ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN TASARIMI VE SİMÜLASYONU

Yaşar ERTAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKİM 2008
ANKARA

ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN TASARIMI VE SİMÜLASYONU

Yaşar ERTAÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EKİM 2008
ANKARA

Yaşar ERTAÇ tarafından hazırlanan ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN TASARIMI VE SİMÜLASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Kemal ERŞAN …….
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA …….
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.
Doç. Dr. Kemal ERŞAN …….
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.
Prof. Dr. Serdar YÜCESU …….
Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.
Yrd. Doç. Dr. İbrahim SEFA …….
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.
Yrd. Doç. Dr. Mahir DURSUN …….
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 06/10/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN …….
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde
Elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yaşar ERTAÇ

ELEKTRİKLİ TAŞITLARIN TASARIMI VE SİMÜLASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)

Yaşar ERTAÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2008

ÖZET

Günümüzde klasik taşıtlar CO, CO_2, NO_x ve HC ile çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Bunun yanında tükenmekte olan fosil yakıtların taşıtlarda kullanılması ve çevrede meydana getirdiği emisyon dolayısı ile bu problemlerden çıkış yolu olarak hidrojen önerilmektedir. Hükümetler ve tüketici tercihi ise otomobil üreticilerini yakıt sarfiyatı ve emisyonu düşük, yüksek güçlü taşıt geliştirmeleri yönündedir. Belirtilen problemlerin çözümü için geliştirilmiş verimi ve ek elemanlarla esnek bir hareket iletimi sunan elektrikli, hibrid ve yakıt pilli taşıtlar otomobil üreticilerinin isteklerini karşılayabilecek özelliktedirler. Bu çalışmanın birinci bölümünde farklı elektrikli taşıt teknolojileri araştırıldı. Elektrikli taşıtların farklı sınıflara ayrılması ve özellikleri sunuldu. Bu bölümdeki inceleme mevcut, gelecekte kullanılabilecek ve prototip olarak üretimi yapılan elektrikli taşıtların sahip oldukları, elektrik motorları, enerji depolama sistemlerini ve güç iletim tekniklerini içermektedir. Tezin ikinci bölümünde taşıt tasarım ve simülasyonunda kullanılan yazılım programları, üçüncü bölümünde tasarım ve simülasyon modeli için gerekli litaratuar araştırması yapıldı. Tezin son bölümünde küçük bir elektrikli taşıtın tasarım ve simülasyonu yapıldı. Tasarım ve simülasyon hesaplarında taşıtın hareketi için gerekli tahrik gücünün hesabı için taşıt boyutu ve ağırlığı dikkate alındı ve hesaplamalarda Excel programı kullanıldı. Ek olarak taşıtın menzili için batarya kapasitesi hesaplandı.

Bilim Kodu : **708.3.026**
Anahtar Kelimeler : **Elektrikli Taşıt, Hibrid Taşıt, Yakıt Pilli Taşıtlar, Otomobillerin Tasarımı ve Simülasyonu**
Sayfa Adedi :**129**
Tez Yöneticisi : **Doç. Dr. Kemal ERŞAN**

DESIGN AND SIMULATION OF ELECTRICAL VEHICLE
(M.Sc. Thesis)

Yaşar ERTAÇ

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
October, 2008

ABSTRACT

Conventional vehicles cause pollution because of their high CO, CO_2, NO_2, and HC emissions. Use of hydrogen has been proposed by researchers as a solution to problems due to the depleted fossil fuel resources and the high emissions caused by using those fuels in vehicles. Recently, consumers and governments, too, place a growing demand on the automobile industry for vehicles with improved fuel economy, reduced emissions, and enhanced performance. Electric, hybrid, and fuel cell vehicles provide a potential solution for automobile manufacturers to meet these demands by providing improved efficiency and added flexibility in vehicle powertrains. Hydrogen has been proposed as a fuel to address the environmental issues, the depletion of fossil fuels, and the dependency on petroleum associated with the use of fossil fuels for vehicle propulsion. In the first chapter of this study, various electrical vehicle technologies were examined and an overview of the spectrum of electric vehicles along with the classifications and configurations of electric vehicles was presented. This overview included a summary of current, future, and prototype electric vehicles, along with various electric motors energy storage system and powerdrive systems based electric vehicles. Available software and computer codes used in the design and simulation of these vehicles were reviewed in the second chapter of the thesis. In the third chapter, a literature review was performed to design and model those simulations. In the last chapter of the study, a small electric vehicle was designed and simulated. An Excel program

was utilized for the calculations and the simulation. In the design process, the size and the mass of the vehicle were taken into consideration to predict the drive power and tractive forces. The required battery storage capacity for the vehicle range was also calculated.

Science Code : **708.3.026**
Key Words : **Electirical Vehicle, Hybrid Vehicle, Fuel Cell Vehicle, Automobile Design and Simulation**
Page Number : **129**
Adviser : **Assoc. Prof. Dr. Kemal ERŞAN**

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında bana her türlü konuda destek olan, yön veren, anlayış gösteren Sayın hocam Doç. Dr. Kemal ERŞAN'a, Celal Bayar Üniversitesi Öğretim görevlisi Sayın Hasan Ali Aygör'e, Akhisar Kayhan Ergün Anadolu Teknik Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi öğretmeni arkadaşlarım Serdar Savaş ve Erdal Çimen'e, sabırla beni destekleyen eşim P. Sevil ERTAÇ'a katkılarından dolayı teşekkürlerimi bildiririm.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET v

ABSTRACT ..... vı

TEŞEKKÜR ..... vıı

İÇİNDEKİLER ..... ıx

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ..... xı

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ..... xıı

SİMGELER LİSTESİ xv

KISALTMALAR LİSTESİ ..... xvı

ÇİZELGE LİSTESİ XII

1.GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ÖZETİ 6

2.1. Elektrikli Araçların Çeşitleri ve Yapıları 7

2.1.1 Tümü Elektrikli Araçlar 7

2.1.2. Hibrid Elektrikli Araçlar 18

2.1.3. Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar 24

2.2 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motor Çeşitleri 29

2.2.1. Doğru Akım Motorları 29

2.2.2. Asenkron Motorlar 35

2.2.3. Daimi Mıknatıslı Motorlar 37

2.2.4. Anahtarlamalı Relüktans Motorları (ARM) 38

2.3. Enerji Depolama Sistemleri 39

2.3.1. Bataryalar 39

Sayfa

2.3.2 Volanlar ... 43
2.3.3. Süperkapasitörler ... 45
2.3.4. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sistemi ... 46
3. TAŞIT TASARIMINDA KULLANILAN SİMÜLASYON PROGRAMLARI ... 47
3.1. ADVISOR ... 47
3.2.SIMPLEV ... 50
3.3. CarSim ... 50
3.4. HVEC ... 50
3.5. CSM HEV ... 51
3.6. V-Elph ... 51
3.7. Advance ... 51
3.8. VTB ... 51
4.TASARIM VE SİMÜLASYON MODELİ TEORİSİ ... 52
4.1 Elektrikli Taşıt Tasarım İfadelerinin Çıkarılması ... 54
4.1.1. Hava Direnci ... 58
4.1.2. Yuvarlanma Direnci ... 60
4. 1. 3 Yokuş Direnci ... 64
4.1.4. İvme Direnci ... 65
4.3 Direnç Kuvvetlerinin Yenilmesi İçin Gerekli Tahrik Gücü ... 74
4.4. Batarya Kapasitesi ve Taşıt Menzilinin Tanımlanması ... 75
5.SİMÜLASYON PROGRAMI VE UYGULANMASI ... 78
6. SİMÜLASYON MODEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ ... 82

Sayfa

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 125

KAYNAKLAR 127

ÖZGEÇMİŞ 129

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 1. 1. Elektrikli taşıtların klasik motorlu taşıtlarla karşılaştırılması [1] 2

Çizelge 2. 1. Elektrikli taşıt modellerinde kullanılan elektrik motoru çeşitleri [1].... 11

Çizelge 2. 2. Üretilmiş tümü-elektrikli araçlar [21] 16

Çizelge 2. 3. Üretilmiş hibrid elektrikli araçlar [1]. 21

Çizelge 2. 4. Bataryaların özgül enerjileri [21] 40

Çizelge 2. 5. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların özellikleri [21] 43

Çizelge 4. 2. Bazı otomobillerin CD katsayıları ve ön iz düşüm alanları [19] 60

Çizelge 4. 3. Yuvarlanma direnç katsayısının ortalama değerleri 62

Çizelge 4. 4 Değişik yol yüzeyleri için yuvarlanma direnç katsayıları [19] 62

Çizelge 5.1. Excel simülasyon programı veri giriş ve sonuçları 79

Çizelge 5.1.(Devam) Excel simülasyon programı veri giriş ve sonuçları 80

Çizelge 5.1.(Devam) Excel simülasyon programı veri giriş ve sonuçları 81

Çizelge 5.2. Excell programı veri giriş ve sonuç değerleri 80

Çizelge 6. 1. Tasarımı yapılan taşıtın teknik özellikleri 83

Çizelge 6. 2. Hıza bağlı hava direnci değerleri 84

Çizelge 6. 3. Taşıt hızına bağlı yuvarlanma direnci değerleri 85

Çizelge 6. 4. Düz yol ve sabit hızda toplam tahrik kuvveti ve tahrik gücü değerleri 86

Çizelge 6. 5. Yol eğimine bağlı yokuş direnci değerleri 87

Çizelge 6. 6. Yol eğimi ve taşıt hızına bağlı yokuş direnci gücü 88

Çizelge 6.7. %10 eğimli yol, taşıt hızına bağlı tahrik kuvveti ve tahrik gücü 89

Çizelge 6. 8. İvmeli hareket son hız değerleri (Motor gücü 3 kW, E=18 V) 90

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6. 9. Tasarımı yapılan elektrikli taşıtın ivmelenme anındaki aldığı yol..... 92

Çizelge 6.10. İvmelenme anındaki toplam tahrik kuvveti ve tahrik gücü 93

Çizelge 6.11. Motor devir sayısına bağlı motor gücü ve motor torku değerleri 94

Çizelge 6.12.Taşıt hızı ve devir sayısına bağlı motor torku ve tahrik torku değerleri97

Çizelge 6.13. % 10 eğimli yolda motor gücü ve tekerlek direnç güç değerleri 99

Çizelge 6. 14. Tasarımı yapılan taşıt için çeşitli motor devirlerindeki taşıt hızı..... 100

Çizelge 6. 15. Gerekli batarya kapasitesi değerleri (k=1,2)..... 101

Çizelge 6. 16. Peugeot 106 Van taşıtın teknik özellikleri (23) 104

Çizelge 6.17. Düz yolda taşıt hızına bağlı toplam direnç kuvveti değerleri 105

Çizelge 6.19. Çeşitli yol eğimine göre oluşan yokuş direnci değerleri..... 107

Çizelge 6.20. Hız ve yol eğimine bağlı yokuş direnci gücü değerleri 107

Çizelge 6.21. % 10 eğimli yolda direnç kuvvetleri ve tahrik gücü değerleri..... 108

Çizelge 6.22. %10 eğimli yoldaki tahrik gücü ve motor gücü değerleri..... 109

Çizelge 6.23. İvmeli harekette 4 saniye aralıklarla hesaplanan son hız değerleri.... 110

Çizelge 6.24. Elektrik motor devrine bağlı motor gücü ve motor torku değerleri.. 111

Çizelge 6.25. Taşıt hızına bağlı motor torku ve tekerlek tahrik torku 113

Çizelge 6.26. İvmeli harekette hıza bağlı toplam direnç kuvveti ve motor gücü 115

Çizelge 6.27. Motor devir sayısına bağlı taşıt hızı değerleri..... 116

Çizelge 6.28. Çalışma süresine ve çekilen akıma bağlı gerekli akü kapasitesi..... 117

Çizelge 6.29. OTOKAR M2000 aracın teknik özellikleri [21]..... 119

Çizelge 6.30. İvmelenme için gerekli motor gücü ve motor torku değerleri 120

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Tümü elektrikli araç [1] 8

Şekil 2. 2. Akü, elektrik motoru ve diferansiyelden oluşan sistem 8

Şekil 2. 3. Akü ve iki elektrik motoru kullanılan diferansiyelsiz sistem 9

Şekil 2.4. Akü, Elektrik Motoru, Dişli ve Zincirden oluşan sistem 11

Şekil 2. 5. Seri hibrid elektrikli araç [1]. 20

Şekil 2. 6. Paralel hibrid elektrikli araç [1]. 20

Şekil 2. 7. Tofaş-Fiat Doblo Seri Hibrid elektrikli araç [1]. 23

Şekil 2. 8. Yakıt pili [18] 25

Şekil 2. 9. 15 kW'lık yakıt pilinin metanol ve voltaj değişimi grafikleri [8] 26

Şekil 2.11. DC motor iç devre şeması 30

Şekil 2.12. Doğru akım motoru çalışma prensibi şeması 31

Şekil 2.13. Elektrik motoru hız karakteristikleri [17] 33

Şekil 2.14. Fırçalı DC motorun Tork Hız grafiği [23] 35

Şekil 2.15. Bataryanın eşdeğer devre modeli [23] 41

Şekil 3.1. Advisor 2004 veri giriş sayfası 49

Şekil 3.2. Advisor 2004 İnteraktif grafik 49

Şekil 4.1. Hareket halindeki taşıta etki eden direnç kuvvetleri 54

Şekil 4.2. Elektrik motorunun taşıt tekerleğine basit bağlantı düzeneği 55

Şekil 4.3. Hız ve lastik tipinin yuvarlanma direnci katsayısına etkisi [19] 61

Şekil 4.4. Yuvarlanma direnç katsayısının lastik hava basıncıyla değişimi [19] 63

Şekil 4.5. Lastik çapının yuvarlanma direnç katsayısına etkisi [19] 63

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.6. Eğim hesabı 65

Şekil 5.1. Tasarım simülasyon akış şeması 78

Şekil 6. 1. Taşıt hızı ve aerodinamik direnç katsayısına bağlı hava direnci 84

Şekil 6. 2. Taşıt hızına bağlı yuvarlanma direnci 85

Şekil 6. 3. Düz yol ve sabit hıza hıza bağlı tahrik kuvvetleri ve tahrik gücü 87

Şekil 6. 4. Yol eğimine bağlı yokuş direnci grafiği 88

Şekil 6. 7. İvmeli hareket hız-zaman grafiği 92

Şekil 6. 8. İvmeli harekette taşıtın aldığı yol 93

Şekil 6. 9. Düz yolda ivmeli hareket de toplam tahrik kuvveti ve tahrik gücü 94

Şekil 6. 10. Elektrik motor devrine bağlı motor gücü ve motor torku grafiği 95

Şekil 6. 11. Elektrik motorları tork hız karakteristiği [12] 96

Şekil 6. 12. Motor devir sayısına bağlı motor torku ve tekerlek torku grafiği 98

Şekil 6. 13. Eğimli yolda direnç kuvvetlerini yenmek için gerekli güç grafiği 99

Şekil 6. 14. Çeşitli motor devirlerindeki taşıt hızı grafiği 101

Şekil 6. 15. Çalışma süresi ve akıma bağlı gerekli batarya kapasitesi grafiği 102

Şekil 6. 16. Hıza bağlı hava direnci, yuvarlanma direnci ve toplam direnç grafiği. 105

Şekil 6. 17. Düz yol sabit hızda tahrik kuvveti ve tahrik gücü grafiği 106

Şekil 6. 18. Çeşitli yol eğimlerinde oluşan yokuş direnci grafiği 107

Şekil 6. 19. Hıza ve yol eğimine bağlı yokuş direnci gücü grafiği 108

Şekil 6. 20. %10 eğimli yolda toplam direnç kuvvetleri ve tahrik gücü grafiği 109

Şekil 6. 21.Eğimli yoldaki tekerlek direnç güçleri ve motor çıkış gücü grafiği 110

Şekil 6. 22. İvmeli hareket hız grafiği (2 s aralıklı) 111

Şekil 6. 23. Motor devir sayısına bağlı motor gücü ve motor torku grafiği 112

Şekil **Sayfa**

Şekil 6. 24. Motor devir sayısına bağlı motor gücü 112

Şekil 6. 25. Motor devir sayısına bağlı motor torku 113

Şekil 6. 26. Taşıt hızına bağlı motor torku ve tekerlek torku grafiği 114

Şekil 6. 27. Siemens elektrik motorunun anlık ve sürekli güç tork değerleri [21] .. 114

Şekil 6.28. Düz yol, ivmeli harekette hıza bağlı tahrik kuvveti ve motor gücü..... 116

Şekil 6. 29. Motor devir sayısına bağlı taşıt hızı grafiği 117

Şekil 6. 30. Çalışma süresi ve akıma bağlı gerekli batarya kapasitesi grafiği 118

Şekil 6. 31. Düz yolda ivmelenme için gerekli motor gücü..... 120

Şekil 6. 32. Düz yolda sadece bataryalarla sağlanan gücün hıza göre değişimi 121

Şekil 6. 33. Düz yolda ivmelenme için gerekli motor torku 122

Şekil 6. 34. Düz yolda sadece bataryalarla sağlanan momentin hıza göre değişimi 122

Şekil 6. 35. Düz yolda ivmelenme süreleri 124

Şekil 6. 36. Düz yolda bataryalarla ivmelenme süresi 124

RESİMLER LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1 Tekerlek jantı içerisinde elektrik motoru 10

Resim 2. 2 General Motors EV1 elektrikli araç 14

Resim 2. 3 Ford Think City elektrikli araç 15

Resim 2. 4 Nissan Hypermini elektrikli araç 15

Resim 2. 5 Toyota RAV 4 EV 16

Resim 2. 6 Hibrid elektrikli araç 19

Resim 2.7.Honda hibrid araç 23

Resim 2. 8 Zafira yakıt pilli otomobil 27

Resim 2. 9 Yakıt pili ile güçlendirilmiş iki otomobil (Ford ve Necar 4) 28

Resim 2. 10 Asenkron motoru kesit resmi 37

Resim 2. 11. Anahtarlamalı relüktans motorları 39

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

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

Simge	Açıklama
a	Aracın ivme değeri, m/s^2
A	Taşıt ön izdüşüm alanı, m^2
B	Manyetik akı yoğunluğu, Wb/m^2
$\mathbf{C_d}$	Aerodinamik direnç katsayısı
$\mathbf{C_P}$	Peukert batarya kapasitesi, Ah
$\mathbf{C_R}$	Batarya deşarj miktarı, Ah
$\mathbf{C_S}$	Batarya şarj miktarı, Ah
g	Yer çekimi ivmesi, m/s^2
E	Endüksiyon Gerilimi, V
$\mathbf{F_{ad}}$	Hava direnci kuvveti, N
$\mathbf{F_{hc}}$	Yokuş direnci kuvveti, N
$\mathbf{F_{la}}$	Doğrusal ivme kuvveti, N
$\mathbf{F_{rr}}$	Yuvarlanma direnci kuvveti, N
$\mathbf{F_{te}}$	Toplam tahrik kuvveti, N
$\mathbf{F_{wa}}$	Açısal ivme kuvveti, N
$\mathbf{f_0}$, $\mathbf{f_1}$	Yuvarlanma direnci katsayısı
G	Dişli oranı
I	Akım şiddeti, A
$\mathbf{I_e}$	Atalet momenti, kgm^2
K	Jeneratöre ait sabit
L	Yol, m
m	Kütle, kg
$\mathbf{m_T}$	Taşıt toplam kütlesi, kg
n	Devir, l/min

$\mathbf{P_{bat}}$	Batarya gücü, kW
$\mathbf{P_{te}}$	Tahrik gücü, kW
R	Direnç, Ohm
r	Tekerlek yarı çapı, m
$\mathbf{r_e}$	Elektrik motoru endüvi çapı, m
t	Zaman , s
T	Motor torku, Nm
$\mathbf{T_d}$	Döndürme torku, Nm
U	Volanda depolanan enerji , J
v	Hız, m/s
$\mathbf{v_c}$	Kritik hız, m/s
β	Eğim açısı, Derece
η	Verim, %
$\mathbf{\mu_{rr}}$	Lastik tekerlek arası kuvvet bağlantı katsayısı
Φ	Manyetik akı, Wb
ω	Açısal hız, rad/s
W	İş, J

Kısaltma	**Açıklama**
AC	Alternatif akım
BG	Beygir gücü
EA	Elektrikli taşıt
FCEV	Yakıt hücreli araç
DC	Doğru akım
DMFC	Doğrudan metanol yakıt pili
DoD	Batarya deşarj derinliği
İYM	İçten yanmalı motor
HEA	Hibrid elektrikli taşıt

PAFC	Fosforik asit yakıt pili
PEMFC	Proton elektrolit membranlı yakıt pili
PM, SM	Sürekli manyetik
SOFC	Katı oksit yakıt pili

1.GİRİŞ

İnsanoğlunun eski çağlardan beri temel ihtiyaçlarından birisi de ulaşımdır.
Özellikle yaşadığımız yüz yılda bu ihtiyaç daha da artmıştır. 15. yüzyıldan beri insanoğlu taşımacılık üzerine araştırmalara yönelmiş ve çoğunluğu mekanik çeşitli düzenler ile araçlar, hareket ettirilmeye çalışılmıştır. Günümüze kadar içten yanmalı motorlu araçlar büyük gelişim göstermiş ve günümüzde birçok motorlu taşıt üreticisi firma her yıl milyonlarca ürettikleri yeni taşıtı piyasaya sürmektedir.

Mevcut teknolojileri, fosil kökenli yakıtlara büyük oranda bağımlıdır. Fosil kökenli yakıtların kullanımının uzun dönemde insanlık için iki açıdan tehdit oluşturacağı öngörülmektedir. İlk tehdit, sınırlı rezervlere sahip özellikle petrol ve doğal gaz gibi yakıtların azalmasına bağlı olarak artan maliyetler ve buna bağlı olarak sosyal ve ekonomik etkilerin büyüklüğüdür. İkinci tehdit ise fosil kökenli yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan zararlı emisyonlar ve sera gazlarının çevre üzerine etkileridir [1].

Motorlu araç sayısının gün geçtikçe çok hızlı bir şekilde artması ve petrol kaynaklarının tükenme noktasına yaklaşması, artık vazgeçilmez olan motorlu taşıtları, belirtilen olumsuzlukları kaldıracak veya azaltacak farklı tahrik sistemleri ile hareket ettirmenin yollarını bulmaya zorlamıştır.

Son yıllarda elektrik makineleri, bataryalar ve güç elektroniği teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak elektrikli araç teknolojisinde de ilerleme sağlanmıştır. Bu sebeple dünyada birçok araştırmacı ve üniversite özel sektör veya hükümet destekli olarak motorlu taşıtlara alternatif enerji sistemleri üzerine araştırmalarını sürdürmektedir. Araç teknolojisindeki bu ilerlemeler petrole olan bağımlılığı ve fosil yakıtların çevreyi tehdit etmesini yakın dönemde önleyecek ve uzun vadede ise tamamen ortadan kaldıracak çözümler vaat etmektedir. Ülkemiz açısından bakıldığında petrol kaynaklarının tamamının dışa bağlı olduğu ve taşımacılığın büyük oranda karayolları tarafından sağlandığı görülmektedir. Bu nedenle

taşımacılıkta şu an dahi sağlanacak en ufak verimlilik artışlarının getirisi oldukça yüksek olacaktır.

Çalışmalar içten yanmalı motorların daha ekonomik çalışmasını sağlayacak yakıt, ateşleme ve diğer yardımcı sistemler ile, elektrik enerjisinin hareketli sistemlerde üretimi ve kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır. Elektrik enerjisinin temiz ve dönüşüm veriminin yüksek olması, yakıt maliyetinin İYM'lara göre 2,5-3 kat düşük olması, sessiz çalışması üstünlükleri, problemin çözümünde elektrikli taşıtları ön plana çıkarmaktadır.

Günümüzde kullanılan elektrikli araç sistemleri tümü elektrikli araçlar, hibrid elektrikli araçlar ve yakıt pilli elektrikli araçlar olmak üzere üç guruba ayrılır.
Elektrikli araç tipleri arasında ve klasik araçlarla aynı şartlarda verim ve emisyonlar açısından farkları incelendiğinde özetle Çizelge 1.1 de görülen sonuçlara ulaşılmaktadır[1,4].

Çizelge 1. 1. Elektrikli taşıtların klasik motorlu taşıtlarla karşılaştırılması [1]

Taşıt Türü	Verim %	Yakıt tüketim (şehir içi 100 km)	Çevre Kirleticiliği	Menzil
Buji ile ateşlemeli motorlu taşıt	26-30	8-10 litre	2.7 g/km CO	500-1000 km
Dizel motorlu taşıt	40	6-8 litre	1.0 g/km CO	600-1200 km
Tümü elektrikli taşıt	32	-	0 emisyon	80-250
Hibrid taşıt	41	3,5-4 litre	İYM'dan %55 daha düşük	500-1000 km
Yakıt pilli taşıt	43-48	-	İYM'dan %90 daha düşük	500-100 km

Hibrid elektrikli araçlarla yakıt pilli araçlarda verim içten yanmalı motorlara göre daha yüksek ve emisyon çok düşüktür. Bu da elektrikli taşıtların kullanımını gelecekte ön plana çıkarmaktadır.

Elektrikli araçlarda kullanılan akümülatörlerin ağır, hantal olması, kapasitelerinin

sınırlı ve dolum süresinin uzun olması, elektrik motorlarının da güç/ağırlık ve güç/hacim oranlarının çok iyi olmaması ve menzillerinin kısa olması gibi nedenlerle kısa mesafelerde ve hafif yüklerde kullanılabilir.

Hibrid elektrikli araçlardaki gelişmeler ve olumsuzlukların tümü elektrikli araçlara göre daha az olması nedeniyle klasik motorlu taşıtlara göre tercih edilmektedir. Günümüzde birçok otomobil firması hibrid elektrikli araçları üretmektedirler ve kullanıma sunmuşlardır.

Diğer bir elektrikli taşıt türü ise yakıt pilli elektrikli taşıtlardır. Yakıt pili teknolojisinin araçlarda uygulanması, elektrikli araçlarda son aşama olup, gelecekte birincil enerji kaynaklarının fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara doğru değişimi ile hızlanacaktır. Mevcut taşıt üretim altyapısı, servis ağı, yakıt pili seri üretim alt yapısı, yakıtın üretim ve depolanmasının yaygınlaştırılması gibi problemler yakıt pilli elektrikli taşıtların kullanımını geciktirmektedir. Elektrikli taşıtların, klasik taşıtlara göre daha yüksek verime ve düşük emisyona sahip olmaları sebebiyle tercih edilmektedir. Buna mukabil elektrik kaynağı olarak bataryaların kullanılması taşıt menzilini sınırlamaktadır.

Yakıt pili teknolojisi yakıtı kimyasal enerjisini direk olarak elektrik enerjisine dönüştürerek, klasik İYM ‘lardaki gibi sürekli enerji üretebilir nitelik kazanırlar. Elektrikli araçlarda yakıt pilinin kullanılması ile elektrikli araçlar uzun dönemde tercih edilir olacaklardır.

19. yüzyılda İYM’ların keşfi ve otomotiv sektöründe kullanılması ile bu sektör yaklaşık 100 yüz yıldır sürekli gelişim halindedir. Ülkemiz bu sektörde teknoloji ve üretimde söz sahibi olamamıştır. Fakat 20.Yüzyılın sonlarında büyük bir hızla gelişim gösteren elektrikli taşıt ve yakıt pili teknolojisini üretebilecek düzeyde geliştirmek zorundadır. Bu sebeple üniversitelerimiz, araştırma merkezlerimiz ve sanayicilerimiz bu konularda bilgi birikimini sağlamalı ve üretim aşamasına gelmelidir. Aksi takdirde 21. Yüzyılda ön plana geçeceği kesin olarak gözüken bu teknoloji, geçmişte olduğu gibi Ülkemizi bu teknolojiyi üreten ülkelere tekrar 100 yıl

daha bağımlı hale getirecektir.

Bu teknolojiye ulaşmanın üniversiteler boyutu olan araştırmalardan birisi, enerji üretimi için yakıt pilinin geliştirilmesi, diğeri ise yakıt pili tarafından üretilen elektriğin otomobil sektöründe veya diğer sektörlerde kullanılmasıdır.
Elektrik enerjisinin otomotiv sektöründe kullanılmasının ilk aşaması elektrikli taşıtın tasarım ve simülasyondan oluşmaktadır.

Ancak mevcut altyapı ve alışkanlıklar çerçevesinde yakıt pilli araçlara geçiş 2010'lu yıllara değin düşük bir ivme ile seyredecektir. Yakıt pilleri yakıtın kimyasal enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Klasik İYM teknolojilerine göre daha yüksek verim ve önemli miktarda düşük emisyon üretirler. Ayrıca daha sessiz çalışırlar ve modüler yapıdadırlar. Son yıllarda çeşitli prototip uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Elektrikli araçlarda enerji kaynağı olarak sadece bataryaların kullanılması durumunda araç menzili depolanmış enerji miktarı ile sınırlıdır. Yakıt pillerinin kullanımı, elektrikli araçları menzil açısından klasik araçlar ile rekabet edebilir duruma getirecektir.

Daha uzun dönemlerde yakıt pillerinin özellikle araç uygulamalarında daha da yaygın olarak kullanılabileceği öngörülmektedir [1].

Elektrikli araç teknolojisi geliştikçe talebin artacağı ve maliyetin düşeceği açıktır. Bu durum tümü elektrikli araçların tüketiciler tarafından kabulünü hızlandıracaktır.

Mevcut klasik taşıtlarda İYM' dan gelen hareket mekanik tahrik sistemi ile tekerleklere iletilmektedir. Elektrikli taşıtlarda tekerleklerde döndürme kuvveti oluşturmak için elektrik enerjisinin mekanik enerjiye çevrilerek tekerleklere iletimi, elektrik motoru ile gerçekleşmektedir. Her iki sistemde de tekerlek tahrik gücü ile İYM gücü veya elektrik motoru gücü arasında bir örtüşme sağlanarak taşıtın hareket ettirilmesi gerçekleştirilmektedir. Elektrikli taşıtlarda gerekli tahrik gücünü gerçekleştirmek için elektrik motoru karakteristik performans eğrisi ile taşıt tahrik

gücünün taşıt hareketine bağımlı güç eğrisinin simule edilerek çözümü gereklidir.

Elektrik enerjisinin otomotiv sektöründe kullanılmasının ilk aşaması elektrikli taşıtın tasarım ve simülasyonundan oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı gelecekte ulaşım ve taşımacılıkta ilk sırada yer alması muhtemel elektrikli taşıtların, literatür araştırılmasının yapılarak istenilen özelliklerdeki bir elektrikli taşıtın tasarımının ve simülasyonun kısa zamanda yapılmasını ve uygulamada kullanılabilirliğini sağlamaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölüm elektrikli taşıtların temel teorisini açıklamakta olup, günümüze kadar yapılan çalışmaları ve elektrikli taşıtların geleceğini ve dünyada elektrikli taşıt konseptinin hızla gelişimini özetlemektedir. Ayrıca elektrikli taşıtların yapım şekillerini sınıflandırma ve kullanılan teknolojiler hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Elektrikli araçların geçmişten günümüze kadarki gelişme aşamaları:

- 1800 Volta primer hücre ve bataryayı geliştirdi.
- 1834 Davenport primer bataryalı ilk elektrikli yol aracının uygulamasını yaptı.
- 1869 Gramme 1 BG' den daha fazla ilk DC elektrik motorunu yaptı.
- 1881 Trouve sekonder bataryalı ilk elektrikli aracı yaptı.
- 1898 Avrupa'da ve Amerika'da kullanılan EA'ların menzili geliştirildi.
- 1900–12 EA'ların altın dönemi yaşandı.
- 1921–60 Benzin motorlu araçlar tamamen yaygınlaşmaya EA'lar ise yok olmaya başladı.
- 1960–90 EA'lar çok az sayıda da olsa tekrar görünmeye başlandı.
- 1990 Yeni batarya teknolojileri ile artan sayıda elektrikli araç görülmeye başladı.
- 2000 Hibrid elektrikli araçlar trafikte.
- 2003 2800 adet eğitim amaçlı küçük yakıt pili sisteminin üretildiği ve 2010'lu yıllarda dünya üzerinde 100 000'den fazla yakıt pilli araç (Referans: US Freedom Car) üretileceği tahmini yapılmaktadır [9].
- 2007 Honda Civic Hibrid aracı Türkiye' de satışa sunuldu.
- 2008 Karsan ABD pazarı için 2009 yılından itibaren yılda 20 000 adet hibrid taksi üretecek.
- 2008 New York belediye başkanı 2008 den 2012 ye kadar şehirdeki taksilerin tamamının hibrid olması için karar aldı.

2.1. Elektrikli Araçların Çeşitleri ve Yapıları

Elektrikli araçlar;

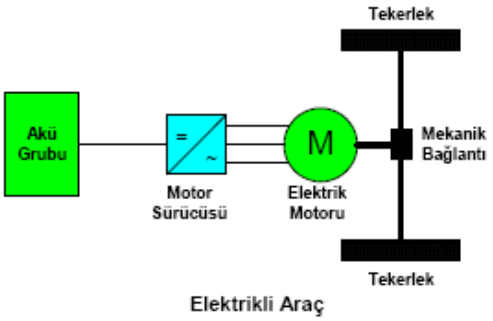
* Tümü-elektrikli araçlar,
* Hibrid elektrikli araçlar,
* Yakıt pilli araçlar olmak üzere üç gruba ayrılır.

2.1.1 Tümü Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar enerjiyi aldığı yere göre:
Enerjiyi doğrudan hattan alarak (tren, troleybüs, tramvay, metro gibi) çalışanlar,
Enerjiyi depolanmış bir sistemden kullanarak (bataryalı araçlar, ultrakapasitörlü araçlar gibi) çalışanlar,
Taşınabilir bir sistem anında enerjiyi üreterek (yakıt pilli araçlar, güneş pilli araçlar gibi) çalışanlar olmak üzere gruplandırılır.

Tümü elektrikli araçlarda tekerlek elektrik motoru tarafından tahrik edilmektedir. Elektrikli araçta yüksek miktarda itme kuvvetinin sağlanabilmesi için, gerektiğinde birden fazla elektrik motorunun kullanıldığı çeşitli uygulamalarda görülür. Elektrik motorunun dönmesi için gerekli olan elektrik enerjisi bataryalardan elde edilmektedir. Tümü elektrikli araçlarda ana bataryaya ilave yardımcı güç kaynağı olarak ikinci bir batarya veya süperkapasitör kullanılmaktadır.

Tümü elektrikli araçlarda sadece elektrik motoru kullanılması sebebiyle bu araçlar sessiz çalışmaktadır. Rejenaratif frenleme sayesinde daha uzun fren ömrü vardır ve kinetik enerji geri kazanılarak elektrik motoru jeneratör gibi kullanılarak kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülmekte ve bataryaları besleyerek şarj etmektedir. Yakıt maliyeti de dahil olmak üzere bakım maliyeti klasik araçlara göre çok daha düşüktür. Taşıtın tahriki için transmisyon sistemi klasik araçlardan daha az olduğu için bunların bakımı az ve yağ değişikliğine gerek yoktur.

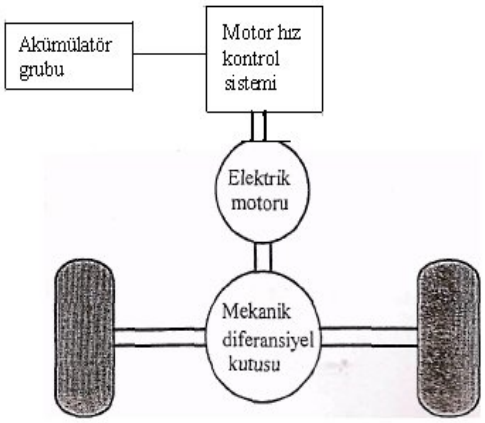


Şekil 2.1. Tümü elektrikli araç [1]

Tahrik Sistemlerine göre Tümü Elektrikli Taşıtlar

Akümülatör, Elektrik Motoru ve Diferansiyelden Oluşan Sistem:

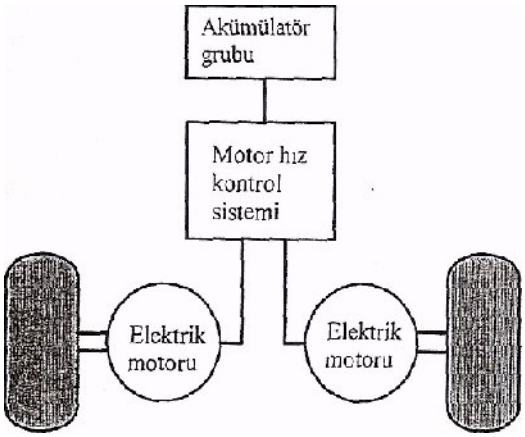
Bu sistem içten yanmalı motorlarda kullanılan klasik sistemdir. İçten yanmalı motor ve yakıt deposu, elektrik motoru ve bataryalar ile yer değiştirmiştir. Elektrik motoru hız kontrol sitemi ile kontrol edildiğinden vites kutusu kaldırılmıştır. Motor dönüş hareketini çekiş yapan tekerleklere iletmek amacı ile mekanik bir diferansiyel kullanılır [3].



Şekil 2. 2. Akü, elektrik motoru ve diferansiyelden oluşan sistem

Akümülatör ve İki veya Dört Elektrik Motoru Kullanılan Diferansiyelsiz Sistem

Bu sistemde çekiş yapan iki tekerlek (öndeki veya arkadaki çift) veya dört tekerlek bağımsız birer motor ile doğrudan tahrik edilmektedir. Motorlar için uygun kontrol kuralları belirlenerek aracın farklı yol şartlarında optimum çekiş sağlamasının yanında mekanik aktarma organlarının kullanılmamış olması verimi ve güvenilirliği arttırırken bakım ihtiyacını da azaltmaktadır. Sistemin blok şeması Şekil 2.3 de gösterilmiştir.



Şekil 2. 3. Akü ve iki elektrik motoru kullanılan diferansiyelsiz sistem

Tümü-elektrikli ve seri-hibrid sistemlerde araç tahriği için tekerlek içi motorların kullanımı son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Bu yapıda, iki veya dört adet tekerlek-motoru kullanılarak aracın hareketi için gereken tahrik gücü sağlanır. Bu durumda her motor için ayrı çevirici devre kullanılması gerekir. Tekerlek-içi motor kullanılan taşıt yapısında mekanik güç aktarım elemanına gerek duyulmaz. Dolayısıyla güç aktarım organlarında oluşan mekanik kayıpların önüne geçilmiş olur. Ayrıca yüksek güçlü ve büyük boyutlu tahrik motoru ortadan kalktığından dolayı, araç içinde kullanılabilir hacim artar. Alışılagelmiş iç rotorlu yapının haricinde, dış-rotorlu tekerlek içi motor yapıları da taşıt tahrik sistemlerinde kullanılmaktadır.

