

T.C.  
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AVL PROGRAMI İLE ARAÇ MODELLEMESİ VE  
YAPAY ZEKA KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Öğrencinin Adı SOYADI** : **Sertan TURAN**  
**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih** : **24.01.2022**  
**Enstitü Anabilim Dalı** : **Makine Mühendisliği**  
**Tez Danışmanı** : **Prof. Dr. Hakan ADATEPE**

**Şubat 2022**  
**GİRESUN**

T.C.  
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AVL PROGRAMI İLE ARAÇ MODELLEMESİ VE  
YAPAY ZEKA KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sertan TURAN

Enstitü Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Bu tez 11/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.  
Hakan ADATEPE  
Jüri Başkanı

Prof. Dr.  
Osman BİCAN  
Üye

Doç. Dr.  
Onur Özdal MENGİ  
Üye

Doç. Dr.  
Bahadır KOZ  
Enstitü Müdürü

## **BEYAN**

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

Sertan TURAN

24/01/2022

## TEŞEKKÜRLER

Tez çalıőmam da ve yüksek lisans eğitimim sresinde her türlü bilimsel desteği sağlayan, bilgi birikimleri ve değerli görüőleriyle katkıda bulunan baőta danıőman hocam olan Prof. Dr. Hakan ADATEPE'ye ve bir o kadar hem bilimsel kaynak hem de değerli bilgileriyle her zaman yardımını esirgemeyen Doç. Dr. Onur zdal MENęİ hocalarıma buradan teőekkürlerimi iletiyorum.

Diğer bir teőekkürümü ise Tez çalıőmamda hem maddi hem de manevi olarak yardımlarını esirgemeyen canım annem Sevim TURAN ve değerlim Seval TURAN'a teőekkür ediyorum.

Son olarak ise AVL Programı ile Araç Modellemesi ve Yapay Zeka Kontrolü tez çalıőmam da kullanmıő olduğum AVL programının lisans desteği sağlayan AVL Őirketine ve AVL Türkiye ekibine çok teőekkür ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜRLER .....	I
İÇİNDEKİLER .....	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	X
TABLOLAR LİSTESİ .....	XII
ÖZET.....	XIII
SUMMARY .....	XIV
BÖLÜM 1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Otomobilin Kısa Tarihi.....	2
1.3. Literatür Taraması .....	4
1.4. Günümüzde Otomobillerin Durumu .....	9
1.5. Tezin Amacı ve Kapsamı.....	9
BÖLÜM 2. MATERYAL VE METOT .....	11
2.1. Elektrikli Araçlar .....	11
2.1.1. Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları .....	12
2.2. Hibrit Araçlar .....	13
2.2.1. Seri Tip Hibrit Tahriki.....	15
2.2.2. Paralel Tip Hibrit Tahriki .....	16
2.2.3. Karmaşık (Kombine) Tip Hibrit Tahriki .....	17
2.2.4. Hibrit Araçların Avantajları ve Dezavantajları.....	18
2.3. Araç Modelleme Dikkat Edilen Parametreler .....	19
2.3.1. Hava Direnci .....	19
2.3.2. Yokuş Direnci.....	20

2.3.3. Yuvarlanma Direnci.....	20
2.3.4. İvmelenme Direnci.....	20
2.4. İçten Yanmalı Motorlar .....	21
2.4.1. İçten Yanmalı Motorun Karakteristik Değerlerinin Hesaplanması .....	22
2.5. Elektrik Makinesi.....	22
2.5.1. Doğru Akım Motorları .....	23
2.5.2 Asenkron Motorlar .....	23
2.5.3 Sürekli Mıknatıslı Motorlar.....	24
2.5.4 Anahtarlamalı Relüktanslı Motorlar.....	24
2.5.5. Elektrik Makinelerinin Güç ve Verim Hesaplamaları.....	25
2.6. Batarya Modeli.....	26
2.6.1. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryalar.....	26
2.6.1.1. Lityum-İyon Bataryalar.....	26
2.6.1.2. Kurşun Asit Bataryalar.....	27
2.6.1.3. Nikel-Kadmiyum Bataryalar.....	28
2.6.1.4. Nikel-Metal Hidrit Bataryalar.....	29
2.6.1.5. Sodyum-Sülfür Bataryalar .....	29
2.6.2. Bataryaların Enerji ve Güç Yoğunluğu .....	30
2.6.3. Bataryanın Temel Denklemleri .....	31
2.7. Güç Aktarma Organları .....	32
2.7.1 Şanzıman.....	32
2.7.1.1. Şanzıman Sistemindeki Açısız Hız Ve Tork Hesaplamaları.....	32
2.7.2. Diferansiyel.....	33
2.7.2.1. Diferansiyelin Açısız Hız ve Tork Hesaplamaları.....	33
2.8. Tekerlek Modeli .....	34
2.9. Kontrol Sistemleri .....	34
2.9.1. PID .....	34
2.9.1.1. PID Hesaplaması.....	35
2.9.2. Bulanık Mantık (Fuzzy) .....	35
2.9.3. Bulanık PID (Fuzzy-PID) .....	36
2.9.4. Güç Yönetimi .....	37

BÖLÜM 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	38
3.1. Benzetimlerde Kullanılan Donanımlar .....	39
3.1.1. İçten Yanmalı Motor Modeli.....	39
3.1.2. Elektrik Makinesi Modeli .....	40
3.1.3. Generatör Motor Modeli .....	41
3.1.4. Batarya Modeli.....	42
3.1.5 Güç Aktarma Organlarının Modellenmesi .....	42
3.1.5.1. Şanzıman Modeli .....	42
3.1.5.2. Diferansiyel .....	43
3.1.6. Tekerlek Modeli .....	43
3.1.7. Kontrol Sistemi .....	43
3.1.8. PID .....	44
3.1.9. Fuzzy-PID .....	44
3.1.10 Güç Yönetimi .....	45
3.2. Sürüş Çevrimi.....	46
3.3. Dizel Araç Modeli.....	47
3.4. Elektrikli Araç Modeli.....	48
3.5. Seri Hibrit Araç Modeli.....	49
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR .....	51
4.1. Dizel Araç Modelinin Benzetim Sonuçları .....	52
4.2. Elektrikli Araç Modelinin Benzetim Sonuçları.....	56
4.3. Seri Hibrit Araç Modelinin Benzetim Sonuçları.....	59
4.3.1. Seri Hibrit Araç Modelinin Bataryasının Şarj Seviyesinin %30'dan Fazla Olduğu Durum .....	60
4.3.2. Seri Hibrit Araç Modelinin Bataryasının Şarj Seviyesinin %30'dan Az Olduğu Durum .....	64
BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ .....	83

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$a$	: Aracın ivmesi
$A_v$	: Aracın ön yüzey alanı
$C_i$	: Kapasitör Kapasitesi
$C(s)$	: PID'nin transfer fonksiyonu
$c_w$	: Aerodinamik direnç katsayısı
$e^-$	: Elektronlar
$eff_{Coulomb}$	: Bataryanın coulombic verimliliğini
$E(s)$	: Sistemin hatası
$F_a$	: Hava direnç kuvveti
$F_i$	: Yokuş direnç kuvveti
$F_l$	: İvmelenme direnç kuvveti
$f_r$	: Yuvarlanma direnç katsayısı
$F_r$	: Yuvarlanma direnç kuvveti
$g$	: Yerçekimi ivmesi
$I_{ci}$	: Kapasitör Boyunca Akan Akım
$I_{hücre}$	: Hücre Akımı
$i_{dif}$	: Diferansiyelin dişli oranı
$i_{vk}$	: Vites kutusunun dişli oranı
$K_d$	: Türev Katsayısı

$K_i$	: İntegral Katsayısı
$K_p$	: Orantı Katsayısı
$Li^+$	: Lityum pozitif iyonu
$m$	: Aracın kütlesi
$\dot{m}$	: Yakıtın kütleli debisi
$n_c$	: Silindir Sayısı
$N_e$	: Motorun Devir Sayısı
$n_{\text{paralel}}$	: Paralel Bağlanan Hücre Sayısı
$n_r$	: Bir Tam Çevrim için Krank Mili Tur Sayısı
$n_{\text{seri}}$	: Seri Bağlanan Hücre Sayısı
$P_{\text{bat,kayıp}}$	: Bataryada Kaybedilen Güç
$P_{\text{bat}}$	: Bataryanın Grubunun Gücü
$P_e$	: Efektif Güç
$P_{\text{fay}}$	: Elektrik Makinesinin Faydalı Elektriksel Gücü
$P_{\text{hücre,kayıp}}$	: Hücrede Kaybı Uğrayan Güç
$P_{\text{hücre}}$	: Hücrenin Gücü
$P_{\text{kay}}$	: Elektrik Makinesinin Elektriksel Güç Kaybı
$P_{\text{top}}$	: Elektrik Makinesinin Toplam Elektriksel Gücü
$Q_i$	: Kapasitör Yüğü (Coulomb)
$R_i$	: Kapasitör Direnci
$R_{\text{omik}}$	: Omik Direnç
$T_{\text{dif,cikis}}$	: Diferansiyelin aks miline iletilen torku
$T_{\text{dif,giris}}$	: Diferansiyelin mahrutu dişlisinin torku

$T_e$	: Efektif Tork
$T_{vk\_cikis}$	: Vites kutusunun çıkış(ana) milinin torku
$T_{vk\_giris}$	: Vites kutusunun prizdirekt milinin torku
$U_{hücre}$	: Hücre Gerilimi
$U_{OCV}$	: Açık Devre Gerilimi
$U(s)$	: PID'in çıkışı
$V$	: Aracın hızı
$V_d$	: Silindir Hacmi
$V_r$	: Rüzgarın hızı
$V_{top}$	: Toplam hız
$\eta_{dif}$	: Diferansiyelin verimi
$\eta_{em}$	: Elektrik Makinesinin Verimi
$\eta_{vk}$	: Vites kutusu verimi
$\rho_{hava}$	: Hava yoğunluğu
$\omega_{dif\_cikis}$	: Diferansiyelin aks miline iletilen açısal hızı
$\omega_{dif\_giris}$	: Diferansiyelin mahrutu dişlisinin açısal hızı
$\omega_{vk\_cikis}$	: Vites kutusunun çıkış(ana) milinin açısal hızı
$\omega_{vk\_giris}$	: Vites kutusunun prizdirekt milinin açısal hızı
$^{\circ}C$	: Santigrat Derece
$\theta$	: Yokuş eğimi
$\lambda$	: Kütle faktörü
%	: Yüzde
A	: Amper

AA	: Alternatif Akım
AC	: Alternatif akım
Ar-Ge	: Araştırma ve Geliştirme
ASM	: Asenkron Makine
AVL	: Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List
BSFC	: Özgül yakıt tüketimi
CO	: Karbon monoksit
d/dk	: Devir/dakika
DA	: Doğru Akım
DC	: Doğru Akım
EA	: Elektrikli Araçlar
EM	: Elektrik Makinesi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
g	: Gram
g/Kwh	: Gram/(kilovat * saat)
GEN	: Generatör
GPS	: Global Positioning System
HA	: Hibrit Araçlar
HC	: Hidrokarbon
Hp	: Beygir Gücü
I	: Akım
İYM	: İçten Yanmalı Motorlar
İYMA	: İçten Yanmalı Motorlu Araçlar

Km	: Kilometre
km/h	: Kilometre/saat
Kw	: Kilowatt
kWh	: Kilovat saat
Lt	: Litre
MATLAB	: Matrix laboratory
Na-S	: Sodyum Sülfür
NEDC	: New European Driving Cycle
NiCd	: Nikel-kadmiyum
NiMH	: Nikel metal hidrit
Nm	: Newton*metre
NO <sub>x</sub>	: Azot oksit
PID	: Oran-integral-türevsel
rpm	: Revolutions per Minute
SOC	: Bataryanın Şarj Durumu
TL	: Türk Lirası
TOGG	: Türkiye Otomobil Girişim Grubu
V	: Gerilim
Vb	: Ve benzeri
yy	: Yüzyılda

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. 1769 yılında Joseph Cugnot tarafından yapılan ilk otomobil .....	2
Şekil 1. 2. Henry Ford T Otomobili .....	3
Şekil 1. 3. Türkiye'nin Yerli Elektrikli Otomotivi TOGG .....	9
Şekil 2. 1. Ayrton Perry Elektrikli Aracı .....	11
Şekil 2. 2. Lohner-Porsche tarafından yapılan ilk dört tekerlekten tahrikli hibrit araç .....	13
Şekil 2. 3. Victor Wouk'un hibrit aracı Buick Skylark 1972 .....	14
Şekil 2. 4. Seri Tip Hibrit Tahrikli Araç .....	15
Şekil 2. 5. Paralel Tip Hibrit Tahrikli Araç .....	17
Şekil 2. 6. Karmaşık (Kombine) Tip Hibrit Tahrikli Araç .....	18
Şekil 2. 7. Doğru Akım Motoru (DA Motor) .....	23
Şekil 2. 8. Asenkron Motor .....	24
Şekil 2. 9. Daimi Mıknatıslı Motorlar .....	24
Şekil 2. 10. Anahtarlamalı Relüktanslı Motorlar .....	25
Şekil 2. 11. Lityum İyon Bataryasının Hücresinin İç Yapısı .....	27
Şekil 2. 12. Kurşun-Asit Bataryası .....	28
Şekil 2. 13. Nikel-Kadmiyum bataryasının İç Yapısı .....	28
Şekil 2. 14. Nikel-Metal Hidrit Bataryasının İç Yapısı .....	29
Şekil 2. 15. Sodyum-Sülfür Bataryasının İç Yapısı .....	30
Şekil 2. 16. Akü grubunun eşdeğer devresi .....	31
Şekil 2. 17. PID kontrolörün blok diyagramı .....	35
Şekil 2. 18. Bulanık karar verme mekanizmasının temel yapısı .....	36
Şekil 2. 19. Fuzzy-PID kontrolörün blok diyagramı .....	36
Şekil 3. 1. Dizel Motorun Karakteristiği .....	40

Şekil 3. 2. Elektrik Makinesinin Karakteristiği.....	41
Şekil 3. 3. Generatörün Karakteristiği.....	42
Şekil 3. 4. Benzetimde Kullanılan 235/75R 17.5 tekerlek.....	43
Şekil 3. 5. Generatörün Kontrollü Sistemi.....	44
Şekil 3. 6. Hız Kontrollü. ....	45
Şekil 3. 7. Hibrit aracın güç yönetimi. ....	45
Şekil 3. 8. NEDC sürüş çevrimi. ....	46
Şekil 3. 9. AVL Cruise M programında oluşturulan dizel otobüs modeli. ....	47
Şekil 3. 10. AVL Cruise M programında oluşturulan elektrikli otobüs modeli. ....	48
Şekil 3. 11. AVL Cruise M programında oluşturulan seri hibrit otobüs modeli.....	49
Şekil 4. 1. Dizel aracın Fuzzy-PID kontrolörü ile sürüş grafiği.....	52
Şekil 4. 2. Dizel motorunun tork, güç ve devirinin NEDC çevrimine göre grafiği. ..	53
Şekil 4. 3. Dizel motorun verim grafiği. ....	54
Şekil 4. 4. Dizel motorun emisyon değerleri, yakıt tüketimi ve aracın aldığı menzil grafiği. ....	55
Şekil 4. 5. Elektrikli araç modelinin Fuzzy-PID kontrolörü ile sürüş grafiği.....	56
Şekil 4. 6. Elektrik Makinesinin akım, gerilim ve güç grafiği.....	57
Şekil 4. 7. Elektrik Makinesinin akım, gerilim ve güç grafiği.....	58
Şekil 4. 8. Bataryanın şarj durumu ve aracın aldığı yolun grafiği. ....	59
Şekil 4. 9. Seri hibrit araç modelinin Fuzzy-PID kontrolörü ile sürüş grafiği. ....	60
Şekil 4. 10. Elektrik Makinesinin akım, gerilim ve güç grafiği.....	61
Şekil 4. 11. Elektrik Makinesinin verimi grafiği.....	62
Şekil 4. 12. Bataryanın şarj durumu ve aracın aldığı yolun grafiği. ....	63
Şekil 4. 13. Seri hibrit araç modelinin Fuzzy-PID kontrolörü ile sürüş grafiği. ....	64
Şekil 4. 14. Elektrik Makinesinin akım, gerilim ve güç grafiği.....	65
Şekil 4. 15. Dizel Motorun tork, devir ve güç grafiği.....	66
Şekil 4. 16. Generatörün akım, gerilim ve güç grafiği.....	67
Şekil 4. 17. EM, İYM ve generatörün verimlerinin grafiği. ....	68
Şekil 4. 18. Dizel Motorun emisyon değerleri ve yakıt tüketimi grafiği. ....	69
Şekil 4. 19. Bataryanın şarj durumu ve aracın aldığı yolun grafiği. ....	70

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Bataryaların Enerji ve Güç Yoğunluğu .....	30
Tablo 3. 1. Dizel Motorun Teknik Özellikleri.....	40
Tablo 3. 2. Elektrik Makinesinin Teknik Özellikleri.....	40
Tablo 3. 3. Generatörün Teknik Özellikleri.....	41
Tablo 3. 4. Şanzımanın Dişli Oranları.....	43

# AVL PROGRAMI İLE ARAÇ MODELLEMESİ VE YAPAY ZEKA KONTROLÜ

## ÖZET

Yapılan bu tez çalışmasında, 4,5 lt'lik bir dizel yakıtlı Belediye Otobüsünün aynı özelliklere sahip elektrikli ve seri hibrit otobüs modellerine AVL CRUISE M programında dönüştürülerek, Avrupa sürüş çevrilerinden NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre performansları incelenmiştir. Ayrıca, NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre araçların sürüşünü gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanan Fuzzy-PID denetleyicisiyle gaz ve frenleme kombinasyonları yapılarak araçların sürüşü gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtlı belediye otobüsünün, elektrikli ve seri hibrit modellerine dönüşümü esnasında dikkat edilecek hususlar ve denklemler detaylı bir şekilde verilerek açıklanmıştır. Bu hususlara ve denklemlere göre hesaplamalar yapılarak elektrikli ve seri hibrit araç modellerinde kullanılacak olan donanımlar belirlenerek teknik bilgileri grafik ve tablolarla verilmiştir. Bu dönüşüm sırasında mevcut dizel aracın özelliklerini karşılayabilen elektrikli ve seri hibrit araç modelleri AVL CRUISE M programında oluşturulmuştur.

Elektrikli ve seri hibrit araç benzetiminde kullanılacak olan donanımlar belirlendikten sonra, modellemeleri yapılarak güç, verim, emisyon, yakıt maliyeti ve tasarlanan Fuzzy-PID denetleyicisinin performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan bu tez çalışmasının sonucunda; elektrikli ve seri hibrit araç modellerinin performanslarının dizel araç modeline göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bunun yanı sıra elektrikli aracın yakıt maliyeti, dizel ve seri hibrit aracın yakıt maliyetine göre çok düşüktür. Ancak elektrikli aracın %100 doluluğa sahip bataryasıyla kat ettiği menzilin kısa olması ve aracın bataryasının şarj etmek için gerekli olan sürenin uzun olması nedeniyle, şehir içi otobüs kullanımında dezavantaj yaratacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** AVL Cruise M, İçten Yanmalı Motorlu Araçlar, Elektrikli Araçlar, Hibrit Araçlar

# VEHICLE MODELLING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE CONTROL WITH AVL PROGRAM

## SUMMARY

In this thesis work, 4.5 lt diesel fueled Municipal Bus was converted into electric and serial hybrid bus models with the same features in the AVL CRUISE M program, and the performances of the NEDC cycle, which is one of the European driving cycles, were investigated. In addition, the vehicles are driven by combining gas and braking with the Fuzzy-PID controller, which is designed to be able to drive the vehicles according to the urban usage of the NEDC cycle. The considerations and equations to be considered during the conversion of the diesel fueled municipal bus to the electric and serial hybrid models are explained in detail. Calculations are made according to these issues and equations, and the equipment to be used in electric and serial hybrid vehicle models is determined and technical information is given in graphics and tables. During this transformation, electric and serial hybrid vehicle models that can meet the characteristics of the existing diesel vehicle were created in the AVL CRUISE M program.

After determining the equipment to be used in electric and serial hybrid vehicle simulation, their modeling is done and performances of power, efficiency, emissions, fuel cost and designed Fuzzy-PID controller are compared. As a result of this thesis study; It has been observed that the performances of electric and serial hybrid vehicle models give better results than diesel vehicle models. In addition, the fuel cost of the electric vehicle is very low compared to the fuel cost of diesel and serial hybrid vehicles. However, it has been concluded that the electric vehicle will create a disadvantage in city bus use due to the short distance covered by the battery with 100% occupancy and the long time required to charge the vehicle's battery.

**Keywords:** AVL Cruise M, Internal Combustion Engine Vehicles, Electric Vehicles, Hybrid Vehicles

# **BÖLÜM 1. GENEL BİLGİLER**

## **1.1. Giriş**

Dünya tarihin de önemli bir yere sahip olan otomobiller, hayatımızın vazgeçilmez makineleridir. Otomobil veya diğer adıyla arabalar motordan aldıkları tahrik kuvvetiyle yolcuları, yükleri ve kendi ağırlığını taşıyabilen tekerlekli araçlardır. İlk otomobil 1769 yılında Joseph Cugnot tarafından buhar gücüyle hareket eden araç olarak bilinmektedir [1].

18. yüzyılın başlarında ise Otto ve diesel tarafından icat [1] edilen içten yanmalı motorların (İYM) otomobillerde kullanılmasıyla birlikte insanların bir yerden bir yere daha kısa sürede seyahat etmesini sağlamak amacıyla içten yanmalı motorlu otomobillerin üretimine başlanmıştır. İlk zamanlarda üretilen içten yanmalı motorlu araçların (İYMA) motor güçlerinin düşük olması nedeniyle kısıtlı yük ve yolcu taşıma kapasitesine sahip araçlar olarak üretilmiştir. Teknolojinin gelişmesine paralel olarak daha yüksek güç değerlerine sahip İYM üretilmesi sağlanmıştır. Motorların güç ve performanslarının iyileştirilmesi daha fazla yük ve yolcu taşıma kapasitesine olanak sağlamıştır. Günümüzde ise otomobil üreticilerinin birçoğu İYM verimlerinin düşük olması, karmaşık bir sisteme sahip olmaları ve çevreye zararlı emisyon salınımlarından dolayı vazgeçmektedir. Bu araçlara alternatif olarak ise geleceğin araçları olarak görünen elektrikli ve hibrit araçlar ön plana çıkmaktadır.

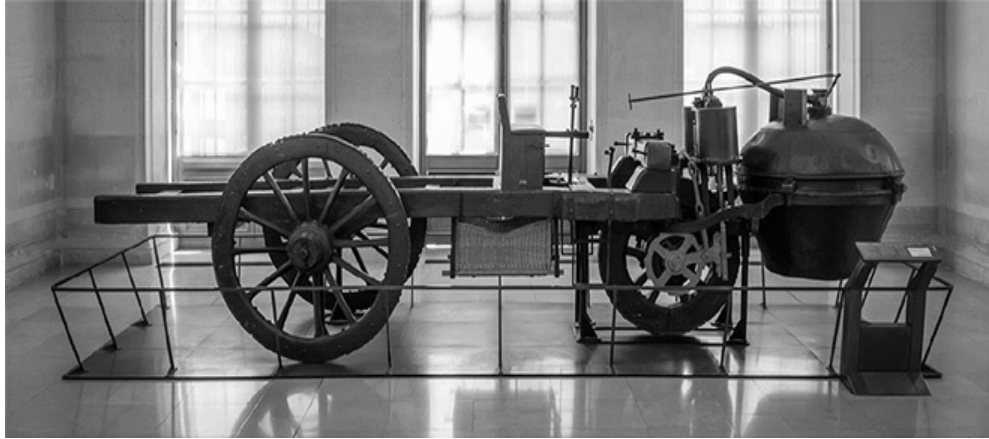
Geleceğin araçları olarak gösterilen elektrikli araçların (EA) farklı bir yeri vardır. Çünkü elektrikli araçlar, elektrik enerjisini elektrik makineleri vasıtasıyla mekanik enerjiye çevirerek tahrik ettirilen araçlardır [2]. Bu araçların en büyük avantajları verimlerinin yüksek ve sıfır emisyon değerlerine sahip olmalarıdır. Ancak bu araçlar birçok dezavantajlara da sahiptirler. Bu dezavantajlar batarya kapasitelerinin düşük

olması, bataryadan dolayı aracın ağırlığının artması, batarya şarj sürelerinin uzun olması gibi söylenebilir. Araştırmacılar bu dezavantajları gidermek için birçok çalışmalar yapmaktadır. Ancak bu dezavantajları ortadan kaldırmak kolay olmadığı için geleceğin araçlarından bir diğeri olan hibrit araçlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Hibrit araçlar, sistemlerinde birden fazla ve farklı yapılarda güç kaynağın bir arada kullanıldığı araçlardır [2]. Hibrit araçlar (HA), içten yanmalı motorun ve elektrikli araçların dezavantajlarını minimize ederek yüksek verimli bir araç oluşturmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Hibrit araçlardan istendiği gibi yüksek verim, düşük emisyon değeri ve yüksek menzil değerleri ile avantaj sağlarken her iki sistemin bu araçlarda kullanılmasına bağlı olarak iyi bir kontrol sistemine ve güç yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır.

## 1.2. Otomobilin Kısa Tarihi

Otomobiller hayatımıza ilk olarak 1769 yılında Joseph Cugnot tarafından buhar gücünden almış olduğu tahrik hareketiyle saatte 3,6 km'lik hıza ulaşabilen dört kişilik bir araçtır. Bu araç sadece 15 dakika çalışabilmiştir [3,4].

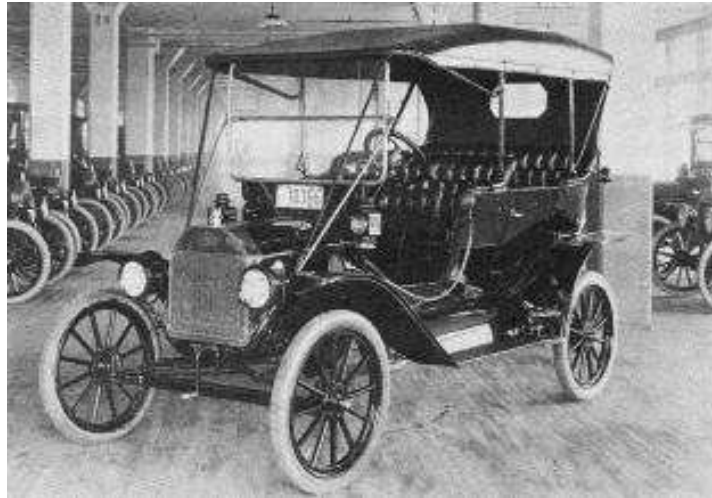


Şekil 1. 1. 1769 yılında Joseph Cugnot tarafından yapılan ilk otomobil [5].

Joseph Cugnot tarafından yapılan ilk otomobil insanlara bir yol açmış ve artık birçok kişi bu konuda çalışmaya başlamıştır. Bu çalışmalar devam ederken 1876 yılında

Otto'nun kıvılcım ateşlemeli içten yanmalı motorları geliştirmesiyle otomobil alanında yeni bir dönem başlamıştır [6]. Otto'nun geliştirmiş olduğu bu motor sisteminden yararlanan Benz, 1885 yılında, üç tekerlekli bir otomobil icat ederek, 1886 yılında patentini almıştır. Benz'in yapmış olduğu otomobil, tek silindirli, dört zamanlı 0,66 kW güç verebilen ve saat'te 15 km'e hız çıkabilen bir otomobildir [3]. Benz tarafından geliştirilen otomobille eş zamanlı olarak 1892 yılında Rudolf Diesel tarafından sıkıştırılmalı motorlar icat edilmiştir [6]. Sıkıştırılmalı ve kıvılcım ateşlemeli motorların icadı, 18. yüzyılın sonlarına doğru otomobil konusundan çalışmaları hızlandırmış ve aynı zamanda yeni sistemlere sahip otomobillerin hayata geçirilmesinden büyük katkıda bulunmuştur. Ayrıca otomobiller üzerine devam eden çalışmalar neticesinde yeni araçlar üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen araçlar halktan büyük bir ilgi görmesiyle talep artışına sebep olmuştur.

