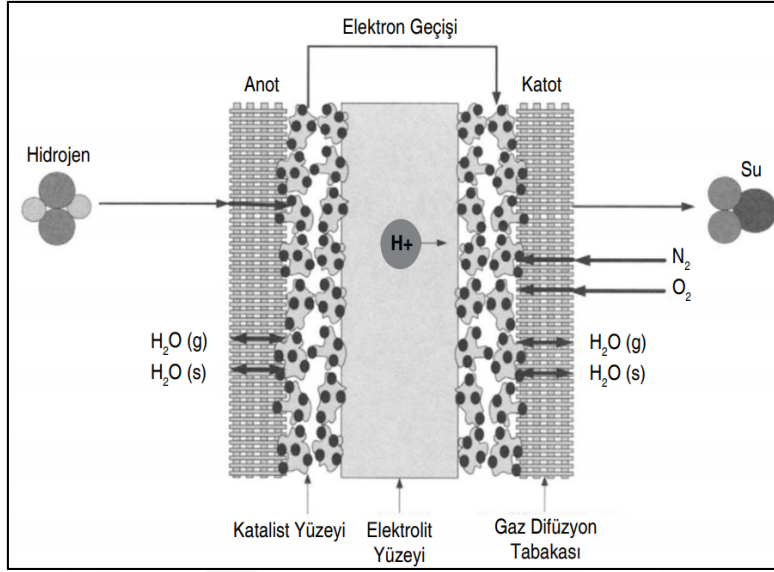
Elektrik enerjisinin dönen bir disk üzerinde mekanik enerjiye dönüştürüldüğü volanlar uzun yıllardır araştırılmakla beraber, yüksek ağırlık ve maliyetlerinden dolayı araç uygulamalarında yaygın bir yer edinememişlerdir. Son yıllarda sürtünmesiz manyetik yataklar, karbon fiber kompozitler, imalat yöntemleri ve güç elektroniğindeki gelişmelerle, elektrikli araçlar için alternatif bir enerji depolama yöntemi olarak görülmeye başlamışlardır. Modern volanlar benzer büyüklük ve ağırlıktaki metal hidrit ve kurşun asit bataryalardan daha fazla güç ve enerji depolayabilmektedirler [17]. Volanların verimi %90-95, güçleri de 0–50 MW aralığında olabilir [6].

Volan sistemlerinin başlıca avantajları; yüksek enerji ve güç yoğunluğu, teorik olarak sonsuz şarj ve deşarj döngüleri, deşarj derinliği gibi bir etkinin olmayışı ve uzun ömürdür. Bununla birlikte, sarım ve yatak sürtünme kayıpları nedeniyle kendiliğinden kayıplar yüksektir [6].

Yakıt hücreleri

Yakıt hücrelerinin özgül enerjisi benzininkine yaklaşırsa da, özgül güçleri düşüktür. Bu sebeple başlangıç performansları da düşüktür. Araç uygulamalarında performansı ve özgül gücü artırmak için, yakıt hücreleri ultrakapasitörler veya bataryalarla birlikte kullanılabilirler [17].

Şekil 2.14.'te PEM yakıt hücresinin yapısı görülmektedir. Yakıt olarak kullanılan hidrojen anota gelir. Burada elektronlarını kaybederek H^+ iyonlarına dönüşür. İyonlar elektrolitten geçerek katoda gelir. Elektronlar dış devreden hareket ederler ve bu hareketleri esnasında güç üretirler. Katoda gelen oksitleyici, hidrojen iyonları ve elektronlar tepkimeye girer. Oksitleyici olarak havadaki oksijen kullanılır. Reaksiyon sonucu su oluşur.



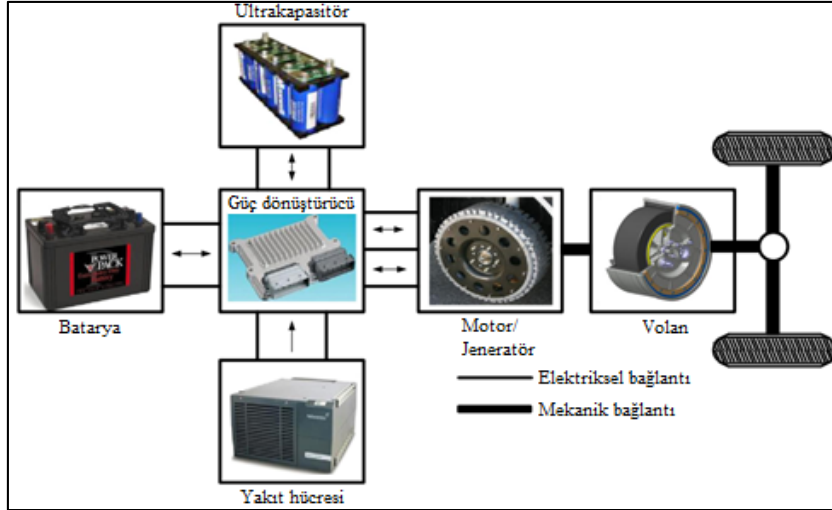
Şekil 2.14. Yakıt hücresi yapısı ve çalışma prensibi [13]

Yakıt hücreleri içerisinde, düşük sıcaklıkta kolay başlama, göreceli olarak yüksek güç yoğunluğu, basit yapı, küçük boyut, bakım gerektirmeme ve zor koşullar altında çalışabilme özellikleri ile PEM yakıt hücreleri, elektrik araç uygulamaları için öne çıkmaktadır [17].

Hidrojenin üretimi, taşınması, dolumu için gerekli altyapının eksikliği, yakıt hücreli araçların en büyük sıkıntıları olarak görülmektedir.

Hibrit Enerji Sistemleri

Batarya ve yakıt hücreleri yüksek enerji yoğunluğuna sahip olsalar da güç yoğunlukları düşüktür. Volanlar ve süper kapasitörlerin enerji yoğunlukları düşükken güç yoğunlukları yüksektir. Yüksek enerji ve güç yoğunluğu elde etmek amacıyla batarya veya yakıt hücrelerinin yanı sıra volan ya da süper kapasitör kullanılan sistemlere hibrit enerji sistemleri adı verilir. Şekil 2.15.'te batarya, volan, ultrakapasitör ve yakıt hücresinin birlikte kullanıldığı bir hibrit sistem şeması görülmektedir.



Şekil 2.15. Elektrikli araç enerji kaynağının hibritleştirilmesi [17]

2.3.2. Elektrik motorları

Elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren elektrik makineleridir. Yüksek tork değerlerine sahip oldukları için redüksiyon sistemine olan ihtiyacı ortadan kaldırılabirler.

Elektrikli tahrik sistemlerinde kullanılacak motorların bazı önemli karakteristiklere sahip olmaları gerekmektedir:

1. Başlatma ve düşük hızda yokuş tırmanmak için yüksek tork
2. İvmelenme ve yüksek hızda hareket için yüksek güç
3. Geniş bir hız ve tork bandında yüksek verim
4. Geri kazanımlı frenlemeye uyumluluk
5. Belirli bir süre için aşırı yük kapasitesi
6. Uygun fiyatlarda güvenlik, sağlamlık ve kontrol edilebilirlik

Bunlar dışında kusur toleransı, minimum tork dalgalanması, sıcaklık kontrolü ve gürültü de tasarımda dikkate alınması gereken hususlardır [17].

Elektrikli araçlarda yaygın olarak beş tür elektrik motoru kullanılmaktadır.

- Asenkron motor
- Daimi mıknatıslı motor
- Anahtarlamalı relüktans motor
- DC motor

➤ Senkron motor

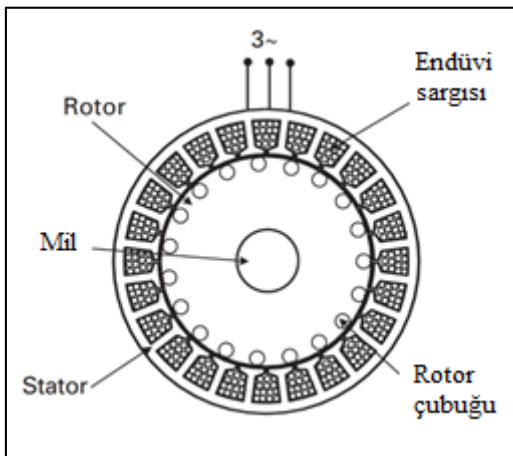
2.4. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motorlar

Elektrikli araç için kullanılan ana motor türleri; fırçalı DC motor, fırçasız DC motor, AC endüksiyon motoru, daimi mıknatıslı senkron motor ve anahtarlamalı relüktans motorudur. Motor seçimi, EA'nın amacı, kontrol kolaylığı, gibi birçok faktöre bağlıdır [24].

2.4.1. İndüksiyon motorları

İndüksiyon makineleri elektrikli araçların sürülmesi için en iyi adaylar arasındadır ve modern elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı araştırmalarda, indüksiyon makinesinin diğer makinelerle karşılaştırıldığında daha iyi genel performans sağladığı sonucuna varılmıştır.

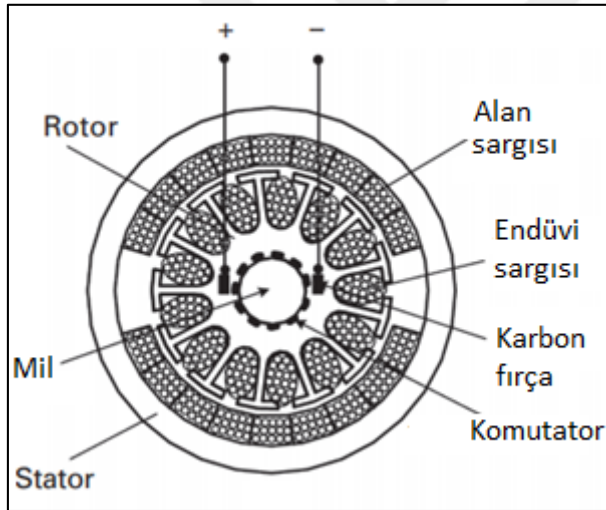
Bir endüksiyon motoru (veya asenkron motor), elektromanyetik indüksiyon vasıtasıyla rotora güç sağlanan bir alternatif akım motorudur. Düşük maliyet, yüksek verim, yüksek güvenilirlik, bakım gerektirmeme, kolay soğutma ve sağlam yapı gibi avantajlara sahiptir. Bu özellikleriyle EA sürüşünde öne çıkan bir alternatif olmaktadır. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi, endüksiyon motorunda, stator sargıları rotorun etrafında yerleştirilmiştir, böylece bir polifaz beslemesi ile enerji verildiğinde bir manyetik alan paterni yaratırlar. Bu değişen manyetik alan deseni, rotor iletkenlerinde akım indükler [24].



Şekil 2.16. İndüksiyon motoru [33]

2.4.2. DC motorlar

DC motor, kontrolünün basitliği ve aküden çekilen gücün doğru akım gücü olması nedeniyle, elektrikli araçların çekişi için yaygın olarak kullanılmıştır. Alan sargılı fırçalı DC motorların seri, şönt, serbest uyarmalı olmak üzere üç tipi vardır. Şönt sargılı motoru kontrol etmek özellikle zordur, çünkü besleme voltajını azaltmak zayıflamış bir manyetik alanla sonuçlanır, zıt EMK'sı azalır ve hız artma meyli gösterir. Besleme gerilimindeki düşüş, bazı durumlarda hız üzerinde çok az etkiye sahiptir. Ayrı uyartımlı motor, hem manyetik akının hem de besleme geriliminin bağımsız olarak kontrol edilmesine izin verir, bu da istenen torkun istenen herhangi bir açısal hızda büyük esneklikle ayarlanmasına izin verir. Seri sargılı DC motorlar, kullanım kolaylığı ve nispeten daha yüksek başlangıç torku avantajlarına sahiptir [24,34]. Şekil 2.17.'de DC motorun genel yapısı görülmektedir.



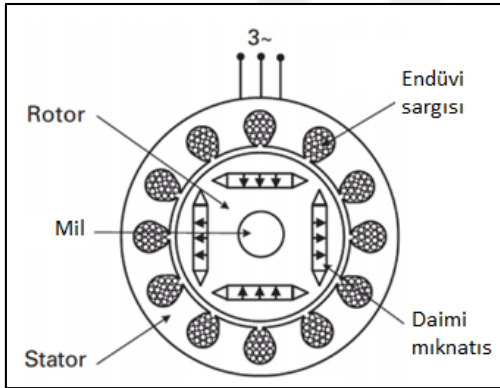
Şekil 2.17. DC motor [33]

Fırçasız motorların sık bakım aralıkları ve yoğun kullanımda kısa ömür dezavantajları vardır. Bu avantajların giderilmesi için fırçasız motor tasarımları geliştirilmiştir. Fırçasız DC (BLDC) motorların rotorlarında daimi mıknatıslar, motor dairesinde elektriksiz mıknatıs vardır. Konum sensörü, DC motordaki komütatör gibi çalışır; rotorun konumunu izler, akımın fazını ve manyetik alanın uzay dağılımını belirler. Dönen rotora güç iletimi problemi ortadan kalktığı için yapıları daha basittir. Ömürleri daha uzundur ve çok az bakım ihtiyaçları vardır, verimleri ve zamanlama performansları yüksektir. Buna karşılık maliyetleri daha yüksek, kontrolcileri daha karmaşıktır [24].

2.4.3. Daimi mıknatıslı motorlar

Daimi mıknatıslı motorlar EA'lar için çekici seçeneklerdir. Manyetik alan yüksek enerjili daimi mıknatıslar tarafından üretiltiğinden, toplam ağırlık ve hacim önemli ölçüde azaltılabilir, bu da yüksek tork ve güç yoğunluklarına yol açar. Bakır rotor kaybının olmayışı nedeniyle, verimleri doğal olarak yüksektir. Isı kaybı esas olarak statorda ortaya çıktığından, çevreye daha kolay atılabilir. Bununla birlikte, daimi mıknatıslı fırçasız motorlar, nispeten yüksek mıknatıs maliyeti ve kontrol edilemeyen mıknatıs akısının dezavantajlarından etkilenmektedir [33].

Fırçasız DC ve senkron AC motorların tanımları kafa karıştırıcı olabilir. BLDC, altı basamaklı kare dalga komütasyonu ile sürülen, zıt EMK'sı trapez yapıda olan motorlardır. Senkron AC, daimi mıknatıs AC ve daimi mıknatıslı senkron motor; tipik olarak sinüzoidal akımlar tarafından sürülen sinüzoidal zıt EMK'lı motorlara verilen adlardır [33,35].

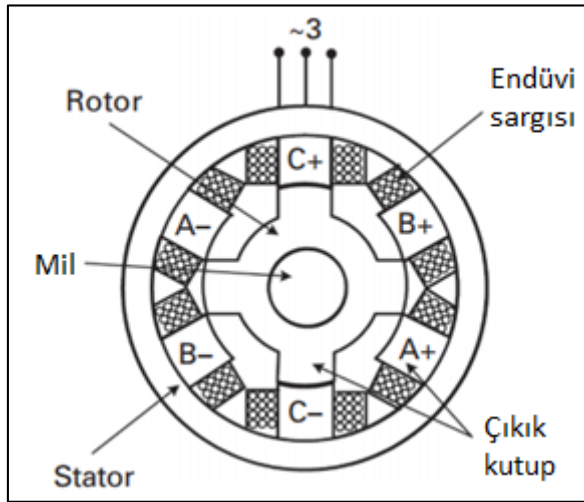


Şekil 2.18. Daimi mıknatıslı fırçasız motor [33]

2.4.4. Anahtarlama relüktans motorlar

Şekil 2.19.'da temel yapısı görülen anahtarlama relüktans motorlar, basit konstrüksiyon, düşük üretim maliyeti ve çok iyi tork-hız özelliği gibi avantajlar sunarlar. Sadece stator sargıları vardır. Temel çalışma prensipleri minimum relüktans kuralına dayanır. Tork yönü, faz akımının polaritesinden bağımsızdır. Bununla birlikte, tork, sadece bir rotor kutup aralığının yarısında üretilebilir, bu da büyük tork dalgalanmaları yaratır. Ayrıca, kutup uçlarının yoğun doygunluğu, kutup ve yarıkların saçak etkisinden dolayı, genellikle akustik gürültü problemleri ortaya çıkar.

ARM'nin temelde iki çalışma modu vardır. Hız, baz hızın altında olduğunda; akım, akım doğrama kontrolü ile sınırlandırılır. Bu durumda, tork ve böylece sabit tork karakteristiği, akım limitleri değiştirilerek kontrol edilebilir. Bununla birlikte, yüksek hızda çalışma sırasında, pik akımı, faz sargısının zıt EMK'sı ile sınırlandırılır. Karşılık gelen karakteristik, rotor pozisyonuna göre anahtarlama bileşenlerinin fazlanması ile kontrol edilir. Bu çalışma modunda, sabit güç özelliği elde edilebilir [33].



Şekil 2.19. Anahtarlama relüktans motor [33]

2.4.5. Tekerlek içi motorlar

Elektrik motorları, kompakt yapıları sayesinde doğrudan tekerleklerin içine yerleştirilip, muhafazaları janta sabitlenebilir. Bu şekilde çalışan motorlara tekerlek içi (hub motor) denilmektedir. Hiçbir aktarma organına ihtiyaç duyulmaması, bu motorların cazip noktalarıdır. Avantajlarına genel olarak bakılacak olursa:

- Şasi, yolcu ve kargo alanını işgal etmeyen bir pakette İYM alternatiflerine eşdeğer güç sağlar.
- Araç parçası sayısını, karmaşıklığını ve maliyetini azaltabilir, entegre güç elektroniğine sahip olabilir, tam tasarım özgürlüğü sağlar ve rejeneratif frenleme potansiyeli artırılabilir.
- Araç gövdesi üzerinde bataryalar için daha fazla boş alan sağlanır.
- Her tahrik tekerleğinin ayrı ayrı kontrol edilmesine olanak tanır. Daha iyi çekiş kontrolü, anti kilitleme ve kızaklama kontrolleri uygulanabilir.