AC motorları, jant içerisine konulacak kadar küçük, hafif ve güçlü tasarlanabilir olduğundan araç diferansiyel kullanılmadan direk tahrik edilmektedir. Resim 2.1 de bu tip elektrik motorları görülmektedir


48V-350W-hub wheel motor

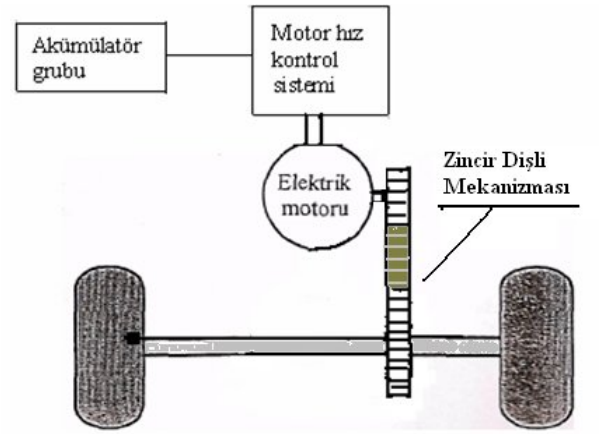

60v-1200w hub wheel motor,

Resim 2.1. Tekerlek jantı içerisinde elektrik motoru

Malzeme ve üretim teknolojisindeki gelişmelerle birlikte güç ve enerji yoğunlukları artan sürekli mıknatıs malzemeler, elektrik motorlarının yapısında uyartım sargısının yerini almaktadır. Uyartım sargısı ortadan kalktığından dolayı bunu beslemekte kullanılacak fırça ve kollektör düzenekleri de yoktur. Dolayısıyla çok uzun süre bakım ihtiyacı olmadan çalışabilirler. Bu motorlar diğer alternatiflerine göre daha hafif ve küçük boyutludur ve güç/ağırlık oranları yüksektir. Günümüzde özellikle tekerlek-içi tahrikli uygulamalarda kullanılmak üzere sürekli mıknatıslı motorlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Akümülatör, Elektrik Motoru, Zincir Dişli veya Kayış Kasnaktan Oluşan Sistem

Bu sistem genellikle daha küçük taşıtlarda ve sakat arabalarında yaygın olarak kullanılan bu sistem, diferansiyel yerine iki teker arasında bir dişli veya kasnak bulunur ve elektrik motorundan hareket tekerleklere zincir ve dişli ile veya kasnak kayış ile iletilir. Bunların sakıncalı tarafı virajlarda rahat dönüş olmayıp virajın geniş dönülmesidir.



Şekil 2.4. Akü, Elektrik Motoru, Dişli ve Zincirden oluşan sistem

Kullanılan Elektrik Motoruna Göre Tümü Elektrikli Taşıtlar

Üretim hattındaki tümü elektrikli araçların tahrik sisteminde çeşitli elektrik motorları kullanılmaktadır. Bazı elektrikli taşıt modellerinde kullanılan elektrik motoru çeşitleri çizelge 2.1 de görülmektedir.

Çizelge 2. 1. Elektrikli taşıt modellerinde kullanılan elektrik motoru çeşitleri [1]

Elektrik motoru tipi	Kullanıldığı elektrikli taşıtlara örnek
DC motor	Citroen AXSaxo, Peugeot 106 Electic, Lada Rapan
Fırçasız DC motor	Daimler Chrysler Zytek Smart EV
SM senkron motor	Dahatsu Hijet EV, Honda Ev Plus, Nissan Hypermini
Üç fazlı indüksiyon motor	Ford Think City, Fiat Seicento, GM EV1, Daimler Chrysler, Ford e-Ka
AC indüksiyon motor	Renault Clio Electric
AC motor	Mazda Road Ster EV

Tümü elektrikli araçların tarihsel gelişimi

İlk EA modeli 1835 yılında Profesör Stratingh tarafından Hollanda'da yapılmıştır.

1834–1836 yılları arasında Thomas Davenport tarafından ABD'de elektrikli yol aracının geliştirildiği ve uygulamasının yapıldığı raporlanmıştır. Bu araç üç tekerlekli olup şarj edilmeyen bataryalarla tahrik edilmiştir. 4 yıl sonra Robert Davidson şarj edilemeyen batarya ile tahrik edilen elektrikli lokomotifi geliştirmiştir.

1859 yılından sonra kurşun-asit bataryaları geliştirilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır.

19. yüzyılın son dönemlerine doğru Amerika, İngiltere ve Fransa'da birçok şirket elektrikli araç üretmeye başlamıştır. Bu üreticilerden en önemlisi Morris ve Salomon'un sahibi olduğu Electric Carriage and Wagon Company adlı şirkettir. Move Salomon 1895 yılında 2 oturma koltuğu olan Electrobats isimli elektrikli aracı geliştirmişlerdir [1].

1900-1912 arası dönemde menzil ve performansı arttırma düşüncesi oluşmaya başlamıştır. Bu amaçla 1900 yılında French Electroautomobile ve 1903 yılında Krieger elektrikli-benzinli araçları geliştirmiştir. Bu araçta elektrik motor, benzinli motor ile birlikte kullanılmış ve ilk defa hibrid konfigürasyonu denenmiştir.

1920'lerin ortasından itibaren 1960 lı yıllara dek İYM'lu araçlar tüm dünyada tamamen üstünlük kurmuştur 1960'lı yıllarda Elektrikli araçlara duyulan ilgi yeniden artmaya başlamıştır. İYM'lardan kaynaklanan hava kirliliği bu araçların üretimine geçiş düşüncesini oluşturmuş ve bazı küçük üreticiler hava kirliliğine karşı Elektrikli araçların üretimine geçmiştir. Üretilen çoğu elektrikli araçlar, klasik araçların elektrikli hale dönüştürülmüş şeklidir. Örneğin 1960'da Illinois'deki Eureka Williams Şirketi 4 kapılı Renault Dauphine'i elektrikli versiyona dönüştürmüştür.

1967 yılında ilk prototip yapılmış ve Comuta adı verilmiştir. Comuta her biri ön tekeri tahrik eden 2 tane DC motoruna sahiptir. Her motor 18 kg ağırlığında ve 14 cm çapındadır. Aracın gücü, toplam ağırlığı 170 kg olan 4 adet kurşun-asit bataryasından sağlanmaktadır. Araç 40 km/saat hız ile 64 km menzile sahip olup; azami hızı 64 km/h.

1970'lerin ortalarına doğru petrol krizi ile birlikte başta Amerika, İngiltere, Fransa, Almanya, İtalya ve Japonya gibi birçok ülke, elektrikli araç araştırmalarına tekrar hız vermişlerdir. Amerika'daki bazı küçük firmalar klasik araçları elektrikli hale dönüştürme çabalarına girmiştir. Avrupa'da 1970'li yıllar çok aktif bir

dönemdir. Almanya'da Daimler–Benz ve Volkswagen ise deneysel EA'lar yapmışlardır.

1975 yılında İtalya'da Fiat X1/23 B isimli deneysel bir prototip geliştirmiştir. Bu araç 2 kişilik olup kurşun-asit bataryalar ve DC elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Menzili 48 km ve azami hızı 64 km/h altındadır.

Japonya'da 1970'li yıllar boyunca Daihatsu, Toyota, Mazda ve Mitsubishi birlikte prototip Elektrikli araçlar üzerine çalışmışlardır. Bu çalışma için Japonya hükümeti 1971-1976 yılları arasında 20 milyon dolarlık destek sağlanmıştır. İlk araçlarda kurşun-asit bataryalarıyla birlikte DC tahriki kullanmıştır ve 1980'lerden itibaren AC tahrikinin kullanılmaya başlandığı görülmektedir.

1980 yılların ortalarında ABD Enerji bakanlığının sponsorluğu ile Ford/GE tarafından ETX-1 aracının geliştirilmesi sağlanmıştır. Bu araçta ileri AC tahrik sistemi kullanılmıştır. 200 V'luk kurşun-asit bataryaları, 300A AC güç üreten Darlington transistör bazlı evirici ile birlikte 37 kW'lık 2 kutuplu indüksiyon motorunu tahrik etmek için kullanılmıştır. 1988 yılında Ford ve GE birlikte ETX-1 isiml aracın AC tahrikli sistemini geliştirmiş ve sodyum-sülfür bataryaları kullanmışlardır. Temel olarak Ford Araştırma Laboratuarlarında geliştirilen evirici, senkron kalıcı manyetik motoru sürmektedir. Bu motor, 2 kademeli entegre dişli kutusu ile, taşıtın ön aksına monte edilmiştir. 160 km menzile sahip ve 96 km/h hızı olan ve sodyum-sülfür bataryaları da içeren 2 tane ETX-2 prototipi üretilmiştir. Aynı dönemde İtalya'da Fiat Panda Elettra modelinin dönüşümü olan elektrikli aracı geliştirmiştir.

1990 yılından sonra birçok araç üreticisi elektrikli araç geliştirmeye başlamıştır. Hali hazırda bulunan bazı EA'lara örnek olarak GM EV1, Ford Think City, Toyota RAV4, Nissan Hipermini ve Peugeot 106 Electric gösterilebilir. Bunlarla birlikte prototip ve deneysel amaçlı üretilmiş birçok elektrikli araç daha bulunmaktadır. Bu araçların çoğu AC indüksiyon motor veya sürekli mıknatıslı (SM) senkron motor kullanmışlardır.

1990'larda büyük araç üreticileri Tümü-EA'ların batarya ve menzil kısıtlarını

gidermek için hibrid elektrikli araç geliştirme çalışmalarına başlamışlardır. Özellikle Japon Toyota Prius, Honda Insight ve Nissan Tino modellerini geliştirmiştir [1].



Resim 2. 2. General Motors EV1 elektrikli araç

ABD'de 1996 yılında pazara sunulmuş olan EV1, şehir içi kullanımı için tasarlanmıştır. İki kişilik bu araç, çift hava yastığı, CD çalar, anti-lock frenleme sistemine sahiptir.Şekil 2.4 de görülen GM EV1, 530 kg ağırlığında ve 16,2 kWh depolama özelliğine sahip VRLA (Valf regulated lead acid) bataryalar ile donatılmıştır.Bataryaların araca toplam 145 km menzil sağlayabildiği belirtilmektedir.1998 yılında GM bir başka opsiyon olarak nikel- metal hidrür (NiMH) bataryaları kullanmıştır. Bu ileri batarya sisteminin aynı ağırlık ve boyuttaki VLRA bataryalarına kıyasla 2 kat daha fazla enerji depo ettiği belirtilmektedir. Geliştirme testleri ve deneyler boyunca EV1'in 600 km menzile kadar çıkabildiği ifade edilmektedir. NiMH bataryaları VLRA bataryalarından 4 kat daha pahalı olmasına rağmen, 4 kat daha uzun ömre sahiptirler. Tahrik sistemi için kullanılan üç fazlı AC asenkron motor, tekerleklere 102 kW güç verebilmektedir. Elektrik motoru aynı zamanda frenleme esnasında bataryaların rejeneratif olarak şarjı için generatör gibi görev yapmaktadır. Batarya ve motor sistemi, aynı zamanda batarya şarjını kontrol eden elektronik modül ile kontrol edilmektedir. Bataryalar 312-V civarındadır. EV1 klasik araçlara göre üretim amaçlı geliştirilmiş ilk elektrikli araç olması yanında aynı zamanda EA'ların normal üretim yöntemlerine göre üretildiğini göstermektedir [1, 21]



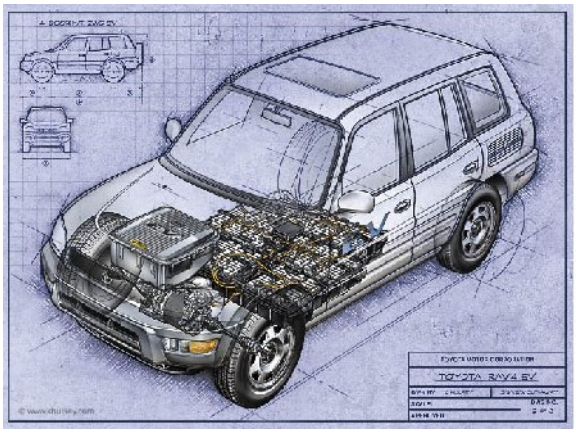
Resim 2. 3. Ford Think City elektrikli araç

Ford Think City, şehir içinde kullanıma uygun 2 kişilik küçük bir elektrikli araçtır. Think City elektrikli aracı 1999 yılı Kasım ayından beri üretimdedir. Bu araçta 3 fazlı AC asenkron motor kullanılmıştır ve gücü 27 kW civarındadır. 0'dan 50 km/h toplam 7 saniyede ulaşabilmektedir ve azami hızı 90 km/saattir. Güç nikel-kadmiyum bataryalardan elde edilmektedir [1, 21]



Resim 2. 4. Nissan Hypermini elektrikli araç

Nissan Hypermini 2 kişilik bir şehir içi ulaşım aracıdır. Saatte 100 km hız yapabilmektedir. Bu araçta 24 kW güç üreten azami torku 130 Nm ve azami hızı 6700 d/d olan SM senkron motor kullanılmaktadır. Motor arka tekerlekleri tahrik etmektedir. Motor, 90 Wh/kg enerji yoğunluğuna ve 15kWh enerji depolama kapasitesine sahip lityum-iyon bataryalardan güç almaktadır. Bu batarya normal kurşun asit bataryalara göre enerji depolamada üç kat ve nikel-kadmiyum bataryalara göre de iki kat daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir [1,14].



Resim 2. 5. Toyota RAV 4 EV

Toyota RAV 4 EV yukarıdaki araçlar arasında hem görüntü hem de konfor açısından klasik araçlara en yakın özellikteki araçtır. RAV 4 EV Japonya'da 1996 yılının Eylül ayında 45 000 ABD Doları civarında bir fiyatla otomotiv pazarında yerini almıştır. Bu araçta tahrik senkron (SM) motordan sağlanmaktadır ve 2 kademeli dişli kutusu bulunmaktadır. Bu motorun azami gücünün 50 kW, azami torkunun 190 Nm ve aracın azami hızının 125 km/saat olduğu ifade edilmektedir. Araçta, 450 kg ağırlığında ve 27 kWh enerji depolama kapasitesine sahip nikel-metal hidrür bataryaları kullanılmıştır. Aracın 200 km lik bir menzile sahiptir [1, 21].

Çizelge 2. 2. Üretilmiş tümü-elektrikli araçlar [21]

Üretici	Citroen	Daihatsu	Ford	GM	GM
Model ismi	AX/Saxo	Hijet EV	Think City	EV1	EV1
Tahrik tipi	DC Motor	PM Senkron	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon	3 fazlı indüksiyon
Batarya tipi	NiCd		NiCd	Pb-asit	NiMH
Max Güç (kW)	20		27	102	102
Gerilim (V)	120		114	312	343
Batarya enerji kap. (kWh)	12		11,5	16,2	26,4
Max.hız (km/h)	91	100	90	129	129
Menzil	80	100	85	95	130
Şarj süresi (saat)	7	7	5-8	6	6
Üretici	Honda	Nissan	Nissan	Peugeot	Renault
Model ismi	EV Plus	Hypermini	Altra EV	106 Electrik	Clio Electric
Tahrik tipi	PM senkron	PM senkron	PM senkron	DC motor	AC indüksiyon
Batarya tipi	NiMH	Li-iyon	Li-iyon	NiCd	NiCd
Max Güç (kW)	49	24	62	20	22
Gerilim (V)	288		345	120	114
Batarya enerji kapasite (kWh)		15	32	12	11,4
Max.hız (km/h)	129	100	130	90	95
Menzil	190	115	190	150	80
Şarj süresi (saat)	6-8	4	5	7-8	

2.1.2. Hibrid Elektrikli Araçlar

HEA'lar birden fazla güç kaynağına sahip araçlar olarak da adlandırılır. Temel olarak hibrid taşıtlar yakıt ile güç üreten bir güç kaynağı ve elektrik enerjisi depolayan bir depolama elemanı ile elektrik motorundan oluşmuştur. Tümü-elektrikli araçlara İYM eklenerek aracın menzili ve gücünün arttırılması sağlanmıştır. HEA'lar, klasik araca nazaran kirletici emisyonları azaltmakta ve yakıt ekonomisini arttırmaktadır.

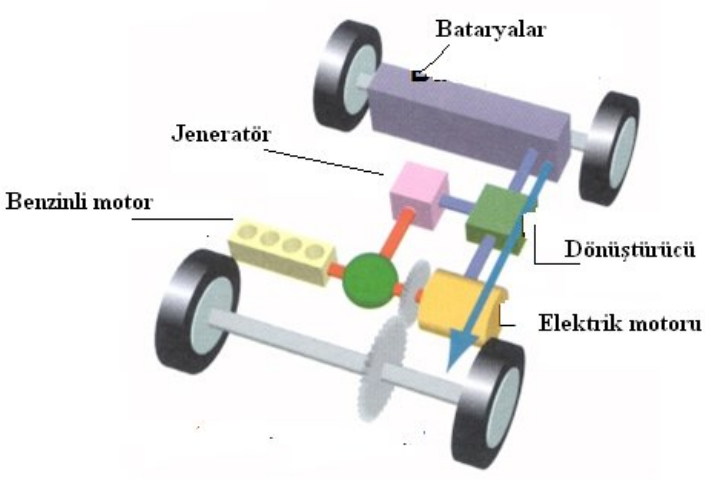
Seri sistemde, elektrik motoru taşıt tahrik mekanizması olup, içten yanmalı motor jeneratörü çalıştırarak elektrik enerjisi üretmekle görevlidir. Paralel sistemde ise motorlar, taşıtın mekanik güç hattına aynı anda ve sürekli olarak bağlıdırlar. Trafik durumu, bataryaların tamamen boşalması, veya yakıt tüketimi gibi durumlara göre biri veya diğeri taşıtı hareket ettirmektedir.

Hibrid araçlar araç durduğunda İYM çalışmaz ve titreşim veya motor gürültüsü oluşmaz. HEA'ların boşta çalışma kayıpları yok denecek kadar düşüktür.

Enerji depolama için başlıca seçenekler bataryalar, süperkapasitörler ve volanlardır. Bataryalar kullanılan en yaygın enerji depolama sistem olmasına rağmen, diğer enerji depolama alanlarında da araştırmalar devam etmektedir. Hibrid güç ünitesi olarak da otto motorlar, dizel motorlar, gaz türbinleri kullanılmaktadır. İtici kuvvet ise seri hibrid sisteminde olduğu gibi elektrik motorundan, ya da paralel hibrid de olduğu gibi elektrik motoruna ek olarak İYM'undan sağlanabilmektedir. Çünkü paralel hibrid sistemde İYM, itici gücü mekaniksel olarak tekerlere vermektedir.

Hibrid elektrikli aracın alt elemanları şunlardır:

İçten yanmalı motor, transmisyon, elektrik motoru, güç elektroniği, yakıt tankı, bataryalar.



Resim 2. 6. Hibrid elektrikli araç

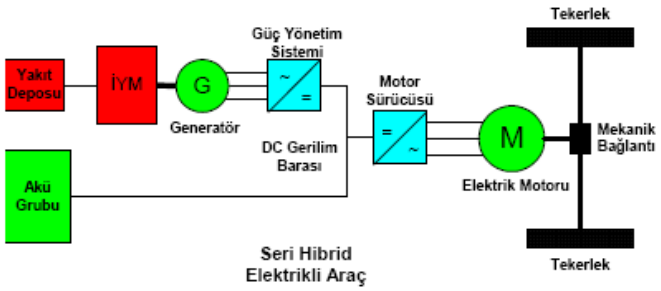
Tahrik Sistemlerine Göre Hibrid Elektrikli Araçlar

Seri Tahrik Sistemi (Seri Hibrid)

Bir seri HEA'da tekerleklere iletilen tahrik gücü elektrik motorundan sağlanmaktadır. Burada elektrik motoru, tahrik amacıyla elektriksel gücü mekanik güce dönüştürmektedir. Motor için gerekli elektriksel, güç elektrik enerjisini depolama aygıtlarından ya da hibrid güç ünitesinden sağlanmaktadır. Hibrid güç ünitesi İYM ve jeneratörden oluşmaktadır [1].

İçten yanmalı motor yakıtın kimyasal enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmekte ve mekanik enerji jeneratörde elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Mekaniksel üretilen elektrik gücü bataryadan gelen güçle beraber elektronik kontrolörde birleşir. Bu kontrolör daha sonra sürücü isteğini tekerlek hızı ve ana tahrik motorundan elde edilen moment ile her enerji kaynağından ne kadar güç kullanacağını sürücünün isteğine göre belirler. Kontrolör aynı zamanda güç elektroniğini İçten yanmalı motor -jeneratörü sürücü fren yapmak istediğinde rejeneratif mod için açar kapatır ve gücü bataryaları şarj edecek şekilde yönlendirir. Böylelikle jeneratörde üretilmiş olan elektrik enerjisi aynı zamanda bataryaları şarj etmek için de kullanılmış olur. Yani araç çalışırken bataryalar hem içten yanmalı motor -jeneratör grubu tarafından hem

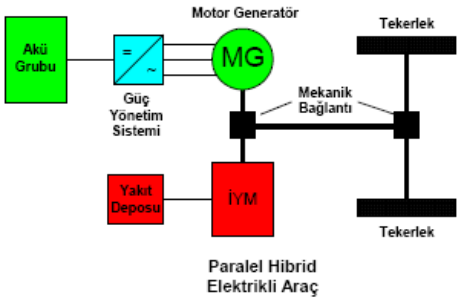
de rejeneratif frenleme ile şarj edilir. Aynı zamanda şarj cihazları ile özellikle geceleri yaklaşık 5-8 saat içinde şarj edilir [1-21].



Şekil 2. 5. Seri hibrid elektrikli araç [1].

Paralel Tahrik Sistemi (Paralel Hibrid)

Paralel hibrid elektrikli araçta, İYM ve elektrik motorunun aynı mil üzerinde tekerleklere doğrudan mekanik bağlantı ile tahrik vermektedir. Paralel tahrik sistemleri mekanik olarak seri hibrid sistemlere göre daha karmaşıktır. Paralel hibrid araçlara örnek olarak, Honda Insight ve Honda Civic verilebilir. Paralel tahrikli taşıtlarda klasik taşıtlara göre daha küçük İYM kullanılır. Toplam güç ihtiyacı, çalışma verimine bağlı olarak kontrolör hangi kaynaktan ne kadar güç çekeceğini belirler.



Şekil 2. 6. Paralel hibrid elektrikli araç [1].

Seri / Paralel Tahrik Sistemi (Seri/Paralel Hibrid)

Bu seri/paralel tasarım, paralel sisteme benzemektedir. Burada İYM direkt olarak tekerleklere bağlıdır. Tasarımın özelliği İYM'nin transmisyon ile bağlı olmayıp seri tahrik sisteminde olduğu gibi generatör ile bağlı olmasıdır. Düşük hızlarda araç seri hibrid sistemde olduğu gibi çalışmaktadır. Yüksek hızlarda ise İYM devreye girerek tekerleklere güç verir ve seri tahrikteki gereksiz enerji dönüşümleri ile kaybedilen enerji en düşük seviyeye indirilir.

Toyota Prius'da bu sistem kullanılmıştır. Burada amaç hem paralel hem de seri sistemin avantajlarını kullanarak İYM'nin en verimli noktada çalışmasını sağlamaktır.

Kullanılan Elektrik Motoruna Göre Hibrid Elektrikli Motorlar

Çizelge 2. 3. Üretilmiş hibrid elektrikli araçlar [1].

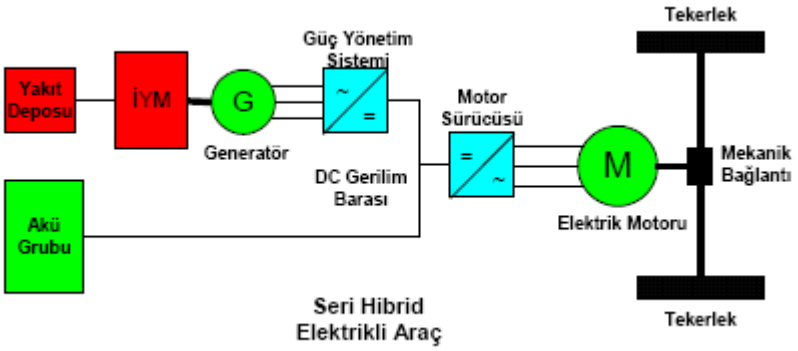
Üretici	Honda	Toyota	Nissan
Model ismi	Insight	Prius	Tino
Hibrid tipi	Paralel	Paralel	
İYM	Benzinli	Benzinli	Benzinli
Motor Hacmi (cc)	995	1500	1800
Azami güç (kW) (İYM)	50	43	
Elektrikli Tahrik	SM fırçasız DC	SM senkron AC	SM senkron AC
Azami güç (kW) (elektrikli tahrik)	10	30	17
Batarya tipi	NiMH	NiMH	Li-Iyon
Sistem voltajı (V)	144	288	
Batarya enerji kapasitesi (kWh)	0.94	1.9	
Batarya şarj metodu	rejeneratif frenleme	rejeneratif frenleme	
Hız (km/saat)	180	160	
Ort. yakıt tüketimi (litre/100km)	3.4	3.45	

Çizelge 2.3 de üretim hattındaki hibrid elektrikli araçlarla prototip amaçlı geliştirilmiş hibrid elektrikli araçlar incelendiğinde Honda Insight araçta senkron fırçasız DC motor, Toyota Prius ve Nissan Tino araçlarında senkron AC motor, BMW 518 hybrid, Daimler Chrysler ESX3, Fiat Multipla araçlarında 3 fazlı indüksiyon elektrik motorları, Ford Escape HEV, Nissan neo hibrid araçlarda SM elektrikli motor kullanıldığı görülmektedir.

Hibrid Elektrikli Araçların Tarihsel Gelişimi

1902 de istenildiğinde benzinli istenildiğinde elektrik motoruyla ilerleyebilen ilk aracı *Ferdinand Porsche* yapmıştır. Hibrid taşıtların yaklaşık 10 yıl içerisinde, buji ile ateşlemeli taşıtların yerini alacağı düşünülmektedir. Toyota Prius modeli, Honda Insight ve Honda Civic Hybrid ile devam eden serileri hibrid otomobillere örnek olarak verilebilir.

TÜBİTAK-MAM ELİT-1 Elektrikli Taşıt projesinde, TOFAŞ üretimi olan DOBLO marka taşıtı hibrid elektrikli taşıta dönüştürerek Türkiye'nin ilk hibrid elektrikli taşıt prototipini geliştirmiştir. Şehir içi sürüş modunda, elektrik motoru, sadece bataryalar tarafından sürülerek sessiz ve emisyonsuz bir sürüş imkanı yaratmaktadır. Aynı zamanda, günümüz araçlarında frenleme sırasında kaybolan enerji, ELİT–1 hibrid elektrikli taşıttaki elektrik motorunun rejeneratif frenleme yapması sayesinde geri kazanılarak akülerde depolanmaktadır. Bir başka önemli özelliği de şehir içindeki trafik sıkışıklıklarında bekleme anında, İYM motorunun çalışmasına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu özellikler, taşıtta enerji tasarrufu sağlamakta ve taşıtın verimliliğini arttırmaktadır [1].



Şekil 2. 7. Tofaş-Fiat Doblo Seri Hibrid elektrikli araç [1].

Toyota Prius'un hibrid teknolojisinde benzinli ve elektrikli motorlar uyum içinde çalışmaktadır. Ayrıca frenleme sırasında, rejeneratif enerji devreye girerek aküleri şarj etmektedir. Planet dişli sistemi kullanarak güç paylaşımı sağlayan bir transmisyon sistemi vardır. 30 kW SM senkron AC elektrik motoru ile 43 kW güçlü benzinli motora sahip Toyota Prius, şehir içerisinde düşük hızlarda elektrik enerjisiyle hareket etmektedir.12,5 saniyede 0'dan 100 km/s hıza ulaşan araç 1 litre benzinle 35,5 km yol alıyor. Yakıt tüketimi ise 100 km'de 2,8 litredir.



Resim 2. 7. Honda Civic hibrid araç [5]

Honda'nın aralık ayında Türkiye'de satışına başladığı hibrid araç 1.4 lt benzinli motora sahip. Ayrıca 400 cc güce eşdeğer kilowat güç üreten elektrikli ikinci bir motora daha sahip. Böylece araç 1,8 lt motorlu bir aracın güç ve performansını, çok daha düşük yakıt tüketimiyle sunabilmektedir.

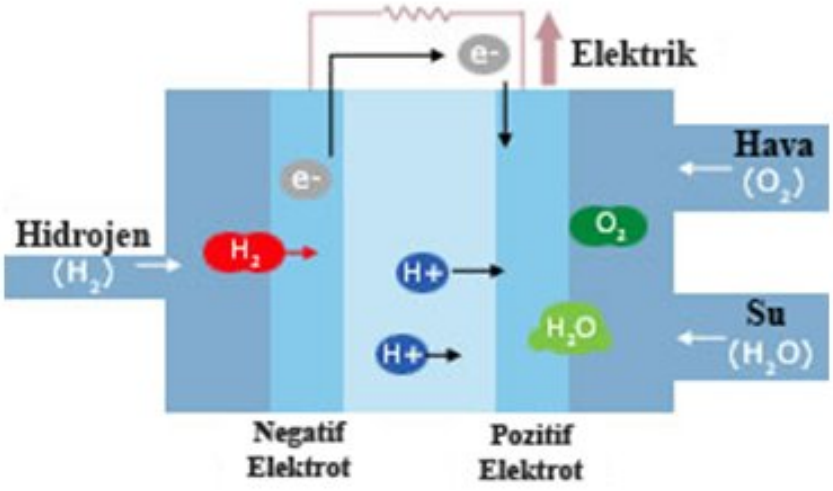
1400 cc benzinli motorlu ve 158 volt DC elektrikli bu taşıtın özellikleri:
Düşük hızlarda sadece elektrik motor desteği ile çalışan hibrid, yüksek hızlarda da düşük hız supap zamanlamasında çalışarak yakıt tüketimini minimuma indirmektedir. Elektrik motoru benzinli motora destek olarak, trafik ışıklarında veya sıkışıklığında benzinli motoru otomatik olarak devre dışı bırakıyor ve yakıt tüketimini sıfır olmaktadır. Böylece egzozdan çevreye hiçbir zararlı gaz yayılmamaktadır [5].

Birçok otomobil firması hibrid otomobiller üzerine çalışmalarına devam etmektedir Volkswagen ve Audi firmaları ortak hibrid taşıt teknolojisi geliştirme çalışmalarına devam etmektedir. BMW de General Motors ve Daimler Chrysler ile hibrid motorlar konusunda ortak işbirliği yapmaktadırlar.

2.1.3. Yakıt Pilli Elektrikli Araçlar

Yakıt pili dışarıdan yakıt ve oksijenin beslenmesi ile direkt olarak kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine sürekli olarak dönüştürebilen elektrokimyasal bir aygıttır. Çeşitli tipte yakıt pilleri üretilmektedir. Üretilen polimer elektron membran (pem), alkalin, fosforik asit, erimiş karbonat ve katı oksit yakıt pilleri içinde pem yakıt pilli taşıtlar için en uygun yakıt pili olarak önerilmektedir. Pem yakıt pili taşıtlar için yüksek güç yoğunluğu, düşük çalışma sıcaklığı (60-110 ^{0}C) ve polimer elektrolit kullanılması dolayısı ile titreşim ve darbelere karşı dayanıklı olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Otomotiv araştırmaları polimer elektrolitli yakıt pili üzerine odaklanmıştır. Bu yakıt pilinde her iki tarafına bağlı elektronlar olan polimer elektrolit ince bir zar tabakası bulunmaktadır. Bu ince zar tabakası-elektrot düzeneği H_2 ve O_2 için geçitler oluşturan seperatörler arasında sıkıştırılır. Bunun gibi tek bir hücrenin üretimi bir voltu geçmediğinden (0,7 volt), voltajın yükseltilmesi için yüzlerce hücre birbirine seri olarak bağlanır [18].

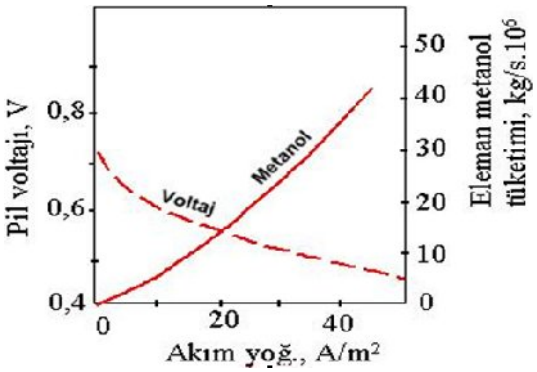


Şekil 2. 8. Yakıt pili [18]

Bir yakıt pilli EA; yakıt depolama sistemi, yakıt pili-kontrol ünitesi, güç işlemci ünitesi- kontrolü ve tahrik sisteminden oluşmaktadır. Yakıt depolama sisteminde depolanan hidrojen direkt olarak veya fosil kökenli yakıtların, yakıt işleme sürecine tabi tutulması ile elde edilen hidrojen yakıt piline beslenir. Yakıt pili ve elektrik motoru arasındaki güç elektroniği devresi, gerilim değerinin yükseltilmesi amacı ile için DC motorlarda DC/DC çeviricisine, AC motoru için DC/AC eviricisine, kontrol için mikroişlemci/dijital sinyal işlemcisine, aşırı yükleme şartları ve rejeneratif frenleme için batarya depolama sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt pilli elektrikli bir araçta batarya yerine süperkapasitörler kullanılmaktadır. Fakat mevcut teknoloji daha iyi süperkapasitörlerin bataryaların yerini alabilmesi için maliyet ve güvenilirlik açısından geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır [1].

Yakıt pili kullanan ve araştırma amacıyla imal edilen ilk taşıt, yakıt pili ve batarya kullanan bir taşıttır. Yakıt pili ile batarya birbirine paralel bağlanmıştır. Yakıt pili, kararlı sürüş güç kaynağı ve batarya şarjı için kullanılırken; batarya, ilk hareket ve hızlanma için geçici olarak ilave güç sağlamaktadır. Bataryadan olabilecek ters akım, bir diyotla önlenmektedir. Fosforik asit (H_3PO_4) elektrolitli yakıt pili, günümüzde teknolojik olarak en fazla geliştirilmiş olan yakıt pili olarak tanımlanmıştır. Pilin, çevre havasını kullanabildiği ve bazı ilave elemanlarla, metanol gibi yakıtlardan hidrojen elde ederek kullandığı, yakıt akışının, selenoid uyartımlı üç valf ile yakıt pili

akımına bağımlı olarak kontrol edildiği bildirilmiştir. 15 kW gücündeki böyle bir pilin akım voltaj grafiği Şekil 2.9 'de verilmiştir. Pilin ağırlığının 237 kg, hacminin 0,25 m^3 olduğu, atmosferik basınçta ve 177 °C çalışma sıcaklığında, 87 voltta 181 amper verdiği, pilin güç düzeyinin, eleman sayısı veya aktif yüzey alanı ile değiştirilebildiği ifade edilmiştir [8].



Şekil 2. 9. 15 kW'lık yakıt pilinin metanol ve voltaj değişimi grafikleri [8]

Ulaşım sektöründe, yakıt pili ile çalışan araçların geliştirilmesi, petrol tüketimini azaltacağı gibi, araçlardan kaynaklanan hava kirliliğini de minimum düzeye indirecektir. Yakıt pilli otobüs üretimini gerçekleştiren Kanada'nın Ballard Şirketinin yanı sıra, General Motors, Ford, Chrysler, Toyota, Honda, BMW, Renault yakıt pilleri ile çalışan otomobilleri ticari anlamda üretmek çabasındadırlar. 1993'ten bu yana çok sayıda prototip araç üretilmiştir. Alman Daimler Chrysler'in ürettiği, yakıt pilini Ballard'dan sağladığı, NECAR4 (sıvı hidrojenle çalışır) ve metanol dönüştürücülü NECAR5, General Motors'un Opel, "Zafira" adı verilen ve 75 kW' lık Ballard "tescilli" yakıt pili taşıyan aracı, Ford tarafından üretilen "Think FC5"ler, Toyota'nın RAV-4 ve Fine-N'i, Nissan Renessa ve Mitsubishi, Daihatsu, Honda ve Mazda ortaklığı Demio FCEV, Renault'un 30 kW Nora cell kullanan Lagunası prototiplere birer örnektir [7].



Resim 2. 8. Zafira yakıt pilli otomobil

Günümüz şartlarında fosil yakıtı kaynaklarının yetersizliği ve alternatif yakıt olarak hidrojenin bu yakıtların yerini alacağı araştırmacılar tarafından sürekli olarak vurgulanmaktadır. Hidrojenin enerji üretiminde kullanımında İYM ve yakıt pilinden yüksek verimi nedeni ve çevre duyarlılığı sebebiyle yakıt pilinin tercihi kesin olarak görülmektedir. Bununla beraber yakıt pilinde üretilen elektrik enerjisi taşıtın yürütülebilmesi için tahrik gücüne çevrilmek zorundadır. Bu sebeple taşıtlarda elektrikli bir tahrik sisteminin tasarlanmasına ve uygulanmasına gerek vardır. Yakıt pilli bir taşıtın üretimi, daha önce geliştirilmiş bir İYM'a sahip hibrid taşıtın dönüşümü ile sağlanabilir [24,25].

Yakıt pilli taşıtta hibrid taşıtta olduğu gibi ilk anda taşıta ivme kazandırmak için bir elektrik deposuna ihtiyaç vardır. Çünkü yakıt pilli araç çalışır çalışmaz taşıtın yeterli ivmeye ulaşması için gerekli enerjiyi sağlaması mümkün olmaz. Bunun yanında yeniden şarj edilebilir olmadığı içinde yakıt pili tarafından üretilen fazla enerjinin veya regeneratif frenleme sisteminin ürettiği enerjinin depolanması için enerji depolama sistemine ihtiyaç vardır [26].

Yukarıda yapılan literatuar araştırması hibrid bir taşıtın üretilmesi ve yakıt pilli bir taşıta dönüştürülmesi için temel üç eleman üzerinde yoğunlaşmanın gerektiği görülmektedir. Taşıtın ilk anda ivme kazanabilmesi için yeterli güç yakıt pili tarafından karşılanamamakta ve enerji deposuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun belirlenmesi için ivmelenme esnasında taşıtın ihtiyacı olan gücün hesabı gerekir.

İvmelenme için gerekli olan güç hesabından sonra sabit hızla taşıtın gerekli gücünün hesabı da yapılarak taşıt menzili için güç ihtiyacının tanımlanması gerekir.

Ge1elecekte yakıt pilleri EA'larda ana enerji kaynağı olarak yaygın olarak kullanılacaktır. Son dönemlerde araç üreticileri tarafından özellikle yakıt pili ve yakıt dönüştürücünün boyutlarının küçültülmesi için çalışmalar yürütülmektedir. Bunun yanında yakıt pillerinin seri üretim araçlarda uygulanmasına kadar geçen sürede güvenirlik, stabilite, çeşitli iklim ve yol şartlarına uyum, güvenlik, bakım gibi konularda ayrıntılı çalışmalara henüz başlanmıştır. Yakıt pilli seri üretim araçlarının önümüzdeki on yıl içerisinde piyasada görüleceği düşünülmektedir [1].