Bunun üzerine 19. yüzyılın başlarında bu talebi göz önüne alıp ve bu talebe bir çözüm bulmak isteyen Henry Ford. 1908 yılında, Şikago et paketlenme fabrikalarının yürüyen bantlarını satın alarak, otomobilin üretimin sistemine uygulamıştır. Henry Ford tarafından 1908 yılında kurulan yürüyen bantlı seri üretim hattında ilk olarak Henry Ford T modelli olan binek araç üretimi yapıldı. Böylece otomobil alanında ilk seri üretim Henry Ford tarafından gerçekleştirilmiştir [3,7,8].



Şekil 1. 2. Henry Ford T Otomobili [8].

### 1.3. Literatür Taraması

Genel olarak literatürde otomobillerle ilgili yapılan çalışmalar, araç verimliliğini artırmaya, yakıt tasarrufu sağlamaya, çevreye verdikleri zararlı emisyon gazları azaltmaya, seyir konforunu artırmaya vb. gibi konulara yöneliktir. Bu tezde, mevcut dizel motorlu bir belediye otobüsünün elektrikli ve seri hibrit modellerine dönüştürülerek araçların verimleri, yakıt sarfiyat ve emisyon değerleri ele alınarak incelenecektir. Tez çalışması sırasında bu konuyla ilgili aşağıdaki çalışmalardan yararlanılmıştır.

Varga, Iclodean ve Mariasiu'nun [9], yazdıkları *Electric and Hybrid Buses for Urban Transport Energy Efficiency Strategies* kitabında, kentsel alanlardaki elektrikli ve hibrit otobüslerin performansını günlük kullanım şartlarına göre incelemişlerdir. Ayrıca bu kitap genel ve özel güzergahlar ve senaryolar için enerji tüketimini değerlendirebilmek adına bir metodoloji önererek, geleceğin otobüslerinin belirli yollarda nasıl performans göstereceğini ve en son teknolojilerin mevcut filolara nasıl entegre edilebileceğini konusunda yardımcı olmaktadır. Bu kitapta ele alınan diğer bir konu ise otobüslerin bakım stratejileri, güç aktarma sistemi konfigürasyonu, batarya değişimi konusu ve hızlı şarj konularını ele alarak elektrikli ve hibrit otobüslerin günlük kullanımıyla ilgili tüm yönleri kapsayan, enerji verimliliğine ve etkin uygulamaya geniş bir konu yelpazesi sunmaktadır.

Gürbüz ve Kulaksız [10], bu çalışmalarında, içten yanmalı motora sahip araçlarla, geleceğin aracı olarak kabul edilen elektrikli araçların karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre elektrikli araçların verimlerinin, içten yanmalı motora sahip araçların verimine göre daha yüksek olduğunu ve yaklaşık olarak bu değer üç katı olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Çalışmada diğer bir karşılaştırdıkları konu ise araçların menzilleridir. Menzil karşılaştırmasında elektrikli araçların %100 batarya şarj durumu ile içten yanmalı motora sahip araçta yakıt deposunun dolu olduğu durum göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu durum neticesinde elektrikli araçların, içten yanmalı motora sahip araçlara göre dörtte biri menzil aldıkları sonucuna ulaşmışlardır. Bu dezavantaja ek olarak bataryanın şarj süresinin uzun

olması, şarj istasyonlarının yetersiz ve araç maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle elektrikli araçlar daha az tercih edildiği sonucuna varmışlardır.

Tekin [11], çalışmasında aynı özelliklerde içten yanmalı motora sahip araçla yakıt hücreli elektrikli aracın yakıt sarfiyatını ve elektrikli aracın frenleme esnasında kazandığı rejeneratif frenleme enerjisini hesaplamıştır. Yapılan çalışma da MATLAB ortamında içten yanmalı motorlu ve yakıt hücreli elektrikli aracın modellemeleri oluşturulmuştur. Bu çalışma da elde edilen sonuç ise yakıt hücreli elektrikli aracın, içten yanmalı motora sahip araca göre yakıt sarfiyatının %32 daha az olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Akbıyık [12], çalışmasında elektrikli araçların günlük hayatta kullanılması halinde elde edilecek avantajlarını göstermektedir. Akbıyık çalışmaya ilk önce içten yanmalı motora sahip bir aracın günlük hayattaki sürüş çevrimini tespit ederek başlamıştır. Bu sürüş çevrimine göre elektrikli araçta kullanılacak olan donanımları belirleyerek aracın modellemesini yapmıştır. Modellemesi yapılan elektrikli aracın, içten yanmalı motora sahip araca göre verim, emisyon ve gürültü gibi konularda avantaj sağlarken elektrikli araca dönüştürülmesinin pahalılığına dikkat çekmiştir. Ayrıca bu çalışmasında içten yanmalı motorlu aracın elektrikli araca dönüştürülmesi teoriksel olarak sunulmuştur. Varol ve arkadaşları [13], bu çalışmalarında, İstanbul'daki toplu taşıma araçlarının kademeli olarak elektrikli araçlara dönüşümünü altı durumda incelemişlerdir. İlk durumda ticari taksilerin %30 oranında elektrikli araçlara dönüştürülmesi, ikinci durumda ticari taksilerin %70 ve otobüslerin %30 oranında elektrikli araçlara dönüştürülmesi, üçüncü durumda ticari taksilerin %100 otobüslerin %70 ve minibüslerin %30 oranında elektrikli araçlara dönüştürülmesi, dördüncü durumda Ticari taksilerin %100, otobüslerin %100, minibüslerin %70 ve servislerin %30 elektrikli araca dönüştürülmesi, beşinci durumda Ticari taksilerin %100, otobüslerin %100, minibüslerin %100 ve servislerin %70 elektrikli araca dönüştürülmesi, ve son durum olan altıncı durumda ise Ticari taksilerin %100, otobüslerin %100, minibüslerin %100 ve servislerin %100 oranında elektrikli araca dönüştürülmesi durumunda klasik içten yanmalı motorlu toplu taşıma araçlarının doğaya vermiş oldukları zararlı emisyon gazlarında düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir.

Savaşır [14], çalışmasında dizel motora sahip New Holland 55 HP bahçe traktörünü elektrikli traktöre dönüştürülmesini incelemiştir. Traktörü elektrikli modele dönüştürürken üç çalışma koşulunu dikkate almıştır. Bu çalışma koşulları normal yolda seyir, tarlada seyir ve toprak işleme koşullarıdır. Çalışmasında normal yolda seyir ve tarlada seyirde yuvarlanma direnci ve yokuş direncini dikkate almazken toprak işleme sırasında ise bu seyir dirençlerine ek olarak pulluk çeki kuvvetini de hesaba katarak hesaplamıştır. Daha sonra çalışmasında yapmış olduğu bu hesaplamalara göre sisteminde kullanacağı donanımları belirleyip elektrikli traktör modelini oluşturmuştur. Üç çalışma koşuluna göre hem içten yanmalı motora sahip traktör modelini hem de elektrikli traktör modelini çalıştırmıştır. Traktörlerin normal yolda çalışma süresi, tarlada seyir çalışma süresi, toprak işlemede çalışma süresini hesaplamıştır. Ayrıca 7 farklı batarya tipini elektrikli traktör modelin de tek tek deneyerek sistemde kullanılabilir olan en iyi bataryayı tespit etmiştir.

Correa ve arkadaşları [15], ise Arjantin, Şili ve Brezilya ülkelerinin toplu taşıma araçların da dizel, elektrikli ve hibrit araçlarının kullanılabilirliklerini enerji ve çevre koşullarına göre karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmanın sonucunda ülkelerin durumlarına göre, Arjantin ve Şili'de içten yanmalı motorlu otobüslerin kullanımı avantajlı görünürken Brezilya'da ise tam elektrikli otobüslerin kullanılabilir olduğunu tespit etmişlerdir. Böylece yaptıkları bu çalışma ile geleceğin araçları olarak gösterilen elektrikli ve hibrit araçların her zaman avantajlı olmadığını göstermişlerdir.

Rende ve arkadaşları [16], bu çalışmalarında, hurdaya gönderilen içten yanmalı motorlu bir aracı full elektrikli araca dönüştürmüşlerdir. Dönüşüm sonucunda elektrikli aracın ağırlığının içten yanmalı motora sahip araca göre 300 kg azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca elektrikli araç 31 km/h sabit hızla 45,6 km menzili yaklaşık 4 kWh'lik enerji tüketimi ile ulaştığı sonucunu elde etmişlerdir. Bu çalışmanın asıl önemli konusu ise hurdaya ayrılan aracın tekrardan kullanıma kazandırılabilmesinin mümkün olduğunu göstermişlerdir.

Solmaz ve Kocakulak'ın [17], yaptıkları bu çalışmalarında, seri hibrit elektrikli bir aracın MATLAB/Simulink programı ortamında modelleyerek farklı sürüş şartlarında

enerji tüketimini hesaplamışlardır. Ayrıca seri hibrit elektrikli aracın farklı sürüş çevrimlerinde kullanılması durumlarında ise rejeneratif enerji kazanımının %11 ile %21 arasında sisteme tasarruf sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Koç [18], çalışmasında seri hibrit araçlarda kullanılabilir olan elektrikli motorların karşılaştırmasını yapmıştır. Çalışmasında ilk önce aracın modelini oluşturup ve araçta kullanılacak olan elektrik motorlarını belirleyerek modelinde sırayla denemiştir. Çalışmasında kullandığı elektrik motorlarının karşılaştırmasını yaptığı doğru akım motorlarının kayıplarının ve boyutlarının fazla olması, sürekli mıknatıslı senkron motorlar ve anahtarlamalı relüktanslı motorlarının teknolojilerinin yeterli seviyede gelişmemesi nedeniyle kullanımının uygun olmadığı sonucuna varmıştır. Ancak sürekli mıknatıslı senkron motorların verimlerinin yüksek olması ve ağırlıklarının düşük olması nedeniyle seri hibrit araçlarda kullanımına en uygun olan elektrik motoru olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Albatayneh ve arkadaşları [19], ise, geleneksel araçların, elektrikli araçlara(EA) dönüştürülmesini farklı bir açıdan ele almışlardır. Elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorlarının, içten yanmalı motordan daha verimli olmasına rağmen, genel enerji verimliliğinin belirlenmesi için kullanılan fosil yakıtın ve elektrik enerjisinin elde edildiği koşullar göz önüne alınarak araçların genel verimliliği hakkında bu çalışmayı yapmışlardır. Basit bir deyişle, bu çalışma da temel soru olan elektrikli araçlar, içten yanmalı motora sahip araçlara göre verimli mi? sorusunu yanıtlamak için yapılmıştır. Çalışmasında benzinli bir santralin toplam verimliliği %11–27, dizel bir santralin toplam verimliliği %25 ila %37 ve CNG bir santralin toplam verimliliği %12 ila %22 arasında değiştiği kabul ederek araçların genel verimliliğini incelemiştir. Bir doğal gaz santrali tarafından şarj edilen EA, %13 ila %31 arasında genel verimliliğe sahipken, dizel enerji santralleri tarafından şarj edilen EA, %12 ila %25 arasında genel verimliliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Elektrikli aracın yenilenebilir enerji kaynağı ile şarj edildiği düşünülürse, elektrik enerjisi üretimi esnasında oluşan kayıplar önemli ölçüde azalacağını ve aynı zamanda elektrikli araçların genel verimlilikleri %40-70 civarına yükselbileceğini öngörmektedirler. Böylece bu çalışmada sadece araçların donanımlarının dönüştürülmesinin yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır.

Mengi [20], 1,3 litrelik içten yanmalı motora sahip bir aracı, elektrikli araca dönüştürerek mevcut aracın performansında bir kayıp olup olmadığını incelemektedir. Çalışmasını AVL Cruise programında her iki modeli oluşturarak araçların tork, güç ve hız değerlerine göre irdelemiştir. Ayrıca oluşturmuş olduğu elektrikli araç modelinde PID kontrolör kullanarak elektrikli aracı kontrol etmiştir. Çalışmasında elde ettiği sonuç ise içten yanmalı motora sahip aracın, elektrikli araca dönüştürülmesi durumunda herhangi bir performans kaybı olmadan daha çevreci bir araç elde edilebileceği gerçeği sonucuna varmıştır.

Yongqiang ve arkadaşları [21], bu çalışmalarında, elektrikli araçların kalkış, hızlanma ve frenleme eylemlerini tek bir pedalla yapılabilirliği araştırmışlardır. Tek pedal ile bu eylemleri yapabilmek için elektrik motorunu PID denetleyici ve yazılım ile kontrol ederek gerçekleştirilebileceğini düşünmektedirler. Matlab/Simulink ve Carsim programları kullanılarak yapılan benzetimde elektrikli araç modelinde elektrik motorunun yalnızca motor torkunun kontrol edilmesiyle gerçekleştirileceği sonucuna varılmıştır.

Chen ve diğerleri [22], bu çalışmalarında araçların yol izleme sorununu çözmek, akıllı ulaşımı gerçekleştirmek için Fuzzy-PID kontrolle dört tekerlekten alınan bilgilere göre direksiyon stratejisi analiz edilerek aracın otonom bir şekilde seyahati üzerine bir çalışma ortaya koymuşlardır. Çalışmanın sonucu olarak Fuzzy-PID kontrolörünün güvenilirliği ve sağlamlığı açık yolda doğrulanmıştır.

Okan [23], bu çalışmasında seri hibrit araçlarda enerji ve güç yönetimi konusunda çalışmıştır. Çalışmasındaki asıl amaç aracın ihtiyacı olan gücü içten yanmalı motor ve bataryadan ideal bir şekilde karşılayarak yakıtı sarfiyatını azalmaktır. Çalışmasına öncelikle içten yanmalı motorun en ideal çalışma noktasını belirleyip daha sonra frenleme esnasında rejeneratif enerji kazanımı ile tekrardan bataryaları şarj edilmesinin sağlayan bir güç yönetimi tasarlamıştır. Güç yönetiminin tasarımını yaparken GPS sayesinde yol durumunu ve sürücü tarafından talep edilecek olan gücün önceden tahmin ederek yakıt sarfiyatını iyileştirmiştir.

#### 1.4. Günümüzde Otomobillerin Durumu

Seyahat etmek, yük taşımak ve ağır işlerde kullanılacak şekilde tasarlanan araçlar fosil yakıtlı, elektrikli, hibrit ve yakıt hücresi olarak üretilmektedir. Ancak Otto ve Diesel tarafından icat edilen İYM yerine daha verimli ve çevreci olan geleceğin araçları olarak gösterilen elektrikli, hibrit ve yakıt hücresi araçlara yönelim başlamıştır. Ülkemizde ise geleceğin araçları olarak gösterilen elektrikli ve hibrit araç pazarında söz sahibi olabilmek için 2018 yılında alanlarında uzman bir mühendis topluluğunu bir araya getirerek Türkiye'nin Otomobil Girişim Grubu Sanayi ve Ticaret A.Ş (TOGG) kuruldu. 27 Aralık 2019'da TOGG ilk yerli elektrikli araç projesini hayata geçirerek tanıtımı yapıldı. Hayata geçirilen bu projenin ikinci aşaması olan seri üretime geçebilmek için üretim ve geliştirme konularında hız kesmeden çalışmalarına devam etmektedir. Bu çalışmaların yanı sıra elektrikli ve hibrit araçların üretilebileceği bir otomobil fabrikasının inşaatına da başlanılmıştır [24].



Şekil 1. 3. Türkiye'nin Yerli Elektrikli Otomotivi TOGG [24].

#### 1.5. Tezin Amacı ve Kapsamı

Günlük hayatımızda kişisel araçlarımız yâda toplu taşıma araçları şekliyle görmekte olduğumuz araçların daha az çevreye zarar vererek ve yüksek verimli bir şekilde çalışabilmeleri için birçok ülkede araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmaktadır.

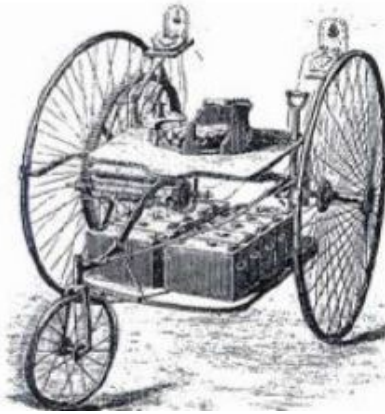
Araştırmacılar yoğun olarak binek araçlar üzerinde çalışmalarını yürütmelerine rağmen bazı araştırmacılar ise ülkelerin toplumlarını bir yerden bir yere taşımada kullandıkları toplu taşıma araçlar üzerine çalışmalar da yapmaktadır. Toplu taşıma araçlar üzerine yapılan çalışmalar, genellikle yüksek yakıt maliyetli İYMA yerine daha düşük yakıt maliyetli EA veya HA'la seyahat imkânı sunan araçlar üzerine yapılan çalışmalardır. Araştırmacıların bu konuya önem vermesinin en büyük nedeni ülkelerin toplu taşıma araçlarında İYMA yerine EA veya HA geçiş yapmak istemeleridir. Ancak elektrikli ve hibrit araçların maliyetlerinin yüksek olması ve araçları şarj edebilmeleri için ihtiyaç duyulan şarj istasyonlarına sahip olmadıklarından dolayı çok tercih edilmemektedir. Bu tez çalışmasında ise ülkelerin elektrikli ve hibrit araçları yüksek maliyetlerinden dolayı tercih edememesine bir alternatif yöntem olan mevcut kullanılan araçları bu araçlara dönüştürme konusu üzerine çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda dizel motora sahip bir belediye otobüsünün daha düşük maliyetle, yüksek performanslı full elektrikli ve seri hibrit araç modelleri AVL Cruise M programında oluşturularak performansları incelenmiştir. AVL Cruise M programında dizel, elektrikli ve hibrit model olmak üzere üç model oluşturulup, her modelin NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre grafiksel olarak performansları elde edilmiştir.

Böylece yüksek maliyetli sıfır elektrikli ve hibrit araç yerine daha düşük maliyetle mevcut aracın bu araçlara dönüşümünün simülasyonları yapılarak irdelenmiştir. AVL Cruise M programı yardımıyla mevcut dizel araçların elektrikli ve hibrit araçlara dönüştürülmesinin diğer bir avantajı da mevcut aracın dönüşümü esnasından dikkat edilecek hususlar hakkında bilgi vermek ve teoriksel tasarımları yapılarak araçların belediyenin kullanımına özgü tasarlanmasına olanak sağlamaktadır. Asıl önemli konu ise mevcut kullanılan araçların ömürlerinin tamamladıktan sonra hurdaya ayrılmasına engel olup, yeni donanımlarla kullanımına devam etmesi sağlanmak istenmektedir. Ayrıca yapılan tez çalışmasında çok yaygın bir şekilde üretimi yapılmayan seri hibrit otobüs modeli oluşturularak bu alandaki kullanılabilirlikleri incelenmiştir.

## BÖLÜM 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Elektrikli Araçlar

Elektrikli Araçlar (EA), bataryadan ya da yakıt hücresinden aldığı elektrik enerjisini elektrik motorları vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştüren araçlardır. Elektrikli araçlar üzerine ilk çalışmalar içten yanmalı motorlara sahip araçların üretiminin yapıldığı 19. yüzyılın başlarına dayanmaktadır [25,26]. İlk elektrikli araç, 1881’de Fransız Gustave Trouvé tarafından geliştirilen kurşun-asit bataryalardan beslenen 0,1 Hp Doğru Akım (DA) motorla çalışan üç tekerlekli bir bisiklettir [25]. Ayrıca Ayrton ve John Perry tarafından 1882 yılında İngiltere’de geliştirilen elektrikli araç modeli de ilk elektrikli araç örneklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Bu araç yaklaşık olarak 20 km menzile sahip ve saatteki maksimum hızı 14 km/h ulaşabilen bir araç olmasıyla birlikte gerekli olan elektrik enerjisi kurşun-asit akülerinden sağlanmaktadır [25,26].



Şekil 2. 1. Ayrton Perry Elektrikli Aracı [26].

1960 yılında elektrikli araç seri üretimi için girişimlerde bulunulmasına rağmen o günün teknolojik şartlarının yetersizliği ve I. Dünya savaşının ortaya çıkmasından dolayı fosil yakıtlı araçların seri üretiminin yapılması tercih edilmiştir [27,28].

### 2.1.1. Elektrikli Araçların Avantajları ve Dezavantajları

Elektrikli araçların, içten yanmalı motorlu araçlara göre avantajları [29,30,31]:

- a. EA'ın, İYM'lu araçlara göre daha basit bir sisteme sahiptirler.
- b. Bir İYM'a sahip aracın verimi %32-40 arasındayken bir EA'ın verimi %95 kadar yükseltilebilmektedir. Böylece EA'ların verimleri İYM'lu araçlara göre daha yüksektir.
- c. Elektrik motorları vites sistemi gerektirmeden yüksek devirlerde maksimum tahrik torqu verebilmektedir.
- d. EA'ların satın alınmasına yönelik Amerika, Kanada ve Japonya dahil olmak üzere birçok ülkelerde teşvikler verilmektedir.
- e. İYM'a sahip araçların motor sistemlerinde birden fazla parçaya sahip olması nedeniyle bakımı zor ve karmaşık olmasının yanı sıra maliyeti yüksektir. Ancak EA elektrik motoru ve batarya sistemlerinden oluştuğundan dolayı bakımları kolay ve basittir. Ayrıca EA'ların masraflarının en büyük kısmını bataryaların bakımı neden olmaktadır.
- f. EA, İYMA göre sessiz çalışırlar.
- g. EA'lar, İYMA göre yakıt maliyeti daha düşüktür.
- h. Zararlı emisyonlar üretmediklerinden çevreye zarar vermezler.
- i. Elektrik motorları ucuz ve uzun ömürlüdür.
- j. İYM'larla birlikte hibrit olarak çalışabilirler.

Elektrikli araçların, içten yanmalı motorlu araçlara göre dezavantajları [29,30,31]:

- a. Bataryaların yüksek maliyetinden ötürü elektrikli araçların fiyatlarının yüksek olması,
- b. Bataryaların ömürlerinin kısa ve ağırlığının fazla olması,
- c. Bataryaların sıcak ve soğuk havalardan etkilenmesi,
- d. Bataryaların tamamen şarj edilme sürelerinin uzun olması,
- e. Batarya kapasitelerinin yetersiz olmasından dolayı daha az mesafe gitmelerine neden olmaktadır.

## 2.2. Hibrit Araçlar

Elektrikli ve hibrit araçların üretimi 19.yy da olmasına rağmen sahip olduğu teknolojinin pahalı ve teminin zor olması nedeniyle fosil yakıtlı araçlarla rekabet edememiştir. Ancak birçok araştırmacı elektrikli ve hibrit araçların seri üretiminin önündeki en büyük sorunları ortadan kaldırmak için çalışmalarına devam etmiş ve birçok yenilikler yapmışlardır. Yapılan bu yeniliklere rağmen elektrikli araçların üretimlerinin maliyetli olması nedeniyle elektrikli araçlara göre daha az maliyetli olan hibrit araçlar üzerine çalışmalara yön verilmiştir. Adından da anlaşılacağı gibi hem içten yanmalı motorun hem de elektrik makinesinin tahrikinin bir arada kullanıldığı araçlara hibrit araçlar denir. İlk hibrit araç 1902 yılında Ferdinand Porsche tarafından dört silindirli bir daimler motoru baz alınarak Viyanalı bir araç imalatçısı Jacob Lohner ile birlikte geliştirilmiştir. Porsche ve Lohner benzinli bir otomobilin ön tekerleklerine 80 V'luk elektrik makinesi bağlanarak hem tahrik hem de bataryaları şarj eden bir hibrit sistem geliştirmişlerdir [32].



Şekil 2. 2. Lohner-Porsche tarafından yapılan ilk dört tekerlekten tahrikli hibrit araç [33].

Ancak kayıtlara geçen ilk hibrit 1972 yılında ise General Motors tarafından geliştirilen Buick Skylark aracı Amerikalı Victor Wouk tarafından hibrit araca dönüştürülen araç olarak bilinmektedir [33,34].



Şekil 2. 3. Victor Wouk'un hibrit aracı Buick Skylark 1972 [33].

Hibrit araçlar, içten yanmalı motora sahip araçlar ile elektrikli araçların dezavantajlarını ortadan kaldırarak daha çevreci ve verimli bir araç modeli oluşturmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Hibrit araçlar, fosil yakıtlı araçlarda kullanılan motorun yerine daha küçük hacimli bir içten yanmalı motor kullanılmasına ve elektrikli araçlarda ihtiyaç duyulan yüksek kapasiteli bataryalar yerine ise daha düşük kapasiteli bataryaların kullanılmasına olanak sağlamıştır [35]. Böylece hibrit araçların üretimi elektrikli araçların üretimine göre daha uygun görünmektedir.

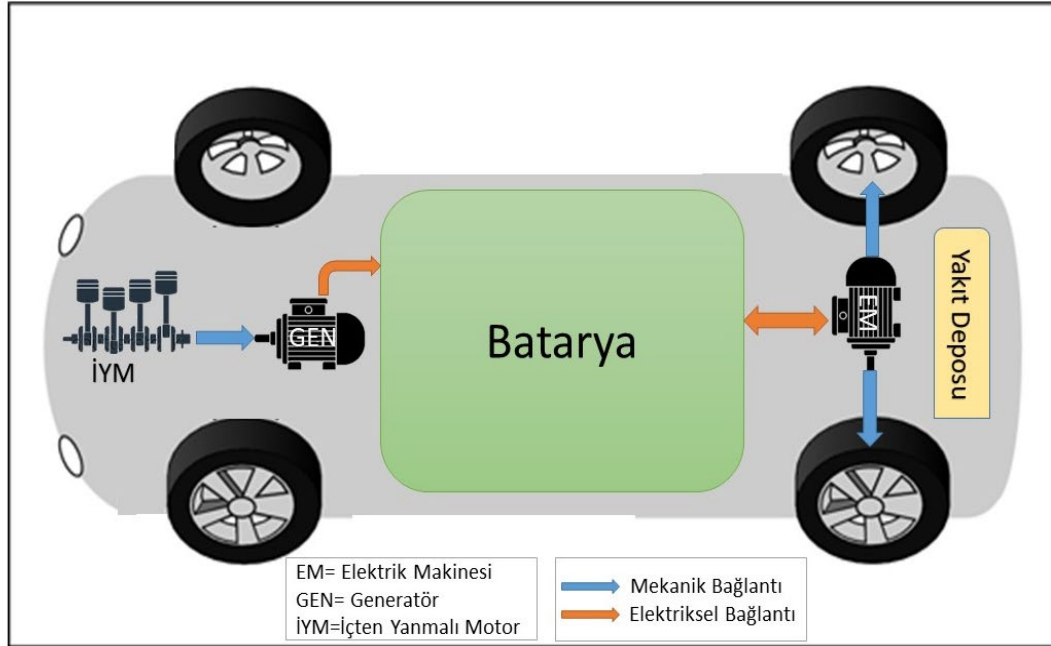
Hibrit araçların kısaca üretimine neden gereksinim olduğunu maddeler halinde açıklamak gerekirse;

- Fosil yakıtlı araçların yakıt maliyetlerinin yüksek olması,
- Fosil yakıtlı araçlara göre daha çevreci araçlar olmaları,
- Elektrikli araçların ihtiyaç duydukları batarya kapasitelerinden daha düşük batarya kapasiteleri ile uzun menziller gitmeleri,
- İyi kontrol sistemleri ve donanımlarla yüksek verim değerlerine ulaşabil-meleri,
- İhtiyaç duyulduğunda çok yüksek güç ve tork değerlerine ulaşabilmeleri,
- Sistemlerinde vites kutusu, kardan mili ve diferansiyel gibi güç aktarma organlarına ihtiyaç duyulmaması,
- İyi bir Ar-Ge çalışmasıyla elektrikli araçlara göre daha düşük maliyette üretilebilir olmaları şeklinde açıklanabilir.

Günümüzde birçok firma tarafından hibrit araç üretilmiş ve geliştirme projeleri devam etmektedir. Ayrıca hibrit araçlar üzerinde yapılan bu çalışmalar hibrit araçları kendi içinde tahrik sistemlerine göre üçe ayırmaktadır. Bu tahrik sistemlerine göre hibrit araçlar seri, paralel ve karmaşık hibrit modelleri olarak adlandırılmaktadır.