- Aktarma sistemine ihtiyaç duyulmadan, motorun ürettiği tork aracı hareket ettirir.
- Tepki süreleri kısadır.
- Varolan taşıtların, tamamen yeni bir tasarım yapılmadan, elektrikli araçlara dönüştürülmesi için uygun seçeneklerdir.

Bu avantajlarına karşılık hub motorların yaygınlaşmalarının önünde şu engeller vardır:

- Yaysız kütlenin artması araç sürüş dinamiklerini olumsuz etkiler.
- Motorlar doğrudan yol etkisine maruz kalırlar.
- Frenleme esnasında açığa çıkan sıcaklık motorun çalışmasını etkilemektedir [20,36].

2.5. Elektrikli Araç Bataryaları

2.5.1. Kurşun – asit bataryalar

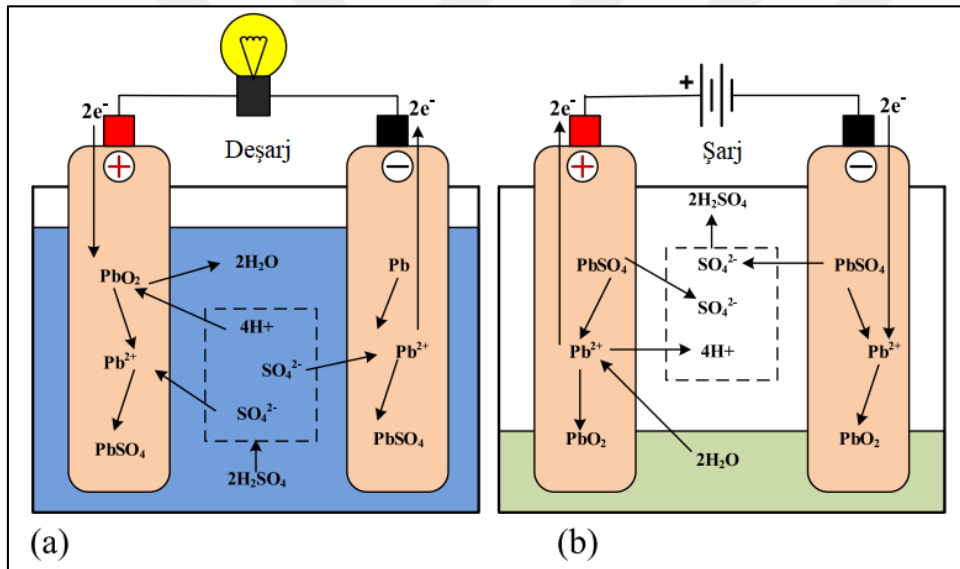
Elektrokimyasal enerji teknolojileri içerisinde kurşun-asit bataryalar en popüler, olgun, güvenilir, emniyetli ve ekonomik seçenek olarak diğer elektrokimyasal cihazlardan daha yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Yüksek deşarj akımı, düşük kendiliğinden deşarj, hafıza etkisinin bulunmaması ve ucuz olması gibi önemli avantajlara sahiptir. Bununla birlikte düşük nominal voltaj, 20 – 40 Wh/kg aralığında düşük enerji yoğunluğu, yetersiz çevrim ömrü, imalattan kaynaklı çevre etkileri (kurşun tozu) gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Ayrıca kullanılmadıkları zaman pil ömürleri düşmektedir. [1,9,23].

Kurşun-asit bataryalar çoğunlukla, güvenlik ve ekonomi avantajlarından dolayı tercih edilerek; İYM’li araçlarda başlatma, ateşleme ve aydınlatma gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Gerilim değerleri batarya üzerinde seri bağlı hücre sayısına bağlı olarak değişir; 6, 8 ve 12 V aküler yaygın olarak kullanılır. Ömürleri 6 ila 15 yıl ya da 2000 – 4500 çevrim olarak belirtilir. 200-400 W/kg aralığında güç yoğunlukları vardır. Verimleri %70 – 90 arasındadır. Çalışma sıcaklıkları -20 °C’den 60 °C’ye kadardır [31].

Supap ayarlı kurşun asit (Valve regulated lead acid - VRLA) bataryalar yüksek özgül güç, düşük fiyat, hızlı şarj yeteneği, bakımsız çalışabilme özellikleri ile EA’larda sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek kapasiteli gelişmiş VRLA aküsü için malzemelerin boyutunun ve ağırlığının en aza indirgenmesi hayati önem taşımaktadır. Emdirilmiş cam elyaf (Absorbed Glass Mat - AGM) ve GEL esaslı VRLA aküler, kompakt

tasarımları nedeniyle EV enerji depoları için kullanılmaktadır. Bu VRLA akülerin ana avantajı, su kaybının olmamasıdır. Bununla birlikte, GEL esaslı VRLA batarya, jel elektrolitinin içinde bataryaya zararlı olabilecek gaz üretir [31].

Şekil 2.20.'de görüldüğü gibi kurşun-asit pillerde negatif yüklü elektrotta kurşun, pozitif yüklü elektrotta kurşun dioksit (PbO_2) ve elektrolit olarak sülfürik asit (H_2SO_4) materyalleri kullanılmaktadır [23]. Akü deşarj olurken; elektrolit içerisindeki sülfürik asit hidrojen ve sülfat (SO_4) iyonlarına ayrışır. Sülfat iyonları pozitif ve negatif plaka ile birleşerek kurşun sülfatı (PbSO_4) oluşturur. Akım çekmeye devam edildikçe, hem pozitif hem negatif plakaların üzeri kurşun sülfata dönüşmeye devam eder. Akü tamamen deşarj edilirse, artık her iki plaka da tamamen kurşun sülfata dönüşür, plakaların farkı ortadan kalkar.



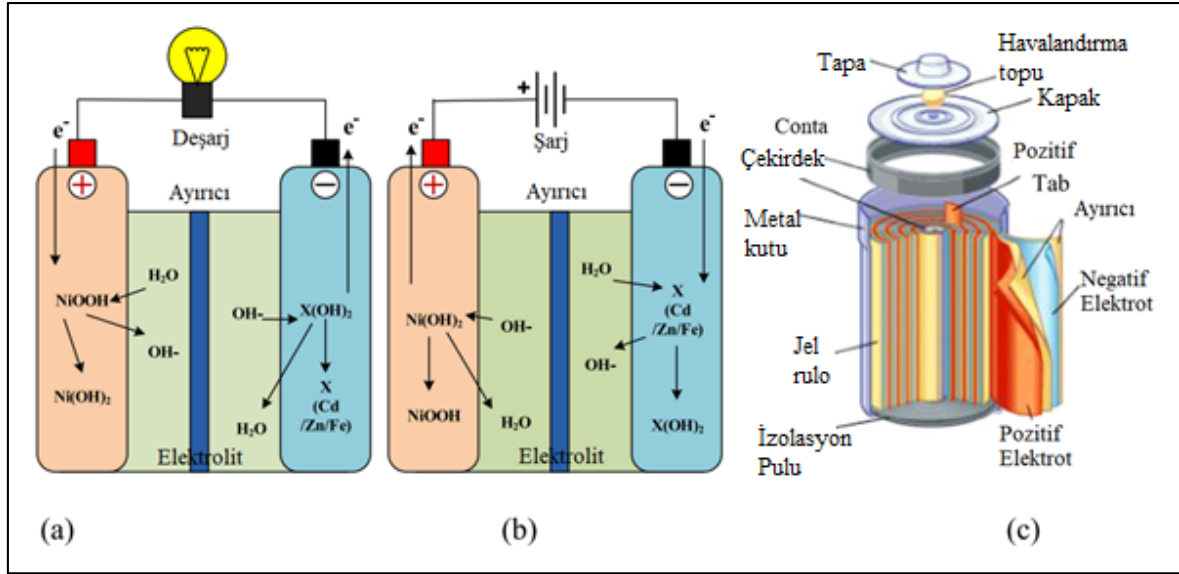
Şekil 2.20. Kurşun-asit batarya kimyası; (a) deşarj esnasında, (b)şarj esnasında [6]

Temel kurşun asit kimyası, negatif plaka sülfasyonu ve pozitif plaka korozyonu gibi birçok yan reaksiyon içerir. Batarya tam dolu olmadığında sülfasyon başlar. Bu durum bataryanın negatif plakalarında, geri dönüşümsüz bir şekilde, büyük sülfat kristallerinin oluşmasına; dolayısıyla kalıcı kapasite kaybına neden olur. Bu nedenle kurşun asit bataryalar saklanırken şarj edilerek saklanırlar ve deşarj derinlikleri sınırlıdır.

Kurşun-asit bataryalar olgunlaşmış bir teknoloji olduklarından, teknolojilerinin gelişmeleri konusunda bir beklenti yoktur. Bu sebeple gelecek EA'lar için üzerlerinde durulmamaktadır. Ancak düşük fiyatlarında dolayı kısa mesafe araçlarında kullanılmaları uygundur [1].

2.5.2. Nikel esaslı bataryalar

Nikel – metal hidrit bataryalar (Şekil 2.21.) hibrit araçlarda kullanılmışlardır. Fiyatları Lityum bataryalara göre daha düşüktür. Olgun kabul edilebilecek bir teknolojidir. 60 – 80 Wh/kg aralığındaki özgül enerjileri EA uygulamaları için yetersiz görülmektedir [1].

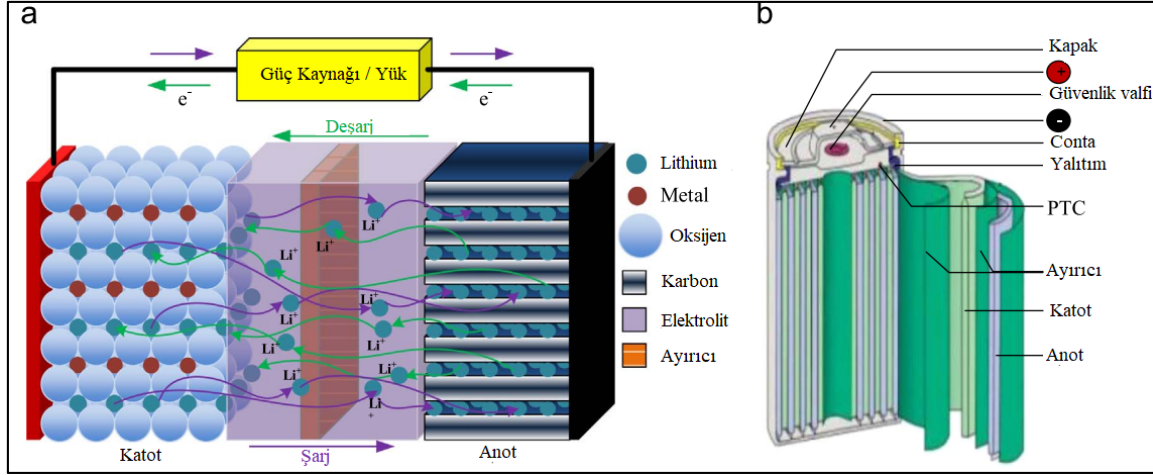


Şekil 2.21. Nikel esaslı batarya kimyası (a) deşarj (b) şarj (c) batarya prototipi [6]

NiMH batarya sistemleri, enerji ve güç yoğunluğu, geri dönüş verimliliği, çevrim ömrü konularında, VRLA aküler dahil, kurşun-asit batarya sistemlerinden çok üstündür. Kurşun asitlere oranla yaklaşık yedi kat daha uzun bir enerji ömrüne sahiptir. NiMH, aynı Ah derecesi için VRLA'nın enerjisinin dört katını verebilir, çünkü çok daha geniş SOC aralıklarında kullanılabilir. VRLA aküleri, uygun bir ömre sahip olmak için % 80 SOC veya daha üstü bir seviyede kullanılmalıdır, NiMH ise % 50 SOC'de çalışmak üzere tasarlanabilir. Avantajlarına karşılık, ilk maliyetleri kurşun asitlere göre çok fazladır. NiMH sisteminin ciddi bir dezavantajı da, soğuk havalarda iyi tepki vermemesidir [9].

2.5.3. Lityum esaslı bataryalar

Şekil 2.22'de görülen Lityum-iyon bataryalar, literatürde yakın gelecek için en çok umut vadeden ve üzerinde durulan batarya teknolojisidir. Lityumun yüksek elektrokimyasal potansiyeline ve düşük eşdeğer kütleline bağlı olarak, yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Yüksek verim ve uzun ömre sahiptirler. Bu bataryalar hala gelişmeye açık bataryalardır [1].



Şekil 2.22. Lityum iyon batarya kimyası (a) şarj - deşarj (b) silindirik görünümü [6]

Lityum bataryalarının EA'larda baskın olarak kullanılacak teknoloji olması beklenmektedir. Artılarına karşılık bu bataryalar pahalıdır ve güvenlik problemleri vardır. Bunun dışında, elektrikli taşıtların gelişmesinin neden olduğu talep artışı lityum rezervlerinin yeterliliği konusunda kaygılar ortaya çıkarmıştır. Talepteki hızlı bir artış lityum kıtlığına yol açabilir. Buna bağlı olarak fiyatlarda artış olacak ve EA cazibesi azalacaktır [1,17].

Lityum katı polimer bataryada diğer yüksek sıcaklık bataryalarından farklı olarak, ergimiş tuz elektroliti yerine iletken polimerler kullanılmaktadır. Plastik lityum iyon olarak da adlandırılan bu bataryalar, paketlenme esnekliği, azaltılmış kütle ve düşük bakım avantajları sağlar. Bir avantajları da ince film teknolojisi olmalarından dolayı, araç üzerindeki zorlu koşullarda kullanılabilmesidir [9].

2.5.4. Diğer batarya araştırmaları

Batarya teknolojileri sayılan bu teknolojilerle sınırlı değildir. Elektrikli araçlar için umut görölüp üzerlerinde çalışmalar yürütölen teknolojiler arasında sodyum nikel klorit, metal-hava, çinko-halojen gibi batarya teknolojileri bulunmaktadır.

Sodyum Nikel Klorit ($\text{Na} / \text{NiCl}_2$, Zebra) bataryalar güvenli ve ucuz bataryalardır. Çevrim ömürleri yüksektir, neredeyse tamamen deşarj edilebilirler. Özgöl enerjileri Li-iyon bataryalarla hemen hemen aynı olsa da, özgöl güçleri düşüktür [1].

Son zamanlarda üzerinde çalışmaların yaygınlaştığı bir batarya tipi de metal – hava bataryalarıdır. Elektrokimyasal çiftlerden biri bataryanın yapısında bulunurken, diğer reaktan olarak hava kullanılır. Üzerinde çalışılan bazı metal – hava bataryaların özellikleri Çizelge 2.1’de verilerek, enerji yoğunlukları benzin ile karşılaştırılmıştır [9]. Tablodan da göröldüğü gibi Li-hava bataryaların teorik enerji yoğunlukları benzine yakındır.

Çizelge 2.1. Metal-hava termodinamik çiftleri ve benzinin karşılaştırılması

Tür	Hücre potansiyeli (V)	Teorik (Wh/kg)	Pratik (Wh/kg)	Özgöl güç (W/kg)	Çevrim (#)
Çinko–hava	1,6	1 370	470	100	<450
Alüminyum-hava	1,2	6 000	1 300	<300	<500
Lityum-hava	2,91	11 140	>1 800	?	?
Benzin		12 400			

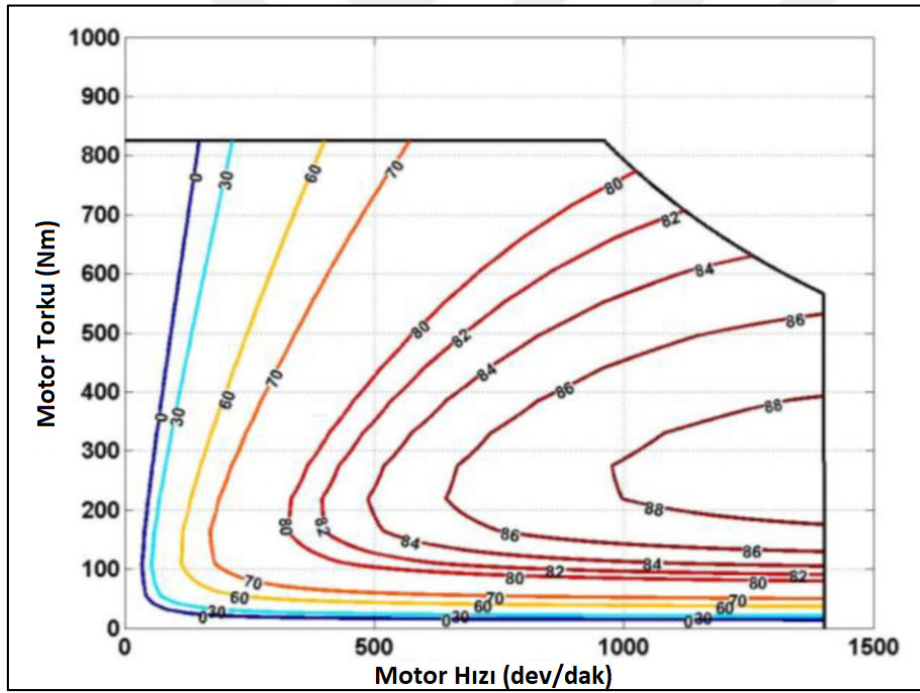
Metal-hava pillerinin oldukça ilgi çekmelerinin nedeni, geleneksel batarya kimyalarının 250 Wh / kg’lık özgöl enerjiyi stabil bir şekilde aşmalarının muhtemel görölmemesidir [9].

Zn-Br_2 ve Zn-Cl_2 gibi çinko-halojen aküler yüksek enerji yoğunlukları ile araç uygulamaları için uygun görölmektedir. Çinko-halojen bataryalar hızlı şarj olur ve maliyetleri düşüktür. Bununla birlikte bromür bataryaların özgöl güç problemi vardır. Zn-Br_2 batarya brom reaktivitesi nedeniyle zarar görebildiğinden, EA için çok cazip değildirler. EA uygulamaları için araştırma-geliştirme faaliyetleri yapılmaktadır [31].

2.6. Rejeneratif Frenleme ve Elektrikli Araçların Verimi

Elektrik motorlarına elektrik enerjisi verildiğinde döndükleri gibi, döndürüldükleri vakit de elektrik enerjisi üretebilirler. Motorların bu özelliklerinden yararlanılarak frenleme anında kinetik enerji, sürtünmeli fren elemanları üzerinde ısıya dönüştürülerek atılmak yerine, elektrik enerjisine dönüştürülerek bataryalar şarj edilebilir. Motorun rejeneratif frenleme ile sağlayabildiği frenleme torkunun üzerine çıkıldığında, mekanik frenler devreye girerek aracı yavaşlatır.

Şekil 2.23.'teki grafik bir tekerlek içi motor için geri kazanım verimini göstermektedir. Sıfır verim ve eksenler arasında kalan bölgede geri kazanım negatiftir, frenleme için elektrik enerjisi harcanır [20].



Şekil 2.23. Geri kazanımlı frenleme verim haritası [20]

Elektrikli araçların yakıt ekonomisini gösteren iki verimden bahsedilebilir. İlki; depodan tekerleklere verim (TTW), aracın çalışma esnasındaki verimdir ve aracın gerçek yakıt ekonomisinin göstergesidir. Diğer; kaynaktan tekerleklere verim (WTW) olup, enerjinin ilk kaynağından tekerleklere kadar olan verimi ifade eder. Depodan tekerleklere verim aynı tür araçların yakıt ekonomilerinin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Farklı tür araçların

yakıt tüketimini ve emisyonlarını anlamlı bir şekilde değerlendirebilmek için kaynaktan tekerleğe verim kavramı önemlidir [14].

İYM’li araçların verimi en iyi ihtimaller dairesinde %38 kadar olurken, sürüş esnasında rölantide çalışma, durup kalkma sürelerine göre %15-20’lere kadar düşmektedir [14,26]. Elektrikli araçların verimi büyük oranda enerji çevrimine bağlı olup, Li-iyon bataryalı araçlarda en az %75, kurşun asit bataryalı araçlarda %60 civarlarında olduğu söylenebilir. Görüldüğü gibi elektrikli araçların depodan tekerleğe verimi İYM’li araçlara göre oldukça yüksektir. Fakat kaynaktan tekerleğe verim söz konusu olduğunda, aralarındaki fark büyük oranda düşmektedir. Fosil yakıtlardan güç üreten santrallerin %30 – 60 aralığında verimle çalıştıkları ve nakil kayıpları da göz önüne alındığında bu düşüş anlaşılabilir [14]. Elektrikli araçların verimini daha yüksek tutabilmek için, enerjinin temiz ve yenilebilir kaynaklardan temini önemlidir.

2.7. Elektrikli Araçların Şarj Edilmesi ve Akıllı Şebekeler

Elektrikli araçlara geçiş sürecinde, kullanıcı tarafından en çok üzerinde durulan hususlardan biri, bu araçların nasıl şarj edileceğidir. Şarj altyapısının eksikliği ve araçların uzun şarj süreleri sorun teşkil etmektedir.

Elektrikli araçların şarj edilmesinde üç yöntem üzerinde durulmaktadır;

1. İletken şarj sistemi,
2. Endüktif şarj,
3. Batarya değişimi.

2.7.1. İletken şarj sistemi ile şarj

Araçların iletken şarj sistemi ile şarjı yaygın olan yöntemdir. Araç, güç kablosu ile şebekeye bağlanarak şarj edilir. Bu yöntem verimli, hafif, kompakttır ve çift yönlü güç akışlarına izin verir. Halka açık şarj ortamlarında kabloların yayalara engel olabileceği gibi görüşler ortaya atılmıştır. Fakat önemli olan, bu kabloların yüksek gerilim taşıyor olmalarıdır. Kullanımlarında dikkatli olunmalı, konektör düzgün bağlanmadığı durumlarda şarjı kesecek kontrol sistemleri tasarlanmalıdır [1].

İletken şarj sisteminin üç standardı vardır. Seviye 1 şarj sistemleri 220 V AC, 15-20 A akım çeken sistemlerdir. Bataryalar 5-8 saatte şarj edilir. Yeni bir altyapı gerektirmedikinden kullanışlıdır. Şarj süreleri uzun olduğundan şebekeye yükleri daha azdır. Seviye 2 şarjda yine 220 Volt şebeke geriliminden yararlanılır. Bu sefer akım değerler 40 ampere kadar çıkabilir. Seviye 2 şarjda yeni bir devre ihtiyacı vardır. Seviye 3'te 480 V AC üç fazlı 60 – 150 kW güç aralığında devrelerle şarj yapılır. Özel devre gereksinimi vardır, katı güvenlik önlemleri alınması gereklidir. 10 dakikadan daha kısa şarj süreleri hedeflenmektedir [1,28].

Seviye 3, diğer adıyla hızlı şarj batarya ömrünü olumsuz etkilemektedir. Bataryanın hasar görmemesi için şarj sisteminin bataryayı izlemesi gerekir. Araç üstü şarj sisteminin de yüksek gerilime ve akıma dayanabilmesi gerekir. Bu önlemler araç maliyetini artırır. Hızlı şarjın sürekli tekrarlanması yerine sadece acil durumlarda kullanılması tavsiye edilmektedir [1].

Seviye 1 ve seviye 2 şarj sistemleri ile ev ya da işyerlerinde de şarj yapılması mümkündür. Şarj noktasının maliyetleri dışında, kullanıcının aracı şarj etmeye uygun bir alana ihtiyacı doğmaktadır [1].

2.7.2. Batarya değiştirme

Hızlı şarjın bir alternatifi özel istasyonlarda boş bataryaların doluları ile değiştirilmesidir. Doğru uygulanabilmesi durumunda en hızlı dolum metodu olabilir. Şarjı uzun sürecek yüksek enerji yoğunluklu bataryalar bu yöntemle önceden şarj edilerek hızlı bir şekilde araçlara yüklenebilir. Sadece elektriksel yöntemlerle şarj edilemeyen metal-hava bataryalar da bu yöntem ile kullanıma kazandırılabilir [14].

Batarya değiştirme yöntemi dört ana sorunla yüzleşmektedir [1]:

- 1) Yüksek gerilim ve yüksek enerjili elektrik bağlantısı fiziksel olarak açılmalıdır. Bu durum kıvılcımları ve deşarjı tetikleyebilir ya da bağlantıların aşınmasına neden olabilir.
- 2) Bu istasyonlar şarj için pahalı bir altyapıya gereksinim duyarlar. Yalnızca bataryaların şarj edilmesi değil, bunların depolanması ve izlenmesi de gerekmektedir.
- 3) EA'lar, değiştirilebilir bir batarya ile özel olarak tasarlanmalıdır. Bu ise yakın zamanda ticarileştirilmiş modellerin çoğu için geçerli değildir.

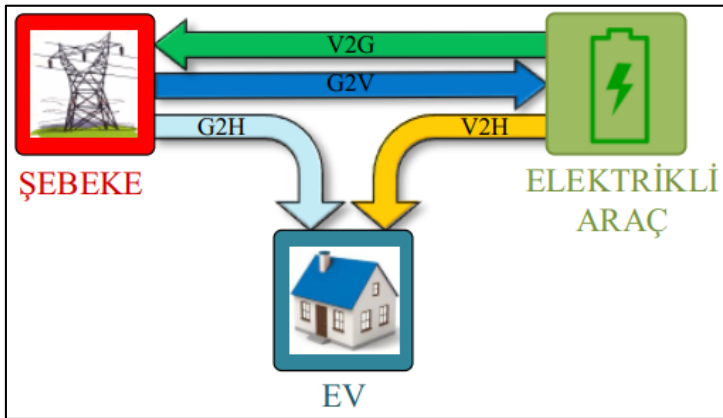
- 4) Yüksek bir standardizasyon seviyesi hayati önem taşımaktadır. Çok sayıda farklı ve uyumlu olmayan batarya paketinin piyasadaki varlığı, bu istasyonları her tip bataryayı depolamaya zorlayacak ve bu da gerekli depolama kapasitesini ve dolayısıyla yatırımı arttıracaktır.

2.7.3. Kablosuz şarj

Endüktif kaplin güç aktarımı, enerji iletimi için özel olarak tasarlanmış transformatörler arasında manyetik indüksiyon kullanır. Fikir, yol yüzeyinin altındaki altyapı göze çarpmayacağı için ilgi çekmektedir. Bu yöntemin başlıca avantajı güvenliğidir. Kıvılcım ya da kabloya takılma riski mevcut değildir. Ancak, aracın konumuna ve yayıcı ile pil arasındaki mesafeye bağlı olarak değişen verim, % 90'ın altında kalmaktadır. Bu değer, iletken şarj veriminden daha düşüktür [1,28].

2.7.4. Akıllı şebeke teknolojileri

Akıllı şebeke, tüm güç sistemi katılımcıları arasında iletişimi sağlayan bir teknolojidir. Bu teknoloji, güç sistemlerinin kapasite, güvenilirlik ve verimliliğine yönelik artan talebin bir cevabıdır. Temel olarak akıllı şebekeler, mevcut ve potansiyel akıllı sayaçların sisteme eklenmesi suretiyle, güç hizmetleri için doğru enerji akışı analizine izin verir, şebekede yenilenebilir ve dağıtılmış enerji kaynaklarının girdisini artırır ve enerjinin daha verimli bir şekilde paylaşılmasına imkân tanır. Akıllı şebeke modları Şekil 2.24.'te görülmektedir.



Şekil 2.24. Şarj sisteminde güç akışı [37]

Elektrikli araçların şebekeyle etkileşimi konusunda çalışmalar şöyle sıralanabilir [37]:

- Elektrikli araçların bataryalarının şebekeden şarj edilmesi (G2V-Grid to Vehicle),
- Elektrikli araçlardan şebekeye enerji verilmesi (V2G-Vehicle to Grid),
- Elektrikli araçlardan şebekeden kaynaklanan dalgalanmaları ve harmonikleri düzeltmesi için kullanımı (V4G-Vehicle for grid),
- Elektrikli araçların ev tüketimi ile birlikte şarj edilmesi (H2V-Home to vehicle),
- Elektrikli araçların şebeke kesintisine karşı UPS olarak kullanılması (V2H-Vehicle to home)

Akıllı şebekelerin önemi, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji girdisiyle birlikte artmıştır. Rüzgâr türbinleri ve fotovoltaik hücreler gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisi sürekli değildir. Ayrıca kontrol edilemez ve öngörülemezler. Bu sebeple, yenilenebilir kaynaklardan en iyi faydalanmanın yolu üretilen enerjinin depolanmasıdır.

2.8. Elektrikli Araçların Menzilini Etkileyen Faktörler

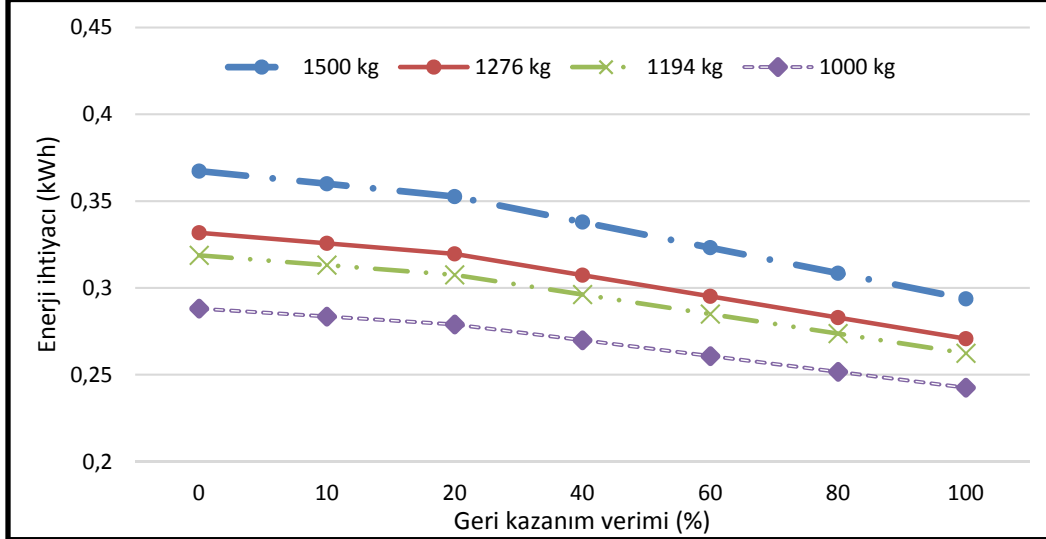
Menzil, özellikle kullanıcı açısından bakıldığında, elektrikli araçların en önemli parametresidir. Elektrikli araçların menzili, uzun süredir elektro-mobilitenin yaygınlaşmasına engel olmaktadır.

Menzil üzerinde araç tasarımının ve sürücü davranışlarının etkisi vardır. En belirgin faktör batarya kapasitesidir. Batarya kapasitesinin artması menzili artırmaktadır, ancak bataryalar elektrikli araçların en pahalı bileşenleridir. Bu nedenle başka etmenler de dikkate alınmalıdır. Aracın aerodinamik yapısı, doğru motor seçimi, sürüş tarzı, araç ağırlığı gibi unsurlar da menzile etki eder. Yükseklik farkları ve zorlu iklim koşulları da aracın gidebileceği mesafeyi olumsuz etkiler.

Elektrikli araçlarda menzile etki eden unsurlardan biri sahip oldukları rejeneratif frenleme özelliğidir. Yavaşlama durumunda ani frene basıp mekanik frenleri kullanmak yerine, mümkün olduğunca bu özellikten faydalanılarak araç menzili uzatılabilir.

Mruzek ve diğerleri [38], bir elektrikli aracın, farklı kütle ve geri dönüşüm verimleriyle, 2500 metrelik yolda 50 km/h 'den 90 km/h hıza çıkıp sonra tekrar 50km/h hıza yavaşlamak

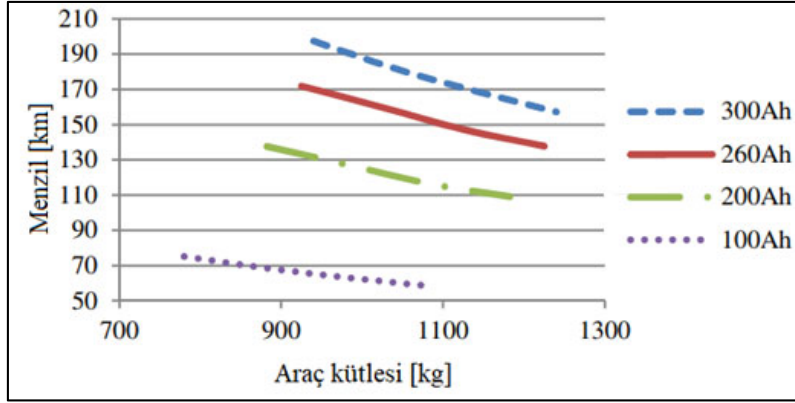
için ihtiyaç duyduğu enerji miktarını yaptıkları testlerle belirlemişlerdir. Bu verilerden elde edilen grafik Şekil 2.25'teki gibidir.



Şekil 2.25. Araç kütlesi ve rejeneratif frenleme verimine bağlı olarak enerji ihtiyacı

İvmelenme durumunda ihtiyaç duyulan enerji elektrik motorunun verimiyle ilişkilidir. Düşük hız ve yüksek torklarda elektrik motorunun verimi daha azdır. Yüksek ivmelenme durumunda motor bu aralıkta çalışacağından, daha düşük bir ivmeyle aynı hıza ulaşana kadar harcadığından daha fazla enerji harcayacaktır.

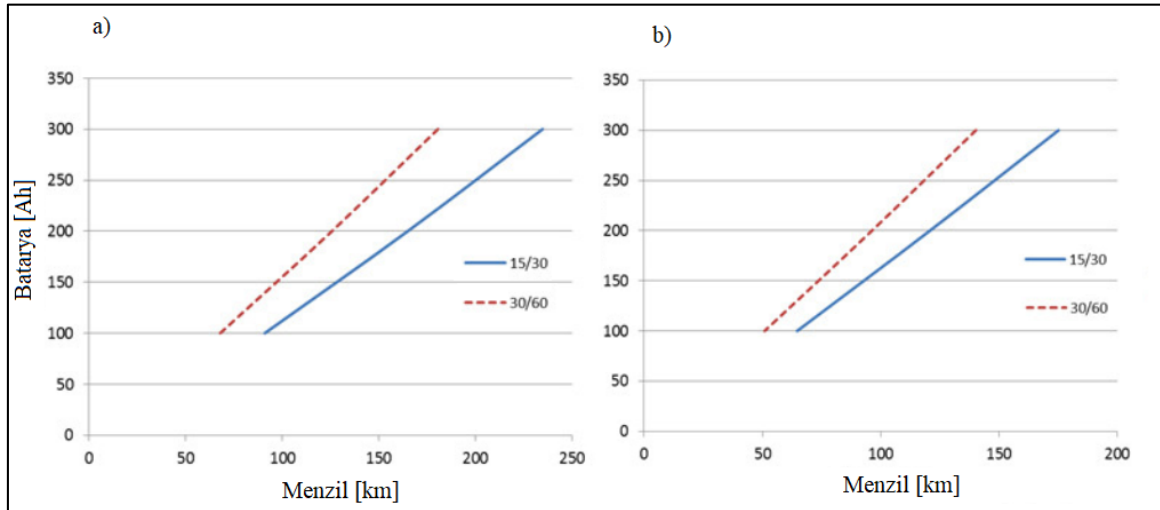
Bir elektrikli aracın menzilini artırmak için ilk akla gelen batarya kapasitesinin artırılmasıdır. Ancak bu, araç ağırlığının da artması anlamına geldiğinden enerji verimi düşecektir. Yeni batarya için gerekli olabilecek yapısal güçlendirmeler de fazladan ağırlığa neden olacaktır. Şekil 2.26'daki grafikte kütle ve batarya kapasitesine bağlı menzil görülmektedir. Artan batarya kapasitesi aracın ağırlaşmasına neden olmakta, kapasite artışı menzil artışıyla orantılı olmamaktadır. Ancak araç kütlesi sabit tutularak batarya kapasitesi artırılabilirse, batarya kapasitesiyle menzil doğru orantılı artmaktadır [38].



Şekil 2.26. Batarya kapasitesi ve ağırlığın menzile etkisi

Elektrikli araçların enerji ihtiyacını azaltmaya yönelik çalışmalardan biri de aerodinamik tasarımlardır. Araç şekli aerodinamik sürüklenme katsayısını ve sürtünme direncini doğrudan etkilemektedir.

Şekil 2.27'de farklı motor seçimleri için elektrikli aracın menzilin değişimi görülmektedir. Elektrikli aracın kütlesi ve motoru değiştirilerek testler yapılmıştır. Araç kütlesi sabit kalırken motorun büyümesi, motorun ağırlığının da artmasıyla, enerji tüketimini artırmaktadır. Bu artış hafif araçta daha belirgin olmaktadır [38].



Şekil 2.27. Motor seçiminin menzile etkisini gösteren grafik. a) Batarya ve motorsuz 410 kg'lık araç için. b) Batarya ve motor hariç 810 kg'lık araç için [38]

2.9. Batarya Modelleme

Simülasyonlar, tasarımı yapılan ürünler üzerinde, daha imalat gerçekleşmeden analiz yapılmasına olanak tanır. Yapılan değişikliklerin etkileri hızlı ve ucuz bir şekilde kestirilebilir. Maliyet ve verim hesapları yapılabilir. Bu sayede maliyetler azaltılır ve üretim süreci hızlanır.

Elektrikli araçların pazarda yaygınlaşmalarının önündeki en büyük engellerinin batarya maliyetleri ve sınırlı sürüş menzilleri oldukları görülmektedir. Temel EA sistemlerinin geliştirilmesi yanında, menzilin doğru tahmin edilmesi, menzil tedirginliğinin yatıştırılması için önemlidir. Araca uygun bataryanın tespit edilmesi, enerji tüketim ve menzil hesaplarının doğru bir şekilde yapılabilmesi için model ve simülasyonlara başvurulabilir.

Söz konusu modeller, bir simülasyon ortamında değişik parametrelerin test edilmesinde kullanılabilecekleri gibi, sistemlere gömülerek araç üzerinde gerçek zamanlı hesaplar yapılarak batarya durumu hakkında bilgi edinilebilir. Pillerin güvenli ve verimli çalışmasının sağlayan pil yönetim sisteminin görüntüleme algoritmasındaki görevlerden biri de pil durumunun kestirilmesidir. Pil şarj durumu (SoC), pil sağlık durumu (SoH) gibi parametreler pil üzerinden doğrudan ölçülememektedir. Bu nedenle ölçülebilen değerlerden doğru sonuçlar çıkarabilecek pil modellerine ihtiyaç vardır [23].

2.9.1. Elektrokimyasal modeller

Elektrokimyasal modelleme yaklaşımında, bataryanın içyapısı modellenerek davranışı incelenmeye çalışılır. Modeller bataryada gerçekleşen kimyasal süreçleri çok detaylı bir şekilde açıklamaktadır. Bataryanın yapısına dair birçok değişkenin bilinmesini gerektirir ve oluşturulan model karmaşık diferansiyel denklemler içerir. Ayrıca, bataryanın elektrot kalınlığı, elektrolitin mevcut tuz yoğunluğu ve sıcaklık kapasitesi gibi çok sayıda parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. En isabetli modellerdir. Ancak karmaşık, yapılandırılması zor ve yüksek işlem gücüne ihtiyaç duyan modellerdir [23,39,40].

2.9.2. İstatiksel modeller

İstatiksel modellerde, örnek veri setleri kullanılarak batarya parametreleri elde edilir. Farklı şartlarda yapılan ölçüm sonuçlarında bataryanın karakteristiklerini verecek tablo veya grafikler elde edilerek bunlar simülasyonda kullanılabilir. Fiziksel modeller kadar isabetli olmamakla birlikte daha basit ve hızlı yöntemlerdir.

2.9.3. Elektriksel eşdevre modelleri

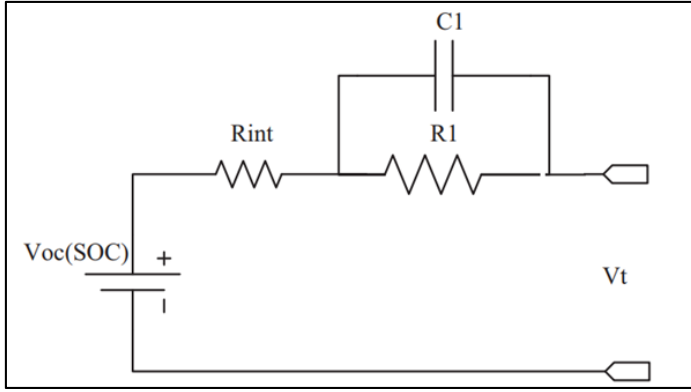
Eşdevre modellerinde, batarya karakteristiği temel elektriksel elemanlarla ifade edilmeye çalışılır. Elektrokimyasal modellere göre daha basit ve hızlıdır. Yine de ihtiyaç duyulan tabloların oluşturulması için pek çok deney yapılması gereklidir [40].

Farklı türde bataryalar için düzenlenen modellerin temeli aynıdır.

- Batarya kapasitesini temsil eden bir kapasitör
- Yüksek deşarj akımlarında kayıp kapasiteyi belirleyen bir deşarj oranı normalleştirici
- Bataryayı deşarj etmek için bir devre
- Gerilim ve doluluk oranı arasında ilişkiyi gösteren tablo
- Batarya iç gerilimini temsil eden bir direnç [40]

En temel eşdevre modeli bir ideal gerilim kaynağından oluşur. Bu kaynak sabit bir gerilim değeri sağlar. Bu yapıya yapılacak en basit değişiklik bir seri direnç bağlamaktır. Bu direnç sayesinde hücreye bir akım uygulandığında hücrenin uçları arasında gerçekleşen ani gerilim düşümü simule edilebilir.

Bir hücre için ele alınması gereken en önemli dinamiklerden biri difüzyondur. Bu da devreye eklenen bir paralel RC kolu ile modelde gösterilebilir. Ortaya çıkan bu model literatürde Thevenin modeli olarak adlandırılmaktadır. Elektrikli araç simülasyonlarında çok kullanılan bu modelden kabul edilebilir doğrulukta sonuçlar elde edilir.



Şekil 2.28. Thevenin batarya modeli [41]

Şekil 2.28’de gösterilen Thevenin batarya modeli ideal bir voltaj kaynağı (V_{oc}), bir iç direnç (R_{int}), bir aşırı gerilim direnci (R_1) ve bir kapasitörden (C_1) oluşur. C_1 ve R_1 , paralel plakanın kapasitesini ve sırasıyla plakanın temas direncini göstermektedir. Thevenin batarya modelinin en büyük kusuru, tüm parametre değerlerinin sabit olduğu varsayılırken, gerçekte bu parametre değerlerinin SOC, batarya depolama kapasitesi, deşarj oranı, sıcaklık ve birtakım deşarj karakteristiklerine bağlı olmasıdır [41].

2.10. Elektrikli Araçların Çevresel Etkileri

Küresel enerji kullanımının %20’si ve enerji üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının %25’i taşımacılık sektörüne bağlanmaktadır. Söz konusu sera gazı emisyonunun dörtte üçü ise karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktadır [8,14,16].

Elektrikli araçların egzozları yoktur. Konvansiyonel araçların çalışmaları esnasında çevreye yaydıkları partikül, karbon monoksit, karbon dioksit, kurşun, azot-oksit gibi emisyonlara neden olmazlar. Yerleşim alanlarında temiz havaya katkı sağlarlar. Ancak araçların çevre etkisini anlayabilmek için sadece egzoz emisyonları değil imalat ve enerji üretimi sürecindeki kirleticiler de dikkate alınmalıdır. Elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebildiği ülkelerde, elektrikli araç emisyonları gerçekten sıfıra yaklaşmaktadır. Enerji üretiminin tüm mevcut olanakları dikkate alındığında, elektrikli araçlar kilometrede ortalama 60 gram ile İYM’li araçlara göre daha düşük CO_2 emisyonuna sahiptir [8].

Buekers ve diğerleri (2014), Avrupa Birliği ülkeleri için, araç filosunun %5’inin elektrikli olması durumunda çevre ve sağlık etkilerinin 2010 ve 2030 yıllarındaki durumunu öngörmeye çalışmışlardır. Temel olarak sera gazı salınımı ve sağlığa etkinin araştırıldığı

Çalışmada, araçların verdiği zararlar parasal değere çevrilerek ortak paydada toplanmıştır. Euro-5 standartlarında oldukları kabul edilen İYM’li araçlar ile tam elektrikli araçlar karşılaştırılmıştır. Dış maliyetler, elektrik üretimini nükleer enerji ve rüzgâr gibi kaynaklardan sağlayan ülkelerde azalırken, petrol ürünlerinden ve kömürden elektrik üretilen ülkelerde artmaktadır [42].

Türkiye’de tüm araçların elektrikli olması durumunda, karbon emisyonunun yılda yaklaşık olarak 16 milyon ton azaltılması mümkündür. TÜİK verilerine göre, Türkiye’nin 2010 yılı toplam sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 401,9 milyon ton olarak tahmin edildiğinden bu miktar, Türkiye’nin toplam karbondioksit emisyonunun %5 azaltılması anlamına gelmektedir [8].

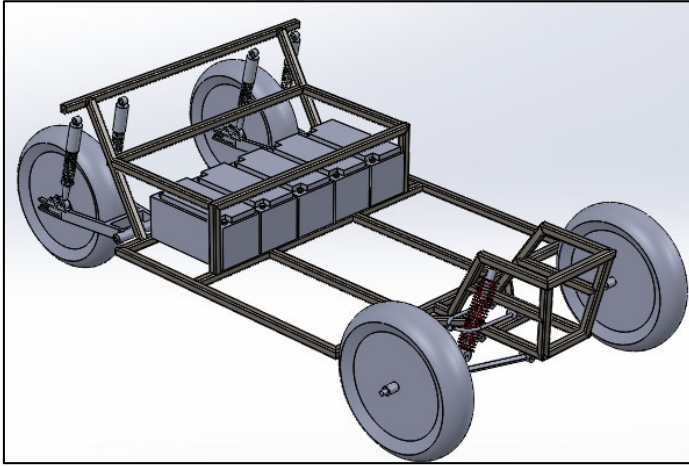


3. MATERYAL VE METOD

Çalışma kapsamında üzerinde deneyler yapılabilmesi için basit bir mimariye sahip elektrikli araç tasarlanmış ve imal edilmiştir. Araç hareket ettirilebilir hale geldiğinde şasi dinamometresi üzerinde ve Gazi Üniversitesi Merkez Yerleşkesi içerisinde testlere tabi tutulmuştur. Bu çalışmalara paralel olarak MATLAB/Simulink ortamında modeller oluşturulmuş, simülasyonlar yapılmıştır.

3.1. Tasarım ve İmalat

Şekil 3.1.'de test için üretilecek yapının ilk çizimi, Resim 3.1'de inşa edilen araç görülmektedir. Test aracı iki kişilik tasarlanmıştır. 5 adet 12 V 65 Ah kuru kurşun asit akü ile tahrik edilen iki adet 60 V 3000 W tekerlek içi motora sahiptir. Seri bağlanan aküler, Power-Xtra PX 65-12 supap ayarlı aküdür.

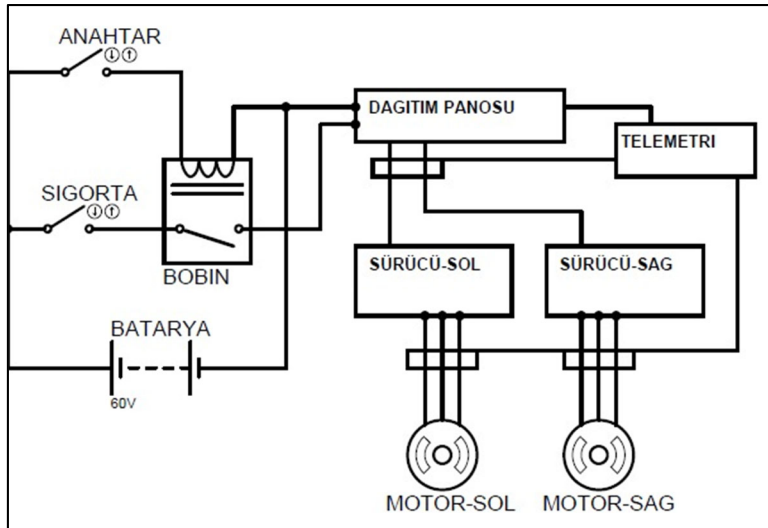


Şekil 3.1. İlk araç çizimi

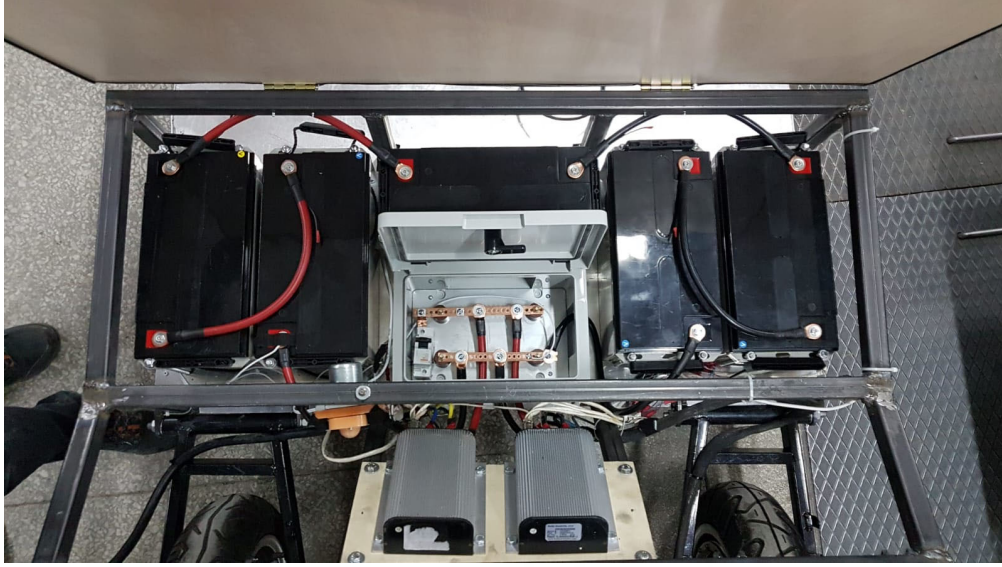


Resim 3.1. Test için üretilen araç

Şekil 3.2.'de araç üzerinde konumlandırılan aküler ve elektrik tesisatı şematik olarak görülmektedir. Akülerden çekilen güç, pano aracılığıyla sürücülere dağıtılmaktadır. Sürücüler de gelen gaz komutlarına göre motorları tahrik etmektedir. Devre üzerine yerleştirilen anahtar ve kontaktörler ile panoya gelen elektrik akımı kesilebilmektedir. Resim 3.2.'de araç üzerinde aküler, sürücüler ve motor görülmektedir.



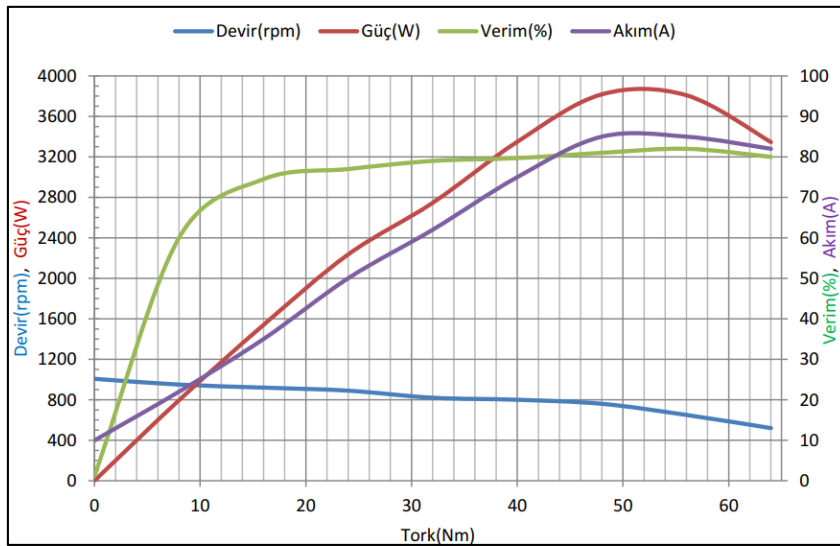
Şekil 3.2. Araç yapısını gösteren şematik



Resim 3.2. Akü ve elektrik tesisatının yerleşimi

3.1.1. Motorlar ve sürücüler

Araç, arkadan iki hub motorla tahrik edilecek şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan fırçasız DC motorlara ait ürün kataloğundan alınan performans verileri Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Motor verileri

Motorlar Quanshun markadır (Resim 3.3.) ve kendilerine uyumlu KEB72451X sürücüler (Resim 3.4.) ile kontrol edilmektedirler. Her bir motorun ağırlığı 18 kg’dır. Esasında motosiklet ve scooterlara uygun olarak tasarlanan motorlar, scooter arka çatalı ile araç şasisine sabitlenmiştir.



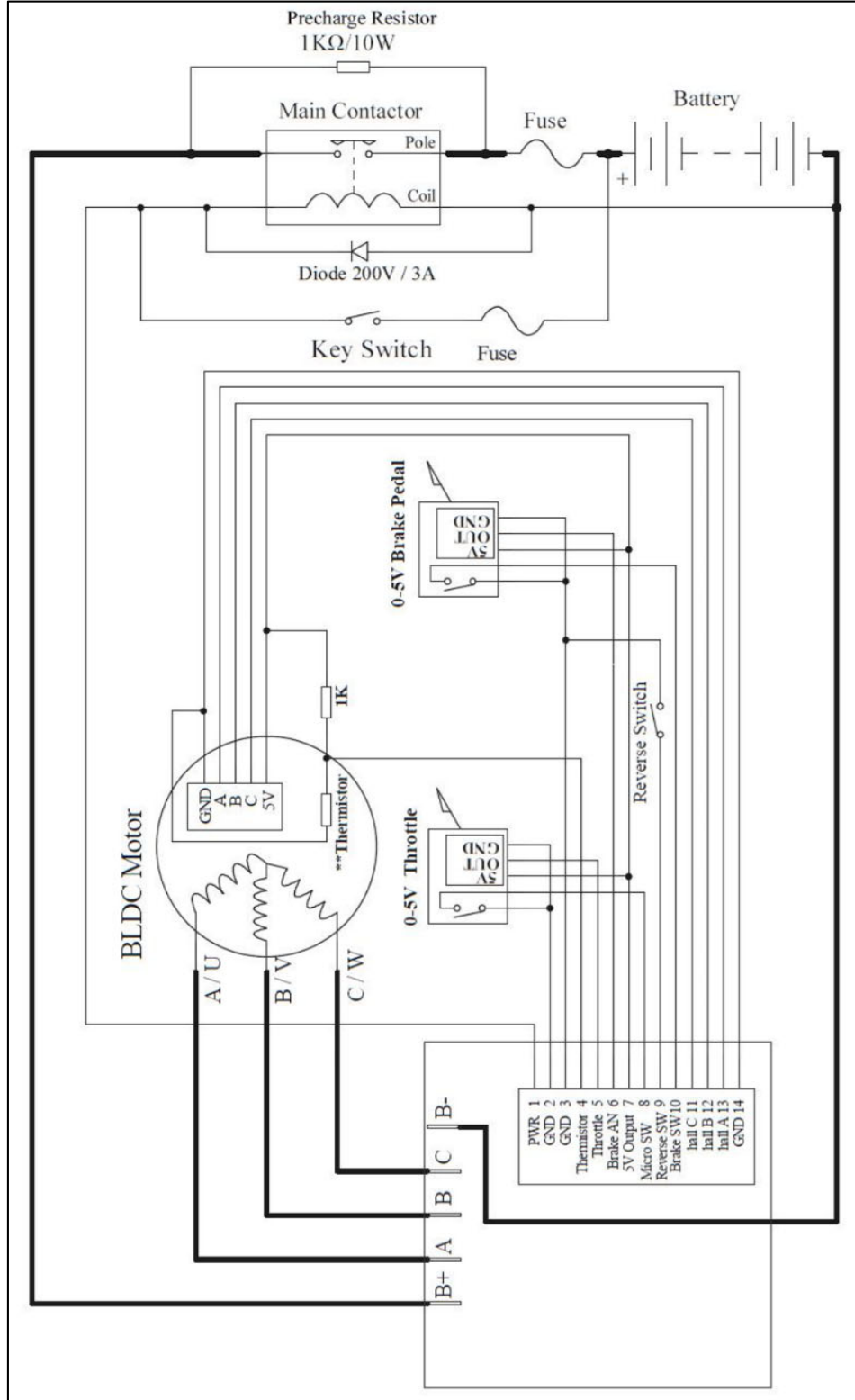
Resim 3.3. Kullanılan tekerlek içi motor

Sürücüler 72 V 4,5 kW'a kadar güç çekebilmektedir. Sürücü, motorun sıcaklık, konum ve hız bilgileriyle pedaldan gelen girdilere göre çalışabilmektedir. Ancak, sürücüden dışarı sensör bilgisi alınamamaktadır.



Resim 3.1. Motor sürücüsü

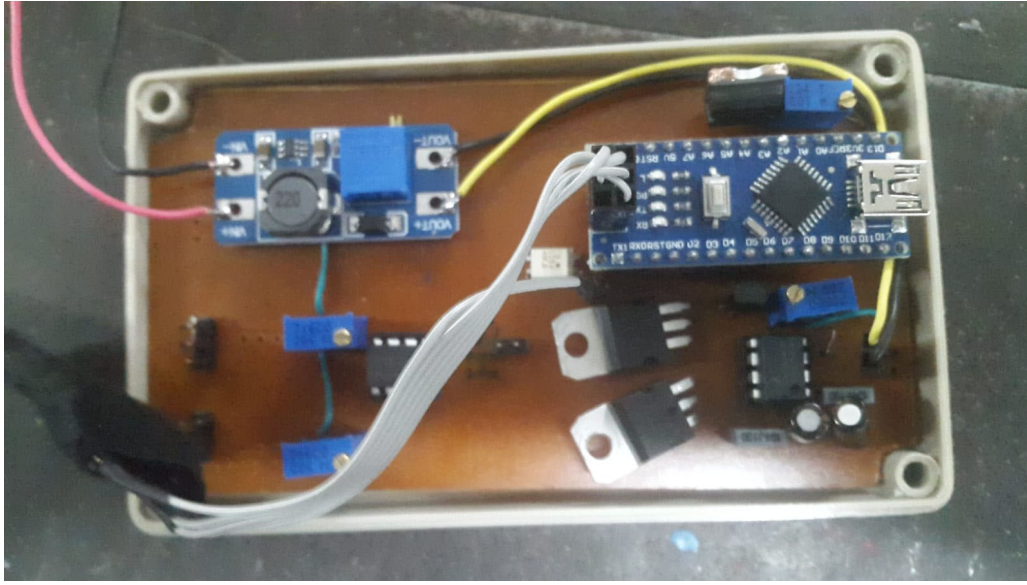
Tahrik sisteminin tesisatı sürücünün kullanım kılavuzunda belirlendiği gibi hazırlanmıştır (Şekil 3.2.). Eldeki elektronik pedallardan biri tahrik için, diğeri de rejeneratif frenlemeyi devreye sokmak için kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Motor, sürücü ve pedal bağlantıları

3.2. Yapılan Ölçümler ve Ölçüm İçin Oluşturulan Devreler

Çalışmada, aracın belli hız ve yük durumlarında enerji tüketimlerinin görülmesi amacı ile araç şasi dinamometresinde yüklenerek çalıştırılmıştır. Gerilim, akım, devir ve hız değerleri Resim 3.5.'te görülen telemetri sistemi ile gerçek zamanlı olarak izlenmiş ve SD kart medya ortamında kaydedilmiştir. Telemetri sistemi 5 ana modülden oluşmaktadır. Besleme katları; 12-24 DC-DC, ± 12 simetrik DC, akım sensörü sinyal yalıtım modülü, akü gerilimi ölçümü için gerilim bölücü devre modülü, devir sayıcı modülü ve veri kayıt modülü.



Resim 3.5. Akım ve gerilim ölçümü telemetri sisteminin uygulaması

BLDC motor üzerinde bulunan ve sürücü tarafından motor pozisyonu için kullanılan 3 adet Hall effect sensörü devir ve hız hesaplanması içinde kullanılmıştır. 7432 OR lojik (veya) kapısı kullanılarak 3 sensörden gelen lojik sinyal bir çıkış olarak mikro kontrolcü ünitesinin dijital girişine uygulanır. Mikro kontrolcü ünitesi tarafından belirli bir süre boyunca sayılıp devir/dakika olarak hesaplanır.

3.2.1. Akım ve gerilim ölçümleri

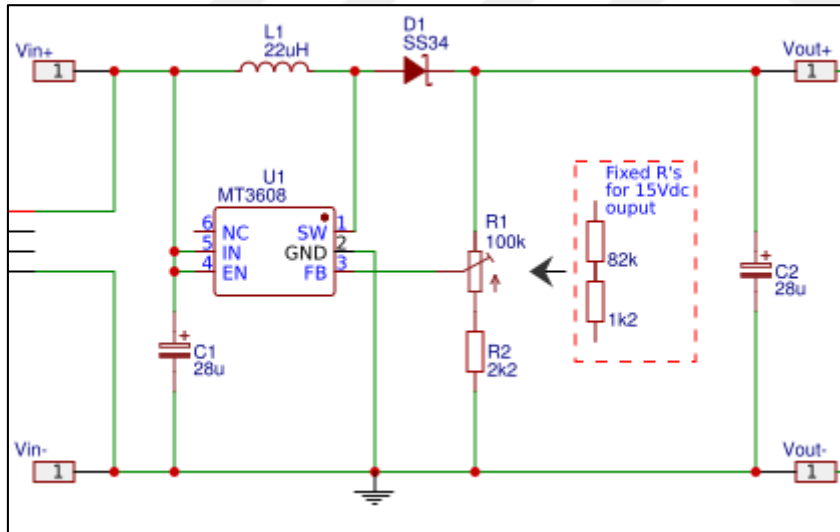
Akım ölçümü için sistemin lineer olmamasından dolayı LEM LA 55-P kapalı döngü hall etkili akım sensörü kullanılmıştır. Gerilim ölçümü bütün aküler sistemde seri bağlı bir şekilde tek bir batarya olarak bulunduğu için temel gerilim bölücü devre ile okunmuştur.

Besleme katları

Ölçüm sisteminde kullanılan LEM firmasının LA 55-P akım sensörü, endüstriyel bir sensör olup, $\pm 12V$ çalışma gerilimine ihtiyaç duymaktadır. Bu gerilim 12-24 DC DC ve $\pm 12V$ simetrik besleme katı yardımı ile elde edilmektedir. Elde edilen $\pm 12V$ Sinyal yalıtım devresinin beslemesinde de kullanılmıştır.

12-24 DC-DC konvertör

Araçtan alınan elektronik sistem güç beslemesi olan 12V gerilim MT 3608 DC-DC booster modülü ile 24 volta yükseltilmiştir. MT3608 Aerosemi firması tarafından üretilen, sabit frekansta akım yükseltici entegresidir. Modülün şematik diyagramı Şekil 3.5.'te görülmektedir. Entegre kullanıma hazır modül halinde piyasada bulunmaktadır. Modül 2A akım verebilmektedir. Elde edilen 24V gerilim ± 12 Simetrik besleme devresine uygulanmaktadır.



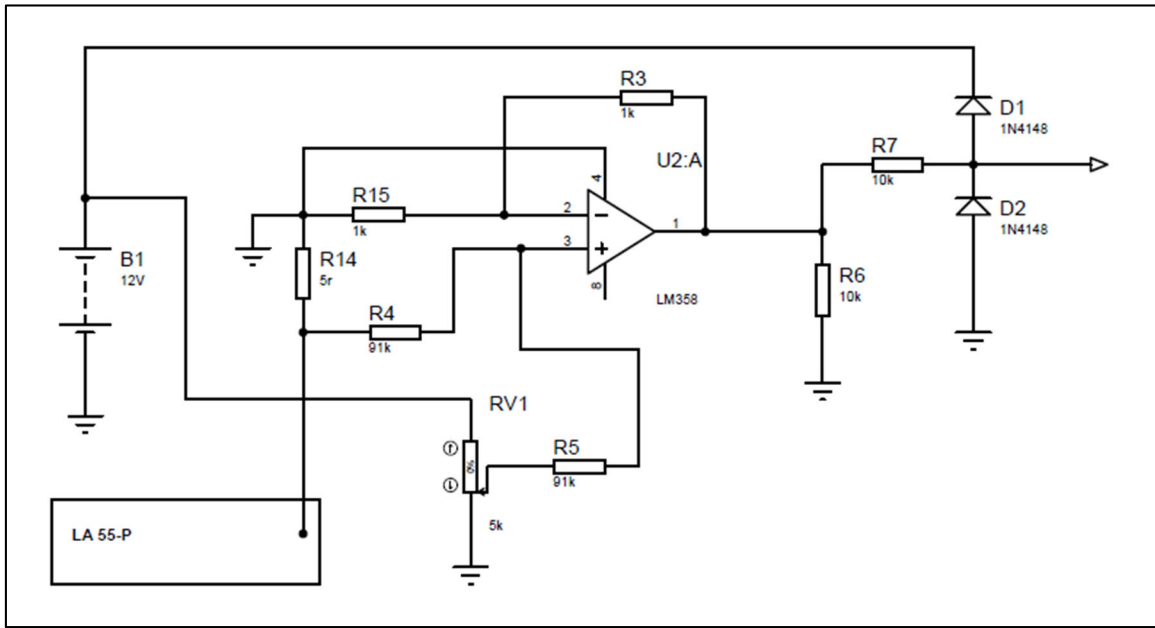
Şekil 3.5. 12-24 V DC konvertör devre şematiği

± 12 simetrik DC

CA3140 Opamp entegresi ile oluşturulan gerilim izleyici devre üzerinden eviren girişine 22 k Ω dirençler ile oluşturulan gerilim bölücü devre üzerinden uygulanan $\pm 12V$ ile TIP 122 ve TIP 127 BJT güç transistörleri ile çekilebilecek akım kapasitesi artırılıp akım sensörü ve akım sensörü opamp devresi beslenmiştir.

Sinyal yalıtım devresi

R14($100\Omega \pm \%1$) yük direnci üzerinden, sensör sinyal ucundan 0V gerilimine akan akım op-ampın (LM 358) evirmeyen ucuna uygulanır ve gerilim izleyici devre üzerinden $1=1$ kazanç ile yalıtılmış olarak mikro kontrolcü ünitesinin analog gerilim ölçme portuna uygulanır. Ölçülen gerilim $V=I \times R$ eşitliğinden sensör üzerinden geçen akım değerini elde etmede kullanılır.



Şekil 3.3. Akım sensörü ve sinyal yalıtım devresi şematik diyagramı [43]

Veri kayıt modülü

Atmega 328P tabanlı Arduino Nano ve SD kart modülünden oluşmaktadır. Modül sinyal güçlendirme ve gerilim bölücü modülden gelen 0-5V arasındaki analog değeri dijitala çevirmekte ve SD kart medya ortamında saklamaktadır. Aynı zamanda gerçek zamanlı izleme için seri haberleşme ile bilgisayara aktarmaktadır.

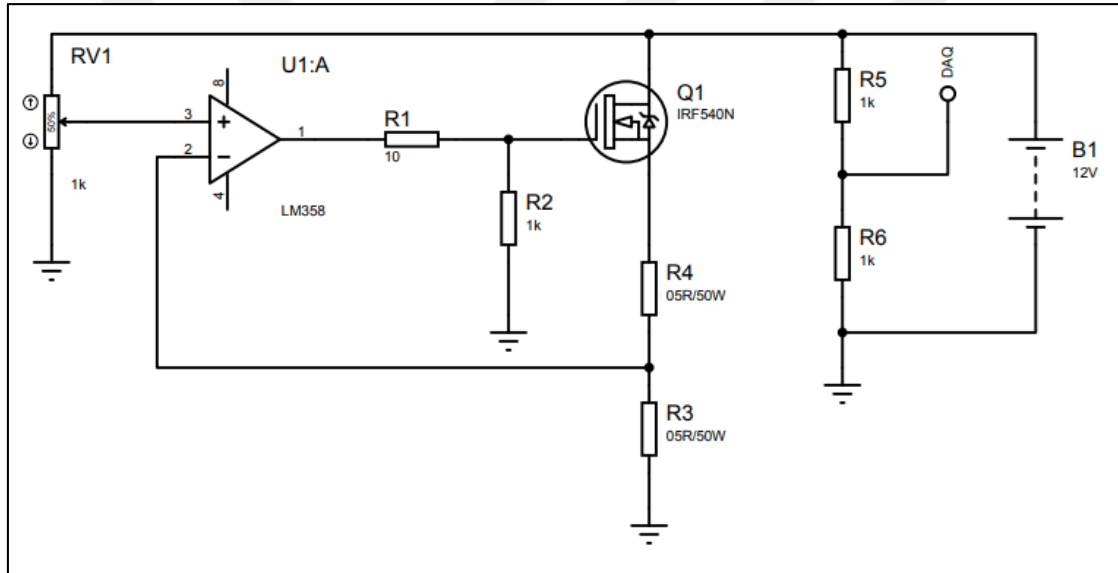
LA 55-P akım sensörü

LEM firması tarafından üretilmiş AC ve DC akım ölçümü için hall etkili akım ölçüm sensörüdür. Birincil sargı üzerinde oluşan akım 1:1000 çevirme oranı ile sinyal çıkışı üzerine

uygulanan yük direnci üzerine uygulanır. Yük direnci üzerinden okunan gerilim ile ölçülmek istenen akım değerine ulaşılır.

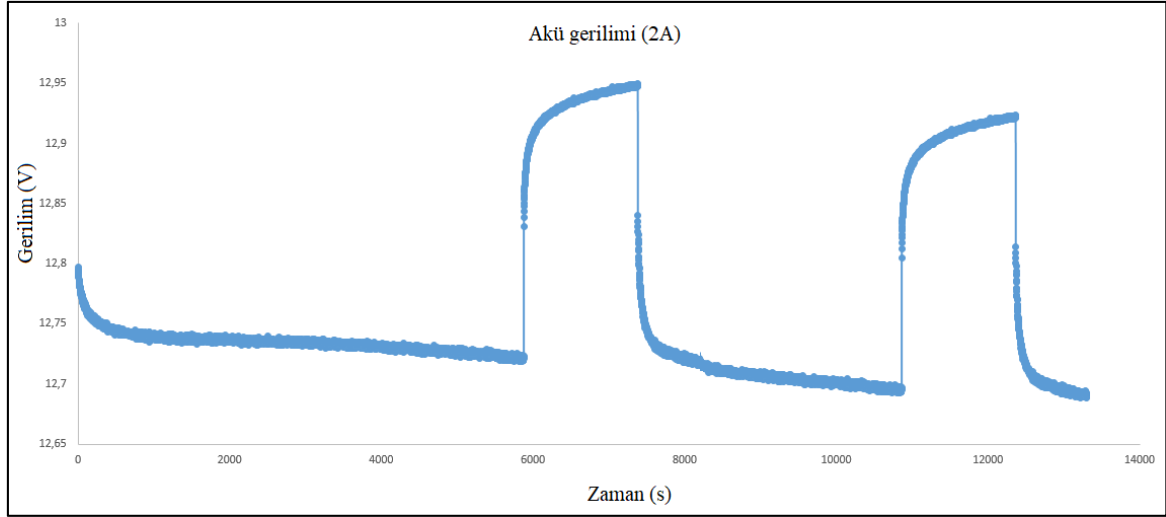
3.2.2. Batarya deşarj deneyi

Çalışmada batarya deşarj karakteristiklerinin anlaşılması için Şekil 3.7’deki sabit akım deşarj devresi oluşturulmuştur. Bu devrede 12 V batarya gerilimi ile op-amp sürülmüş ve referans voltajı oluşturulmuştur. RV1 ayarlanabilir direnci ile referans gerilimi değiştirilebilir. R3 üzerine düşen referans gerilimi ölçülerek, bataryadan çekilen sabit akım Ohm Kanunu’na göre belirlenebilir.



Şekil 3.7. Sabit akım deşarj devresi şematığı

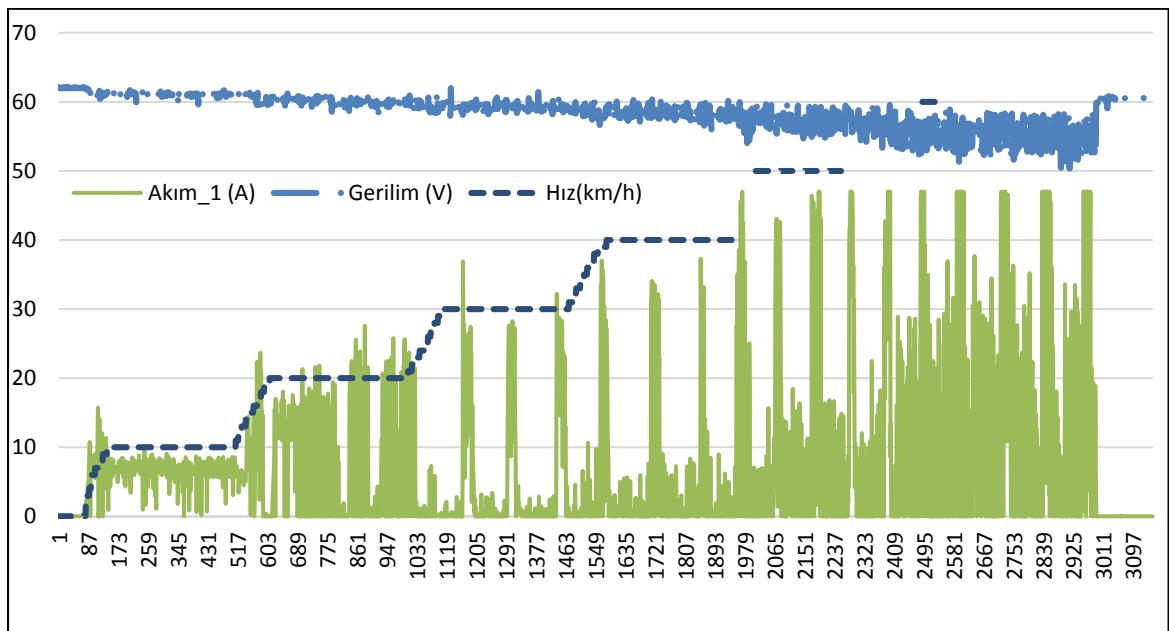
Batarya deşarj edilirken gerilim değerleri NI-USB 6259 veri toplayıcısı aracılığıyla kaydedilmiş, Şekil 3.8’deki grafik elde edilmiştir. Aküden akım çekilmeye başlandığında geriliminde ani bir düşüş gözlenmektedir. Bu düşüş batarya iç direncinden kaynaklanır, elektriksel modelde seri bağlı dirençle ifade edilir. Bunu takip eden düşüş evresi Thevenin modelindeki RC kolu ile modellenebilir. Akü dinlenmeye bırakıldığında gerilim iç dirence bağlı olarak tekrar ani olarak yükselir ve yavaşça dengeye gelir.



Şekil 3.8. Akü deşarj karakteristiği (2A)

3.2.3. Şasi Dinamometresi Testleri

Şasi dinamometresi üzerinde yapılan deneylerde, iki motor arası uzaklık dinamometreye uymadığından, bir motorun beslemesi kesilerek, tek motor üzerinden ölçüm alınmıştır. Hız 10 km/saatten 60 km/saat hıza kadar artırılarak testler yapılmıştır. Her 10 km/saat artışta araç bir dakika çalıştırılarak, akım ve gerilim değerleri kaydedilmiştir. Şekil 3.9.'daki grafik elde edilmiştir. Akım değerleri için yüksek hızlarda, sistem lineer olmadığından, rijit değer ölçülememiştir.



Şekil 3.9. Şasi dinamometresi testinden alınan ölçümler

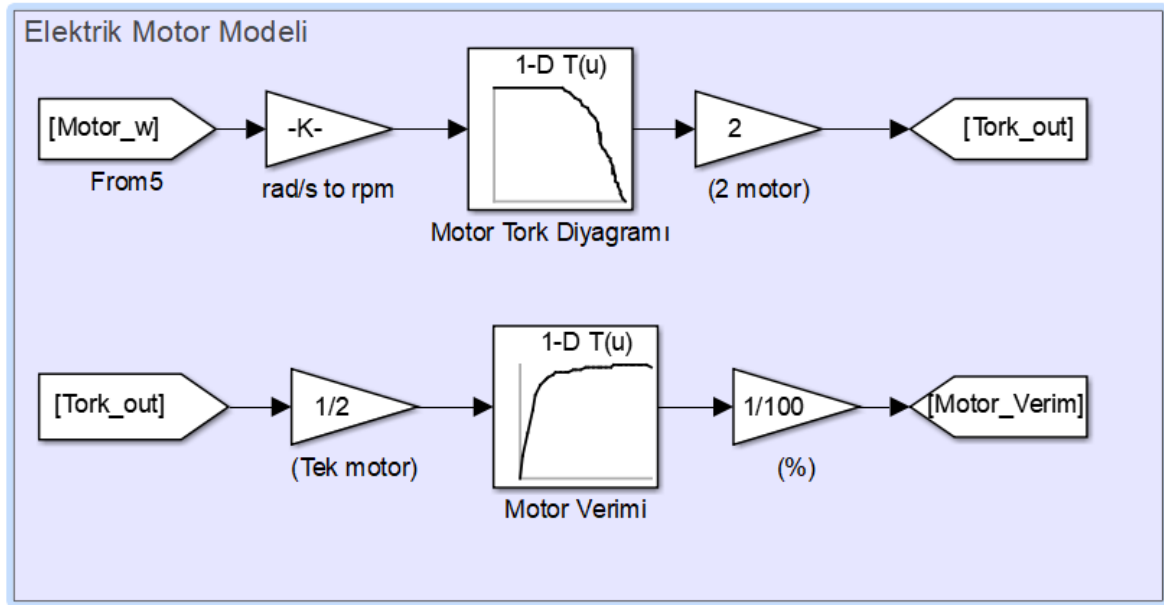
3.3. Simülasyon

Elektrikli araç modelleme ve simülasyon çalışmaları için tavsiye edilen yöntem şu şekildedir:

1. Elektrik motorlarının belirlenmesi
2. Batarya seçimi ve modelleri
3. Taşıt dinamiklerinin modellenmesi
4. Aracın tahrik ve güç aktarma sistemlerinin modellenmesi
5. Sürüş dirençlerinin modele eklenmesi
6. Simülasyon için kullanılacak sürüş çevrimlerinin belirlenmesi ve uygulanması
7. Hız kontrol modeli
8. Enerji tüketim modeli
9. Parametre tayini ve simülasyon

3.3.1. Motorların modellenmesi

Motorların modellenmesinde ürün kataloğundaki verilerden yararlanılarak oluşturulan tarama tabloları kullanılmıştır.



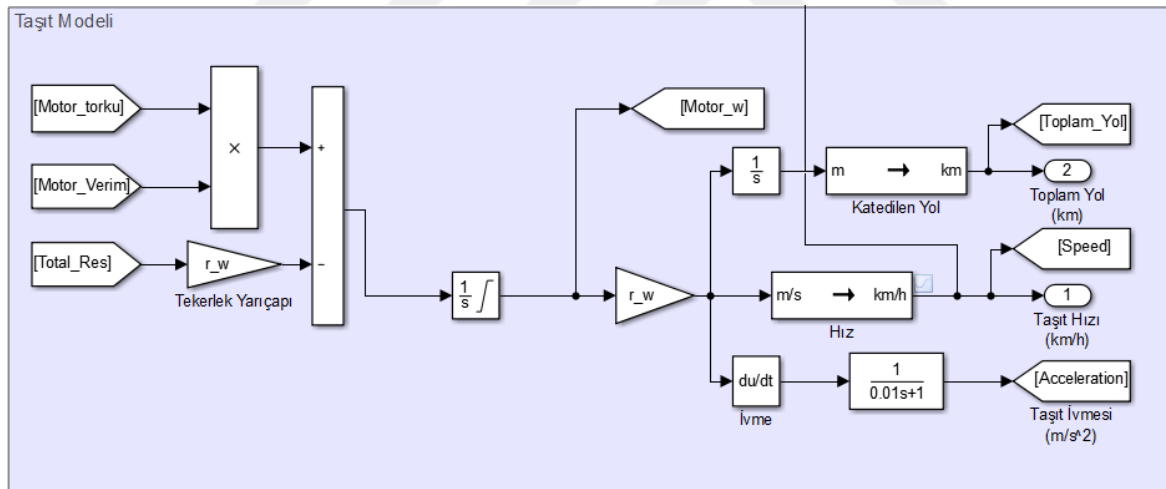
Şekil 3.10. Elektrik motorunun tarama tabloları ile modellenmesi

Motorun belli bir devirde üretebileceği maksimum tork, gelen hız bilgisiyle tarama tablosundan belirlenmekte; araçta iki motor kullanıldığı için elde edilen değer ikiyle çarpılarak, araca o hızda sağlanabilecek tork hesaplanmaktadır.

Torka bağlı verim değeri, başka bir tarama tablosu kullanılarak tespit edilmiştir. Burada tork çıkışını veren blok toplam torku verdiği için, verimin doğru hesaplanması amacıyla, tork değeri tek motora geri indirgenmiştir.

3.3.2. Taşıt dinamikleri

Bu modelde, tahrik tekerleği üzerinde oluşan dirence karşılık gelen motor torku hesaplanır. Normalde aktarma organlarının redüksiyon oranları, verim ve atalet momentlerini içeren bir transfer fonksiyonu oluşturulur. Ancak, modellenen araçta aktarma organı yoktur; motor torku doğrudan tahrik torkuna eşittir. Direnç kuvvetleri, efektif tekerlek yarıçapı ile çarpılarak, motor çıkışından istenen tork hesaplanmıştır (Şekil 3.11).



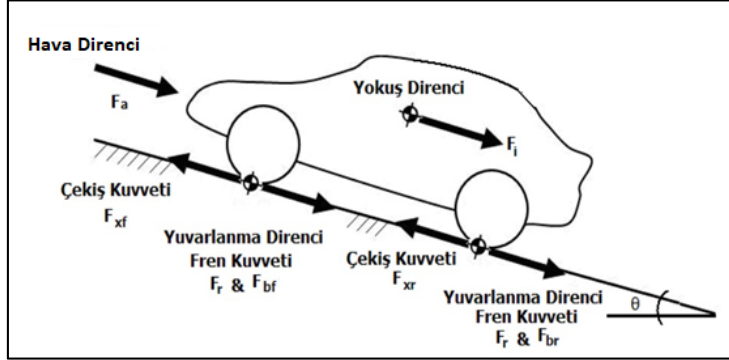
Şekil 3.4. Taşıt dinamik modeli

3.3.3. Sürüş dirençleri

Enerji tüketim modelleri oluşturulurken genelde aracın doğrusal dinamikleri dikkate alınır. Bu modelde araç üzerine dört direnç etki eder [24,44].

Hareket halindeki bir araca etkiyen hava direnci üç temel bileşenden kaynaklanır. Taşıtın arkasında oluşan türbülansın oluşturduğu direnç aerodinamik direncin yaklaşık %80'ini

oluşturur. İkinci etmen aracın dış yüzeyindeki hava sürtünmesidir. Son olarak, araç içi kanallardan geçen hava da bir dirence neden olmaktadır.



Şekil 3.5. Bir araca etki eden dirençler

Hava direnci; ρ hava yoğunluğu, C_d sürüklenme katsayısı, A_f aracın hareket yönündeki iz düşüm alanı, V_V araç hızı, V_a havanın hareket doğrultusundaki hızı olmak üzere, Eş. 3.1. ile ifade edilebilir.

$$F_a = \frac{1}{2} \rho C_d A_f (V_V + V_a)^2 \quad (3.1)$$

Eğim ya da yokuş direnci, araç ağırlığının yola paralel bileşeninin sebep olduğu kuvvettir. Direnç olarak adlandırılmasına rağmen, her zaman aracı yavaşlatmaya çalışmaz. Yokuş aşağı hareket durumundaki bir araç için, aracı hızlandırmaya çalışan bir kuvvet oluşacaktır. Yokuş direnci Eş. 3.2.'deki gibi ifade edilebilir;

$$F_m = m g \sin \theta \quad (3.2)$$

Burada m araç kütlesi, g yerçekimi ivmesi, θ da yolun yatayla arasındaki açıdır.

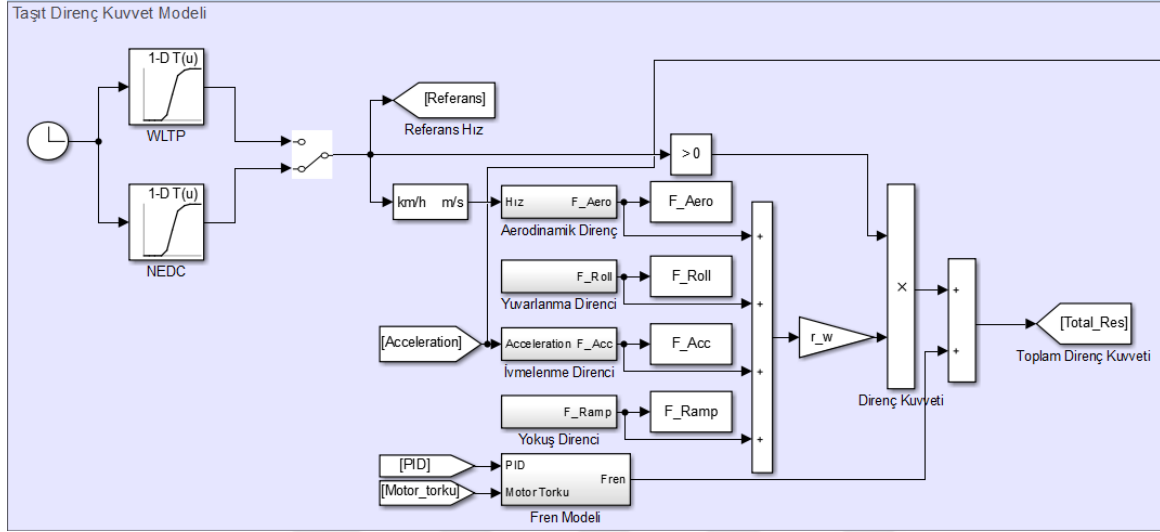
Yuvarlanma direnci, tekerlek ile yol arasındaki etkileşime bağlı bir dirençtir. Büyük oranda yol ve lastiğin yapısına bağlıdır. Araç hızının etkisi düşük hızlarda ihmal edilebilir. f_r yuvarlanma direnç katsayısı olmak üzere, yuvarlanma direnci Eş. 3.3.'te verilmiştir.

$$F_r = m g \cos \theta f_r \quad (3.3)$$

İvmelenme direnci, Newton'un II Kanunu'na göre araca ivmelenmesi için uygulanması gereken kuvveti ifade eder (Eş. 3.4.).

$$F_i = m a \quad (3.4)$$

Belirlenen bu dirençler, taşıt dirençleri modelinde (Şekil 3.13) kullanılarak, aracın belli bir anda referans hızı yakalayabilmek için ihtiyaç duyduğu tork değeri hesaplanacaktır.



Şekil 3.6. Taşıt dirençleri modeli

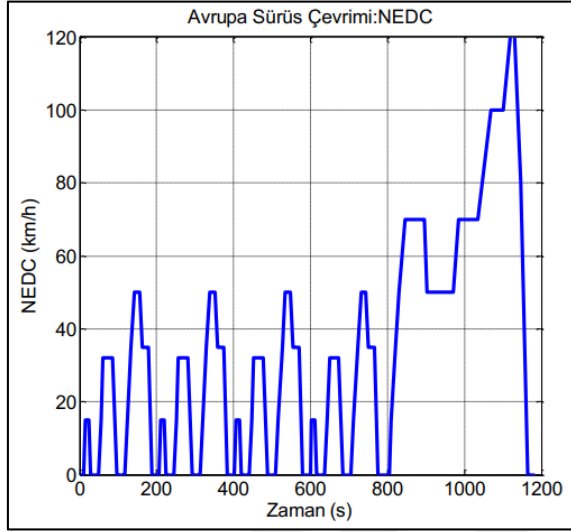
3.3.4. Test şartlarının seçilmesi

Referans hız olarak sürüş çevrimlerindeki hız bilgileri kullanılmıştır. Sürüş çevrimleri araç hızının zamana göre temsili verilerinin toplanmasıyla oluşmaktadır. Amaçlarına göre iki grupta ele alınabilirler. Birincisi, trafiğe çıkan araçların denetlenmesi amaçlı, homologasyon testlerinde kullanılan çevrimlerdir. Diğer grupta, bir bölgenin trafik karakteristiğinin anlaşılmasını ve bu bölge için isabetli egzoz emisyonu tahminleri yapılabilmesini amaçlayan çevrimler bulunur [45].

Sürüş çevrimleri, şasi veya motor dinamometresi üzerinde yapılan testlerde referans olarak kullanılarak emisyon ve yakıt tüketiminin normalize bir şekilde tespit edilmesine, farklı araç ya da motorların performanslarının ölçülmesine olanak sağlarlar. Dinamometreler üzerinde gerçek testlerde kullanıldıkları gibi, simülasyonlarda da emisyon ve enerji tüketimi modellerinde kullanılabilirler.

Avrupa'da hafif hizmet taşıtların onayı için belirlenen en genel sürüş çevrimi Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi (NEDC)'dir. Şehir ve şehirlerarası sürüş koşullarına uygun iki kısımdan

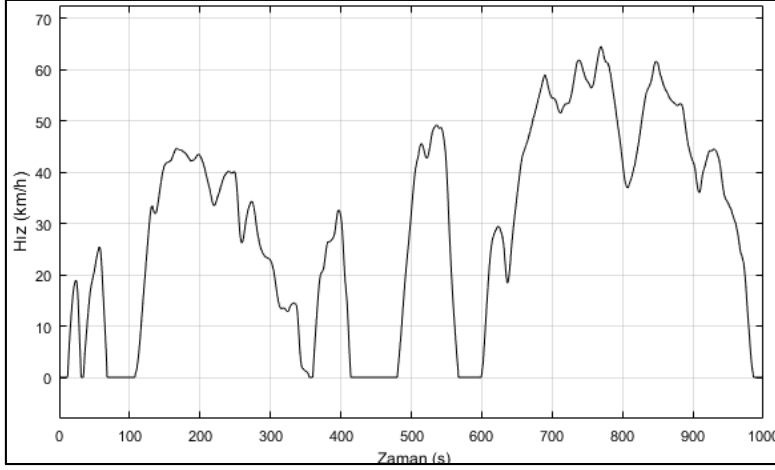
oluşur. Şekil 3.14.'te görüldüğü gibi, NEDC çevriminde şehir içi sürüş, birbirini takip eden dört ECE 15 çevriminden oluşmaktadır. Bunun ardından, daha yüksek hızları temsil eden, şehir dışı sürüş çevrimi (EUDC) gelir [46].



Şekil 3.7. Yeni Avrupa Sürüş Çevrimi [45]

WLTP (Dünya Çapında Uyumlu Hafif Taşıtlar Test Prosedürü) 2017 Eylül ayından itibaren mevcut NEDC standardının yerini almıştır. Yeni WLTP standardı dünya çapında toplanan sürüş verileri temel alınarak geliştirilmiş olup, şehir içi trafikten otoyol sürüşüne kadar sürüş durumlarını kapsar. NEDC'ye göre daha dinamiktir bir sürüş çevrimidir.

Üzerinde çalışılan araç düşük güçlü bir araçtır. Bu sebeple NEDC çevrimi için şehir içi hız verileri (ECE-15) kullanılmıştır. WLTP kısmında da, çevrimin düşük güçlü araçlara uygun Class 1 versiyonu kullanılmıştır. Şekil 3.15.'te Class I çevriminin hız profili görülmektedir.

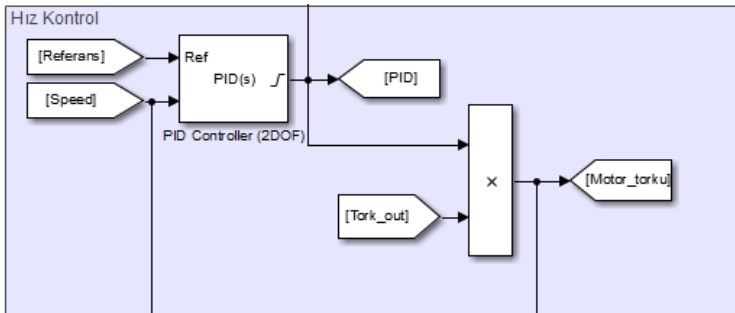


Şekil 3.8. Dünya Çapında Uyumlu Hafif Taşıtlar Test Prosedürü - Class I

Simülasyonlar, aracın hareket ettiği yolu düz, havanın da durağan olduğu kabulleri ile yapılmıştır.

3.3.5. Hız kontrol modeli

Hız kontrol modeli, aracın tork değerlerinden hareketle sürüş çevrimini yakalamaya çalışır. -1'den 1'e kadar değerlerle, bir sürücünün gaz ya da fren davranışlarını simüle etmek amacıyla kullanılmıştır. PID, referans hız eğrisine uymaya çalışmakta, anlık hız referans hızın altında ise tork arttırılmakta, referans hızın üstündeyse, negatif değer türetilerek frenleme simüle edilmektedir.

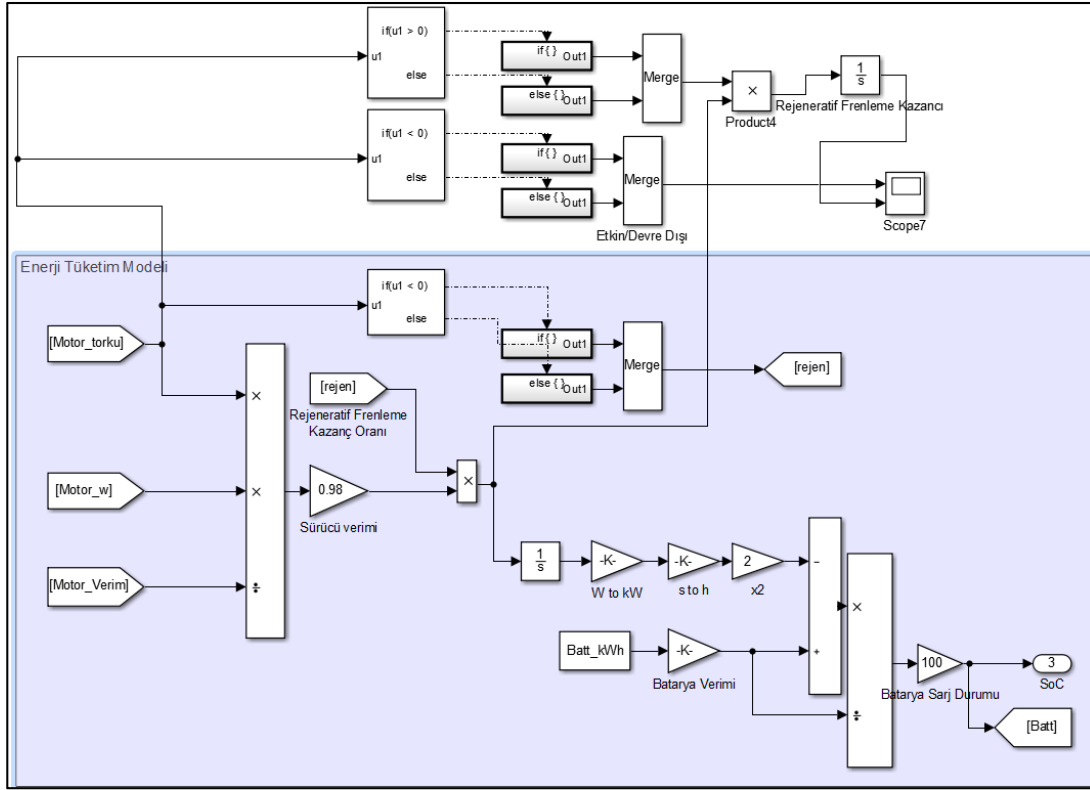


Şekil 3.9. Hız kontrol modeli

3.3.6. Enerji tüketim ve batarya modeli

Bu model motorun hızı ve sağladığı torktan yola çıkarak, harcanan gücü hesaplamaktadır. Hız kontrolcüsünden gelen PID değeri eğer pozitifse aracın gaz pedalına basılmakta ve enerji

harcanmaktadır. PID değeri negatifse fren pedalına basılmaktadır. Bu durumda rejeneratif frenleme devreye girer ve enerji kazanımı olur. İhtiyaç duyulan frenleme torku, motorun sağlayabileceğinden fazla ise mekanik frenler devreye girer.



Şekil 3.10. Batarya ve Enerji Tüketim Modeli

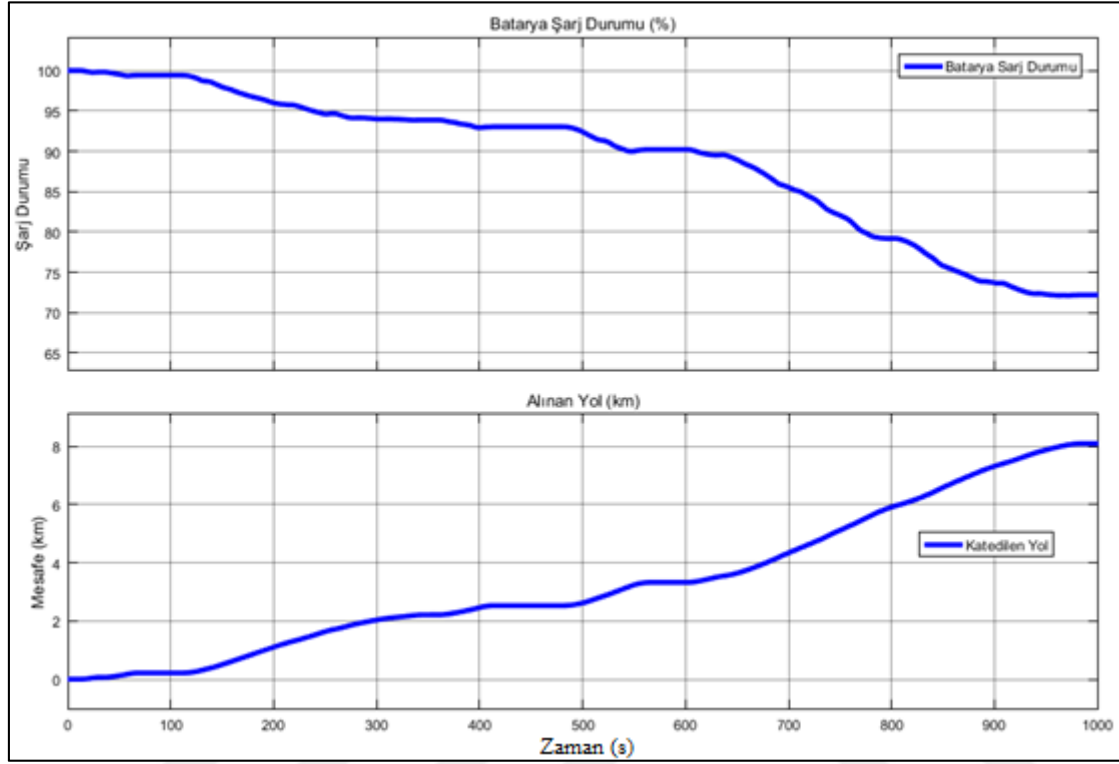
3.3.7. Diğer parametreler

Simülasyonda araç için kullanılan diğer parametreler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

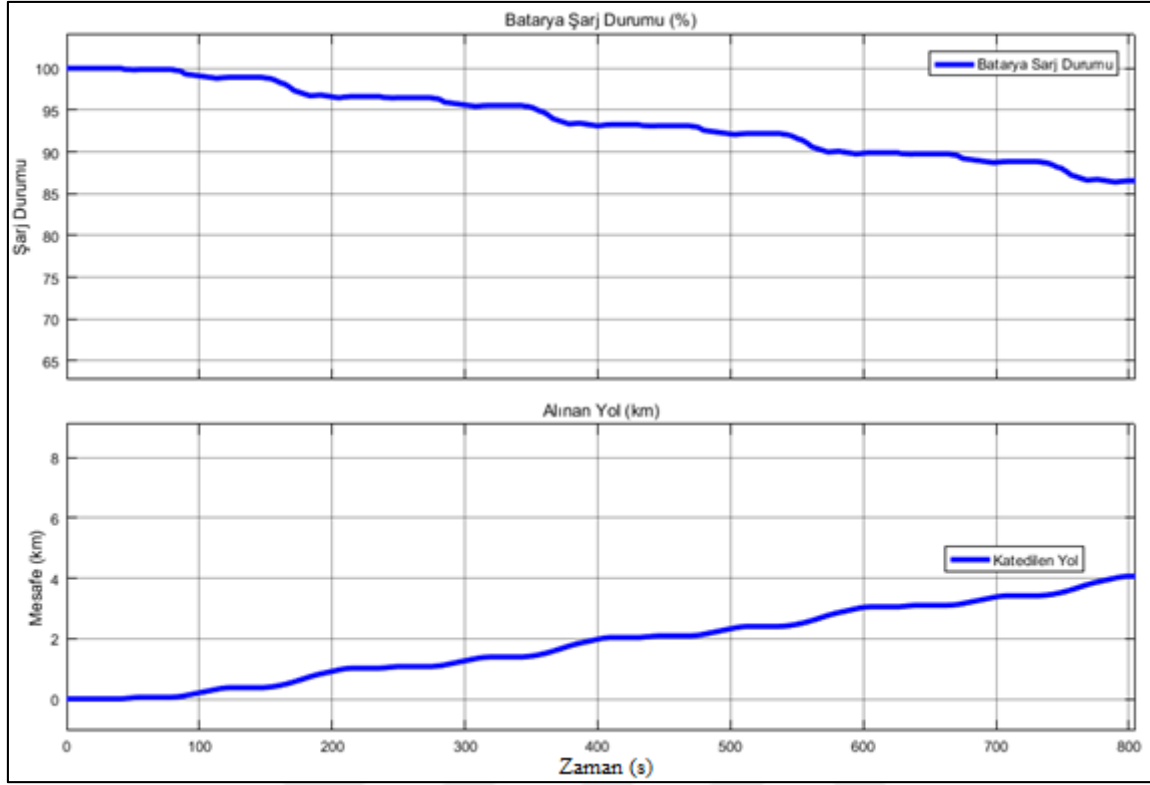
Çizelge 3.1. Taşıt parametreleri

Parametre	Değer
Araç + yolcu kütlesi	460 kg
Araç iz düşüm alanı	1,1 m × 1,3 m
Yuvarlanma direnç katsayısı	0,015
Hava yoğunluğu	1,225 kg/m ³
Sürüklenme katsayısı	0,65
Batarya verimi	0,85
Rejenerasyon verimi	0,25
Tekerlek efektif yarıçapı	0,25 m
Motor sürücüsü verimi	0,98
Deşarj derinliği, DoD	30 (%)

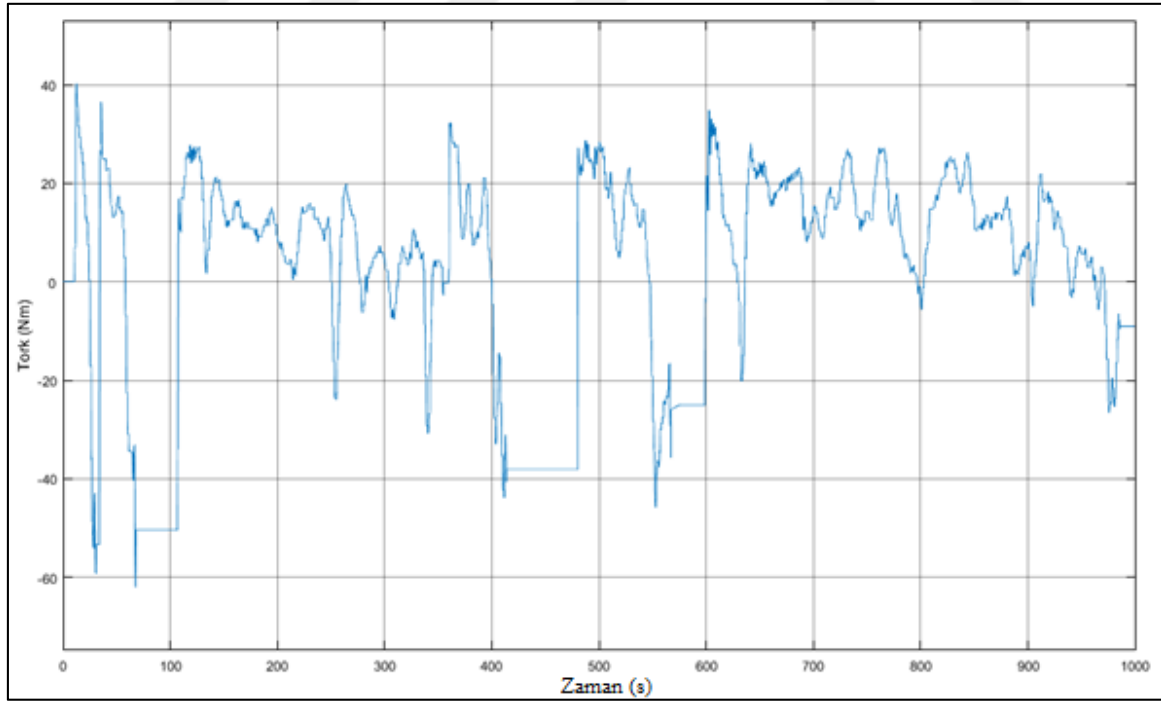
3.3.8. Simülasyon sonuçları



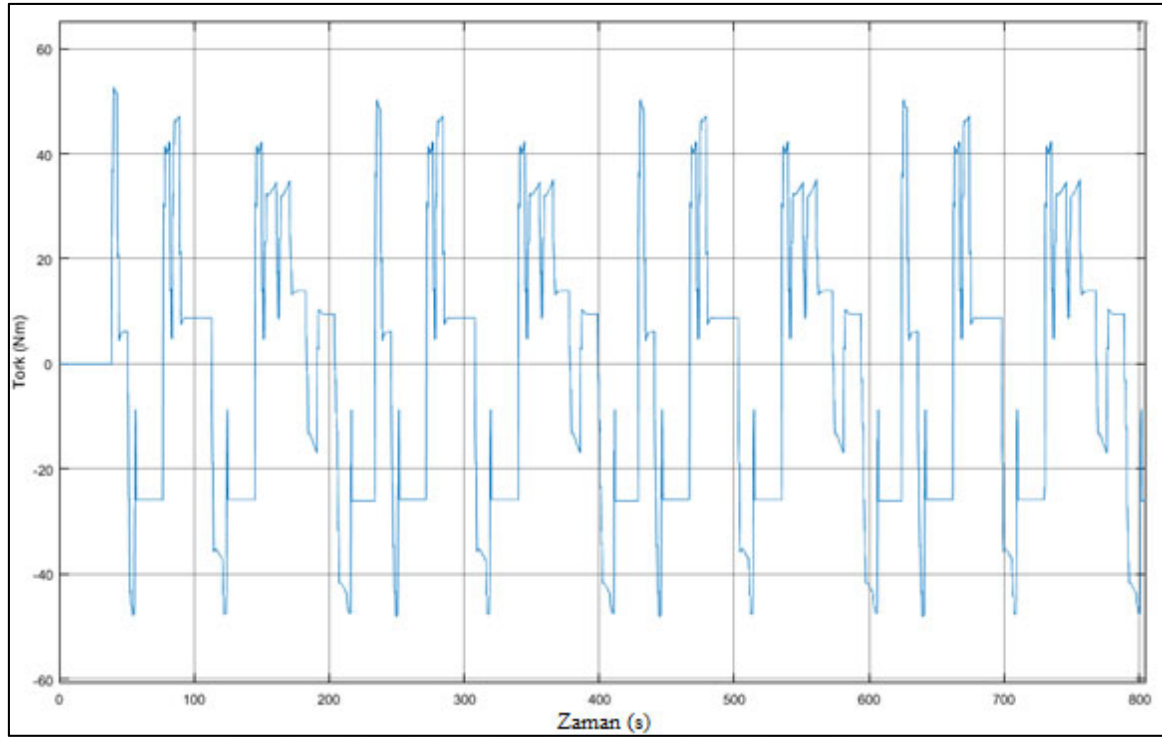
Şekil 3.11. WLTP çevrimine göre kullanılabilir şarj



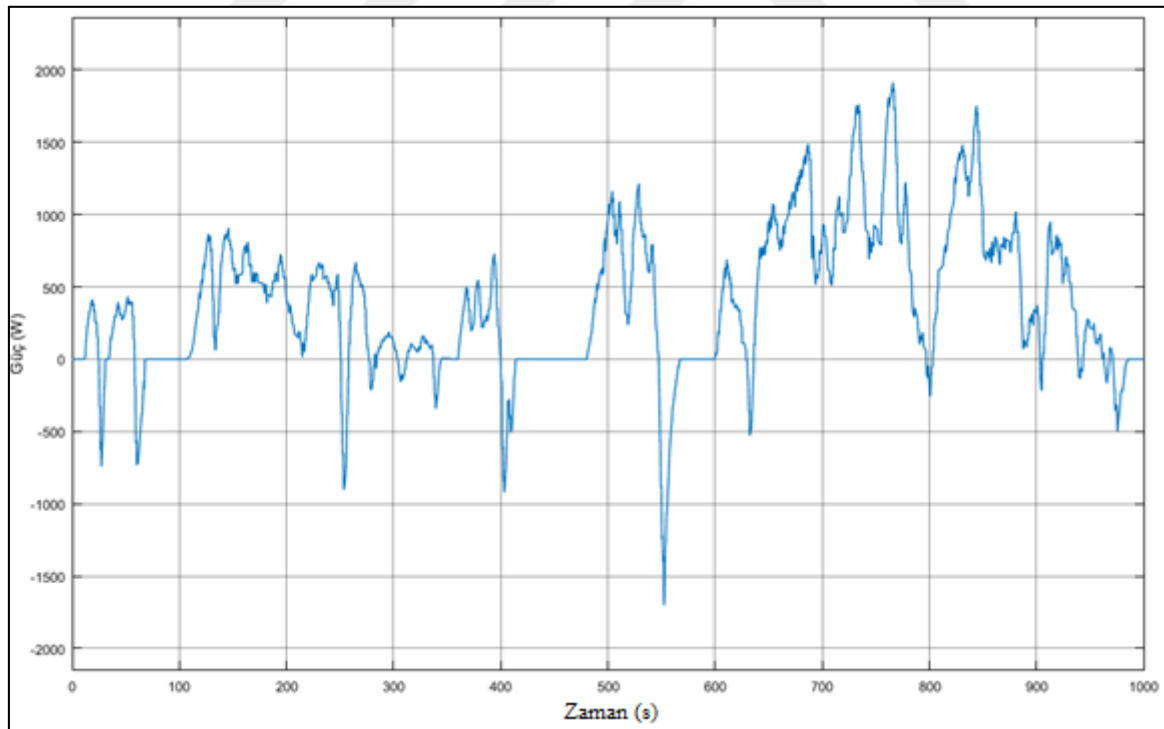
Şekil 3.12. NEDC'ye göre alınan yol ve kullanılabilir şarj



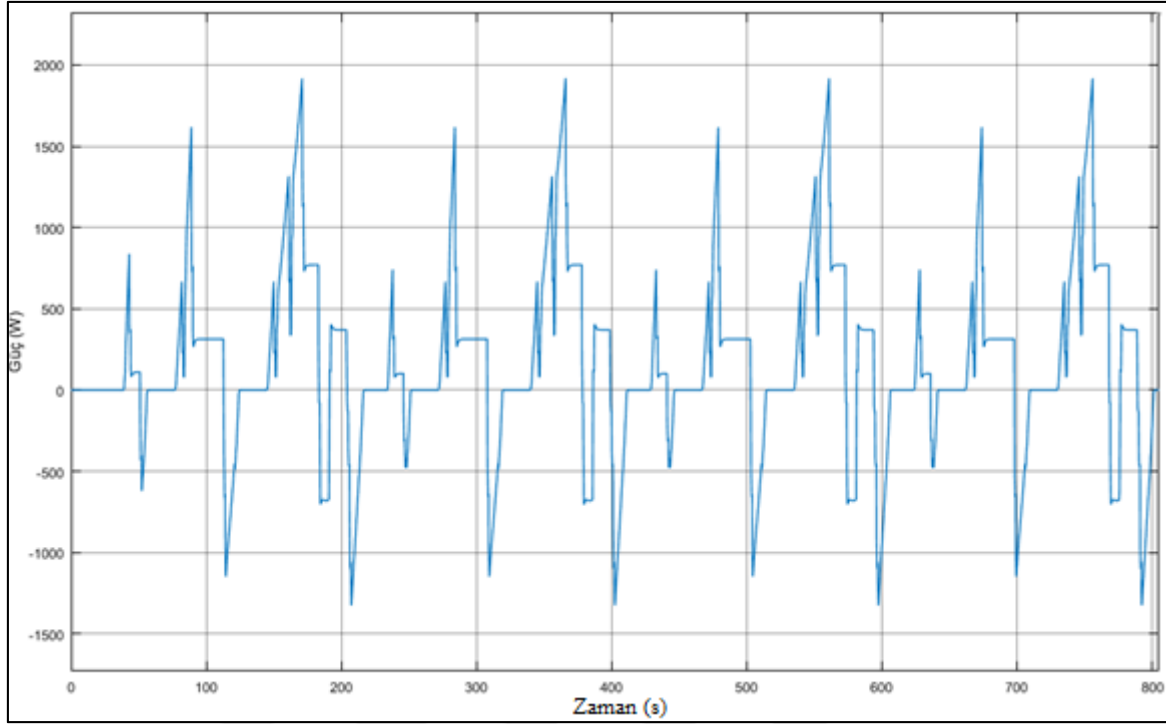
Şekil 3.13. WLTP boyunca tork değişimi



Şekil 3.14. NEDC boyunca tork değişimi



Şekil 3.15. WLTP boyunca tahrik gücü



Şekil 3.16. NEDC boyunca tahrik gücü

Yapılan simülasyonlar sonucunda Çizelge 3.2'deki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 3.2. Simülasyon sonuçları

Çevrim	Alınan Yol (km)	Kullanılabilir Şarj (%)	Tahmini Menzil (km)	Enerji Tüketimi (kWh/100 km)
NEDC	4,065	86,53	30,18	3,876
WLTP	8,091	72,19	29,09	4,022

Simülasyon sonuçlarına göre araç WLTP çevriminde daha fazla enerji tüketmektedir. Bu çevrim, NEDC'ye göre daha dinamik bir yapıya sahip olduğundan enerji tüketiminin fazla olması beklenen bir sonuçtur.

Araç menzili yaklaşık 30 km olarak belirlenmiştir. Bataryanın sahip olduğu kapasite ile daha fazla mesafe gitmek mümkünse de derin deşarjdan kaçınılmalıdır.



4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrikli araçlar gün geçtikçe popülerlik kazanmaktadır. İçinde bulunduğumuz süreçte saf petrol araçlarının sayıları azaltılarak, hibrit ve elektrikli araçlara öncelik verilmeye başlanmıştır. Bu yüzden elektrikli araç çalışmaları önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında, elektrik ile tahrik edilebilen bir araç altyapısı oluşturulmuş, hareket edebilir hale getirilmiş, MATLAB/Simulink ortamında, araca ait parametreler kullanılarak sürüş çevrimi analizi yapılmıştır.

Çalışma, kısıtlı bütçeyle, eldeki imkânlarla yapılmıştır. Motor testleri sırasında motor sürücülerinden biri yanmış, mosfetleri değiştirilerek tamir edilmiş ancak kısa devre tespit edildiğinden, yeni sürücü satın alınmıştır.

Şasi dinamometresinde ölçülen değerler dikkate alındığında, simülasyon sonuçlarından alınan sonuçlar beklenen mertebededir. Ancak oluşturulan modeller test sonuçlarından ziyade, üretici katalog bilgileri ve literatür kaynaklıdır. Daha isabetli bir model için, elektrik motoru ve bataryaların testlerle ayrıntılı bir şekilde karakterize edilmesi, veri okuma amaçlı tasarlanan kartların optimize edilmeleri gerekmektedir.

Çalışma sayesinde, üzerinde çalışılabilir bir elektrikli araç sistemi inşa edilmiştir. Bu altyapı sonraki çalışmalarda kullanılarak geliştirilebilir. Çalışmanın devamında elektronik diferansiyel uygulaması, gövde tasarımı, frenlerin geliştirilmesi, d, telemetri sistemleri gibi uygulamaların yapılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

1. Andwari, A. M., Pesiridis, A., Rajoo, S., Martinez Botas, R., and Esfahanian, V. (2017). A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 414-430.
2. Ribeiro, B., Brito, F., and Martins, J. (2010). *A Survey on Electric/Hybrid Vehicles*. Canada: SAE International, 16-25.
3. Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M., and Mithulananthan, N. (2015). A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385.
4. Alegre, S., Miguez, J. V., and Carpio, J. (2017). Modelling of electric and parallel-hybrid electric vehicle using Matlab/Simulink environment and planning of charging stations through a geographic information system and genetic algorithms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1020-1027.
5. İnternet: Number of passenger cars and commercial vehicles in use worldwide from 2006 to 2015 in (1,000 units). Statista. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.statista.com%2Fstatistics%2F281134%2Fnumber-of-vehicles-in-use-worldwide%2F&date=2019-01-06> Son Erişim Tarihi: 06.01.2019.
6. Hannan, M. A., Hoque, M. M., Mohamed, A., and Ayob, A. (2017). Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 771-789.
7. İnternet: Voelcker, J. 1.2 Billion Vehicles On World's Roads Now, 2 Billion By 2035: Report. Green Car Reports. URL: http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.greencarreports.com%2Fnews%2F1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report&date=2019-01-06, Son Erişim Tarihi: 06.01.2019.
8. Ustabaş, A. (2014). Mikro ve makro etkileri yönünden elektrikli otomobiller. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 1, 269-291.
9. Miller, J. M. (2010). *Propulsion Systems for Hybrid Vehicles*, 60, 194-208.
10. Jochem, P., Babrowski, S., and Fichtner, W. (2015). Assessing CO₂ emissions of electric vehicles in Germany in 2030. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78, 68-83.
11. Cedden, H. (2014). *Elektrikli Bir Taşıtın Şasi ve Aktarma Organlarının Kavramsal Tasarımı*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
12. Mökükcü, M. S. (2014). *Electric Vehicle Powertrain Design and Implementation*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

13. Karaoğlu, M. U. (2014). *Elektrik Tahrikli Bir Binek Otomobilin Tahrik Sisteminin Matematiksel Modellenmesi ve Simülasyonu*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
14. Poullikkas, A. (2014). Sustainable options for electric vehicle technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1277-1287.
15. Öztürk, T. (2013). *Asenkron Motor İle Sürülen Elektrikli Aracın Modellenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
16. Catenacci, M., Verdolini, E., Bosetti, V., and Fiorese, G. (2013). Going electric: Expert survey on the future of battery technologies for electric vehicles. *Energy Policy*, 61, 403-413.
17. Kumar, L., and Jain, S. (2013). Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 924-940.
18. Gerssen-Gondelach, S. J., and Faaij, A. P. C. (2012). Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term. *Journal of Power Sources*, 212, 111-129.
19. Uğur, E. (2011). *Prototip Bir Elektrikli Araç Üzerinde Enerji Yönetim Sisteminin Uygulanması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
20. Watts, A., Vallance, A., Whitehead, A., Hilton, C., and Fraser, A. (2010). The Technology and Economics of In-Wheel Motors. *SAE International Journal of Passenger Cars—Electronic and Electrical Systems*, 3(2), 37-57.
21. Ertuç, Y. (2008). *Elektrikli Taşıtların Tasarım ve Simülasyonu*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
22. Romm, J. (2006). The car and fuel of the future. *Energy Policy*, 34, 2609–2614.
23. Muratoğlu, Y., ve Alkaya, A. (2016). Elektrikli araç teknolojisi ve pil yönetim sistemi - inceleme. *Elektrik Mühendisliği*, 458, 10-14.
24. Huang, Q., Chen, Y., and Li, J. (2010). Control of Electric Vehicle. In S. Soylu (Ed.), *Urban Transport and Hybrid Vehicles*. London: IntechOpen, 12-18.
25. Erjavec, J. (2013). *Hybrid, Electric & Fuel-Cell Vehicle*. Boston: Cengage Learning, 12-15.
26. Guirong, Z., Henghai, Z., and Houyu, L. (2011). The Driving Control of Pure Electric Vehicle. *Procedia Environmental Sciences*, 433-438.
27. Wai, C. K., Rong, Y. Y., and Morris, S. (2015). Simulation of a distance estimator for battery electric vehicle. *Alexandria Engineering Journal*, 54, 359-371.
28. Kerem, A. (2014). Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 1-13.

29. Lucena, S. E. D. (2011). A Survey on Electric and Hybrid Electric Vehicle Technology. In S. Soyulu (Ed.), *Electric Vehicles - The Benefits and Barriers*. Rijeka: InTech, 1-19.
30. Broussely, M. (2010). Battery Requirements for HEVs, PHEVs, and EVs: An Overview. In G. Pistoia (Ed.), *Electric and Hybrid Vehicles* (305-345): Elsevier.
31. Hoque, M. M., Hannan, M. A., Mohamed, A., and Ayob, A. (2017). Battery charge equalization controller in electric vehicle applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1363-1385.
32. İnternet: Alkaya, L., Behçet, R., ve İlkılıç, C. (2008). Yakıt Pilleri ve Uygulama Alanları. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*. http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F31046238%2FYAKIT_P%25C4%25B0LLER%25C4%25B0_VE_UYGULAMA_ALAN_LARI_Batman_%25C3%259Cniversitesi_Teknik_E%25C4%259Fitim_Fak%25C3%25BCltesi_Makine_E%25C4%259Fitimi_B%25C3%25B6l%25C3%25BCm%25C3%25BC_BATMAN_F%25C4%25B1rat_%25C3%259Cniversitesi_Teknik_E%25C4%259Fitim_Fak%25C3%25BCltesi_Makine&date=2019-01-07, Son Erişim Tarihi: 06.01.2019.
33. Chau, K. T. (2014). Pure electric vehicles *Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance* (655-684): Elsevier BV.
34. Rahman, M. F., Patterson, D., and A. Cheok, R. B. (2011). Motor Drives. In M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 915-991.
35. Colton, S. W. (2008). *Design and Prototyping Methods for Brushless Motors and Motor Control*. Massachusetts Institute of Technology.
36. Uygun, D., Solmaz, S. (2015, May). *Design and Dynamic Study of a 6 kW External Rotor Permanent Magnet Brushless DC Motor for Electric Drivetrains*. Paper presented at the 4th IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives.
37. Tarlak, H., ve İşen, E. (2018). Elektrikli Araçlar ve Akü Şarj Sistemleri. *Kıklareli University Journal of Engineering and Science*, 4(1), 124-141.
38. Mruzek, M., Gajdác, I., Kučera, L., and Barta, D. (2015, May). *Analysis of parameters influencing electric vehicle range*. Paper presented at the 9th International Scientific Conference Transbaltica, Vilnius.
39. Ceylan, M., Sarıkurt, T., ve Balıkçı, A. (2013, 23-24 Mayıs). *Elektrikli Araçlarda Kullanılan Lityum-İyon Bataryalar İçin Model Geliştirilmesi*. EMO V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumunda sunuldu, Kocaeli.
40. İnternet: Jongerden, M., and Haverkort, B. R. (2008). Battery Modeling. *CTIT Report*. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffile%3A%2F%2F%2FC%3A%2FUsers%2F%25C3%259CM%25C4%25B0T%2FDesktop%2FBatteryRep4.pdf&date=2019-01-07>, Son Erişim Tarihi: 06.01.2019.
41. G., S. M. M., and Nikdel, M. (2014). Various battery models for various simulation studies and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 477-485.

42. Buekers, J., Holderbeke, M. V., Bierkens, J., and Panis, L. I. (2014). Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries. *Transportation Research Part D*, 33, 26-38.
43. Katalin, A. (2010). *Acquisition system for power measurements and harmonics determination*. Paper presented at the 2010 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR), Cluj-Napoca.
44. Çetinkaya, S. (2015). *Taşıt Mekaniği*. Ankara: Nobel Yayınları, 12-18.
45. Başlamışlı, S. Ç., Koçak, M., İnce, B., ve Testik, M. C. (2016, 23-24 Mayıs). *Türkiye sürüş çevrimlerinin oluşturulması: Konya şehri çalışması*. 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresinde sunuldu, Bursa.
46. Samuel, S., Austin, L., and Morrey, D. (2002). Automotive test drive cycles for emission measurement and real-world emission levels - A review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 216(7), 555-564.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : UYSAL, Latif Kasım
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12.06.1987, Çankaya
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (553) 378 06 87
 Faks : 0 (312) 202 37 10
 e-mail : latifuysal@gazi.edu.tr



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Otomotiv Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2014
Lise	Mehmet Emin Resulzade Anadolu Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2016-2017	Türk Hava Kurumu Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce, Japonca

Yayınlar

Erşan, K., Uysal, L. K., and Burhan, C. (2018). *Elektrikli Taşıtlarda Kullanılan Lityum Polimer Bataryalar İçin Matematik Model*. 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Ankara.

Uysal, L. K., Yücesu, H. S., and Solmaz, H. (2018). *Elektrikli araçlar için batarya modelleme ve enerji tüketiminin simülasyon ile tahmini*. International Eurasian Conference on Science, Engineering And Technology, Ankara.

Hobiler

Otomotiv, Bilgisayar, Teknoloji





GAZİ GELECEKTİR..