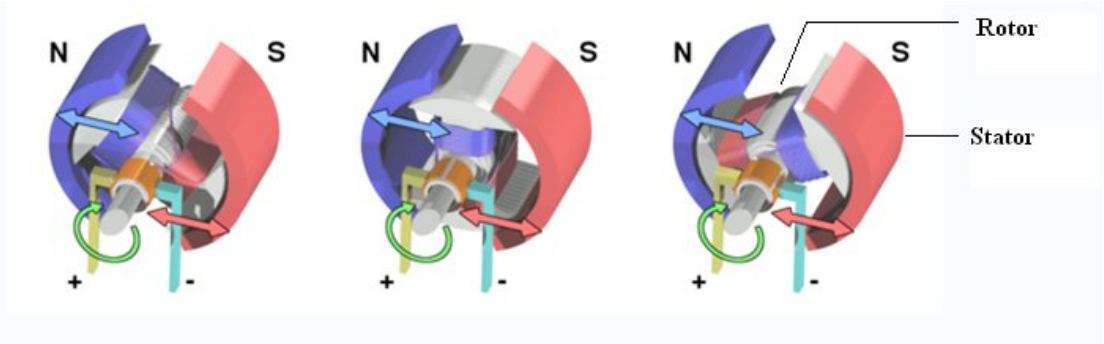


Resim 2. 9. Yakıt pili ile güçlendirilmiş iki otomobil (Ford ve Necar 4)

Yakıt pilli taşıtlar doğrudan enerji dönüşümlüdür ve enerji dönüşümü için hareketli parçaları yoktur. Dolayısı ile kayıplar ve gürültü azdır. Enerji kullanımı ve emisyon yayınımı çok düşüktür. Bu gün için pazara giriş maliyetleri yüksek ve teknik problemleri tamamen çözülmüş değildir. Yakıt pili teknolojisinde, günümüzdeki çalışmalar; maliyetin ve ağırlığın/hacmin düşürülmesi ve güvenliğin arttırılması yönünde devam etmektedir. Firmaların önemli bir kısmı da, yakıt pilli sistemlerin, içten yanmalı motor sistemleri ile aynı birim fiyata gelmesine çalışmaktadırlar. Otomotiv için PEM yakıt pillerinin en iyi çözüm olduğunda görüş birliği sağlanmıştır. Gerek binek gerekse ticari araçlar için yakıt pili sistemleri geliştirilmekte ve üretilmektedir. Günümüzde; ABD, Japonya ve Avrupa'da 5. jenerasyon prototip yakıt pilli araçlar dolaşmaktadır/test edilmektedir. Daimler Chrysler, Ford ve Honda bu yıl itibarı ile ticari araçlara sahip olmuşlardır. 30 adet Mercedes-Benz Citaro otobüs 10 farklı Avrupa şehrinde kullanıma girmiştir [16].

2.2 Elektrikli Araçlarda Kullanılan Motor Çeşitleri

Her elektrik motoru biri sabit (Stator) ve diğeri dönen (Rotor ya da Endüvi) iki ana parçadan oluşur.



Şekil 2. 10. Elektrik motorları iç devresi

Elektrikli otomobillerde kullanılan motorlar dört temel grupta toplanabilir. Bunlar doğru akım motorları, asenkron motorlar, sabit mıknatıslı senkron motorlar (veya fırçasız doğru akım motorları) ve anahtarlamalı relüktans motorlarıdır.

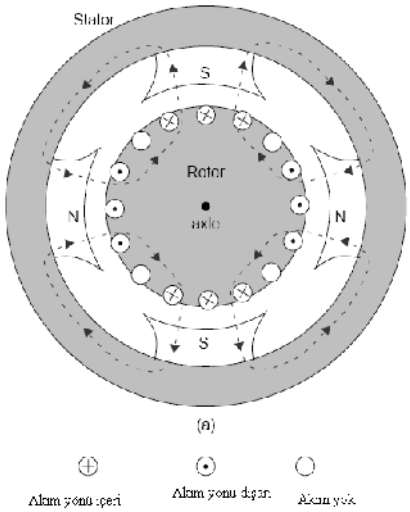
2.2.1. Doğru Akım Motorları

DC motorlar, bir manyetik alan içerisinde bulunan bir iletkenden akım geçirilmesi sonucunda, o iletkene kuvvet etki etmesi prensibi ile çalışır.DC motorların ana parçaları:uyartım (alan) kutbu, endüvi, kolektör ve fırçalardır. Alan kutbu, makine içinde ana manyetik akıyı üretir. Kutup, sabit olarak makine dış gövdesinin iç kısmına yerleştirilmiş çıkıntılı kutuplu elektromıknatıstır. Alan sargıları kutuplar üzerine sarılır ve DA uyartım akımını taşırlar. Bazı makinelerde manyetik akı sürekli mıknatıslarla sağlanır. Endüvi ise manyetik kuvvet çizgileri içerisinde dönerek hareket eden, elektrik enerjisinin veya mekanik enerjinin elde edildiği silindirik kısımdır. Endüvide elde edilen gerilimi dış devreye veya elektrik enerjisini endüviye

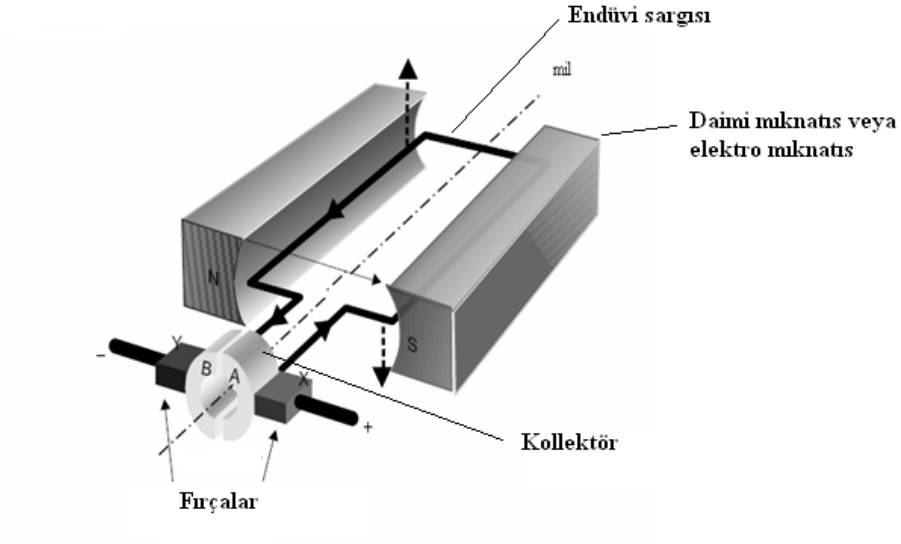
ileten birbirinden ve gövdeden yalıtılmış, bakır dilimler topluluğuna "kollektör" denir[10].

İmalat esnasında gereksinim duyulan düşük hızlarda (ilk kalkış, ayar gibi) dahi sabit moment ve yüksek verim DC Motorlar tarafından sağlanabilmektedir Yük değişimlerinde tako jeneratör geri beslemesi sayesinde devirlerde daha da yüksek hassasiyet sağlanabilir. Bu sayede sabit hat hızları elde edilmiş olur.

Doğru akım motorları, değişken kolay hız değiştirme özelliklerine sahip olduğundan hızın kontrol edilmesi istenen yerlerde kullanılırlar. Yüksek yol alma momenti sağladığından, hız kontrolü geniş aralıklarda yapılır. Diğerlerine göre daha pahalı olmasına karşılık, hız kontrolü alternatif akım motorlarına göre daha kolay ve daha ucuzdur. Bu nedenle ilk elektrikli araç hız kontrolü uygulamalarında doğru akım motorları basit gerilim bölücü sistemlerle beraber kullanılmışlardır. Buna karşılık fırça-kollektör düzeninin periyodik olarak bakım gerektirmesi ve yüksek hızlarda süratle aşınması temel dezavantajını teşkil eder [6,17].



Şekil 2. 11. DC motor iç devre şeması



Şekil 2. 12. Doğru akım motoru çalışma prensibi şeması

Bir taşıtın sürüş performansı genellikle onun hızlanma süresi, maksimum hızı ve tırmanma kabiliyeti ile değerlendirilir. Elektrikli taşıtlarda hareket için gerekli tasarım uygun motor gücü ve transmisyon oranı performans özelliklerinin karşılanması için ilk düşünülmesi gereken parametrelerdir. Tüm bu parametrelerin tasarımı en fazla hız- güç ve tork karakteristiklerine bağlıdır.

Elektrik motorlarında endüvi çevresinde meydana gelen kuvvet F (N), endüvi yarıçapı r (m) ise endüvide meydana gelen tork :

$$T = F.r \ \text{(N.m)} \tag{2.1}$$

Endüvinin bir devrinde F kuvvetinin yapacağı iş:

$$W = 2\pi.r.F = 2\pi.T \ \text{(N.m)} \tag{2.2}$$

n (d/d) ile dönen bir elektrik motorunun gücü:

$$P = \frac{2\pi.T.n}{60} \ \text{(watt)} \ = \frac{T.n}{9549} \ \text{(kW) olarak bulunur.} \tag{2.3}$$

Açısal hız.

$\omega = \frac{2\pi.n}{60}$ olduğundan, (2.4)

$P = T.\omega$ (watt) (2.5)

olmaktadır.

Değişken hızlı elektrik motorları genelde şekil 2.13 de görülen karakteristiklere sahiptir. Düşük hız bölgesinde (kritik hızdan daha düşük hızlarda), motor sabit bir torka sahiptir. Hız yükseldikçe motor torkunun düştüğü görülmektedir. Motor gücü ise kritik hıza kadar düzgün orantılı olarak artmaktadır. Yüksek hız bölgesinde (kritik hızdan daha yüksek hızlarda), motor sabit bir güce eşittir. Diyagramda da görüldüğü gibi motor momentinin düşmeye başladığı, motor gücünde artışın sona erdiği hıza kritik hız denmektedir.

Elektrik motorunda iletken uzunluğu l (metre), iletkenden geçen akım I (Amper), manyetik yoğunluk miktarı B (Wb/m^2), ise rotoru döndüren kuvvet etkisi :

$F = B.L.I$ (2.6)

Endüvi (rotor) yarıçapı r_e , endüvi dönüş sayısı n alındığında motor torku

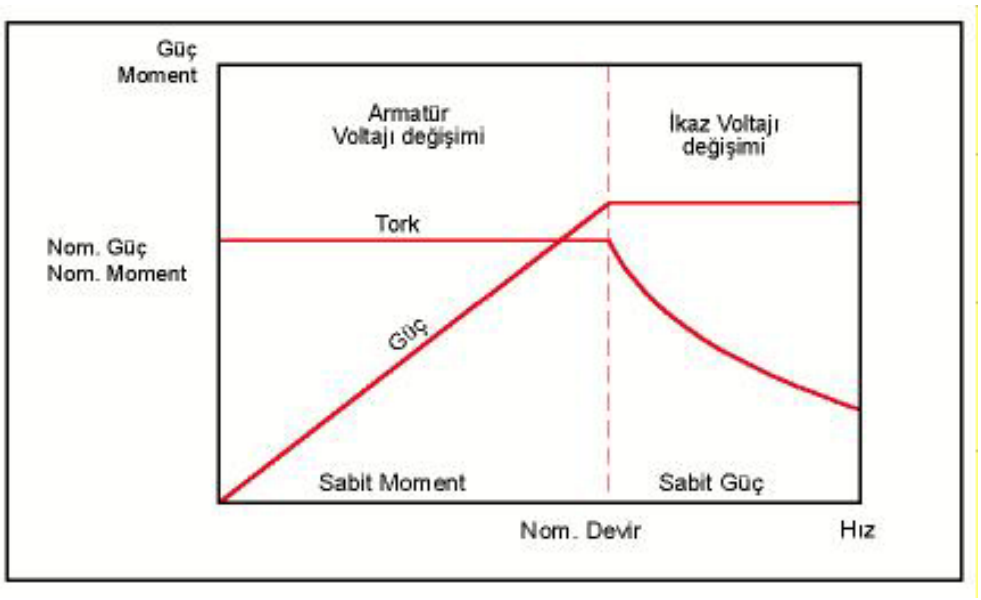
$T = 2n.r_e.B.I.L$ (2.7)

Manyetik akı

$\phi = 2.B.L.r_e$

Eş. 2.2 de yerine konduğunda motor torku

$$T = n.\phi.I \tag{2.8}$$



Şekil 2.13. Elektrik motoru hız karakteristikleri [17]

Motorun mekanik parametrelerini (kutup sayısı gibi) bir tek K_m motor sabiti parametresi içinde ifade edersek motor torku (2.4) deki şekilde ifade edilebilir[6].

$$T = K_m.\phi.I \tag{2.9}$$

E_b Elektrik motorunun çalışma gerilimi, R_a endüvi sargılarının direnci, E_s (Z.E.M.K) Üretecin uçlarında alıcı yokken ölçülen gerilim değeri,

$$E_b = B.L.v \tag{2.10}$$

ω açısal hız ve hız $v_m = r_e.\omega$ olarak tanımlanırsa, endüvinin iki tarafı için

$E_b = 2B.L.r_e.\omega$ Bulunur.

Eş. 2.9 daki ifadeye benzer üretilen ZEMK terimi yeniden düzenlenirse,

$E_b = K_m.\phi.w$ ifadesi elde edililir. (2.11)

Açısal hız

$$\omega = \frac{E}{K_m.\phi.} = \frac{2\pi.n}{60} \quad \text{rad.s}^{-1} \tag{2.12}$$

$$n = \frac{60.E}{2\pi.K_m.\phi} \quad \text{bulunur.} \tag{2.13}$$

Buradan motor devir sayısıdır (d/d).

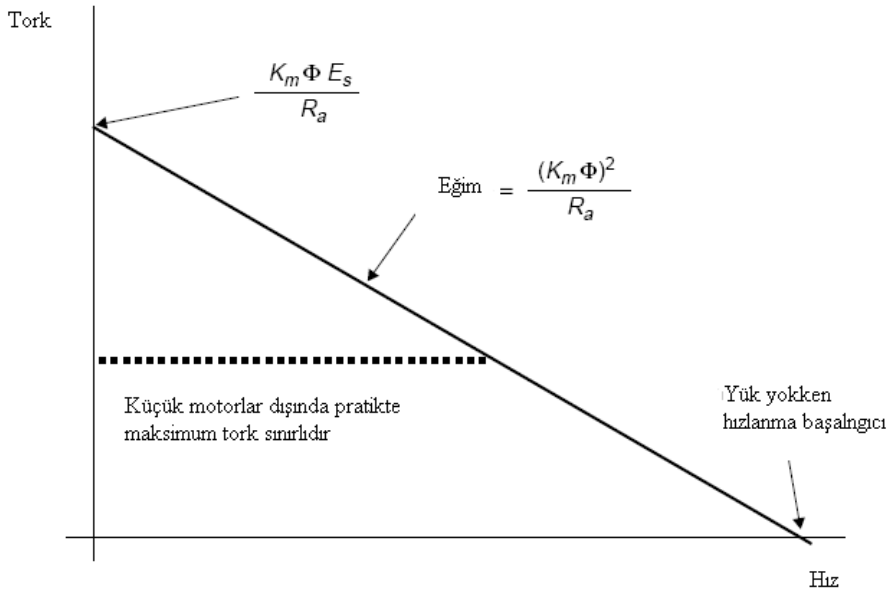
Sargılardan geçen akım,

$$I = \frac{V}{R_a} = \frac{E_s - E_b}{R_a} = \frac{E_s}{R_a} - \frac{K_m.\phi}{R_a}.\omega \tag{2.14}$$

Eş.2.14 de elde edilen I akım ifadesi Eş.2.9 da yerine konursa,
belirli devirde bu motorun torku,

$$T = \frac{K_m.\phi.E_s}{R_a} - \frac{(K_m.\phi)^2}{R_a}.\omega \tag{2.15}$$

elde edilir [23].



Şekil 2.14. Fırçalı DC motorun Tork Hız grafiği [23]

2.2.2. Asenkron Motorlar

ASM motorlar, endüstride en fazla kullanılan elektrik makineleridir. Çalışma ilkesi bakımından asenkron motorlara endüksiyon motorları da denir. ASM'ların çalışmaları sırasında elektrik arkı meydana gelmez. Ayrıca diğer elektrik makinelerine göre daha ucuzlardır ve bakıma daha az ihtiyaç gösterirler. Bu özellikler, asenkron motorların endüstride en çok kullanılan motorlar olmalarına sebep olmuştur. Asenkron makineler endüstride genellikle motor olarak çalıştırılırlar, fakat belirli koşulların sağlanması durumunda generatör olarak da çalıştırılabilirler. Asenkron makineleri senkron makinelerden ayran en büyük özellik, dönme hızının sabit olmayışıdır. Bu hız motor olarak çalışmada senkron hızdan küçüktür. Makinenin asenkron olusu bu özelliğinden ileri gelmektedir [11].

Aynı kutuplar birbirini iter, zıt kutuplar birbirini çeker. Dışta AC gerilimin uygulandığı stator sargıları, içte ise akım taşıyan iletkenlerin bulunduğu rotordan oluşur. Stator sargısına uygulanan 3 fazlı AC gerilim döner manyetik alan oluşturur. Manyetik alan içerisindeki döner rotor sargılarından akım geçirilir.

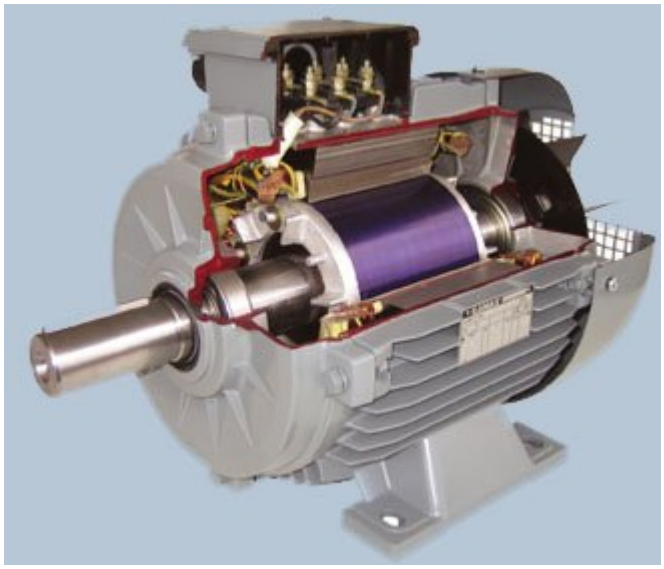
Bu manyetik alan etkisi ve rotordaki manyetik alan etkisi rotorda dönme hareketi meydana getirir.

ASM basit ve sağlam yapısı nedeniyle endüstride olduğu gibi EA'larda da en çok tercih edilen motor türüdür. Tek ve üçlü fazlı olarak üretilebilmekle beraber, yüksek güç gerektiren elektrikli araç uygulamalarında üç fazlı asenkron motor kullanılmaktadır.

Asenkron motorun iki türü bulunmaktadır:

* Kısa devre kafesli asenkron motor
* Bilezikli asenkron (rotoru sargılı) motor

Kafesli asenkron makineler ise daha ucuz ve sağlamdır. Ancak değişken hızlı uygulamalarda kullanılabilmeleri için gereken kontrol sistemlerinin oldukça karmaşık ve pahalı olmaları nedeniyle uzun bir süre özellikle sabit hızlı uygulamalarda tercih edilmişlerdir. Güç elektroniği ve mikro işlemcilerdeki gelişmeler paralelinde alternatif akım sürücü sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bir doğru akım makinesinin aksine alternatif akım makineleri karmaşık bir elektromagnetik yapıya sahiptir. Bu yapıda birçok karşıt endüktans yer almakta ve motorun toplu parametrelerine ilişkin bağıntılar nonlineer nitelik taşımaktadır. Bu nedenle karmaşık kontrol algoritmaları ve hızlı gerçek zaman işaret işleme sistemlerine gerek duyulmaktadır. Son 30 yılda güç elektroniği, mikroelektronik ve mikrobilgisayar alanlarında yapılan araştırma ve yatırımlar sonucu fiyat ve kontrol performansları tatmin edici bir düzeye ulaşmış ve farklı uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bütün gelişmelere rağmen bazı uygulamalarda kafesli asenkron makinenin kalkınma ve düşük devir sayılarındaki moment yetersizliği hala sorun teşkil etmektedir. Kafesli asenkron makinelerin elektrikli taşıt uygulamalarında yer almaları ise 1980'lerin ortalarına doğru başlamıştır [2].



Resim 2. 10. Asenkron motoru kesit resmi

Elektrikli araç uygulamalarında sağlam yapısı nedeniyle kısa devre kafesli asenkron motorlar tercih edilmektedir. EA'larda ağırlık ve boyut olarak avantajları nedeni ile DC/AC eviricisi ile birlikte AC senkron motor kullanımı artmaktadır.

2.2.3. Daimi Mıknatıslı Motorlar

Manyetik alan yaratmak için uyarma sargılarının yerine mıknatıs kullanılan motorlardır. Bu yöntem, rotor bakır kayıplarını ve uyarma devresi bakım gereksinimini ortadan kaldırır.

Sürekli mıknatıslı motorlar (SM) genellikle 2 gruba ayrılırlar:
**SM Senkron makineler*: Bu makineler, asenkron makinelerdeki gibi düzenli olarak dönen stator alanına sahiptir.

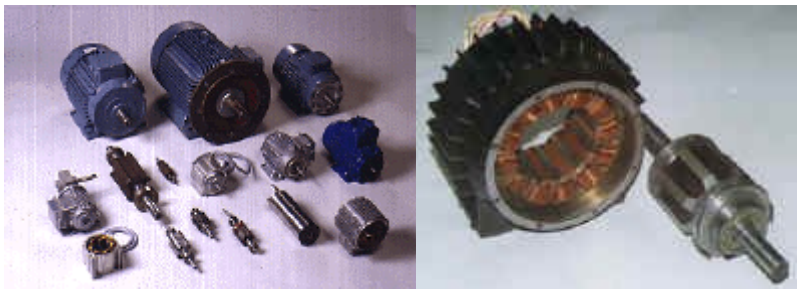
**Kare Dalga SM makineler*: Fırçasız DC makine olarak da adlandırılırlar. Stator sargıları ayrık zamanlarda kare dalga ile beslenirler. Son yıllarda sabit mıknatıslı senkron makinelerde (SMSM) dikkat çekici bir gelişim görülmektedir. Bu makinenin özel bir türü aynı zamanda fırçasız doğru akım makinesi (FDAM) veya elektronik kollektörlü doğru akım makinesi olarak da anılmaktadır. Sıradan bir senkron motora göre avantajı, alan sargısının, uyarma kasnağının ve fırça-bilezik düzeninin

bulunmamasıdır. Bunun sonucu olarak daha basit bir yapıya, daha düşük kayıplara sahiptir ve her devir sayısı ve yüklenme durumunda yüksek bir verimle çalışmaktadır. Tüm kontrol işlemleri stator büyüklükleri değiştirilerek yapılabilmektedir. Güç/ağırlık oranı büyük olan bu makineler seçilen kontrol kural ve yöntemine göre bir doğru akım makinesi veya bir senkron makine gibi davranabilmektedir. SMSM (veya FDAM) rotor tarafından uyarma alanı kontrolü yapmaya olanak sağlamamaktadır. Ayrıca sabit mıknatıs malzemelerin fiyatlarının yüksek, mekanik dayanımının düşük olması, aşın ters mıknatıslanma ve ısınma ile magnetik özelliklerinin bozulması bu motorların zayıf yönlerini oluşturmaktadır [2].

Son yıllarda özellikle daha düşük maliyetli, hafif, az yer kaplayan ve verimli elektrik motorlarının geliştirilmesi amacıyla çalışmalar yürütülmektedir.
Önümüzdeki 10 yıl içersinde EA'lar için tüm kriterleri sağlayan elektrik motorlarının tasarlanması beklenmektedir. Sürekli mıknatıslı motorları, maliyetindeki beklenen düşüşler, yüksek manyetik performans, sıcaklık dayanımı, ve korozyona karşı dirençleri dolayısı ile gelecekte tercih edileceği düşünülmektedir.

2.2.4. Anahtarlamalı Relüktans Motorları (ARM)

ARM son 10 yıldır düşük ve orta güçlü tahrik sistemlerinde ilgi çekmeye ve kullanılmaya başlamıştır. Hem statorunda hem de rotorunda çıkıntılar (kutuplar) bulunan anahtarlamalı relüktans makinesi, ucuz, basit ve imalatı kolay bir makinedir. Rotoru yalıtılmış saç paketi kullanılarak yapılmıştır ve herhangi bir sargı veya mıknatıs içermemektedir. Stator kutupları üzerinde ise basit bir şekilde sarılmış olan stator sargılan yer almaktadır. Stator sargılarından akan akımlar rotor pozisyonuna bağlı olarak uygun zamanlarda anahtarlanarak sürekli bir dönme hareketi ve döndürme momenti elde edilmektedir. Bu momentin ani değeri rotor pozisyonuna ve stator akımına bağlı olarak doğrusal olmayan bir biçimde değişmektedir. Anahtarlamalı relüktans motorunun kontrol teknolojisi, gürültü ve titreşim sorunları halen birçok araştırmacı tarafından incelenmektedir [1,2].



Resim 2. 11. Anahtarlamalı relüktans motorları

ARM basit ve dayanaklı yapısı, ucuz imalatı, düşük ataleti, yüksek hızı ve verimi ile değişken hız uygulamalarında, diğer motorlar arasında güçlü bir aday haline gelmiştir. Uygulama alanları arasında, ofis araçları, uzay araçları, elektrikli otomobiller, radarlar, madencilik teknolojileri, otomatik kapı sistemleri, su pompaları ve elektrikli ev cihazları sayılabilir. ARM' lerin en önemli karakteristik özelliği, rotor pozisyonu ve akım genliğine bağlı olarak manyetik devresinin doğrusal olmayan yapıda olmasıdır [11].

2.3. Enerji Depolama Sistemleri

2.3.1. Bataryalar

Bataryalar temel prensip olarak pillerle aynı grup içindedirler. Ancak genelde pillerdeki kimyasal reaksiyon tersinir olmadığından şarj edilemezler ve bu yüzden bir defa kullanılırlar. Bataryalarda ise meydana gelen kimyasal reaksiyon tersinir olduğundan birçok defa şarj ve deşarj olabilirler. Bataryalar şarj olurken dışarıdan verilen elektrik enerjisini içyapı değişimiyle kimyasal enerji olarak depolarlar. İstendiği zamanda kimyasal yapı değişikliği tersine dönerek bataryadan elektrik enerjisi alınmaya başlanır [15].

Elektrikli araçlarda elektrik motoru tarafından mekanik enerjiye dönüştürülen elektrik enerjisi genellikle bataryalardan yada yakıt pillerinden kimyasal dönüşüm yoluyla elde edilir. Elektrikli araç çalışmaları başladığından bu yana bataryalar en

uygun enerji kaynağı olarak düşünülmektedir. Bu nedenle ticari olarak uygun görülen elektrikli araç, hibrid elektrikli araçlarda ve yakıt pilli elektrikli araçlarda elektrik enerji deposu olarak bataryalar kullanılmaktadır[22].

Elektrikli araç uygulamalarında kullanılan en önemli şarj olabilir bataryalar;

• Kurşun-asit
• Nikel-kadmiyum
• Nikel-metal hidrür
• Lityum-iyon
• Lityum-polimer
• Sodyum-sülfür (NaS)
• Çinko-hava bataryalarıdır.

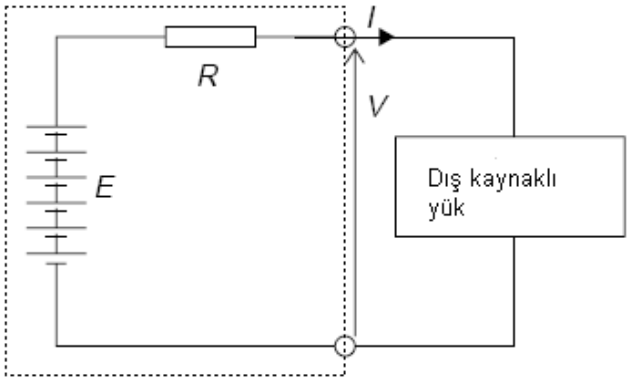
Bazı bataryaların özgül enerjileri Çizelge 2.4 verilmektedir.

Çizelge 2. 4. Bataryaların özgül enerjileri [21]

Batarya	Özgül Enerji (Wh/kg)	
	Teorik	Pratik
Pb-asit	108	50
NiCd		20–30
NiZn		90
NiFe		60
NiCl		90
AgZn	500	100
NaS	770	150–300

Devrede elektrikli alıcı çalışırken bataryanın iç direncide dikkate alınmaktadır ve çalışma gerilimi:

$V = E - IR$ ile ifade edilmektedir. (2.16)



Şekil 2. 15. Bataryanın eşdeğer devre modeli [23]

Enerji depolama kapasitesi bakımından kurşun asit bataryalara nazaran iki kat yüksek NiMH veya üç kat yüksek lityum-iyon bataryaları hızla gelişmektedir. Yüksek sıcaklık bataryalarının (sodyum-sülfür, sodyum-nikel klorür, lityum-demir sülfit), enerji depolama kabiliyetleri yüksek olmasına rağmen, karmaşık yapısı ve yüksek çalışma sıcaklığı (300-450^{O}C) nedeni ile kullanılması zordur.

NiMH bataryaları nispeten daha az performansa sahip nikel kadmiyum bataryalarının yerini almaktadır. Bu bataryalar kısa ve orta vadede elektrikli araç uygulamalarında büyük oranda kullanılacaktır. Bu süre sonunda endüstrinin lityum-iyon bataryaları kullanıma alması beklenmektedir.

Lityum iyon bataryalar, maliyet ve stabilite açısından istenilen seviyeye ulaştıklarında rakipsiz kalacaklardır. Kullanım kolaylığı ve ömürleri ile yüksek hücre voltajı (3.6 V), enerji yoğunluğu (100–125 Wh/kg) ve hacimsel yoğunluğu birlikte değerlendirildiğinde çeşitli tasarım problemlerine anahtar olacaktır.

Kullanılan batarya türlerine baktığımızda elektrikli taşıtlarda en çok; NiCd, NiMH (Nikel-metal hidrür), Li-iyon (lityum-iyon) batarya kullanılmaktadır. Şarj süreleri 4-8 saat kadardır.

Elektrikli taşıtın alabileceği yol mesafesi batarya üzerinde depolanan enerji miktarına bağlıdır. Bataryalar ünitesinde daha büyük boyutta bataryalar kullanılarak

veya taşıttaki batarya sayısı arttırılarak depolanan elektrik enerjisi miktarı arttırılabilir. Fakat batarya sayısının arttırılması hem taşıt ağırlığını arttırır hem de bataryalar tarafından işgal edilen hacmi büyütür. Bundan dolayı elektrikli taşıtlarda sınırlı sayıda batarya kullanılabilmektedir [22].

Batarya Kapasitesi

Bir bataryanı kapasitesi, ondan alınan amper saat olarak elektrik miktarını ve Watt-saat olarak elektrik enerjisini ifade eder. Bir batarya elemanından alınabilecek elektrik miktarı; imalatta kullanılan aktif maddenin kalitesine, miktarına, plakaya tespit tarzına ve gözenekliliğine, kullanılan elektrolitin yoğunluğuna, sıcaklığına ve viskozitesine, deşarj akımının değerine bağlı olarak değişir. Aktif maddenin asitle temasını kolaylaştırmak için plakalar ince yapılır (1,8-2,5mm) ve böylece temas yüzeyi arttırılır. Bir elemandaki aktif madde miktarını arttırmak için ise kutup başına bağlanan plaka sayısı artırılır. Kullanılan elektrolitin yoğunluğu, eleman voltajına ve kapasitesine önemli ölçüde etki eder. Çünkü yoğunluk plaka gerilimine tesir eder ve yoğunluk arttıkça gerilim yükselir [15].

Bataryanın enerjisi kapasite ve deşarj gerilimi ile ölçülür. Enerjinin belirlenebilmesi için kapasite coulomb cinsinden ifade edilmelidir. Burada 1Ah=3600 C olmakta ve gerilim değeri 1C yükü negatif elektrottan pozitif elektrota transfer edebilmek için gerekli işi belirtir. Negatif elektrot tarafından üretilen ve pozitif elektrot tarafından alınan serbest yük miktarına batarya kapasitesi adı verilmektedir. Kapasite Amper-saat (1 Ah=3600C, Coulomb, olup 1C, 1 amper tarafından 1 saniyede transfer edilen yük miktarıdır) olarak ölçülmektedir [21].

Bu nedenle, 12 V geriliminde, 100 A kapasitesinde olan bir bataryada depolanan enerji $(12).(3{,}6.10^{5})$ J = 4,32 MJ olmaktadır.
Genel olarak teorik depolanan enerji;

$$E_T = V_{bat}.Q_r \tag{2.17}$$

V_{bat}: Nominal yüksüz batarya terminal gerilimi

Q_T: C olarak teorik kapasite

Çizelge 2. 5. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların özellikleri [21]

Batarya Tipi	Özgül Enerji (Wh/kg)	Özgül Güç (W/kg)	Enerji verimi %	Çevrim ömrü	Tahmin edilen Maliyet ($/kWh)
Pb-asit	35–50	150–400	80	500–1000	100–150
NiCd	30–50	100–150	75	1000–2000	250–300
NiMH	60–80	200–300	70	1000–2000	200–350
Al-hava	200–300	100	< 50	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Zn-hava	100–220	30–80	60	500	90–120
NaS	150–240	230	85	1000	200–350
NaNiCl	90–120	130–160	80	1000	150
Li-polimer	150-200	350	Bilinmiyor	1000	150
Li-iyon	80–130	200–300	> 95	1000	200

2.3.2 Volanlar

Volan veya yeni kullanılan adıyla magneto-dinamik enerji depolama (MDS) sistemi, mekanik enerjiyi depo eden bir kinetik enerji depolama ünitesidir. Volanlar, döner bir ağırlık sayesinde kinetik enerjiyi depo eder. Volanlar elektrikli araçlarda primer enerji kaynağı olarak kimyasal bataryaların yerine veya bataryalarla birlikte de kullanılabilir. Volanların elektrikli/hibrid elektrikli araçlarda enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için özgül enerjisinin yüksek olması gerekmektedir [1, 21].

Volan tasarımında enerji yoğunluğu çok önemlidir. Volanlarda depolanan enerji U eşitliği yardımıyla hesaplanır.

$$U = \frac{1}{2} J.w^2 \tag{2.18}$$

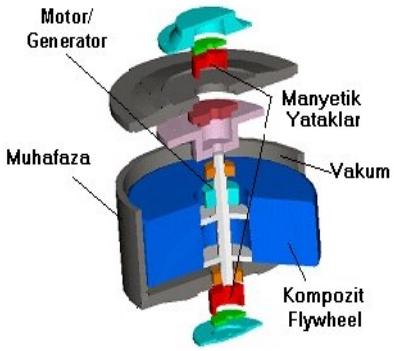
Burada J atalet momenti, w ise açısal hızdır.

Formülden görüleceği üzere, depolanan enerji atalet momenti ile direk, açısal hızın ise karesiyle doğru orantılı olarak artar. Atalet veya açısal hız artırılarak depolanan enerji artırılmış olur. Ancak ataletin artırılması demek dönen kütlenin artması demek olup, bu da karşı konulamaz atalet kuvvetleri ve sistem ağırlığının artması anlamına geleceğinden, volanın dönüş açısal hızını artırmak daha mantıklıdır [21].

Volanlar, yüksek ivmelenme gibi ani güç gerektiren araç özelliklerinin geliştirilmesine oldukça uygundur. Yüksek güç yoğunluğuna nazaran enerji yoğunlukları oldukça düşüktür. Volanlar, dönme hızlarının 50 000 l/min gibi yüksek değerlere ulaşması ile yüksek enerji depolama kabiliyetine ulaşırlar. Klasik malzemeler, bu hızlarda ortaya çıkan gerilmelere dayanım gösterememektedir. Bu nedenle karbon fiber malzemelerin volanlarda uygulanmasına yönelik birçok çalışma yürütülmektedir. Bunun yanında dönme hızlarını tasarım şekli, yatakların sürtünmesi ve hava direnci sınırlamaktadır. Otobüs ve kamyon gibi araçlarda yüksek rejenaratif güçlerin depolanmasında ve bataryaların zayıf güç yoğunlunu geliştirmek amacı ile kullanımı öngörülmektedir.

Özellikle Almanya'da Magnet Motor ve Hollanda'da CCM HEA'larda kullanılmak üzere volan enerji depolama sistemini geliştirmiştir. Özellikle Magnet-Motor firmasının ürettiği volanlar 1988'den beri Avrupa'nın çeşitli başkentlerinde dizel elektrikli troleybüs vb. araçlarda güvenle kullanılmaktadır. CCM volanları kompozit malzemelerden üretilmiştir. Volan vakum altındaki koruma haznesi içerisinde 15 000 l/min ile dönmektedir. Enerji depolama verimi yaklaşık %93'dür. Motor volan ile birlikte dönmektedir.

Şekil 2.16 da volanın yapısı ve şekil 2.17'de CCM firmasının EMAFER adını verdikleri volan sisteminin şematik resimleri görülmektedir.



Şekil 2. 16. Volanın yapısı [1]



Şekil 2.17. EMAFER adı verilen volan sistemi [1]

2.3.3. Süperkapasitörler

Kapasitörler enerjiyi eşit pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo eden cihazlardır. Kapasitör iki tane basit plaka olarak adlandırılan iletkenle bunları ayıran ve dielektrik olarak adlandırılan yalıtkandan oluşmaktadır. Klasik kapasitörlerin güç yoğunlukları çok yüksektir ($\sim 10^{12}$ W/m^3) fakat enerji yoğunlukları çok düşüktür (~50Wh/m^3). Bu klasik kapasitörler genellikle elektrolitik kapasitörler olarak adlandırılırlar. Kapasitörler yalıtkan malzemenin dielektrik katsayısı ile orantılı ve iki iletken arasındaki boşlukla ters orantılı olan kapasite olarak ifade edilirler. Depolanan yük miktarı yani enerji miktarı plakaların alanına ve aralarındaki mesafeye bağlıdır. Yüksek kapasite için alan büyük ve plakaların arasındaki boşluk az olmalıdır [1, 21].

Ultrakapasitörler, klasik kapasitörlerden, çok daha yüksek miktarda enerji depolayabilme özelliğine sahiptir. Ultrakapasitörler, günümüzdeki pazarda mevcuttur, düşük veya yüksek enerjide serbest bırakılan enerji, kapasite sınırları 2,700 farad'a kadardır. Kapasitörler aynı zamanda bataryalar gibi kullanılabilirler. Bununla birlikte, ultrakapasitörler, bataryadan, 10-20 kez daha fazla güç verebilirler. Üretimden itibaren kullanımı boyunca bakım gerektirmezler, milyonlarca kez devir kapasitesine sahiptirler.

Süperkapasitörler ivmelenme ve yokuş çıkma gibi ani güç gereksinmelerinde

bataryalara ya da yakıt piline yardımcı enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Süperkapasitörler yüksek güç yoğunlukları ile volanlara benzer uygulamalara adaydır. Ancak uygulama kolaylığı ve yüksek güvenirliliklerinin yanında maliyetleri nedeni ile seri üretim araçlarında henüz kullanılmamaktadır. Bunun yanında önümüzdeki 5 yıl içerisinde süperkapasitörlerin uygun maliyette geliştirileceği ve volanlara karşı büyük üstünlük sağlayacağı düşünülmektedir.

2.3.4. Süper İletken Manyetik Enerji Depolama Sistemi

Diğer bir elektrik enerji depolama sistemi süper iletken manyetik enerji depolama sistemidir. Süper iletkenlik, bazı malzemelerin hiç bir direnç göstermeksizin elektrik akımını iletmesine verilen addır. Bütün süper iletkenler bu özelliklerini düşük sıcaklıklarda kazanıyorlar. Bir süper iletken ısıtıldığında belli bir kritik sıcaklıkta direnci olan normal bir metale dönüşüyor [16].

Bu sistem kriyojenik soğutma işlemine tabi tutulan bir süper iletkenden direk akım geçirilmesi ile manyetik alan oluşturulması prensibine dayanmaktadır. Kriyojenik soğutma ortamında süper iletkenden yapılmış bir bobinde manyetik enerji depolanabilmektedir.

Aşırı ve hızlı bir şekilde soğutulan metallerin çoğu elektriğe karşı dirençlerini tümüyle yitirmektedir. Soğutulmuş ortamda belirli zaman aralığında direnç ihmal edilecek düzeye düşmekte ve minimum kayıpla enerji depolanmaktadır. Ancak elektrik enerjisinin bu depolama şekli hibrid araçlar için şu anda geçerli olmayabilir. Fakat sabit tesis sistemlerinde kullanılabilmektedir.