### 2.2.1. Seri Tip Hibrit Tahriki

Seri hibrit araçlar yapısında içten yanmalı motor, generatör, batarya, elektrik makinesi, yakıt deposu, güç aktarım organları ve elektrikselsel donanımlara sahip olan araçlardır. Seri hibrit sisteminin çalışma mantığı ise araç sadece elektrik makinesinin sağladığı tahrik gücü ile hareket etmektedir. Araca tahrik veren elektrik makinesinin gücü bataryalardan karşılanmaktadır. Sistemde mevcut olan İYM/generatör ile beraber bataryayı şarj etme görevini üstlenmektedir. Ayrıca araca tahrik veren elektrik makinesi tarafından dinamik sürüş koşullarında tüketilen enerjinin bir kısmı frenleme esnasında rejeneratif frenleme yoluyla geri kazanılmaktadır. Seri hibrit araçların bataryalarını elektrik şebekesi ile şarj etmek için yapılarında şarj etme ünitesine de sahiptirler. Bu sayede batarya, taşıt park pozisyonundayken daha az maliyetli bir şekilde şarj edilebilmektedir [36,37].



Şekil 2. 4. Seri Tip Hibrit Tahrikli Araç.

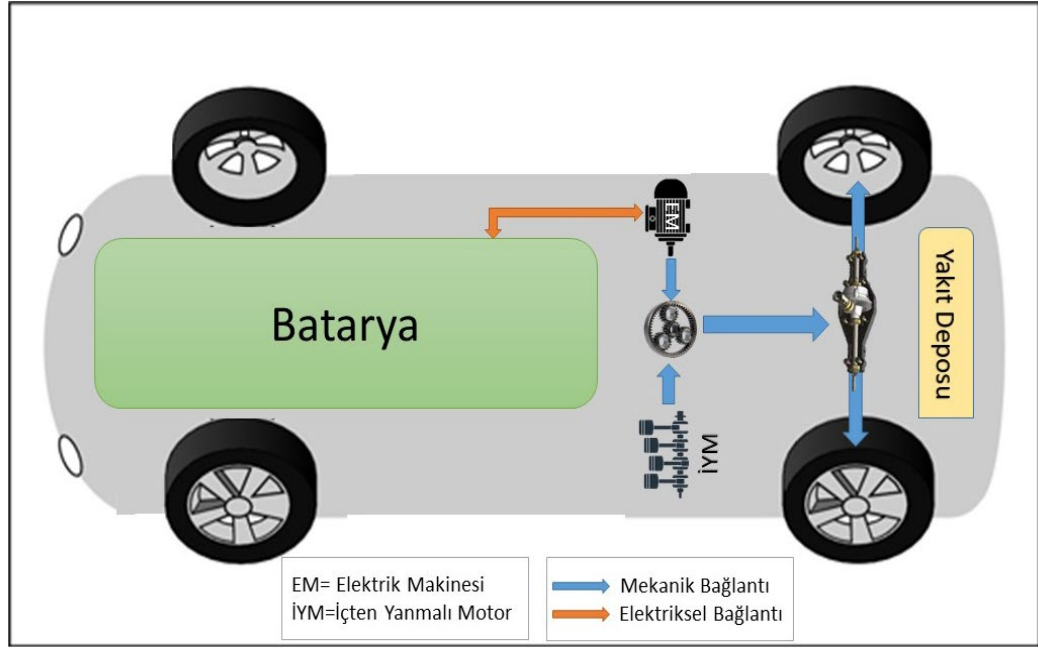
### 2.2.2. Paralel Tip Hibrit Tahriki

Paralel hibrit araçların yapılarında ise içten yanmalı motor, batarya, elektrik makinesi, yakıt deposu, güç aktarım organları ve elektrikli donanımlara sahip olan araçlardır. Seri hibrit araçlardan farklı olarak yapısında ekstra bir generatör kullanılmamaktadır [37]. Bataryanın şarj edilmesi, araca tahrik veren elektrik makinesinin generatör modun da çalıştırılmasıyla veya elektrik şebekesinden şarj edilmesiyle sağlanmaktadır. Aracın bataryaları, taşıt park pozisyonundayken elektrik şebekesine bağlanarak daha az maliyetli bir şekilde şarj edilebilmektedir.

Paralel hibrit sisteminde İYM ve EM'nden araca tahrik verilmektedir. Aracın İYM veya EM'nden tahrik edilmesi kullanıcının sürüşüne, yol durumuna ve bataryanın şarj durumuna göre değişiklik gösterilmektedir. Yani araç İYM'dan veya EM'nden ya da her iki motorun birlikte kullanılmasıyla tahrik edilebilir. Bunu üç durumda açıklayacak olursak;

- 1. Durum:** Aracın batarya şarjının bitmesi durumunda İYM'dan aldığı tahrik kuvvetiyle hem bataryayı şarj edebilir hem de araç hareketine devam edebilir.
- 2. Durum:** Aracın bataryasının şarj durumu yüksek ise araç EM'sinden aldığı tahrik ile hareket edebilir.
- 3. Durum:** Aracın kullanıma bağlı ya da yol şartlarına göre araç yüksek torka ihtiyaç duyması durumunda İYM ve EM birlikte çalışarak aracın ihtiyaç duyduğu torku karşılayabilirler.

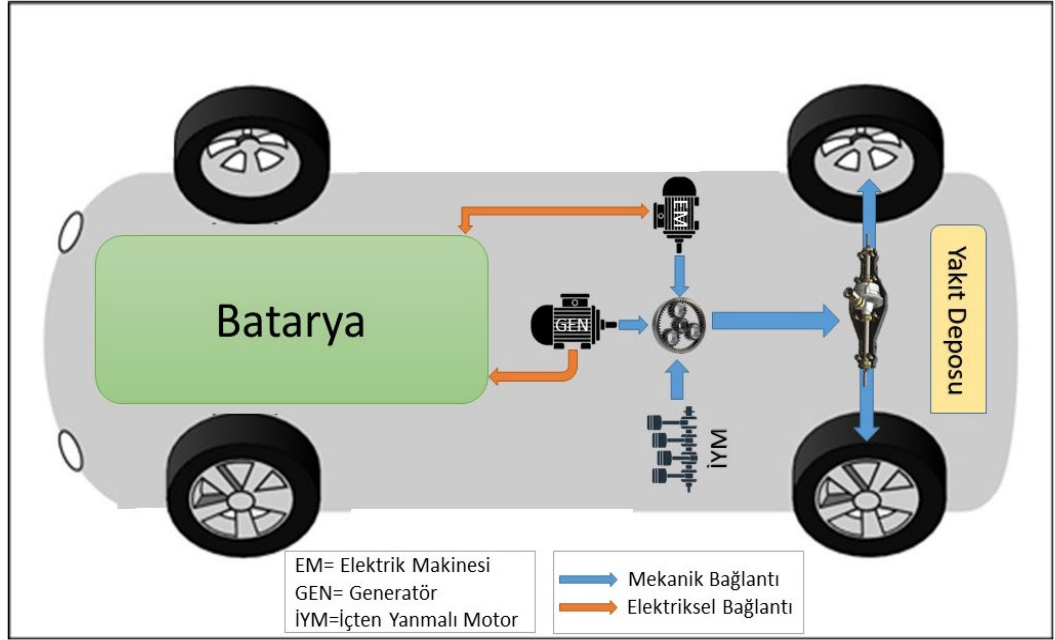
Bu üç durumun sağlanması için EM ve İYM, otomatik şanzıman veya planet dişli mekanizmasından oluşan bir sistemle aracın tekerleklerine bağlanmıştır. Güç aktarımında kullanılan mimariler çeşitli kombinasyonlar [38] halinde kullanılabilirler.



Şekil 2. 5. Paralel Tip Hibrit Tahrikli Araç.

### 2.2.3. Karmaşık (Kombine) Tip Hibrit Tahriki

Hibrit araçlar, fosil yakıtlı araçlarla, elektrikli araçların birleştirilmesiyle ortaya çıktığı gibi karmaşık tip hibrit araçlar da seri ve paralel tip hibrit araçların bir araya getirilmesinden oluşturulmuştur. Karmaşık tip hibrit araçların oluşturulmasındaki amaç seri ve paralel tip hibrit araçların dezavantajlarını gidererek daha verimli bir araç modeli ortaya çıkarmaktır. Karmaşık tip hibrit araçlar yapısında içten yanmalı motor, generatör, batarya, elektrik makinesi, yakıt deposu, planet dişli sistemi, güç aktarım organları ve elektriksel donanımlara sahip olan araçlardır. Paralel sistem olduğu gibi İYM'ye ve EM tarafından araç tahrik edilmektedir. Ancak karmaşık tip hibrit araçlarda EM ek olarak generatör de aracın yapısında bulunmaktadır. Böylece aracın bataryası EM'si tarafından rejeneratif frenleme ve generatör modunda çalıştırılmasına ek olarak bataryalar generatör ile şarj edilirler. Karmaşık hibrit sistemine örnek olarak Toyota Prius [39] aracı gösterilebilir.



Şekil 2. 6. Karmaşık (Kombine) Tip Hibrit Tahrikli Araç.

#### 2.2.4. Hibrit Araçların Avantajları ve Dezavantajları

Hibrit araçların, fosil yakıtlı ve elektrikli araçlara göre avantajları [40,41];

- Düşük yakıt maliyetine sahip olması.
- Düşük Emisyon değerleri sahip olması.
- Boşta çalışma kayıplarının çok az olması,
- İYM'lara sahip araçların verimlerinden yüksek olması,
- Sistemlerinde kullanılan İYM'ların hacimleri küçük olması,
- HA'larda kullanılan fosil yakıtların yerine alternatif yakıtlar kullanılabilir olması,
- Aracın sürüş sırasında harcadığı enerjinin bir kısmı, frenleme esnasında tekrar geri kazanılarak bataryaların şarj edilebilir olması,
- EA'larda kullanılan yüksek kapasiteli bataryaların yerine daha düşük kapasiteli bataryalar kullanılabilir olması,
- HA'larda kullanılan İYM'un küçük hacimli olması ve aracın durma aşamasında İYM'un çalışmamasından dolayı motor gürültüsünün olmaması şeklinde hibrit araçların avantajları sıralanabilir.

Hibrit araçların, fosil yakıtlı ve elektrikli araçlara göre dezavantajları [40,41];

- a. Aracın seyir halindeyken ihtiyaç duyduğu güç iki farklı kaynaktan (İYM ve EM) karşılandığı için enerji yönetiminin iyi yapılması gerekir.
- b. İki farklı motordan (İYM ve EM) gelen gücün aracın çekiş tekerlerine iyi bir şekilde aktarılabilmesi için karmaşık sisteme sahip mekanik elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır.
- c. Sistemde üç tahrik ekipmanına ihtiyaç vardır: İYM, EM ve jeneratör.
- d. Sistemlerinde birden fazla motor, batarya ve güç aktarım organları kullanıldığı için maliyetleri ve aracın ağırlığı yüksektir.
- e. Güç aktarım organlarının azami gücü karşılayabilecek şekilde boyutlandırılmalıdır.

### 2.3. Araç Modellemede Dikkat Edilen Parametreler

#### 2.3.1. Hava Direnci

Hava direnci aracın seyahat esnasında ön yüzey alanına etki eden dirençtir. Bu direnç aracın ön yüzey alınan, aerodinamik katsayısına ve hızına bağlı olarak değişmektedir. Hava direnç kuvvetinin hesabının denklemleri 1 ve 2'de verilmiştir [42,43].

$$V_{top} = V \mp V_r \quad (1)$$

$$F_a = \frac{1}{2} * c_w * A_v * \rho_{hava} * V_{top}^2 \quad (2)$$

$V_{top}$	: Toplam hız (m/s)
$V$	: Aracın hızı (m/s)
$V_r$	: Rüzgârın hızı (m/s)
$F_a$	: Hava direnç kuvveti (N)
$c_w$	: Aerodinamik direnç katsayısı
$A_v$	: Aracın ön yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
$\rho_{hava}$	: Hava yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )

### 2.3.2. Yokuş Direnci

Yokuş direnci araçlarda tırmanma kabiliyetini belirler. Yokuş direnci araç tasarımında en önemli etkenidir. Bu direnç dikkate alınarak aracın ihtiyaç duyacağı maksimum tork değeri hesaplanarak kullanılacak motor ve aktarma organları tespit edilir.

Yokuş direnç kuvvetinin hesabının denklemi 3'te verilmiştir [42,43].

$$F_i = m * g * \sin \theta \quad (3)$$

$F_i$  : Yokuş direnç kuvveti (N)

$m$  : Aracın kütlesi (kg)

$g$  : Yerçekimi ivmesi ( $m/s^2$ )

$\theta$  : Yokuş eğimi ( $^\circ$ )

### 2.3.3. Yuvarlanma Direnci

Tekerleğin yüzey alanıyla yapmış olduğu direnç kuvvetidir. Yuvarlanma direnci, aracın ağırlığına ve tekerlek ile yüzey arasından yuvarlanma direnç katsayısına bağlıdır.

Yuvarlanma direnç kuvvetinin hesabının denklemi 4'te verilmiştir [33].

$$F_r = m * g * f_r \quad (4)$$

$F_r$  : Yuvarlanma direnç kuvveti (N)

$f_r$  : Yuvarlanma direnç katsayısı

### 2.3.4. İvmelenme Direnci

Araç hareket halindeyken veya herhangi bir hız değerinden daha yüksek bir hız değerine geçerken araca etki eden dirençtir.

İvmelenme direnç kuvvetinin hesabının denklemi 5’de verilmiştir [33].

$$F_1 = \lambda * m * a \quad (5)$$

$F_1$  : İvmelenme direnç kuvveti (N)

$\lambda$  : Kütle faktörü

$a$  : Aracın ivmesi (m/s<sup>2</sup>)

#### 2.4. İçten Yanmalı Motorlar

İçten yanmalı motorlar, motorun yanma odası adı verilen kısımda belirli bir oran da karıştırılan yakıt/hava karışımının sıkıştırılarak veya buji yardımıyla kıvılcım oluşturularak yakılması sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinalardır [44,45]. Bu tanımı biraz daha detaylı açıklamamız gerekirse yakıt/hava karışımının yanması sonucu oluşan ısı enerjisi, yanan gazın sıcaklığını ve basıncını arttırarak pistonun üst tepe noktasına etki eder. Piston, bu gaz basıncının etkisiyle silindir içerisinde bir doğrusal hareket eder. Piston yapmış olduğu doğrusal hareketi biyel kol muylusu vasıtasıyla krank milinin kol muylusuna aktarır. Piston, silindir içerisinde yapmış olduğu doğrusal hareketi, krank milinde dairesel harekete dönüştürerek güç aktarma organları vasıtasıyla tekerleklere iletir [46,47]. Bu tip motorlara örnek olarak Otto ve Diesel motorlarını gösterebiliriz.

İYM’lar günümüzde ise otomobil, kamyon, iş makineleri, tarım aletleri vb. birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak İYM otomobillerde ki kullanımını her geçen gün azalmaktadır. Çünkü İYM’in verimlerinin düşük olması ve çevreye zararlı emisyon gazları salınımından dolayı bazı otomobil üreticileri tarafından bu motorlar artık çok tercih edilmemektedir. İYM’in kullanımını daha küçük hacimli olarak gelecekte belki tek başına bir aracın tahrik sistemine tahrik sağlayan motorlar olarak değil, yardımcı tahrik veya bataryaların şarj edilmesinde kullanılan motorlar olarak hibrit araçlarda kullanımına devam edilebilir. Çünkü hibrit araçların yapısında bulunan EM ve batarya sistemi sayesinde İYM’un sürüş esnasında çalışma süresi azalmaktadır. Ayrıca İYM’in hacimlerinin küçültülmesiyle çevreye verdikleri zararlı emisyon

gazları azaltılarak hibrit araçlarda kullanımına devam edilebilir. Böylece daha küçük hacimli bir İYM ile yüksek verimli ve daha çevreci hibrit araçların ortaya çıkmasına olanak sağlayacaktır.

#### 2.4.1. İçten Yanmalı Motorun Karakteristik Değerlerinin Hesaplanması

İçten yanmalı motorun tork, güç ve özgül yakıt tüketiminin hesap denklemi 6, 7 ve 8’de verilmiştir [48,49].

$$T_e = \frac{n_c * V_d * P_e}{2 * \pi * n_r} \quad (6)$$

$$P_e = \frac{T_e * N_e}{9549} \quad (7)$$

$$BSFC = \frac{\dot{m}}{P_e} \quad (8)$$

- $T_e$  : Efektif Tork (Nm)  
 $n_c$  : Silindir Sayısı  
 $V_d$  : Silindir Hacmi (m<sup>3</sup>)  
 $P_e$  : Efektif Güç (kW)  
 $n_r$  : Bir Tam Çevrim için Krank Mili Tur Sayısı  
 $N_e$  : Motorun Devir Sayısı (devir/dakika)  
 $\dot{m}$  : Yakıtın kütleli debisi (g/s)  
BSFC : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

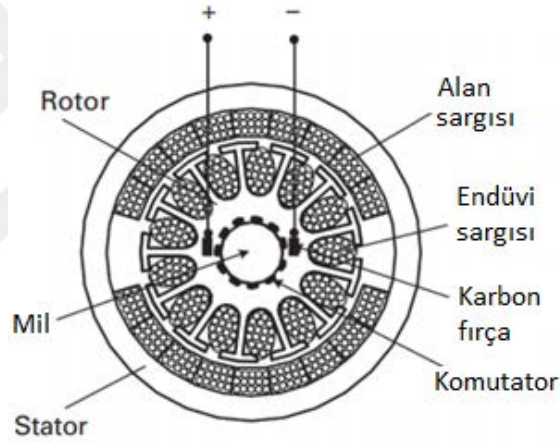
#### 2.5. Elektrik Makinesi

Elektrik makineleri diğer adıyla elektrik motorları elektrik enerjisini mekanik enerjiye veya mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makinelerdir. Elektrik motorları biri sabit (stator) ve diğeri kendi çevresinde dönen (rotor) parça olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır. Elektrik motorları, elektrikli veya hibrit araçlarda araçları hareket ettiren veya bataryalarını şarj eden motorlar olarak kullanılmaktadır. Elektrikli veya hibrit araçlarda kullanılan elektrik motorları dört temel grupta toplanabilir.

Bunlar doğru akım motorları, asenkron motorlar, sürekli mıknatıslı senkron motorlar ve anahtarlamalı relüktans motorlarıdır.

### 2.5.1. Doğru Akım Motorları

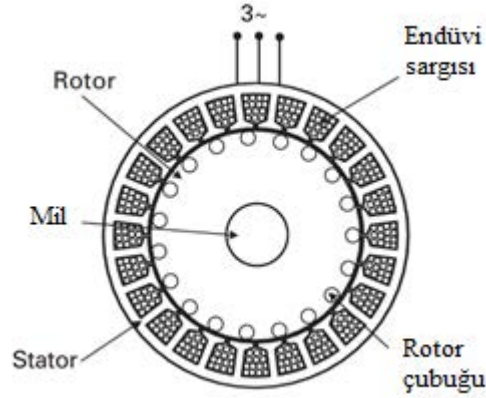
Doğru akım motorları, doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren elektrik makineleridir. Genellikle DA motorlar veya DC motorlar da denilmektedir. DA motorları, statorda oluşan manyetik alan ile rotordan geçen akımın oluşturduğu manyetik akının birbirini itmesi ve çekmesi prensibine göre çalışmaktadır. DA motorların kolay kontrol edilmesi ve aküden çekilen gücün doğru akım gücü olması elektrikli ve hibrit araçlarda tercih edilmesinin en büyük sebepleridir [50,51].



Şekil 2. 7. Doğru Akım Motoru (DA Motor) [51].

### 2.5.2. Asenkron Motorlar

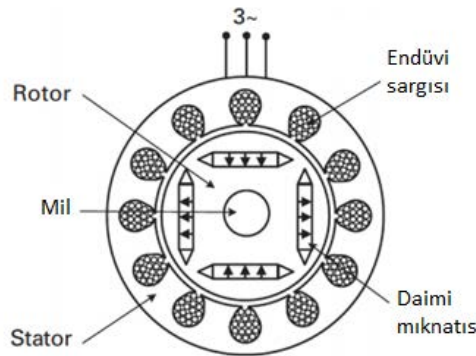
Asenkron motorlar (ASM), endüstriyel uygulamalarda en çok kullanılan elektrik makineleridir. Stator sargısına uygulanan AA gerilim döner manyetik alan oluşturur. Statorda oluşturulan manyetik alan içerisindeki döner rotor sargılarından akım geçirilmesi sonucunda oluşan manyetik alan etkisiyle rotorda dönme hareketi meydana getirir [52]. ASM'in elektrikli ve hibrit araçlarda en çok tercih edilme nedenleri sağlam, ucuz ve bakımlarının kolay motorlar olmasıdır.



Şekil 2. 8. Asenkron Motor [51].

### 2.5.3. Sürekli Mıknatıslı Motorlar

Sürekli mıknatıslı motorlar, rotorlarında sürekli mıknatıslara sahip olması dışında fırçasız doğru akım motorlarına benzerler. Bu motorlar en önemli avantajları yüksek hızlara ve tork değerlerine çıkabilmeleridir. Elektrikli ve hibrit araçlarda yüksek hız ve tork değerlerinin talep edilmesi nedeniyle en çok tercih edilen motorlardır. Sürekli mıknatıslı motorların en büyük dezavantajı ise maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ancak hem ağırlık hafif olması hem de hız ve torklarının yüksek olması nedeniyle asenkron motorlara göre daha çok tercih edilmektedir [53].

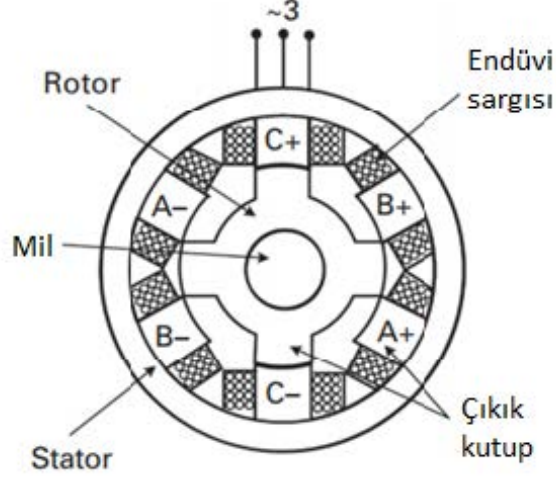


Şekil 2. 9. Daimi Mıknatıslı Motorlar [51].

### 2.5.4. Anahtarlama Relüktanslı Motorlar

Anahtarlama relüktans motorlar, basit konstrüksiyon, düşük üretim maliyeti ve çok iyi tork-hız karakteristiği gibi avantajlar sunarlar. Sadece stator kısmında sargılar

vardır. Temel çalışma prensipleri minimum relüktans kuralına dayanır. Tork yönü, faz akımının polaritesinden bağımsızdır. Bununla birlikte tork, sadece bir rotor kutup aralığının yarısında üretilebilir, Bu da büyük tork dalgalanmaları yaratır [51].



Şekil 2. 10. Anahtarlamalı Relüktanslı Motorlar [51].

### 2.5.5. Elektrik Makinelerinin Güç ve Verim Hesaplamaları

Elektrik makinesinin güç ve verim hesabının denklemi 9,10 ve 11’de verilmiştir [20].

$$P_{top} = V * I \quad (9)$$

$$P_{top} = P_{fay} + P_{kay} \quad (10)$$

$$\eta_{em} = \frac{P_{fay}}{P_{top}} \quad (11)$$

$P_{top}$  : Elektrik Makinesinin Toplam Elektriksel Gücü (kW)

$V$  : Gerilim (V)

$I$  : Akım (A)

$P_{fay}$  : Elektrik Makinesinin Faydalı Elektriksel Gücü (kW)

$P_{kay}$  : Elektrik Makinesinin Elektriksel Güç Kaybı (kW)

$\eta_{em}$  : Elektrik Makinesinin Verimi (%)

## **2.6. Batarya Modeli**

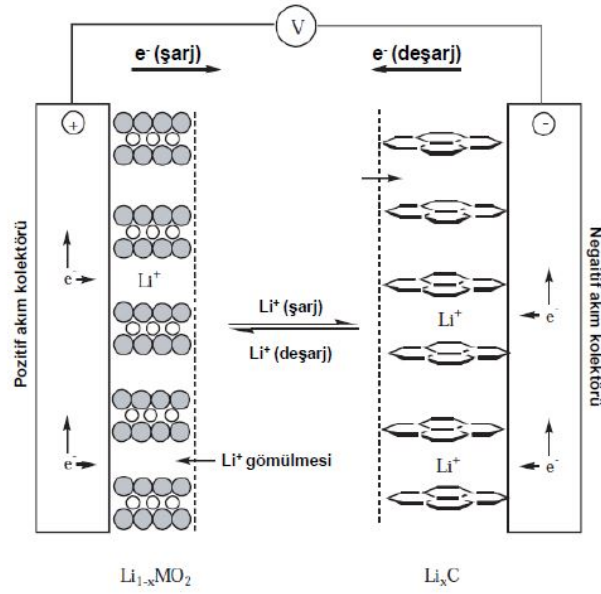
Bataryalar, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek depo eden üreteçlerdir. Depo edilen bu elektrik enerjisi istenildiğinde sisteme güç sağlamaktadır. Bataryalar, EA ve HA'da ise EM'lerine güç sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. EA ve HA'da kullanılan bataryaların kapasitelerinin yüksek olması aracın uzun menzillere gitmesine avantaj sağlarken, ağırlık ve maliyet açısından ise dezavantaj [54] sağlamaktadır.

### **2.6.1. Elektrikli Araçlarda Kullanılan Bataryalar**

#### **2.6.1.1. Lityum-İyon Bataryalar**

Elektrikli araçlarda ve elektronik cihazlarda en yaygın kullanılan pillerdir. Lityum iyon bataryalar pozitif ve negatif katmanlara sahiptirler. Her bataryada olduğu gibi yük çevrimi söz konusudur ve lityum-iyon bataryalarda  $Li^+$  iyonlarının pozitif ve negatif elektrotlar arası transferi akışı söz konusudur. Pozitif elektrot lityum kobalt oksit gibi bir metal oksittir veya lityum mangan oksit gibi maddeden oluşurlar. Negatif elektrot ise bakır bir kolektöre sahip grafitik karbondur. Şarj ve deşarj zamanlarında  $Li^+$  iki katman arasında transfer ederek enerjinin oluşmasını sağlar [54].

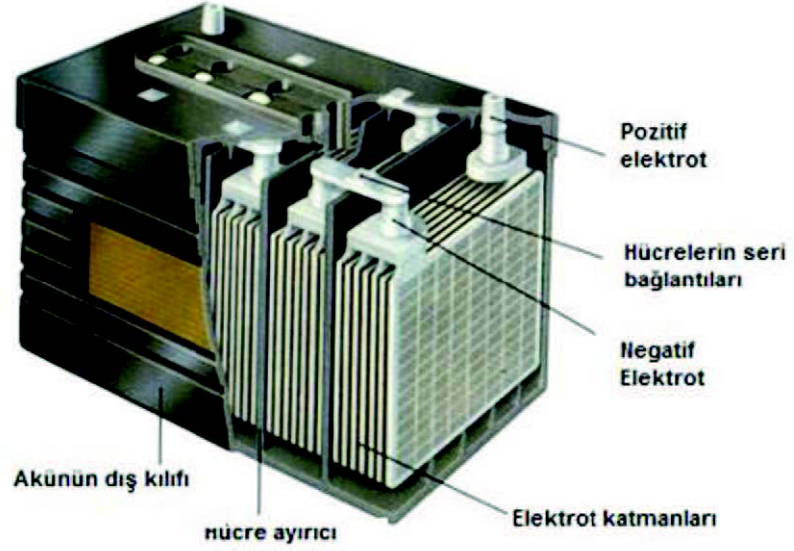
Lityum-İyon pillerin en çok tercih edilme nedenleri yüksek enerji yoğunluğu, geniş depolama kapasitesi ve uzun çevrim ömrüne sahip olmasıdır.



Şekil 2. 11. Lityum İyon Bataryasının Hücresinin İç Yapısı [54].