3. TAŞIT TASARIMINDA KULLANILAN SİMÜLASYON PROGRAMLARI

Elektrikli veya hibrid taşıt teknolojileri klasik taşıt teknolojilerine göre daha karmaşıktır. Bu araçların tasarımı diğerlerinden daha fazla emek ve süre gerektirmektedir. Günümüzde taşıt tasarım ve simülasyonları için bilgisayar teknolojisinin kullanımı kaçınılmaz hale gelmiş ve son yıllarda özellikle HEV teknolojileri için çok sayıda program geliştirilmiştir. Bu programların kullanımları ile her türlü taşıtın farklı koşullarda analizi gerçeğe çok yakın sonuçlar vermektedir.
Farklı sistemler kullanan araçların yakıt ekonomileri, emisyonları, ivmelenme ve yokuş çıkabilme kabiliyetleri ve diğer özellikleri karşılaştırılabilmektedir.
Literatürde adı geçen çeşitli elektrikli araç yazılım programları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıda özet olarak verilmiştir.

3.1. ADVISOR

ADVISOR (Advanced Vehicle Simulation). 1994 yılında NREL (National Renawable Energy Laboratory) tarafından geliştirilmeye başlanmıştır. Bu program, A.B.D. Enerji Bakanlığı (DOE) hibrid EA'lar için teknoloji geliştirmek üzere Ford, General Motors ve Daimler Chrysler ileolan Hibrid Elektrikli Araç Tahrik Sistemleri anlaşması çerçevesinde tasarlanmıştır. Birincil görevi, hibrid elektrikli ve elektrikli araç elemanlarının sistem düzeyinde etkileşimlerini incelemek ve onların araç performansı ile yakıt tüketimine olan etkilerini aydınlatmaktır. ADVISOR, ilk olarak 1998 yılında internet üzerinden halka sunulmuş ve birçok yenilenme geçirmiştir. Program ile çok hızlı bir şekilde, konvansiyonel, elektrikli ve HEV modellerinin performans, enerji tüketimi, emisyon oranları, kontrol stratejileri ve bileşen verimlerinin analizleri yapılabilmektedir. Bu analizlerde şehir içi ve şehir dışı güzergahlar ile ardışık birkaç güzergah kullanılabilmektedir [1].

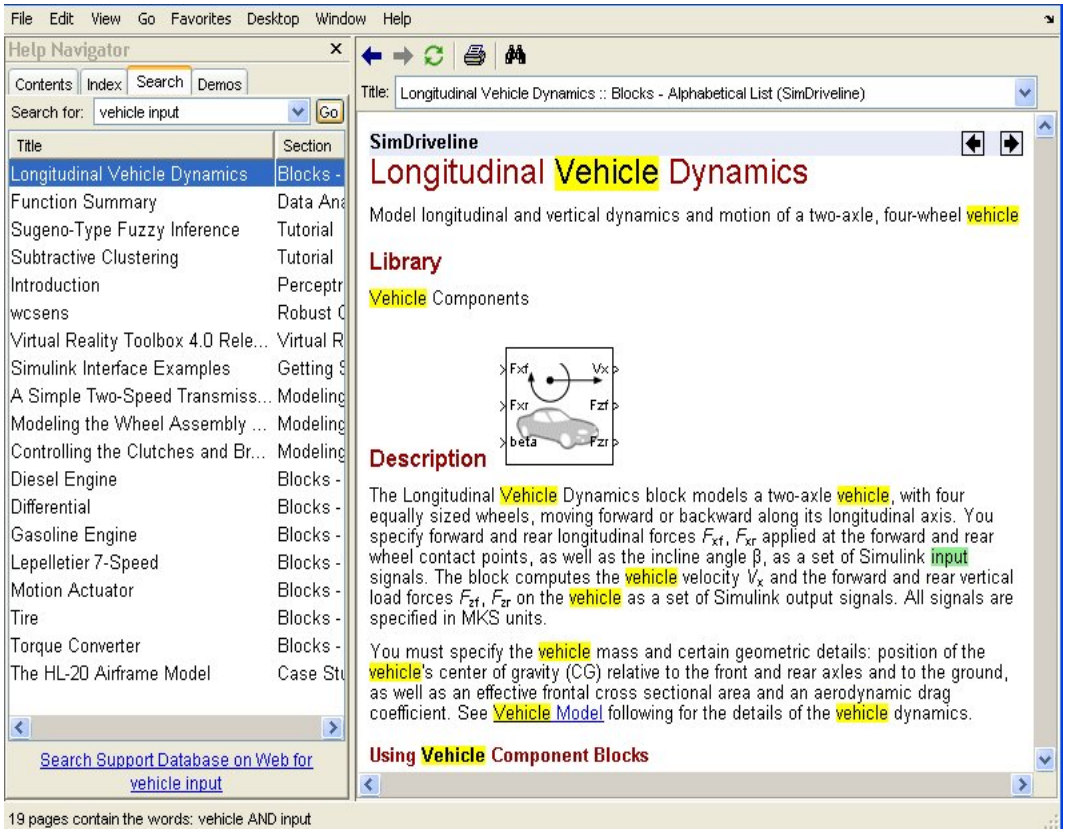
ADVISOR, MATLAB ve Simulink ortamında yaratılmıştır. MATLAB, hesapları gerçekleştirmek için matris tabanlı programlamada kolaylık sağlarken, Simulink karmaşık sistemleri, grafiksel blok diyagramlar kullanarak ifade etmek için kullanılabilir. ADVISOR çok geniş bir hazır veri bankasına sahiptir. Ford un elektrikli Focus modeli, Toyata'nın karma Prius modeli, Honda'nın karma Insight

modeli, tüm parametreleri ve bileşenleri ile veri bankasında mevcuttur. Volswagen ve Audi'nin içten yanmalı motorları da analizde kullanılmaktadır.

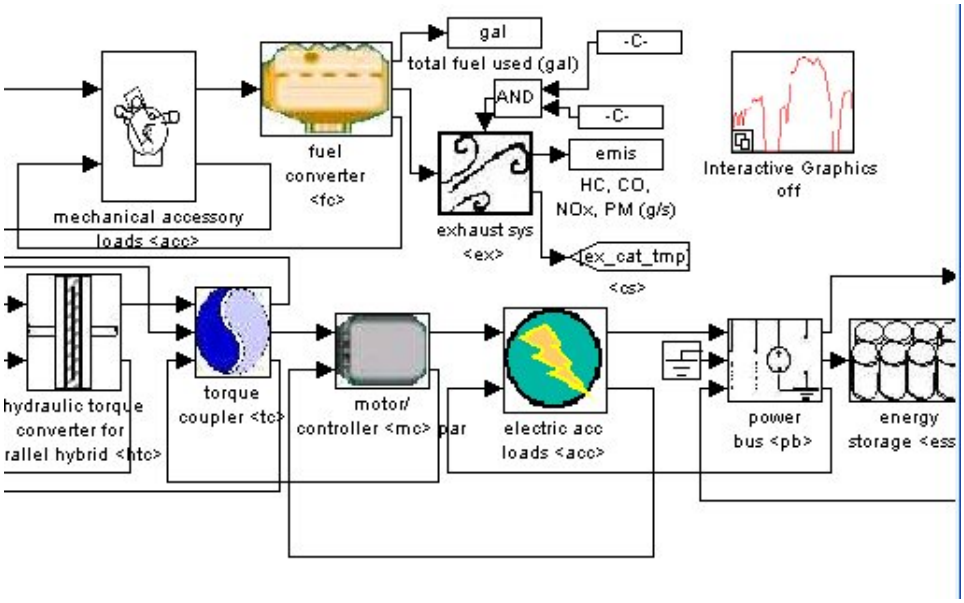
ADVISOR, kullanıcıya simülasyon işlemleri boyunca yol göstermek için üç adet ana grafiksel arayüz ekranı kullanır. Bu ara yüzlerle, kullanıcı, araç parametrelerinin ve sürüş çevrimi gereksinimlerinin, araç performansı, yakıt ekonomisi ve emisyonlar üzerindeki etkilerini iteratif olarak değerlendirebilir. Araç modeli, alt sistemler arasındaki bağlantıyı ifade etmek için, simulink blok diyagramları kullanılarak grafiksel olarak resmedilir. Böylece, model yazılım sırasında, MATLAB çalışma ortamından giriş verilerini okuyarak, çıkışları sonuç çalışma bölgesine gönderip sonuç ekranında görüntülendirir [1,13].

Analizi yapılacak, taşıt bileşen ve alt bileşenler kullanılarak oluşturulur. İstenildiği takdirde her bir bileşenin değişkenleri, arzu edilen güç, verim, boyut vs.ye getirilerek kullanılabilmektedir. Taşıt karakteristikleri ilk sayfada girildikten sonra motor iç boşluklarının ve dış havanın termodinamik özellikleri ile güzergah seçimi 2. sayfasında yapılmaktadır. İstenildiğinde interaktif ortamda taşıt hızlandırılıp yavaşlatılarak istenilen hız zaman grafiği ve analizi de elde edilmekte ve güzergahtan bağımsız olarak taşıt ivmelenme testine tabi tutulabilmektedir.

Program çalıştırılmasından sonra, giriş değerlerine ve güzergah şartlarına göre sonuçlar, grafik ve sayısal olarak alınmaktadır. Ayrıca analiz interaktif olarak da tekrar gösterilebilmekte, eş zamanlı olarak değişkenlerin durumları görülebilmektedir [2].



Şekil 3. 1. Advisor 2004 veri giriş sayfası



Şekil 3. 2. Advisor 2004 İnteraktif grafik

3.2.SIMPLEV

SIMPLEV, HEA'lar ve tümü-EA'ları modellemek amacıyla Idaho Uluslar arası Mühendislik Laboratuarı tarafından geliştirilmiştir Araç performansını simüle eden bir program olan SIMPLEV, konvansiyonel, tümü elektrikli, seri hibrid ve paralel hibrid tahrik sistemlerini simüle etme kabiliyetine sahiptir. SIMPLEV, küçük araçlardan (golf arabaları) büyük tren lokomotiflerine kadar geniş bir aralıktaki araçların yazılımlarını yapar [1].

3.3. CarSim

1995 yılında, AeroVironment Şirketi tarafından geliştirilmiş bir program olup Simplev'e çok benzemektedir. CarSim sadece seri HEA'lar ve tümü-EA'ları simüle etmekte ve emisyonlar hakkında bilgi vermemektedir [13, 14].

CarSim, otomotiv arge mühendislerinin planlama, tasarım, geliştirme ve test işlemlerinde kullanabileceği, hızlı, doğru ve genişletebilir entegre bir araç dinamiği simülasyon yazılımıdır. CarSim kullanılarak, ilk tasarımların validasyonu, komponent seçimi ve mevcut araçların ileri analiz süreçleri için daha çabuk ve doğru kararlar alınabilmektedir. CarSim yarış otomobilleri, yolcu araçları, hafif ticari araçlar ve genel maksatlı araçların dinamik davranışlarını simüle etmektedir [22].

3.4. HVEC

HVEC (Hybrid Vehicle Evaluation Code-Karma Taşıt Geliştirme Kodu), Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarı tarafından tamamı EA'ları ve seri HEA'ları simüle etmek üzere geliştirilmiştir. Toplam yakıt tüketimini, emisyonları ve performans karakteristiklerinin sınama kabiliyetine sahiptir. Program çeşitli sürüş çevrimleri için ivmelenme, yokuş tırmanma performanslarını, emisyonları ve araç performansını simüle edebilir. Program rejeneratif frenlemeyi içermektedir ve donanım performanslarındaki duyarlılık analizi için kullanışlıdır.[1]

3.5. CSM HEV

CSM HEV, hibrid elektrikli aracın karakteristiklerini simüle eden, "Colorado School of Mines-Colorado madencilik Okulu" tarafından 1996 yılında geliştirilen bir programdır. Bu program, MATLAB ve SIMULINK tabanlı bir program olup daha önce bahsedilen simülasyon programlarından daha kolay konfigürasyon değişikliğine izin vermektedir [1].

3.6. V-Elph

Texas A&M Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. MATLAB ve SIMULINK tabanlı bir program olan V-Elph, her türlü hibrid elektrikli aracın sistem tasarım parametrelerine ait yazılımları sağlamaktadır. Görsel bir program tekniği kullanarak, kullanıcıya araç yapısını kolay ve hızlıca değiştirebilme imkânı sunulmuştur. Program yazılım sonuçlarını da grafik olarak vermektedir [1,13].

3.7. Advance

Advance, TNO Otomotiv bölümü tarafından geliştirilmiştir. MATLAB/SIMULINK Ortamında hazırlanan program, kullanıcılara araç modeli geliştirmekte kolaylık ve esneklik sağlar. Bu program ile konvansiyonel, elektrikli ve HEA'ların tasarımı, analizi ve değerlendirmesi yapılabilir. İYM, diferansiyel, vites kutusu, araç gövdesi, değişik elektrik motorları, aküler gibi çeşitli araç parçalarını yazılım araçları olarak model veritabanı şeklinde içerir. MATLAB/SIMULINK gerçek zamanlı yazılım olanağını sunmaktadır. Bu özellik, bir araç modelini Hardware In-the-Loop testleri için kullanmayı olanaklı kılmaktadır [1,13].

3.8. VTB

VTB, (Virtual Test Bed) programı South Carolina Üniversitesi merkezli olup, geliştirilmesi uluslararası katılımla gerçekleştirilmektedir. Bu program sadece araçlar konusunda değil, yakıt pili tesisi, elektrikli gemi, elektrik motorları, uydu sistemleri, yarıiletken anahtarlar gibi çeşitli konularda, özetle termal, elektrik ve mekanik disiplinleri içeren bir programdır [1,22].

4.TASARIM VE SİMÜLASYON MODELİ TEORİSİ

Bir taşıt fiziğin temel kurallarına göre hareket eder ve tasarlanır. Özellikle Newton'un 2. kuralı araç tasarımında önemli rol oynar. Newton'un 2. kuralına göre bir cisim üzerine etki eden net kuvvetle doğru orantılı olarak ivme kazanır. Net kuvvet 0'dan farklı ise cisim ivme kazanmaya başlar. Burada net kuvvet cisme etki eden toplam kuvvetlerin bileşkesidir. Bir taşıta birden fazla direnç kuvveti etki etmektedir. Buna bağlı olarak taşıt bu kuvvetlerin net bileşkesi ile harekete geçer. Taşıtın hareketine karşı koyan bu direnç kuvvetleri özellikle yuvarlanma direnci, yolun eğiminden kaynaklanan yokuş direnci, taşıtın aerodinamiğine bağlı hava direnci ve ivmelenme direncidir. Taşıtın hareket edebilmesi ve ivmelenebilmesi için aracın güç üretim sisteminden üretilen gücün bu kuvvetleri yenmesi gerekmektedir. Taşıtın ivmelenmesi ve hızı direnç kuvvetlerine ve güç üretim sisteminden sağlanan itme kuvvetine bağlıdır[21].

Hareket halindeki bir taşıt için gerekli güç ifadesi, "F_{te}"(N) toplam direnç kuvvetleri ve "v" (m/s) taşıt hızı ile,

$$P_{te} = F_{te}.v \text{ (watt)} \tag{4.1}$$

tanımlanmaktadır. Bu ifadede F_{te} toplam direnç kuvvetleri

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{wa} \tag{4.2}$$

ile belirlenmektedir.

Taşıt hareketine ters yönde etki eden kuvvetlerin, taşıt ekseni doğrultusundaki bileşenlerinin toplamına hareket dirençleri adı verilir. Taşıtın hareket edebilmesi için, taşıta etki eden hareket dirençlerinin toplamı kadar bir itme kuvvetinin, tahrik tekerlerinde oluşturulması gerekmektedir.

Hareket halindeki bir taşıtta temel hareket ettirici kuvvet, tekerleklerdeki tahrik kuvvetidir. Bu kuvvet motordan tekerleklere iletilen momentle elde edilir ve tekerleklerle yol arasındaki ilişkiye bağlıdır.Bu ilişkinin temel parametreleri zemine bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı ve tahrik tekerleği üzerine etki eden taşıt ağırlığıdır. Tahrik tekerlerinde oluşturulan itme kuvvetinin zemine iletilebilecek sınır değeri, tahrik tekerlerinin dingil yükü ile, lastikle yol arasındaki sürtünme katsayısının çarpımına eşittir. Bu değerin üzerinde uygulanacak itme kuvveti, lastikle yol arasında kaymaya (patinaj) neden olacaktır. Benzer şekilde, lastikten yola iletilecek kuvvetin sınır değerinin, toplam dirençlerden küçük olması durumunda ise hareket halindeki taşıt yavaşlayacak duran taşıt ise hareket edemeyecektir. Tüm taşıtlarda olduğu gibi elektrikli araçlarda da taşıt ağırlığını azaltmak, enerji dönüşüm oranını yükseltmek, aerodinamik sürüklenmeyi azaltmak hedeflenmektedir. Taşıt tasarımında ağırlık, taşıtın tırmanma kabiliyetini, ivmelenme direncini ve yuvarlanma direncini etkilemektedir. Düşük ağırlığa sahip bir taşıtta direnç kuvvetleri de azalacaktır.

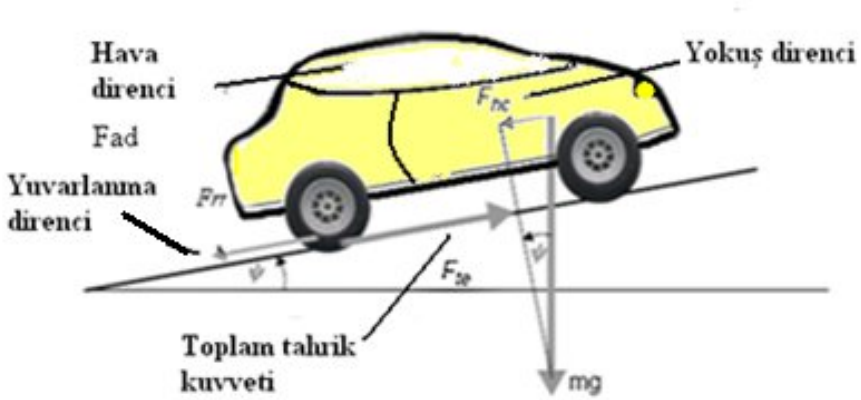
Hareket için gerekli enerji, aerodinamik sürüklenme, yuvarlanma direnci, yardımcı ekipmanların güç gereksinimi ve ivmelenme enerjisi ile hesaplanır. Bunun yanında bir elektrikli taşıt tasarım hesapları taşıtın ulaşılması istenen mesafeyi, gücü ve hız ihtiyacına göre batarya kapasitesini de tanımlamalıdır.

Gerekli tasarım hesaplarında taşıtın mekanik güç ihtiyacı için kullanılacak ifadeler literatürde verilmektedir. Elektrik motorları için gerekli ifadeler ise DC motor için 2.2.1 de tanımlanmıştır.

Bunun yanında tahrik gücünü sağlayan sistemden ne kadar güç ve enerjiyi üretmesi gerektiği belirlenmelidir. Tahrik gücünü sağlayan sistem, enerji depolama sistemleri ve yardımcı sistemlerin özellikleri iyi tasarlanmalıdır. Bunun için elektrikli araca uygun tahrik gücünü sağlayacak bataryalar ve elektrik motoru tasarlanmalıdır. Hibrid elektrikli araçta ise bunun yanında içten yanmalı motor da tasarlanmalıdır. Bu alt sistemlerin güçleri belirlenmelidir. Bataryalardan sağlanan DC gerilimi eğer AC elektrik motoru kullanılıyorsa DC/AC konvertörü yardımıyla AC gerilimine

dönüştürülmelidir. Tüm bu tasarımlar araçtan istenilen performans değerlerine ve araca etki eden direnç kuvvetlerine bağlıdır. Burada itme kuvveti elektrik motorundan veya içten yanmalı motordan ya da her iki sistemden de sağlanabilmektedir [22].

4.1 Elektrikli Taşıt Tasarım İfadelerinin Çıkarılması



Şekil 4. 1. Hareket halindeki taşıta etki eden direnç kuvvetleri

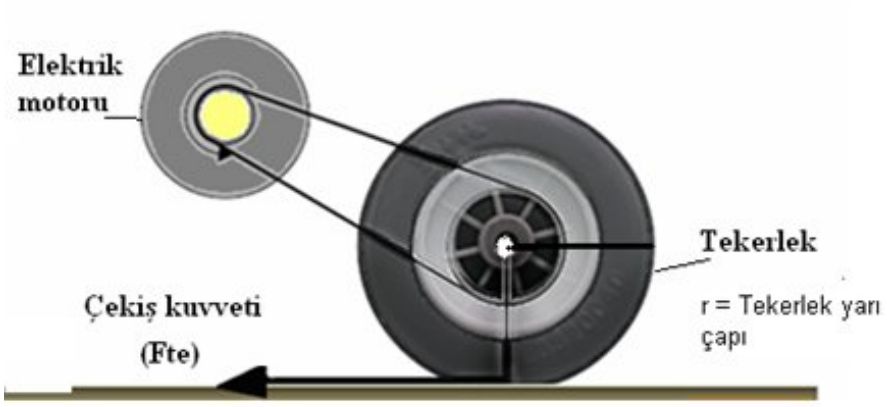
Taşıtın hareketi için gerekli çeki kuvvetini tanımlayan bir ifadeye, eşitliğe ihtiyaç vardır. Taşıtın hareketine karşı koyan dirençler ve tahrik kuvveti yukarda tanımlandı. Yukarıdaki ifadeye göre taşıtın hareket etmesi için tahrik kuvvetinin toplam direnç kuvvetlerinden büyük olması gerekmektedir. Bu kuvvet aynı zamanda taşıtın hızındaki değişimi de tanımlar. Eğer taşıtın hızında bir değişim var ise Şekil 4.1 de gösterilen direnç kuvvetlerine ek bir kuvvete daha ihtiyaç vardır.
Eğer hızlanmayı sağlayan kuvvet taşıta lineer bir ivmelenme sağlıyorsa Newton eşitliğine göre,

$$F_{la} = m.a \ \text{(N)} \qquad (4.3)$$

ile ifade edilir.

Bununla beraber bu kuvvet ile taşıta ivme kazandırmak için dönen parçalarında daha hızlı ve yüksek tork ile döndürülmesi gerekir. Bunun içinde elektrik motorunun döner hareketinin arttırılması dolayısı ile açısal ivmenin, taşıt için de lineer ivmenin düşünülmesi ve bunlar arasında bir ilişki kurulması gerekir. Bu ilişki taşıt çeki kuvvetinin analizi ile mümkündür.

Hareket halindeki bir taşıtta temel hareket ettirici kuvvet tekerleklerdeki tahrik kuvvetidir. Bu kuvvet motordan tekerleklere iletilen momentle elde edilir ve tekerlekle yol arasındaki ilişkiye bağlıdır.



Şekil 4. 2. Elektrik motorunun taşıt tekerleğine basit bağlantı düzeneği

Analiz için şekil 4.2 de verilen basit elektrik motoru tekerlek düzeneğinde aks torku veya tekerleklerdeki döndürme momenti,

$$T_{te} = F_{te}.r \ \text{(Nm)} \qquad (4.4)$$

dir. Burada F_{te} (N) çekiş (tahrik) kuvveti, r tekerlek yarıçapıdır. Tekerlek yarıçapı lastik hava basıncına, sıcaklığa, yüke ve hıza bağlı olarak değişir. Pratik amaçlar için yarıçaptaki bu değişmeler ihmal edilebilir.

F_{te} çeki (tahrik) kuvveti, G çap değişiminden dolayı hız oranı (kasnak çapı değişimi veya dişli oranına bağlı) ise ve T elektrik motoru torkudur. Elektrik motoru kasnağı ile tekerlek aksı arasındaki hız değişim oranı G alınırsa elektrik motor torku,

$$T = \frac{F_{te}.r}{G} \text{ (Nm)} \tag{4.5}$$

ve tahrik kuvveti

$$F_{te} = G.\frac{T}{r} \text{ olarak tanımlanır.} \tag{4.6}$$

Elektrikli taşıtta tahrik kuvvetinin taşıt hızına göre değişimi, elektrik motor momentinin motor devrine göre değişimi ile örtüşmelidir.
Buna göre akstaki açısal hız, v taşıt hızı kullanılarak,

$$\omega_{te} = \frac{v}{r} \text{ (rad/s)} \tag{4.7}$$

ve elektrik motoru açısal hızının hız oranı ve hareketli tekerlek yarıçapına bağımlı ifadesi,

$$\omega = G.\frac{v}{r} \text{ (rad/s)} \tag{4.8}$$

ile tanımlanır. Dönen tekerleklerin açısal ivmesi,

$$\varpi_{te} = \frac{a}{r} \text{ (rad/s}^2\text{)} \tag{4.9}$$

Motor açısal ivmesi,

$$\varpi = G.\frac{a}{r} \text{ (rad/s}^2\text{)} \tag{4.10}$$

Bu açısal ivme için gerekli tork ,

$$T = I.G\frac{a}{r} \text{ (Nm)} \tag{4.11}$$

dir. Bu ifadede I elektrik motor rotorunun atalet momentidir.
Bu ifade (4.6) deki ifadede yerine konursa, tekerleklerin dönmesini sağlamak için gerekli açısal ivme kuvveti,

$$F_{wa} = \frac{G}{r} I.G\frac{a}{r}$$

ve gerekli düzenleme yapıldığında,

$$F_{wa} = I\frac{G^2}{r^2}.a \quad . \tag{4.12}$$

olarak belirlenir.

Sistem hareket iletiminde % 100 iletim olamayacağı, kayıplar olduğu göz önüne alınacak olursa açısal ivme kuvveti,

$$F_{wa} = I\frac{G^2}{\eta.r^2}.a \text{ (N)} \tag{4.13}$$

elde edilir.

Taşıtın ivmelenmesi için gerekli ek kuvvet $F_{la} = m.a$ (N) ifadesinde ve (4.2) ifadesindeki diğer direnç kuvvetleri $F_{rr} = \mu_{rr}.m.g$ (N) yuvarlanma direnci ,

$F_{hc} = m.g.\sin(\psi)$ yokuş direncinin hesaplanmasında taşıt ağırlığına ihtiyaç vardır. Elektrikli bir taşıtta klasik taşıta göre fazladan ek ağırlıklar vardır ve elektrikli bir taşıt için ağırlık ifadesi ,

$$m_T = m_{tem} + m_i + (1+k).m_{bat} \tag{4.14}$$

denklemle hesaplanabilir[2].

m_{tem} : Temel kütle (Elektrik motoru dahil araç kütlesi)

m_i : İlave yük (insan vb)

m_{bat} : Batarya kütlesi

k : Batarya birleştirme faktörü (Bataryanın montaj ekipmanlarından dolayı Oluşan ağırlık, ~ 0.25 alınır.)

m_T : Aracın kütlesi (kg)

Hareket halindeki taşıt için gerekli tahrik kuvveti ve harekete karşı koyan direnç kuvvetlerinin ayrı ayrı tanımlanması gerekir.

4.1.1. Hava Direnci

Taşıt hareketi esnasında, çevrelendiği hava tabakası akışa maruz kalır. Havanın bir kısmının dış yüzeyinden geçmesi dış kayıpları, taşıtın radyatör ve havalandırma kanallarından geçmesi, iç akış kayıplarını oluşturur. Dış akış nedeni ile oluşan kayıplar, taşıtın ön ve arka yüzeyleri arasında oluşan basınç farkından ve taşıt yüzeyinin hava tabakası ile sürtünmesinden ortaya çıkar [22].

Bir taşıt hareket halindeyken yere göre bir rölatif hızı vardır. Hava hareketsiz olduğunda ve rüzgar olmadığında taşıt yere ve aynı zamanda havaya gire eşit rölatif hıza sahiptir. Fakat rüzgar olduğunda, yani hava yere göre bir rölatif hıza sahip olduğunda taşıtın yere göre rölatif hızı havaya göre olandan farklıdır.

Aerodinamik direnç katsayısı C_D değeri bir cismin dış formu sebebiyle düzgün doğrusal akım içinde oluşturduğu süreksizlik ve girdaplar gibi akım bozuntularının sonucu ortaya çıkar. Dış form itibariyle cisim ne derece az bozuntuya sebep olursa direnç katsayısı ve buna bağlı olarak direnç kuvveti de o derece küçük olur. Görüldüğü gibi hızı ve geometrik boyutları belli olan bir aracın hava direnç kaybını azaltmanın tek yolu aracın dış formuna bağlı olan direnç katsayısı C_D 'yi azaltmaktır. C_D değerinin azaltılması, motor gücü sabit bir aracın daha yüksek hıza erişebilmesi, belli hıza çıkması istenen araca daha küçük motor takılabilmesi anlamına gelir.

Çizelge 4. 1. Hava direncini oluşturan etkenler

Hava direnci oluşturan etkenler	Yüzdesi
Taşıtın ön ve arka yüzeyleri arasındaki basınç farkı	55-60
Taşıt yüzeyinin hava ile sürtünmesi	8-10
Aksesuarlar (Ayna, tampon, silecek vs.)	12-18
İç akım (Radyatör, hava kanalları, kaput altı boşluklardan geçen hava)	10-15
Taşıtın üst ve alt yüzeyleri arasındaki basınç farkı	5-8

Taşıtın hareketine engel olmaya çalışan hava direnci kuvveti ,

$$F_{ad} = (\frac{\rho}{2}).C_D.A_f.v^2 \qquad (4.15)$$

ifadesi ile tanımlanmaktadır.

F_{ad}: Hava direnci (N)

ρ : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

C_d: Aerodinamik direnç katsayısı

A_f: Taşıt ön iz düşüm alanı (m^2)

v: Taşıt hızı (m/sn)

v rüzgarın hızına ve yönüne göre taşıt hızı, seyir hızı ve rüzgar hızına bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikteki değerleri alır.

Taşıt ile rüzgar aynı yönde hareket ediyor ise,

$$V = (V_T - V_R) \tag{4.16}$$

Taşıt ile rüzgar zıt yönde hareket ediyor ise,

$$V = (V_T + V_R) \tag{4.17}$$

Taşıt ön izdüşümü alanı aşağıdaki eşitlikle belirlenir, ve bazı taşıtların ön izdüşüm alanları ve C_D katsayıları Çizelge 4.2 de verilmiştir.

$$A_f = (E.H.0,9) \quad (m^2) \tag{4.18}$$

E : Taşıt genişliği (m)

H : Taşıt yüksekliği [19].

Çizelge 4. 2. Bazı otomobillerin CD katsayıları ve ön iz düşüm alanları [19]

TAŞIT	CD	Af	CD . Af
VW Polo	0,37	1,72	0,636
Ford Escort	0,36	1,84	0,662
Opel Vectra	0,29	1,89	0,547
Fiat 126	0,47	1,51	0,710

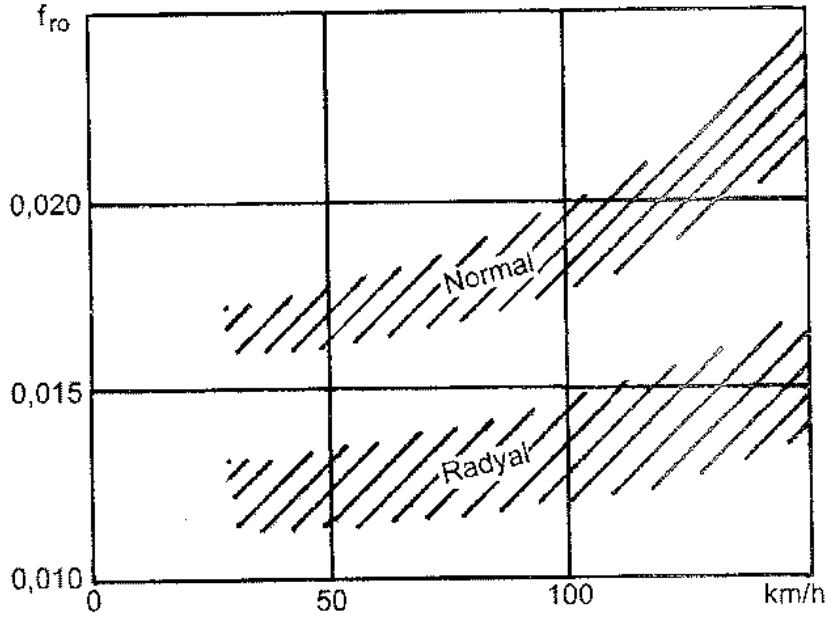
4.1.2. Yuvarlanma Direnci

Yuvarlanma direnç kuvveti taşıt tekerleğinin yuvarlanma sırasında yol ve lastiklerdeki şekil değiştirmelerden kaynaklanır.

Otomobillerde kullanılan pnömatik lastiklerin yuvarlanma direncine birçok faktörün etkisi vardır. Bu faktörler lastiğin yapısı ve lastiğin çalışma koşullardır. Bu iki faktör birbirinden ayrı olarak düşünülemez. Çünkü bir faktörün değişimi diğer bir faktörün değişimini de beraberinde getirir. Örneğin lastiğin çalışma koşullarında taşıtın hızının artması, lastiğin sıcaklığını arttırır ve bu sıcaklık artışı da lastiğin şişirme basıncını değiştirir.

Lastik yapısal olarak radyal ve çapraz- katlı olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Lastiğin bu üretim şekli onun yuvarlanma direnç karakteristiğini etkileyen en önemli değişkendir. Yapılan ölçümler radyal lastiklerin yuvarlanma direnç katsayılarının çapraz- katlılara göre oldukça iyi olduğunu göstermiştir.

Hız ve lastik tipinin yuvarlanma direnci katsayısına etkisi Şekil 4.3'de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi yuvarlanma direnci, hız tarafından şiddetle etkilenmektedir. Etki, normal lastiklerde, radyal lastiklere oranla daha fazladır [19].



Şekil 4. 3. Hız ve lastik tipinin yuvarlanma direnci katsayısına etkisi [19]

Radyal lastiğin yuvarlanma direncinin çapraz- katlıdan düşük olmasının ana sebebi çapraz- katlı lastiklerde belirli bir açı ile döşenmiş lif tabakalarının lastiğin şekil değiştirmeleri sırasında birbirleri arasında bir kayma hareketi yaparak enerji kaybına sebep olmalarıdır. Çapraz- katlı lastiklerin yuvarlanma dirençleri daha yüksek olmasına karşılık yük taşıyan araçlarda halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü bu lastiklerin yük kapasiteleri radyal lastiğe göre daha yüksektir [16].

Hıza bağımlı olarak yuvarlanma direnci katsayısını belirlemek amacıyla deneysel verilerle elde edilmiş birçok sayısal eşitlikler vardır. Aşağıda verilen eşitlilikler yuvarlanma direncinin hesaplanmasında kullanılabilir.

$$F_{rr} = (f_0 + f_1.v^2).W \quad (4.19)$$

Bu eşitlikte (f_0, f_1) değişken yuvarlanma direnç katsayıları olup radyal lastikli tekerlekler için aşağıda verilen eşitliklerle hesaplanır.

$f_0 = (0{,}0136)$

$f_1 = (5{,}184 .10^{-7})$ [12]

Diğer eşitlik,

$$F_{rr} = \mu_{rr}.m.g \quad (4.20)$$

olup bu eşitlikte m: Kütle (kg), g: Yer çekimi ivmesi (m/sn^2), μ_{rr} : Lastikle yol arasındaki kuvvet bağlantı katsayısıdır. μ_{rr}, elektrikli taşıtlar için radyal kat lastiklerde 0,015 ve gelişmiş özellikteki lastikler için 0,005 alınır [23].

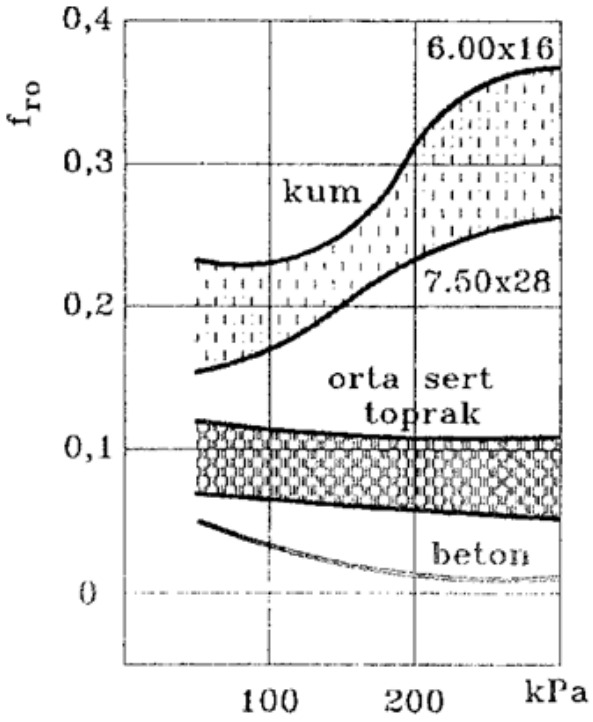
Çizelge 4. 3. Yuvarlanma direnç katsayısının ortalama değerleri

Lastik tipi	Yüzey		
	Beton	Sert toprak	Kum
Yolcu arabası	0,015	0,08	0,30
Kamyon	0,010	0,06	0,25
Traktör	0,02	0,04	0,20

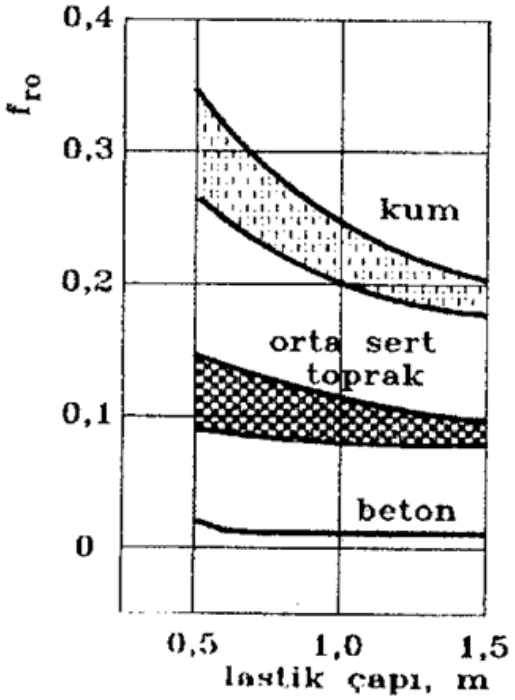
Lastiğin çapı ve şişirme basıncına bağlı olarak çeşitli zemin şartlarında yuvarlanma direnç katsayıları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5 de, zemin şartlarına göre de çizelge 4.4 de verilmiştir [19].

Çizelge 4. 4 Değişik yol yüzeyleri için yuvarlanma direnç katsayıları [19]

Yolun durumu	f
Düzgün asfalt, beton	0,0015
Küçük taş, döşenmiş yol	0,0015
İri taş, döşenmiş yol	0,0015
Şose	0,02
Çamurlu yol	0,05
Gevşek toprak, kum	0,1 – 0,35



Şekil 4. 4. Yuvarlanma direnç katsayısının lastik hava basıncıyla değişimi [19]



Şekil 4. 5. Lastik çapının yuvarlanma direnç katsayısına etkisi [19]

4. 1. 3 Yokuş Direnci

Bir taşıtın herhangi bir sabit hızda (ivmesiz) tırmanabileceği maksimum yokuş, o taşıtın tırmanma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Tırmanabileceği maksimum eğim ise, maksimum tırmanma yeteneğini belirlemektedir. Maksimum taşıt hızı altındaki hızlarda, motor tarafından tekerleklerde geliştirilen tahrik kuvveti, o hızda taşıtı ivmesiz olarak kullanmak için gerekli kuvvetlerden daha fazladır. Rezerve kuvvet olarak bu fazlalık, gerektiğinde taşıtın bir yokuşu çıkması ve ivmelenmesi için kullanılır[19].

Yokuş direncini oluşturan kuvvet, taşıt ağırlığının yola yapmış olduğu paralel bileşenidir.

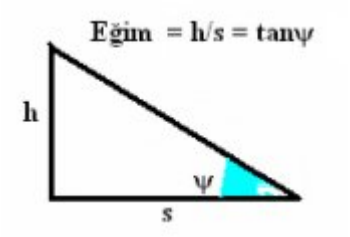
$$F_{hc} = \pm m.g.\sin(\psi) \tag{4.21}$$

Küçük açılar için tan ψ = sin ψ olduğundan yokuş direnci yaklaşık olarak,

$$F_{hc} = \pm m.g.\tan(\psi)$$

Buradaki + değer yokuş tırmanışı, – değer inişi ifade etmektedir.
F_{hc} : Yokuş direnci
m : Taşıt kütlesi (kg)
ψ : Yol eğimi

Pratikte yol eğimi açı yerine şekil 4.7 de hesaplandığı gibi yüzde eğim olarak verilir. Hareket direnci için yapılan çözümlerde bu eğim açıya çevrilerek çözüldüğünde yapılan hata %5 civarındadır.



Şekil 4. 6. Eğim hesabı

Taşıta etkiyen dirençlerin incelenmesinde grafiklerden yararlanmak en iyi yöntemdir. Bu sebeple taşıtın tırmanma yeteneğinin tanımlanmasında yol eğiminin taşıt gücüne etkisinin tanımlanması gerekir. Taşıt tasarımında taşıtın aşması gereken yol eğimleri taşıtların özelliğine göre değişmektedir.

Türkiye'deki maksimum eğimli yol şartları 1990 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan bir istatistiğe göre;

- Otoyollarda: %10
- Şehir içi yollarda: %15
- Kırsal arazi yollarında: %22 olarak açıklanmıştır[20].

Bazı yollar için ise maksimum eğimler çizelge 4.5 de verilmektedir.

Çizelge 4. 5. Bazı yollar için maksimum eğimler

	Eğim %	Eğim oranı	sinψ	tanψ	ψ
Otoyol	6	1:16,7	0,06	0,06	3,5
İyi dağ yolu	7	1:14,3	0,07	0,07	4
Ortalama dağ yolu	12	1:8,3	0,119	0,12	7
Dik dağ yolu	32	1:3,1	0,305	0,32	18
Yol dışı	60	1:1,7	0,514	0,60	31

4.1.4. İvme Direnci

Newton II. hareket yasasına göre; bir taşıtın hızlanması ve yavaşlaması sırasında, bu harekete ters yönde bir atalet kuvveti oluşur. Taşıtın hareketi sırasında karşılaşılan bu kuvvet ivme ile ters yönlü olduğundan doğrusal ivme direnci F_{la} olarak

tanımlanmıştır. İvme direnci,

$$F_{la} = m.a \tag{4.3}$$

eşitliği ile hesaplanır.

İvme direnci, doğrusal hareket halindeki kütlelerin atalet kuvvetleri ile dönme hareketi yapan tekerlekler, aktarma organları ve motorun dönel atalet kuvvetlerinden oluşur. Taşıt hızındaki bir değişim, dönen bu elemanların hızlarının değişmesi ile sağlanmaktadır[21].

Bilindiği gibi atalet kuvvetleri ivmeli hareket yapan cisimler üzerinde meydana gelir. Taşıtın genel hareketi ivmesiz kabul edilebilir. Fakat taşıtın ilk hareketi ve frenleme sırasında büyük ivmeler ve dolayısıyla büyük atalet kuvvetleri meydana gelir[20].

4.2. Taşıtta İvmelenmenin Modellenmesi

Taşıtın tahrik gücü ünitesi taşıtı istenen hızda ileri itmek için tahrik kuvvetini üretir. Bu kuvvet, yol yükleri F_{te} olarak adlandırılan ve tahrik kuvvetine karşı olan bu direnç kuvvetlerini yenmek durumundadır. Yol yük kuvvetleri, kütlesel kuvvetler, hava direnci, yuvarlanma direnci, aerodinamik sürüklenme, yokuş direnci ve ivme direnci gibi direnç kuvvetlerinin toplamı olduğu daha önce 4.2 ifadesi

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{wa}$$

ile tanımlanmıştı.

Tahrik kuvveti taşıtın lastikleri ile yol arasındaki yola paralel kuvvettir ve bu kuvvet elektrikli taşıtlarda elektrik motoru ile, HEV taşıtlarda elektrik motoru ve IC motor ile birlikte yol yükünü yenmektedir. Böylece dinamik hareket ifadesi eğimli bir yolda ,

$$k_{\omega}.m\frac{dv}{dt} = F_t - F_{t\mathrm{e}} \tag{4.22}$$

olarak verilir. Bu eşitlikte F_t toplam kuvveti, $F_{t\mathrm{e}}$ ise toplam direnç kuvvetidir, k_{ω} döner atalet moment katsayısını, taşıttaki dönen kütlelerden dolayı taşıtın kütlesindeki artma miktarını tanımlar ve 1,08 ile 1,1 arasındadır. Bu eşitlik EV ve HEV sisteminin simülasyonu için taşıtın dinamik denklemini göstermektedir. Bu eşitlikle EV için elektrik motoru, HEV için elektrik motoru ve içten yanmalı motorun birleştirilmiş gücü, başlangıç ivmesi, taşıt ağırlığı ve maksimum hızı ile taşıt tırmanma kabiliyeti hesaplanabilir. Taşıtın tekerleklerindeki tork, güç eşitliği,

$$P_t = T_t.\omega_{te} = F_t.v \text{ (watt)} \tag{4.23}$$

ile,

$$T_t = \frac{F_t.v}{\omega_{te}} \tag{4.24}$$

elde edilebilir.

Bu eşitlikte T_t (Nm) olarak tahrik torkudur, ω_{te} tekerleğin (rad/s) olarak açısal hızıdır. F_t.(N) taşıt direnç kuvvetlerini yenecek ve taşıta hızlanması için gerekli kuvveti tanımlamaktadır ve taşıt hızı v (m/s) dir. Yol ve tekerlek arasında kaymanın olmadığı kabul edilerek motor açısal hızı ve taşıt hızı arasındaki bağıntı,

$$\omega = G.\frac{v}{r} \tag{4.8}$$

de tanımlanmıştı.

Bir taşıt tasarımı esnasında taşıt motoru ile taşıtın hareket esnasındaki tork ve güç grafikleri birbiri ile örtüşmelidir. Elektrikli bir taşıtta elektrik motoru ve taşıtın hıza bağımlı tork güç karakteristik eğrileri benzer değişim özelliği göstermesine rağmen

örtüşme sağlanamıyorsa güç aktarım sistemi ile bu sağlanabilmektedir. Güç aktarım sisteminin komple tasarımı belirlenmiş motor gücünü, belirlenmiş motor hızını, belirlenmiş tekerlek hızını ve belirlenmiş bir taşıt hızı gibi değişkenleri kapsamaktadır. Bunun yanında taşıt toplam kütlesi, yuvarlanma direnci katsayısı, aerodinamik direnç katsayısı gibi değişkenleri de içermektedir. Tasarım işlemi bilinen değişkenlerin kullanılması ve bazı değerlerin tahmin edilmesi ile iterasyon sonucu ihtiyacı karşılayıp karşılamadığının kontrol edilmesine dayanmaktadır.

Komple güç aktarım sisteminin tasarımı motor gücünü, tekerlek hızını, taşıt hızını ve taşıtın kütlesini kapsamaktadır. Bu değişkenler aynı zamanda taşıtın ivmelenmesini etkilemektedir, taşıtın ivmelenmesi o taşıtın kinetik performansını göstermektedir. Motor ile taşıtın hareket karakteristikleri taşıtın ivme kazanma yeteneğini tanımlar.. İvmelenme grafikleri taşıtların testleri veya simülasyonları ile bulunur. Örnek olarak taşıtın durur halden 100 Km/h veya 30-50 Km/h'e ulaşma zamanı verilerek tanımlanır. Bunlardan elektrikli taşıtlara en yakın standart 0-30 Km/h veya 0-50 Km/h durumudur. Bunlar her taşıt için verilmemesine rağmen elektrikli taşıtlar için verilmektedir. İvmelenme grafikleri taşıtların testleri ve simülasyonları ile bulunur. İçten yanmalı motora sahip taşıtlarda bu işlem motorun tam gaz veya maksimum güçlerinde yapılır. Benzer şekilde elektrikli taşıtlarda da performans simülasyonu maksimum torkta bulunur.

Çoğu durumda bir elektrik motorunun düşük hızlarda torku maksimum ve sabittir.. Elektrik motorunun açısal hızı maksimum torkun sonlandığı nokta olan kritik hıza ω_c ulaştıktan sonra tork düşmeye başlar. DC motorlarda hızın artışı ile tork lineer olarak düşer şekil 2.13. Diğer elektrik motorlarının çoğunda güç sabit kalırken tork düşmeye devam eder [23].

Standart bir ölçme yöntemi olmamasına rağmen taşıtların ivmelenmesi taşıtın kritik performans göstergesidir.

Motor karakteristikleri düşünülerek taşıtın hareket eşitliklerinin düzenlenmesi gerekir. Motorun açısal hızının hız oranı ve hareketli tekerlek yarıçapına bağımlılığı (4.8) de verilmektedir, $\omega = \frac{G}{r} v$. Bu eşitlikten, bir DC elektrik motoru karakteristik eğrisine göre sabit tork kısmında,

$\omega < \omega_c$ veya $v < \frac{r}{G} \omega_c$ olduğunda $T = T_{\max}$

Eğer bu sabit tork kısmı geçilirse,

$\omega > \omega_c$ veya $v > \frac{r}{G} \omega_c$ her ikisinde de güç sabit olmaktadır.

Çoğu fırçasız motorda olduğu gibi (2.5) ve (4.8) eşitliğinden

$$T = \frac{T_{\max} . \omega_c}{\omega} = \frac{r . T_{\max} . \omega_c}{G . v} \tag{4.25}$$

bulunur veya tork hıza bağımlı olarak lineer bir eşitlikle tanımlandığı bir şekilde düşmektedir.

$$T = T_o - k\omega \tag{4.26}$$

Eş.(4.8) deki açısal hız bu ifadede yerine konulduğunda,

$$T = T_o - \frac{k . G}{r} . v \tag{4.27}$$

elde edilir. Bu ifade taşıt hızı için motorun üretmesi gereken tork miktarını tanımlar. Yukarda verilen eşitlikler bir taşıtın ivmelenmesini bulmak için bir araya getirilirse, gerekli ifade bulunmuş olur. Bu eşitliklerin birçoğu oldukça karmaşıklığa sahip olmasına rağmen sabit olduklarından bunlar taşıt veya taşıt bileşenlerinden bulunabilir.

Düz bir yolda hareket eden bir taşıt için Eş. (4.2) ifadesi ile, toplam direnç kuvvetleri,

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{wa}$$

şeklinde verilmişti. Bu ifadede gerekli eşitlikler yerine konur ve düz yol için yazılırsa,

$$F_{te} = \mu_{rr}.m.g + \frac{1}{2}\rho.A.C_d.v^2 + m.a + I\frac{G^2}{\eta.r^2}.a \qquad (4.28)$$

elde edilir.

$F_{te} = \frac{G.T}{r}$ ve ivme $a = \frac{dv}{dt}$ eşitlikleri yerine konarak yeniden düzenlenirse,

$$\frac{G}{r}.T = \mu_{rr}.m.g + \frac{\rho}{2}.A.C_d.v_n^{\,2} + (m + I\frac{G^2}{\eta.r^2}).\frac{dv}{dt} \qquad (4.29)$$

Motor torku bir basit fonksiyon sabitidir. (4.26) ve (4.27) eşitlikleri ile tanımlanmıştı. Bu eşitlikler (4.29) eşitliğini v hız değişkenine göre 1. dereceden bir diferansiyel denklem haline getirir. Böylece v nin değeri herhangi bir t nin değeri için nümerik olarak bulunabilir.

İlk hız safhasında $T = T_{\max}$ olduğundan (4.29) eşitliğinden,

$$\frac{G}{r}.T_{\max} = \mu_{rr}.m.g + \frac{\rho}{2}.A.C_d.v^2 + (m + I\frac{G^2}{\eta.r^2}).\frac{dv}{dt} \qquad (4.30)$$

elde edilir[23].

$a = \frac{dv}{dt} = \frac{v_{n+1} - v_n}{dt}$ olduğundan (4.30) eşitliği aşağıdaki şeklide yazılabilir,

$$\frac{G}{r}.T_{\max} = \mu_{rr}.m.g + \frac{\rho}{2}.A.C_d.v_n^{\,2} + (m + I\frac{G^2}{\eta.r^2}).\frac{v_{n+1} - v_n}{d_t} \qquad (4.31)$$

Şekil 2.16 da görüldüğü gibi elektrik motorlarında düşük devirlerde tork maksimumdur. Elektrik motorunda tork değerinin düşme başlangıcı olan kritik hız değerine kadar tork maksimum olduğu için bu eşitlik kullanılarak hesaplamalar yapılır.

(2.9) bağıntısından maksimum tork değeri,

$$T_{\max} = T = \frac{K_m.\phi.E_s}{R_a} = K_m.\phi.I$$

(4.31) bağıntısında yerine konursa ve aktarma organları verimi %100 olmadığından hesaplamalarda kullanılacak olursa ve atalet momentinin kütle üzerindeki etkisi simülasyon hesaplarında kütlenin 0,05 i kadar alınıldığından $I\frac{G^2}{\eta.r^2} = 0{,}05.m$ alınırsa

(4.31) nolu eşitlikten v_{n+1} son hız değeri çekilirse,

$$v_{n+1} = v_n + dt(\frac{\frac{G}{r}\eta_g.T - \mu_{rr}.m.g}{m + m.0{,}05} - \frac{\frac{\rho}{2}.A.C_d}{m + m.0{,}05}v_n^{\,2}) \qquad (4.32)$$

elde edilir.

(2.9) ‘daki $T = K_m.\phi.I$ eşitliği yerine konacak olursa ve

$m + m.0{,}05 = 1{,}05.$m alınırsa

$$v_{n+1} = v_n + dt(\frac{\frac{G}{r}\eta_g.K_m.\phi.I - \mu_{rr}.m.g}{1{,}05.m} - \frac{\frac{\rho}{2}.A.C_d}{1{,}05.m}v_n^{\,2}) \qquad (4.33)$$

olur. Bu eşitlikten ifade k sabitleri ile basitleştirilirse,

$$v_{n+1} = v_n + dt.(k_1 - k_2.v_n^2) \tag{4.34}$$

şeklinde ifade edilir.

Burada "k_1 ve k_2" sabitleri aşağıdaki gibidir,

$$k_1 = \frac{\frac{G}{r}\eta_g.K_m.\phi.I - \mu_{rr}.m.g}{1,05.m} \tag{4.35}$$

$$k_2 = \frac{\frac{\rho}{2}A.C_d}{1,05.m} \tag{4.36}$$

$$v_c = \frac{\omega.r}{G} \tag{4.37}$$

Kritik hız değerine kadar bu denklem kullanılır.

Kritik hızın üzerinde ise Şekil 2.16 da görüldüğü gibi tork düşmektedir.

$$\frac{G}{r}.T = \mu_{rr}.m.g + \frac{\rho}{2}.A.C_d.v^2 + (m + I\frac{G^2}{\eta_g.r^2}).\frac{d_v}{d_t} \tag{4.38}$$

nolu eşitlikte, η_g aktarma organları verimi göz önüne alınır ve T için $P = T.\omega = T.v.\frac{G}{r}$ bağıntısından $T = \frac{P}{v}.\frac{r}{G}$ ifadesi kullanılırsa denklem,

$$\frac{G}{r}.\eta_g(\frac{P}{v}.\frac{r}{G}) = \mu_{rr}.m.g + \frac{\rho}{2}.A.C_d.v^2 + (m + I\frac{G^2}{\eta_g.r^2}).\frac{v_{n+1} - v_n}{dt} \tag{4.39}$$

$$\eta_g.\frac{P}{v} = \mu_{rr}.m.g + \frac{\rho}{2}.A.C_d.v^2 + (m + I\frac{G^2}{\eta_g.r^2}).\frac{v_{n+1} - v_n}{dt} \tag{4.40}$$

Kritik hızda güç maksimum değere ulaştığı için burada $P_{\max} = T_{\max}.\frac{G}{r}.v_c$

$T_{\max} = K_m.\phi.I$ bağıntıları kullanılırsa,

Buradan son hız v_{n+1} çekilirse ifade,

$$v_{n+1} = v_n + dt.(\frac{\eta_g.P_{\max}}{1,05.m}.\frac{1}{v} - \frac{\mu_{rr}.m.g}{1,05.m}.v_n - \frac{\frac{\rho}{2}.A.c_d}{1,05.m}.v_n^2) \quad (4.41)$$

(4.2.22) eşitliği k sabitleri ile basitleştirilirse,

$$v_{n+1} = v_n + dt.(\frac{k_3}{v_n} - k_4 - k_2.v_n^2) \quad (4.42)$$

bulunur.

Burada "k_3 ve k_4" sabitleri

$$k_3 = \frac{\eta.P_{\max}}{1,05.m} \quad (4.43)$$

$$k_4 = \frac{\mu_{rr}.m.g}{1,05.m} \quad (4.44)$$

Şeklindedir.

Bütün sabitler bilinir veya tahmin edilebilirse bu birinci dereceden diferansiyel denklem hesap makinesi veya bilgisayar programı ile çözülebilir. Aynı zamanda bu işlem büyük elektrik motorları içinde gerçekleştirilebilir.

İvme hızın birim zamandaki değişimidir.

$$a = \frac{v_{n+1} - v_n}{dt} \ (\mathrm{m/s^2}) \quad (4.45)$$

Taşıt maksimum hıza ulaştığında ivme değeri a = 0 dır.

4.3 Direnç Kuvvetlerinin Yenilmesi İçin Gerekli Tahrik Gücü

Tahrik kuvvetlerini yenmek için gerekli güç, Eş.(4.1) de ifade edildiği gibi:

$$P_{te} = F_{te}.v\,(\mathrm{w})$$

Hava direnci yenmek için gerekli güç,

$$P_{adw} = F_{adw}.v = \frac{1}{2}\rho.A.C_d.v^3 \tag{4.46}$$

Hava direnci yenmek için gerekli batarya gücü ise:

$$P_{adb} = \frac{P_{adw}}{\eta_o} = \frac{\frac{1}{2}\rho.A.C_d.v^3}{\eta_o} \tag{4.47}$$

Batarya kütlesi m_b (kg) ,belirli bir mesafe d (metre) uzaklığa, v ($m.s^{-1}$) hızında giden aracın aerodinamik direnci yenmek için gerekli kilogram başına batarya kimyasal enerjisi SE ($Wh.kg^{-1}$) ise,

$$m_b = \frac{P_{adb}.d}{v.SE.3600}\,\mathrm{kg} \tag{4.48}$$

Yuvarlanma direncini yenmek için gerekli güç,

$$P_{rr} = F_{rr}.v = \mu_{rr}.m.g.v \tag{4.49}$$

μ_{rr} yuvarlanma direnci katsayısı değeri radyal lastikli elektrikli taşıtlar için 0,015 ile 0,005 değerleri arasında alınır[23].

Motor çıkış gücü,

$$P_{mot_out} = P_{te} / n_g \tag{4.50}$$

Motor iç gücü,

$$P_{mot_in} = \frac{P_{mot_out}}{\eta_m} \tag{4.51}$$

4.4. Batarya Kapasitesi ve Taşıt Menzilinin Tanımlanması

Tahrik kuvvetlerini yenmek için gerekli batarya gücü,

$$P_{teb} = \frac{P_{te}}{\eta_0} = \frac{F_{te}.v}{\eta_0} \tag{4.52}$$

Taşıt için elektrik motorunu çalıştırıp, tahrik kuvvetlerini yenmek için ve taşıttaki diğer elektrikli alıcıların çalışması için batarya enerjisine ihtiyaç olduğundan; Taşıt için gerekli batarya gücü,

$$P_{bat} = P_{mot_in} + P_{ac} \tag{4.53}$$

Burada P_{bat} batarya gücü, P_{ac} taşıttaki diğer elektrikli alıcıların çektiği akım gücüdür.
Motor verimi,

$$\eta_m = \frac{P_{mot_out}}{P_{mot_in}} \tag{4.52}$$

Bataryadan yüksek akım çekildiğinde elde edilen batarya kapasitesi, düşük akım çekildiğinde elde edilen batarya kapasitesinden daha düşük çıkar. Bu sebeple kapasite hesaplanmasında Peukert kapasite modeli elektrikli taşıtlarda kullanılabilir. Peukert kapasite modeli için,

$$C_p = I^k.T \tag{4.54}$$

Kurşun asit bataryalar için k sabiti 1,2 olarak tanımlanmıştır. Bu modelde I akımının sabit bir Amperde olduğu göz önüne alınarak hesaplanır. Bu eşitlikle batarya kapasitesi bitene kadar deşarj edilmesi geçen zaman hesaplanabilir. Elde edilecek zaman taşıtın gideceği menzil için kullanılabilir.

Zaman hesabı için,

$$T = \frac{C_p}{I^k} \tag{4.55}$$

$$\delta t.I^k \tag{4.56}$$

Eğer CRn n inci adımda toplam deşarj miktarı ise (A.h) olarak,

$$CR_{n+1} = CR_n + \frac{\delta t.I^k}{3600} Ah \tag{4.57}$$

Bu deşarj kapasitesi bataryanın plakalarındaki deşarj miktarıdır. Bu deşarj akım miktarının hepsi elektrikli taşıtın elektrik sistemine aktarılmaz. Dolayısı ile taşıtı besleyen şarj miktarı,

$$CS_{n+1} = CS_n + \frac{\delta t.I}{3600} Ah \text{ dir.} \tag{4.58}$$

Bu denklemle elde edilen değer daha düşük olacaktır. Çünkü

$$I^k > I$$

Batarya kapasitesine göre deşarj zamanı belirlendikten sonra, bu kapasite değerine göre taşıtın alacağı yol,

$L = v.t$ (m/s) elde edilir.

Bataryanın enerji cinsinden tanımlanması için batarya kapasitesinin kulan cinsinden değerlendirilmesi gerekir.

Kulon / s = Amper'dir.

1 A.h = Kulon . 3 600 s / s = 3 600 kulon
1 kulon 624.10^{16} adet elektron yüküne eşittir. Yani 624.10^{16} adet elektron veya proton, 1 kulonluk elektrik yükünü oluşturur.

1 Joule: B ir Newton'luk bir kuvvetin bir cismi kuvvet doğrultusunda bir metre hareket ettirmesiyle yapılan işe eşittir.

1 Joule = 1 Newton · 1 Metre = 1 N m

1 Joule = 1 Watt · 1 Saniye = 1 Ws

1 Joule = 1 Coulomb · 1 Volt = 1 C V

1 voltluk potansiyel farkı, bir elektrik devresinden geçen bir kulonluk her yük için bir jullük enerjiyi ifade eder: 1 V = 1 J / C Voltaj veya potansiyel farkını elektronlar için sürükleyici güç olarak düşünebiliriz

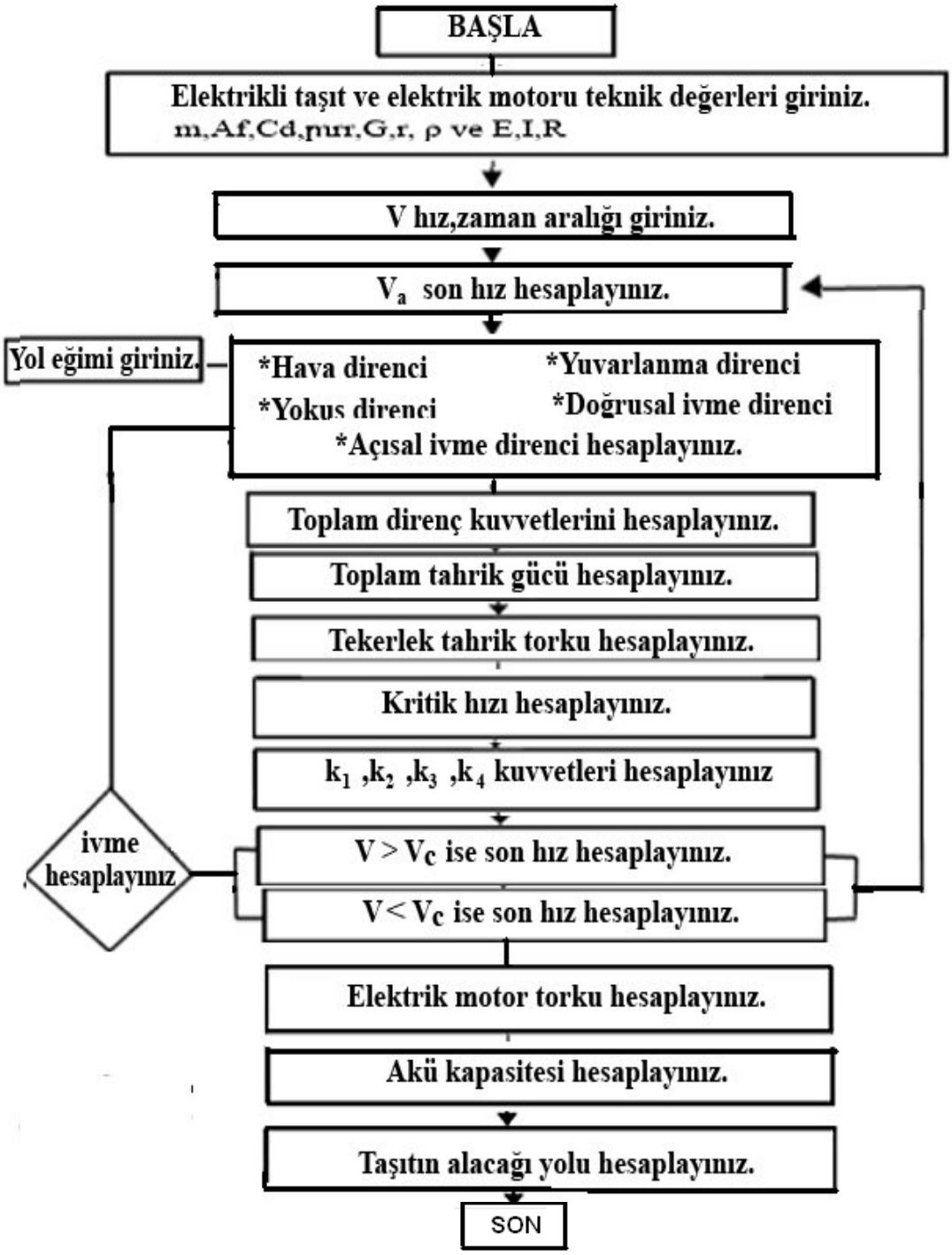
1 kulon 624.10^{16} adet elektron yüküne eşittir. Yani 624.10^{16} adet elektron veya proton, 1 kulonluk elektrik yükünü oluşturur.

60 A.h 'lik kapasite Joule olarak:

Q = 60 . 3600= 216 000 Kulon olur. Seri bağlanmış batarya 24 volt olursa

24.Q = 24 . 216 000 = 5 184 000 Joule olarak bataryada depolanmış enerji ortaya çıkar.

5.SİMÜLASYON PROGRAMI VE UYGULANMASI



Şekil 5.1. Tasarım simülasyon akış şeması

Taşıt tasarım hesaplamaları Excel programı ile yapılarak çözülmüştür ve grafikler çizilmiştir. Çözümde 4. bölümde verilen ifadeler kullanılmış ve taşıt değişkenleri proğram başlangıcında verilerek işlemler yapılmıştır. Çözümde ilk olarak taşıt tahrik gücünün hesabı için taşıtın ilk hareket esnasında maksimum hıza ulaşması esnasında oluşan taşıt ivmesinin hesaplanması gerekmektedir. İvmenin hesaplanması maksimum hıza ulaşmasına kadar hesaplamalar devam ettirilmiştir. Bu hıza kadar her zaman aralığındaki son hız değeri bulunmuştur. Hız değerine göre gerekli hava direnci, yuvarlanma direnci, yokuş direnci gibi direnç kuvvetleri hesaplanarak toplam tahrik kuvvetleri, tahrik gücü, taşıt tekerlek torku ve bunların sağlanması için elektrik motorunun devir ve hıza bağlı tork değerleri ve gücü hesaplanmıştır. Hesaplamaların sonuçları çizelge ve grafiklerle gösterilerek literatüre göre yorumlanmıştır. Aşağıda küçük tek kişilik bir elektrikli taşıt için yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değerler ve grafikler verilmiştir.

Çizelge 5.1. Excel simülasyon programı veri giriş ve sonuçları

ELEKTRİKLİ TAŞIT TASARIM VE SİMÜLASYONU	
BAŞLAT 	
Hızı Giriniz v (m/s)	5
Son Hız v n+1 (m/s)	5
Volt başına motor devri giriniz (r.	70
TASARIMI YAPILAN TAŞITIN TEKNİK ÖZELLİKLER	
	VERİ GİRİNİZ
Taşıtın toplam ağırlığı (Mt , kg)	150
Ön yüzey alanı (Af , m2)	0,576
Aerodinamik direnç katsayısı(Cd)	0,15
Hava yoğunluğu kg/m3	1,25
Sürtünme direnci katsayısı μrr	0,007
Tekerlek yarı çapı r (m)	0,21
Taşıt genişliği (E , mm)	800
Taşıt yüksekliği (H , mm)	800
Taşıtın boyu (L , mm)	1200
Hız düşürme oranı G	2
Motor çalışma gerilimi E(volt)	24

Çizelge 5.1.(Devam) Excel simülasyon programı veri giriş ve sonuçları

Motor ilk çektiği akımı I (amper)	250		
Sargıların direnci Ra (ohm)	0,016		
1-TAŞIT TOPLAM AĞIRLIĞININ HESABI			
$m_T = m_{tem} + m_i + (1+k)\,m_{bat}$			
		VERİ GİRİNİZ	
Elektrik motoru dahil temel kütle (mtem, kg)		50	
İnsan dahil ilave yük (mi , kg)		90	
Batarya kütlesi (mbat, kg)		8	
Batarya birleştirme faktörü (k)		0,25	
TAŞI TOPLAM KÜTLESİ (kg) ve	Ağırlığı (N)	150	1470
2-TAŞIT ÖN İZDÜŞÜM ALANI HESABI			
Taşıt ön izdüşüm alanı (Af, m2)	$A_f = B.H.0{,}9$	0,576	
3-ELEKTRİK MOTORU İLE İLGİLİ HESAPLAMALAR			
$K_m.\phi = \frac{60}{2\pi.n}$		0,13648772	
ELEKTRİK MOTORU TORKU (N.m)	$T = K_m.\phi.I$	34,1219	
EILEKTRİK MOTORU AÇISAL HIZI (rad/s) w		146,533358	
KRİTİK HIZ vk (m/s)	$v = w\frac{r}{G}$	15,386	
4-TAŞIT SON HIZININ HESAPLANMASI			
ZAMAN ARALIĞI GİRİNİZ dt (s)		0,1	
SON HIZ(v<vc)	$v_{n+1} = v_n + dt*(k_1 - k_2.v_n^2)$	5,197	
SON HIZ (v>vc)	$v_{n+1} = v_n + dt.(\frac{k_3}{v_n} - k_4 - k_2.v_n^2)$	5,621	
VERİM GİRİNİZ (ng)	%	99	
K SABİTLERİ			
k1		1,97733823	
k2		0,00034286	
k3		31,4285714	
k4		0,0654	
İVME a	$m.s^{-2}$ $a = \frac{v_{n+1} - v_n}{dt}$	1,97	
İVMELİ HAREKETDE TAŞITIN ALDIĞI YOL (m)	$L = \frac{v.t}{2}$	0,2599	
5 -TOPLAM TAHRİK KUVVETLERİNİN HESAPLANMASI			
Taşıtın ileri hareketi için gerekli çekiş kuvveti> Fte			
$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{wa}$	(N)	321,9	
6-HAVA DİRENCİ (N)	$F_{ad} = \frac{\rho}{2}.C_D.A_f.v^2$	1,35	
7-YUVARLANMA DİRENCİ (N)	$Frr = \mu_{rr}.m.g$	10,3005	
HIZA BAĞLI YUVARLANMA DİREN	$(f_0 + f_1.v^2).m.g$	20,01	

Çizelge 5.1.(Devam) Excel simülasyon programı veri giriş ve sonuçları

YOL EĞİMİ (VERİ GİRİNİZ)	%	0
8-YOKUŞ DİRENCİ(N)	$F_{kc} = m.g.\sin(\varnothing)$	0
9-Doğrusal (hızlanma) İVME KUVVETİ. Fla(N)	$F_{ka} = m.a$	295,5
10-Açısal (hızlanma) İVME KUVVETİ Fwa (N)	$F_{wa} = I\frac{G^2}{r^2}.a$	14,775
TAHRİK KUVVETLERİNİ YENMEK İÇİN GEREKLİ GÜÇ HESABI		
TOPLAM TAHRİK GÜCÜ (watt)	$P_{te} = F_{te}.v$	1609,5
7-ELEKTRİK MOTORU ÇIKIŞ GÜCÜ HESABI (wat		1625,758
ELEKTRİK MOTORU İÇ GÜCÜ HESABI (watt)		1658,937
8-BATARYA HESAPLARI		
ELEKTRİK MOTORU ÇALIŞMA AKIM (Amp.) GİR		20
ÇALIŞMA SÜRESİNİ (Saat) GİRİNİZ		4
PEUKERT KAPASİTE İÇİN ÜS GİRİNİZ		1,2
GEREKLİ BATARYA KAPASİTESİ (Ah)	$C_p = I^k.T$	146
ZAMAN ARALIĞI GİRİNİZ (Saniye)		10
DEŞARJ MİKTARI	$CR_{n+1} = CR_n - \frac{\delta t.I^k}{3600} Ah$	145,899
ŞARJ MİKTARI	$CS_{n+1} = CS_n + \frac{\delta t.I}{3600} Ah$	146,056
TAŞITIN BATARYA KAPASİTESİNE GÖRE SABİT HIZDA ALACAĞI YOL (Km)		20,056
ELEKTRİK MOTOR TORKU HESABI (N.m)	$T = \frac{F_{te}.r}{G.\eta_g}$	34,141
TEKERLEK TAHRİK TORKU (N.m)	$T_{te} = F_{te}.r$	67,599
ELEKTRİK MOTOR GÜCÜ	$\frac{T.n}{9549}$ KW	1,63
	HP	2,22
MAKSİMUM ELEKTRİK MOTOR GÜCÜ(WATT)	$P = T_{max}.\frac{G}{r}.v_c$	5000
% KAYMA DEĞERİ GİRİNİZ		0
MOTOR DEVİR SAYISI GİRİNİZ (R.P.M)		200
MOTOR DEVİR SAYISINA (m/s)	$V = \frac{\Pi r.n_e}{30.G}(1-s)$	2,198
BAĞLI TAŞIT HIZI HESABI (km/h)		7,913
ELEKTRİK MOTORU VERİMİ (%)		98
TAŞIT HIZINA BAĞLI MOTOR DEVİR SAYISI	$n_e = \frac{v.30.G}{\pi.r}$	455
Yuvarlanma direnci katsayısı fo		0,0136
Yuvarlanma direnci katsayısı f1		5,184E-07

6. SİMÜLASYON MODEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde 5. bölümde verilen simülasyon programı ve uygulama taşıt özelliklerine göre elde edilen hesaplama sonuçları değerlendirilmiştir.

Taşıtın toplam direnç kuvvetlerinin hesaplanması için direnç kuvvetler tek tek hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda ilk olarak düz yol şartlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Sonra değişik yol eğimine göre hesaplamalar yapılmıştır.

Tasarımı yapılmak istenen tek kişilik küçük bir elektrikli taşıtın toplam kütlesi
İfadesi (4.14) de verilmişti,

$m_T = m_{tem} + m_i + (1+k).m_{bat}$

m_T = Toplam kütle (kg) (Aracın kütlesi)

m_{tem} = Elektrik motoru dâhil araç kütlesi (kg)

m_i = İlave yük (kg)

m_{bat} = Batarya kütlesi (kg)

Elektrik motoru dâhil araç kütlesi 50 kg, ilave yük 90 kg, batarya kütlesi 8 kg olan küçük elektrikli bir taşıt için toplam kütlesi:

$m_T = m_{tem} + m_i + (1+k).m_{bat}$ = 50 + 90 + 8 (1+025) = 150 kg'dır.

Tasarlanan taşıtın genişliği 80 cm, yüksekliği 80 cm ise ön izdüşümü alanı:
Eş. 4.18 den:

$A_f = E.H.0,9$ (m^2)

A_f = 0,8 . 0,8 .0,9 = 0,576 m^2

Herhangi bir eğimdeki yolda ve sabit hızda seyretmekte olan bir taşıtın karşılaştığı dirençler ise yokuş, yuvarlanma ve hava dirençleridir. Taşıtın hızlanma ve yavaşlama durumlarında ivme direncinin de etkisi olur. Eğer taşıt sabit hızda düz bir yolda gidiyorsa yalnız yuvarlanma direnci ve hava direnci etkilidir.

Tasarımı yapılan taşıtla ilgili teknik özellikler çizelge 6.1 da verilmiştir.

Çizelge 6. 1. Tasarımı yapılan taşıtın teknik özellikleri

Taşıt gövde ağırlığı (kg)	40
Elektrik motoru ağırlığı (kg)	10
Batarya donanım ağırlığı (kg)	10
İnsan ağırlığı (kg)	80
İlave yük (kg)	10
Tasarlanan aracın toplam ağırlığı (M_T, kg))	150
Taşıt genişliği (E, mm)	800
Taşıt yüksekliği (H, mm)	800
Taşıtın boyu (L, mm)	1200
Ön yüz alanı (A_f , m^2)	0,576
Aerodinamik direnç katsayısı (C_D)	0,15
Yuvarlanma direnci katsayısı (μ_{rr})	0,007
Hava yoğunluğu (ρ, kg/m^3)	1,25
Tekerlek yarı çapı (m)	0,15
Hız düşürme oranı (G ,Dişli veya kasnak oranı)	2
Elektrik motoru çalışma gerilimi (E, volt)	24
Elektrik motoru bobin direnci (R_a , Ohm)	0,016
Elektrik motoru ilk hareket çektiği akım (I, Amper)	250

Düşük hızlarda hava direnci diğer kayıplar yanında oldukça küçük mertebelerdedir. Ancak hız 30-40 km/h değerine ulaşınca hava direnci değer kazanır. Bunun sebebi hava direncinin hızın karesiyle doğru olarak artmasıdır. Aerodinamik direnç katsayısı (C_D), açık spor arabalarda 0,5-0,7 kadardır. Otomobilde en avantajlı biçim 0,15-0,20 değerleridir.