### 2.6.1.2. Kurşun Asit Bataryalar

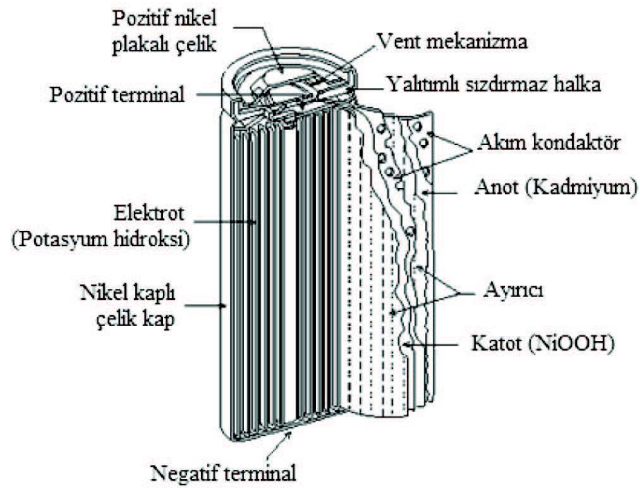
Kurşun-asit bataryalar, Carl Wilhelm Siemens ve Wilhelm Josef Sinsteden'in 1852 ve 1854 yılları arasındaki çalışmalarında dayanmaktadır. 1854 yılında Carl Wilhelm Siemens ve Wilhelm Josef Sinsteden tarafından icat edilen kurşun-asit bataryasını Fransız fizikçi Gaston Planté tarafından 1860 yılında tekrardan geliştirilerek tekrar şarj edilebilen kurşun-asit bataryaları günlük hayatta daha kullanılabilir hale getirmiştir [55]. 1852 yılından günümüze kadar yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Kurşun asit bataryalar, fosil yakıtlı araçlarda motoru çalıştırmak için marş motoruna ve araçtaki elektriksel donanımlara güç sağlamak amacıyla kullanılmaktaydı. Elektrikli araçlarda elektrik motoruna güç sağlamak amacıyla da kullanılmıştır. Ancak lityum-iyon bataryalarına göre enerji yoğunluğunun düşük olması nedeniyle çok tercih edilmemektedir.



Şekil 2. 12. Kurşun-Asit Bataryası [29].

### 2.6.1.3. Nikel-Kadmiyum Bataryalar

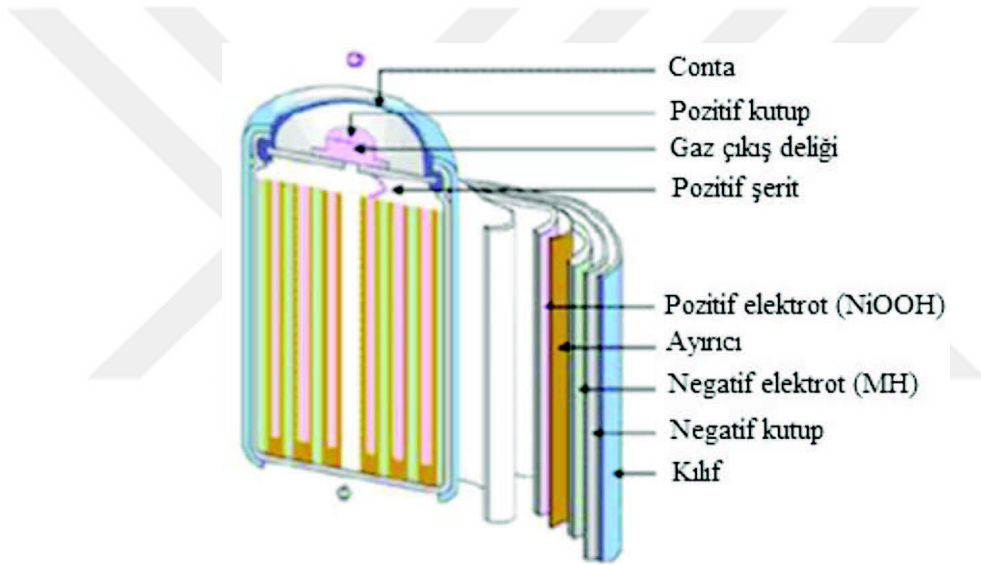
Nikel-kadmiyum (NiCd) bataryaları, kurşun-asit bataryalarına alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Geçmişte elektrikli el aletleri ve taşınabilir cihazlar için tercih edilen teknoloji olmuştur. 1990'larda ise elektrikli araç da kullanılmıştır. Kadmiyum toksiti ve geri dönüşüm sorunları nedeniyle kullanımından vaz geçilmiştir [56]. Buna rağmen NiCd, daha yüksek enerji yoğunluğu, daha uzun çevrim ömrü ve düşük bakım gereksinimleri ile kurşun-asit bataryalarına göre daha iyi özellikler göstermektedir.



Şekil 2. 13. Nikel-Kadmiyum bataryasının İç Yapısı [29].

#### 2.6.1.4. Nikel-Metal Hidrit Bataryalar

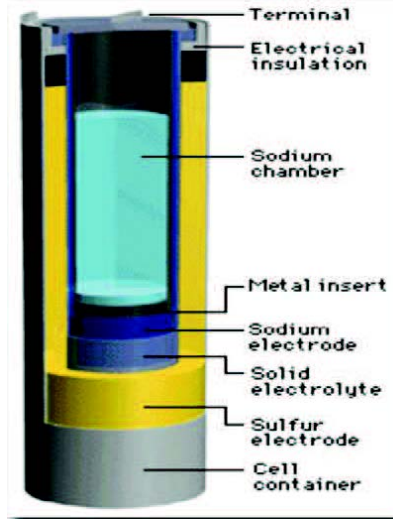
Nikel metal hidrit bataryalar (NiMH), geliştirilmiş performansları ve çevresel avantajları nedeniyle NiCd bataryalara bir alternatiftir. NiMH, kurşun-asit ve NiCd bataryalarla karşılaştırıldığında, kadmiyum, kurşun veya cıva gibi toksik maddelerin olmaması nedeniyle çevre dostudur [57]. NiMH, kurşun-asit ve NiCd bataryalarına göre enerji yoğunluklarının yüksek olmasına rağmen lityum iyon bataryalara göre enerji yoğunlukları daha düşüktür. Ancak lityum iyon batarya teknolojisine göre daha düşük maliyetlidir. Nikel-Metal Hidrit bataryalar yenilenebilir enerji uygulamaları için geliştirilebilir bataryalardandır.



Şekil 2. 14. Nikel-Metal Hidrit Bataryasının İç Yapısı [29].

#### 2.6.1.5. Sodyum-Sülfür Bataryalar

Sodyum-Sülfür batarya teknolojisi, 300 °C' de çalışmaktadır. Hücre yapısı, katı bir beta-alümina elektroliti ile ayrılmış, negatif elektrot olarak sıvı sülfürden ve pozitif elektrotte sıvı sodyumdan oluşmaktadır. Sodyum-sülfür bataryaları şarj-deşarj verimliliği neredeyse %100 kabul edilmektedir. Ancak sodyum-sülfür bataryaların çalışma sıcaklığı gerekirse dışarıdan harici bir ısıtma işlemi ile yüksek sıcaklık seviyelerinde korunmalıdır [55].



Şekil 2. 15. Sodyum-Sülfür Bataryasının İç Yapısı [29].

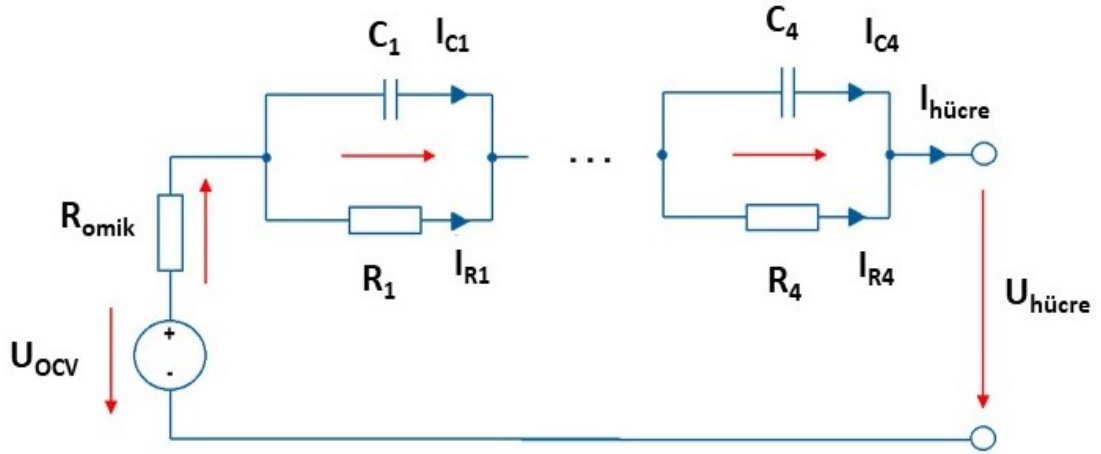
### 2.6.2. Bataryaların Enerji ve Güç Yoğunluğu

Bataryaların enerji ve güç yoğunluğu ifadesi aslında birim kütledeki elektrik enerjisinin miktarını ifade etmektedir. Bataryaların enerji ve güç yoğunluğu gelişen teknolojiyle birlikte doğru orantılı olarak gelişmektedir. Birçok kaynakta bu veriler bu yüzden değişiklikler gösterebilir.

Tablo 2. 1. Bataryaların Enerji ve Güç Yoğunluğu [29,33,54].

Batarya Tipi	Enerji Yoğunluğu (KJ/Kg)	Güç Yoğunluğu (W/Kg)
Kurşun Asit	100-144	200-400
Ni-Cd	126-216	140-350
Ni-MH	180-216	100-300
Li-Ion	288-360	200-450
Na-S	150-240	90-230

### 2.6.3. Bataryanın Temel Denklemleri



Şekil 2. 16. Akü grubunun eşdeğer devresi.

Denklem (12)'den (19)'a kadar bataryanın temel denklemleri verilmiştir [42].

$$\text{SoC} = \int \text{eff}_{\text{Coulomb}} * I_{\text{hücre}} dt \quad (12)$$

$$U_{\text{hücre}} = U_{\text{OCV}} - I_{\text{hücre}} * R_{\text{omik}} - \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{C_i} \quad (13)$$

$$Q_i = \int I_{ci} dt \quad (14)$$

$$I_{ci} = I_{\text{hücre}} - \frac{Q_i}{R_i * C_i} \quad (15)$$

$$P_{\text{hücre}} = U_{\text{hücre}} * I_{\text{hücre}} \quad (16)$$

$$P_{\text{hücre,kayıp}} = I_{\text{hücre}}^2 * R_{\text{omik}} + \sum_{i=1}^n I_{Ri}^2 * R_i \quad (17)$$

$$P_{\text{bat}} = P_{\text{hücre}} * n_{\text{seri}} * n_{\text{paralel}} \quad (18)$$

$$P_{\text{bat,kayıp}} = P_{\text{hücre,kayıp}} * n_{\text{seri}} * n_{\text{paralel}} \quad (19)$$

SOC : Bataryanın Şarj Durumu (%)

eff<sub>Coulomb</sub> : Bataryanın coulombic verimliliğini (%)

I<sub>hücre</sub> : Hücre Akımı (A)

U<sub>hücre</sub> : Hücre Gerilimi (V)

U<sub>OCV</sub> : Açık Devre Gerilimi (V)

R<sub>omik</sub> : Omik Direnç (Ω)

Q<sub>i</sub> : Kapasitör Yüğü (Coulomb)

$C_i$	: Kapasitör Kapasitesi (F)
$I_{ci}$	: Kapasitör Boyunca Akan Akım (A)
$R_i$	: Kapasitör Direnci ( $\Omega$ )
$P_{hücre}$	: Hücresinin Gücü (W)
$P_{hücre,kayıp}$	: Hücrede Kaybı Uğrayan Güç (W)
$P_{bat}$	: Bataryanın Grubunun Gücü (W)
$n_{seri}$	: Seri Bağlanan Hücre Sayısı
$n_{paralel}$	: Paralel Bağlanan Hücre Sayısı
$P_{bat,kayıp}$	: Bataryada Kaybedilen Güç (W)

## 2.7. Güç Aktarma Organları

### 2.7.1. Şanzıman

Sürücünün sürüşüne ve yol şartlarına göre sürücü tarafından talep edilen hızlara ulaşabilmeleri için gerekli olan donanımdır. Şanzıman sistemi motor tarafından üretilen torkun veya gücün sürüşe bağlı olarak artırılması ya da azaltılmasını sağlayan dişli sistemidir. Manuel ve otomatik şanzımanlar olarak iki gruba ayrılır. Manuel sistem, sürücü tarafından kontrol edilen şanzıman sistemidir. Otomatik şanzıman ise aracın hızına, sürücü tarafından talep edilen yüklemeye ve yol durumuna göre kontrol sistemi tarafından belirli kurallara göre vites konumunun yükseltilmesi ve alçaltılması sağlayan mekanizmadır [58].

#### 2.7.1.1. Şanzıman Sistemindeki Açısal Hız Ve Tork Hesaplamaları

Şanzıman sistemindeki açısal hız ve tork hesabının [42] denklemi 20 ve 21’de verilmiştir.

$$\omega_{vk\_cikis} = \frac{\omega_{vk\_giris}}{i_{vk}} \quad (20)$$

$$T_{vk\_cikis} = T_{vk\_giris} * \eta_{vk} * i_{vk} \quad (21)$$

$\omega_{vk\_cikis}$	: Vites kutusunun çıkış(ana) milinin açısal hızı (rad/s)
$\omega_{vk\_giris}$	: Vites kutusunun prizdirekt milinin açısal hızı (rad/s)
$i_{vk}$	: Vites kutusunun dişli oranı
$T_{vk\_cikis}$	: Vites kutusunun çıkış(ana) milinin torku (Nm)
$T_{vk\_giris}$	: Vites kutusunun prizdirekt milinin torku (Nm)
$\eta_{vk}$	: Vites kutusu verimi (%)

## 2.7.2. Diferansiyel

Diferansiyel, mahruti dişlisinin motordan aldığı dönme hareketini ayna dişlisi üzerinden aksların yardımıyla tekerleklere ileten güç aktarma organıdır. Diferansiyeller, mahruti ile ayna dişli arasındaki dişli oranıyla aracın tekerlekteki tork artışının yanı sıra asıl önemli görevi ise yapısında bulunan istavroz dişli grubu sayesinde aracın viraj esnasında iç teker ile dış tekerin açısal hızlarını ayarlayarak aracın savrulmadan veya devrilmeden viraj almasını sağlar [40].

### 2.7.2.1. Diferansiyelin Açısal Hız ve Tork Hesaplamaları

Diferansiyelin açısal hızın ve tork hesabının denklemi 22 ve 23'te verilmiştir [42].

$$\omega_{dif\_cikis} = \frac{\omega_{dif\_giris}}{2 \cdot i_{dif}} \quad (22)$$

$$T_{dif\_cikis} = T_{dif\_giris} * \eta_{dif} * i_{dif} \quad (23)$$

$\omega_{dif\_cikis}$	: Diferansiyelin aks miline iletilen açısal hızı (rad/s)
$\omega_{dif\_giris}$	: Diferansiyelin mahruti dişlisinin açısal hızı (rad/s)
$i_{dif}$	: Diferansiyelin dişli oranı
$T_{dif\_cikis}$	: Diferansiyelin aks miline iletilen torku (Nm)
$T_{dif\_giris}$	: Diferansiyelin mahruti dişlisinin torku (Nm)
$\eta_{dif}$	: Diferansiyelin verimi (%)

## 2.8. Tekerlek Modeli

Tekerlek, diferansiyelden akslar yardımıyla aldığı dönme hareketiyle aracın hareket etmesini sağlayan dönen elemanlardır. Tekerlekliğin görevi;

- Aracın ve yolcuların ağırlığını taşımak,
- Aracın hareket etmesini ve durmasını sağlamak,
- Yol yüzeyindeki bozuklukları sönümleyerek konforlu seyahati sağlamak şeklinde sıralanabilir [59].

## 2.9. Kontrol Sistemleri

### 2.9.1. PID

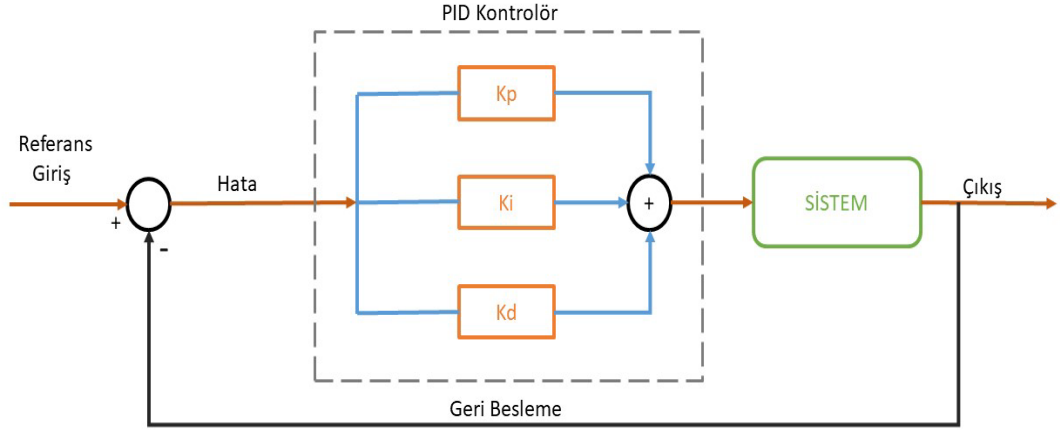
PID (oran-integral-türevsel) kontrolör, sistem girişiyle, çıkışının arasındaki farka bakılarak sistemin hatası elde edilir. Bu hata değeri PID kontrolörde üç süreçten geçerek tekrardan sisteme gönderilir. Bu süreç;

1. Orantı Katsayısı ( $K_p$ ): Elde edilen hatayı bir  $K_p$  katsayı ile çarparak yükselme süresini azaltma etkisine sahiptir ve kararlı durum hatasını azaltır, ancak hatayı asla ortadan kaldıramaz.
2. İntegral Katsayısı ( $K_i$ ): Elde edilen hatanın integralini alarak kararlı durum hatasını ortadan kaldırma çalışır, ancak geçici durum yanıtını daha da kötüleştirebilir.
3. Türev Katsayısı ( $K_d$ ): Elde edilen hatanın türevinin alarak sistemin kararlılığını artırır, aşmayı azaltır ve geçici tepkiyi iyileştirmeye çalışır.

Bu üç sürecin sonucunda elde edilen değerler toplanarak sisteme tek bir değer olarak tekrardan uygulanır. Bu işlem sistem girişiyle, çıkışı arasındaki hata en aza inene kadar devam eder. PID kontrolörlerin, kolay uygulanabilir olması, geniş kullanım alanına sahip olması ve düşük maliyetli olması nedeniyle endüstride en çok kullanılan kontrollerdir. PID kontrolörünün parametrelerini bulmak için deneme-yanılma

yöntemi, Ziegler-Nichols yöntemi, Eğri uydurma yöntemi, Cohen–Coon yöntemi ve sentez yöntemi kullanılmaktadır [60,61].

### 2.9.1.1. PID Hesaplaması



Şekil 2. 17. PID kontrolörün blok diyagramı.

Denklem (24) ve (25)'de PID'nin temel denklemleri verilmiştir [20].

$$U(s) = \left( K_p + \frac{K_i}{s} + K_d * s \right) * E(s) \quad (24)$$

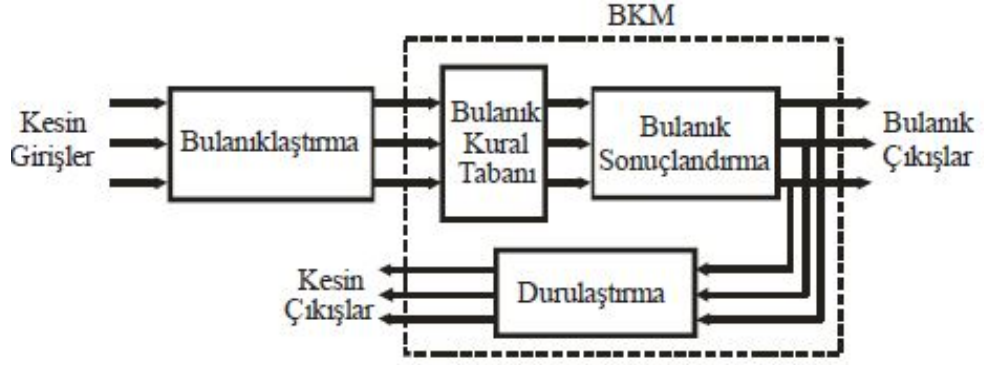
$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d * s \quad (25)$$

- U(s) : PID'in çıkışı
- $K_p$  : PID'in oran katsayısı
- $K_i$  : PID'in integral katsayısı
- $K_d$  : PID'in türev katsayısı
- E(s) : Sistemin hatası
- C(s) : PID'nin transfer fonksiyonu

### 2.9.2. Bulanık Mantık (Fuzzy)

Bulanık mantık kavramı, alanında uzman kişilerin deneyimlerini kullanarak sayısal hesaplamalarını yaptıkları sistemlerin sembolik ya da sözel ifadeler ile sistemin

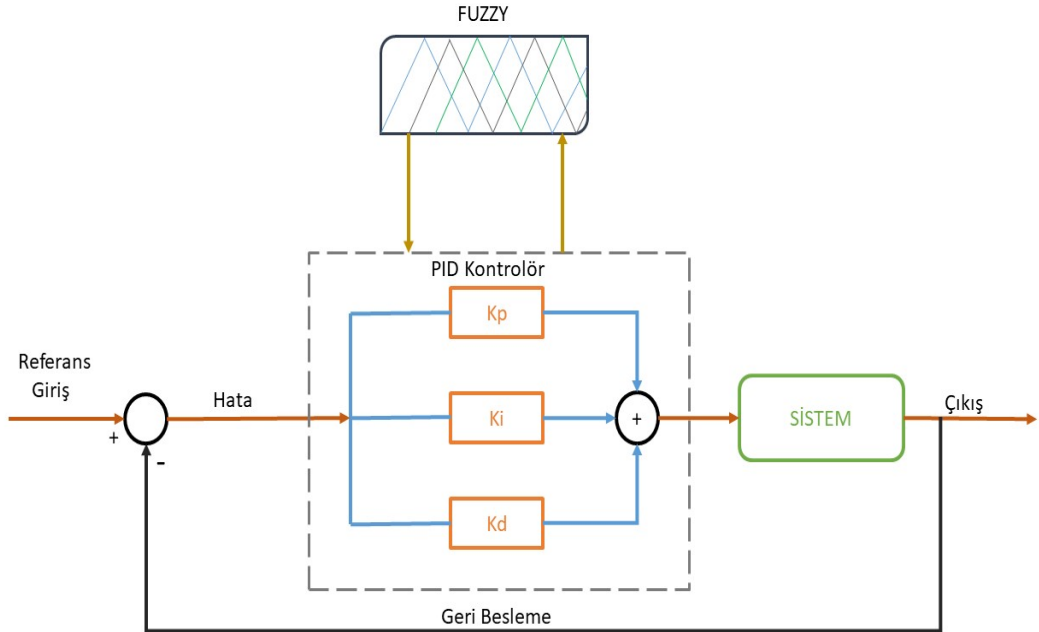
işlevsel kanunlarını ifade etmek üzere tasarlanmış kontrol sistemleri olarak tanımlanabilir [62].



Şekil 2. 18. Bulanık karar verme mekanizmasının temel yapısı [62].

### 2.9.3. Bulanık PID (Fuzzy-PID)

Bulanık PID denetleyici, PID'nin orantısal, integral ve türev katsayılarını tasarlanan bulanık mantık kontrolünde işlenerek PID'nin katsayılarının sisteme göre ayarlayan geleneksel PID denetleyicisinin ayrık zamanlı bir versiyonudur [63].



Şekil 2. 19. Fuzzy-PID kontrolörün blok diyagramı.

#### 2.9.4. Güç Yönetimi

Güç yönetimi, sisteme güç sağlayan en az iki motorun veya kaynağın birlikte kullanıldığı sistemlerdir. Güç yönetimi motorların çalışma koşullarına göre istenilen sırada veya her iki motorun birlikte çalışmalarını sağlayan yönetim sistemidir. Güç yönetimi, bilgisayarlarda, otomobillerde, rüzgâr-güneş sistemlerinde ve yapısında en az iki güç kaynağının kullanıldığı sistemlerde kullanılmaktadır. Otomobillerdeki kullanımı genellikle hibrit araç modellerinde ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü bu araç modellerin yapısında birden fazla motor bulunduğu için bu sistemlerde güç yönetimine ihtiyaç duyulmaktadır.



### **BÖLÜM 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Bir aracın modellenmesinde üretici firmalar tarafından bazı kriterler dikkate alınır. Bu kriterler genellikle aracın kullanılacağı yer, maliyeti, üretilebilirliği, emniyetliliği, düşük emisyon değerleri, konforlu seyahat vb. gibi kriterler söylenebilir.

Bu kriterlere ek olarak son yıllarda küresel ısınma nedeniyle alınan katı kararlar sonucunda fosil yakıtlı araçların zararlı emisyonlarının azaltılması kararı da bu kriterler arasında yer almaktadır. Küresel ısınma nedeniyle alınan düşük emisyon kararı otomobil üreticilerini çok zorlamaktadır. Düşük emisyon kararı nedeniyle otomobil üreticileri, fosil yakıtlı araçlar yerine sıfır emisyonlu elektrikli araçlar yada çok düşük emisyon değerlerine sahip hibrit araçlar üretmeye yönelmişlerdir. Ancak elektrikli ve hibrit araçların maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle alıcılar tarafından talep edilmemesinden dolayı üretimleri istenilen seviyelere çıkamamıştır. Bu araçların maliyetlerinin düşürülmesi için birçok araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar genellikle binek araçlar üzerine yapılması akıllarda birçok soruyu da beraberinde getiriyor. Örneğin günlük hayatımızda insanlar tarafından yoğun bir şekilde kullanılan yüksek hacimli motorlara sahip toplu taşıma araçlarının çevreyi daha çok kirlettiği bilinmesine rağmen neden bu araçlara öncelik verilmediği düşünülüyor. Toplu taşıma araçlarının elektrikli veya hibrit araç üretimleri çok az olmasına rağmen üretilmektedir. Elektrikli veya hibrit otobüslerin maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle toplu taşıma araçları filolarına katılamamaktadır.

Bu tez çalışmasında ülkelerin yüksek maliyetli elektrikli ve hibrit araçları maliyetlerinden dolayı tercih edememesine bir alternatif yöntem olan mevcut kullanılan araçları bu araçlara dönüştürme konusu üzerine çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda dizel motora sahip bir belediye otobüsünün daha düşük maliyetle, yüksek performanslı full elektrikli ve seri hibrit araç modelleri AVL Cruise M programında

oluşturularak performansları incelenmiştir. AVL Cruise M programında dizel, elektrikli ve seri hibrit araç modelleri olmak üzere üç araç modeli oluşturulup, her modelin NEDC evriminin şehir içi kullanımına göre grafiksel olarak performansları elde edilmiştir.

4,5 lt'lik dizel motora sahip bir belediye otobüsü referans alınarak elektrikli ve hibrit araç modellerine dönüştürürken göz önüne alınan kriterler aşağıdaki gibidir.

- a. Aracın %20'lik yol eğımini çıkma kabiliyetine sahip olması.
- b. 50 yolcu taşıma kabiliyeti olması
- c. Maliyetinin düşük olması.
- d. Menzilin yüksek olması gibi kriterler göz önünde tutulmuştur.

Konfor, güvenilirlik vb. gibi özellikler dizel modelinde üretici firma tarafından dikkate alındığı için değerlendirilmemiştir. Yukarıdaki kriterler ise dizel motorlu otobüs modelinin sahip olduğu özelliklerdir. Yani dönüşüm sırasında dizel motorlu aracın özelliklerini birebir karışlayan elektrikli ve hibrit araç modelleri oluşturulmuştur.

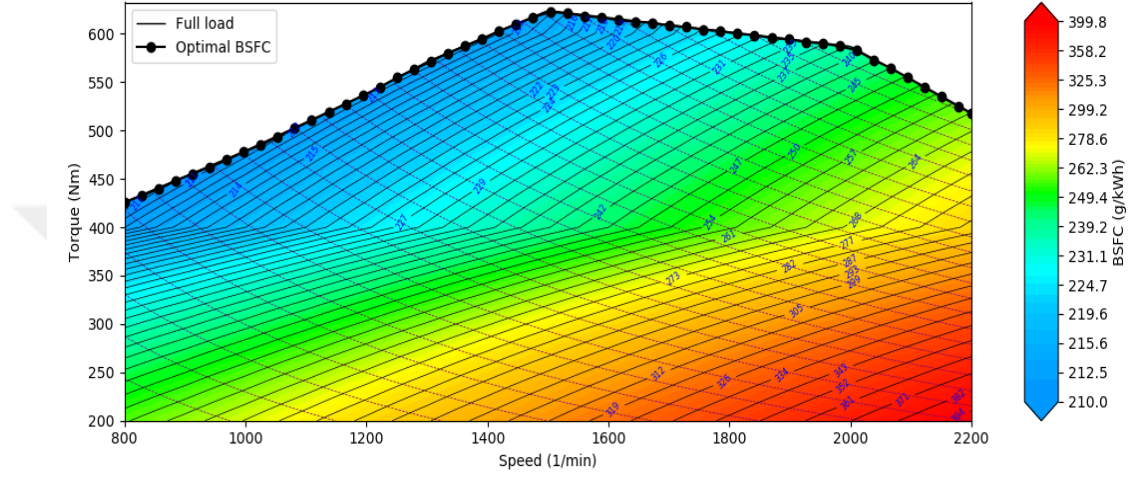
### **3.1. Benzetimlerde Kullanılan Donanımlar**

#### **3.1.1. İçten Yanmalı Motor Modeli**

İçten yanmalı motorların modelleri oluşturulurken genellikle giriş verisi olarak tork, devir, güç, yakıt tüketimi ve emisyon değerlerine göre benzetimin sonuçları elde edilir. Tez çalışmasında kullanılan İYM, dizel araç modelinde araca tahrik vermek amacıyla kullanılırken, seri hibrit araç modelinde ise bağlantı elemanları ile karışısına bağlanmış olan elektrik motoru monte edilerek bir jeneratör modeli olarak kullanılmıştır. Benzetimde kullanılan İYM;

Tablo 3. 1. Dizel Motorun Teknik Özellikleri.

Motor Tipi	Dizel Motor
Silindir Sayısı	4
Motor Hacmi	4,5 lt
Maksimum Güç	119 kW @ 2500 d/dk
Maksimum Tork	624 Nm @ 1500 d/dk



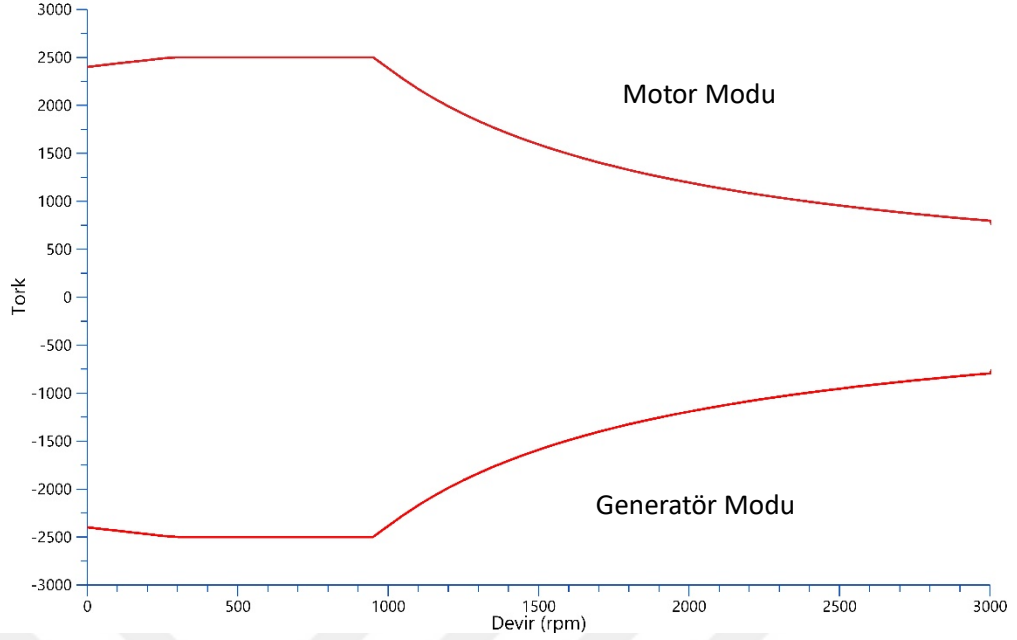
Şekil 3. 1. Dizel Motorun Karakteristiği.

### 3.1.2. Elektrik Makinesi Modeli

Yapılan tez çalışmasında sadece elektrikli ve hibrit araç modellerinde elektrik makinesi kullanılmaktadır. EA ve HA'da kullanılan elektrik makinesinin görevi araç için gerekli olan tahrik kuvvetini sağlamak ve aracın frenleme esnasında enerji kazanımı yaparak bataryaları şarj etmektir. Benzetimde kullanılan EM;

Tablo 3. 2. Elektrik Makinesinin Teknik Özellikleri.

Motor Tipi	Kalıcı Mıknatıslı
Maksimum Güç	230 kW
Maksimum Tork	2500 Nm
Maksimum Devir	3000 rpm



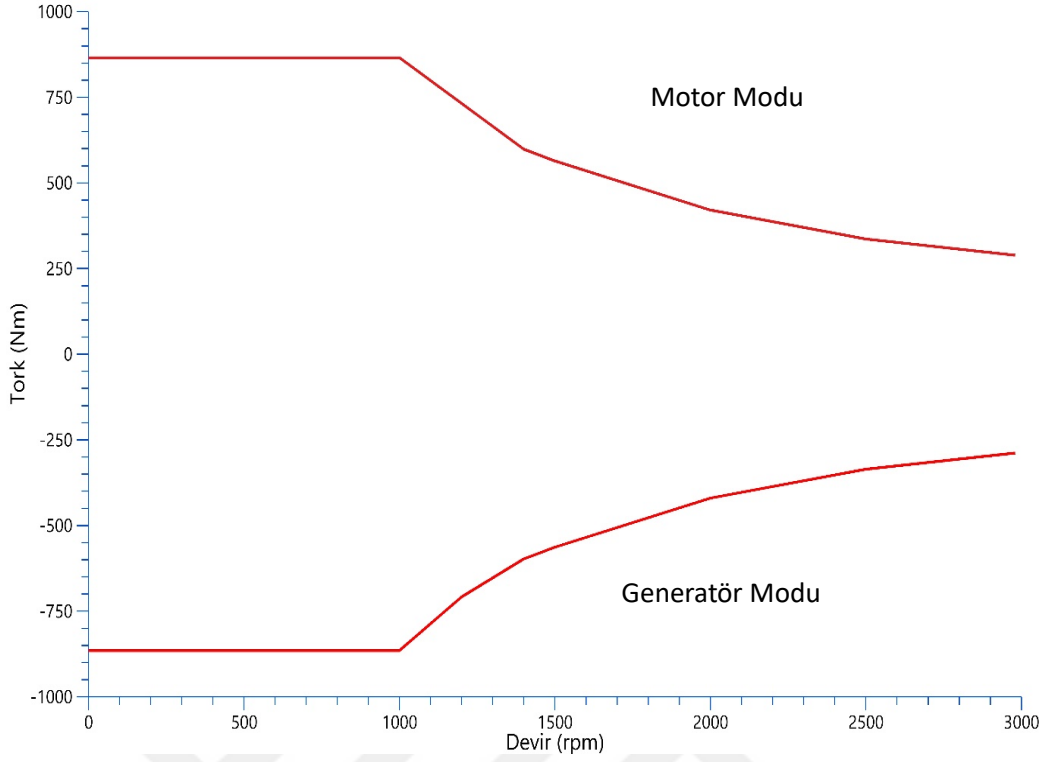
Şekil 3. 2. Elektrik Makinesinin Karakteristiği.

### 3.1.3. Generatör Modeli

Generatör aslında bir elektrik motorudur. Yani elektrik motorlarının mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren makineler kısmıdır. Elektrik motorunun rotorunu belirli bir yük altında çevrilmesi sonucunda elektrik enerji elde edilir. Benzetimi yapılan seri hibrit araç modelinde İYM'ına bağlantı elemanlarıyla bir generatöre bağlanarak İYM/generatör sistemi oluşturulmuştur. Benzetimde kullanılan generatörün;

Tablo 3. 3. Generatörün Teknik Özellikleri.

Motor Tipi	Asenkron Makine
Maksimum Güç	90 kW
Maksimum Tork	864 Nm
Maksimum Devir	3000 rpm



Şekil 3. 3. Generatörün Karakteristiği.

### 3.1.4. Batarya Modeli

Yapılan çalışmada 560-680 V'luk 411 Ah'lik 280 kWh'lik Lityum-iyon bataryası benzetimde kullanılmıştır.

### 3.1.5. Güç Aktarma Organlarının Modellenmesi

#### 3.1.5.1. Şanzıman Modeli

Sürücünün sürüşüne ve yol şartlarına göre sürücü tarafından talep edilen hızlara ulaşabilmeleri için gerekli olan donanımdır. Şanzıman sistemi motor tarafından üretilen torkun veya gücün sürüşe bağlı olarak artırılması ya da azaltılmasını sağlayan dişli sistemidir. Benzetimde sadece dizel araç modelinde 6 ileri 1 geri manuel şanzıman sistemi kullanılmıştır.

Tablo 3. 4. Şanzımanın Dişli Oranları.

Vites	Dişli Oranı
1	7,54
2	4,39
3	2,80
4	1,87
5	1,30
6	1,00
R	6,74

### 3.1.5.2. Diferansiyel

Diferansiyel, mahrutu dişlisinin motordan aldığı dönme hareketinin ayna dişlisi üzerinden akslarla yardımıyla tekerleklere ileten güç aktarma organıdır. Benzetimde dizel, elektrikli ve seri hibrit araç modellerinde 3,73 dönüştürme oranına sahip diferansiyel kullanılmıştır.

### 3.1.6. Tekerlek Modeli

Dizel, elektrikli ve seri hibrit benzetimlerinde kullanılan tekerlek ise 235/75R 17.5'dir.



Şekil 3. 4. Benzetimde Kullanılan 235/75R 17.5 tekerlek.

### 3.1.7. Kontrol Sistemi

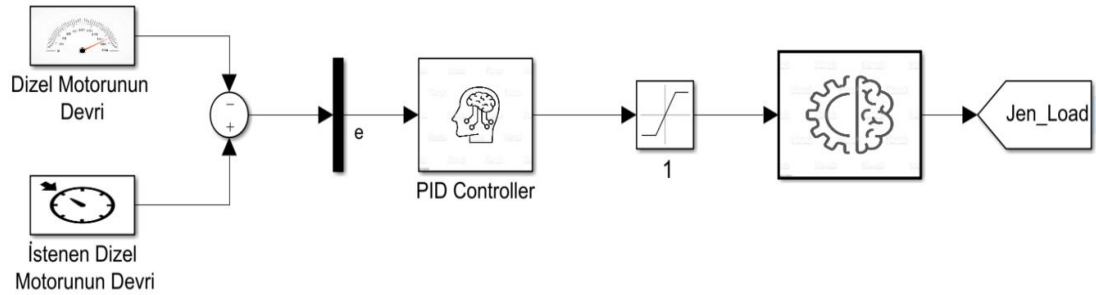
Tez çalışmasında aracın hızı NEDC çevriminde istenen hız değerlerine göre simülasyonu yapan kişinin müdahalesi ile değil, aracın üzerindeki sensörlerden alınan bilgilere göre istenen hız değerlerinde aracın sürüşü yapılmaktadır. NEDC çevriminde

istenen hız değerlerine göre aracın sürüşü tasarlanan FUZZY-PID kontrol modülü ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca seri hibrit araç modelinde generatör ile dizel motorun bir arada iyi bir şekilde çalışabilmesi için PID denetleyici kullanılmıştır.

Seri hibrit araç modelinde iki güç kaynağının bir arada kullanılması nedeniyle bataryanın şarj durumuna göre jeneratör sisteminin devreye alınıp alınmaması MATLAB/Stateflow modülü kullanılarak yapılmıştır.

### 3.1.8. PID

Hibrit araç modelinde generatör ile dizel motorun bağlantı elemanlarıyla birbirlerine bağlanması sonucunda bataryayı şarj etmekle görevli bir jeneratör modülü oluşturulmuştur. Bu modüldeki generatörün yüklemesi dizel motorunun anlık devri ile belirlenen devir değeri arasındaki hataya göre PID kontrolör yardımıyla sağlanmaktadır. PID'nin katsayıları Ziegler–Nichols Metoduna göre ayarlanmıştır.

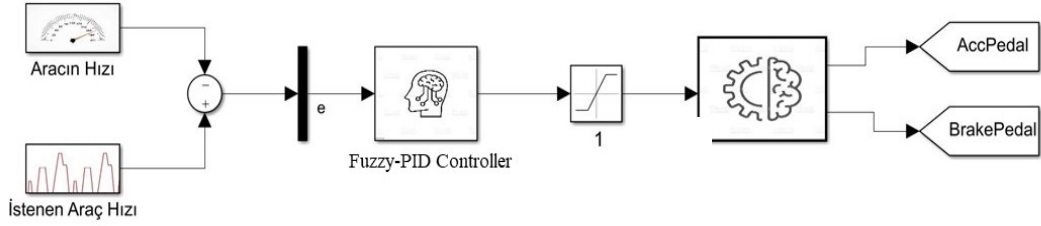


Şekil 3. 5. Generatörün Kontrollü Sistemi.

### 3.1.9. Fuzzy-PID

Bu çalışmada tasarlanan Fuzzy-PID denetleyicisi yapay zeka olarak düşünülmüştür. Çalışmadaki Fuzzy-PID denetleyicisi aracın istenen hız değerinde seyir etmesi için sistemdeki hatanın miktarına bağlı olarak basit hesaplamalı ve yapay zeka tabanlı fuzzy modülünde şekilde işleme alınarak PID'nin  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  katsayılarını ayarlamaktadır. Fuzzy modülü tamamen üçgen üyelik fonksiyonlarını kullanarak basit matematiksel işlemler yaparak PID'in  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  değerlerini dinamik olarak artırarak

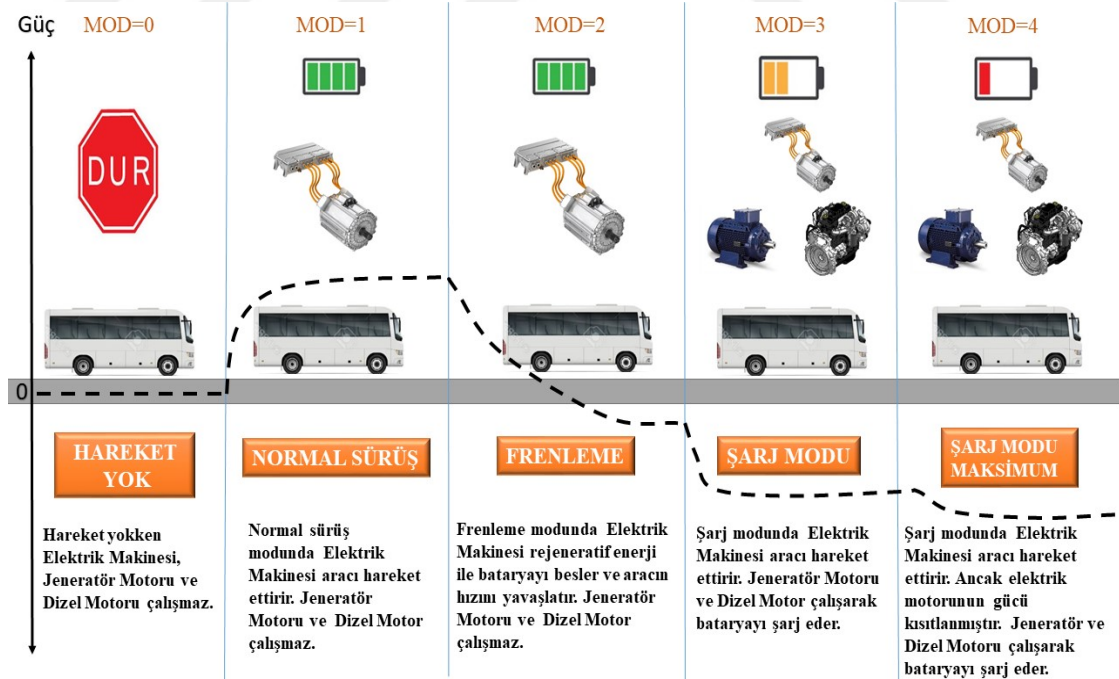
veya azaltarak değiştirmektedir. PID'nin başlangıç katsayı değerleri Ziegler–Nichols Metoduna göre ayarlanmıştır.



Şekil 3. 6. Hız Kontrollü.

### 3.1.10. Güç Yönetimi

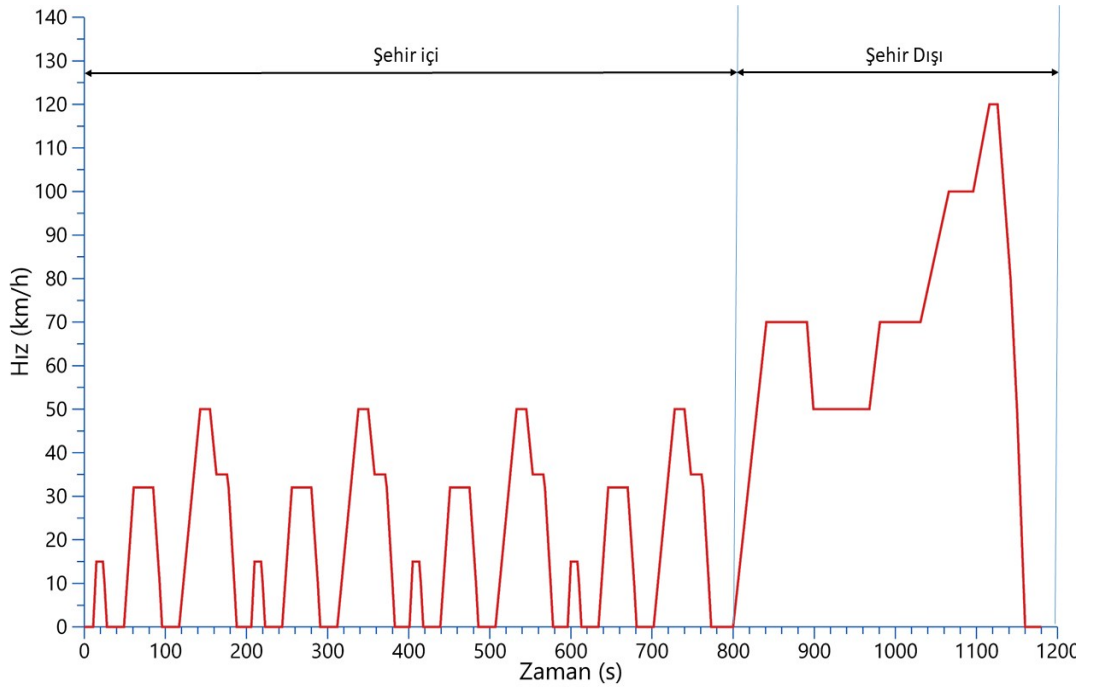
Seri hibrit araç modelinde MATLAB/Stateflow modülünde tasarlanan güç yönetimi, bataryanın şarj durumuna göre generatör ve içten yanmalı motorun devreye girip girmemesini sağlamaktadır. Yapılan MATLAB/Stateflow modülünün çalışma mantığı şekil 3.7'deki gibidir.



Şekil 3. 7. Hibrit aracın güç yönetimi.

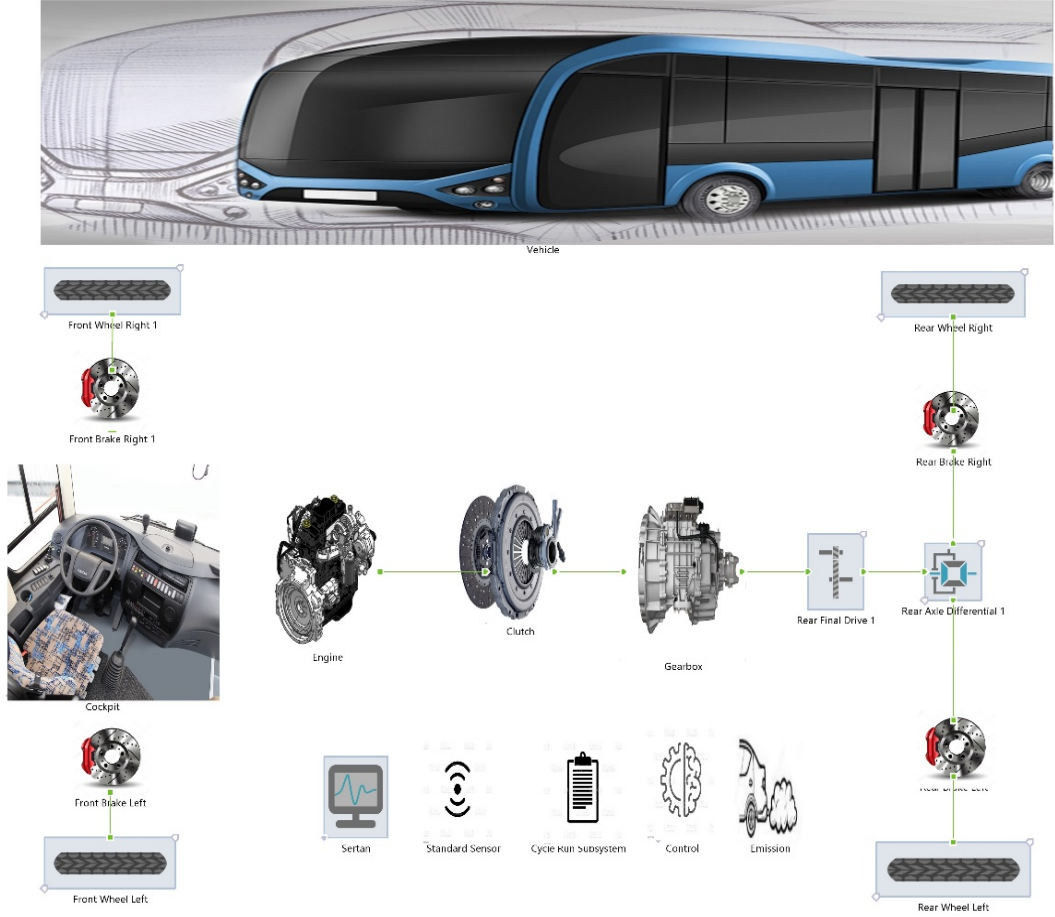
### 3.2. Sürüş Çevrimi

Araçların yol ve çevre şartlarına göre performanslarını değerlendirmek için yapılan çevrimlerdir. Dünyaca kabul edilen çevrimler Avrupa sürüş çevrimi, Amerikan sürüş çevrimi ve Japonya sürüş çevrimi [64] şeklindedir. Bu çevrimler araç üreticileri tarafından araçlarının performanslarını değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada üç araç modeli için (dizel, elektrikli ve hibrit) Avrupa sürüş çevrimlerinden New European Driving Cycle (NEDC) çevriminin şehir içi kullanımı kullanılmıştır. Şekil 3.8’de NEDC sürüş çevrimi gösterilmektedir.



Şekil 3. 8. NEDC sürüş çevrimi.

### 3.3. Dizel Araç Modeli



Şekil 3. 9. AVL Cruise M programında oluşturulan dizel otobüs modeli.

Şekil 3.9’da görüldüğü gibi AVL Cruise M programında oluşturulan dizel otobüs modeli gösterilmiştir. Bu aracın tahriki 4,5 lt’lik dizel motordan sağlanmaktadır. Günlük hayatımızda çok karşılaştığımız klasik şehir içi bir otobüs yapısına sahiptir. Bu araçların yapısında dizel motor, kavrama, şanzıman ve diferansiyel şeklinde motor ve güç aktarım organları kullanılmaktadır.

### 3.4. Elektrikli Araç Modeli



Şekil 3. 10. AVL Cruise M programında oluşturulan elektrikli otobüs modeli.

Şekil 3.10’da görüldüğü gibi AVL Cruise M programında oluşturulan elektrikli otobüs modeli gösterilmiştir. Bu aracın tahriki elektrik makinesinden sağlanmaktadır. Elektrik makinesine gerekli olan enerji ise yapısında bulunan bataryalardan karşılanmaktadır. Bu modelde mevcut aracın üzerinde bulunan dizel motor, kavrama, şanzıman, yakıt deposu gibi donanımlar sökülerek yerine elektrik makinesi ve batarya sistemlerinin yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Elektrik makinesi direk olarak diferansiyele bağlanarak araca tahrik sağlamaktadır.

### 3.5. Seri Hibrit Araç Modeli



Şekil 3. 11. AVL Cruise M programında oluşturulan seri hibrit otobüs modeli.

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi AVL Cruise M programında oluşturulan seri hibrit otobüs modeli gösterilmiştir. Bu çalışmada hibrit araç modellerinden seri hibrit modeli seçilmiştir. Seri hibrit araç modelinin seçilmesinin nedeni, mevcut aracın yapısına uygulanmasının kolay olmasıdır. Seri hibrit araçlarda, aracın hareket etmesi için gerekli olan tahrik kuvveti elektrik makinesinden sağlanmaktadır. Elektrik makinesinin ise ihtiyaç duyduğu enerji, yapısında bulunan bataryalardan karşılanmaktadır. Seri hibrit araç modelinin dönüşümü bir önceki bölümdeki bahsedilen denklemlerden yararlanılarak gerekli olan donanımlar belirlenmiştir. Seri hibrit araç modeli oluşturulurken, mevcut aracın yapısında bulunan kavrama ve şanzıman donanımları sökülerek oluşturulmuştur. Mevcut aracın dizel motoru bağlantı

elemanları ile generatöre bağlanmasıyla bataryayı şarj eden jeneratör modülü elde edilmiştir. Jeneratör modülünün çalışması güç yönetim sisteminde belirlenen koşullara göre yapılmaktadır. Elektrik makinesi ise direk olarak diferansiyele bağlanarak araca tahrik sağlamaktadır.

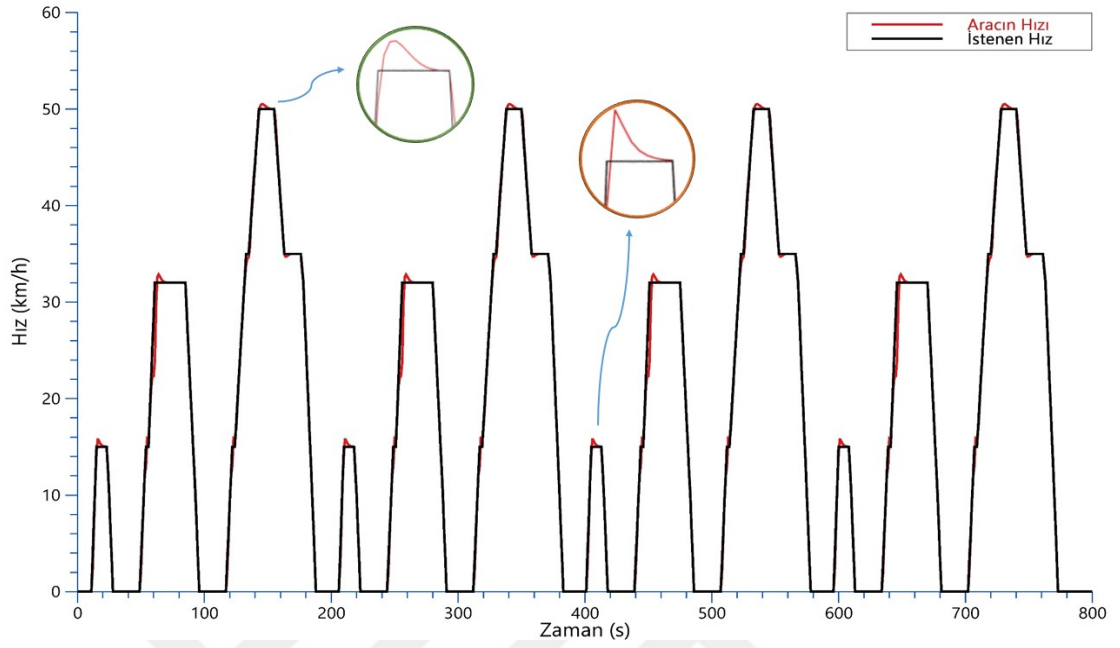


## BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu bölümde Şekil 3.9’da gösterilen 4,5 lt ‘lik bir dizel yakıtlı belediye otobüsünün şekil 3.10 ve 3.11 ‘de gösterilen elektrikli ve seri hibrit modellerine dönüştürülerek üç araç modelinin birbirlerine göre karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca dizel, elektrikli ve seri hibrit araçları NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre benzetimi yapılırken aracın NEDC çevrimindeki istenen hız değerlerinde seyahat etmesinin sağlamak için tasarlanan Fuzzy-PID kontrolörle aracın tahrik motorları kontrol edilmiştir. Fuzzy-PID kontrolörü ile sürüş boyunca aracın istenen hıza karşılık gelen hız profili grafiksel olarak elde edilip incelenmiştir. Seri hibrit araç modelinde ayrıca Fuzzy-PID kontrol sistemine ek olarak generatörün sürebilmek için PID kontrolör ve aracın yapısında iki güç kaynağının birlikte kullanılması nedeniyle MATLAB/ Stateflow modülünde güç yönetimi tasarlanarak kullanılmıştır.

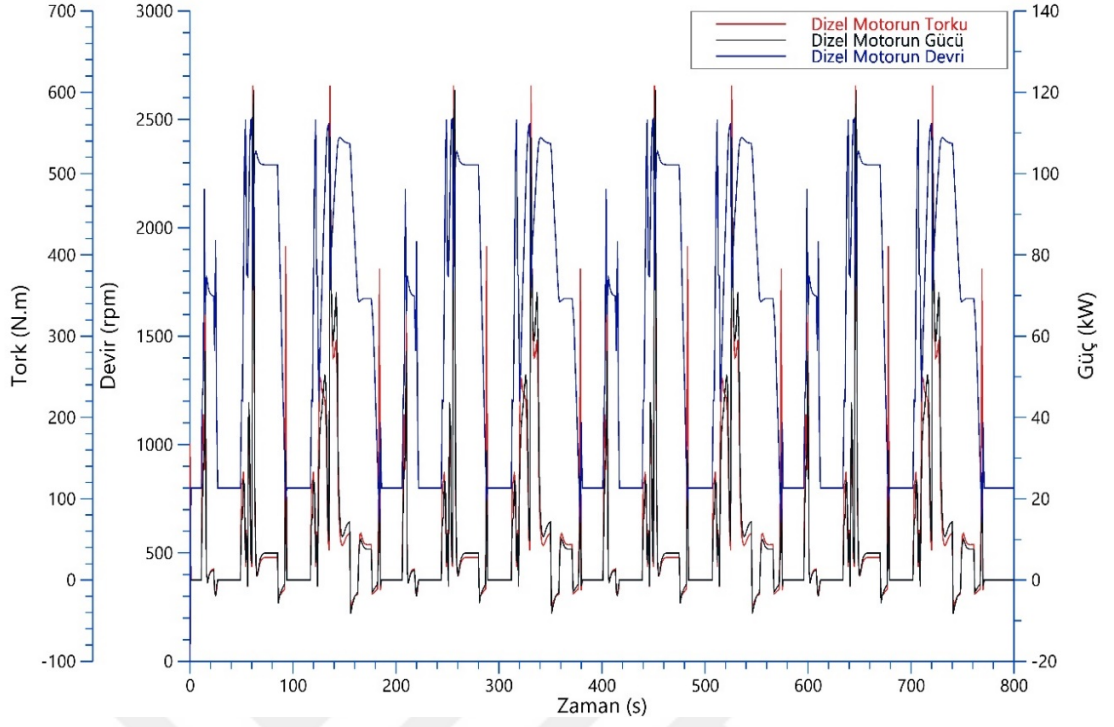
Benzetimde NEDC çevriminin şehir içi kullanımının seçilmesinin nedeni ise çevrim boyunca sanki bir belediye otobüsünün günlük kullanımındaki dur-kalk sürüşüne yakın olması ve Avrupa tarafından kabul edilen bir sürüş çevrimi olmasından dolayıdır. Yapılan çalışmada, NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre dizel araç modeli için tork, güç, devir, verim ve emisyon değerleri, elektrikli araç modeli için bataryanın şarj durumu, EM’nin tork, güç, devir, verim değerleri, seri hibrit araç modeli için EM, İYM ve generatörün tork, güç, devir, verim değerleri, bataryanın şarj durumu ve İYM’un emisyon değerleri grafiksel olarak elde edilmiştir.

#### 4.1. Dizel Araç Modelinin Benzetim Sonuçları



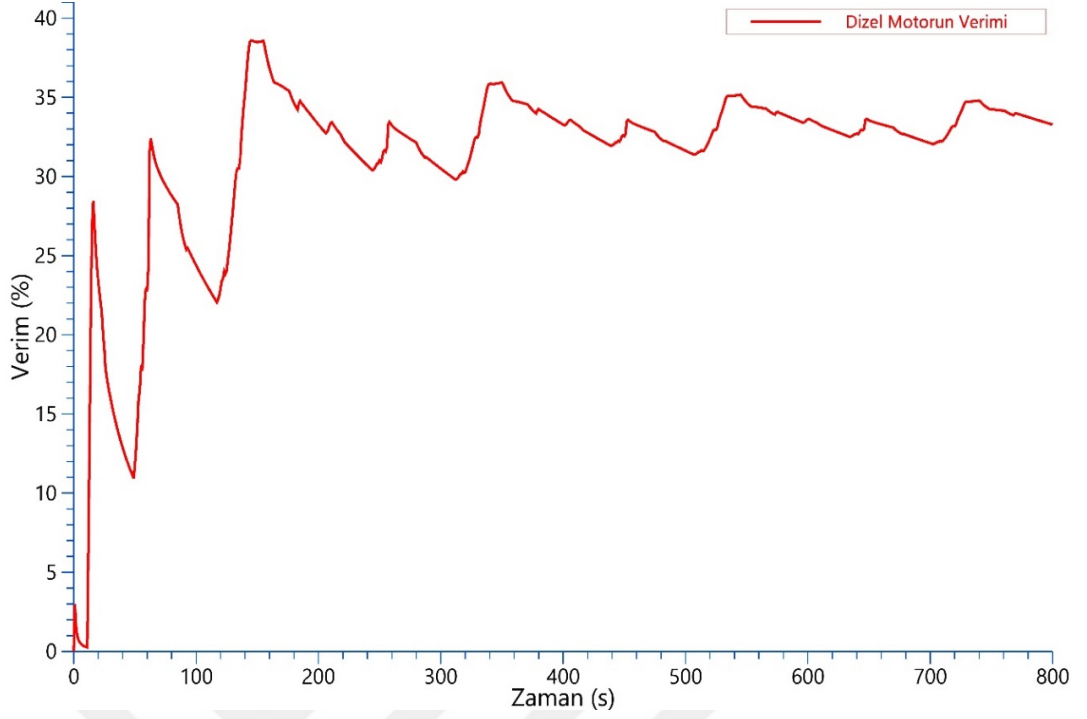
Şekil 4. 1. Dizel aracın Fuzzy-PID kontrolörü ile sürüş grafiği.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi Fuzzy-PID denetleyicisi araçtan istenen hız profilini çok az sapmalarla karşılamaktadır. NEDC sürüş çevriminin şehir içi kullanımında, araç çevrim boyunca dur-kalk yaparak, 15-32 ve 50 km/h hız değerlerinde seyahat etmektedir. Fuzzy-PID denetleyicisi, 15km/h hız talebine karşılık aracın hızını 15,8 km/h hızla, 32 km/h hız talebine karşılık aracın hızını 32.8 km/h hızla ve 50 km/h’lik hız talebine karşılık aracın hızını 50,5 km/h hızla sürmektedir.



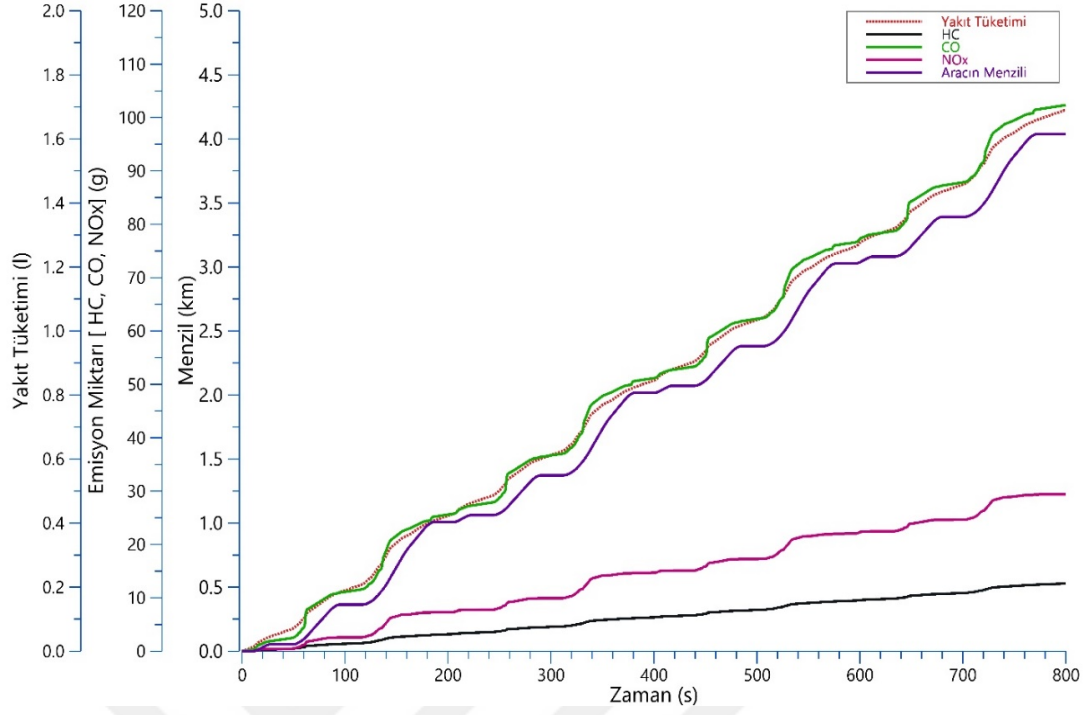
Şekil 4. 2. Dizel motorunun tork, güç ve devirinin NEDC çevrimine göre grafiği.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi dizel araç modelinde kullanılan motorun Fuzzy-PID kontrolörüne göre ihtiyaç duyulan tork, devir ve güç değerleri gözükmektedir. Aracın bu sürüş esnasında maksimum tork değeri olarak 608,64 Nm’dir. Bu tork değerine ihtiyaç olduğu durum ise NEDC çevriminde 50 km/h’lik hız talebine ulaşabilmek için ilk harekette gerekli olan tork değeridir. Benzetimde NEDC çevriminin şehir içi sürüşüne göre araçta ihtiyaç duyulan maksimum güç kullanımı 119 kW’tır. Aracın bu güç değerine ihtiyaç olduğu durum ise NEDC çevriminin 50 km/h’lik hız talebine ulaşabilmek için gerekli olan ivmelenme kuvvetine karşılık gelen güç değeridir.



Şekil 4. 3. Dizel motorun verim grafiği.

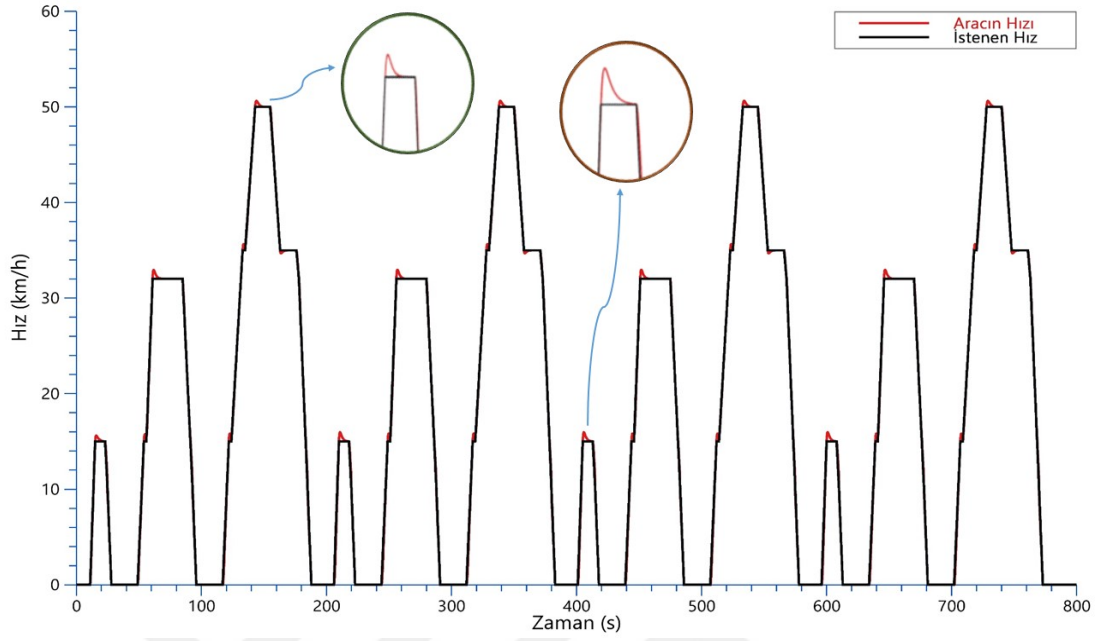
Dizel araç modelinde kullanılan motorun NEDC çevriminin ilk sürelerinde motorun yeterli sıcaklık değerine ulaşamaması nedeniyle motor verimlerinin düzensiz olduğu şekil 4.3 grafiğinde gözükmektedir. Buna bağlı olarak motorun belli bir süre çalıştıktan sonra ideal sıcaklığa ulaşmasıyla ve aynı zamanda çevrimdeki hız değerlerine ulaşabilmek için aracın motorundan istenen güç ve tork değerlerine göre verimi %32,5 ile %35,1 arasında değişmektedir.



Şekil 4. 4. Dizel motorun emisyon değerleri, yakıt tüketimi ve aracın aldığı menzili grafiği.

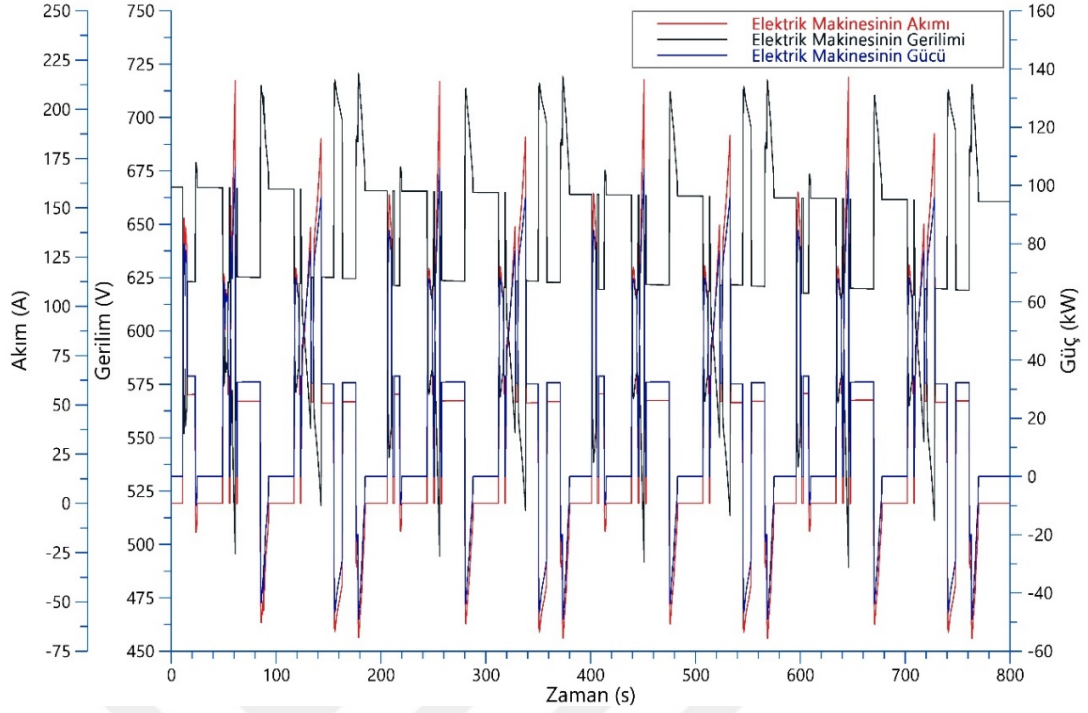
Şekil 4.4'de görüldüğü gibi aracın 4.05 km'lik yol için yakıt tüketimi 1.69 lt'dir. NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre seyahat edilmesi durumunda aracın AVL Cruise M örneklerinden yararlanılarak oluşturulan emisyon karakteristiğine göre HC değeri 12,6 g, CO değeri 102.3 g ve NO<sub>x</sub> değeri 29,4 g olarak bulunmuştur.

## 4.2. Elektrikli Araç Modelinin Benzetim Sonuçları



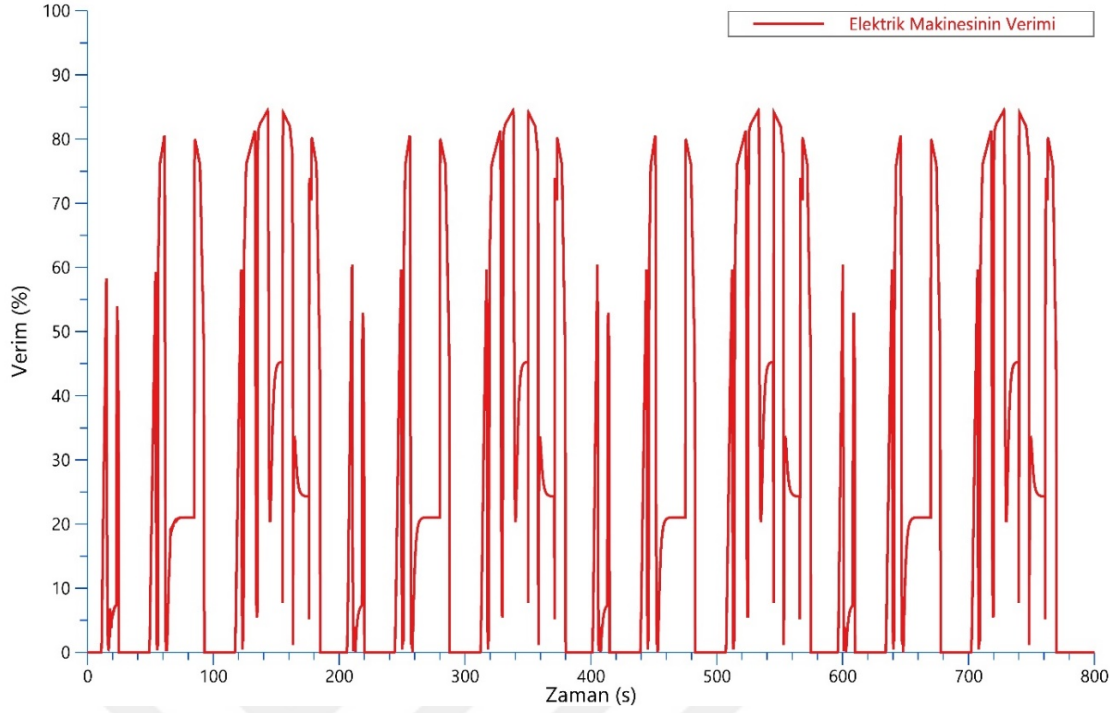
Şekil 4. 5. Elektrikli araç modelinin Fuzzy-PID kontrolörü ile sürüş grafiği.

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi Fuzzy-PID kontrollörü araçtan istenen hız profilini dizel modelli araçtaki gibi çok az sapmalarla karşılamaktadır. Fuzzy-PID denetleyicisi, 15km/h hız talebine karşılık aracın hızını 15,59 km/h hızla, 32 km/h hız talebine karşılık aracın hızını 32,92 km/h hızla ve 50 km/h’lik hız talebine karşılık aracın hızını 50,63 km/h hızla sürmektedir.



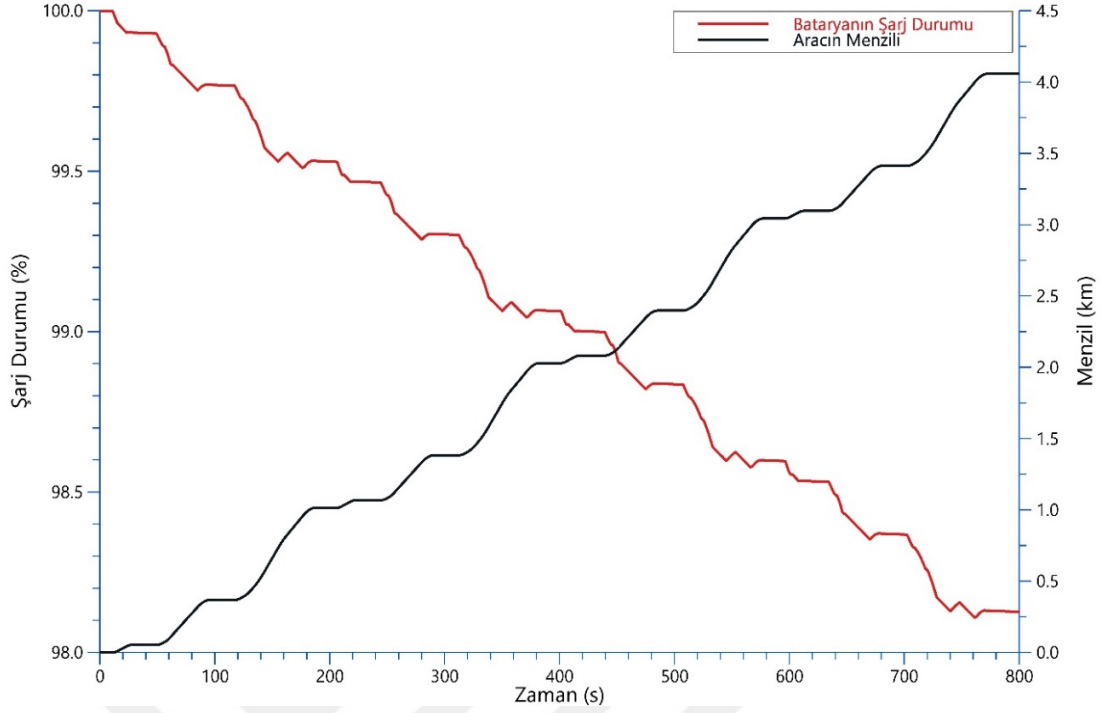
Şekil 4. 6. Elektrik Makinesinin akım, gerilim ve güç grafiği.

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi elektrikli araç modeline tahrik veren elektrik makinesinin akım, gerilim ve güç değerleri gözükmemektedir. Araç bu sürüş esnasında 216,58 A ve 106,45 kW'lık maksimum akım ve güç değerine ihtiyaç duymuştur. Bu akımın ve gücün kullanıldığı yer dizel araçtaki gibi NEDC çevriminin 50 km/h lik hız talebinin istendiği durumdur. Ayrıca aracın frenleme esnasında rejeneratif enerji kazanımı maksimum 49,26 kW'tır.



Şekil 4. 7. Elektrik Makinesinin akım, gerilim ve güç grafiği.

Dizel araç modelinde kullanılan motorun çevrimin ilk zamanlarında motor sıcaklığının düşük olması nedeniyle karşılaştığımız verim düzensizliği, elektrikli araç modeline tahrik veren elektrik makinesinde söz konusu değildir. Elektrikli araç modeline tahrik veren elektrik makinesinin verimi şekil 4.7'e göre yorumlanacak olursa, aracın hızı 15 km/h hızda iken elektrik makinesinin verimi %58,45'lerde iken aracın hızı 50km/h hıza ulaştığında elektrik makinesinin verimi %84,4 değerine ulaşmıştır.



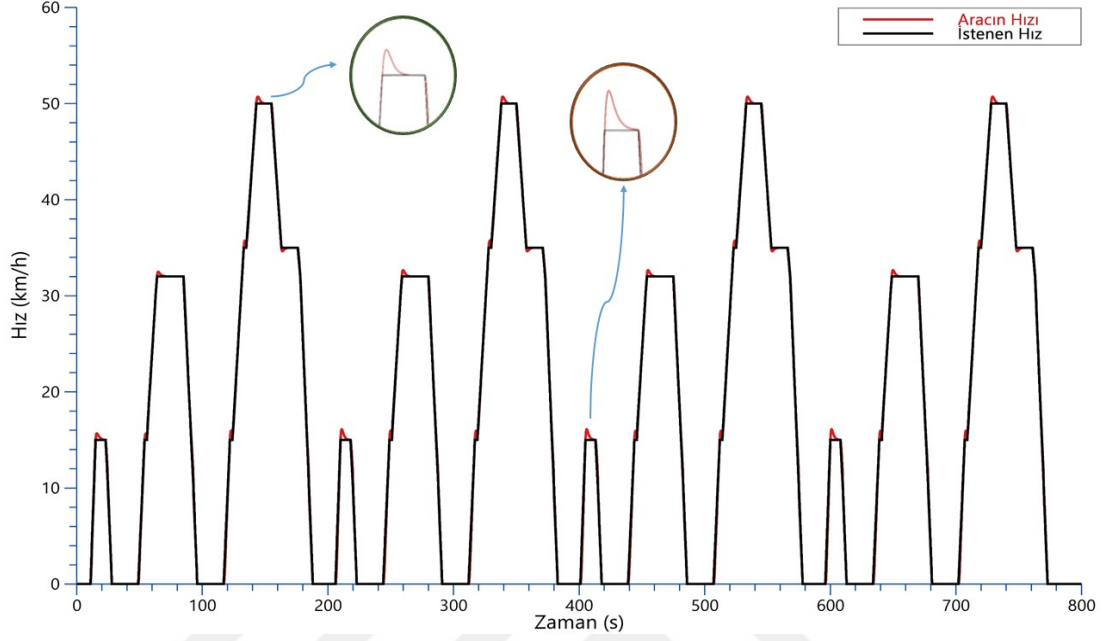
Şekil 4. 8. Bataryanın şarj durumu ve aracın aldığı yolun grafiği.

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi aracın 4,05 km'lik yol için bataryanın şarj durumundaki düşüşü gösterilmektedir. Elektrikli otobüs modelinde bataryanın %100 şarj durumunda olduğu kabul edilerek NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre sürüşü gerçekleştirildikten sonra bataryadaki azalma %100'den %98,1 seviyesine düşmüştür.

### 4.3. Seri Hibrit Araç Modelinin Benzetim Sonuçları

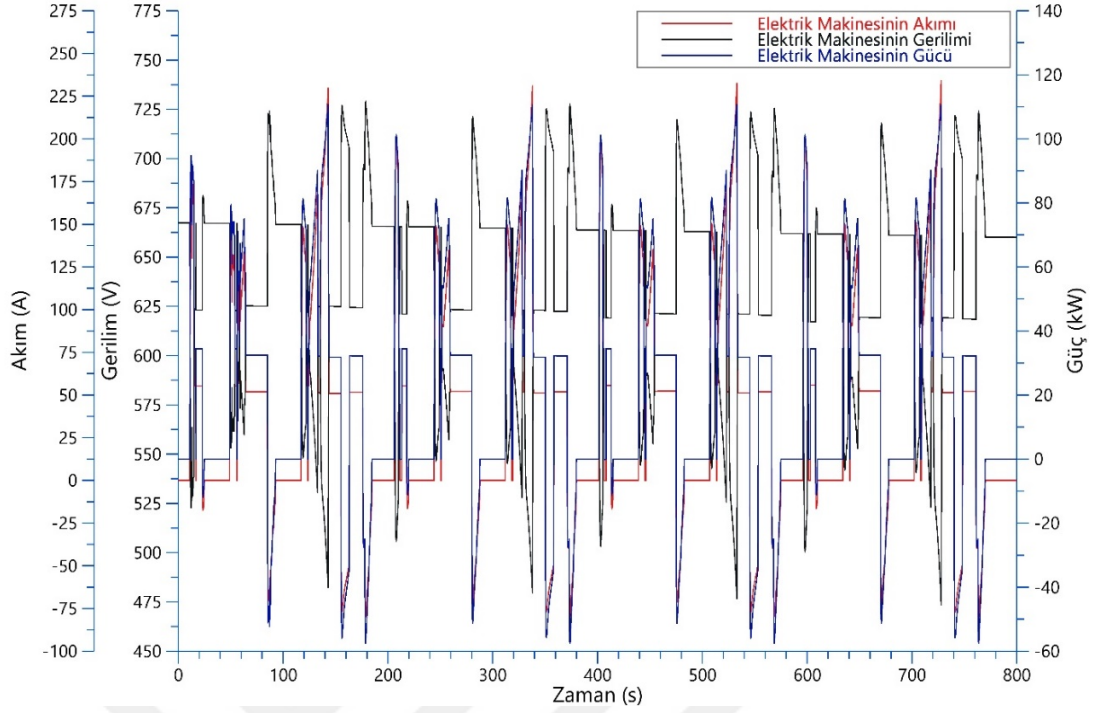
Seri hibrit araç modelinde kullanılan güç yönetiminin çalışmasını gösterebilmek amacıyla seri hibrit aracı iki durumda incelenmiştir. Birinci durumda bataryanın şarj seviyesinin %30'dan fazla olduğu durum olarak ele alınırken ikinci durumda ise bataryanın şarj seviyesinin %30'dan az olduğu durum olarak ele alınmıştır. Bataryanın şarj seviyesi %30'un üstünde iken seri hibrit araç modeli full elektrikli araç modeli gibi hareket etmekteyken, bataryanın şarj seviyesi %30'un altına düştüğün de ise seri hibrit aracın yapısında bulunan dizel ve generatörün devreye alınarak aracın bataryası şarj etmektedir. Ayrıca aracın bataryası ikinci durumda şarj edilirken araç elektrik makinesiyle hareketine devam etmektedir.

### 4.3.1. Seri Hibrit Araç Modelinin Bataryasının Şarj Seviyesinin %30'dan Fazla Olduğu Durum



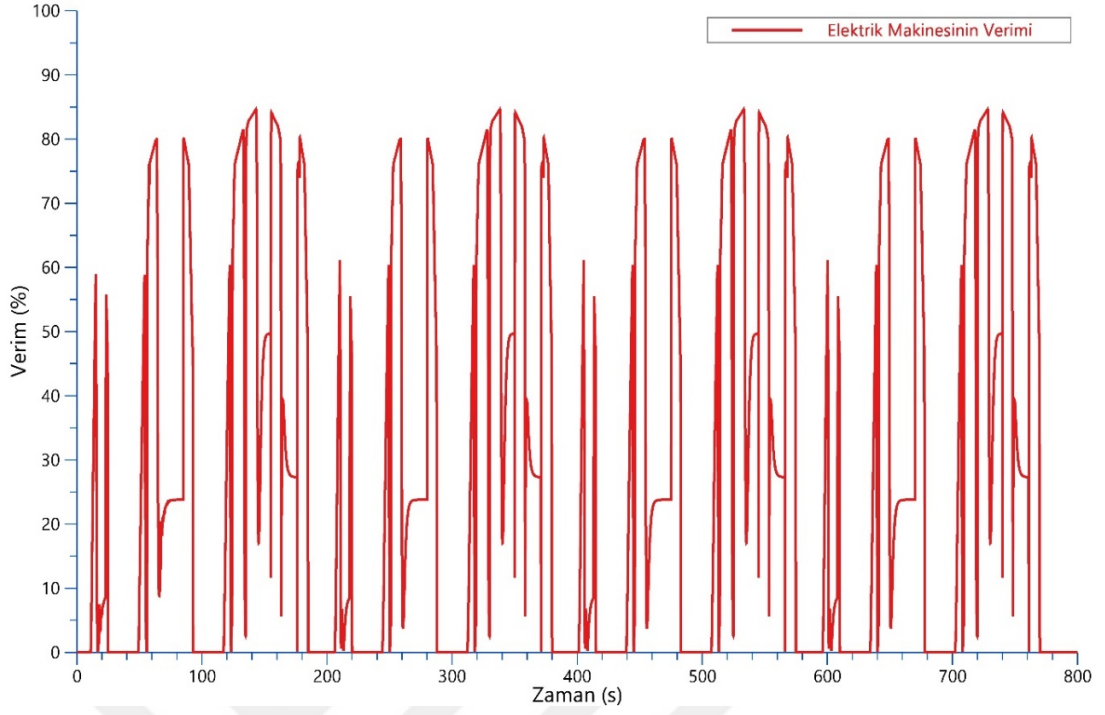
Şekil 4. 9. Seri hibrit araç modelinin Fuzzy-PID kontrolörü ile sürüş grafiği.

Şekil 4.9'de görüldüğü gibi Fuzzy-PID kontrollörü araçtan istenen hız profilini dizel ve elektrikli araç modellerinde ki gibi çok az sapmalarla karşılamaktadır. Fuzzy-PID denetleyicisi, 15km/h hız talebine karşılık aracın hızını 15,67 km/h hızla, 32 km/h hız talebine karşılık aracın hızını 32,49 km/h hızla ve 50 km/h'lik hız talebine karşılık aracın hızını 50,71 km/h hızla sürmektedir.



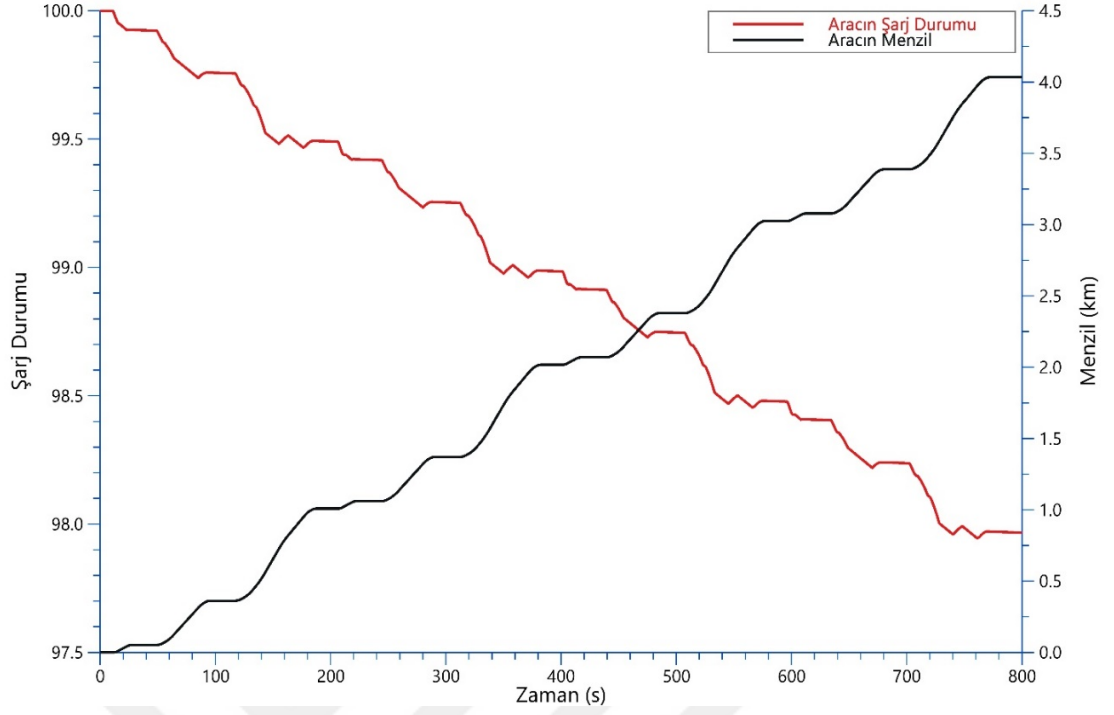
Şekil 4. 10. Elektrik Makinesinin akım, gerilim ve güç grafiği.

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi seri hibrit araç modeline tahrik veren elektrik makinesinin akım, gerilim ve güç değerleri gözükmemektedir. Araç bu sürüş esnasında 234,25 A ve 110,87 kW'lık maksimum akım ve güç değerine ihtiyaç duymuştur. Bu akımın ve gücün kullanıldığı yer dizelve elektrikli araçtaki gibi NEDC çevriminin 50 km/h lik hız talebinin istendiği durumdur. Ayrıca aracın frenleme esnasında rejeneratif enerji kazanımı maksimum 57,75 kW'tır.



Şekil 4. 11. Elektrik Makinesinin verimi grafiği.

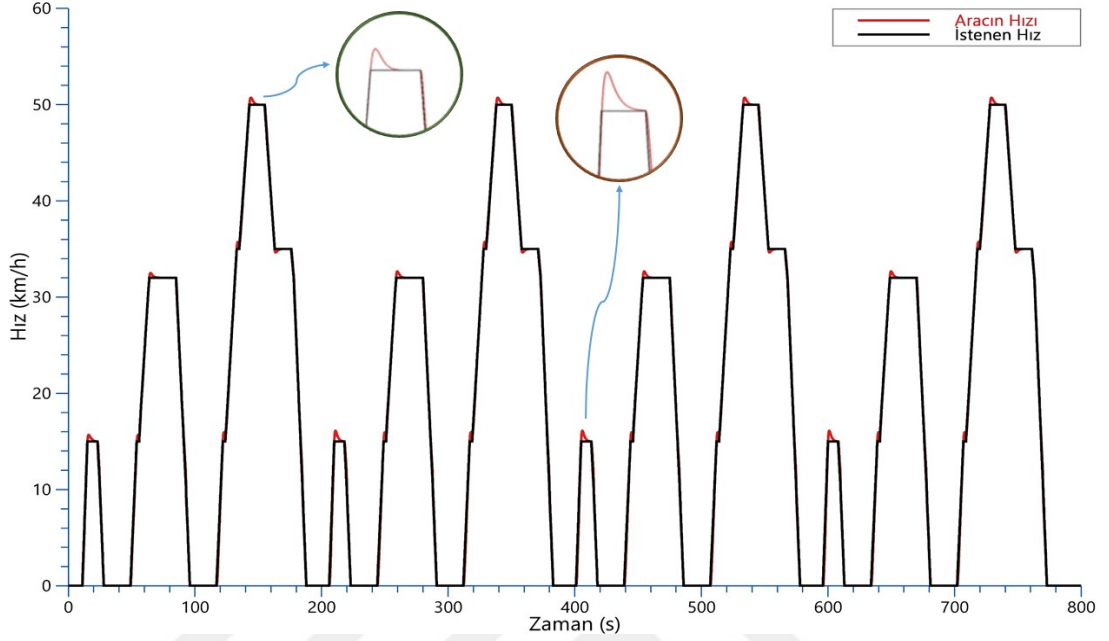
Seri hibrit aracın batarya şarj seviyesi %30'dan fazla iken sanki full elektrikli otobüs gibi seyahat etmektedir. Seri hibrit araç modeline tahrik veren elektrik makinesinin verimi şekil 4.11'e göre yorumlanacak olursa, aracın hızı 15 km/h hızda iken elektrik makinesinin verimi %58,45'lerde iken aracın hızı 50km/h hıza ulaştığında elektrik makinesinin verimi %84,57 değerine ulaşmıştır.



Şekil 4. 12. Bataryanın şarj durumu ve aracın aldığı yolun grafiği.

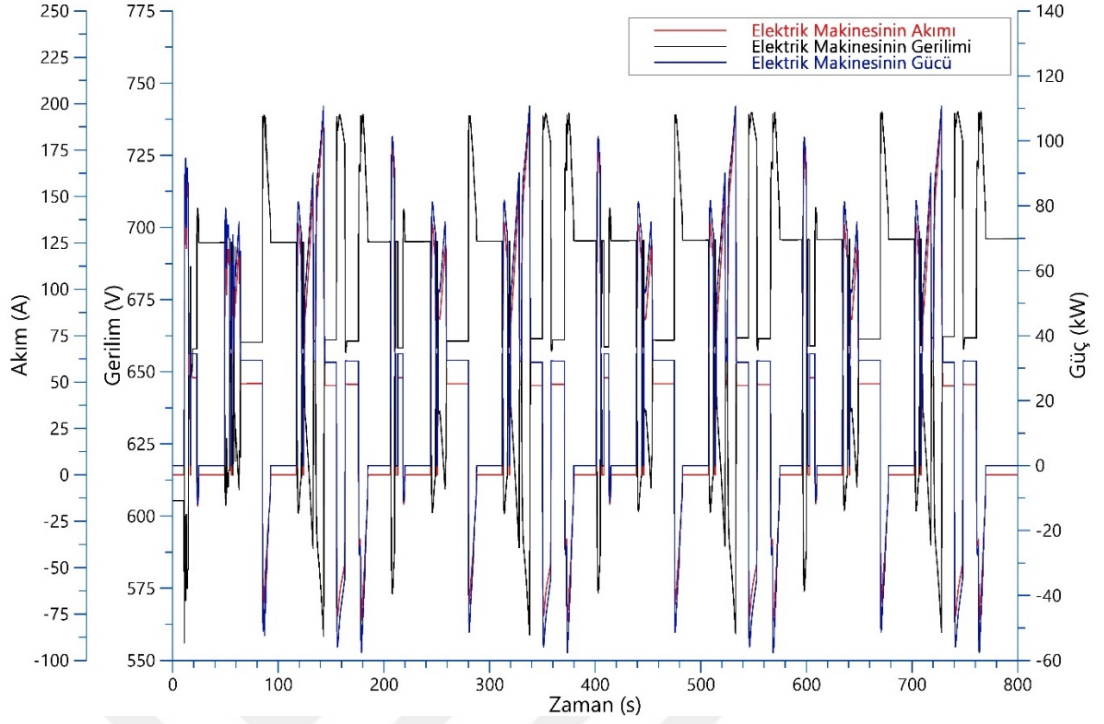
Şekil 4.12’de görüldüğü gibi aracın 4.05 km’lik yol için bataryanın şarj durumundaki düşüş gösterilmektedir. Seri hibrit otobüs modelinde bataryanın %100 şarj durumunda olduğu kabul edilerek NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre sürüş gerçekleştirildikten sonra bataryadaki azalma %100’den %97,94 seviyesine düşmüştür.

### 4.3.2. Seri Hibrit Araç Modelinin Bataryasının Şarj Seviyesinin %30'dan Az Olduğu Durum



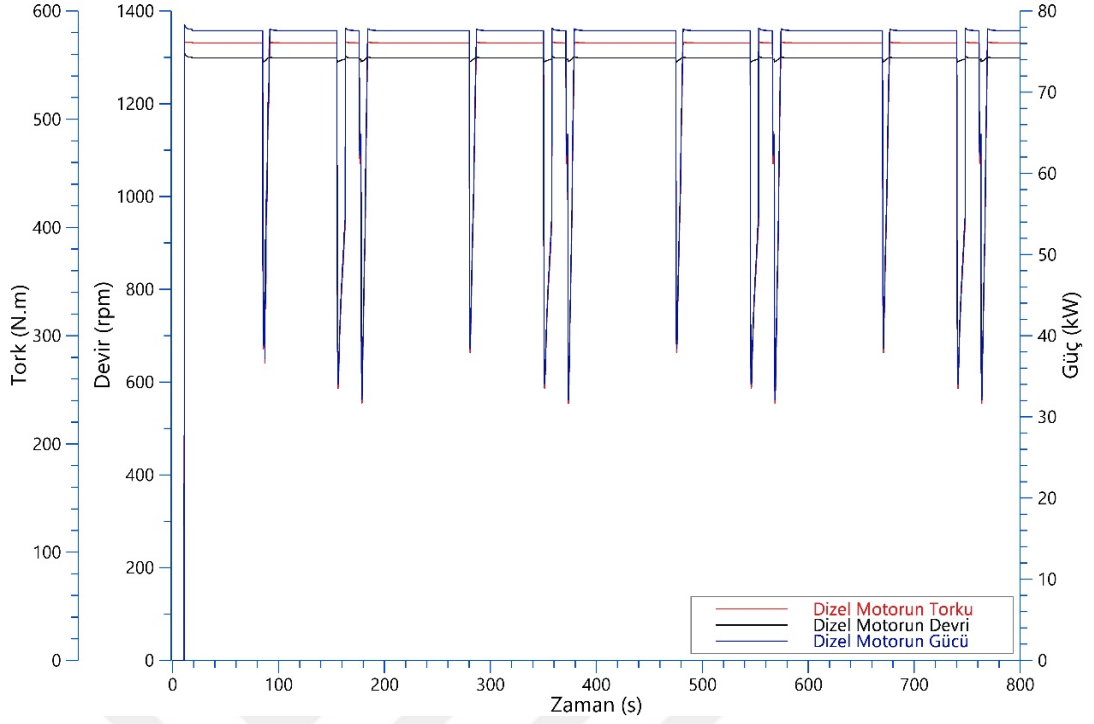
Şekil 4.13. Seri hibrit araç modelinin Fuzzy-PID kontrolörü ile sürüş grafiği.

Şekil 4.13'de görüldüğü gibi Fuzzy-PID kontrollörü araçtan istenen hız profilini dizel ve elektrikli araç modellerinde ki gibi çok az sapmalarla karşılamaktadır. Fuzzy-PID denetleyicisi, 15km/h hız talebine karşılık aracın hızını 15,67 km/h hızla, 32 km/h hız talebine karşılık aracın hızını 32,49 km/h hızla ve 50 km/h'lik hız talebine karşılık aracın hızını 50,71 km/h hızla sürmektedir.



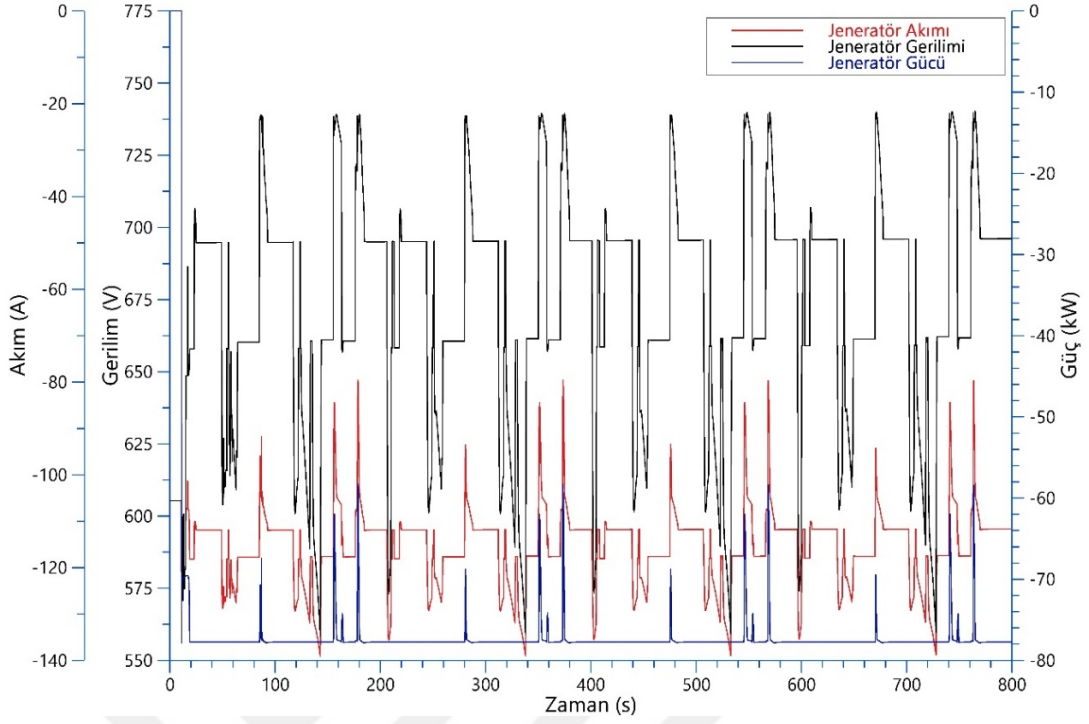
Şekil 4. 14. Elektrik Makinesinin akım, gerilim ve güç grafiği.

Şekil 4.14'de görüldüğü gibi seri hibrit araç modeline tahrik veren elektrik makinesinin akım, gerilim ve güç değerleri gözükmemektedir. Araç bu sürüş esnasında 198,61 A ve 110,87 kW'lık maksimum akım ve güç değerine ihtiyaç duymuştur. Bu akımın ve gücün kullanıldığı yer dizel ve elektrikli araçtaki gibi NEDC çevriminin 50 km/h lik hız talebinin istendiği durumdur. Ayrıca aracın frenleme esnasında rejeneratif enerji kazanımı maksimum 57,75 kW'tır.



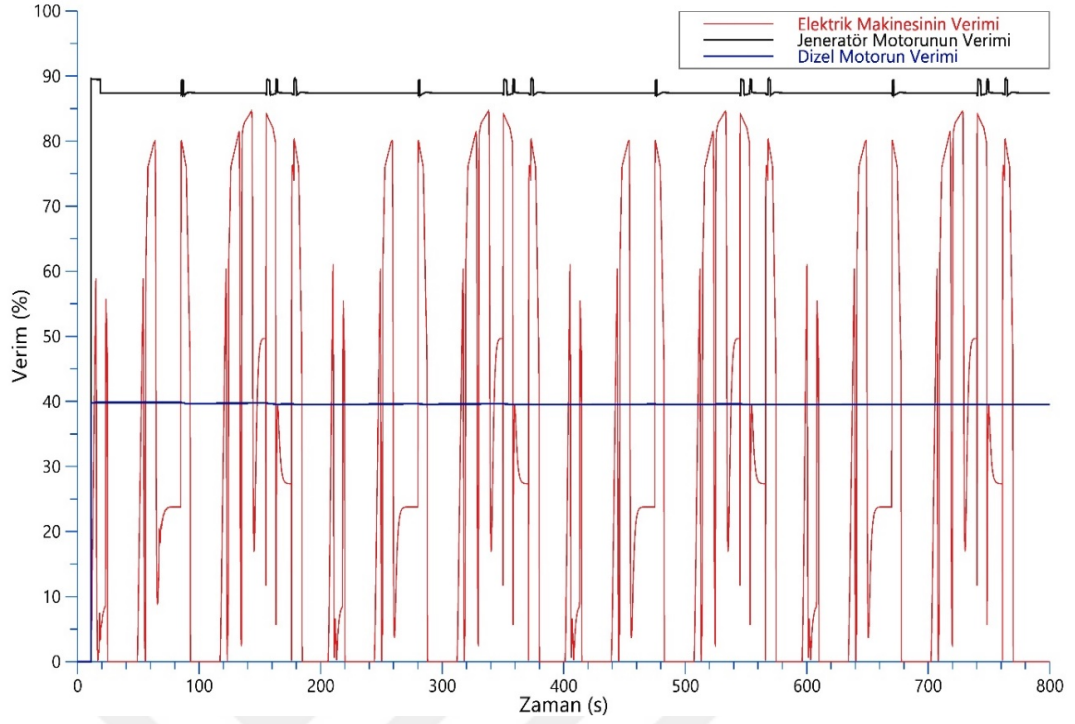
Şekil 4. 15. Dizel Motorun tork, devir ve güç grafiği.

Şekil 4.15.'de görüldüğü gibi seri hibrit aracın yapısında bulunan dizel motorun araç bataryasının %30'un altına düşmesi durumunda generatör motoruna sağladığı tork, devir ve güç değerleri gözükmemektedir. Seri hibrit araç modelinde İYM düşük yakıt tüketiminin ve yüksek gücün verileceği en ideal şartlarda çalıştırılarak generatör motoru yardımıyla bataryanın şarj edilmesi sağlanmıştır. Böylece içten yanmalı motorun 578 Nm tork değerinde, 1300 rpm devirde 78.7 kW'lık güç değerinde çalıştırılmıştır. Grafikteki düşüşler ise bizlere aracın frenleme esnasında elektrik motoru tarafından elde edilen rejeneratif enerjinin göstergesidir.



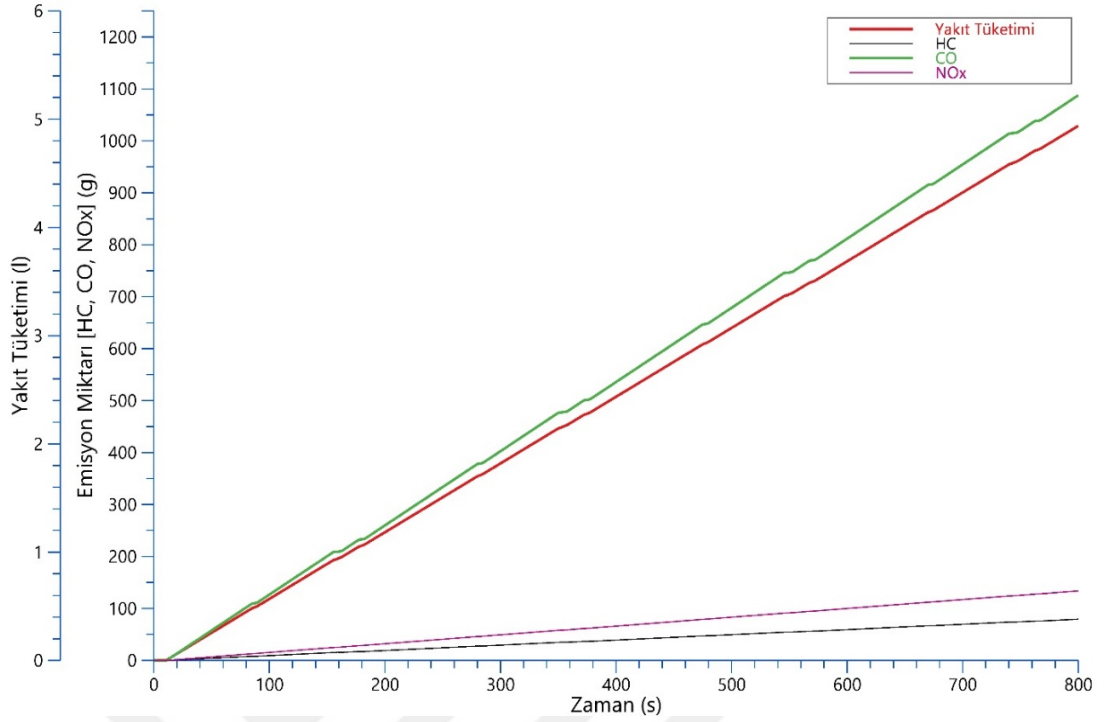
Şekil 4. 16. Generatörün akım, gerilim ve güç grafiği.

Seri hibrit aracın bataryasının şarj seviyesi %30'un altına düştüğünde tasarlanan güç yönetimi tarafından dizel ve generatörün devreye alınmaktadır. Böylece aracın bataryası şarj edilmektedir. Aracın bataryası dizel ve generatör motoru ile 77,8 kW'lık güç ile şarj edilmektedir.



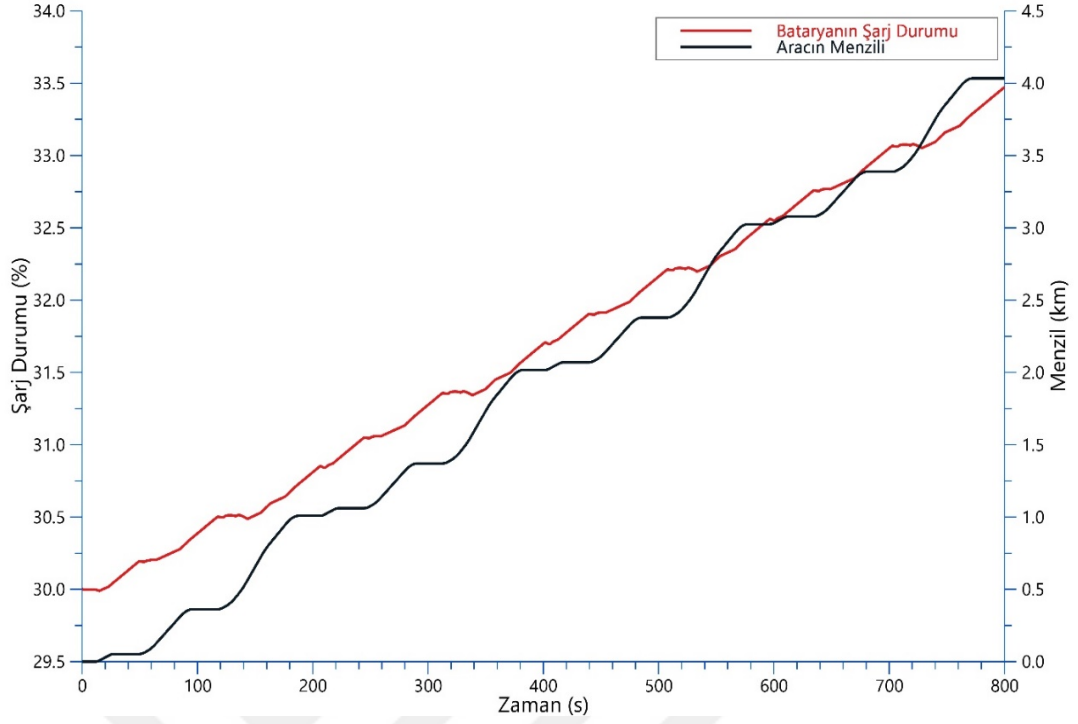
Şekil 4. 17. EM, İYM ve generatörün verimlerinin grafiği.

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi seri hibrit araç bataryasının %30’un altına düştüğü durumda sistemdeki üç motorun verimleri gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi yüksek hızlarda EM’nin verimi %84,56 değerlerine ulaşmıştır. Bataryanın şarj edilmesini sağlayan dizel ve generatör motorlarının verimleri sırasıyla %39,84 ile %89,63’tür.



Şekil 4. 18. Dizel Motorun emisyon değerleri ve yakıt tüketimi grafiği.

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi dizel motorun seri hibrit araç bataryasını %3,47’lik şarj edebilmek için harcamış olduğu yakıt tüketimi 4,94 lt’dir. Dizel ve generatör motoru ile şarj edilirken araç NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre seyahat etmeye devam etmektedir. Dizel motorun emisyon karakteristiği AVL Cruise M örneklerinden yararlanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan emisyon karakteristiğine göre, HC değeri 79,3 g, CO değeri 1087,67 g ve NO<sub>x</sub> değeri 133.74 g olarak bulunmuştur.



Şekil 4. 19. Bataryanın şarj durumu ve aracın aldığı yolun grafiği.

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi aracın 4,05 km'lik yol alırken aynı zamanda dizel ve generatör motoru tarafından araç bataryasının şarj edildiğini görebilmekteyiz. Seri hibrit otobüs modelinde bataryanın şarj seviyesi %30 olduğu kabul edilerek, aracın NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre hareketine devam ederken dizel ve generatör motoru tarafından bataryası şarj edilmektedir. Dizel ve generatör motoru tarafından aracın bataryası %30 seviyesinden %33,47 seviyesine yükseltilmiştir.

## BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 4,5 lt 'lik bir dizel yakıtlı belediye otobüsünün aynı özelliklere sahip elektrikli ve seri hibrit otobüs modellerine dönüştürülerek, NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre performansları incelenmiştir. Bu dönüşüm sırasında mevcut aracın özelliklerini karşılayabilen araç modellerinin oluşturulmasına dikkat edilmiştir. Bu kapsamda dizel aracın, elektrikli ve hibrit araç modellerine dönüştürülmeden önce sistemlerinde kullanılacak olan donanımları belirlemek için 2. Bölümde kullanılan hesaplama formülleri ile detaylı olarak açıklanmıştır. Bu hesaplamalar, elektrikli ve hibrit araçlarında kullanılacak olan elektrik makinesi ve batarya sistemini HA modülüne göre yapılmıştır. Çünkü hibrit aracın, elektrikli araçtan daha ağır olması nedeniyle daha yüksek güç değerine sahip EM'ne ve batarya sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. İki araç modelinin aynı donanım özelliklerine göre kıyaslayabilmek amacıyla EA modelinde de HA modelinde kullanılan batarya ve EM'si modelleri seçilmiştir. Yapılan bu hesaplamalara göre elektrikli ve seri hibrit araç modellerinde kullanılacak olan donanımlar detaylı teknik bilgileriyle 3. Bölümde verilmiştir. 4. Bölümde ise üç araç modelinin NEDC çevrimine göre performansları grafiklerle gösterilerek açıklanmıştır. Bu bölümde ise Dizel, elektrikli ve seri hibrit araç modellerinin NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre sonuçlarını karşılaştırarak maddeler halinde açıklamak gerekirse;

- a. Dizel araç modelinin elektrikli ve seri hibrit modellerine göre tekerleklerle sağlayabileceği maksimum tork değeri teorik olarak yüksek bir değer olarak hesaplanmıştır. Çünkü dizel araç modelinin yapısında 6 ileri 1 geri şeklinde manuel şanzımana sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak elektrikli ve seri hibrit araç modellerinde şanzıman sistemi kullanılmamasına rağmen yüksek tork ve güç değerine sahip EM kullanıldığı için dizel araç modelindeki istenen özellikte yolcu kapasitesi ve tırmanma kabiliyetine sahiptir. Ayrıca elektrikli ve seri hibrit araç

modellerinde kullanılan EM'nin çalışma devrinin ve gücünün yüksek olması nedeniyle aracın maksimum hızı mevcut dizel aracına göre daha yüksektir.

- b. Dizel, elektrikli ve seri hibrit araçların NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre sürüş esnasında tahrik motorlarından ihtiyaç duydukları maksimum güç değerleri sırasıyla 119 kW, 106,45 kW ve 110,87 kW'tır. Mevcut dizel aracın İYM'dan yüksek güç talep etmesinin nedeni yapısında manuel şanzıman sisteminin kullanılmasıdır. Çünkü aracın istenen hız değerine çıkarken gerekli olan vites konumuna geçişi sırasında zaman kaybetmesi ve vites geçişi esnasında güç kaybına uğrayarak tekerleklere aktarılmasındandır. Elektrikli ve seri hibrit modellerinde ise elektrik makineleri istenen güç değerini kısa sürede karşılayarak diferansiyel ile tekerleklere aktarabildikleri için düşük güç değerleriyle araçların ivmelenmelerini ve istenen hız değerlerine ulaşmalarının kolay olduğu sonucuna varılmıştır. Elektrikli ve seri hibrit araç modellerinin NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre tahrik motorlarından ihtiyaç duydukları maksimum güç değerlerinin farklı olmasının nedeni araçların ağırlıklarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.
- c. Dizel, elektrikli ve seri hibrit araçların NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre sürüş esnasında araçların tahrik motorlarının maksimum verimleri sırasıyla %35,1, %84,4 ve %84,57 şeklinde elde edilmiştir. Böylece elektrikli ve seri hibrit araçların verimlerinin mevcut dizel araç modeline göre yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.
- d. Mevcut dizel aracın, elektrikli ve seri hibrit araç modellerine dönüştürülmesi sonucunda en çok merak edilen konu şüphesiz ki hangi aracın menzillinin yakıt maliyetine göre daha uzun olduğudur. Menzil konusunu üç araç için ayrı ayrı ele alınarak en son kısımda toplam yakıt maliyetlerine göre kıyaslaması yapılacaktır.
- Dizel araç modelinin NEDC çevriminin şehir içi hız profilinde kullanılması durumunda şekil 4.4'te görüldüğü gibi 4,05km'lik menzil için 1,67lt yakıt harcamaktadır. Böylece 187 lt'lik yakıt deposuna sahip dizel araç modelinin full depo yakıtla toplam alacağı menzil 453,5 km'dir.
  - Elektrikli araç modelinde ise NEDC çevriminin şehir içi hız profilinde kullanılması durumunda şekil 4.8'de görüldüğü gibi 4,05km'lik menzil için bataryanın şarj durumundan %1,9'luk kısmını kullanmaktadır. Buna göre

bataryanın %100 şarj durumunda olduğu kabul edilerek bataryanın şarjının bitinceye kadar alınacak olan toplam menzil 213,2 km'dir.

- Seri hibrit araç modelini menzil açısından inceleyebilmek için iki durumda ele alınmalıdır. Birinci durum aracın bataryasının %100 şarj durumundan %30' a kadar elektrikli bir araç gibi hareket ettiği durumdur. İkinci durum ise batarya şarjının %30'un altına düştüğü durumdur. Seri hibrit aracın menzili iki durumda incelenmenin nedeni bataryanın %30 şarj durumunun altına düştüğünde dizel ve generatör motorunun bataryayı şarj etmesi için devreye alınmasından kaynaklanmaktadır.

1. Durum bataryanın %100 şarj durumundan %30'a kadar almış olduğu menzili hesaplayacak olursak. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi aracın 4,05 km yol için bataryanın %2,06'lık kısmını kullanmaktadır. Buna göre seri hibrit aracın bataryasını da %70'lik bir kısmı kullanarak toplam aldığı menzil 137 km'dir

2. Durumda ise bataryanın şarj durumu %30'un altına düştüğünde dizel ve generatör motoru tarafından aracın bataryası şarj edilmektedir. Ayrıca bu şarj esnasında araç hareket etmektedir. Şekil 4.19'da görüldüğü gibi aracın 4,05 km'lik yol alırken %30 şarj durumuna sahip bataryası dizel ve generatör motoru tarafından %33,47 seviyesine çıkartılmıştır. Yani 4,05 km'lik seyahat esnasında dizel motorun seri hibrit aracın bataryasını jeneratör motoru vasıtasıyla %3,47'lik şarj edebilmek için harcamış olduğu yakıt tüketimi 4,94 lt'dir. Buna göre 187 lt'lik yakıt deposununa sahip seri hibrit aracın tüm dizel yakıtı kullanılarak aracın bataryasını %0 değerinden %118,9'lık değere kadar şarj edebilmektedir. Dizel motor bataryayı generatörle şarj etmeyi bir defa değil güç yönetiminde belirlenen koşula göre zaman zaman yapmaktadır. Bataryanın şarj durumunu %0'dan %118,9'a kadar dizel ve jeneratör motoru tarafından doldururken alınan menzil 138,73 km'dir. Ayrıca bataryanın %30'luk değerine ek olarak %118,9 şarj değeri eklenerek bataryanın şarj seviyesi %148,9'luk bir doluluk oranına sahip olmuştur. Böylece birinci durumda

olduğu gibi seri hibrit aracın sanki full elektrikli bir araç gibi seyahat etmesi düşünülürse %148,9'luk batarya ile 292,74 km'lik yol alacaktır.

- Seri hibrit aracın toplam menzili hesaplanacak olursa  $137 + 138,73 + 292,94 = 573,47$  km'dir Böylece her üç araç modeli arasında seri hibrit araç modelinin menzilin en yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.
- Dizel, elektrikli ve seri hibrit araçların yakıt maliyetleri üzerinden bir kıyaslama yapılacak olursa;

21.01.2022 tarihinde Giresun Aytemiz petrol ofisinde satılan dizel yakıt fiyatı litre başına 14,45 TL'dir [65]. Buna göre aracın 187 lt'lik yakıt deposu 2702,2 TL'ye doldurularak, NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre dizel araç 453,5 km menzil alınmaktadır. EPDK Tarafından Onaylanan ve 1 Ocak 2022 Tarihinden İtibaren Uygulanacak Faaliyet Bazlı elektrik faturası standart tarifeye göre kwh başına 1,474 TL iken gece kullanım bedeli ise 0,7338 TL olarak belirlenmiştir [66]. Buna göre elektrikli ve seri hibrit aracın 280 kwh'lık bataryası standart tarifeye göre 412,72 TL'ye şarj edilirken gece tarifesine göre 205,464 TL'ye şarj edilmektedir. Elektrikli araç standart ve gece tarifesine göre şarj edildiği durumda 213,2 km menzil için sırasıyla 412,72 TL'ye veya 205,464 TL yakıt maliyeti ile gider. Seri hibrit aracın 573,47 km için yakıt maliyeti ise 2907,7 TL'dir. Dizel ve elektrikli araç modellerinin seri hibrit araç modelinin aldığı 573,47 km'lik menzil için yakıt maliyetleri ise dizel araç için 3417 TL iken elektrikli araç modeli için ise standart tarifeye göre 1110,2 TL iken gece tarifesine göre 552,7 TL'dir. Böylece elektrikli araç modelinin yakıt maliyeti olarak alternatif sağladığı sonucuna varılmıştır. Ancak elektrikli aracın bu menzili gidebilmesi için bataryasını iki defa şarj etmesi gerekmektedir. Elektrikli aracın bataryasını şarj etmesi için gecen sürede bu araçların en büyük dezavantajıdır. Dizel araç modeli için ise bu menzili gidebilmesi için aracın yakıt deposunu iki defa doldurması gerekmektedir. Seri hibrit araç modelinde ise aracın bataryası ve yakıt deposu bir defa doldurularak bu menzili alması büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca seri hibrit araç modeli dizel araç modeline göre daha düşük yakıt maliyeti ile bu yolu kat ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

- a. Dizel ve seri hibrit araç modellerinde kullanılan İYM'un emisyon değerlerine göre kıyaslanacak olursa, dizel aracın NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre sürüş esnasında çevreye verdiği emisyon gazları seri hibrit araç modeline göre daha iyi bir sonuç verdiği gözükmektedir. Bunun nedeni seri hibrit araç modelindeki İYM'un yüksek performansta kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Ancak seri hibrit araç modelinin yapısında bulunan İYM'un bataryanın şarj seviyesi %30'un altına düştüğünde generatörle birlikte devreye alınarak aracın bataryasını şarj etmektir. Böylece İYM'un devamlı devrede olmaması nedeniyle sistemde çalışma süresi daha azdır. Ayrıca seri hibrit araç modelinin aldığı menzil için dizel araç modeli 1,3 katı dizel yakıt tükettiğinden dolayı çevreye verdiği zararlı emisyon gazları daha fazladır. Böylece seri hibrit modelinde kullanılan İYM'un yüksek devirde generatör motoruyla bataryayı şarj etmesine rağmen emisyon açısından dizel araç modeline göre daha düşük emisyon değerine sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.
- b. Son olarak NEDC çevriminin şehir içi kullanımına göre araçların sürüşünü gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanan Fuzzy-PID denetleyicisiyle gaz ve frenleme kombinasyonları yapılarak araçların sürüşü gerçekleştirilmiştir. Böylece araçların sensörlerden aldığı bilgilerle belirlenen koşullarda benzetiminin yapılmasına olanak sağlanmıştır. Fuzzy- PID denetleyicisinin dizel, elektrikli ve hibrit modelleri için performansını gösteren grafikler 4. bölümde verilerek yorumlanmıştır. Üç araç modeli için Fuzzy-PID denetleyicisi karşılaştırılırsa, yüksek hızlarda dizel araç modelinde en iyi performansı gösterirken düşük hızlarda elektrikli ve seri hibrit araç modellerinde en iyi performansı gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Fuzzy-PID denetleyicisi, üç farklı ağırlıklara ve donanıma sahip araç modellerine göre incelendiğinde iyi bir sonuç verdiği gözükmektedir.

Sonuç olarak, elektrikli ve hibrit araç modellerinin önündeki en büyük engel batarya sorunudur. Bataryaların kapasiteleri yükseltip aynı zamanda şarj süreleri, ağırlıklarını ve maliyetleri düşürülerek elektrikli araçların menzilleri artırılabilir sonucuna ulaşılmıştır. Seri hibrit araç modelinde ise istenen düşük maliyet nedeniyle mevcut aracın dizel motoru kullanıldığı için yakıt sarfiyatı yüksek ve düşük güç değerleri elde edilmiştir. Bu nedenle aracın bataryası hızlı ve yüksek değerde şarj edilememiştir. Mevcut aracın dizel motorunun yerine daha yüksek güç ve performansa sahip düşük

hacimli benzinli veya yakıt hücreli bir motor kullanılarak bataryalar daha hızlı ve yüksek değerde şarj edilebilir sonucuna varılmıştır. Ayrıca elektrikli ve seri hibrit aracın tekerleklere aktardığı tork değerlerinin dizel araç modeline göre düşük olduğu dile getirilmişti. Bu sorunu giderebilmek için elektrikli ve seri hibrit araç modellerinde otomatik şanzıman sistemi kullanılarak aracın tork ve güç değerleri yükseltilebilir. Son olarak ise bu tez çalışmasında elektrikli ve seri hibrit modelleri gerçek hayatta tasarlanarak benzetim sonuçlarıyla karşılaştırılması yapılabilir. Bu karşılaştırmaya ek olarak bu araçların dönüşüm maliyetinin sıfır araç maliyetine göre kıyaslaması da yapılabilir. Bu önerilere ek olarak elektrikli ve seri hibrit araçların bataryalarını şarj edebilecek rüzgârgüllerine sahip veya güneş panelli şarj istasyonları üzerinde çalışmalar yapılarak araçların yakıt maliyetleri daha da düşürülebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Nyamwange J., Nyamwange M., Major Innovations in Transportation: Evolution of Automobiles. *Int. J. Humanit. Soc. Sci.*, 4, 5(1), 40-45,2014.
- [2] Kerem, A., Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *MAKÜ FEBED*, 5(1), 1-13,2014.
- [3] Çetinkaya S., Taşıt Mekaniği, 3. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık, 1-20, 2004.
- [4] Aşık, S., Türk Otomobil Tarihinde Bir İlk: Devrim Arabası, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [5] Enge, P., Enge, N. & Zoepf, S., *Electric Vehicle Engineering*, 1.st edition. McGraw Hill.1-21, 2020.
- [6] Heywood, J. B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 1. Title 11. Series, McGraw-Hill Education, V-5. 1998.
- [7] Tomac, N., Radonja, R. Bonato, J., Analysis of Henry Ford's contribution to production and management, *J. Mar. Res.*, 33, 33-45, 2019.
- [8] Alizon, F., Shooter, S. B., & Simpson T. W., Henry Ford and the Model T: Lessons for product platforming and mass customization, *ASME 2008 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE 2008*, (pp. 1-8). 2008.
- [9] Varga, B. O., Iclodean, C., & Mariasiu, F. *Electric and hybrid buses for urban transport: energy efficiency strategies*. Springer, 2016.  
[DOI 10.1007/978-3-319-41249-8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41249-8)
- [10] Gürbüz, Y., Kulaksız, A. A., Elektrikli araçlar ile klasik içten yanmalı motorlu araçların çeşitli yönlerden karşılaştırılması. *GÜFBED/GUSTIJ*, 6(2), 117-125.2016. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2016.06.011>
- [11] Tekin, M., Klasik Araç Ve Yakıt Pili Aracın Sürüş Çevrimlerine Bağlı Olarak Yakıt Tüketim Değerlerinin Hesabı ve Karşılaştırılması, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2019.

- [12] Akbıyık, E., Şehir İçi Günlük Kullanım İçin Bir Taşıtın Enerji İhtiyacının Tespiti ve Elektrik Motoru Tahrikli Haline Dönüştürülmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [13] Varol, S., Öztürk, Z. & Öztürk, O. İstanbul'da Karayolu Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araç Kullanımının İncelenmesi, ECJE, 5(2), 367-386, 2018. <https://doi.org/10.31202/ecjse.382348>
- [14] Savaşır, B., Elektrikle Tahrikli Bir Tarım Traktörünün Tasarım ve Analizi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [15] Correa, G., Munoz, P.M. & Rodriguez, C. R. A comparative energy and environmental analysis of a diesel, hybrid, hydrogen and electric urban bus, Energy, 187, 1.-15, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115906>
- [16] Rende, H., Karaman, E. & Karaman, E., Hurdaya ayrılmış bir aracın elektrikli araca dönüştürülmesi. Mühendis ve Makina, 58(688), 79-94.2017.
- [17] Solmaz, H., Kocakulak, T., Buji ile Ateşlemeli Motor Kullanılan Seri Hibrit Elektrikli Bir Aracın Modellenmesi. In Proceedings on International Conference on Technology and Science, (pp. 353-360), 2018.
- [18] Koç, C., Hibrid Araçlarda Değişik Parametrelere Göre Elektrik Motoru Seçimi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [19] Albatayneh, A., Assaf, M. N., Alterman, D., & Jaradat, M. Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles. Environ. Clim. Technol., 24(1), 669-680, 2020. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0041>
- [20] Mengi, O. Ö., Dizel Bir Aracın Elektrikli Araca Dönüşüm Performansının Değerlendirilmesi. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 30(1), 175-182, 2018.
- [21] Yongqiang, Z., Xin, Z., Jiashi, L., Haitao, H., Teng, M., & Chunyu, Z., A research on evaluation and development of single-pedal function for electric vehicle based on PID. Journal of Physics: Conference Series (pp.1-9) IoTAIMA 2020. [doi:10.1088/1742-6596/1605/1/012109](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1605/1/012109)
- [22] Chen, X., Bao, Q., & Zhang, B. Research on 4WIS electric vehicle path tracking control based on adaptive fuzzy PID algorithm. In 2019 Chinese Control Conference (CCC) (pp. 6753-6760). IEEE, 2019. [Doi: 10.23919/ChiCC.2019.8865965](https://doi.org/10.23919/ChiCC.2019.8865965)
- [23] Okan, R. Y., Energy and Power Management in Series Hybrid Vehicles, Sabancı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

- [24] Kocagöz, E., İğde, Ç. S., Çetindağ, G., Elektrikli ve akıllı, yerli ve milli: Türkiye'nin otomobili girişi grubu'nun tanıtıldığı araçlara yönelik tüketicilerin ilk değerlendirmeleri, Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 49, 55-74, 2020.
- [25] Ehsani, M., Gao, Y., Gay S. E., & Emadi, A., Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory, and Desing, Crc Press, 1-19, 2005
- [26] Tarlak, H., Elektrikli Araçlar İçin İki Yönlü Şarj Devresi Tasarımı, Kırklareli Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [27] Kirsch, David A., History of the electric automobile: battery-only powered cars, Technology and Culture, 36(3), 710-712, 1995.
- [28] Sayın, A.A., Yüksel, İ., Elektrikli renauld fluence aracı, lityum-iyon bataryasının modellenmesi ve batarya yönetimi, Mühendis ve Makine Dergisi, 52(616), 75-82, 2011.
- [29] Gök, B., Elektrikli Arabaların Tasarımı ve Simülasyonu, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [30] Gürbüz, Y., Kulaksız A. A., Elektrikli araçlar ile klasik içten yanmalı motorlu araçların çeşitli yönlerden karşılaştırılması, GÜFBED/GUSTIJ, 6(2), 117-125, 2016.
- [31] Kumar, A., Prasad, L.B., Issues, challenges and future prospects of electric vehicles: a review, 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), (pp. 1060-1065), IEEE, 2018.
- [32] Ehsani, M., Gao, Y., Longo, S., & Ebrahimi, K. M, Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. 2.Baskı, CRC press, 2018.  
<https://doi.org/10.1201/9780429504884>
- [33] Kuralay N. S., Motorlu Taşıtlarda Hibrit Tahrik, TMMOB Makine Mühendisleri Odası İzmir, 1-21, 2013.
- [34] Dubey, J., Singh, S.P., Gautam, A.K., Hybrid electric vehicles: a state of the art review, International Conference on Advanced and Agile Manufacturing Systems (pp.442-447), ICAM, 2015.
- [35] Erjavec, J., Hybrid, Electric, and Fuel-cell Vehicles. 2.st edition Cengage Learning.115- 175, 2012.

- [36] Başıyigit M. Hibrit Araçlarda Uygun Güç Yönetim Stratejilerinin Belirlenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [37] Özkan, A., Seri Hibrit Taşıt Tasarımı, İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [38] Fush, A., E., Hybrid Vehicles and the future of personal Transportation . 1st edition, CRC Press; 73-83, 2008.
- [39] Husain, I., Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamentals, CRC Press; 1st edition, 243-261, 2003.
- [40] Biliroğlu, A. Ö., Seri Hibrit Elektrikli Araçların Modellenmesi ve Kontrolü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [41] Yönet, N., AVL Programı ile Modellenen Hibrit Araç için Optimum Elektrik Motor Seçimi ve Araç Performansına Etkilerinin İncelenmesi, İskenderun Teknik Üniversitesi. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [42] AVL Cruise theory user manual, AVL list GmbH, Graz, Austria, 2021.
- [43] Boyalı, Ali. Hibrid Elektrikli Yol Taşıtlarının Modellenmesi ve Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2009.
- [44] Heisler, H., Automotive Engineering Powertrain, Chassis System and Vehicle Body. İçinde: İntroduction to Engine Desing, 1. Baskı, Butterworth-Heinemann, USA, 2009.
- [45] Vural, E., Özel, S., Dizel bir motorda  $al_2o_3$  ilaveli  $cr_2o_3$  termal bariyer kaplamaların egzoz emisyonlarına etkisi . BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 8(1). 308-318. 2019.
- [46] Staudt W., Motorlu Taşıt Tekniği: Otomotiv Mesleğinde Temel Eğitim, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, 1-10, 2000.
- [47] Benson, R. S., Whitehouse, N.D., Internal Combustion Engines A Detailed Introduction to the Thermodynamics of Spark and Compression Ignition Engines, Their Design and Development. İçinde: Description of Internal Combustion Engines, 1-24, 1979.
- [48] Turan, S., Mengi, O. Ö., & Adatepe, H. Seri ve Paralel Elektrikli Hibrit Araçların Sayısal Simülasyon ile Karşılaştırılması, KFBD, 10(2), 302-314, 2020.

- [49] <https://x-engineer.org/brake-specific-fuel-consumption-bsfc/>. Erişim Tarihi: 03.08.2020.
- [50] Bal, G., “Doğru Akım Makinaları ve Sürücüler”, Seçkin Yayıncılık San.ve Tic. A.Ş., Ankara, 57-60,2001.
- [51] Uysal, L.K., Kampüs İçi Kullanım Amaçlı Bir Elektrikli Araç Tasarımı ve Simülasyonu, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2019.
- [52] Kitiş, U., Değişken Yol Şartlarında Elektrikli Araçların Anlık Moment İhtiyacının Lyapunov Tipi Bir Gözlemleyici ile Tespiti ve Kontrolü, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- [53] Patel, N., Bhoi, A. K., Padmanaban, S., & Holm-Nielsen, J. B. (Eds.), Electric Vehicles: Modern Technologies and Trends, Springer, 107-117, 2021. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-9251-5>
- [54] Sayin, A. A. (2012). Elektrikli Taşıt Araçlarında Kullanılan Lityum-İyon Bataryaların Modellenmesi Ve Benzetimi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [55] Erdinç, O., Uzunoğlu, M., & Vural, B.. Hibrit alternatif enerji sistemlerinde kullanılan enerji depolama üniteleri, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, EEB, 2011. DOI: [10.13140/2.1.5102.5923](https://doi.org/10.13140/2.1.5102.5923)
- [56] Baker, J.. New technology and possible advances in energy storage. Energy Policy, 36(12), 4368-4373, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.040>
- [57] Nair, N. K. C. & Garimella, N., Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration, Energy and Buildings, 42(11):2124- 2130, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.002>
- [58] Reddy, B., S., Mahato, K., K., Calculation, Design and Analysis of Two Stage Single Speed Gearbox For all Terrain Vehicle For Baja Sae. Materials Today: Proceedings, 46(17), 7187-7203. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.689>
- [59] Gülbudak, K., Hafif Bir Ticari Aracın Ön Tekerlek Poyrası Sekiz Çizme Testinin Tezgah Testine Uyarlanması, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
- [60] Díaz-Rodríguez, I. D., Han, S., & Bhattacharyya, S. P., Analytical Design of PID Controllers. Springer International Publishing,1-31, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18228-1>

- [61] Chidambaram, M., Saxena, N., Relay Tuning of PID Controllers: For Unstable MIMO Processes. Springer, 1-11, 2018.  
<https://doi.org/10.1007/978-981-10-7727-2>
- [62] Mengi, O. Ö., Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Süreklilik için Akıllı Bir Enerji Yönetim Sistemi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2011.
- [63] Tang, K.S., An Optimal Fuzzy PID Controller, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 48(4), 757-765, 2001. [DOI: 10.1109/41.937407](https://doi.org/10.1109/41.937407)
- [64] Giakoumis, E. G. Driving and engine cycles, 1.Vol Springer International Publishing,2017. [DOI 10.1007/978-3-319-49034-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49034-2)
- [65] <https://www.aytemiz.com.tr/faaliyet-alanlari-hizmetler/istasyonlar-hakkinda/akaryakit-ve-pompa-fiyatlari/yakit-fiyatlari>  
Erişim Tarihi: 21.01.2022.
- [66] <https://www.epdk.gov.tr/Detay/DownloadDocument?id=W9A0Qz5+DuI=>  
Erişim Tarihi: 21.01.2022.

## ÖZGEÇMİŞ

Sertan Turan,İlk, orta ve lise eğitimlerini Giresun'da okumuştur. 2013 yılında Piraziz İsmail Yücel Anadolu Meslek Lisesi'nden mezun oldu. 2014 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü'nü 2018 yılında fakülte ve bölüm biricisi olarak üniversite eğitimini üstün başarıyla bitirdi. 2019 yılında Giresun Üniversitesi Makine Mühendisliğinde yüksek lisans eğitimine başladı. Bir dönem bilimsel hazırlık eğitimi alarak, 2022 yılında yüksek lisans eğitimini başarılı bir şekilde tamamladı.

### Yayımlar

#### **Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:**

1. Seri ve Paralel Elektrikli Hibrit Araçların Sayısal Simülasyon ile Karşılaştırılması, Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 2020.

#### **Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:**

1. Analysis Of Main Bearing Lubrication Characteristics for Single Cylinder Hydra Research Engine, 6th International Congress on Engineering and Technology Management (2021).
2. Analysis of Connecting Rod Bearing Lubrication Characteristics for Single-Cylinder Hydra Research Engine, 6th International Congress on Engineering and Technology Management (2021).

#### **Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:**

1. AVL Cruise M Programı İle Elektrikli Motosiklet Benzetimi, 2. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi (2020).

2. Avl Cruise M Programı ile Yakıt Hücreli Elektrikli Lokomotif Benzetimi, Uluslararası Çevrimçi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Konferansı (IOCENS'21), (2022).

### **Ödül(ler) ve Onur(lar)**

1. Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesinin Ağustos 2018 Fakülte 1.'liği ve aynı zamanda Otomotiv Mühendisliği Bölüm 1.'liği.
2. Ordu Üniversitesi Çizgi İzleyen Robot Yarışması (2013) Ordu Üniversitesinin düzenlemiş olduğu etkinlikte 3.'lik derecesi (Onur Belgesi).