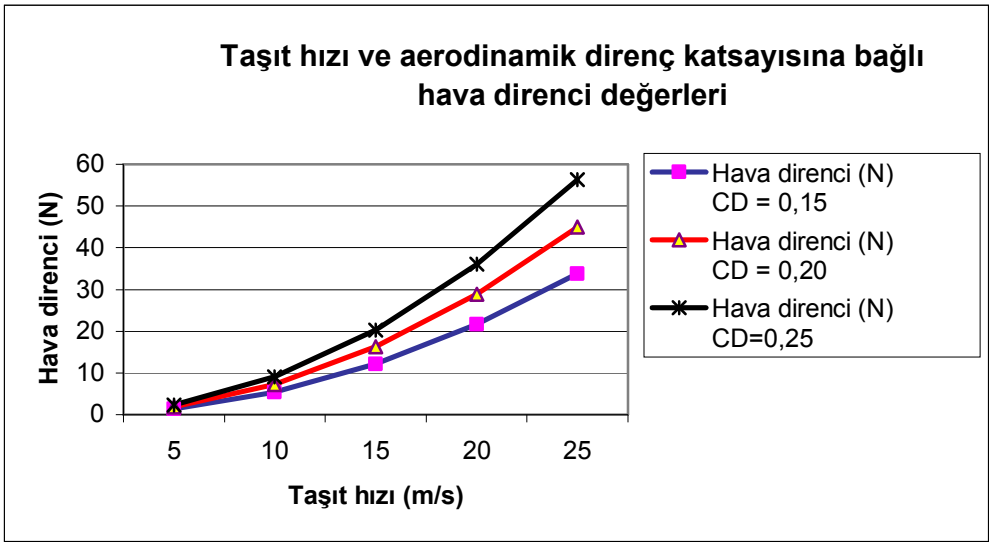
Tasarımı yapılan taşıt için hava yoğunluğu ρ = 1,25 kg/m^3, aerodinamik direnç katsayısı $C_D = 0,15$ değerlerini alacak olursak taşıtın değişik hız durumlarındaki aerodinamik direnç değerleri,

$$F_{ad} = \frac{\rho}{2}.C_D.A_f.v^2 \qquad (4.15)$$

bağıntısından elde edilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 6.2. de gösterilmektedir.

Çizelge 6. 2. Hıza bağlı hava direnci değerleri

Taşıt hızı (m/s)	Aerodinamik direnç (N)		
	(C_D = 0,15) için	(C_D = 0,20) için	(C_D = 0,25) için
5	1,35	1,8	2,25
10	5,4	7,2	9
15	12,15	16,2	20,25
20	21,6	28,8	36
25	33,75	45	56,25



Şekil 6. 1. Taşıt hızı ve aerodinamik direnç katsayısına bağlı hava direnci

Şekil 6.1 daki taşıt hızına ve aerodinamik direnç katsayısına bağlı hava direnci değişimi grafiği incelenirse taşıt hızı arttıkça taşıtın hareketine direnç gösteren hava direncinin arttığı görülmektedir. Ayrıca aerodinamik direnç katsayısının yükselmesi ve taşıt ön yüzey alanı da hava direncini arttıran bir faktör olarak görülmektedir.

Kütlesi 150 kg olan bu elektrikli taşıtın tekerlekleri radyal lastik alındığında, değişik hızlar için yuvarlanma direnci:

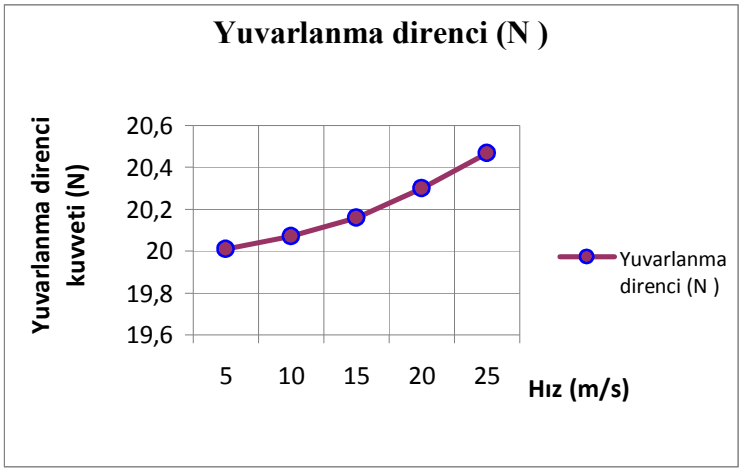
Lastikle tekerlek arasındaki kuvvet bağlantı katsayısı μ_{rr} =0,007 ise,

$F_{rr} = \mu_{rr}.m.g$ (4.20) ifadesinden yapılan hesaplamalardan elde edilen değerler çizelge 4.8 de gösterilmektedir.

Lastiklerin yuvarlanma direnci katsayıları birçok faktörün etkisi altındadır. Bu faktörler taşıt hızı, lastik yapısı, taç açısı, şişirme basıncı, kesit oranı, lastik karışımı, diş malzemesi ve biçimi ile yol düzeyinin durumu şeklinde özetlenebilir[19].

Çizelge 6. 3. Taşıt hızına bağlı yuvarlanma direnci değerleri

Taşıt hızı (m/sn)	Yuvarlanma direnci (N)
5	20,01
10	20,07
15	20,16
20	20,3
25	20,47



Şekil 6. 2. Taşıt hızına bağlı yuvarlanma direnci

Eş.4.19 da,

$$F_{rr} = (f_0 + f_1.v^2).W = (f_0 + f_1.v^2).m.g$$

Görüldüğü gibi yuvarlanma direnci sürtünme katsayısı ve taşıt ağırlığına bağlı olarak değişmektedir. Taşıt hızı da yuvarlanma direncine etki eden faktörlerden biridir.

Taşıt hızına göre yuvarlanma dirençleri 4.19 daki bağıntıdan hesaplanarak çizelge 6.3 de gösterilmiştir. Şekil 6.2 de bu sonuçlara göre çizilen taşıt hızına bağlı yuvarlanma direnci grafiği hız arttıkça az da olsa hızın yuvarlanma direnci üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir.

Taşıt düz yolda ve sabit hızda giderken taşıta etkiyen tahrik kuvvetleri yuvarlanma direnci ve hava direncidir. Bu iki direnç kuvveti programda,

$F_{te} = F_{ad} + F_{rr}$ ifadesi ile hesaplanmaktadır.

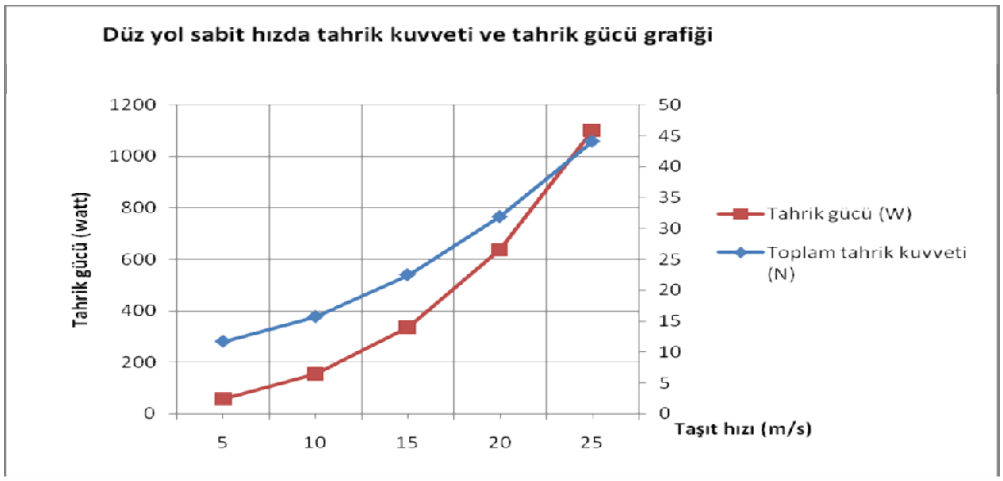
Tahrik kuvvetlerini yenmek için gerekli güç,

$$P_{te} = F_{te}.v \text{ (watt)} \qquad (4.1)$$

olduğundan sabit hızda ve düz yolda hareket eden bir taşıt için hesaplamalar sonucu çizelge 4.9 daki tablo elde edilmiştir.

Çizelge 6. 4. Düz yol ve sabit hızda toplam tahrik kuvveti ve tahrik gücü değerleri

Taşıt hızı (m/sn)	Toplam tahrik kuvveti (N)	Tahrik gücü (W)
5	11,7	58,5
10	15,7	157
15	22,5	337,5
20	31,9	638
25	44,1	1102,5



Şekil 6. 3. Düz yol ve sabit hıza hıza bağlı tahrik kuvvetleri ve tahrik gücü

Şekil 6.3 incelenecek olursa sabit hızda düz yolda tahrik kuvveti ve tahrik gücünün hıza bağlı olarak yükseldiği görülmektedir. Tahrik kuvveti tahrik gücüne göre daha hızlı artış oranı göstermektedir. Çünkü tahrik kuvveti eğrisi eğimi, tahrik gücü eğrisi eğiminden daha büyüktür.

Tasarımı düşünülen taşıtın eğimli bir yolda da hareket edeceği göz önüne alınarak yokuş direncinin de hesaplanması gerektiğinden, taşıtın kütlesi 150 kg ve %10 eğimli bir yolu 5 m/sn hızla çıktığında yokuş direnci değeri:

% 10 eğim $5{,}74^0$ küçük açılar için tan Ψ = sin Ψ dır.

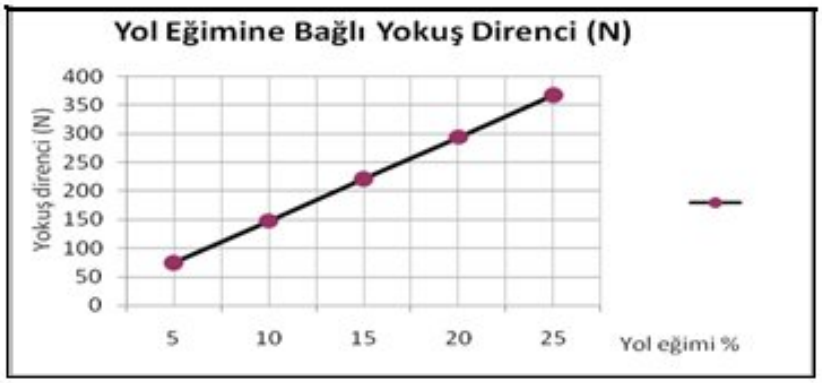
Sin 5,74 = 0,10 bu değer yaklaşık yolun eğimi kadardır. Eş. (4.21) den

$$F_{hc} = \pm m.g.\sin(\psi)$$

Yapılan hesaplama ile değişik yol eğimleri için bulunan değerler çizelge 6.5 de gösterilmiştir.

Çizelge 6. 5. Yol eğimine bağlı yokuş direnci değerleri

Yol eğimi (%)	Açı olarak	Yokuş direnci (N)
5	3	73,5
10	5,74	147
15	8,63	220,5
20	12	294
25	15	367,5



Şekil 6. 4. Yol eğimine bağlı yokuş direnci grafiği

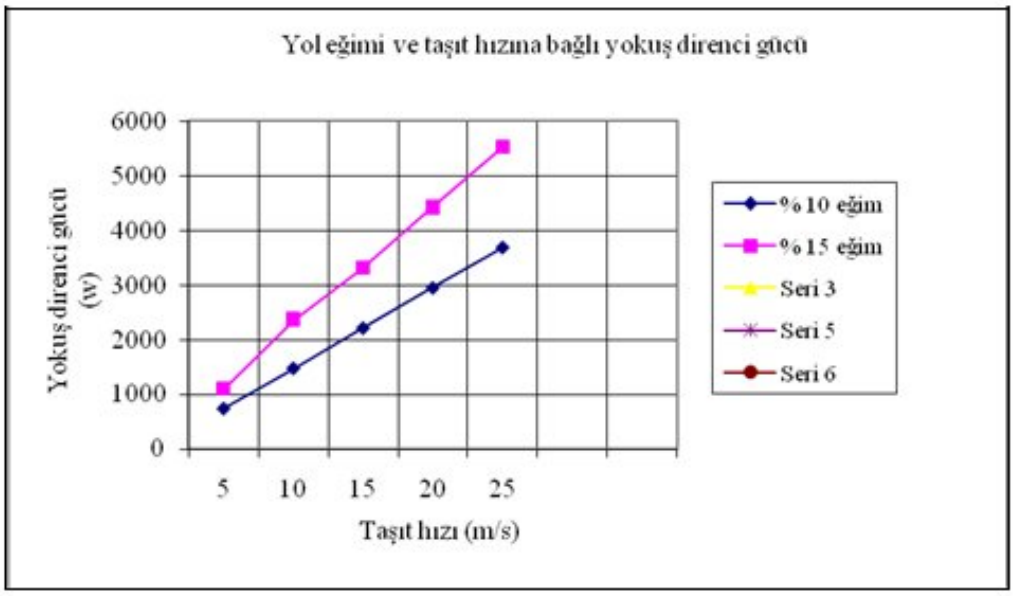
Burada da görüldüğü gibi yol eğimi arttıkça yokuş direnci de büyük oranda artmaktadır. Bu da taşıtın eğimli yollarda hareketinde daha fazla tahrik gücü gereksinimi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle elektrikli taşıt tasarımı yapılırken gerekli motor gücünün hesaplanmasında yokuş direnci faktörünün göz önüne alınarak hesaplamaların yapılması gerektiğini göstermektedir.

Türkiye'deki maksimum eğimli yol şartları 1990 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan bir istatistiğe göre otoyollarda %10, şehir içi yollarda %15dir [20].
Bu sebeple elektrikli taşıt tasarımında bu eğimler dikkate alınmıştır.

Çizelge 6. 6. Yol eğimi ve taşıt hızına bağlı yokuş direnci gücü

Taşıt hızı (m/s)	Yokuş direnci gücü (w) %10 eğim	Yokuş direnci gücü (w) %15 eğim
5	735	1102
10	1470	2362
15	2205	3307
20	2940	4410
25	3675	5512

Şekil 6.5 de görüldüğü gibi taşıtın eğimli yolda hareketi için gerekli yokuş direnci gücü yol eğimine ve taşıt hızına bağlı olarak değişmektedir. Yol eğimi ve taşıt hızı arttıkça gerekli güçte artış göstermektedir.

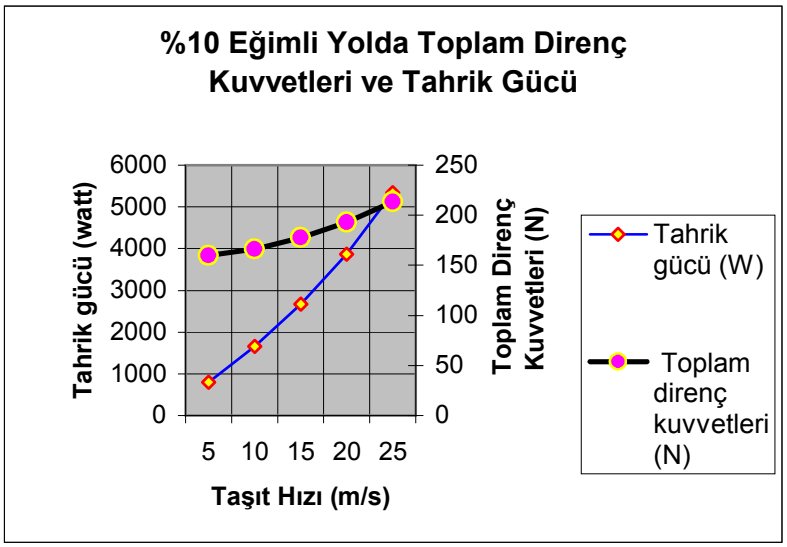


Şekil 6. 5. Yol eğimi ve taşıt hızına bağlı yokuş direnci grafiği

Çizelge 6.7. %10 eğimli yol, taşıt hızına bağlı tahrik kuvveti ve tahrik gücü

Taşıt hızı (m/s)	Toplam direnç kuvvetleri (N)	Tahrik gücü (W)
5	159,6	798
10	166,3	1663
15	177,6	2664
20	193,3	3866
25	213,6	5340

Şekil 6.6. daki % 10 eğimli yol için hesaplanan değerlere ait toplam direnç kuvvetleri ve tahrik gücü grafiğinde görüldüğü gibi toplam direnç kuvvetleri ve tahrik gücü taşıt hızına bağlı olarak değişmektedir. Taşıt hızı arttıkça toplam direnç kuvvetleri de artmakta ve gerekli tahrik gücüde artış göstermektedir.



Şekil 6. 6. Yol eğimi ve taşıt hızına bağlı tahrik kuvveti ve tahrik gücü grafiği

Taşıtın hızlanması veya yavaşlaması sırasında bu hareketlere ters yönde oluşan atalet kuvvetleri (ivme direnci) oluşmaktadır.

İlk hız değeri 0 dan başlayarak 0,1saniye aralıklarla kritik hıza kadar,

$$v_{n+1} = v_n + dt.(k_1 - k_2.v_n^2) \tag{4.34}$$

Kritik hızın üzerinde ise,

$$v_{n+1} = v_n + dt.(\frac{k_3}{v_n} - k_4 - k_2.v_n^2) \tag{4.42}$$

Numaralı denklemlerden hesaplarsak, birer saniye aralıklarla son hız değerleri çizelge 6.8 de verilmektedir.

Çizelge 6. 8. İvmeli hareket son hız değerleri (Motor gücü 3 kW, E=18 V)

ZAMAN(s)	İLK HIZ(m/s)	SON HIZ(m/s)	İVME(m/s2)
1	1,76076848	1,95633287	1,9556439
2	3,71497693	3,91017444	1,9519751
3	5,66434447	5,85891511	1,9457064
4	7,60628488	7,79997195	1,9368707
5	9,53825093	9,73080237	1,9255144
6	11,4235834	11,5807942	1,572108
7	12,6076683	12,6880481	0,803798
8	13,2132466	13,2543697	0,411231
9	13,5231771	13,5442186	0,210415
10	13,6817379	13,6925082	0,107703
11	13,7629087	13,7684216	0,055129
12	13,8044546	13,8072768	0,028222
13	13,8257231	13,8271679	0,014448
14	13,8366113	13,837351	0,007397
15	13,8421856	13,8425643	0,003787
16	13,8450393	13,8452332	0,001939
17	13,8465003	13,8465995	0,000992
18	13,8472481	13,8472989	0,000508
19	13,847631	13,847657	0,00026
20	13,847827	13,8478403	0,000133

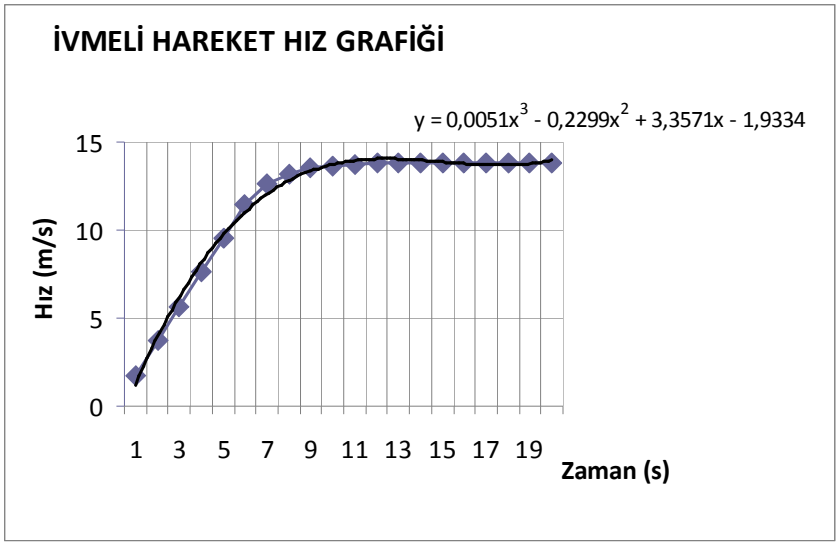
Maksimum taşıt hızında ivme değeri a = 0 dır.

Buradan ivmelenme esnasındaki hız zaman grafiği Şekil 6.7 de elde edilmiştir.

Şekil 6.7 deki grafik incelenecek olursa birim zamandaki hız değişiminin

$a = \frac{v_{n+1} - v_n}{dt}$ $(m/s^2) = 0$ olduğu an taşıt maksimum hıza erişmektedir.

Grafiktede görüldüğü gibi tasarımı yapılan taşıt 13.saniyede maksimum hıza ulaşmaktadır.Bu andaki hızı 13,7 m/s olmaktadır.

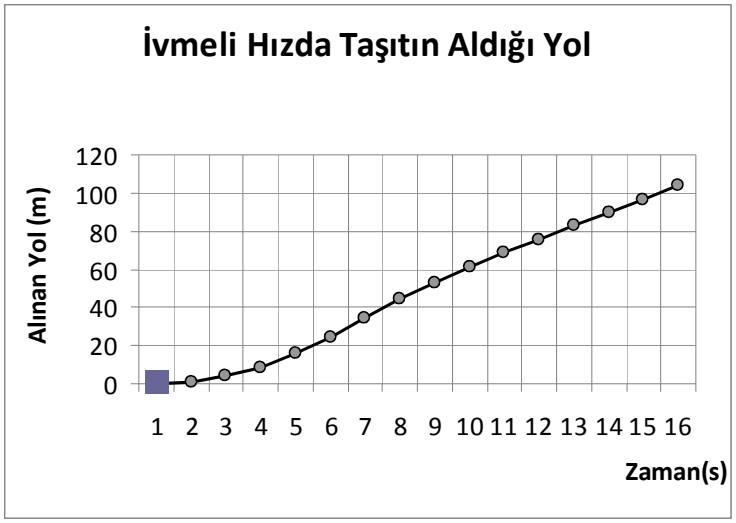


Şekil 6. 7. İvmeli hareket hız-zaman grafiği

Çizelge 6. 9. Tasarımı yapılan elektrikli taşıtın ivmelenme anındaki aldığı yol

ZAMAN	SON HIZ(m/s)	TAŞITIN ALDIĞI YOL(m)
1	1,95633287	0,978166435
2	3,91017444	3,91017444
3	5,85891511	8,788372665
4	7,79997195	15,5999439
5	9,73080237	24,32700593
6	11,5807942	34,7423826
7	12,6880481	44,40816835
8	13,2543697	53,0174788
9	13,5442186	60,9489837
10	13,6925082	68,462541
11	13,7684216	75,7263188
12	13,8072768	82,8436608
13	13,8271679	89,87659135
14	13,837351	96,861457
15	13,8425643	103,8192323

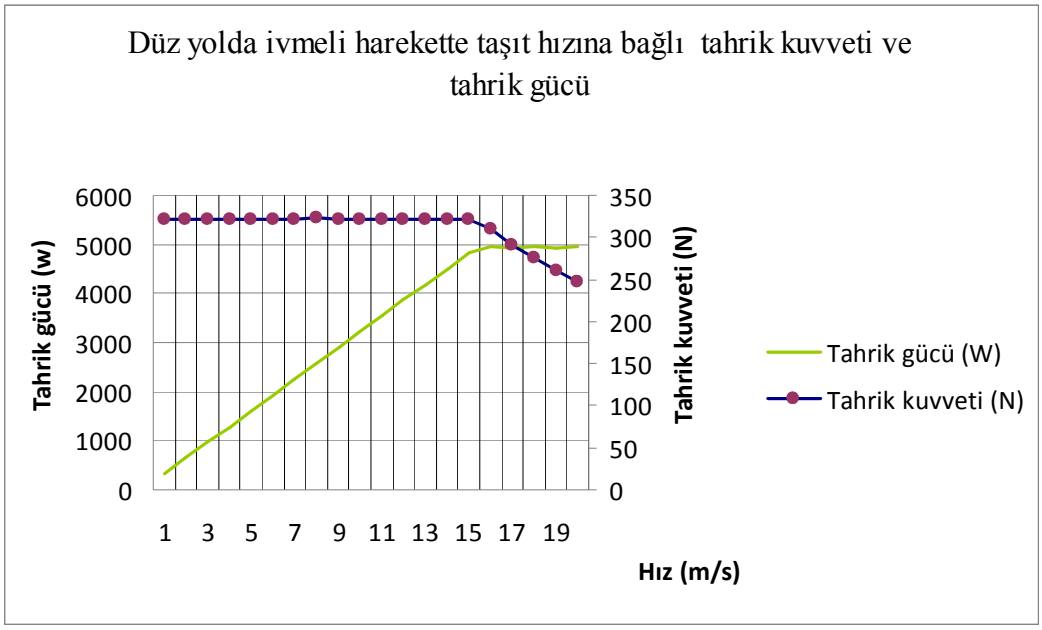
Şekil 6.8. incelenirse taşıtın 0’ dan 10 metre mesafeye ulaşması 3,4 saniyede, ilk 100 metre mesafeye ulaşması 15,5 saniyede olmaktadır.



Şekil 6. 8. İvmeli harekette taşıtın aldığı yol

Çizelge 6. 10. İvmelenme anındaki toplam tahrik kuvveti ve tahrik gücü

Hız (m/s)	Motor devri (d/d)	Tahrik kuvveti (N)	Tahrik gücü (W)
1	91	322,205	322,205
2	182	322,367	644,734
3	273	321,062	963,186
4	364	321,44	1285,76
5	455	321,926	1609,63
6	546	320,945	1925,67
7	637	321,647	2251,529
8	728	322,457	2579,656
9	819	321,8	2896,2
10	910	321,251	3212,51
11	1001	322,385	3546,235
12	1092	322,052	3864,624
13	1183	321,827	4183,751
14	1274	321,71	4503,94
15	1365	321,701	4825,515
16	1456	309,2	4947,2
17	1547	290,507	4938,619
18	1638	275,072	4951,296
19	1729	259,745	4935,155
20	1819	247,676	4953,52



.

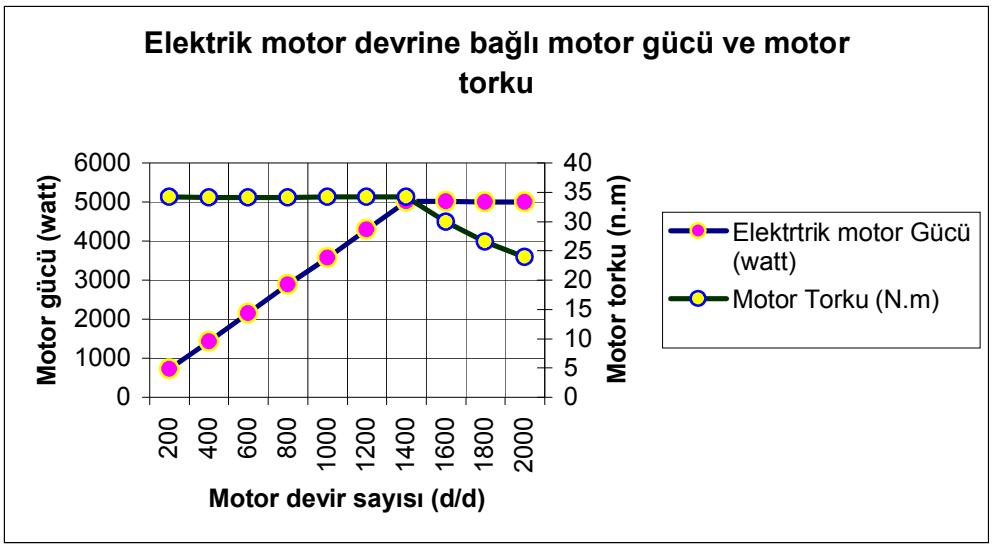
Şekil 6. 9. Düz yolda ivmeli hareket de toplam tahrik kuvveti ve tahrik gücü

Taşıt düz yolda ivmeli hareket ederken toplam tahrik kuvveti ve tahrik gücü değerleri ve grafiği şekil 6.9 gibidir.

Çizelge 6.11. Motor devir sayısına bağlı motor gücü ve motor torku değerleri

Taşıt hızı m/sn	Motor devri d/d	Elektrik motor Gücü (watt)	MotorTorku (N.m)
2,198	200	715,758	34,194
4,396	400	1428,081	34,109
6,594	600	2150	34,077
8,792	800	2880	34,109
10,99	1000	3578,99	34,194
13,188	1200	4290,808	34,162
15,386	1400	5008,99	34,183
17,584	1600	5010,505	29,92
19,782	1800	5003,434	26,558
21,98	2000	5004,343	23,906

Taşıt elektrik motorunun güç ve torkunun devir sayısına göre değişimi sonuçları ise çizelge 6.11 de, devir sayısına bağlı motor gücü ve motor torku grafiği ise şekil 6.10 görülmektedir.

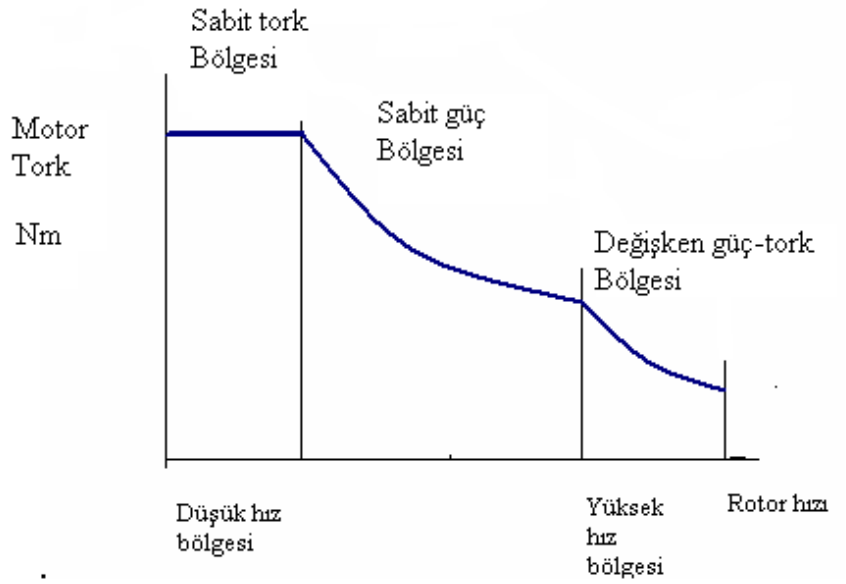


Şekil 6. 10. Elektrik motor devrine bağlı motor gücü ve motor torku grafiği

Şekil 6.11 deki tahrik gücü ve tahrik kuvveti grafiği aynı zamanda taşıtın motor gücü ve torku grafiğine eşdeğer bir grafikle örtüşmelidir. Şekil 6.11 tahrik gücü ve tahrik kuvveti grafiği ve şekil 6.12 de görülen motor torku ve gücü grafiği incelendiğinde bu örtüşmenin sağlandığı görülmektedir. Eğer motor torku yeterli değilse bu durumda aktarma sisteminde değişiklik yapılması gerekmektedir. Bu tasarım hesabı sonucu elde edilen şekil 6.10 daki grafik DC elektrik motoru karakteristik eğrisi ile Şekil 2.13 benzer özellik göstermektedir. Taşıt elektrik motoru gücü kritik hız değerlerine kadar yükselmektedir. Kritik hızdan sonra sabit kalmaktadır. Motor torku ise düşük devirlerde yüksek ve kritik hıza kadar sabit, kritik hızdan sonra düşme göstermektedir.

Elektrikli taşıt tasarımında taşıtın maksimum hız bölgesi elektrik motoru karakteristiğinde gücünün sabit olduğu son bölgede düşünülür. Elektrik motoru karakteristiklerine Şekil 6.11 da bakıldığında elektrik motoru motor kontrol devresi ile bu bölgelerin herhangi birinde çalıştırılabilir. Bu çalışma karakteristikleri elektrikli araçlarda çok farklı dişli oranlarlında çalışmayı ve kavrama sistemini ortadan kaldırmaktadır. Yalnız bir tek dişli oranlı bir transmisyon sistemi aksı çevirmek için yeterli olmaktadır. Bu dişli oranı elektrikli taşıt için gerekli güç miktarına düşük ve yüksek hızda ulaşılıp ulaşılamayacağına göre belirlenir. Dolayısı

ile elektrik motorlarının karakteristiklerinde sabit güç veren kısım elektrikli taşıtlarda dişli kullanımını azaltmaktadır.



Şekil 6. 11. Elektrik motorları tork hız karakteristiği [12]

Elektrik motorunun boyutu taşıtın maksimum tork ihtiyacına bağlıdır. Daha yüksek tork daha büyük ve ağır motor demektir. Motor boyutunu düşürmek ve ağırlığı azaltmak için verilen bir güç için elektrik motorları yüksek hızlarda bu gücü üretecek şekilde tasarlanır. Dişli sistemi kullanılarak yüksek hızdan daha düşük bir tekerlek hızı elde edilmesi sağlanır. Otomobillerde genellikle motor devirleri 15000 d/d ve tekerlek devri 1000 d/d olarak tasarlanır. Transmisyon dişli oranları 10/1 ile 15/1 oranlarına 3/1 ile 4/1 oranlarında hız azaltılması ile iki safhada ulaşılır. Elektrikli taşıtlarda dişli oranı istenen güç oranında düşük veya yüksek hız performansına ulaşılıp ulaşılamayacağı üzerine belirlenir.

Daha büyük dişli oranı kullanılarak tahrik kuvveti arttırılabilir. Fakat bu durumda maksimum taşıt hızı azalacaktır. Bu sebeple dişli oranı, belirlenmiş motor hızı, belirlenmiş taşıt hızı, taşıt maksimum hızı, tekerlek yarıçapı ve maksimum eğime bağlıdır. Daha büyük dişli oranı daha büyük dişliyi gerektirmektedir. Bu sebeple dişli oranı ve motorun belirlenmiş kritik hızı eş zamanlı olarak seçilip toplam boyut ve performans ihtiyacı optime edilmelidir. Sunulan çalışmada bu yapılmış ve dişli oranı

2 alınarak işlemler yapılmıştır. Elde edilen sonuç Şekil 6.12 de motor ve tekerlek devir sayısı için tanımlanmıştır. Taşıt hızı motor hızından daha yüksek olarak belirlendiğinde taşıt hızı motor tork karakteristik eğrisinin sabit güç bölgesine düşer.

Elektrik motoru maksimum torkunun hesaplanmasında,

$$T = \frac{F_{te}.r}{G\ .\eta_g} \tag{4.5}$$

Bağıntısından tasarımı yapılan elektrikli taşıt için, tekerlek maksimum tahrik kuvveti 324,36 N, transmisyon verimi 0,98 ve motor hızı yarı yarıya düşürülerek tekerleklere aktarılıyorsa, tekerlek yarıçapı r = 0,21 m, transmisyon oranı 2 alınırsa, motor momenti,

$$T = \frac{F_{te}.r}{G\ .\eta_g} = \frac{318,765.0,21}{2.0,98} = 34,153 \ \text{Nm}$$

bulunur.

Bu bağıntı ile hesaplanan motor devrine bağımlı motor tork değerleri ve tekerlek tork değerleri çizelge 6.12 görülmektedir.

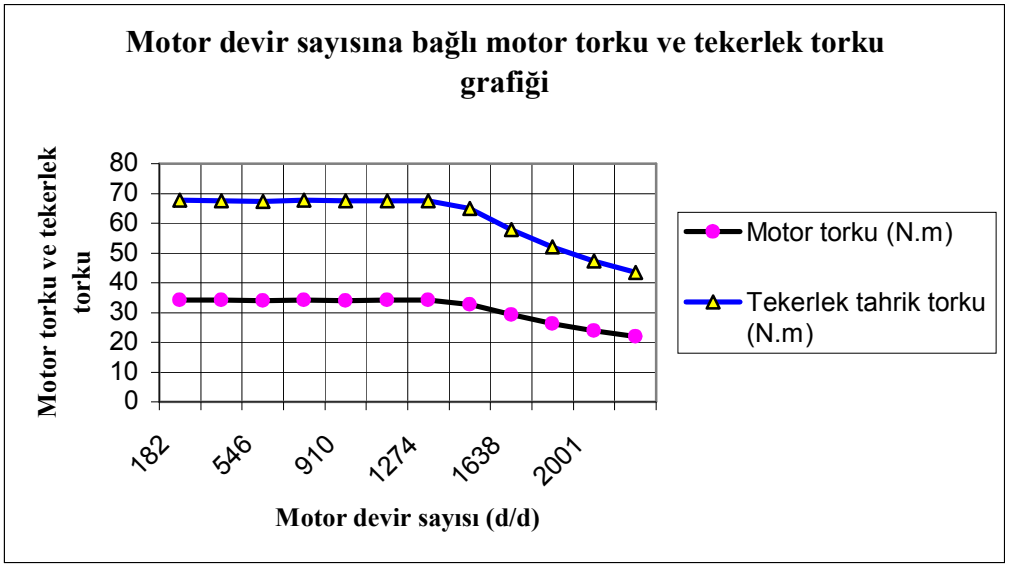
(4.4) deki tekerlek tahrik torku bağıntısı,

$T_{te} = F_{te}.r$ (Nm)

Kullanılarak hesaplanan tekerleklerdeki tahrik torku değerleri de değişik motor devirleri aynı çizelgede verilmektedir.

Çizelge 6.12.Taşıt hızı ve devir sayısına bağlı motor torku ve tahrik torku değerleri

Taşıt hızı (m/s)	Elektrik motoru devir sayısı (l/min)	Motor torku (Nm)	Tekerlek tahrik torku Nm
2	182	34,19	67,697
4	364	34,092	67,502
6	546	34,04	67,398
8	728	34,2	67,716
10	910	34,072	67,463
12	1092	34,157	67,631
14	1274	34,121	67,559
16	1456	32,794	64,932
18	1638	29,174	57,765
20	1820	26,269	52,012
22	2001	23,91	47,342
24	2184	21,931	43,424



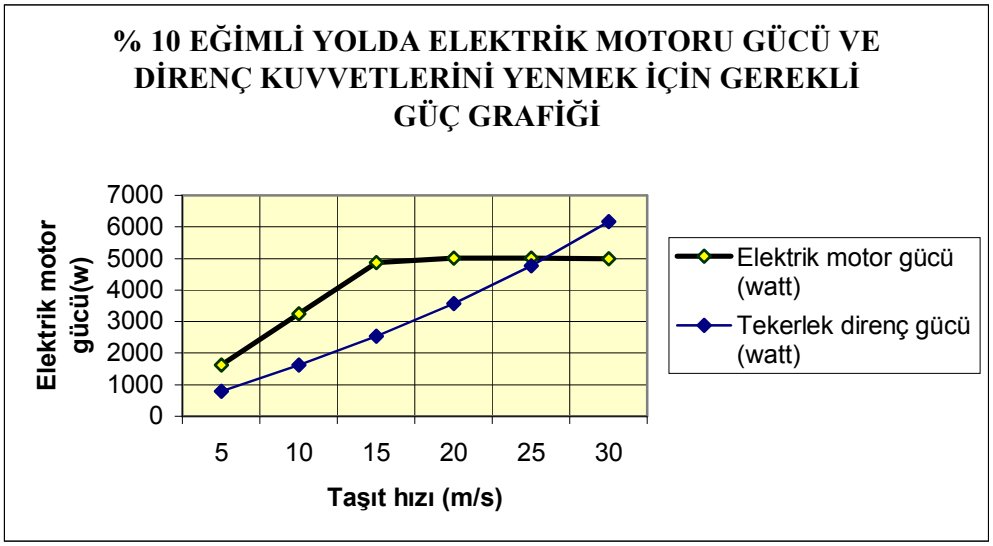
Şekil 6. 12. Motor devir sayısına bağlı motor torku ve tekerlek torku grafiği

Tasarımı yapılan taşıt için kritik hız olan motor devir sayısının (1400 l/min' in) üzerine çıkması ile motor torku ve tekerlek tahrik torku düşmektedir. Kritik hızdaki taşıt hızı 15,386 m/s dir.

Şekil 6.12 de görüldüğü gibi motor torku ve tekerlek tahrik torku eğilim grafiklerinde motor devir sayısının düşük olduğu durumlarda motor torku ve tekerlek tahrik torku maksimum değerlerdedir. Hesaplamalar sonucu bulunan değerler ve sonuçlara göre çizilen motor torku grafiği, Şekil 2.13 deki DC motor tork eğrisi grafiği ile örtüşmektedir.

Çizelge 6.13. % 10 eğimli yolda elektrik motor gücü ve tekerlek direnç güç değerleri

Taşıt hızı (m/s)	Elektrik motor gücü (watt)	Tekerlek direnç gücü (watt)
5	1625,758	793,2525
10	3245,455	1627
15	4874,242	2541,76
20	5004,04	3578,01
25	5010,1	4776,26
30	4982	6177



Şekil 6. 13. %10 Eğimli yolda direnç kuvvetlerini yenmek için gerekli güç grafiği

Tasarımı yapılan elektrikli taşıtın taşıt hızına bağlı % 10 eğimli yolda tekerleklerdeki direnç kuvvetlerini yenmek için gerekli güç değerleri Çizelge 6.13 de görülmektedir. Şekil 6.13 incelendiğinde elektrik motoru gücü bu şartlarda taşıtın 25 m/sn (90 km/h) hıza kadar gerekli gücü sağlayabilmekte olduğunu göstermektedir.

Taşıtın %10 yol eğiminde daha yüksek hızlarda hareket edebilmesi için daha güçlü elektrik motoruna gereksinim vardır.

Motor açısal hızı,

$$\omega = G.\frac{v}{r} = \frac{\pi.n_e}{30} \tag{4.8}$$

4.8 deki bağıntıdan taşıt hızı,

$$v = \frac{\omega.r}{G}$$

Şeklindedir ve güç aktarma sırasında kayma meydana geldiği ve verimin %100 olmadığı göz önüne alınırsa hız,

$$v = \frac{\pi.r\ .n_e}{30.G}(1-s)$$

Şeklinde ifade edilir.

s: Kayma

n_e : Motor devir sayısı

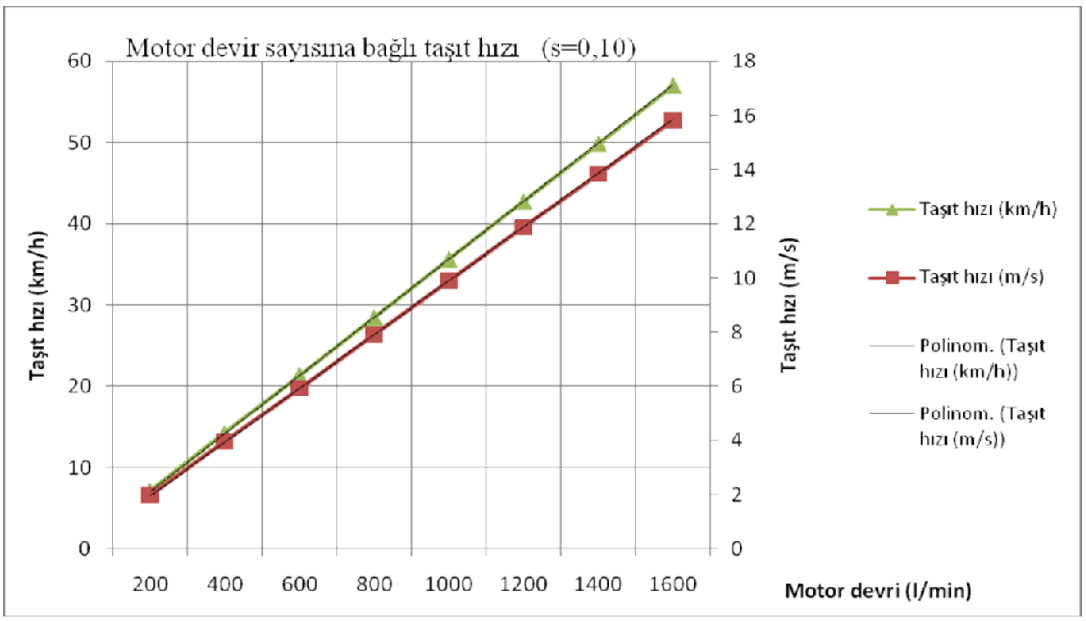
$$n_e = \frac{v.30.G}{\pi.r(1-s)}\ \text{l/min}$$

Kayma (s) ihmal edilecek olursa,

$n_e = \frac{v.30.G}{\pi.r}$(l/min) ifadesi elde edilir.

Çizelge 6. 14. Çeşitli motor devirlerindeki taşıt hızı

Motor devri(l/min)	Taşıt hızı(m/s)	Taşıt hızı (km/h)
200	1,978	7,121
400	3,956	14,242
600	5,934	21,363
800	7,912	28,484
1000	9,89	35,605
1200	11,868	42,726
1400	13,846	49,847
1600	15,824	56,968
1800	17,802	64,089
2000	19,78	71,21



Şekil 6. 14. Çeşitli motor devirlerindeki taşıt hızı grafiği

Çizelge 6.14 de ve Şekil6.14 de çeşitli motor devirlerindeki hız değerlerini gösteren çizelge ve grafik verilmiştir.

Taşıtın menzilini belirlemek için batarya kapasitesi tespiti önemlidir.
Elektrik motorunun çalışma süresi ve çektiği akıma göre gerekli batarya kapasitesi:
Eş.(4.54)'den

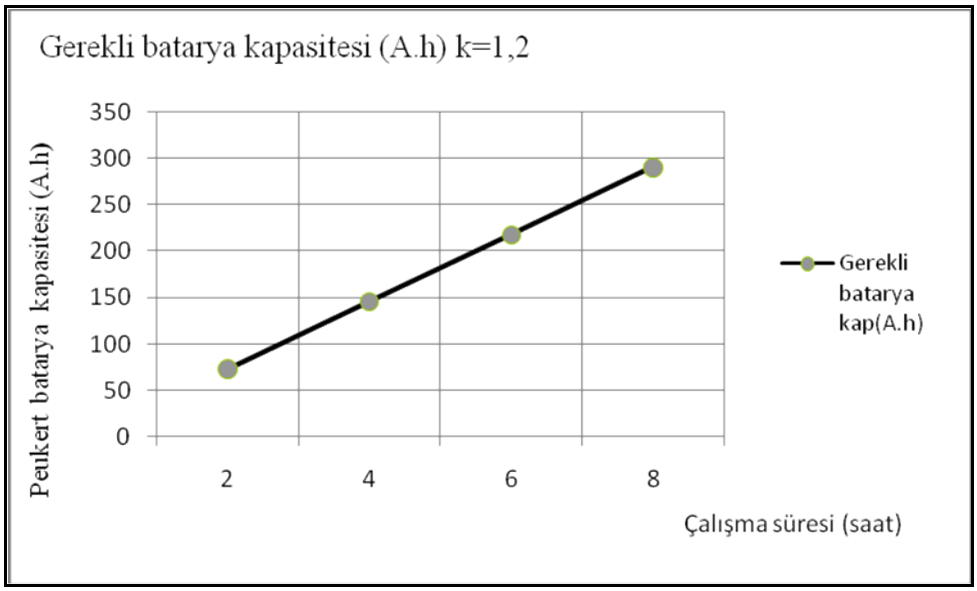
$$C_p = I^k.T$$

Peukert ifadesi ile hesaplanabilir.

Çizelge 6.15 Peukert yöntemi ile elektrikli taşıt için çalışma süresi ve çektiği akıma bağlı hesaplama sonuçlarını ve Şekil 6.15 bu sonuçlara göre çizilen grafiği göstermektedir.

Çizelge 6. 15. Gerekli batarya kapasitesi değerleri (k=1,2)

Çalışma süresi (h)	Çektiği akım (A)	Gerekli batarya kapasitesi (Ah)
2	20	73
4	20	146
6	20	218
8	20	291



Şekil 6. 15. Çalışma süresi ve akıma bağlı gerekli batarya kapasitesi grafiği

Elektrikli taşıt üzerinde 1 kw'lık bir jeneratör kullanılacak olursa 1 saat çalışma sonunda 1 kw-saat'lik enerji üretilir.

1kw.h =1000 w.h = 1000 Joule/s . 3600 s = 3 600 000 Joule'dür

Elektrik motoru ile tahrik edilen bir taşıt 40 km/h hızla gidiyorsa ne kadar süre yol alacağının bulunabilmesi için elektrik motoru gücünün ve aynı zamanda elektrik motorunun kayıp verimi dikkate alınarak, bulunan çıkış gücü, taşıtın tahrik gücüne (tekerlek gücü) eşit olmalıdır. Çizelge 4.16 da 10,99 m/s taşıt hızı (40 km/h) için yaklaşık 3,6 kW elektrik gücü gerekmektedir. Bu güç taşıtı 40 km/h hızda sabit götürüyorsa, elektrik motorundan sürekli istenen nominal güç 3600 w seçilecek olursa:

3600 w = 3600 J/s dir.

Var olan enerji 3 600 000 Joule olduğuna göre:

$$t_h = \frac{E_T}{P} = \frac{3600000}{3600} = 1000 sn = 0,277 saat$$

t_h = Hareket süresi

E_T = Toplam enerji

P = istenen güç

Bu sürede jeneratör motoru sadece rölantide çalışırken bataryayı şarj eder ve bu enerji ile taşıt hareket eder. Bu işleme batarya kullanılıyorsa, batarya sayısı arttıkça batarya kapasitesi artacağından bununda hesaba katılması gerekir.
Tasarımı yapılan elektrikli taşıtta batarya kapasitesi 180 A.h ise taşıt elektrik motorunun çektiği akım miktarı bataryanın deşarj süresini belirleyecektir. Öyleyse batarya 3600 watt gücünde bir elektrik motoru ile birlikte çalıştırılırsa elektrik motorunun çalışma gerilimi, bataryanın deşarj süresini tanımlayacaktır.

Örneğin 24 volt gerilimle çalışan bir elektrik motoru seçilecek olursa

$$P = I.V = 3600w$$

.

$$I = \frac{3600}{24} = 150A$$

Deşarj akımı

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

Batarya kapasitesi 180 A.h ise çalışma süresi:

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{180}{150} = 1,2 \text{ Saattir.}$$

1,2 saat süre ile batarya elektrik motorunu beslediği süre içinde jeneratörde bataryayı besleyeceğinden motorun tam yükte çalıştığı düşünülecek olursa ekonomik bir çalışma sağlanacak bu süre içerisinde 1000 s (0,277 saat) e göre 1,2 kat daha fazla süre taşıt çalışabilecektir. 0,2777. 1,2 = 0,332 saat kadar. Sonuçta toplam olarak 1,532 saat kadar hareket sağlanabilir. Bu sürede alınan yol:

$S = v.t$ = 40.1,532 =61,28 km yol alır.

Peugeot Partner 106 Van taşıtla ilgili hesaplama ve grafikler

Bu tez çalışmasında yapılan Excel programı üretimi yapılmış olan 106 Van elektrikli taşıt için uygulanmış sonuçlar literatürdeki değer ve grafiklerle karşılaştırılmıştır..

Bu karşılaştırmada kullanılan 106 Van elektrikli taşıta ait teknik değerler çizelge 6.16 da verilmiştir [23]. 106 Van elektrikli aracın yapımında nominal gücü 6500 l/min'de 20 kW olan DC elektrik motoru kullanılmıştır. Bu motorun torku 0-1600 l/min aralığında 127 Nm dir. Çizelge 6.16 daki değerler, bu çalışmadaki simülasyon programına girdi olarak verilmiş ve taşıtla ilgili istenen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 6. 16. Peugeot Partner 106 Van taşıtın teknik özellikleri (23)

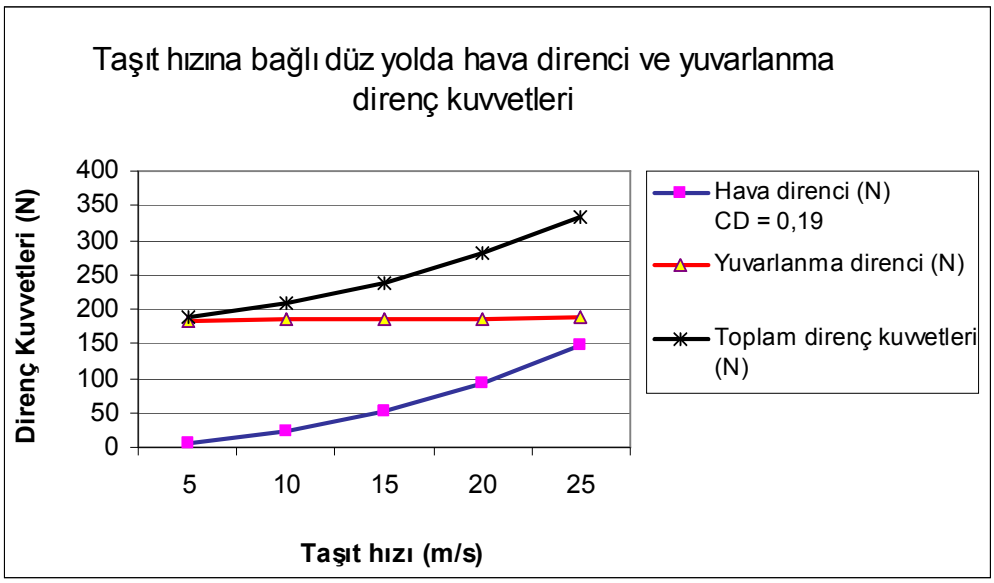
Taşıt gövde ağırlığı (kg)	1077
İnsan dahil ileve yük (kg)	300
Taşıt genişliği (E, mm)	1590
Taşıt yüksekliği (H, mm)	1380
Taşıtın boyu (L, mm)	3680
Ön yüz alanı (A_f , m^2)	0,576
Aerodinamik direnç katsayısı (C_D)	0,19
Yuvarlanma direnci katsayısı (μ_{rr})	0,007
Hava yoğunluğu (ρ, kg/m^3)	1,25
Tekerlek ölüçüleri	165/70x13
Tekerlek yarı çapı (m)	0,27
Hız düşürme oranı (G ,Dişli veya kasnak oranı)	6,91
Elektrik motoru çalışma gerilimi (E, volt)	120
Elektrik motoru	20kW DC motor
Elektrik motoru bobin direnci (R_a , Ohm)	0,128
Elektrik motoru ilk hareket çektiği akım (I, Amper)	992
Maksimum motor devri (l/min)	6500
Maksimum taşıt hızı (km/h)	90
Maksimum motor torku (Nm)	127Nm 0-1600 l/min
Batarya tipi	Ni Cad, 100 Ah
Maksimum hız	90 km
Şarj zamanı (Saat)	7

Düz yolda taşıt hızına bağlı bulunan hava direnci, yuvarlanma direnci ve toplam direnç değerleri çizelge 6.17 de verilmektedir. Çizelge 6.17 sonuçlarına göre hazırlanan grafik Şekil 6.16 da gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi yuvarlanma

direnci hıza bağlı çok büyük değişim göstermemekte fakat hava direnci düşük hızlarda hesaba alınmayacak kadar küçük değerde olup, taşıt hızı arttıkça hızla orantılı olarak büyük değerde artış göstermektedir. Buna bağlı olarak toplam direnç değeri de hızla bağıntılı olarak artış göstermektedir.

Çizelge 6. 17. Düz yolda taşıt hızına bağlı toplam direnç kuvveti değerleri

Taşıt hızı (m/sn)	Hava direnci (N) $C_D = 0,19$	Yuvarlanma direnci (N)	Toplam direnç kuvvetleri (N)
5	5,86	183,7	189,56
10	23,45	184,23	207,68
15	52,76	185,1	237,86
20	93,8	186,32	280,12
25	146,57	187,9	334,47

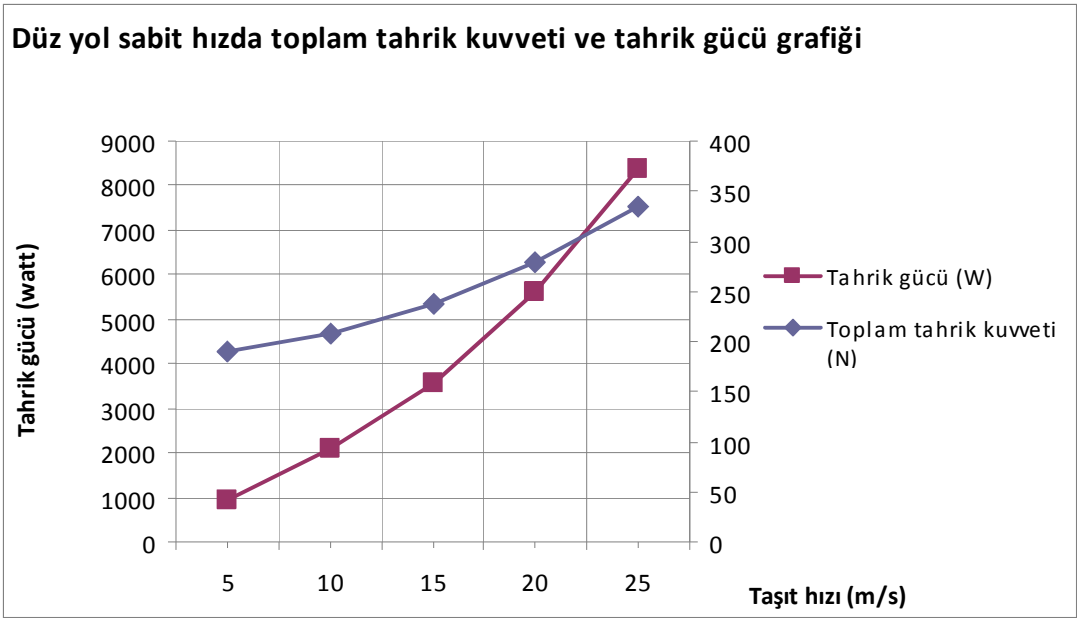


Şekil 6. 16. Hıza bağlı hava direnci, yuvarlanma direnci ve toplam direnç grafiği

Düz yolda sabit hızda giden taşıtın taşıt hızına bağlı bulunan toplam tahrik kuvveti tahrik gücü değerleri Çizelge 6.18 de, bulunan değerlere göre çizilen grafik Şekil 6.17 de gösterilmiştir.

Çizelge 6. 18. Düz yol, sabit hızda toplam tahrik kuvveti ve tahrik gücü değerleri

Taşıt hızı (m/sn)	Toplam tahrik kuvveti (N)	Tahrik gücü (W)
5	189,56	948
10	207,68	2077
15	237,86	3568,5
20	280,12	5602
25	334,47	8362,5



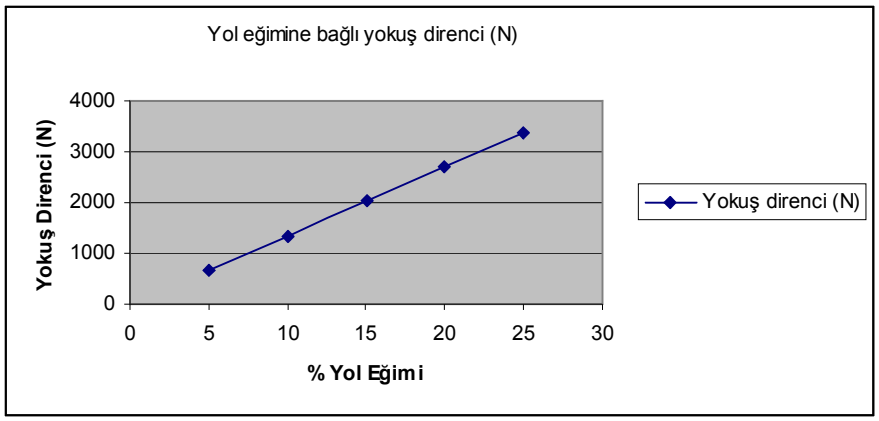
Şekil 6. 17. Düz yol sabit hızda tahrik kuvveti ve tahrik gücü grafiği

Çizelge 6.18 de görüldüğü gibi taşıtın düz yolda maksimum hızında oluşan tahrik gücü 8,36 kW' dır. Taşıttaki 20 kW gücündeki DC motorun devir sayısına bağlı güç grafiği Şekil 6.17 de görüldüğü gibi 1600 l/min deki hızı (25,2 km/h) den sonra gücü değişmediği için, tekerlek tahrik gücünü rahatlıkla karşılanmaktadır.

Çizelge 6.19 de çeşitli yol eğimlerine göre oluşan yokuş direnci değerleri bulgusu verilmiş ve Şekil 6.18 de de bulunan bu değerlere göre grafik çıkarılmıştır. Buradaki değerler incelendiğinde yokuş direncinin yol eğimi ile orantılı olarak arttığı görülmektedir.

Çizelge 6. 19. Çeşitli yol eğimine göre oluşan yokuş direnci değerleri

Yol eğimi (%)	Yokuş direnci (N)
5	674,73
10	1349,46
15	2024,19
20	2698,92
25	3373,65

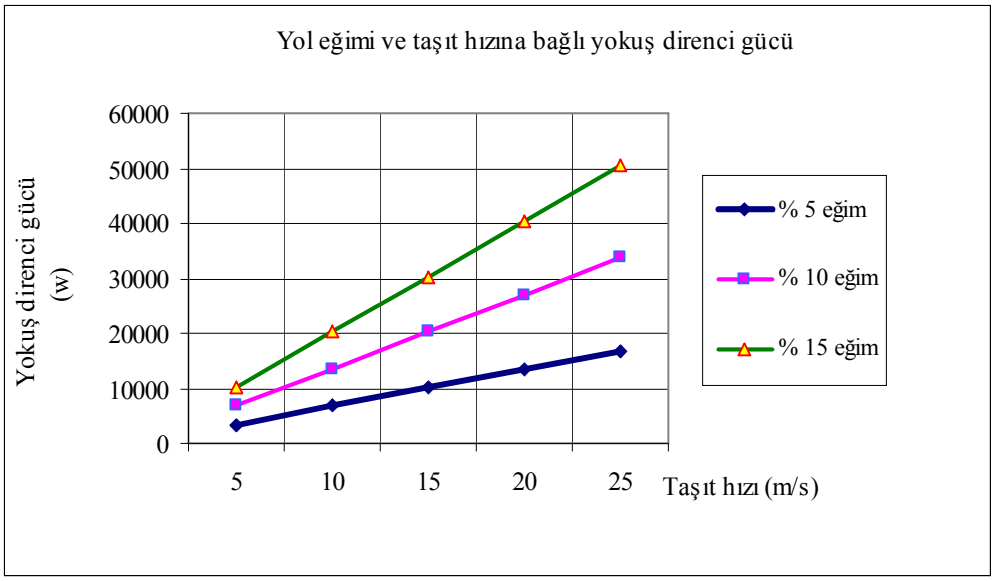


Şekil 6. 18. Çeşitli yol eğimlerinde oluşan yokuş direnci grafiği

Çizelge 6.20 de değişik yol eğilimlerinde ve değişik hızlarda oluşan yokuş direncini yenmek için gerekli güç değerleri ve Şekil 6.19 da bu değerlere göre çizilmiş yokuş direnci güç grafiği verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi yokuş direncini yenmek için gerekli güç, yol eğimi ve taşıt hızı ile orantılı olarak artmaktadır.

Çizelge 6. 20. Hız ve yol eğimine bağlı yokuş direnci gücü değerleri

Taşıt hızı	Yokuş direnci gücü (w)		
m/s	% 5 eğim	% 10 eğim	% 15 eğim
5	3373	6747	10121
10	6747	13495	20241
15	10121	20241	30363
20	13495	26989	40484
25	16868	33737	50605

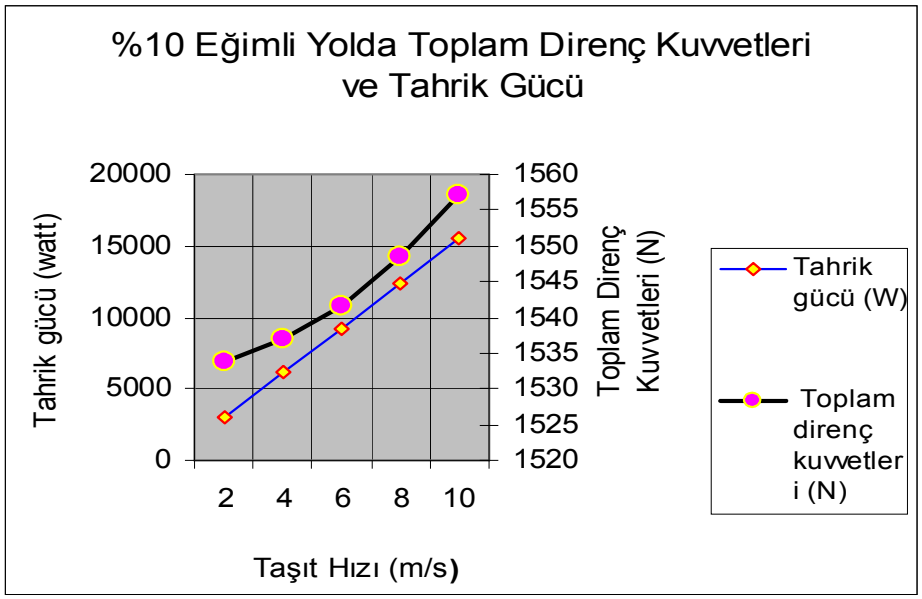


Şekil 6. 19. Hıza ve yol eğimine bağlı yokuş direnci gücü grafiği

Karayollarınca yapılan istatistiğe göre otoyollarda yol eğimi genellikle %10 olduğundan bu eğime ve taşıt hızına bağlı toplam direnç kuvvetleri ve tahrik gücü değerleri Çizelge 6.21 de verilmiştir. Bu çizelge sonuçlarına göre çizilen grafik Şekil 6.20 de görülmektedir. Çizelge 6.21 de verilen değerler incelendiğine % 10 eğimli yolda 12 m/s hızda toplam tahrik kuvvetlerini yenmek için gerekli tahrik gücünün 18813 watt değerine çıktığı görülmektedir.

Çizelge 6. 21. % 10 eğimli yolda toplam direnç kuvvetleri ve tahrik gücü değerleri

Taşıt hızı (m/s)	Toplam direnç kuvvetleri (N)	Tahrik gücü (W)
2	1533,9	3067,8
4	1536,9	6147,6
6	1541,7	9250,2
8	1548,4	12387,2
10	1557,1	15571
12	1567,8	18813

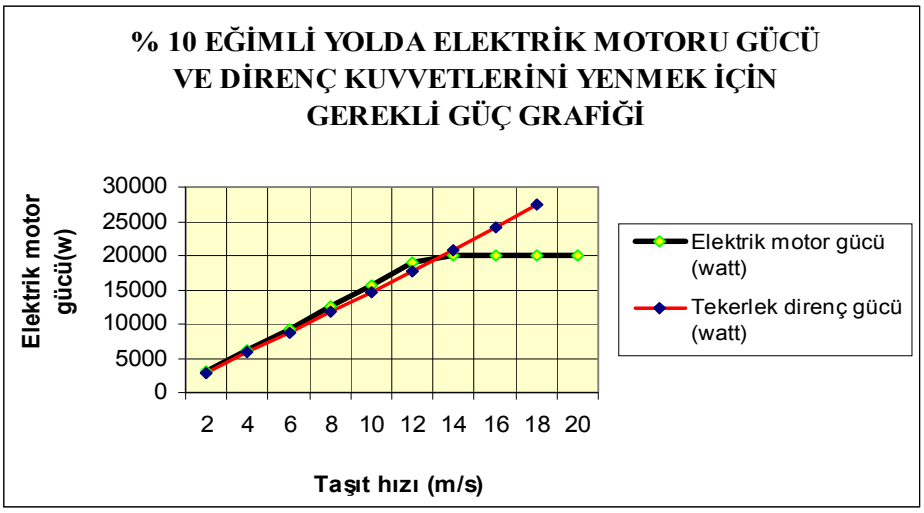


Şekil 6. 20. %10 eğimli yolda toplam direnç kuvvetleri ve tahrik gücü grafiği

Çizelge 6.22 ve Şekil 6.21 deki grafikte görüldüğü gibi elektrik motor gücü eğrisi ile tekerlek direnç gücü eğrisinin kesiştiği 14 m/s hıza yaklaşıldığında tekerleklerde oluşan direnç gücü elektrik motoru gücünü aşmaktadır. Taşıttaki 20 kW gücündeki elektrik motoru % 10 eğimli yolda 14 m/s üzerindeki hızlarda yetersiz kalacaktır.

Çizelge 6. 22. %10 eğimli yoldaki tahrik gücü ve motor gücü değerleri

Taşıt hızı (m/s)	Elektrik motor gücü (watt)	Tahrik gücü (watt)
2	3098,79	2889,91
4	6209,7	5791
6	9343,63	8714,76
8	12512,32	11672,22
10	15728,28	14674,69
12	19003,63	17733,45
14	19892	20859
16	19892	24064,83
18	19892	27359,97
20	19892	30756,41

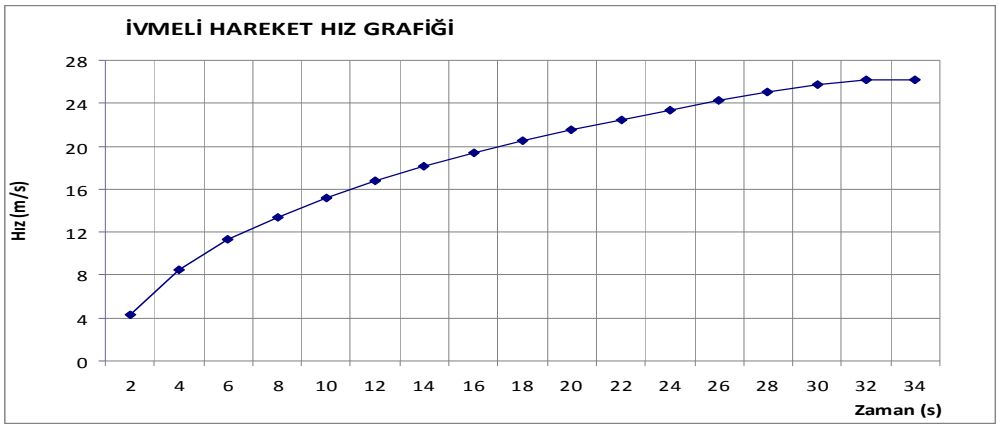


Şekil 6. 21. %10 eğimli yoldaki tekerlek direnç güçleri ve motor çıkış gücü grafiği

Çizelge 6.23 de düz yolda ivmeli hareket eden 106 Van taşıt için, 2 saniye aralıklarla hesaplanmış ilk hız ve son hız değerleri ve Şekil 6.22 da bu değerler sonucu çizilen hız zaman grafiği verilmiştir. Çizelge ve grafikte görüldüğü gibi taşıt hızı yükseldikçe ivme azalmakta maksimum hıza ulaşıldığında ivme değeri sıfır olmaktadır. Düz yolda taşıt ilk hareketinden 28 saniye sonra 25 m/s (90 km/h) hız değerine ulaşmaktadır.

Çizelge 6. 23. İvmeli harekette son hız değerleri

ZAMAN(s)	İLK HIZ(m/s)	SON HIZ(m/s)
2	0	4,3
4	4,3	8,6
6	8,6	11,6
8	11,6	13,8
10	13,8	15,6
12	15,6	17,1
14	17,1	18,5
16	18,5	19,7
18	19,7	20,8
20	20,8	21,8
22	21,8	22,7
24	22,7	23,6
26	23,6	24,4

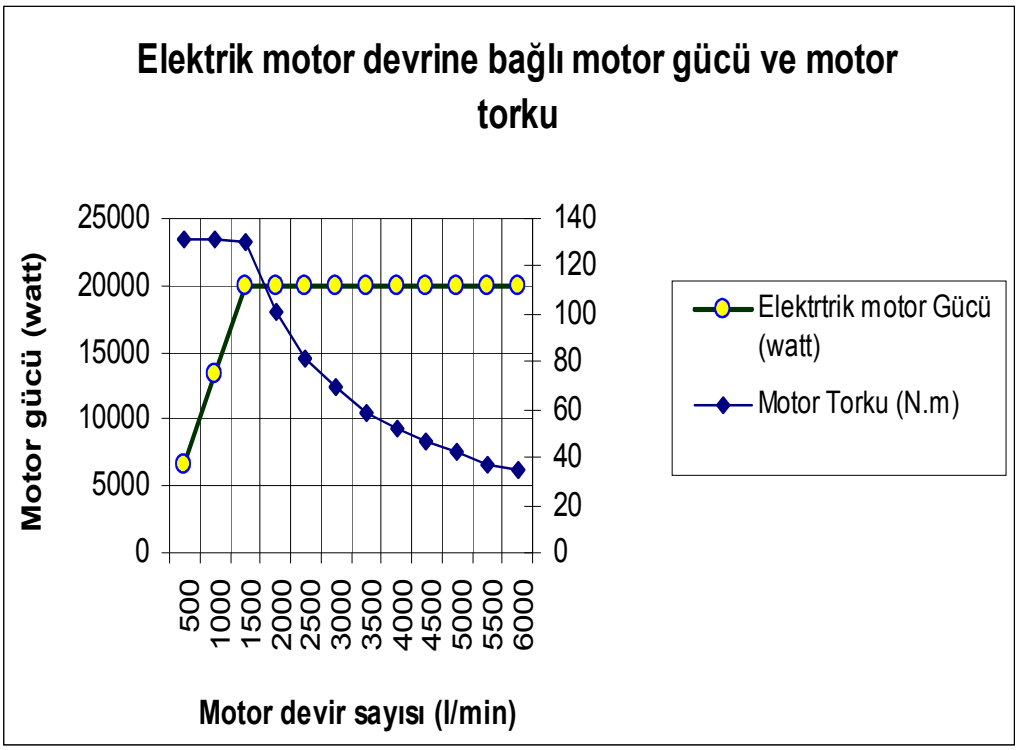


Şekil 6. 22. İvmeli hareket hız grafiği (2 s aralıklı)

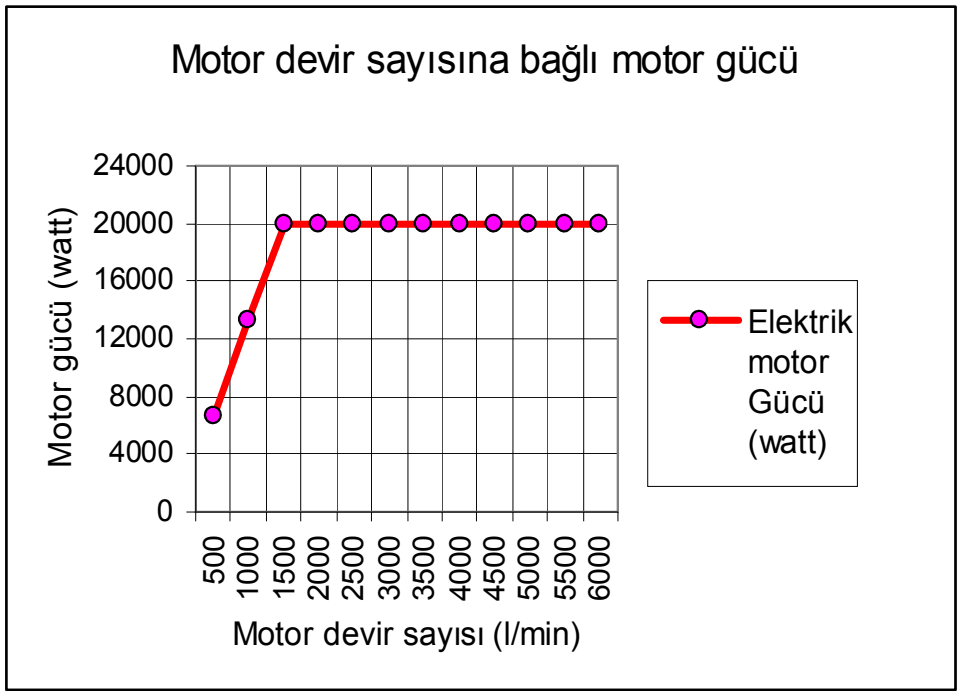
Çizelge 6.24 da motor devrine bağlı motor gücü ve motor torku değerleri verilmiştir. Bulunan bu değerlerle çizilen motor gücü ve motor torku grafiği Şekil 6.23 de, motor devir sayısına bağlı güç grafiği şekil 6.24 da ve motor devrine bağlı motor torku grafiği Şekil 6.25 da verilmiştir. Burada bulunan değerlere göre oluşturulan motor torku ve motor gücü grafikleri Siemens firmasınca verilmiş olan Şekil 6.27 deki motor devir sayısına bağlı motor gücü ve motor torku grafiği ile ve Şekil 2.13 de literatürde verilen DC elektrik motorların güç ve tork grafikleri benzer özellikte oldukları görülmektedir.

Çizelge 6.24. Elektrik motor devrine bağlı motor gücü ve motor torku değerleri

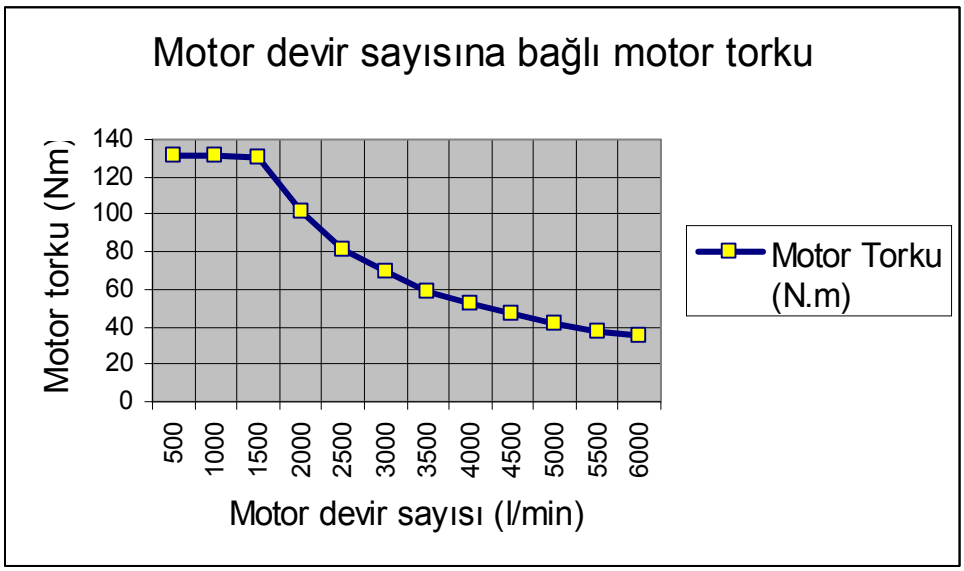
Taşıt hızı m/sn	Motor devri l/min	Elektrtrik motor Gücü (watt)	Motor Torku (N.m)
2	500	6681,82	131
4	1000	13375,35	131
6	1500	19892	130
8	2000	19892	101
10	2500	19892	81
12	3000	19892	69
14	3500	19892	59
16	4000	19892	52
18	4500	19892	47
20	5000	19892	42
23	5500	19892	37
25	6000	19892	35



Şekil 6. 23. Motor devir sayısına bağlı motor gücü ve motor torku grafiği



Şekil 6. 24. Motor devir sayısına bağlı motor gücü

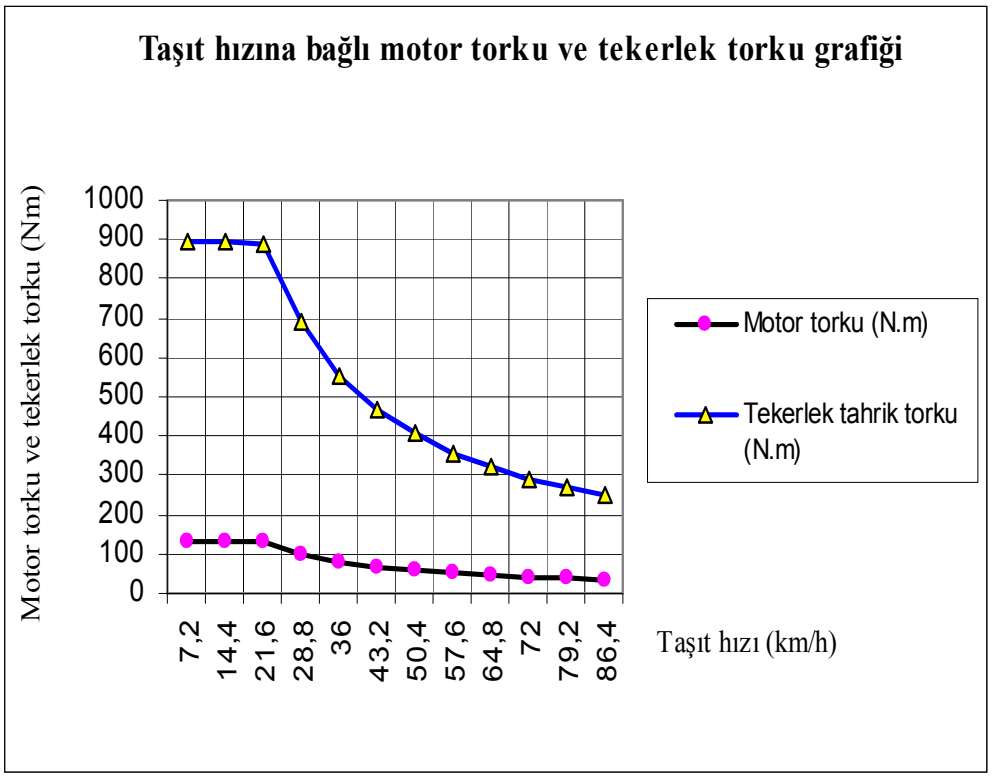


Şekil 6. 25. Motor devir sayısına bağlı motor torku

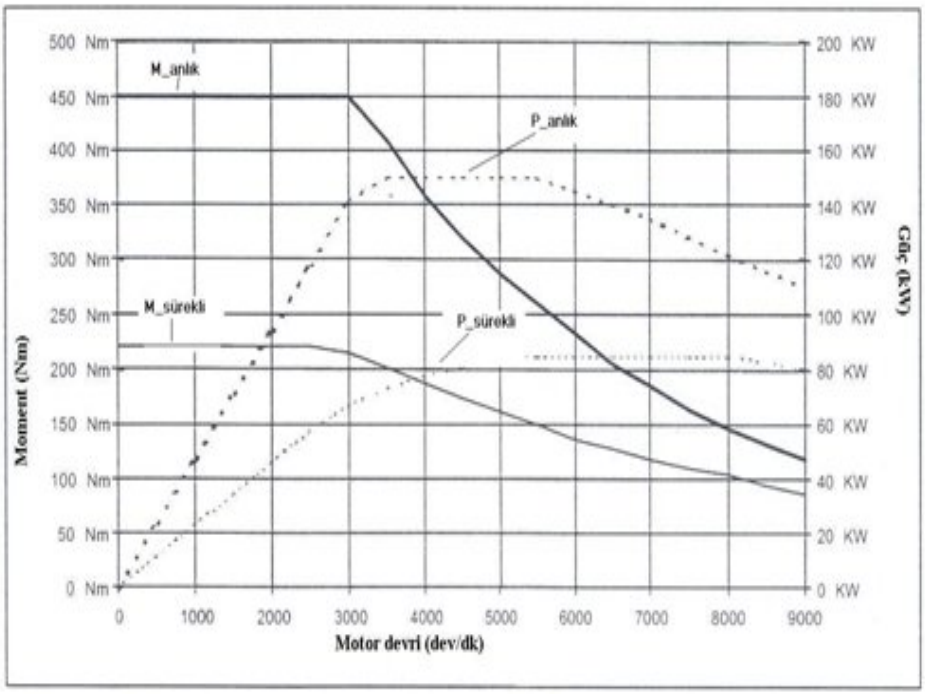
Çizelge 6.25 da hesaplamalar sonucu elde edilen taşıt hızına bağlı elektrik motor torku ve tekerlek tahrik torku değerleri verilmektedir. Şekil 6.26 de bu sonuçlara göre elde edilmiş elektrik motor torku ve tekerlek tahrik torku grafikleri verilmiştir.

Çizelge 6. 25. Taşıt hızına bağlı motor torku ve tekerlek tahrik torku

Taşıt hızı (m/s)	Motor devir sayısı (l/min)	Motor torku (N.m)	Tekerlek tahrik torku (N.m)	Taşıt hızı (km/h)
2	489	131	893	7,2
4	978	131	893,8	14,4
6	1467	130	891,2	21,6
8	1956	101	690	28,8
10	2445	81	555,77	36
12	2934	69	468,2	43,2
14	3423	59	405,86	50,4
16	3912	52	355,13	57,6
18	4401	47	320,52	64,8
20	4890	42	290,33	72
22	5379	39	268,49	79,2
24	5868	36	247,35	86,4



Şekil 6. 26. Taşıt hızına bağlı motor torku ve tekerlek torku grafiği

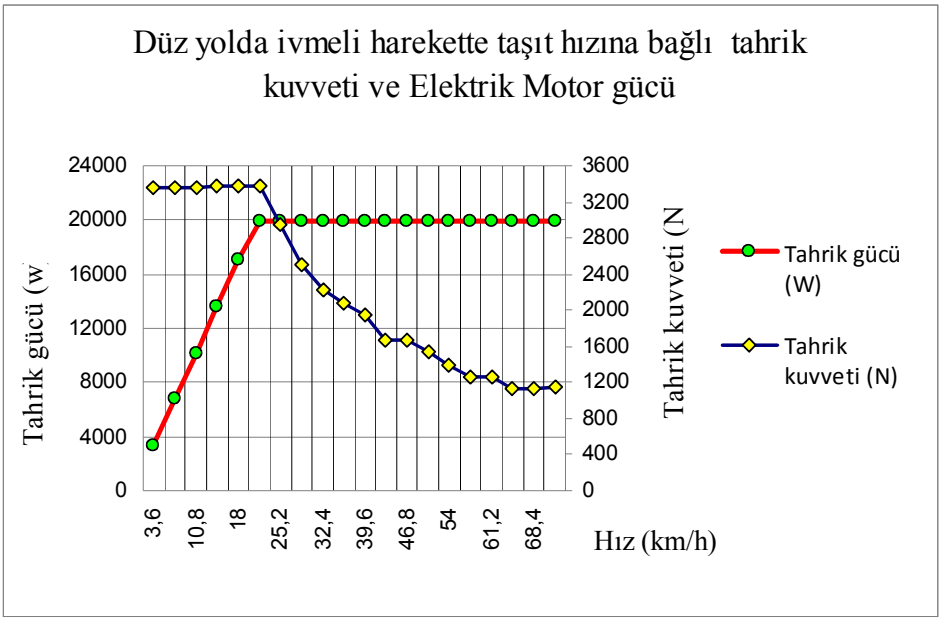


Şekil 6. 27. Siemens elektrik motorunun anlık ve sürekli güç tork değerleri [21]

Çizelge 6.26 da taşıtın düz yolda ivmeli hareketinde oluşan toplam tahrik kuvveti değerleri ve bu hızlardaki elektrik motorunun çıkış gücü değerleri hesaplama sonuç değerleri verilmiştir. Şekil 6.28 de ise bu değerlere göre çizilmiş tahrik kuvveti ve elektrik motor gücü grafiği verilmiştir

Çizelge 6. 26. İvmeli hareket hıza bağlı toplam direnç kuvveti ve motor gücü

Hız (m/s)	Tahrik kuvveti (N)	Elektrik motor çıkış gücü (W)	Hız (km/h)
1	3364,6	3398,5	3,6
2	3365,4	6798,8	7,2
3	3366,6	10201,8	10,8
4	3368,3	13609,29	14,4
5	3370,4	17022,22	18
6	3373,1	19892	21,6
7	2942,5	19892	25,2
8	2512,3	19892	28,8
9	2227,3	19892	32,4
10	2087,3	19892	36
11	1947,8	19892	39,6
12	1664,1	19892	43,2
13	1670,2	19892	46,8
14	1532,1	19892	50,4
15	1394,5	19892	54
16	1257,4	19892	57,6
17	1265,4	19892	61,2
18	1129,3	19892	64,8
19	1138,2	19892	68,4
20	1147,6	19892	72

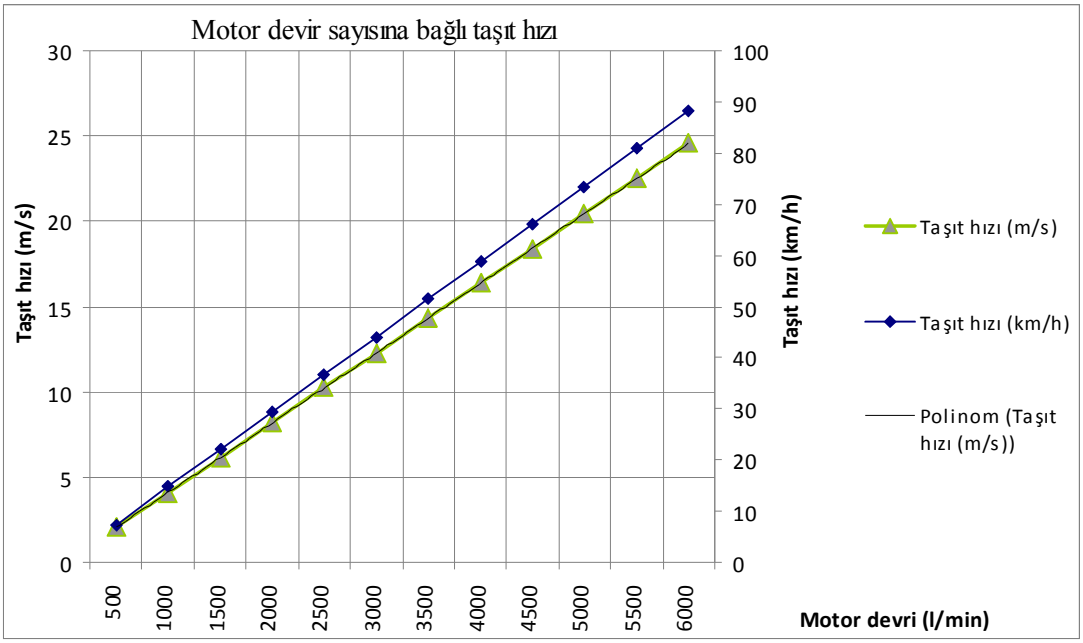


Şekil 6. 28. Düz yol, ivmeli harekette taşıt hızına bağlı tahrik kuvveti ve motor gücü

Çizelge 6.27 de motor devir sayısına bağlı taşıt hızı değerleri m/s ve km/h olarak verilmiştir. Şekil 6.29 de bu sonuçlara göre elde edilen motor devri taşıt hızı grafiği verilmiştir.

Çizelge 6. 27. Motor devir sayısına bağlı taşıt hızı değerleri

Motor devir sayısı (l/min)	Taşıt hızı (m/s)	Taşıt hızı (km/h)
500	2,04	7,362
1000	4,09	14,724
1500	6,135	22
2000	8,18	29,44
2500	10,2275	36,759
3000	12,274	44,11
3500	14,3205	51,461
4000	16,367	58,812
4500	18,4135	66,163
5000	20,46	73,514
5500	22,5065	80,865
6000	24,553	88,216

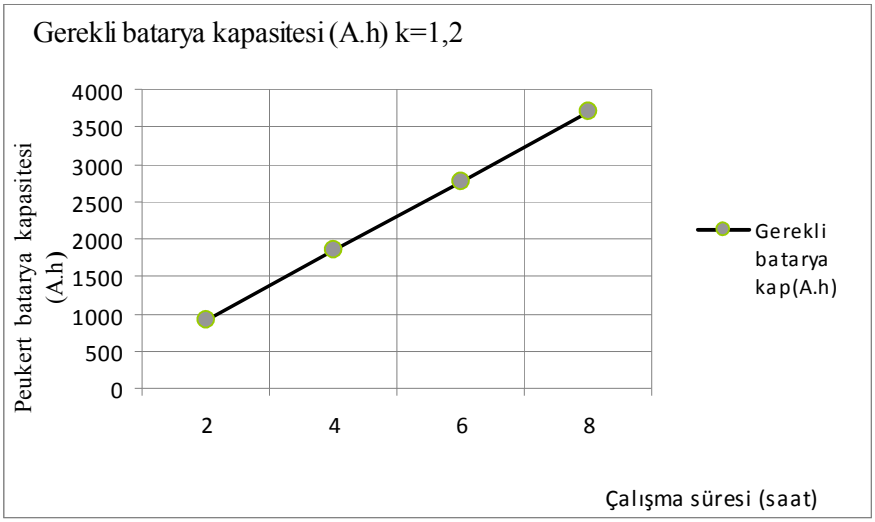


Şekil 6. 29. Motor devir sayısına bağlı taşıt hızı grafiği

Çizelge 6.28 de çalışma süresine ve çekilen akım miktarına bağlı gerekli batarya kapasite değerleri Peukert kapasite hesap yöntemi ile bulunmuş ve verilmiştir.
Bu değerlere göre Şekil 6.30 de çalışma süresi ve çekilen akım değerine bağlı gerekli batarya kapasitesi grafiği çizilmiştir Burada taşıtın iki saatlik çalışması için 923 kW kapasitede bataryaya gereksinim vardır.

Çizelge 6. 28. Çalışma süresine ve akıma bağlı gerekli akü kapasitesi

Çalışma süresi (Saat)	Çektiği akım (Amper)	Gerekli batarya kapasitesi (A.h)
2	110	923
4	110	1846
6	110	2769
8	110	3692



Şekil 6. 30. Çalışma süresi ve çekilen akıma bağlı gerekli batarya kapasitesi grafiği

OTOKAR M2000 araç için yapılan hesaplamalar ve karşılaştırma

Karahan, Ş.'nın "Hibrid Elektrikli Araçlar" tez çalışmasında OTOKAR M2000 aracın her 10 km/h hız değişimlerine göre düz yol ve %20 eğimli yokuş için yol yükü Advisor programını kullanarak hesaplarını yapmıştır. M2000 aracının teknik özellikleri OTOKAR'dan sağlanmış olup aracın her 10 km/h hıza karşılık gelen ;

• Tekerlek ve motor devri ,

• Düz yolda ve %20 eğimli yokuşta ivmelenmek için toplam motor gücü, momenti

• Düz yolda ve %20 eğimli yokuşta sabit hız için toplam motor gücü, momenti hesaplanmış ve çizelge şeklinde belirlenmiştir.

Düz yolda ivmelenme ve sabit hızda elektrik motorunun momenti istenen moment değerini karşıladığı için transmisyon kullanılmamıştır

Elektrik motorların en büyük özellikleri kalkış momentlerin yüksek olmasıdır. İçten yanmalı motorlarda düşük devirlerde momenti düşük olduğundan transmisyona ihtiyaç varken elektrik motorlarında yoktur. Sadece yokuşta ivmelenme ve yokuşta sabit hız sabit hız için 2.75:1 oranında tek kademeli bir hız düşürücü kullanılmıştır. Bu nedenle aracın kendi transmisyonu da çıkarılmıştır[21].

Çizelge 6.29 de OTOKAR M2000 aracın teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6. 29. OTOKAR M2000 aracın teknik özellikleri [21]

Aracın kütlesi (kg)	6000
Taşıt genişliği (E, mm)	2040
Taşıt yüksekliği (H, mm)	2670
Taşıtın boyu (L, mm)	5642
Ön yüz alanı (A_f , m^2)	4,28
Aerodinamik direnç katsayısı (C_D)	0,7
Yuvarlanma direnci katsayısı (μ_{rr})	0,007
Hava yoğunluğu (ρ, kg/m^3)	1,2
Tekerlek yarı çapı (m)	0,185
Hız düşürme oranı (Yalnız elektrik motoru devrede)	3,9
Elektrik motoru çalışma gerilimi (E, volt)	315
Elektrik motoru	Siemens elektrik motoru
Nominal voltaj DC	650 V
Nominal güç	85 kW
Nominal akım	42 A
Nominal moment	220 Nm
Elektrik motoru bobin direnci (R_a , Ohm)	0,28236
Elektrik motoru ilk hareket çektiği akım (I, Amper)	658
Maksimum motor devri (l/min)	9000
Maksimum taşıt hızı (km/h)	105
Ağırlık	120 kg
Boyutlar (u-g-y)	510*245*245 mm
Maksimum motor torku (Nm)	230
Çalışma sıcaklığı	-30oC-70oC
Batarya tipi	Optima Batarya
Batarya türü, Elektrolit	Pb-asit, Sülfürik asit

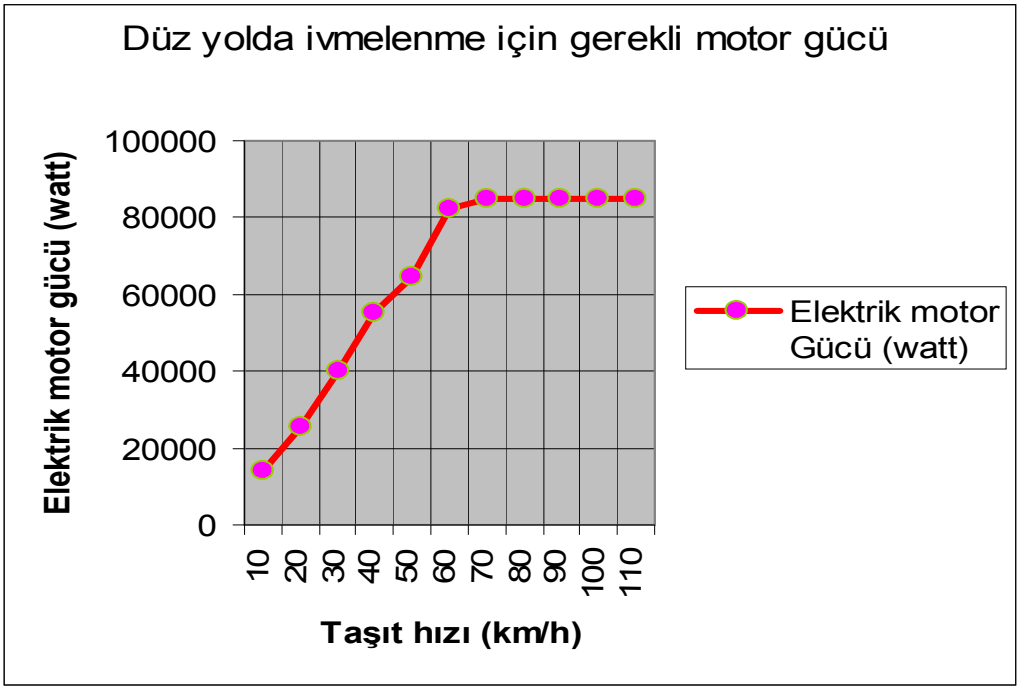
Bu tez çalışmasında yapılan Excel simülasyon programı ile, OTOKAR M2000 aracın verilen teknik özelliklerine göre düz yolda ivmelenme için her 10 km aralıklarla gerekli motor gücü ve motor torku hesaplanmıştır. Bu hızdaki motor devirleri de çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 6.30 da düz yolda ivmelenme için gerekli motor gücü ve motor torku değerlerini göstermektedir. Şekil 6.31 de düz yolda ivmelenme için gerekli motor gücü grafiği verilmiştir. Şekil 6.31 elde grafik Karahan, Ş.'nin tezinde elde ettiği Şekil 6.32 deki düz yolda sadece bataryalarla sağlanan gücün hıza göre değişimi

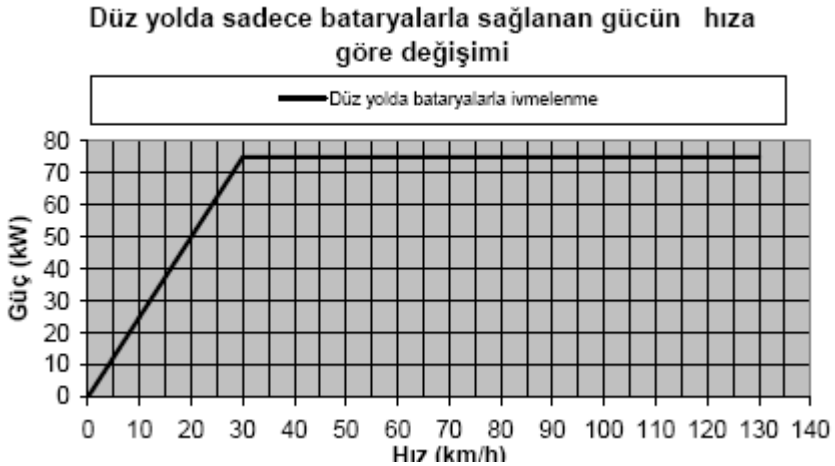
grafiği ile karşılaştırılacak olursa grafiklerin benzerliği ve sonuçların örtüştüğü görülmektedir.

Çizelge 6.30. Düz yolda ivmelenme için gerekli motor gücü ve motor torku değerleri

Taşıt hızı m/sn	Taşıt hızı km/h	Motor devri l/min	Elektrik motor Gücü (watt)	Motor Torku (N.m)
2,77777	10	575	13962	232
5,55555	20	1150	25407	232
8,33333	30	1725	39873	232
11,11111	40	2300	55267	232
13,88889	50	2875	64658	230
16,66667	60	3450	82513	228
19,44445	70	4025	85008	214
22,22223	80	4600	85008	172
25,00001	90	5175	85008	160
27,77779	100	5750	85008	149
30,55557	110	6325	85008	140



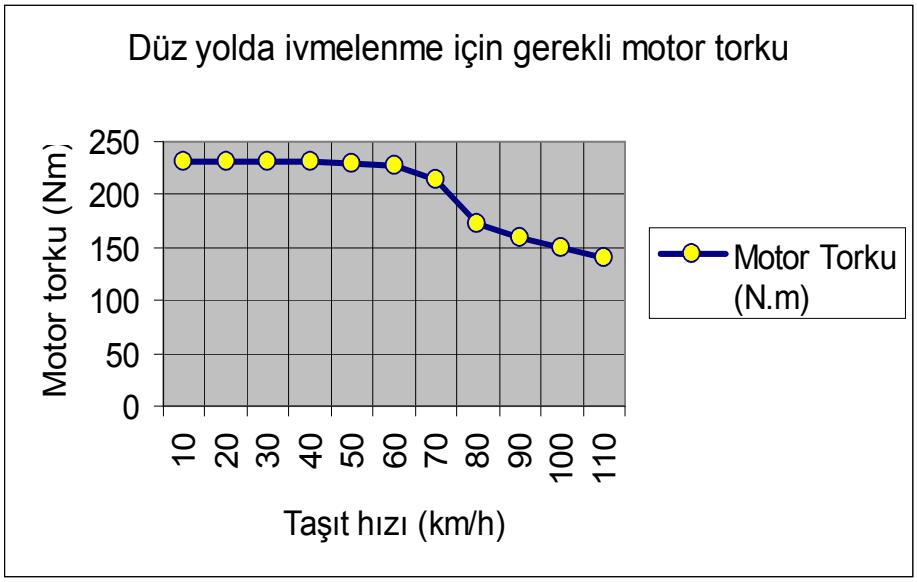
Şekil 6. 31. Düz yolda ivmelenme için gerekli motor gücü



Şekil 6. 32. Düz yolda sadece bataryalarla sağlanan gücün hıza göre değişimi

Şekil 6.33 de Çizelge 6.30 deki elde edilen sonuçlardan yararlanılarak çizilen, düz yolda ivmelenme için gerekli motor torku grafiği verilmiştir. Şekil 6.33 deki grafiğinde Karahan, Ş.'nin tezinde elde ettiği Şekil 6.34 deki düz yolda sadece bataryalarla sağlanan torkun hıza göre değişimi grafiği ile karşılaştırılacak olursa grafiklerin benzerliği ve sonuçların örtüştüğü görülmektedir. Bu taşıtta kullanılan Siemens elektrik motorunun gücü 85 kW ve maksimum motor torku 230 Nm dir. Programdaki hesaplamalar sonucu elde edilen Çizelge 6.30 ve bu sonuçlara göre çizilen 6.32 deki düz yolda ivmelenme için gerekli motor gücünün hıza bağlı değişimi ve 6.33 deki düz yolda ivmelenme için gerekli motor torkunun hıza bağlı değişimi görülmektedir. Grafikler incelendiğinde elde edilen sonuçların maksimum motor gücü 85,008 kW ve maksimum motor torkunun 232 Nm olduğu ve bu değerlerin Siemens elektrik motoruna ait verilmiş motor gücü ve motor torku değerlerlerine yakın değerler olduğu görülmektedir.

Karahan, Ş' nin tez çalışmasında hesaplamalarını yapmış olduğu hibrid taşıt üzerinde nominal gücü 2500 l/min de 85 kW, nominal momenti 320 Nm, maksimum momenti 450 Nm olan Siemens PM Senkron jeneratör kullanılmıştır. Bu sebeple Şekil 6.34 de verilen düz yolda sadece bataryalarla sağlanan güçle momentin hıza göre değişimi grafiğinde motor torku maksimum 430 Nm'dir.



Şekil 6. 33. Düz yolda ivmelenme için gerekli motor torku



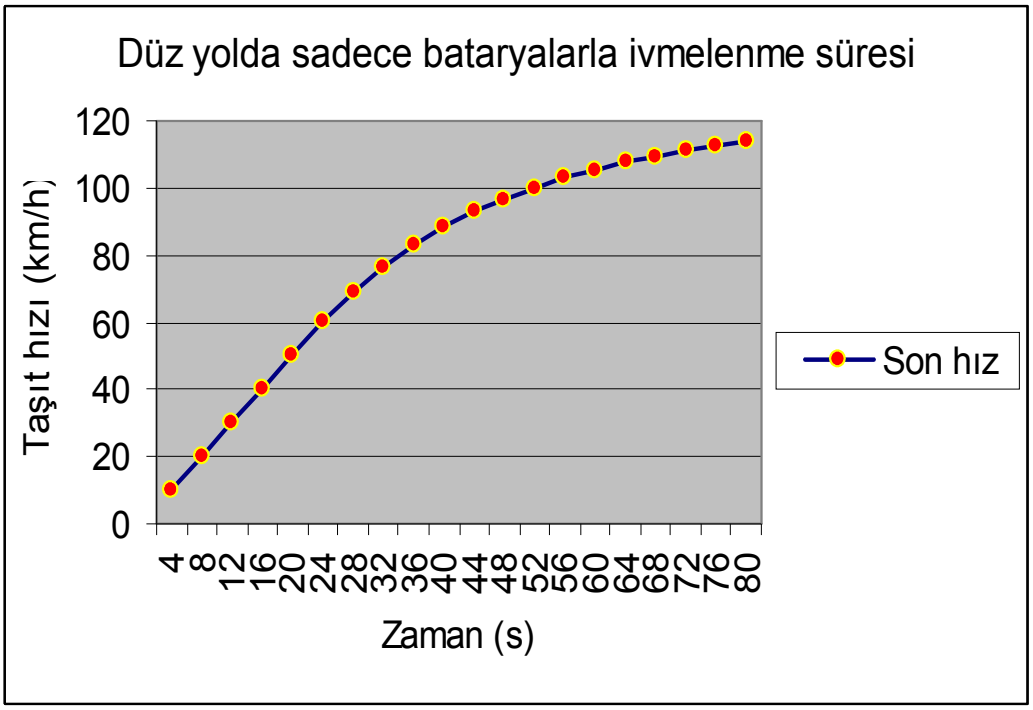
Şekil 6. 34. Düz yolda sadece bataryalarla sağlanan momentin hıza göre değişimi

Çizelge 6.31 de taşıtın 4 saniye aralıklarla ivmeli hareketi sonuçlarına göre hesaplanmış değerlerini gösteren çizelge görülmektedir. Şekil 6.35 düz yolda ivmelenme süreleri grafiği bu çizelge sonuçlarına göre hazırlanmıştır. Burada yalnız elektrik motorunun gücü, ivmelenme için 17 m/s (61,2 km/h) hıza kadar yeterli olmaktadır. Bu hızın üzerinde hibrid taşıttaki içten yanmalı motor gücünden faydalanmak gerekmektedir. İvmelenme için gerekli motor momenti 232 Nm olduğu yapılan hesaplamalarda ve çizilen grafiklerde görülmektedir. Şekil 6.35 de düz yolda

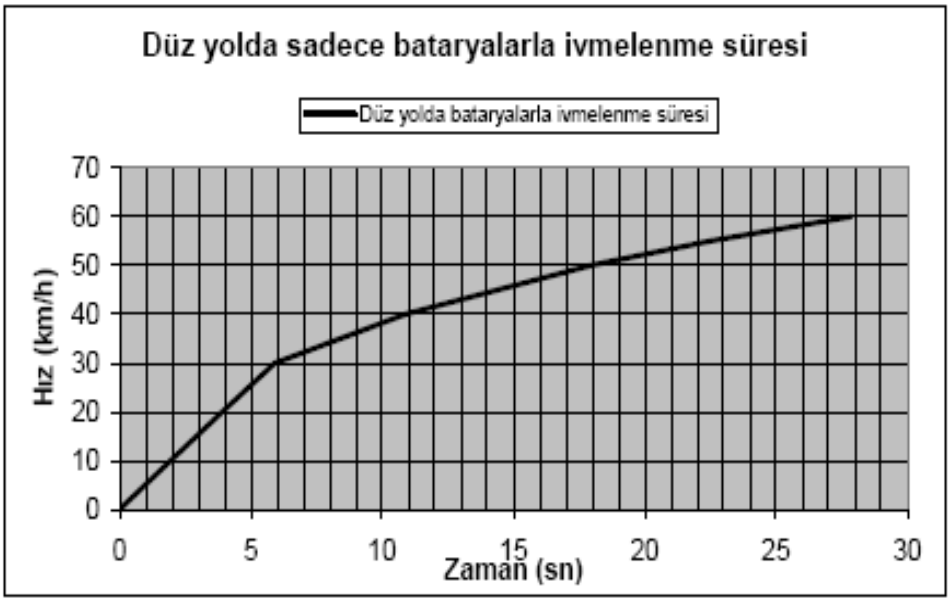
sadece bataryalarla ivmelenme süresi grafiğinin de Karahan, Ş.' nin tez çalışmasında elde ettiği Şekil 6.36 deki düz yolda sadece bataryalarla ivmelenme süresi grafiği ile benzerliği ve sonuçların yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. 31. Düz yolda ivmelenme

ZAMAN(s)	İLK HIZ(m/s)	SON HIZ(km/h)
4	0	2,8
8	2,8	5,6
12	5,6	8,4
16	8,4	11,2
20	11,2	14
24	14	16,8
28	16,8	19,2
32	19,2	21,3
36	21,3	23,1
40	23,1	24,6
44	24,6	25,8
48	25,8	26,9
52	26,9	27,8
56	27,8	28,6
60	28,6	29,3
64	29,3	29,9
68	29,9	30,4
72	30,4	30,9
76	30,9	31,3
80	31,3	31,6



Şekil 6. 35. Düz yolda ivmelenme süreleri



Şekil 6. 36. Düz yolda bataryalarla ivmelenme süresi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde petrol kaynaklarının tüketimi ve çevre faktörleri dikkate alındığında, yeni enerji sistemlerinin geliştirilmesi tüm dünyanın gündemindeki konudur. Bu nedenle birçok gelişmiş ülke petrol kaynaklı enerji tüketiminden kaynaklanan çeşitli sorunlara çözüm bulmak için daha verimli ve çevre kirliliği yapmayan yeni enerji kaynakları kullanma çabası içersindedir. Bu alandaki çalışmalardan biride taşımacılıktadır. Büyük bir enerji sarfiyatına sahip olan taşıtların elektrikli enerjiye dönüşümünün yapılması verimli ve çevreye duyarlı bir sistem olması nedeniyle tüm ülkeler tarafından tercih edilir olmuştur.

Bu çalışmada 21. yüzyılda yaygın olarak kullanılması düşünülen elektrikli bir taşıtın tasarım ve simülasyonu yapılmıştır. Yapılan literatür araştırması taşıt tasarımı için simülasyon programlarına ihtiyaç olduğunu ve bu programlarla daha ekonomik ve hızlı hedefe ulaşıldığı belirlenmiştir.

Bir elektrikli taşıtın tasarımında sistemde bulunan aygıtların taşıtın tahrik sistemi ile uyumlu hale getirilmesi gerekir. Bunun için elektrikli aygıtların güç ve moment kabiliyetlerinin değişik devirlerde taşıtın belirli hızlardaki mekanik gücü ve torku ile uyumlu olmalıdır. Elektrikli aygıtlar elektrik depolama üniteleri, elektrik motorları ve elektrik motoru kontrol devreleridir. Bu çalışmada kontrol devresi dışında elektrik motorunun karakteristik tork güç hız grafiklerinin, taşıtın mekanik tork-güç ve hız grafikleri ile uyumunun sağlanması simüle edilmiştir.

Ayrıca taşıt tasarımını sınırlayan ilk kalkış, taşıtın düz yolda hareketi ve maksimum hızda hız zaman grafikleri bulunmuştur. Bu şartlar altında simülasyon programı ile direnç kuvvetleri, gerekli tork ve güçler bulunabilmektedir.

Bu çalışmada literatürdeki tekniklerle Excel programında elektrikli araçların tasarımı hesapları ve simülasyonu sağlanmıştır. Bu çalışma sonucunda taşıtın ilk ivmelenme esnasında gerekli tork ve gücü, verilen bir eğimde belirlenen hız miktarı, kararlı halde hız miktarı ve maksimum eğimi karşılayacak bir DC elektrik motorunun karakteristik

tasarım grafiği tanımlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada literatürde Advisor simülasyon programı ile yapılan elektrikli taşıt hesaplamaları ile bu çalışmada Excel programı ile hazırlanan simülasyon programı ile hesaplanan sonuçlar ve grafikler karşılaştırılmıştır. Sonuçların benzer olduğu ve hazırlanan programın kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.. Yapılan simülasyon programı ile farklı özelliklerdeki taşıtların hesaplaması yapılabilir, bilinen bir elektrik motoru karakteristikleri ile taşıtın hareket kabiliyeti hesaplanabilir.

Araştırmanın devamında simülasyon hesapları ile elde edilen sonuçların gerçekleştirilmesi için, hesaplamada tanımlanan elektrik motoru ve elektrik motoru kontrol mekanizmasının temini ve bir taşıta uygulaması yapılabilir.

Gelecekte de çok yaygın olarak kullanılacak elektrikli araçların Türkiye'de kolayca kullanımı ve üretiminin ileri ülkelerle aynı zamanda sağlanabilmesi için bu teknolojiye geçiş sağlanmalıdır. Bu konuda yeni araştırmalar, tasarım ve üretim gibi çalışmalar yapılmalıdır. Bu konuda yeni çalışmaların yapılması gelecek açısından da ülkemize yarar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Ünlü, N. Karahan, Ş. Tür, O. Uçarol, H. Özsu, E. Yazar, A., "Elektrikli Araçlar", ***TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü***, Gebze-Kocaeli, 2,3-6,7-18,36-40,50-55,57-72,86-101,109-126,132 (2003)

[2] İçli, H., "İleri Taşıt Teknolojisi ve Bilgisayarlı Simülasyon Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, ***Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 8,10-12,15-23,25-27,30-31,33 (2003).

[3] Demirel, A.,"Elektrikli Taşıtlar İçin doğrudan Sürüşlü ve Bulanık Patinaj Önleyicili Bir Tahrik Sistemi" Doktora Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 4,7-8,10 (1998)

[4] İnternet: Megep Modül M.E.B " Motorlu Araçlar Dizel Teknolojisi 1" http://www.megep.meb.gov.tr/indextr.html (2008)

[5] İnternet: Honda com.tr "Honda Civic Hibrid Taşıt" http://www.honda.com.tr/otomobil/content/modeller/civichybrid/cevre.htm (2008)

[6] İnternet: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü "Doğru Akım Motorları" http://www.gyte.edu.tr/dersler/105/ENE695/ENE695-28112006.pdf (2008)

[7] İnternet: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü "Hidrojen enerjisi" http://www.eie.gov.tr/hidrojen/teknolojik_gelismeler.html (2008)

[8] İnternet: Gazi Üniversitesi, Prof. Dr. Selim Çetinkaya "Yakıt pilleri" http://selimcetinkaya.tripod.com/guncel/yakit_pili.htm (2008)

[9] İnternet: TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi " Popüler konular" http://www.mam.gov.tr/populer/yakit-pili.htm (2008)

[10] Bal, G., "Doğru Akım Makinaları ve Sürücüleri", ***Seçkin Yayıncılık San.ve Tic. A.Ş.,*** Ankara, 57-60 (2001)

[11]Köroğlu, E., "Karmaşık Besleme Düzenli Araçlar", Yüksek Lisans Tezi, ***Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 92,93 (2001)

[12] Husain, I., "Electric and Hyprid Vehicles Design Fundamentals", ***CRC PRESS***, New York, 239 (2003)

[13] Senger, D. S,"Validation of ADVISOR as a Simulation Tool for a Series faculty Hybrid Electric Vehicle Using the Virginia Tech Future Car Lumina" , Master

Thesis, of Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 18 (1997)

[14] İnternet: İnfotron Ürün Geliştirme Simülasyon "Car Sim" http://www.infotron.com.tr/simulation_carsim.html (2008)

[15] İnternet: Gazi üniversitesi, Doç. Dr. Kemal Erşan " Bataryalar ve İlk Hareket Sistemleri" http://w3.gazi.edu.tr/web/kersan/ (2008)

[16] İnternet: Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi "Süper iletkenler" http://www.biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/

[17] İnternet: Femsan Elektrik Motorları "Neden DC Motor?" http://www.femsan.com/ (2008)

[18] İnternet: Gazi Üniversitesi Obitet " Otomotiv üretiminin tarihsel gelişimi" http://www.obitet.gazi.edu.tr/download/Otomotiv_Sekturu_no.doc (2008)

[19] Çetinkaya, S. " Taşıt Mekaniği" ***Nobel Yayınları*****,** İstanbul, 118,124-140,148 – 159,161 (2005)

[20] İnternet : Best Servis Performance Center "Taşıt Hareket Dirençleri" http://www.bestservis.com/teknikbilgiler/performans/23.htm (2008)

[21] Karahan, Ş."Hibrid Elektrikli Araçlar" Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 6,22-23,34-41,42 -64,81-82,116 (2003)

[22] Engin, C. "Alternatif Enerji Kaynaklarıyla Taşıt Tahriki " Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 18-24 (2001)

[23] Larminie,J. Lowry, J "Electic Vehicle Technology Explained", ***Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester***, England, 55,64-142,195-266 (2003)

[24] Erşan, K., Ar, İ., Sarıdemir, S.," Effekt of Synthesis Technique on Dow Resin Membrane Efficiency", ***Fuel Cells Science & Technology-Scientific Advances in Fuel Cell Systems,*** Hilton Munich Park Hotel Munih ,Germany. ,6-7 (2004)

[25] Ar, İ., Erşan, K., Tükek, S., Sarıdemir, S., " Laboratuar Şartlarında Geliştirilen ve Denemesi Yapılan Elektrolit- Elektrot Çiftinin Yakıt Pilinde Kullanılarak Paket Haline Getirilmesi ve İçten Yanmalı Motor ile Karşılaştırılması" *3.* ***Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu Bildiriler Kitabı,*** Gazi Üniversitesi Gölbaşı Sosyal Tesisleri, Ankara, 18-20, (2003)

[26] Ersan,K. Ar, I. Bulut**,S "** İmproved New Gas Diffusion Layer for PEM Fuel Cell " ***Prceedings 2 nd İnternational Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC2007*** İstanbul Turkey 13-15 [2007]

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERTAÇ, Yaşar
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 18.11.1961
Medeni hali : Evli, 2 çocuk babası
Telefon : 0 (236) 412 25 34
Cep : 0 (505) 784 90 83
e-mail : yertac2002@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi	1983
Lise	Adana Motor Teknik Lisesi	1979

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1983-2008	Akhisar Endüstri Mes.Lisesi	Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce