

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ADVISOR PROGRAMIYLA HİBRİT ELEKTRİKLİ
TAŞITLARDA BATARYA ANALİZİ**

BÜŞRA ÖZEN

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADVISOR PROGRAMIYLA HİBRİT ELEKTRİKLİ
TAŞITLARDA BATARYA ANALİZİ

BÜŞRA ÖZEN

Dr. Öğr. Üyesi Şule KUŞDOĞAN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi

.....

Doç. Dr. Nuran YÖRÜKEREN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Gürsu TEKDEMİR
Jüri Üyesi, Bursa Teknik Üniversitesi

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 11.06.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde fosil enerji kaynaklarının fiyatlarındaki artış, bunların elde edilmesindeki belirsizlikler ve tüketiminden kaynaklanan çevre sorunları daha verimli enerji kullanımına ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artmasına yol açmıştır. En önemli enerji kaynaklarından biri olan petroldeki azalma ve fiyatlarındaki artış ulaşım sektörünü ciddi oranda etkilemektedir. Diğer taraftan kirliliğin azaltılması dünyada önemli bir konu haline gelmiştir. Birçok ülke kirliliği azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Bu sebepler, otomobil endüstrisinin elektrikli taşıtları tercih etmesine olanak sağlamıştır. Elektrikli taşıtlara talebin artması bilimsel çalışmaları da beraberinde getirmiştir. Bu çalışmalardan bir tanesi de batarya sistemleridir. Batarya, elektrikli taşıtlarda enerji depolama sisteminin en önemli parametrelerinden bir tanesidir. Bu tezde elektrikli taşıtların enerji depolama-yönetim sistemleri ve ADVISOR programıyla analizleri değerlendirilmiştir. Ayrıca elektrikli taşıtlarda kullanılan depolama sistemleri karşılaştırılarak, sistemlerin geleceği ile ilgili beklenti ve öngörüler ortaya konulmuştur.

Öğrenim hayatım boyunca bana sonsuz yardım ve desteklerini sunan sevgili aileme; tez hazırlama sürecimde her an yanımda olan sevgili eşime; bu çalışmam sırasında bana değerli görüşleriyle yol gösteren ve yardım eden değerli tez danışmanım Dr. Şule KUŞDOĞAN'a teşekkürü borç bilirim.

Mayıs - 2021

Büşra ÖZEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Literatür Taraması	2
2. HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITLAR VE BATARYA ÇEŞİTLERİ	6
2.1. Hibrit Elektrikli Taşıtlar	6
2.1.1. Hibrit elektrikli taşıtların tanımı.....	6
2.1.2. Hibrit elektrikli taşıtların tarihsel gelişimi	7
2.1.3. Hibrit elektrikli taşıtların çeşitleri	9
2.1.3.1. Seri hibrit elektrikli taşıtlar.....	10
2.1.3.2. Paralel hibrit elektrikli taşıtlar	11
2.1.3.3. Seri-paralel hibrit elektrikli taşıtlar	12
2.1.3.4. Kompleks hibrit elektrikli taşıtlar.....	13
2.2. Hibrit Elektrikli Taşıtlar İçin Batarya Sistemleri	14
2.2.1. Kurşun asit batarya (Pb-Acid).....	17
2.2.2. Nikel demir batarya (NiFe)	18
2.2.3. Nikel çinko batarya (NiZn)	19
2.2.4. Nikel kadmiyum batarya (NiCd, NiCad)	19
2.2.5. Nikel metal hidrür batarya (NiMH).....	20
2.2.6. Sodyum sülfür batarya (NaS).....	21
2.2.7. Sodyum nikel klorür batarya (ZEBRA)	22
2.2.8. Lityum demir sülfat batarya (LiFePO4).....	22
2.2.9. Lityum katı polimer batarya (LiPo)	23
2.2.10. Lityum iyon batarya (Li-ion).....	23
2.3. Volanlar (Flywheel)	25
2.4. Süperkapasitörler (Ultrakapasitörler).....	28
3. ADVISOR PROGRAMININ TANITIMI.....	31
4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	38
4.1. Simülasyon Çalışmaları	38
4.1.1. Araç özelliklerinin belirlenmesi	38
4.1.2. Simülasyon sonuçları	46
4.2. Sonuçların Değerlendirilmesi	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	82
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	88
ÖZGEÇMİŞ	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	HET'lerin basit gösterimi	6
Şekil 2.2.	Ferdinand Porsche tarafından geliştirilen ilk hibrit elektrikli taşıt	7
Şekil 2.3.	Ticari olarak başarı sağlayan ilk hibrit otomobil, Toyota Prius.....	9
Şekil 2.4.	Hibrit elektrikli taşıt	10
Şekil 2.5.	Seri hibrit elektrikli taşıt	10
Şekil 2.6.	Paralel hibrit elektrikli taşıt.....	12
Şekil 2.7.	Seri-paralel hibrit elektrikli taşıt	13
Şekil 2.8.	Kompleks hibrit elektrikli taşıt	13
Şekil 2.9.	Batarya hücresi.....	14
Şekil 2.10.	Çeşitli enerji kaynaklarının güç ve enerji yoğunlukları	16
Şekil 2.11.	Kurşun-asit batarya şarj ve deşarj verimliliği	17
Şekil 2.12.	Kurşun-asit batarya yapısı.....	18
Şekil 2.13.	NiCd bataryada şarj boyunca gerçekleşen reaksiyonlar	20
Şekil 2.14.	NiMH batarya	21
Şekil 2.15.	NiMH ve NiCd teknolojilerine kıyasla Li-ion bataryaların enerji yoğunluğunun (Wh/litre) gelişimi	24
Şekil 2.16.	Li-ion batarya.....	24
Şekil 2.17.	Farklı türdeki bataryaların karşılaştırılması	25
Şekil 2.18.	Volan enerji depolama sistemi genel yapısı	26
Şekil 2.19.	Çeşitli volan rotor malzemelerinin özgül enerji içeriğinin li-ion batarya ve fosil yakıtlarla karşılaştırılması.....	27
Şekil 2.20.	Farklı türde enerji depolama teknolojilerinin Ragone grafiği.....	28
Şekil 2.21.	Süperkapasitör hücresi	29
Şekil 2.22.	Batarya ve süperkapasitörün enerji ve güç yoğunluğu özellikleri açısından karşılaştırılması	30
Şekil 3.1.	Model gelişimi ve geçmişi	32
Şekil 3.2.	Matlab altında ADVISOR açılış penceresi	33
Şekil 3.3.	ADVISOR araç giriş ekranı	34
Şekil 3.4.	ADVISOR simülasyon kurulum ekranı	35
Şekil 3.5.	ADVISOR sonuçları ekranı	36
Şekil 3.6.	Enerji depolama sistemi (ESS) ADVISOR modeli	37
Şekil 4.1.	Seri hibrit elektrikli taşıt blok diyagramı	38
Şekil 4.2.	Paralel hibrit elektrikli taşıt blok diyagramı	39
Şekil 4.3.	Taşıt simulink blok diyagramı	41
Şekil 4.4.	İçten yanmalı motor simulink blok diyagramı.....	41
Şekil 4.5.	İçten yanmalı motor verimlilik haritası	42
Şekil 4.6.	Egzoz sistemi simulink blok diyagramı	43
Şekil 4.7.	Elektrik motoru simulink blok diyagramı.....	43
Şekil 4.8.	UDDS sürüş çevrimi hız-zaman grafiği.....	45
Şekil 4.9.	HWFET sürüş çevrimi hız-zaman grafiği.....	45
Şekil 4.10.	Seri hibrit elektrikli taşıt giriş ekranı	46
Şekil 4.11.	Simülasyon sonuç penceresi	47

Şekil 4.12. Karşılaştırma parametre giriş ekranı	47
Şekil 4.13. Simülasyon karşılaştırma ekranı	48
Şekil 4.14. UDDS sürüş güzergâhı hız-zaman değişimi	48
Şekil 4.15. UDDS sürüşü seri hibrit taşıt batarya şarj durumu	49
Şekil 4.16. UDDS sürüşü seri hibrit taşıt toplam emisyon-zaman değişimi a) CO emisyon değerleri, b) HC emisyon değerleri, c) NOx emisyon değerleri	50
Şekil 4.17. HWFET sürüş güzergâhı hız-zaman değişimi	51
Şekil 4.18. HWFET sürüşü seri hibrit taşıt şarj durumu	51
Şekil 4.19. HWFET sürüşü seri hibrit taşıt emisyon değeri-zaman değişimi a) CO emisyon değerleri, b) HC emisyon değerleri, c) NOx emisyon değerleri	52
Şekil 4.20. Paralel hibrit elektrikli taşıt giriş ekranı	53
Şekil 4.21. UDDS sürüşü paralel hibrit taşıt batarya şarj durumu	53
Şekil 4.22. UDDS sürüşü paralel hibrit taşıt emisyon değeri-zaman değişimi a) CO emisyon değerleri, b) HC emisyon değerleri, c) NOx emisyon değerleri	54
Şekil 4.23. HWFET sürüşü paralel hibrit taşıt batarya şarj durumu	55
Şekil 4.24. HWFET sürüşü paralel hibrit taşıt emisyon değeri-zaman değişimi a) CO emisyon değerleri, b) HC emisyon değerleri, c) NOx emisyon değerleri	55
Şekil 4.25. UDDS sürüşü tam elektrikli taşıt batarya şarj durumu	56
Şekil 4.26. HWFET sürüşü tam elektrikli taşıt batarya şarj durumu	57
Şekil 4.27. UDDS ve HWFET sürüşü tam elektrikli taşıt emisyon değerleri.....	57
Şekil 4.28. UDDS sürüşü batarya şarj durumu-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	58
Şekil 4.28. (Devam)UDDS sürüşü batarya şarj durumu-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	59
Şekil 4.29. UDDS sürüşü batarya akım-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	59
Şekil 4.29. (Devam)UDDS sürüşü batarya akım-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	60
Şekil 4.30. UDDS sürüşü depolanan enerji değişimleri a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	61
Şekil 4.31. UDDS sürüşü batarya sıcaklığı-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	62
Şekil 4.32. HWFET sürüşü batarya şarj durumu-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	67
Şekil 4.33. HWFET sürüşü batarya akım-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	68
Şekil 4.34. HWFET sürüşü depolanan enerji değişimleri a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	69
Şekil 4.35. HWFET sürüşü batarya sıcaklığı-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	70
Şekil 4.36. Farklı güçteki motorların batarya şarj durumu-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn	75

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1.	Hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan batarya teknolojileri	16
Tablo 4.1.	Seçilen hibrit taşıtlarda kullanılan değişkenler	40
Tablo 4.2.	Seçilen bataryaların özellikleri	44
Tablo 4.3.	UDDS sürüş çevriminin teknik özellikleri.....	45
Tablo 4.4.	HWFET sürüş çevriminin teknik özellikleri.....	45
Tablo 4.5.	Seri topoloji için seçim kriterleri	46
Tablo 4.6.	Paralel topoloji için seçim kriterleri.....	53
Tablo 4.7.	Seri hibrit taşıt UDDS sürüşü egzoz emisyon değerleri	63
Tablo 4.8.	Paralel hibrit taşıt UDDS sürüşü egzoz emisyon değerleri.....	63
Tablo 4.9.	Seri hibrit taşıt UDDS sürüşü yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması	64
Tablo 4.10.	Paralel hibrit taşıt UDDS sürüşü yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması	64
Tablo 4.11.	Seri hibrit taşıt UDDS sürüşü en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması	65
Tablo 4.12.	Paralel hibrit taşıt UDDS sürüşü en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması	65
Tablo 4.13.	Seri hibrit taşıt UDDS sürüşü ivme testi.....	66
Tablo 4.14.	Paralel hibrit taşıt UDDS sürüşü ivme testi	66
Tablo 4.15.	Seri hibrit taşıt HWFET sürüşü emisyon değerleri.....	71
Tablo 4.16.	Paralel hibrit taşıt HWFET sürüşü emisyon değerleri	71
Tablo 4.17.	Seri hibrit taşıt HWFET sürüşü yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması	72
Tablo 4.18.	Paralel hibrit taşıt HWFET sürüşü yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması	72
Tablo 4.19.	Seri hibrit taşıt HWFET sürüşü en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması	73
Tablo 4.20.	Paralel hibrit taşıt HWFET sürüşü en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması	73
Tablo 4.21.	Seri hibrit taşıt HWFET sürüşü ivme testi.....	74
Tablo 4.22.	Paralel hibrit taşıt HWFET sürüşü ivme testi	74
Tablo 4.23.	Yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması.....	76
Tablo 4.24.	En yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması.....	76
Tablo 4.25.	İvme testi.....	76
Tablo 4.26.	Emisyon değerleri	77
Tablo 4.27.	UDDS sürüşü batarya performans tablosu	77
Tablo 4.28.	HWFET sürüşü batarya performans tablosu.....	78
Tablo 4.29.	Seçilen parametreler açısından UDDS sürüşü batarya performans tablosu.....	79

Tablo 4.30. Seçilen parametreler açısından HWFET sürüşü batarya performans tablosu.....	79
---	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ah	: Amper-saat kapasite
CO	: Karbonmonoksit
Cd(OH) ₂	: Kadmiyum hidroksit
HC	: Hidrokarbon
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
NaS	: Sodyum sülfür
NiCad (NiCd)	: Nikel kadmiyum
NiFe	: Nikel demir
NiMH	: Nikel metal hidrür
Ni(OH) ₂	: Nikel hidroksit
NiOOH	: Nikel oksihidroksit
NO _x	: Azot oksit
NiZn	: Nikel çinko
LiFePO ₄	: Lityum demir sülfat
Li-ion	: Lityum iyon
LiPo	: Lityum katı polimer
Pb-acid	: Kurşun asit
PbO ₂	: Kurşun dioksit
PM	: Partikül madde
Rint	: Dâhili (iç) direnç

Kısaltmalar

ADVISOR	: Advanced Vehicle Simulator (Gelişmiş Araç Simülatörü)
ANFIS	: Using Adaptive Neural-Fuzzy Inference Systems (Uyarlanabilir Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi)
AVTE	: Advanced Vehicle Test Emulator (Gelişmiş Araç Test Emülatörü)
DoD	: Depth of Discharge (Deşarj durumu)
DOE	: Department of Energy (Enerji Bakanlığı)
ESS	: Energy Storage System (Enerji Depolama Sistemi)
EV	: Electric Vehicle (Elektrikli Araç)
FESS	: Flywheel Energy Storage System (Volan Enerji Depolama Sistemi)
FLC	: Fuzzy Logic Controller (Bulanık Mantık Denetleyicisi)
GUI	: Graphical User Interface (Kullanıcı dostu ara yüzü)
HCCI	: Homojen Dolgulu Sıkıştırma ile Ateşlemeli Motor
HET	: Hibrit Elektrikli Taşıt
HWFET	: Highway Fuel Economy Test
INEEL	: Idaho National Engineering and Environmental Laboratory (Idaho Ulusal Mühendislik ve Çevre Laboratuvarı)
İYM	: İçten Yanmalı Motor
MDS	: Magneto-dinamik Enerji Depolama Sistemi
NREL	: National Renewable Energy Laboratory (Ulusal Yenilenebilir Enerji)

	Laboratuvarı)
PHEV	: Plug-in Hybrid Vehicle (Fişli Hibrit Elektrikli Araç)
PHV	: Parallel Hybrid Vehicle (Paralel Hibrit Araç)
PMSM	: Permanent Magnet Synchronous Motor (Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor)
PNGV	: Partnership for a New Generation of Vehicles (Yeni Nesil Araçlar İçin Ortaklık)
SG	: Smart Grid (Akıllı Şebeke)
SoC	: State of Charge (Şarj Durumu)
SWRI	: Southwest Research Institute (Southwest Araştırma Enstitüsü)
TE	: Transportation Electrification (Ulaşım Elektrifikasyonu)
UDDS	: Urban Dynamometer Driving Syhedule
VEDS	: Volan Enerji Depolama Sistemi
V2G	: Vehicle to Grid (Araçtan Şebekeye)



ADVISOR PROGRAMIYLA HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITLARDA BATARYA ANALİZİ

ÖZET

Bataryalar tüm taşıt sistemi içerisinde enerji depolama sistemi olarak kullanılan ana unsurlardandır. Bu nedenle bir taşıtta batarya sisteminin; tesis edilmesinden önce, sisteme uyumluluğunun analizinin yapılması, maliyet ve güvenlik bakımından oldukça önemlidir. Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen ADVISOR programı bu tür sistemlerin mukayesesinin yapılmasını sağlamaktadır. Bu tezde hibrit elektrikli taşıtlardaki batarya sistemleri, ADVISOR programı kullanılarak incelenmiş ve farklı hibrit taşıt türleri için karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: ADVISOR, Batarya Sistemleri, Hibrit Elektrikli Taşıtlar.

BATTERY ANALYSIS IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES WITH THE ADVISOR PROGRAM

ABSTRACT

Batteries are one of the main elements used as an energy storage system in the entire vehicle system. For this reason, the battery system in a vehicle; it is very important in terms of cost and security to analyze its compatibility with the system before it is installed. The ADVISOR program developed by the American National Renewable Energy Laboratory (NREL) enables the comparison of such systems. In this thesis, battery systems in hybrid electric vehicles have been analyzed using ADVISOR program and compared for different hybrid vehicle types.

Keywords: ADVISOR, Battery Systems, Hybrid Electric Vehicles.

GİRİŞ

Dünyada çevre koşullarının bozulması, uzun yıllardır insanlık tarafından en çok tartışılan konulardan biri haline gelmiştir. Çevreyi koruma eğiliminin artması ve petrol rezervlerinin azalması, otomobil üreticilerini yeni çözümler üretmeye ve yeni alternatif enerji kaynakları arayışına zorlamıştır. Bu arayış, elektrik motorlarını araca entegre etme fikrini ortaya çıkarmıştır. Böylece elektrik motoru ve içten yanmalı motor (İYM) kombinasyonu ile birlikte hibrit teknolojisi meydana gelmiştir. Hibrit elektrikli taşıtlar bugün çeşitli üreticiler tarafından geliştirilmektedir. Son zamanlarda yakıt tüketimi ve yüksek kirlilik sorununa çözüm olarak kabul edilen hibrit elektrikli taşıtlara yönelik talebin artması bilimsel çalışmalarını da beraberinde getirmektedir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, hibrit elektrikli taşıt bileşenlerinin en önemli parametrelerinden biri olan enerji depolama sistemlerinin ADVISOR programında modellenerek seçilen seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan beş farklı bataryanın taşıt üzerindeki şarj durum grafikleri, yakıt sarfiyatları ve benzin eşdeğerleri, en yüksek ivmelenme ve hız testleri ve emisyon değerlerini karşılaştırmalı olarak göstermektir.

1.2. Literatür Taraması

Hibrit elektrikli taşıtlar ile ilgili incelenen yayınların özellikle son 20 yılda arttığı görülmektedir. Araştırma konularında test olanaklarının laboratuvar ortamlarında sınırlı veya ücretli olması sebebiyle makale veya tez gibi bilimsel çalışmaların daha çok ADVISOR araç benzetim programında yoğunlaştığı görülmektedir.

Bu çalışmaların birçoğu fiziksel testlerle onaylanan çalışmalardır. İncelenen yayınlardan bazıları aşağıda sıralanmaktadır.

Xue ve arkadaşlarının yayınladıkları makalede hibrit elektrikli araçlar detaylı bir şekilde tanıtılmıştır. Çok seviyeli bir sınıflandırma, hibridizasyon derecesi, motorun konumu, güç aktarım mekanizması gibi bileşenler ayrıntılı olarak incelenmiştir [1].

Kavalchuk ve arkadaşları, elektrikli taşıtlar için güç yönetimi yöntemlerini, sorunlarını ve zorluklarını tartışmışlardır. Ayrıca yayınladıkları bu makalede elektrikli taşıtların kullanılabilirliğini arttırmak için araçta daha iyi güç yönetimi önerilerini sunmaktadırlar [2].

Bhurse ve Bhole, rejenaratif frenleme tekniğinin sürüş menziline olan katkısını araştırmak için çeşitli enerji depolama sistemleri (volan, ultra kapasitör vb.) kullanarak sonuçlarını birbirleriyle kıyaslamıştır [3].

Burke ve arkadaşları, hibrit ve yakıt hücreli taşıtlarda enerji depolama cihazı olarak yaygın kullanılan süperkapasitör ve lityum bataryaların uygulamaları hakkında karşılaştırma yapmışlardır. Aynı zamanda süperkapasitörlerin lityum bataryalara kıyasla maliyetini tartışmışlardır [4].

Buchroithner ve arkadaşları, bir volan enerji depolama sisteminin (FESS) hızlı şarj istasyonuna entegre edilmesiyle şebekeyi stabilize etmeyi amaçlamışlardır. Aynı zamanda FESS'in faydalarından bahsetmişler ve farklı kullanım örneklerini tartışmışlardır [5].

Shaukat ve arkadaşları tarafından yayınlanan makalede elektrikli taşıtlar ile ilgili birçok konu ele alınmıştır. Ulaşım elektrifikasyonu (TE), V2G (vehicle to grid) teknolojisinin uygulamasını ve akıllı şebekelerde (SG) elektrikli taşıtlarda kullanılan çeşitli enerji depolama teknolojilerini incelemişlerdir. Ayrıca şarj altyapısı gereksinimlerine değinerek güncel sorunları da gözden geçirmişlerdir [6].

Chowdhury ve arkadaşları, hibrit elektrikli taşıt sisteminin güç aktarım mekanizmasını bir simulink model ile tanıtmışlardır. Aynı zamanda tasarladıkları modele şarj cihazı ekleyerek ayrıntılı analiz yapmışlardır [7].

Xue ve arkadaşları yayınladıkları makalede süperkapasitörler ile çalışan hafif elektrikli taşıtların elektromekanik sistemin modellenmesi, hızlanma, eğim yeteneği ve seyahat mesafesi performanslarını tahmin etmek amacıyla bir örnek tasarlayıp simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir [8].

Gao ve arkadaşları, elektrikli ve hibrit taşıtlar için farklı modelleme ve benzetim yöntemlerini ele almışlardır [9].

Solmaz ve Kocakulak, piyasadaki bir taşıtın özelliklerinin seri hibrit bir elektrikli taşıtta kullanılarak içten yanmalı motor yerine homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) motorun seçilmesiyle elde edilen taşıtın modellemesini yapmışlardır [10].

Köklükaya ve arkadaşları, hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan güç elektroniği devrelerinden birini Matlab/Simulink programında tasarlayıp sonuçlarını değerlendirmişlerdir [11].

Amaç ve arkadaşları, örnek bir uygulama ile bir taşıtın tüm performansını ilgilendiren elektriksel sistemin analizini ve benzetişimini yapabilen ADVISOR programını yayınlanan bir makalelerinde tanıtmışlardır [12].

Markel ve arkadaşları, ADVISOR programının tanıtımını yaparak taşıt modellemek için kullanılan temel yaklaşımı tartışmışlardır [13].

Kunt, otomobil lastiklerindeki yuvarlama direnci katsayısının taşıt performansına etkisini göstermek amacıyla ADVISOR programını kullanarak analiz yapmıştır [14].

Erdem ve Taci, sürüşteki farklı eğim durumlarının rejeneratif frenleme üzerindeki etkisi ve sonuçlarını ADVISOR kullanarak yorumlamışlardır [15].

Türkmen ve arkadaşları, örnek bir uygulama ile yakıt pili sistemlerini ADVISOR kullanarak modellemişlerdir [16].

Pangaribuan ve Purwadi, 2012 model Toyota Camry Hibrit aracının EV (elektrikli araç) modunda kullanılan PMSM'nin (Kalıcı Mıknatıslı Senkron Motor) tork ve hız çıkışını ve aynı zamanda ihtiyaç duyduğu gücü belirlemek için ADVISOR programında analiz yapmışlardır [17].

Wen Xu ve Zheng, seri hibrit elektrikli taşıtları, güç takipçisi ve termostat kullanan bir kontrol stratejisi önererek ADVISOR yardımıyla incelemişlerdir [18].

Meng ve Langlois, yakıt tüketimini en aza indirmeyi amaçlayarak paralel hibrit taşıta (PHV), bulanık mantık denetleyicisi (FLC) optimize ederek uyarlanabilir sinirsel-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) kullanarak ADVISOR üzerinde analizler yapmışlardır [19].

Zhou ve Li, çalışmalarında elektrikli taşıtlarda hibrit güç kaynağı olan batarya ve süperkapasitörlerin enerji depolama durumlarına dayanan bulanık denetleyici ve geliştirilmiş bulanık denetleyici modelini Matlab/Simulink ortamında oluşturmuş olup ADVISOR programında yer alan saf elektrikli bir taşıta yerleştirmişler ve sonuçları yorumlamışlardır [20].

Deyang ve arkadaşları, Çin Şangay'daki şehir içi benzinli taksileri elektrikli taksilere (e-taksi) yükseltebilmek için ADVISOR tarafından 15-100 kWh bataryalı e-taksi

modelleri oluşturmuş ve simüle etmişlerdir. Analiz sonuçlarını birçok parametre (enerji tüketimi, karlılık, emisyon vb.) cinsinden yorumlamışlardır [21].

Bin ve arkadaşları, hibrit elektrikli kamyon ve fişli hibrit elektrikli (PHEV) kamyonların yakıt tüketimini incelemek için ADVISOR aracılığıyla simülasyon gerçekleştirmişler ve sonuçları karşılaştırmışlardır [22].

Bradai ve arkadaşları, çalışmalarında ADVISOR programı hakkında kısa bir bilgi verip hafif ve tam arazi hibrit taşıtlarda farklı çekiş zinciri konfigürasyonları analizini ve simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir [23].

Rashid ve Danial, güç bölmeli fişli bir hibrit elektrikli taşıtın (PHEV) nasıl modelleneceği ve ADVISOR kullanarak nasıl simüle edileceğini yaptıkları çalışmayla örneklemişlerdir [24].

Niknamian, yaptığı çalışmada hibrit elektrikli taşıtta en uygun performansı seçmek için bir kontrol stratejisi tasarlayarak ADVISOR yardımıyla analiz yapmıştır [25].

Johnson, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nın (NREL) Matlab/Simulink ortamında geliştirmiş olduğu ADVISOR programındaki batarya modelleme çeşitlerini özetlemiştir [26].

Yaich ve arkadaşları, üç farklı taşıt tipinde (elektrikli taşıt, seri hibrit elektrikli taşıt, paralel hibrit elektrikli taşıt) yakıt ekonomisi, enerji verimliliği ve emisyon gibi kategorileri incelemek için ADVISOR programında modelleme yaparak simülasyon sonuçlarını tartışmışlardır [27].

Saleki ve arkadaşları, hibrit elektrikli taşıtların hem paralel hem de seri yapılarını tipik bir sedan aracın özelliklerini kullanarak modelleme yapmışlardır. ADVISOR aracılığıyla yaptıkları bu çalışmada benzetim sonuçlarını her iki tip taşıt için de kıyaslamışlardır [28].

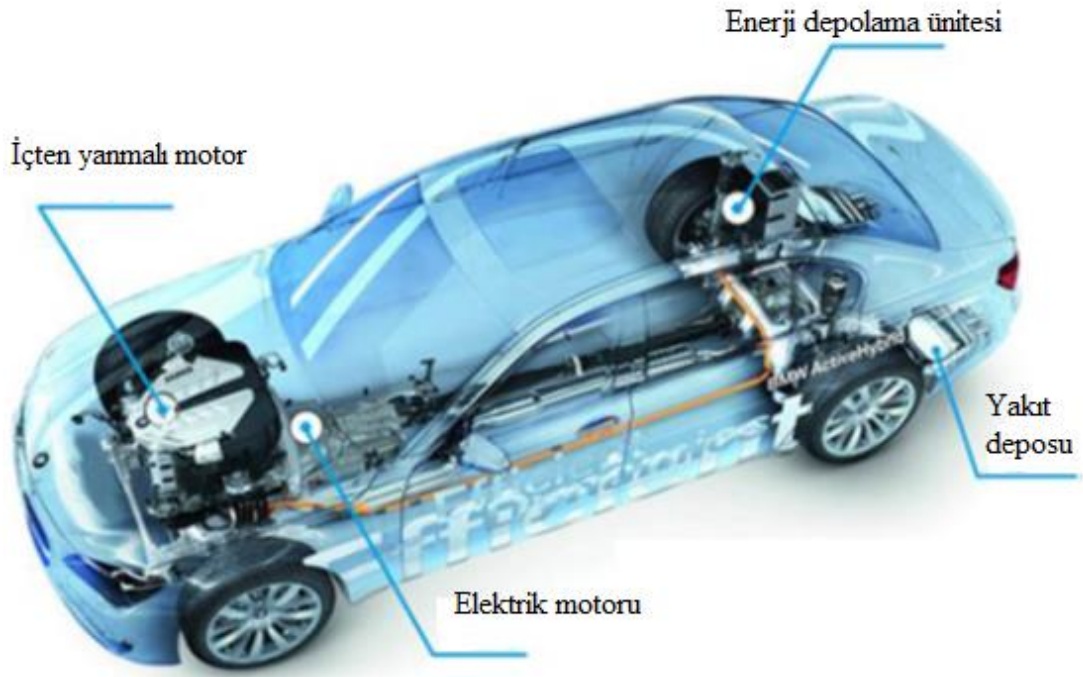
Rezazade ve arkadaşları, hibrit elektrikli taşıtlar için paralel ve seri tasarım arasında karşılaştırma yapmışlardır. Bu araçları ADVISOR tarafından tasarlanan parametrelerle simüle etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda paralel hibrit bir sedan aracın seri hibrite göre daha avantajlı olduğu sonucuna varmışlardır [29].

2. HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞITLAR VE BATARYA ÇEŞİTLERİ

2.1. Hibrit Elektrikli Taşıtlar

2.1.1. Hibrit elektrikli taşıtların tanımı

Fransızcadan dilimize geçen ‘hibrit’ sözcüğü Türk Dil Kurumu’nda ise “melez veya iki farklı enerji kaynağının bir arada bulunması” anlamlarını taşımaktadır. İsveç Ulusal Ansiklopedisinde “Hibrit Taşıt” kavramı, “sürüş sırasında kullanılacak tipi, bir kontrol sisteminin belirlediği birden çok enerji dönüştürücü ve depolama ünitesine sahip taşıt” şeklinde tanımlanmıştır [30]. Bu tanımdaki enerji dönüştürücüsü günümüzde yaygın olarak kullanılan içten yanmalı motor veya elektrik motorudur. Depolama ünitesi ise batarya, volan veya süperkapasitör olabilir.



Şekil 2.1. HET'lerin basit gösterimi

Hibrit elektrikli taşıtlar (HET), bünyelerinde hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru barındırırlar. HET’ler her bir motorun dezavantajlarını en aza indirgeyerek

hem elektrikli taşıtların hem de içten yanmalı motora sahip taşıtların avantajlarını birlikte sağlarlar.

Tam elektrikli taşıtların yüksek verimliliklerini ve düşük emisyonlarını, içten yanmalı motorlara sahip konvansiyonel taşıtların ise menzilin ve hızlı yakıt ikmal yeteneklerini kullanırlar [31]. Şekil 2.1’de HET’lerin şematik olarak basit gösterimi verilmiştir.

2.1.2. Hibrit elektrikli taşıtların tarihsel gelişimi

Hibrit elektrikli taşıtların tarihi 1900’lü yıllara kadar uzanmaktadır. Son dönemlerde seri üretimi hızla çoğalan hibrit elektrikli taşıtların tarihsel gelişimi bu bölümde özetlenmiştir.

Ferdinand Porsche, 1900 yılında Paris fuarında “Elektromobil” ismini verdiği aracı görücüye çıkarmıştır. En başta tamamen elektrikli olan bu araca ertesini yıl bataryaları şarj etmek için bir içten yanmalı motor ekleyerek ilk hibrit aracı meydana getirmiştir. Porsche’nin tasarladığı bu araç tarihteki ilk hibrit araçtır [32]. Şekil 2.2, geliştirilen ilk hibrit taşıtı göstermektedir [33].



Şekil 2.2. Ferdinand Porsche tarafından geliştirilen ilk hibrit elektrikli taşıt [33]

1915 yılında Woods Motor Vehicle firmasındaki üreticiler, piyasanın ikinci hibrit otomobil olma özelliği taşıyan Dual Power hibrit taşıtı geliştirmişlerdir. Porsche seri hibriti icat ederken, Woods paralel hibrit taşıtı icat etmiştir [65].

Woods Dual Power aynı zamanda 1918 yılında, seri üretime giren ilk hibrit taşıt özelliğine sahipti. Totalde 600 civarında model üretilmiştir [65].

Elektrik mühendisi Victor Wouk, 1960-1970 yılları arasında Buick Skylark konvansiyonel aracını hibrit hale dönüştürmüştür. Ancak Amerikan hükümetinin finans kaynaklı projeyi desteklememesi sebebiyle maddi problemler yaşamış ve projeyi bırakmak zorunda kalmıştır [34].

1970'lerde başlayan OPEC Petrol Krizi nedeniyle benzin fiyatlarının artması, alternatif enerji kaynaklarıyla çalışabilen taşıtların tekrar gündeme gelmesine sebep olmuştur. Bu durum hibrit elektrikli taşıtlara olan çalışmaların artmasına sebep olmuştur [35].

Hibrit elektrikli taşıtlar için önemli parametrelerden biri olan rejenaratif frenleme sistemi 1978 yılında David Arthurs tarafından ilk olarak Opel GT üzerinde denenmiştir [36].

1993 yılında ABD yönetimindekiler, benzin dışındaki alternatif enerji kaynakları ile çalışabilen taşıtların seri üretiminin acil olduğunu kabul etmiştir. PNGV'de (Yeni Nesil Araçlar için Ortaklık) hibrit elektrikli taşıtların geliştirilmesi ve üretiminin iyileştirilmesi amacıyla Chrysler, Ford, GM ve USCAR'ın yanı sıra çok sayıda devlet kurumu bir araya gelerek güçlerini birleştirmişlerdir [65].

1997 yılında Honda ve Toyota firmaları, Honda Insight ve Toyota Prius modellerini piyasaya sürerek seri üretime geçiş yolunda önemli bir adım atmışlardır. Bu araçlar ticarileştirilen ilk araçlardır. Şekil 2.3'te ticari olarak başarı sağlayan ilk hibrit taşıt Toyota Prius gösterilmektedir [37].



Şekil 2.3. Ticari olarak başarı sağlayan ilk hibrit otomobil, Toyota Prius

İlk hibrit elektrikli dört çeker araç (SUV) Ford Escape 2005 yılında piyasaya sürülmüştür [65].

Toyota, hibrit elektrikli taşıt çalışmalarını ara vermeden giderek arttırmıştır ve 2006 yılında Camry modelini piyasaya sürmüştür [36].

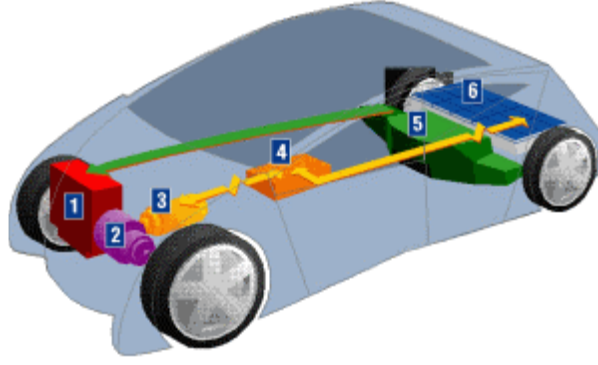
Lityum iyon bataryaların kullanıldığı ilk hibrit elektrikli taşıt olma özelliğine sahip olan “S400 BlueHybrid” Mercedes-Benz tarafından 2009 yılında, Chicago Otomobil Fuarı’nda tanıtılmıştır [36].

Toyota, C-HR modeli SUV sınıfı hibrit elektrikli taşıtını 2016 yılının başlarında üretmeye başlamıştır [36].

Hibrit elektrikli taşıtların dünyadaki ve ülkemizdeki pazar payı günden güne giderek hızla artış göstermektedir. Toyota, hibrit elektrikli taşıt satışında 2017 yılı itibariyle Dünya üzerinde 10 milyon âdete ulaştığını açıklamıştır [36].

2.1.3. Hibrit elektrikli taşıtların çeşitleri

Hibrit elektrikli taşıtlarda motorun tahrik edilebilmesi için hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru birlikte çalışmaktadır [38]. Burada amaç tam elektrikli taşıta içten yanmalı motor ekleyerek aracın menzilini ve gücünü arttırmaktır. Şekil 2.4’te görüldüğü gibi bir hibrit elektrikli taşıt, temel olarak bir batarya, güç elektroniği elemanı, elektrik motoru ve içten yanmalı motordan meydana gelmektedir.



Şekil 2.4. Hibrit elektrikli taşıt [39]

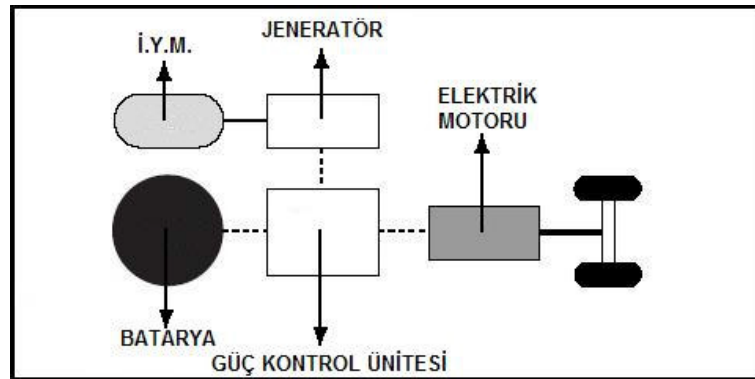
Şekildeki hibrit elektrikli taşıtın temel unsurları aşağıda belirtildiği gibidir;

1. İçten yanmalı motor
2. Transmisyon (aktarma organı)
3. Elektrik motoru
4. Güç elektroniği (dönüştürücü)
5. Yakıt tankı
6. Enerji depolama ünitesi (batarya, volan, süperkapasitör vb.)

Hibrit elektrikli taşıtlar güç organlarının birbirleriyle olan ilişkilerine göre genel olarak seri hibrit, paralel hibrit, seri-paralel hibrit ve kompleks (karmaşık) hibrit olmak üzere dört ana grupta sınıflandırılır.

2.1.3.1. Seri hibrit elektrikli taşıtlar

Seri hibrit elektrikli taşıtlar, iki farklı güç kaynağının aracı tahrik eden tek bir elektrik motorunu beslediği taşıtlardır [40]. Tekerleklere iletilen tahrik gücü sadece elektrik motorundan sağlanmaktadır.



Şekil 2.5. Seri hibrit elektrikli taşıt [30]

Batarya ve içten yanmalı motor tarafından tahriklenen jeneratör, elektrik motorunun çalışabilmesi için gerekli olan enerjiyi üretir. Büyük miktarlarda güç gerektiğinde, elektrik motoru hem bataryadan hem de jeneratörden elektrik enerjisi çeker [41]. Şekil 2.5'te seri hibrit elektrikli taşıt yapısı gösterilmiştir.

Seri hibrit elektrikli taşıtların bazı avantajları şunlardır;

- İYM asla rölantide kalmaz, bu da taşıt emisyonlarını azaltır.
- İYM uygun performans için bir jeneratör çalıştırır.
- Tasarım, motoru ve taşıt bileşenlerini monte ederken çeşitli seçeneklere izin verir.
- Bazı seri hibrit taşıtların şanzımana ihtiyacı yoktur.

Dezavantajları ise seri hibrit elektrikli taşıtlar diğer hibrit taşıtlara göre daha büyüktür ve daha ağır batarya barındırması gerekir. Bu yüzden motor batarya şarjını korumak için daha çok çalışır ve zamanla motorun verimi düşer [31].

Seri hibrit elektrikli taşıtlar, düşük hız ve sürekli dur kalk olan şehir içi trafiğinde çok avantajlıdır. Fakat bu durum yüksek hız ve uzun yol sürüşlerinde içten yanmalı motorun verimsiz çalışmasıyla yerini dezavantaja bırakır. Seri hibrit taşıtlardaki avantaj ve dezavantaj kıstaslarına bakıldığında günümüzde aktif olan projeler şehir içi toplu ulaşım taşıtlarında sürdürülmektedir [30].

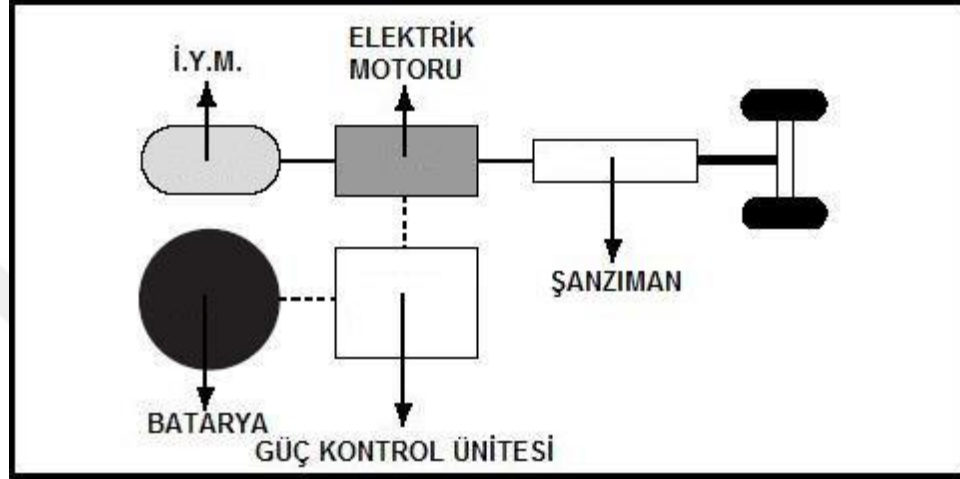
2.1.3.2. Paralel hibrit elektrikli taşıtlar

Paralel hibrit elektrikli taşıtlarda, Şekil 2.6'da gösterildiği gibi hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor taşıtın tekerleklerine mekanik biçimde bağlanacak şekilde yapılandırılır. Seri tip taşıtlardan farkı elektrik motoru ve içten yanmalı motorun birlikte tekerlekleri tahrik etmesidir.

Genelde bu tür taşıtlarda elektrik motoru, start-stop işlemlerinde, taşıt en fazla yakıt tükettiğinde çalışır ve belli bir hızın üzerine çıktığında yerini içten yanmalı motora bırakır [42]. Bataryalar çoğunlukla rejenaratif frenleme sırasında şarj edilirken, elektrik motoru da belli sürüş koşullarında jeneratör görevi yaparak bataryaları şarj eder.

Paralel yapılandırmanın bazı avantajları şunlardır;

- Elektrik motoru ve İYM aynı anda enerji sağladığından taşıtta daha fazla güç vardır.
- Çoğu paralel hibrit elektrikli taşıtların ayrı bir jeneratöre ihtiyacı yoktur.
- Güç doğrudan yola bağlı olduğu için daha verimlidir [31].



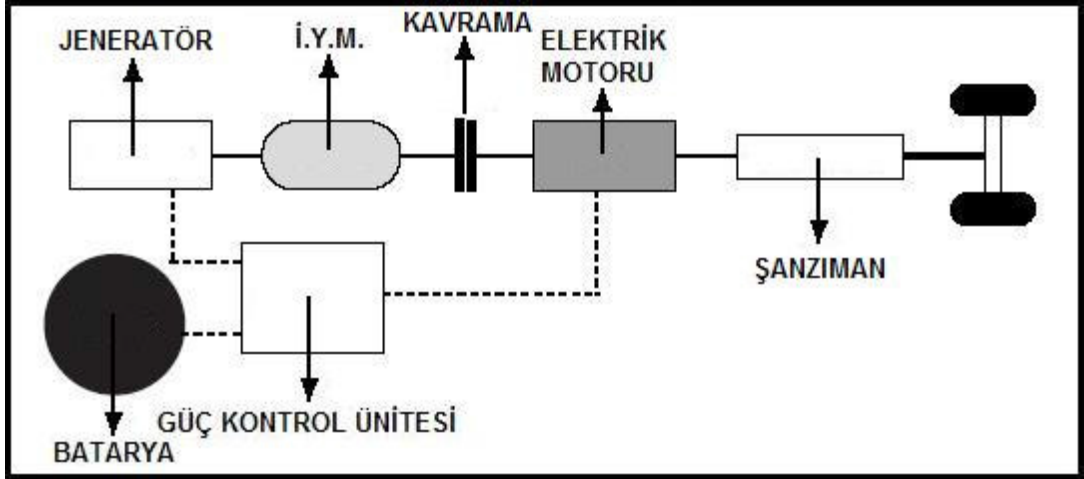
Şekil 2.6. Paralel hibrit elektrikli taşıt [30]

Paralel hibrit elektrikli taşıtlarda hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motorun birlikte tahrik edilmesi sisteme yedeklilik avantajı sunar. Tahrik sistemlerinden biri arızalanırsa diğer sistem taşıtı hareket ettirebilmek için hâlâ mevcut olacaktır [31].

Çoğu paralel hibrit elektrikli taşıt, hem taşıt performansını hem de menzili optimize etmek için karmaşık bir kontrol sistemi ve özel algoritmalar kullanır. Güç aktarım mekanizması tasarımındaki esneklik, paralel hibritlerin büyük bir motora olan ihtiyacının ortadan kaldırılmasına ek olarak, HET geliştirmede seri hibritlere göre daha fazla ilgi çekmiştir [41]. Ayrıca seri tip elektrikli taşıtlara göre hafif olduklarından daha iyi bir yakıt ekonomisi sağlarlar [31].

2.1.3.3. Seri-paralel hibrit elektrikli taşıtlar

Seri-paralel hibrit elektrikli taşıtlar hem seri hem de paralel hibrit taşıtların ayrı ayrı özelliklerini göstermektedirler. Seri hibrit taşıtın elemanlarına ek mekanik bağlantısı bulunurken, paralel hibrit taşıta göre de ek bir jeneratör barındırmaktadır.



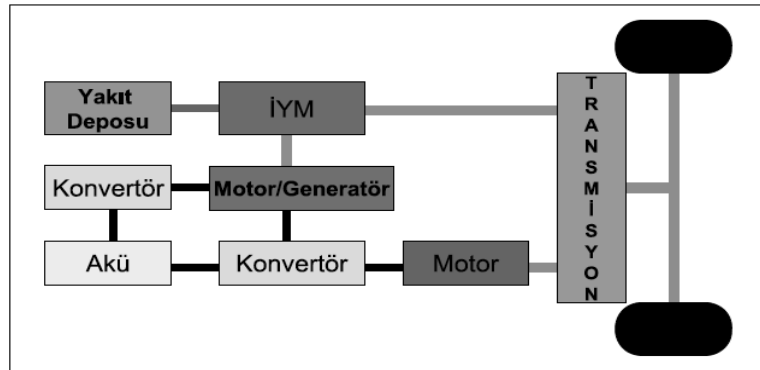
Şekil 2.7. Seri-paralel hibrit elektrikli taşıt [30]

Yapı olarak Şekil 2.7’de de gösterildiği gibi paralel yapıya benzer. Paralel yapıdan farkı içten yanmalı motorun dişli sistem ile bağlı olmayıp gerektiğinde seri yapılarda olduğu gibi jeneratör ile birlikte bataryaları şarj etmesidir. Bu da içten yanmalı motorun uygun seviyede çalışmasına olanak tanır [39].

Seri-paralel hibrit elektrikli taşıtlar ayrı ayrı iki sistemin de avantajlarını bir arada bulundururken öte yandan daha karmaşık ve maliyetleri yüksektir.

2.1.3.4. Kompleks hibrit elektrikli taşıtlar

Kompleks hibrit elektrikli taşıtlar diğer hibrit taşıtlarla tanımlanamayan karmaşık bir yapıya sahiptir. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi seri-paralel yapıyla benzerlik gösterir. Seri ve paralel hibrit taşıtlarda kullanılan jeneratör, gerektiğinde motor gerektiğinde jeneratör olarak çalıştırılan elektrik motoru ile değiştirildiğinden bu sistemler karmaşık hibrit elektrikli taşıtlar olarak adlandırılır [43].

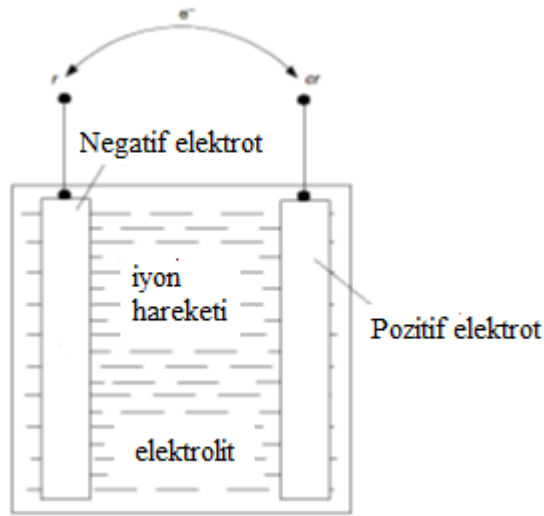


Şekil 2.8. Kompleks hibrit elektrikli taşıt [35]

Kompleks hibrit elektrikli taşıtlar hem seri hem de paralel hibritlerin avantajlarını bünyelerinde barındırır. Büyük güçler gerektiği zaman içten yanmalı motor ve elektrik motoru beraber çalışabilirler. Sessiz bir çalışma istendiğinde ise elektrik motoru tek başına sürüş sağlayabilmektedir. Bataryalar ise içten yanmalı motor tarafından üretilen elektrik enerjisi ile sürekli doldurulabilmektedir. Fakat sistem karmaşıklığından dolayı maliyetleri diğerlerine göre yüksektir.

2.2. Hibrit Elektrikli Taşıtlar İçin Batarya Sistemleri

Bataryalar kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen bir veya daha fazla elektrokimyasal hücreden oluşan depolama cihazlarıdır. Yüksek miktarda enerjiyi küçük bir hacimde depolayabilirler. Bataryalar genel olarak üst üste dizilmiş elektrokimyasal hücrelerden oluşur. Bu hücreler seri bağlanarak bir araya getirilir ve bataryayı oluşturur.



Şekil 2.9. Batarya hücresi [44]

Batarya teknolojisi, elektronik cihazlardan elektrikli taşıtlara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Hibrit elektrikli taşıtlar için de en önemli parametrelerden biri bataryalardır. Temel olarak, bir batarya hücresi Şekil 2.9'da gösterildiği gibi bir elektrolite daldırılmış iki elektrottan (pozitif ve negatif) meydana gelir [40].

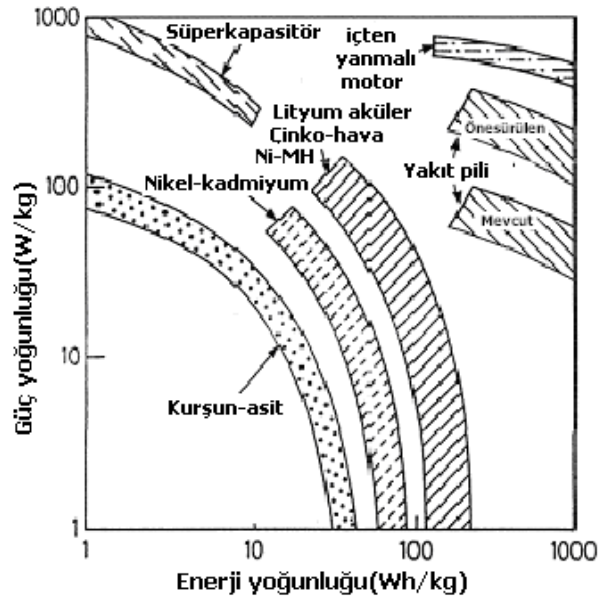
Bataryaların hibrit elektrikli taşıt teknolojisinin geleceğine önemli ölçüde katkı sağlayabilmesi için bazı değişkenlerinin uygun değerlerde olması gerekmektedir. Bu değişkenler aşağıda sıralanmıştır;

- Kapasite: Bataryanın enerji depolayabilme miktarıdır. Amper-saat (Ah) olarak ifade edilir [30].
- Enerji Yoğunluğu (Wh/lt): Bataryanın birim hacminde depolayabileceği elektrik enerjisi miktarıdır. Bataryalarda enerji yoğunluğunun yüksek olması istenir.
- Özgül Enerji (Wh/kg): Özgül enerji, birim batarya ağırlığı başına enerji kapasitesi olarak tanımlanır [40]. Spesifik enerji olarak da adlandırılır. Yüksek olması istenir.
- Özgül Güç (W/kg): Özgül güç, bataryanın kısa sürede üretebileceği birim batarya ağırlığı başına denk gelen maksimum güç olarak ifade edilir. Özgül güç, özellikle HET'ler gibi yüksek güç gerektiren uygulamalarda batarya ağırlığının azaltılmasında önemlidir [40]. Özgül gücün yüksek değerde olması bir batarya için esastır.
- Şarj Verimliliği: Bataryanın tam şarjlı bir bataryadan tam deşarj olana kadar çekilen enerji miktarının, aynı bataryanın yeniden tam şarj edilmesi için bataryaya verilen enerji miktarına oranı olarak tanımlanır. Olabildiğince yüksek olması istenir.
- SoC (State of Charge-Şarj Durumu): Bataryada kalan kapasitenin tam dolu kapasiteye oranı olarak tanımlanır. Bu tanımla, tam olarak şarj edilmiş bir bataryanın SoC'si %100'dür ve tamamen boşalmış bir bataryanın SoC'si %0'dır denilebilir [40].
- Deşarj Oranı: Bir bataryanın ne kadar hızla şarj edildiğinin, bataryaya zarar vermeden ölçülmesine deşarj oranı denir.
- DoD (Depth of Discharge): Bataryanın %100 dolu durumundan %0 boş durumuna kadar olan deşarj edilme durumudur. %80 DoD, bataryanın ampersaat (Ah) olarak belirtilen kapasitesinin %80'ine kadar deşarj edilmesi anlamına gelir.
- Çevrim Ömrü (Cycle Life): Bataryanın belli bir DoD seviyesine deşarj ve sonra tam şarj edilmesine bir çevrim denir. Batarya, ampersaat (Ah) olarak belirtilen kapasitesinin %80'e kadar koruyacak şekilde kaç kez şarj deşarj çevrimine sokulabiliyor ise o bataryanın çevrim ömrü o sayıya eşittir.
- Hafıza Etkisi: Bataryanın kısmen deşarj olduktan sonra tekrar tekrar şarj edildiklerinde maksimum enerji kapasitelerini kademeli olarak kaybettikleri durumu açıklar. Bu kullanma şekli sürekli devam ederse kapasitede geçici bir kayıp yaşanabilir. Bu olay hafıza etkisi olarak tanımlanır. Bu durum bataryanın daha küçük kapasiteyi hatırlaması olarak da tanımlanabilir [45].

Kullanılabilir HET bataryaları, kurşun asit batarya, nikel-demir, nikel-kadmiyum ve nikel metal hidrür bataryalar gibi nikel tabanlı bataryalar ve lityum polimer ve lityum iyon bataryalar gibi lityum bazlı bataryalardan oluşur [40]. Tablo 2.1’de HET’lerde kullanılan bazı bataryaların genel özellikleri sıralanmıştır.

Tablo 2.1. Hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan batarya teknolojileri [46]

Batarya Çeşitleri	Nominal Gerilim (V)	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Çevrim Ömrü	Hafıza Etkisi	Çalışma Sıcaklığı (° C)
Kurşun-Asit	2	35	1000	Yok	-15,+50
Nikel Kadmiyum	1.2	50-80	2000	Var	-20,+50
Nikel Metal Hidrür	1.2	70-95	<3000	Nadiren	-20,+60
Zebra	26	90-120	>1200	Yok	+245,+350
Lityum-iyon	3.6	118-250	2000	Yok	-20,+60
Lityum Polimer	3.7	130-225	>1200	Yok	-20,+60
Çinko-Hava	1.65	460	200	Yok	-10,+55
Lityum-Sülfür	2.5	350-650	300	Yok	-60,+60
Lityum-Hava	29	1300-2000	100	Yok	-10,+70

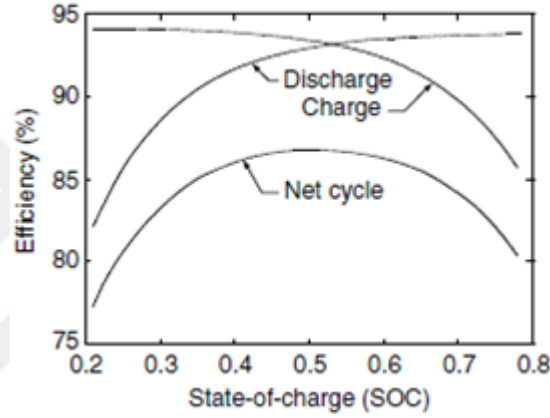


Şekil 2.10. Çeşitli enerji kaynaklarının güç ve enerji yoğunlukları [47]

Şekil 2.10, çeşitli bataryalar, yakıt pili sistemleri ve içten yanmalı motorlara ait güç yoğunluğu ve enerji yoğunluklarının karşılaştırmalarını ifade etmektedir.

2.2.1. Kurşun asit batarya (Pb-Acid)

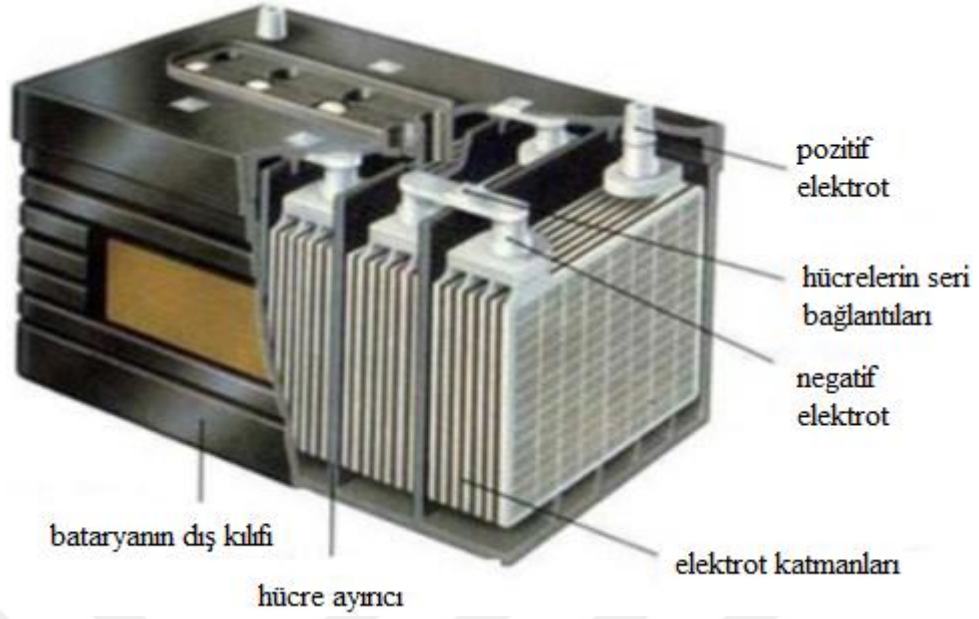
Kurşun asit batarya, yüzyılı aşkın süredir başarılı bir ticari üründür ve hâlâ otomotiv alanında ve diğer uygulamalarda elektrik enerjisi depolama aracı olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [40]. Basit yapıları ve ucuz olmaları yaygın kullanımının sebepleridir [48]. Bu tip bataryalarda negatif elektrotta kurşun (Pb), pozitif elektrotta kurşun dioksit (PbO₂) ve elektrolit sıvısı olarak sülfürik asit (H₂SO₄) bulunmaktadır [46].



Şekil 2.11. Kurşun-asit batarya şarj ve deşarj verimliliği [40]

Batarya akımının ve içinde depolanan enerjinin bir fonksiyonu olarak SoC, deşarjda daha düşüktür ve şarjda kimyasal bir reaksiyonla üretilen elektrik potansiyelinden daha yüksektir. Şekil 2.11, kurşun asit bataryanın boşaltma ve şarj etme sırasındaki verimini göstermektedir.

Batarya, yüksek SoC ile yüksek deşarj verimliliğine ve düşük SoC ile yüksek şarj verimliliğine sahiptir. Net döngü verimliliği, SoC'nin orta aralığında maksimuma sahiptir. Bu nedenle, bir HET'in batarya işletim kontrol ünitesi, işletim verimliliğini arttırmak ve enerji kaybının neden olduğu sıcaklık artışını azaltmak için batarya SoC'ini orta aralığında kontrol etmelidir. Yüksek sıcaklık bataryaya zarar verebilir [40].



Şekil 2.12. Kurşun-asit batarya yapısı [45]

Kurşun asit bataryaların avantajları ucuz olmaları, yüksek deşarj akımları ve hafıza etkisinin olmamasıdır. Dezavantajları ise bu bataryalar çoğunlukla kurşunun yüksek moleküler ağırlığı nedeniyle 25-35 Wh/kg gibi düşük bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Diğer bataryalarla kıyaslandığında ömürleri daha kısadır [42]. Ayrıca düşük özgül enerji ve zayıf sıcaklık performansı kullanımları için önemli dezavantajlar olarak görünmektedir [31].

2.2.2. Nikel demir batarya (NiFe)

Elektrikli taşıtların kat ettikleri mesafelerin artırılması amaçlanarak 20'nci yüzyılın başlarında Thomas Edison tarafından nikel demir bataryaları geliştirilmiştir [49]. Kısa zaman içerisinde ticarileştirilen bu bataryaların uygulamaları arasında forklift kamyonları, motorlu el arabaları, maden ve demiryolu lokomotifleri bulunmaktaydı [40].

Bataryada nikel oksihidroksit (NiOOH) pozitif elektrot, demir (Fe) negatif elektrot ve lityum hidroksit içeren yoğunlaştırılmış bir potasyum hidroksit çözeltisi ise sıvı elektrolittir [40].

Nikel demir bataryaların gazlanma, korozyon ve kendi kendine boşalma gibi temel problemleri vardır. Bu bataryalar, deşarj işlemi sırasında açığa çıkan hidrojen ve oksijen gazının güvenli bir şekilde atılması sebebiyle karmaşıktır. Düşük sıcaklıklarda

kısmen performanslarını koruyabilmektedirler [50]. Nikel maliyeti kurşundan oldukça yüksektir. Pahalı olmalarına karşın uzun ömürlü bir batarya çeşididir [39]. En büyük avantajları, kurşun asitli bataryalara kıyasla yüksek güç yoğunluğu ve 2000 derin deşarj dayanma kapasitesidir [40].

2.2.3. Nikel çinko batarya (NiZn)

Nikel çinko bataryaları ilk olarak 1899 yılında keşfedilmiştir [51]. Bataryada nikel oksihidroksit (NiOOH) pozitif elektrot, çinko (Zn) negatif elektrot ve potasyum hidroksit çözeltisi ise sıvı elektrolittir [40]. Çinko plakanın üzerinde şarj esnasında dendritler oluştuğundan kullanım ömürleri kısadır. Bu sebepten dolayı ticari hayatta istenilen değeri elde edememiştir [48].

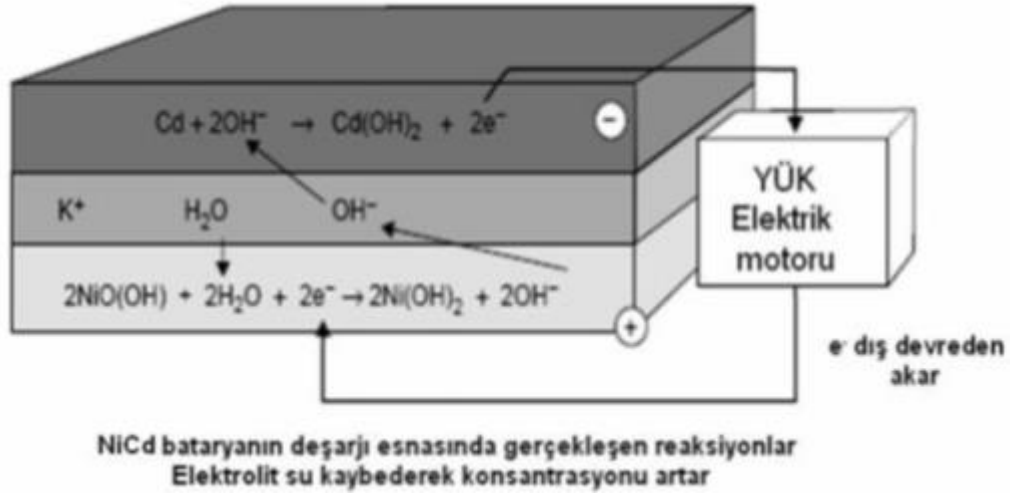
NiZn bataryalar, 70 Wh/kg özgül enerji ve 150 W/kg özgül güç seviyelerinde olmalarına rağmen dendrit oluşumu nedeniyle kullanım ömürleri düşüktür [49]. Batarya, -39 ile +81 °C arasında geniş bir çalışma sıcaklığına sahiptir [50]. Son dönemlerde elektrikli taşıtlarda kullanılan bataryaların ömürlerinin uzatılabilmesi için bazı iyileştirmeler yapılmasına rağmen nikel çinko bataryalar ile ilgili araştırmaların yoğunluğu giderek azalmaktadır [39].

2.2.4. Nikel kadmiyum batarya (NiCd, NiCad)

Nikel kadmiyum bataryaların tarihsel gelişimi nikel demir bataryalarla hemen hemen aynı dönemlere denk gelmektedir [40]. Şu anda NiCad bataryalar, havalandırılmalı ve sızdırmaz tip olmak üzere iki önemli yapıya sahiptir [60].

Bu bataryalar, negatif elektrotta kadmiyum/kadmiyum hidroksit ($Cd/Cd(OH)_2$), pozitif elektrotta nikel hidroksit veya nikel oksihidroksit ($Ni(OH)_2/NiOOH$) ve sıvı elektrolit olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanır [46].

Pozitif ve negatif elektrotlarda gerçekleşen reaksiyonlar ve bataryanın nasıl çalıştığı Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Bataryalar deşarj olurken elektrolitin yoğunlaşması artar.



Şekil 2.13. NiCd bataryada şarj boyunca gerçekleşen reaksiyonlar

Nikel kadmiyum bataryalar yüksek özgül güç (220 W/kg'ın üzerinde), uzun çevrim ömrü (2000 döngüye kadar), yüksek elektrik ve mekanik kötüye kullanım toleransı ve birçok çeşitli deşarj akımları, hızlı şarj kapasitesi (18 dakikada yaklaşık %40 ila 80), geniş çalışma sıcaklığı (-40 ila 85 °C), düşük kendi kendine deşarj oranı (günde < %0,5), mükemmel uzun süreli depolama, önemsiz korozyon ve çeşitli boyut tasarımlarında bulunabilirlik nedeniyle avantajlıdır. Bununla birlikte, nikel kadmiyum bataryaların, yüksek başlangıç maliyeti, nispeten düşük hücre gerilimi ve kadmiyumun kanserojenliği ve çevresel tehlikesi gibi bazı dezavantajları vardır [40].

2.2.5. Nikel metal hidrür batarya (NiMH)

Bilgisayar ve tıbbi ekipmanda sıklıkla kullanılan nikel metal hidrür bataryalar, 1992 yılından beri piyasadadır. Yapısal olarak en çok nikel kadmiyum bataryalara benzerler. Aralarındaki temel fark, kadmiyum yerine aktif negatif elektrot malzemesi için bir metal hidrürde absorbe edilen hidrojenin kullanılmasıdır. NiCd ile karşılaştırıldığında daha fazla enerji depolayabilmesi, üstün özgül enerjisi ve kanserojenlikten uzak olması nedeniyle NiMH bataryalar, NiCd bataryanın yerini almaktadır [40].

Halen gelişmekte olan bu bataryalar, makul özgül enerji ve güç yetenekleri ile son zamanlarda elektrikli taşıtlara güç sağlamak için en yaygın kullanılan batarya çeşididir [41]. Kurşun asit bataryalara göre daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve daha uzun ömürlüdür [31]. 70 Wh/kg'dan fazla enerji yoğunluğuna ve 200 W/kg'dan daha fazla güç yoğunluğuna sahip olan bu bataryalar çevre dostudur [52].



Şekil 2.14. NiMH batarya [47]

Nikel metal hidrür bataryalarla ilgili temel zorluklardan bir tanesi kurşun asit bataryalara göre daha yüksek maliyete sahip olmalarıdır. NiMH'yi şarj etmek Pb-acid ve NiCd bataryalara göre daha uzun sürer ve bunun sonucunda büyük miktarda ısı üretir. Ayrıca NiMH bataryanın tam olarak ne zaman şarj edildiğini belirlemek Pb-acid veya NiCad bataryalardan daha zordur ve bu da daha karmaşık ve pahalı şarj cihazlarına ihtiyaç duyulmasına neden olur [41]. Bununla birlikte NiMH bataryaların bir diğer dezavantajı ise kullanılmadıklarında deşarj süreleri oldukça kısadır [46].

NiMH batarya, HET uygulamaları için önemli bir kısa vadeli seçim olarak kabul edilmiştir. GM Ovonic, GP, GS, Panasonic, SAFT, VARTA ve YUASA gibi batarya üreticileri, özellikle HET'lere güç sağlamak için bu batarya teknolojisinin geliştirilmesinde aktif olarak yer almıştır. Toyota ve Honda üretmiş olduğu hibrit taşıtlarda sırasıyla Prius ve Insight modellerde NiMH batarya kullanmıştır [40].

2.2.6. Sodyum sülfür batarya (NaS)

Elektrikli taşıtlar için gerekli enerji ve güç yoğunluğunu sağlamayı hedefleyen sodyum sülfür batarya ilk olarak 1960'lı yıllarda Ford Araştırma Laboratuvarında geliştirilmiştir [49]. Bataryada, negatif elektrot sıvı sodyum ve pozitif elektrot sıvı sülfürdür. Elektrolit olarak bir tür katı seramik kullanılır. Bu seramik elektrolit sodyum iyonlarını yönlendirir ve iki elektrotu birbirinden ayırır [53]. Bu bataryalar, 300 °C ve 350 °C aralığındaki yüksek sıcaklıklarda performans sergilediklerinden dolayı 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda sodyumun donması nedeniyle çalışmaları durmaktadır [53].

Sodyum sülfür bataryaların, 110 Wh/kg gibi yüksek enerji yoğunluğu ile 150 W/kg gibi yüksek güç yoğunluğuna sahip olmaları ve 1000 derin deşarj çevrimi sağlamaları

avantajları arasındadır [39]. Bunun yanında, kırılğan bir yapıya sahip seramik tüple ayrılmış reaktif materyallerin emniyeti ile ilgili endişeler bu bataryaların dezavantajlarından. Denemeler sırasında test araçlarında kendiliğinden çıkan yangınlar ticari pazarda sodyum sülfür bataryaların imalatlarını durdurmuştur [52].

2.2.7. Sodyum nikel klorür batarya (ZEBRA)

Sodyum metal klorür veya zebra olarak da adlandırılan bu bataryalar birçok yönden sodyum sülfür bataryaya benzerler. Sodyum sülfür bataryaların avantajlarından birkaçını bünyelerinde barındırırlar fakat aynı zamanda sodyum nikel klorür bataryalarla birlikte sodyum sülfür bataryalardaki emniyet problemlerinin birçoğu çözümler hale gelmiştir [54].

Sodyum nikel klorür bataryada, pozitif elektrot nikel klorür negatif elektrot ise sodyumdur. Sıvı elektrolit ise sodyum klorür elektrotudur ve donma noktası 160°C civarında olup daha düşüktür. Bu batarya türü, sodyum sülfür bataryasına göre daha düşük sıcaklıklarda çalışmakta (250-300 °C) olup, benzer enerji (100 Wh/kg) ve güç yoğunluğuna (150 W/kg) sahiptir [49]. Daha güvenli olmalarına rağmen batarya üretim maliyetleri çok yüksektir [48].

2.2.8. Lityum demir sülfat batarya (LiFePO₄)

Lityum, üstün enerji depolama imkanı ve yüksek elektrot potansiyeli özelliklerini taşıdığından bataryalarda tercih edilen bir elementtir [49]. Fosfatın lityum bataryalarda katod malzemesi olarak kullanılabilceği 1996 yılında Texas üniversitesi tarafından bulunmuştur [55]. Bataryada pozitif elektrot demir sülfat, negatif elektrot ise alüminyum lityumdur [50].

Lityum demir sülfat bataryalar ortalama 200 W/kg enerji yoğunluğuna sahip bataryalardır. Isı kararlılığına sahiptirler ve elektrokimyasal performansları iyidir [63]. %80'lik derin deşarj oranında yaklaşık olarak 2000 çevrim ömrüne sahiptirler. -20°C ile +70°C arası çalışma sıcaklıkları olan bataryalar yüksek sıcaklıklarda iyi performans gösterirler [56].

Kullanım ömürleri diğer birçok batarya türünden (kurşun asit, NiCd ve NiMH) uzun olmasına rağmen düşük sıcaklık değerleri performansının düşmesine ve toplam

ömrünün kısalmasına sebep olur. Ayrıca bu batarya türünde kendi kendine deşarj olma durumu diğer lityum tabanlı bataryalardan daha fazla olduğundan zamanla yaşlanmadan dolayı eşitsizliklere yol açabilir [55].

2.2.9. Lityum katı polimer batarya (LiPo)

Başlangıçta elektrikli taşıt uygulamaları için geliştirilen yüksek özgül enerjiye sahip lityum polimer bataryalar, HET uygulamaları için de yüksek özgül güç sağlama potansiyeline sahiptir [31]. Lityum polimer bataryalar negatif elektrot olarak katı lityum metali ve pozitif elektrot olarak da bir geçiş metali olan interkalasyon oksidi (M_yO_z) kullanır. Kimyasal reaksiyon sonucu lityum, lityum metal oksit oluşturacak şekilde metal oksitle birleşmekte ve böylece enerji açığa çıkmaktadır [40]. Genel kimyasal reaksiyon Denklem (2.1)'deki gibi;

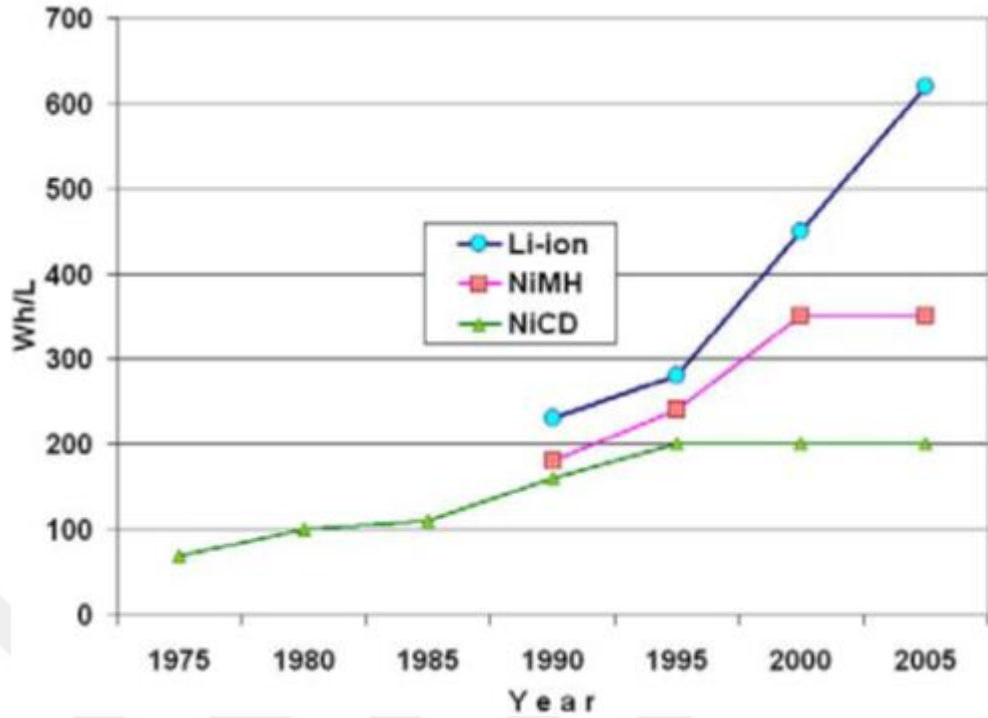


şeklindedir.

Lityum polimer teknolojisinde; elektrolit, bir katı iletken polimer olmasından dolayı bataryalar tamamıyla kurudur ve sıvı elektrolit içermezler [54]. Polimer elektrolit malzemenin elektriksel iletkenliği diğer organik sıvı elektrolitlerden daha yüksektir. 150 Wh/kg enerji ve 300 W/kg güç yoğunluğuna sahiptir. Bataryanın düşük güçte dış ortam sıcaklıklarında çalışması mümkün olmakla birlikte, optimum çalışma sıcaklığı 80°C ve 120°C aralığındadır [49]. Lityum polimerin diğer temel özellikleri, güvenlik, iyi döngü ve takvim ömrüdür. Maliyet düşürülürse ve daha yüksek özgül güç bataryaları geliştirilirse bu batarya ticari olarak uygun olabilir [31]. Bunun yanında, iyonik iletimden dolayı düşük sıcaklıklarda zayıf bir performans göstermesi başlıca dezavantajıdır [48].

2.2.10. Lityum iyon batarya (Li-ion)

Lityum iyon bataryanın 1991 yılında ilk duyurulmasından bu yana, Li-ion batarya teknolojisi şu anda geleceğin en umut verici şarj edilebilir batarya olarak benzeri görülmemiş bir artış kaydetmiştir. Halen geliştirilmekte olan lityum iyon batarya, hibrit elektrikli taşıt uygulamaları için çoktan kabul görmüştür [40].



Şekil 2.15. NiMH ve NiCd teknolojilerine kıyasla Li-ion bataryaların enerji yoğunluğunun (Wh/litre) gelişimi [57]

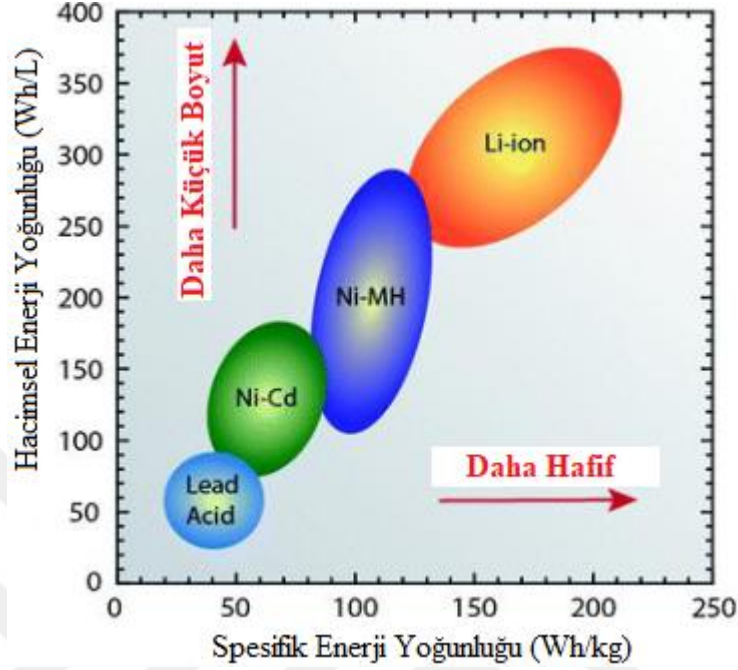
Lityum iyon bataryayı elektrikli araç uygulamalarında kullanılabilecek maliyet ve özelliklere getirebilmek için, Japonya (Sony ve Panasonic), Avrupa (SAFT ve Varta) ve ABD (Duracell) gibi çeşitli ülkelerde çalışmalar sürdürülmektedir [51].



Şekil 2.16. Li-ion batarya [45]

Lityum iyon bataryalar yaklaşık 120 Wh/kg enerji yoğunluğuna ve 1000 çevrimlik derin deşarj çevrimine sahiptirler. Bu bataryalar, %80 şarj durumuna 1 saatten daha kısa sürede tekrar şarj edilebilmektedir [44]. Bu bataryalar iyi bir yüksek sıcaklık bataryası değildir. Genelde 45 °C sıcaklık ve yukarısında çevrim ömürleri önemli derecede azalır [47]. İçerik bakımından çevreye daha az zarar veren maddelerden meydana gelir. Ayrıca diğer bataryalara kıyasla daha yüksek maliyete sahiptir. Bütün

bunlara ek olarak Li-ion bataryaların bir diğer dezavantajı şarj sırasında aşırı ısınma sorunudur [41].



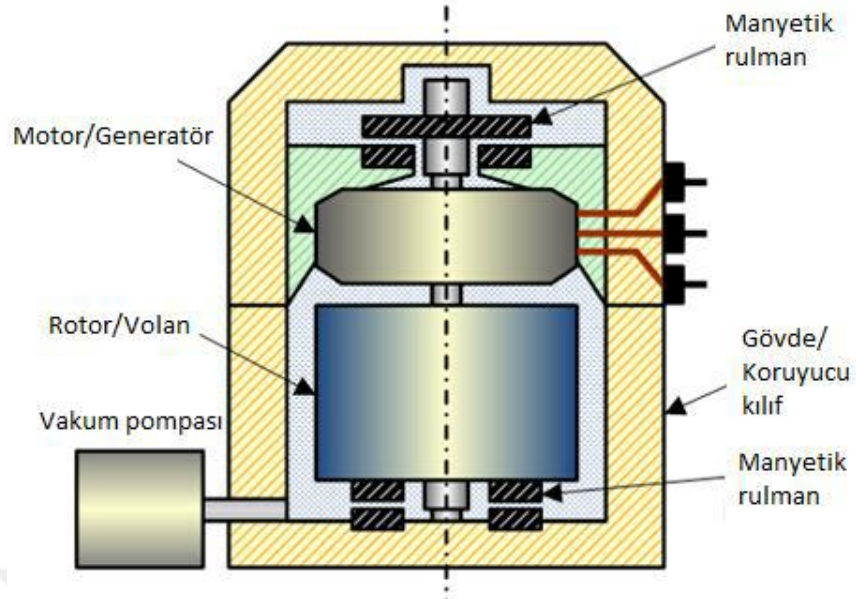
Şekil 2.17. Farklı türdeki bataryaların karşılaştırılması [3]

Şekil 2.17'deki grafik, farklı türdeki bataryaların spesifik enerji yoğunluğu ve hacimsel enerji yoğunluğu parametreleri üzerine karşılaştırmalı çalışmasını göstermektedir. Lityum iyon batarya, daha hafiftir ve diğer batarya türlerine göre en yüksek özgül enerji yoğunluğu ile daha küçük boyuttadır [3].

Gelecek yıllarda lityum iyon bataryaların yüksek olan maliyetlerinin düşürülerek hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılabilir olacak ekonomik seviyeye inebileceği öngörülmektedir [49]. Bu da bu batarya türünün gelişimi açısından son derece önemlidir.

2.3. Volanlar (Flywheel)

Volan veya diğer adıyla magneto-dinamik enerji depolama sistemi (MDS), kinetik enerji şeklindeki enerjiyi mekanik olarak depo etmektedir [49]. Volan enerji depolama sistemleri (VEDS) kavramı, enerjinin dönen bir kütle içinde depolanması ilkesine dayanmaktadır [5].



Şekil 2.18. Volan enerji depolama sistemi genel yapısı [58]

Bir volan, eylemsizlik momenti I ve dönüş hızı ω ile karakterize edilir. Volanda depolanan enerji miktarı, basit bir denklem kullanılarak kolayca Denklem (2.2)'deki gibi;

$$E_{kin} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2.2)$$

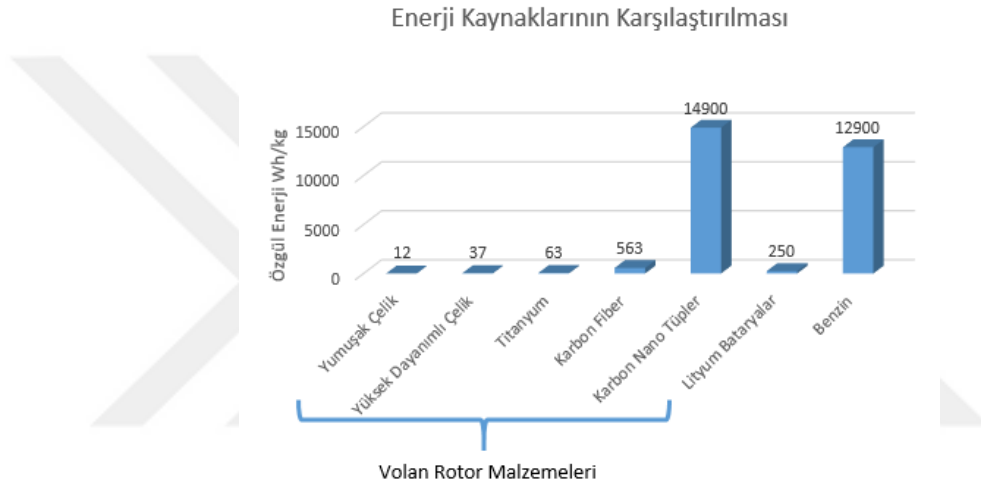
şeklinde ölçülebilir [5].

Kinetik enerjiyi depolayan rotor, bir elektrik motoru-jeneratörüne bağlıdır. Depolama sistemine elektrik beslendiğinde dönme hızı artar. Elektrik beslemesi kesildiğinde, rotor kütlesi düşük sürtünmeli bir ortamda dönmeye devam eder ve zamanla sadece hafif bir düşüşle hızını korur. Elektriğe ihtiyaç duyulduğunda, elektrik makinesi jeneratör moduna geçer ve dönen kütlenin ataleti, jeneratöre güç sağlamak için torku sağlar [5].

Volan elektromekanik batarya olarak da bilinir. Sağlanan enerji gerektiğinden fazla olduğunda onu depolar, enerji talebi istenildiğinden fazla olduğunda ise enerjiyi serbest bırakır. Tasarımı ve operasyonda esnekliği, %90'a varan yüksek döngü verimliliği, 10 yıldan fazla uzun bakım süresine sahip olması volanların tercih edilme sebeplerindedir [3].

Volanların en önemli avantajlarından bazıları şunlardır [5];

- Sınırsız sayıda şarj/deşarj döngüsü vardır.
- Yaşlanma olmaz veya kapasite zamanla azalmaz.
- Güç ve enerji içeriği birbirinden bağımsızdır.
- Düşük veya yüksek sıcaklıkta çalıştırmak kolaydır.
- Kesin şarj durumunun (SoC) belirlenmesi kolaydır.
- Nakliye sırasında volanın sabit durması riski en aza indirir.
- Kolay geri dönüşüm özelliği mevcuttur.

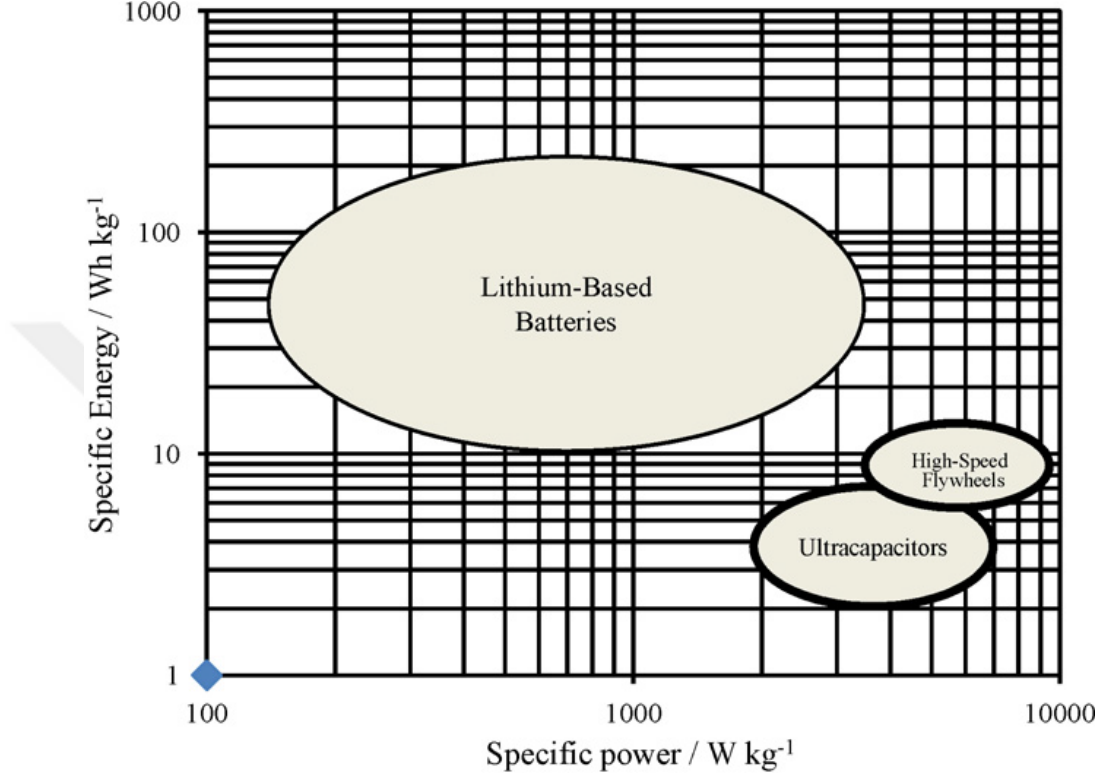


Şekil 2.19. Çeşitli volan rotor malzemelerinin özgül enerji içeriğinin li-ion batarya ve fosil yakıtlarla karşılaştırılması [5]

Volanlarda kullanılan rotorlar farklı malzemelerden üretilebilmektedir. Farklı enerji yoğunluğuna sahip rotor malzemelerinin, yaklaşık 12 kWh/kg enerji yoğunluğuna sahip fosil yakıtlar ve lityum iyon bataryalar (yaklaşık 0,25 kWh/kg) ile karşılaştırılması Şekil 2.19'da verilmiştir [5].

Volanlar, gelişmiş bir enerji depolama teknolojisidir, ancak geçmişte ağırlık ve hacim hususları, taşıt enerji depolama elemanı olarak uygulamalarını sınırlamıştır. Düşük sürtünmeli yataklar ve yüksek gerilme mukavemeti ve düşük yoğunluklu malzemelerdeki gelişmeler, volanların yüksek hızlara ulaşılabilmesini sağlamıştır; dolayısıyla hafif volanları gerçeğe dönüştürmüştür. Şekil 2.20'deki Ragone grafiği, volanların kendilerini mevcut enerji depolama sistemleri teknolojileri ile rekabet edebilecek şekilde belirli enerji ve güç oranlarına ulaştığını göstermektedir [59].

Volanların avantajlarının yanı sıra dezavantajları da mevcuttur. Volan uygulamalarında düzeneğin çalışması için fazladan donanım ihtiyacı bu sistemin en mühim zorluklarından biridir. Fazla donanım ise ekstra ağırlık ve fiziksel olarak daha çok yer kaplaması demektir. Bu da enerji yoğunluğunun düşük olmasına sebep olur [49].



Şekil 2.20. Farklı türde enerji depolama teknolojilerinin Ragone grafiği [59]

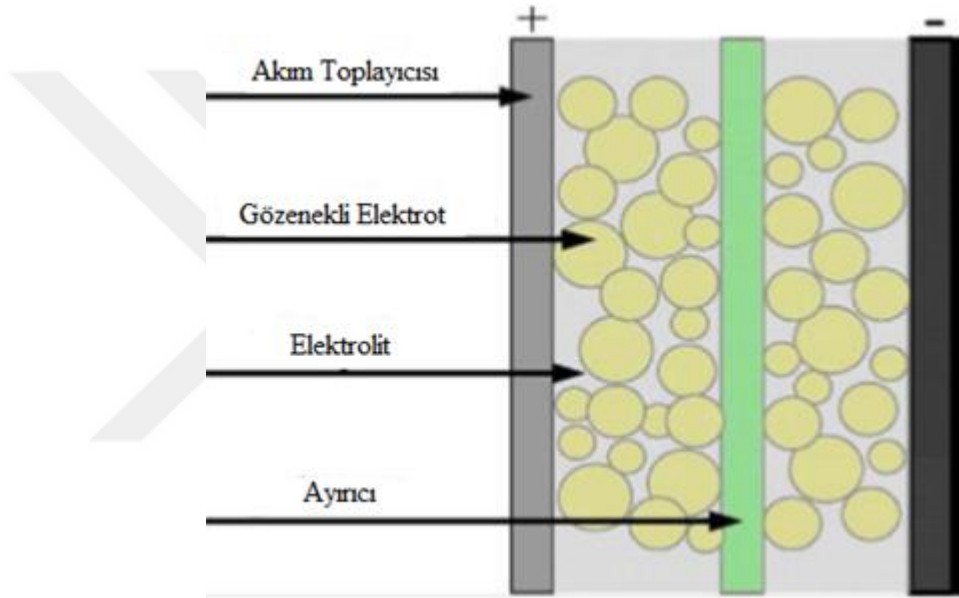
Ayrıca volanların en önemli performans dezavantajlarından bir diğeri, bataryalara ve ultrakapasitörlere kıyasla daha hızlı kendi kendine deşarj olmalarına neden olan değişken yüksek kayıplarla karşılaşmalarıdır [59]. Bununla birlikte, volanların HET'lerde başarılı olması için, şu anda mevcut olandan daha yüksek enerji yoğunlukları sağlamaları gerekmektedir [31].

2.4. Süperkapasitörler (Ultrakapasitörler)

Kapasitörler elektrik enerjisini elektrik alan olarak depolayan iki uçlu devre elemanlarıdır. Süperkapasitörler, tipik elektrolitik kapasitörlerden çok daha fazla enerji depolayabilen enerji depolama cihazlarıdır. Enerjiyi elektrostatik yük olarak depolarlar ve elektrokimyasal kapasitörler olarak da adlandırılabilirler [42]. Kilo

faradlara kadar yüksek enerji kapasitesine sahip olduğundan ultrakapasitör de denmektedir [6].

Süperkapasitörün içyapısı Şekil 2.21’de gösterildiği gibi iki iletken metal plaka ve aralarında bunları ayıran yalıtkan dielektrik malzeme içerir. Dielektrik malzeme iki levha arasında ark oluşmasını engeller ve daha çok şarj olmasına yardım eder. Standart süperkapasitörlerde, iletken metal kısım karbon veya karbon katmanlarından oluşur. Çoğu süperkapasitörde, bir iletken metal tabakası karbondan oluşurken, diğer tabaka kurşun, nikel oksit veya lityum iyon gibi metal oksitlerden oluşur [42].

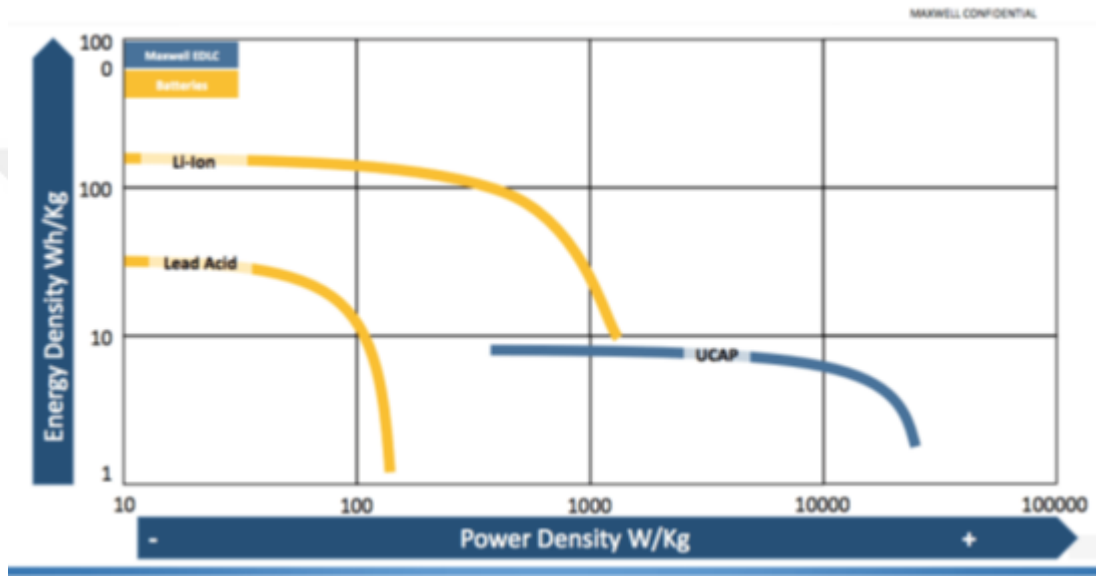


Şekil 2.21. Süperkapasitör hücresi [52]

En eski süperkapasitör 1957’de icat edilmiştir. 1990’lardan sonra süperkapasitör, HET’ler alanında dikkat çekmeye başlamıştır. Hibrit elektrikli taşıtta bir süperkapasitörün ilk amacı, hızlanma için gerekli gücü sağlamak amacıyla batarya hücresini güçlendirmektir [60].

Süperkapasitörlerin elektrikli taşıtlar için bir enerji depolama sistemi çözümü olarak kullanılmasının sebepleri, yüksek güç yoğunluğu, bataryalara kıyasla hava kalitesi üzerindeki daha az olumsuz etkisi, dayanıklılığı, güvenliği ve kısa şarj süresine sahip olmasıdır [61]. Ayrıca süperkapasitörün elektrikli taşıtlarda kullanılması, ek depolama alanı sağlar ve bu da aracın menziline genişletmeye yardımcı olur [3].

Süperkapasitörlerin güç yoğunluğu 300 ila 5000 W/kg aralığındadır ve şu anda elektrikli taşıtlarda kullanılan bataryalardan %90 verimlidir. Bataryalara kıyasla daha düşük bir iç direnç nedeniyle, yeniden şarj etmek için gereken süre 30 saniyeden birkaç dakikaya kadar değişmektedir. Bu kısa şarj süresi, hücrelerinin iç direncini azaltır. Ek olarak, işlevsellikleri üzerinde herhangi bir olumsuz etki olmaksızın şarj ve deşarj akımını artırır. Ultrakapasitörler herhangi bir bakım gereksinimi olmaksızın uzun bir süre (ortalama 40 yıl) dayanabilir [61].



Şekil 2.22. Batarya ve süperkapasitörün enerji ve güç yoğunluğu özellikleri açısından karşılaştırılması [42]

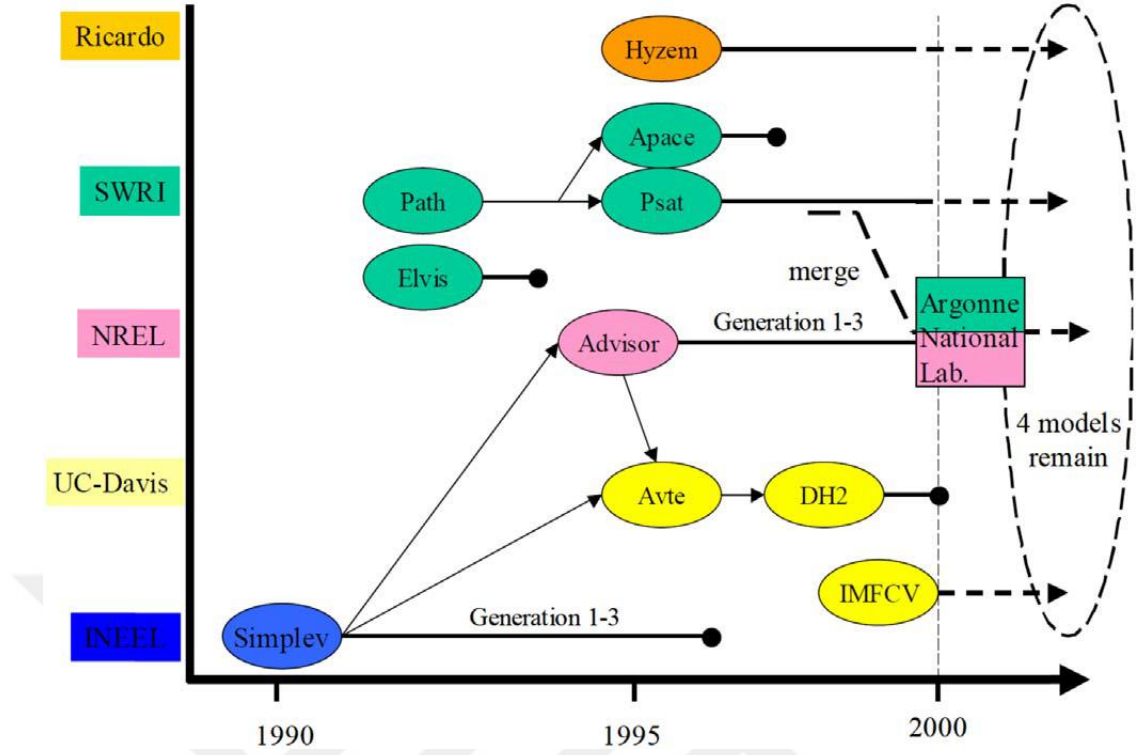
Süperkapasitörler, tipik olarak bataryalardan daha az enerji depolarlar. Enerji yoğunlukları, kilogram başına birkaç watt-saat aralığındadır ve bataryalara kıyasla enerji yoğunlukları hâlâ sınırlıdır [40]. Şekil 2.22, bataryalar ve süperkapasitör karşılaştırmasını göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, süperkapasitörler bataryalara göre daha az enerji yoğunluğuna ve daha fazla güç yoğunluğuna sahiptir. Bu nedenle süperkapasitör, gerekli gücü kısa sürede sağlayabilir [42].

Süperkapasitörlerin pek çok kullanım alanı bulunmaktadır ve yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Bu uygulamalardan bazıları, vinç, otobüs, trolleybüs, araçlarda start-stop ve motor çalıştırma, kesintisiz güç kaynakları, internet sunucuları ve rüzgâr türbinlerindeki kanatların kontrolüdür [52]. Süperkapasitörlerin hibrit elektrikli taşıtlarda daha yoğun bir şekilde kullanımlarının çoğalması için enerji yoğunluğunun artırılması gerekmektedir [35].

3.ADVISOR PROGRAMININ TANITIMI

Onlarca yıldan beri, araştırma merkezleri veya üniversite laboratuvarları, araç performansını, yakıt tüketimini ve emisyonları değerlendirmek için çeşitli araç benzetim yazılımları (SIMPLEV, HYZEM, PSAT, ADVISOR ...) geliştirmişlerdir. Model özelliklerine ve modellerin tarihsel gelişimine bakılarak Şekil 3.1’de gösterildiği gibi beş farklı geliştirme hattı tanımlanabilir. Bunlar [13];

- Ricardo Danışmanları tarafından geliştirilen Hyzem program sistemi.
- Southwest Araştırma Enstitüsü (SWRI-Southwest Research Institute)’nın modellediği Elvis, Path, Apace ve son ürünleri PSAT.
- Ulusal Yenilenebilir Enerji Enstitüsü (NREL-National Renewable Energy Laboratory) aracılığıyla tasarlanan ADVISOR programı. Yakın zamandan beri, Argonne Ulusal Laboratuvarları PSAT ve ADVISOR geliştirme hatlarından sorumludur ve bunları kullanım kolaylığı için tek bir grafik kullanıcı ara yüzüne dâhil etmektedir.
- UC-Davis, orijinal olarak Gelişmiş Araç Test Emülatörü (AVTE-Advanced Vehicle Test Emulator) ve (AVTE tabanlı) doğrudan hidrojen yakıt hücreli araç modeli ile başlıyor. Her iki model de ADVISOR’dan türetilmiştir. Bu modelleme çalışmasına ilave olarak, UC-Davis, yakıt hücreli araç modelleme projesi kapsamında, hidrojen, dolaylı metanol ve dolaylı benzinli hibrit ve hibrit olmayan sürümlerini de içeren yeni bir ileriye dönük yakıt hücreli araç modeli başlatmıştır.
- Idaho Ulusal Mühendislik ve Çevre Laboratuvarı (INEEL-Idaho National Engineering and Environmental Laboratory), Simplev programını tanıtmıştır. Performans analizi yapan bir program olan SIMPLEV, içten yanmalı motorlara sahip konvansiyonel, tümü elektrikli, seri hibrit ve paralel hibrit taşıt sistemlerini simüle etme yeteneğine sahiptir. Programın yalnızca tarihsel bir anlamı vardır. 1997’de aşamalı olarak kaldırılmıştır.



Şekil 3.1. Model gelişimi ve geçmişi [62]

Bu tez çalışmasında güçlü bir analiz aracına sahip olan ADVISOR programı hibrit taşıtlar için değerlendirilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri hükümetinin kurmuş olduğu Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nın (NREL-National Renewable Energy Laboratory) tasarladığı Gelişmiş Araç Simülatorü-ADVISOR (Advanced Vehicle Simulator), ilk olarak Kasım 1994'te geliştirilmiştir. Ford, General Motors ve Daimler Chrysler ile Hibrit Elektrikli Taşıtlar Tahrik Sistemi sözleşmeleri aracılığıyla hibrit elektrikli taşıtlar (HET) için teknolojiler geliştirmede ABD Enerji Bakanlığı'na (DOE- Department of Energy) yardımcı olmak için bir analiz aracı olarak tasarlanmıştır [64]. ADVISOR, Dünya çapında otomobil üreticileri, üniversite ve enstitü araştırmacıları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır [41].

Kullanıcı dostu bir ara yüzü (GUI-graphical user interface) ile ADVISOR, dinamik sistemleri modellemek, simüle etmek ve analiz etmek için Matlab'de bir yazılım modülü olan Matlab-Simulink'de oluşturulmuştur. Matlab, hesaplamaları tamamlamak için kullanımı kolay matris tabanlı bir programlama ortamı oluştururken; Simulink, karmaşık sistemleri blok diyagramları kullanarak grafiksel olarak temsil etmek için kullanılabilir. Programın ilk amacı, hibrit ve elektrikli taşıtlar bileşenlerinin

sistem düzeyinde etkileşimlerini ve bunların taşıt performansı ve yakıt ekonomisi üzerindeki etkilerini vurgulamaktır [13].



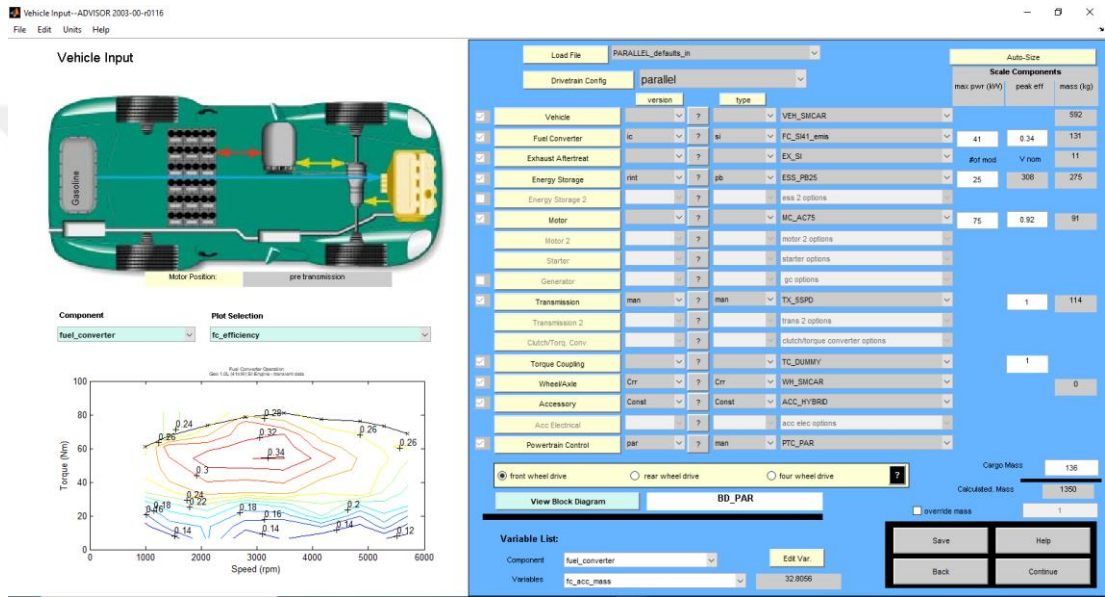
Şekil 3.2. Matlab altında ADVISOR açılış penceresi

ADVISOR, kullanıcılar için simülasyonda farklı araçları tanımlamak için uygundur. Yazılımın netliği, kullanıcıların araç simülasyon modellerini ve kontrol stratejilerini tasarımlarına olanak tanır [18]. Kullanıcılar, yeni modül geliştirmek ve araç modülünü simüle etmek için alt modülü kullanabilirler. Kullanıcı, ADVISOR'un Matlab çalışma alanında tanımladığı herhangi bir skaler parametreyi değişken listesi aracılığıyla değiştirebilir. Program Matlab tabanlı olup, açılış penceresi Şekil 3.2'de tarif edilmiştir. ADVISOR'un bazı işlevleri aşağıda sıralanmıştır [22];

- Yakıt tüketiminin kontrol stratejisine göre tahmin edilmesi
- Çeşitli bölümler arasındaki işlevin ve ilişkilerin araştırılması
- Farklı sürüş (yol) döngüleri altında HET emisyonunun karşılaştırılması
- HET'in kontrol stratejisinin değerlendirilmesi
- HET'in yakıt tüketimine göre optimize edilmesi

ADVISOR, kullanımı kolay GUI aracılığıyla birçok güçlü analiz işlevine doğrudan erişim sağlamaktadır. GUI sayfaları, bir aracı yapılandırmak, bir simülasyonu yürütmek ve sonuçları analiz etmek için kullanılabilen çeşitli özellikleri açıklamaktadır. GUI sayfalarından ilki araç giriş ekranıdır. Bu ekranın düzeninde, pencerenin sol tarafı araç bilgilerinin grafiksel temsidir; sağ tarafı ise kullanıcının

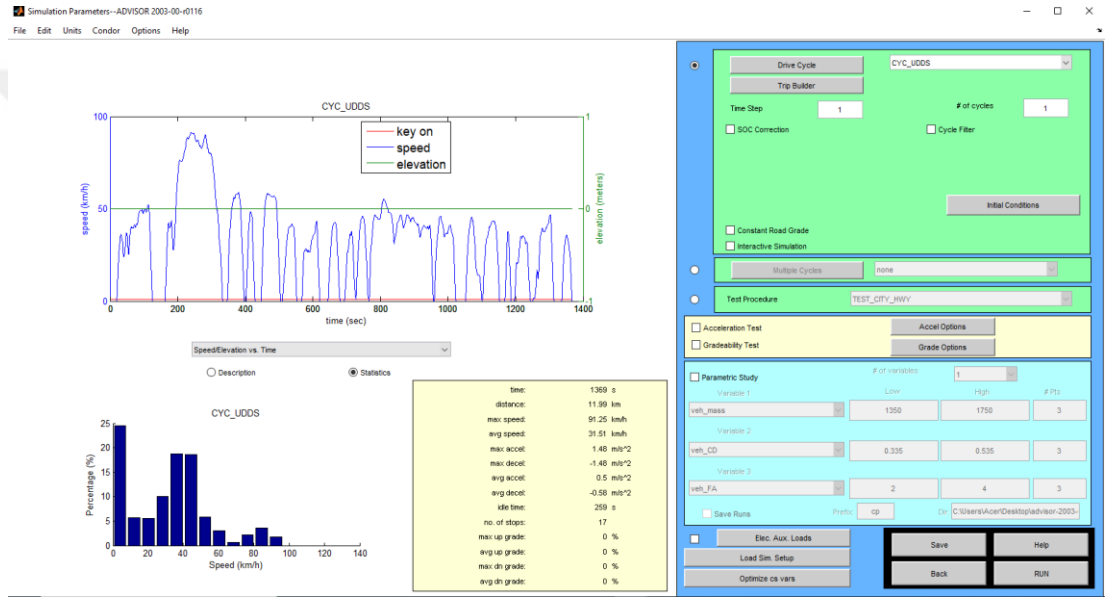
harekete geçtiği yerdir. Ekranın sağ tarafında, kullanıcı araca, ne görmek ve ne yapmak istediğini belirtir ve ADVISOR'un yapacağı bir sonraki eylemi kontrol eder. Örneğin, araç giriş ekranında Şekil 3.3'te gösterildiği gibi, sol üstteki resim, hangi araç konfigürasyonunun seçildiğini (geleneksel, seri, paralel, yakıt hücresi veya elektrikli araç) grafik olarak gösterir. Sol alttaki kullanıcı tarafından seçilebilir grafikler, kullanıcının motor ve motor için verimlilik haritaları, emisyon sınırları ve bataryalar için performans grafikleri gibi seçilen bileşenlere ilişkin performans bilgilerini anında görüntülenmesine olanak sağlar.



Şekil 3.3. ADVISOR araç giriş ekranı

Araç giriş ekranının sağ tarafında, kullanıcı hangi tür aracın simüle edildiğini ve sürüş sistemini oluşturan tüm bileşenlerin ayrıntılarını kontrol edebilir. Her bileşen, ADVISOR kütüphanesinden farklı bileşenlerin seçilmesine izin veren bir açılır menüye sahiptir. "Maksimum güç" ve "en yüksek verimlilik" başlıklarının altındaki iki sayı sütunu başlangıçta bu değerleri veri dosyalarından gösterir, ancak yeni bir sayı girilmesi, GUI'nin haritayı oluştururken bu tepe verimliliğiyle eşleşecek şekilde tüm haritayı doğrusal olarak yeniden ölçeklendirmesine sebep olur. Örneğin, motor tepe verimliliğinde mevcut 0,34 yerine 0,35 değerini girmek, kullanıcının %34 yerine %35 tepe verimi elde edebilen varsayımsal bir motorun etkisini incelemesine imkân tanıyacaktır.

İkinci GUI ekranı Şekil 3.4'te gösterildiği gibi simülasyon kurulum sayfasıdır. Bu ekrandaki kullanıcının temel amacı, aracın simüle edileceği olayı tanımlamaktır. Simüle edilebilecek olaylardan bazıları tek bir sürüş döngüsü, çoklu döngü ve özel test sürüşlerini içerir. Yine, pencerenin sağ kısmında, kullanıcı döngüleri seçer. Sol kısımdayken de simülasyon parametrelerini tanımlar; seçimler hakkında bilgi verilir. Yapılandırılan simülasyon parametreleri ile “çalıştır”a tıklamak simülasyonu yürütecektir ve tamamlandığında bir ADVISOR sonuç ekranı gelecektir. Ayrıca kullanıcı “units” sekmesinden tercih ettiği birimi (metric, us) seçebilir.

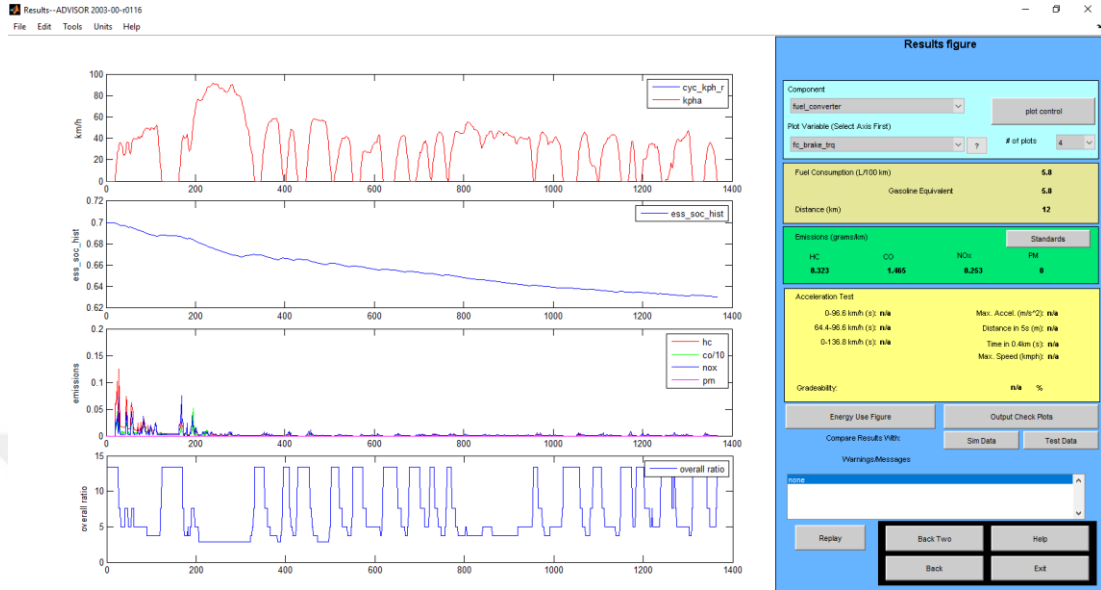


Şekil 3.4. ADVISOR simülasyon kurulum ekranı

Tek döngü opsiyonu seçilirse, başlangıç koşulları (öncelikle termal ve batarya) ayarlanabilir ve hibritler için pil SoC düzeltme rutini türü de seçilebilir. Mevcut iki SOC düzeltme seçeneği, sıfır delta veya doğrusal düzeltme rutini. Sıfır delta rutini, nihai SoC bazı toleranslar (%0,5) dâhilinde oluncaya kadar ilk SoC'de yinelenir ve doğrusal düzeltme rutini, bataryayı hem aşırı yüksek hem de düşük SOC değerlerinde ayrı ayrı başlatır ve ardından sıfır delta SoC geçişinde yakıt ekonomisini tahmin etmek için doğrusal bir enterpolasyon gerçekleştirir. Ek olarak, derecelendirilebilirlik ve hızlanma testleri değerlendirme için seçilebilir.

Sonuçlar ekranı Şekil 3.5'te gösterildiği gibi üç ana ADVISOR ekranının sonucusudur. Bu sayfa, kullanıcının sağ tarafta yakıt ekonomisi, emisyonlar,

hızlanma ve tırmanma kabiliyetinin özet sonuçlarını ve simülasyonun sol taraftaki çalışma alanına koyduğu zamana bağlı değişkenlerin grafiklerini görmesini sağlar.



Şekil 3.5. ADVISOR sonuçları ekranı

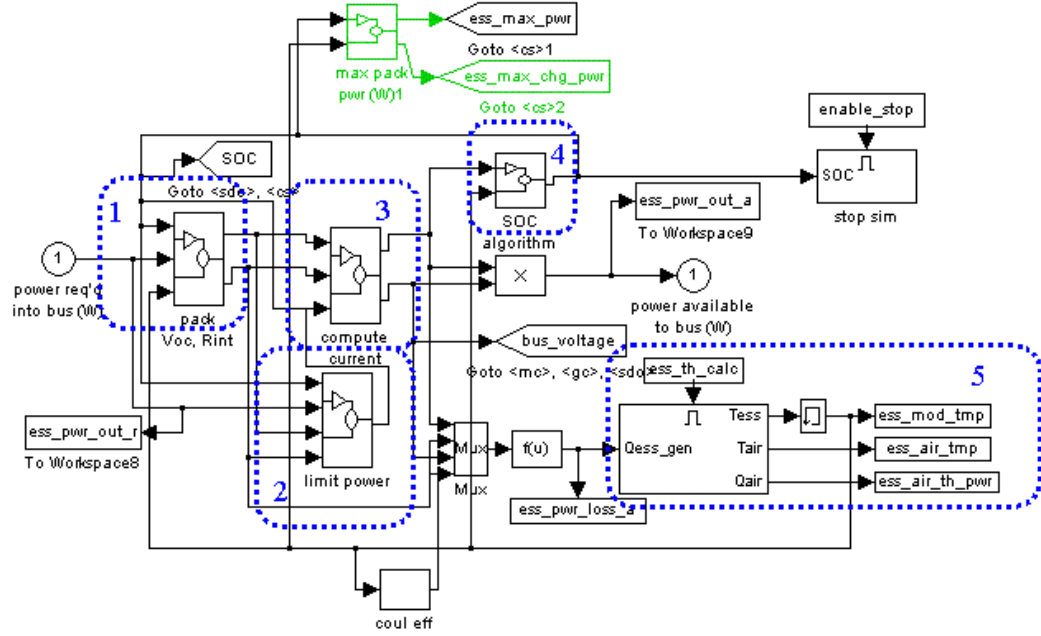
Tek döngü yerine test prosedürleri seçilirse, sonuçlar ekranı ayrı açılır pencerelere sahiptir. ADVISOR, yakınlaştırma, aynı grafik üzerinde birden fazla eğri katmanlama ve kılavuz çizgileri uygulama dâhil Matlab'in yerleşik çizim özelliklerinin tam kullanımına izin verir. Örnek bir sonuçlar ekranını gösteren Şekil 3.5'te, temsili grafikler olarak seçilen dört grafik ortaya çıkmaktadır; araç hızı, batarya SoC'si, düzenlenmiş emisyonlar ve egzoz sistemi içindeki çeşitli yerlerdeki sıcaklıklar verilmektedir.

Simülasyon çalışmalarında enerji depolama sistemi (ESS) bloğu, modellenme istenen taşıtta enerji depolayan batarya paketini ifade eder. Bu blok, çoğunlukla güç barasından bir güç isteğini kabul eder ve bataryadan, batarya geriliminden, batarya akımından ve batarya şarj durumundan (SoC) mevcut/gerçek güç çıkışını döndürür. Enerji depolama sistemi ADVISOR modeli Şekil 3.6'da verilmiştir.

Enerji depolama sistemi modeli, güç veri yolunun ihtiyaçlarına cevap olarak batarya SoC'yi hesaplar ve mevcut gücü çıkarır. Şekil 3.6'da gösterilen diyagramların açıklaması sırasıyla şu şekildedir;

1. Açık devre gerilimi,

2. Batarya gücü,
3. Batarya akımı,
4. Şarj durumu,
5. Batarya ısıl etkisi, olmak üzere beş temel ögeyi içermektedir.



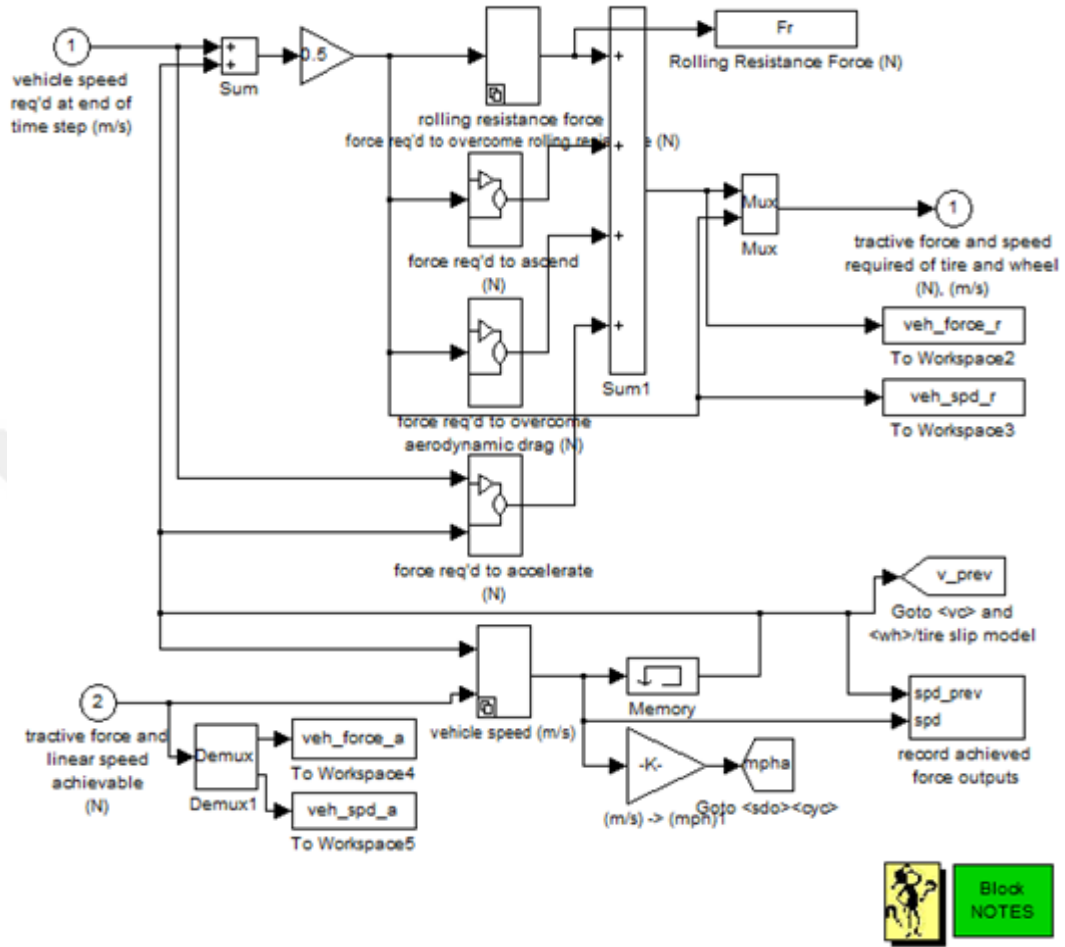
Şekil 3.6. Enerji depolama sistemi (ESS) ADVISOR modeli

Tablo 4.1. Seçilen hibrit taşıtlarda kullanılan değişkenler

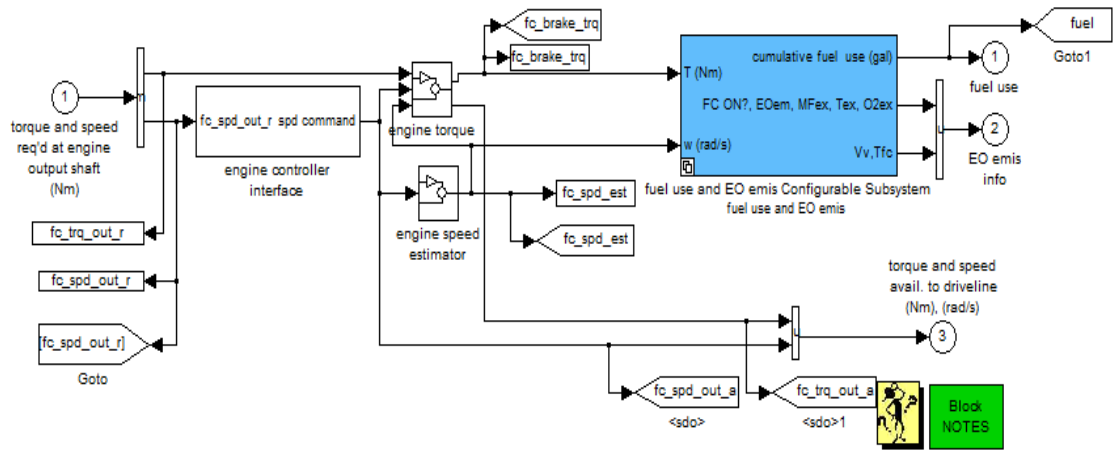
Veri Dosyası	Matlab kodu	Değişken	Değer	Birim	Açıklama
Taşıt	VEH_SMCAR.m	veh_CD	0,335		Hava direnç katsayısı
		veh_FA	2	m ²	Taşıt kesit alanı
		veh_1st_rrc	0,009	m	Birincil yuvarlanma direnç katsayısı
		veh_cg_height	0,5	m	Taşıt ağırlık merkezinin yerden yüksekliği
		veh_wheelbase	2,6	kg	Akslar arası mesafe
		veh_glider_mass	592	kg	Taşıt ağırlığı (aktarma organları dâhil değil)
		veh_cargo_mass	136	kg	Yolcuların ağırlığı
İçten Yanmalı Motor	FC_SI41_emis.m (Geo 1.0L (41kW) SI Engine)	fc_description	1	1	İçten yanmalı motor hacmi
		fc_fuel_den	749	g/l	Yakıt yoğunluğu
		fc_fuel_lhv	42600	J/g	Yakıt alt ısıl değeri
		fc_tstat	96	C	Termostat açılma sıcaklığı
		fc_cp	500	J/kgK	Motor malzemesi özgül ısısı
Egzoz Sistemi	EX_SI.m	ex_cat_mon_cp	1070	J/kgK	Seramik özgül ısısı
		ex_cat_int_cp	460	J/kgK	İç kabuk özgül ısısı
		ex_cat_pipe_cp	460	J/kgK	Giriş-çıkış borusu özgül ısısı
		ex_cat_ext_cp	460	J/kgK	Dış kabuk özgül ısısı
		ex_manif_cp	460	J/kgK	Manifold özgül ısısı
		ex_gas_cp	1089	J/kgK	Egzoz gazı özgül ısısı
Ek donanımlar	ACC_HYBRID.m	acc_elec_pwr	700	W	Ek donanımlara harcanan güç
Tekerlek-Aks	WH_SMCAR.m	wh_radius	0,282	m	Tekerlek yarıçapı
Elektrik Motoru	MC_AC75.m	max pwr	75	kW	Maksimum güç

Şekil 4.3'te simülasyonda kullanılan taşıta ait blok diyagram gösterilmiştir. Bu bloktaki hesaplamalar, taşıt tekerleğindeki güç dengesini göstermektedir. Taşıtın hareketi için hesaplanması gereken dirençler; yuvarlanma direnci, hava direnci, yokuş direnci bu blok içerisinde hesaplanmaktadır. Bu eşitlikle öncelikle belli olan ivmeden ihtiyaç duyulan tahrik kuvveti hesaplanır, sonra da gerçekte ulaşılabilecek tahrik kuvvetine göre taşıtın ivmelenmesi hesaplanır.

Zaman adımındaki ortalama hız, zaman adımının başında (bir önceki zaman adımının sonundaki hız) ve sonundaki hızın ortalaması alınarak hesaplanır.



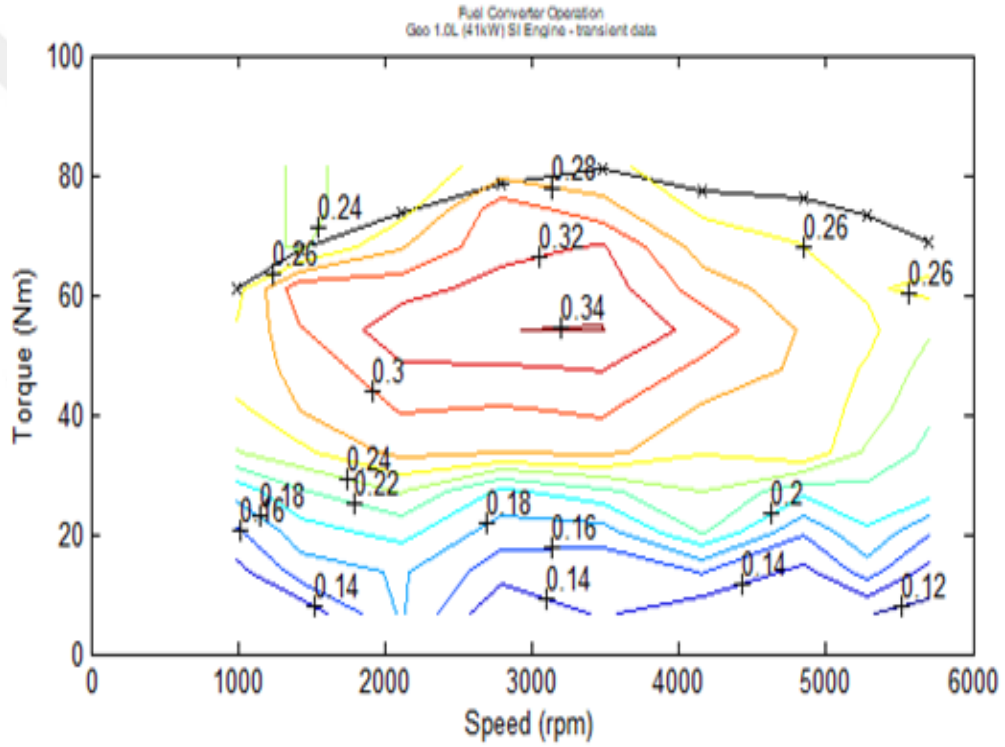
Şekil 4.3. Taşıt simulink blok diyagramı



Şekil 4.4. İçten yanmalı motor simulink blok diyagramı

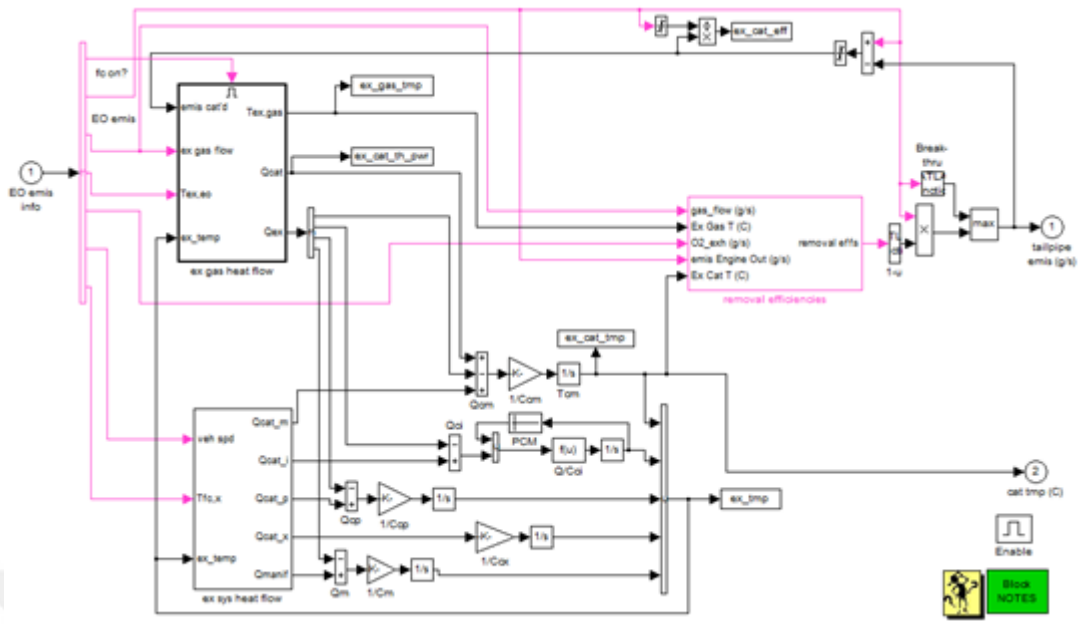
Şekil 4.4'te içten yanmalı motorun simulink blok diyagramı gösterilmiştir. İçten yanmalı motor modeli, taşıttaki güç kaynağı simülasyonunun gerçekleştirilmesini sağlar. İçten yanmalı motor taşıttın tahrik edilebilmesi için gerekli olan mekanik enerjiyi elde edebilmek için yakıtın kimyasal enerjisini kullanır.

Seçilen seri ve paralel tip hibrit elektrikli taşıtta kullanılan içten yanmalı motor, 41 kW güce sahip 1991 Geo Metro 1.0 L model benzinli içten yanmalı motordan geliştirilmiştir. Motorun maksimum gücü, 5700 devirde 41 kW ve maksimum momenti ise 3477 devirde 81 Nm'dur. İçten yanmalı motora ait verimlilik haritası Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



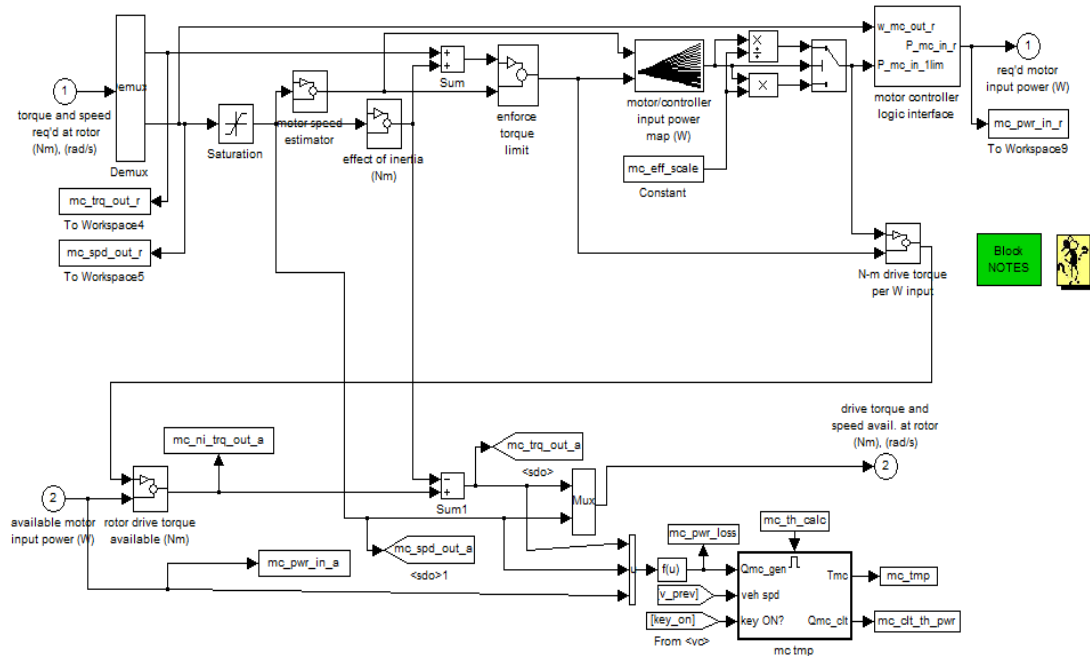
Şekil 4.5. İçten yanmalı motor verimlilik haritası

Şekil 4.6'da gösterilen blok diyagram, taşıttın egzoz sisteminin simülasyonu için kullanılır. Egzoz sisteminin ana çıktısı g/s olarak zamanın fonksiyonu olan egzoz emisyonlarıdır (HC, CO, NOx ve PM). Diğer çıktılar ise egzoz sistemi bileşenlerinin sıcaklıkları ve her bir bileşen içindeki ve dışındaki egzoz gazı sıcaklıklarıdır.



Şekil 4.6. Egzoz sistemi simulink blok diyagramı

Simülasyon çalışmalarında kullanılan elektrik motoru 75 kW gücünde alternatif akım indüksiyon motorudur. Şekil 4.7’de gösterilen elektrik motoru simulink blok diyagramı tork ve hız talebini elektrik güç talebine dönüştürmekte ve gerçekte ulaşılabilen güç girdisini de tork ve hız çıktısına dönüştürmektedir.



Şekil 4.7. Elektrik motoru simulink blok diyagramı

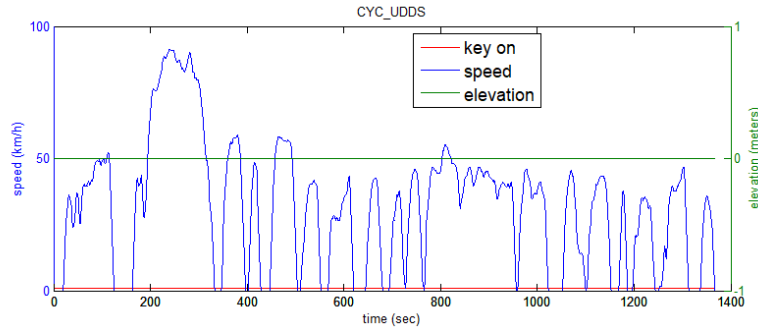
Bataryalar hibrit elektrikli taşıtlarda enerji depolama sistemi için en önemli parametredir. Seçilen beş farklı bataryanın teknik özellikleri ve matlab kodları Tablo 4.2’de verilmiştir. Her iki tip taşıt için de aynı bataryalar üzerinden inceleme yapılacaktır.

Tablo 4.2. Seçilen bataryaların özellikleri

Batarya Tipi	Özellikleri	Matlab kodu	Kapasite (Ah)	Modül sayısı	Modül Ağırlığı (kg)	Nominal Gerilim (V)
Pb	Hawker Genesis VRLA battery	ESS_PB25.m	26	3	11	12
Li	Saft Lithium Ion battery	ESS_LI7_temp.m	6	3	1,13	9
NiMH	Ovonic NiMH battery	ESS_AnnexVII_SerHyb_NIMH28_OVONIC.m	28	3	3,6	6,2
NiCad	Saft STM battery	ESS_NICAD102.m	102	3	14	6
NiZn	Evercel NiZn battery	ESS_NIZN22_temp.m	22	7	6,34	10,6

Taşıt parametreleri seçildikten sonra ADVISOR veri tabanında bulunan sürüş çevrimleri (drive cycle) temel alınarak test simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu sürüş çevrimleri; şehir içi sürüş çevrimi olarak adlandırabileceğimiz Urban Dynamometer Driving Syhedule (UDDS) ve şehirlerarası sürüş çevrimi olan Highway Fuel Economy Test (HWFET) sürüşleridir.

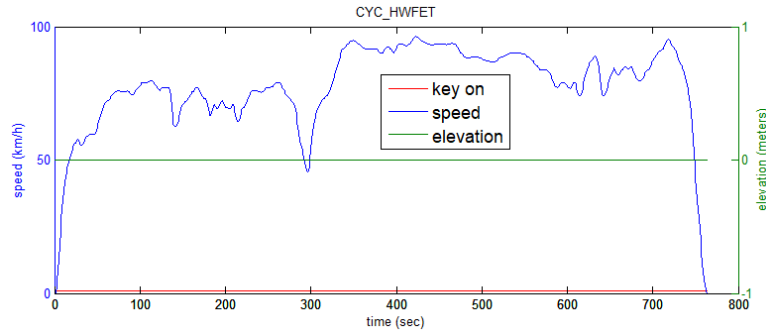
Taşıt test simülasyonlarının gerçekleştirildiği UDDS ve HWFET sürüş çevrimlerine ait hız-zaman grafikleri ve teknik özellikler sırasıyla Şekil 4.8, Tablo 4.3, Şekil 4.9 ve Tablo 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.8. UDDS sürüş çevrimi hız-zaman grafiği

Tablo 4.3. UDDS sürüş çevriminin teknik özellikleri

Veriler	Değerler	Birimler
Süre	1369	s
Mesafe (Uzunluk)	11,99	km
Maksimum Hız	91,25	km/h
Ortalama Hız	31,51	km/h
Maksimum İvme	1,48	m/s^2
Maksimum Yavaşlama İvmesi	-1,48	m/s^2
Boşta Çalışma Süresi	259	s
Duraklama Sayısı	17	-



Şekil 4.9. HWFET sürüş çevrimi hız-zaman grafiği

Tablo 4.4. HWFET sürüş çevriminin teknik özellikleri

Veriler	Değerler	Birimler
Süre	765	s
Mesafe (Uzunluk)	16,51	km
Maksimum Hız	96,4	km/h
Ortalama Hız	77,58	km/h
Maksimum İvme	1,43	m/s^2
Maksimum Yavaşlama İvmesi	-1,48	m/s^2
Boşta Çalışma Süresi	6	s
Duraklama Sayısı	1	-

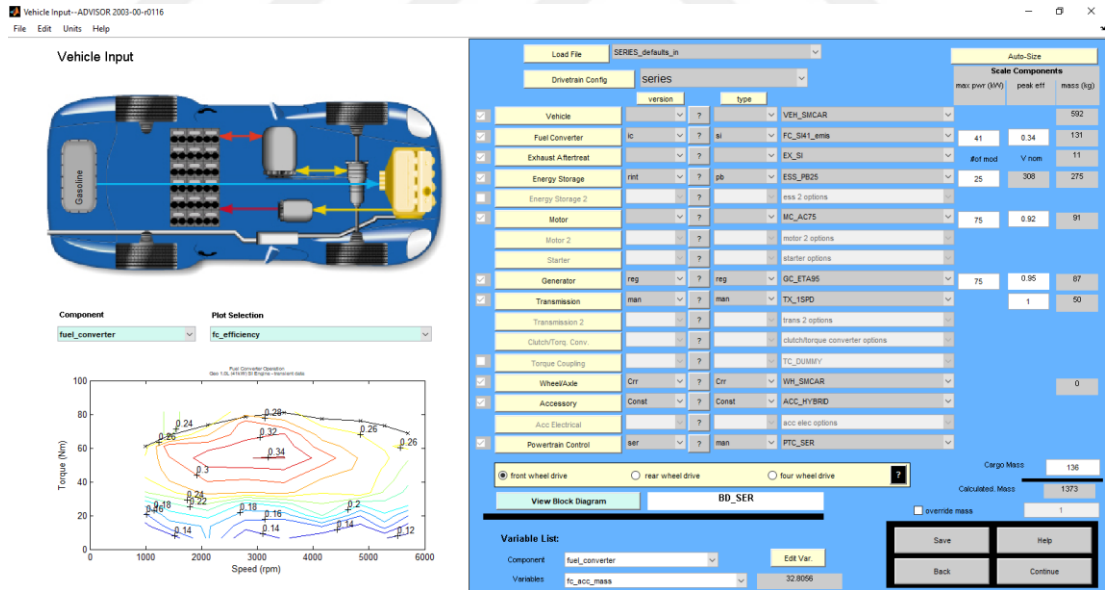
4.1.2. Simülasyon sonuçları

Seçilen seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlara ait ortak teknik özellikler bir önceki bölümde verilmiştir. Sürüş çevriminin detayları da yukarıda belirtildiği gibidir. Bu çalışmada farklı batarya çeşitleri üzerinden analizler yapılacaktır. Taşıt bataryalarının performans analizi için, ilk olarak seri hibrit taşıt ve batarya tipleri şu şekilde sunulmaktadır.

Tablo 4.5. Seri topoloji için seçim kriterleri

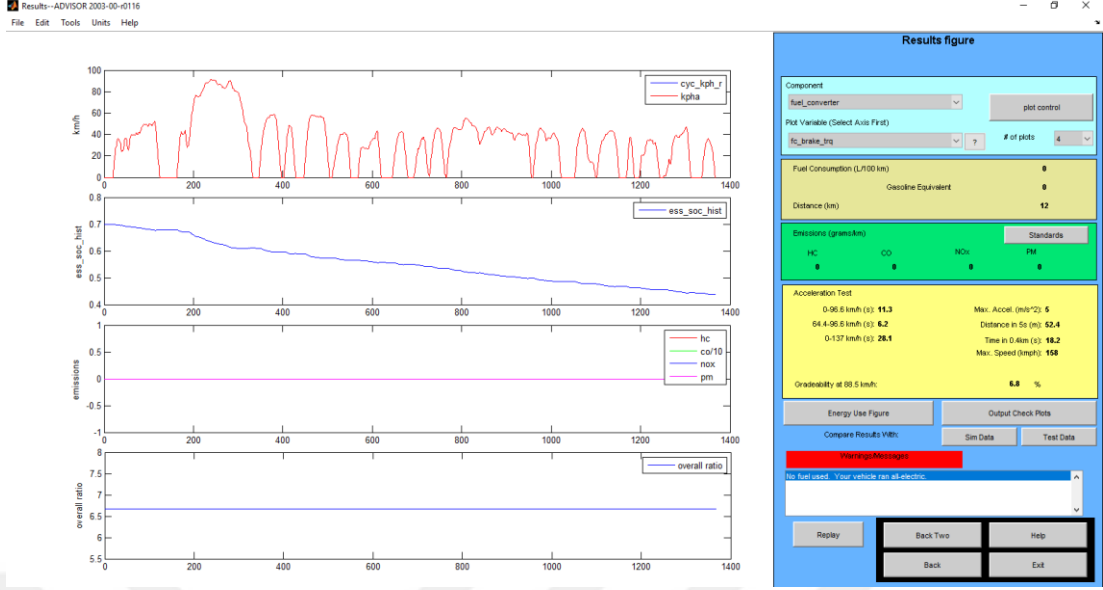
Taşıt Tipi	Seri Tip
Taşıt Adı	VEH_SMCAR
Sürüş Çevrimleri	UDDS, HWFET
Batarya Tipleri	Pb, Li-ion, NiMH, NiCad, NiZn
Batarya Modeli	Rint

Seri tip taşıt parametreleri Tablo 4.5'te kısaca özetlenmiştir. Giriş ekranında simülasyona ait girdi verileri seçildikten sonra Şekil 4.10'da gösterildiği gibi simülasyon başlatılır.



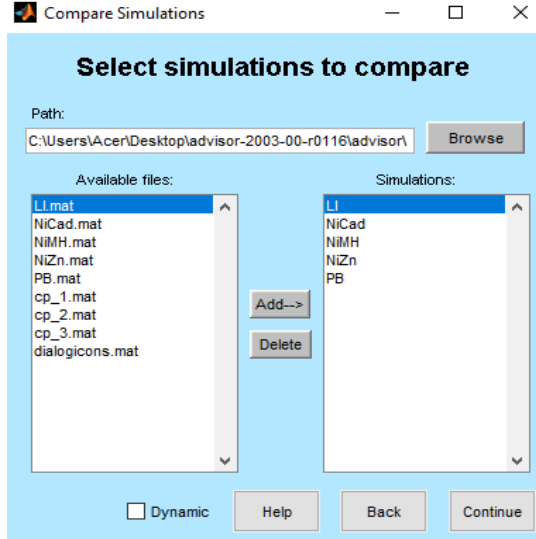
Şekil 4.10. Seri hibrit elektrikli taşıt giriş ekranı

Simülasyon çalıştırıldıktan sonra Şekil 4.11'de görüldüğü gibi bir sonuç ekranı açılır. Yapılan simülasyonlar sonuç ekranının sol üst butonlarından "save simulation" sekmesinden kaydedilebilir. Bu sayede ADVISOR'da birden fazla girdi karşılaştırabilmekte, sonuçlar analiz edilebilmektedir.



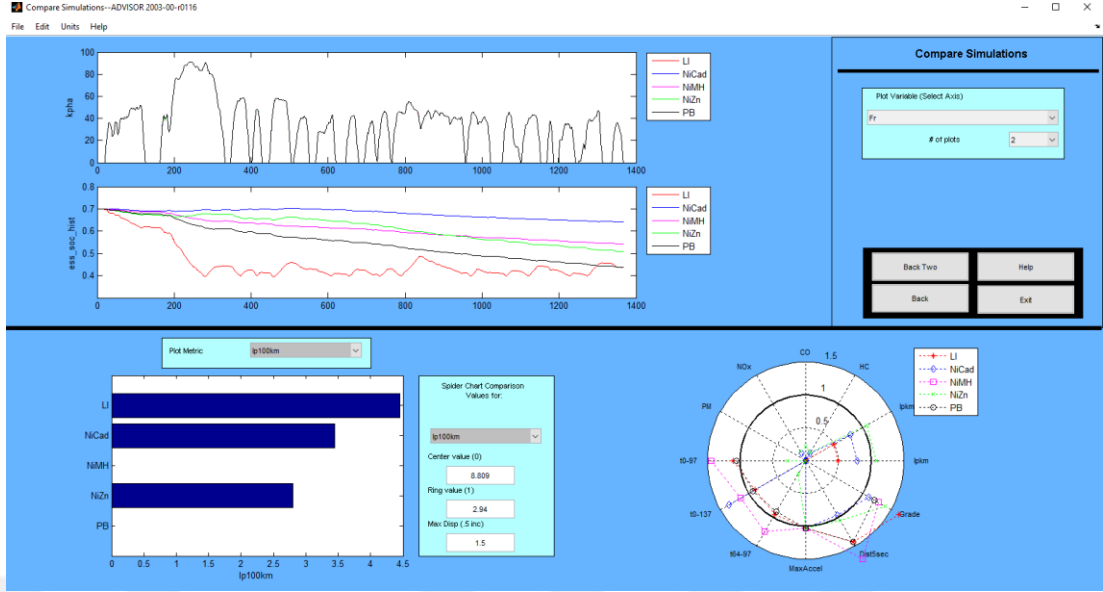
Şekil 4.11. Simülasyon sonuç penceresi

Simülasyon çalışmaları kaydedildikten sonra farklı parametreler üzerinden karşılaştırma yapabilmek için sonuç ekranındaki “sim data” sekmesi açılır. Açılan sekme Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Burada seçilmek istenen batarya tipleri eklenir ve simülasyon devam eder.



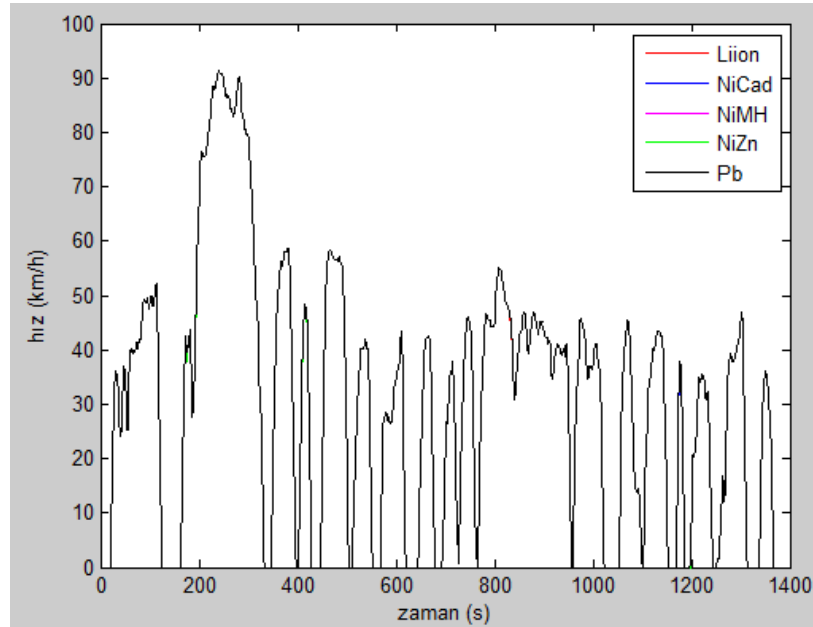
Şekil 4.12. Karşılaştırma parametre giriş ekranı

Daha sonra Şekil 4.13’te gösterildiği gibi bir sonuç ekranı gelir. Bu sayfanın sağ üst sekmesindeki butondan hangi parametre karşılaştırılmak isteniyorsa seçim yapılır.



Şekil 4.13. Simülasyon karşılaştırma ekranı

Seri hibrit taşıtta yapılan simülasyon çalışması ilk olarak UDDS sürüş çevriminde gerçekleştirilmiştir. Bu sürüş çevrimi şehir içi sürüşü temsil etmektedir. Pb, Li-ion, NiMH, NiCad ve NiZn bataryalarına ait simülasyon sonuçları seri tip hibrit taşıt olan VEH_SMCAR parametreleri kullanılarak, 1400 saniyelik bu güzergâhta elde edilmiştir.

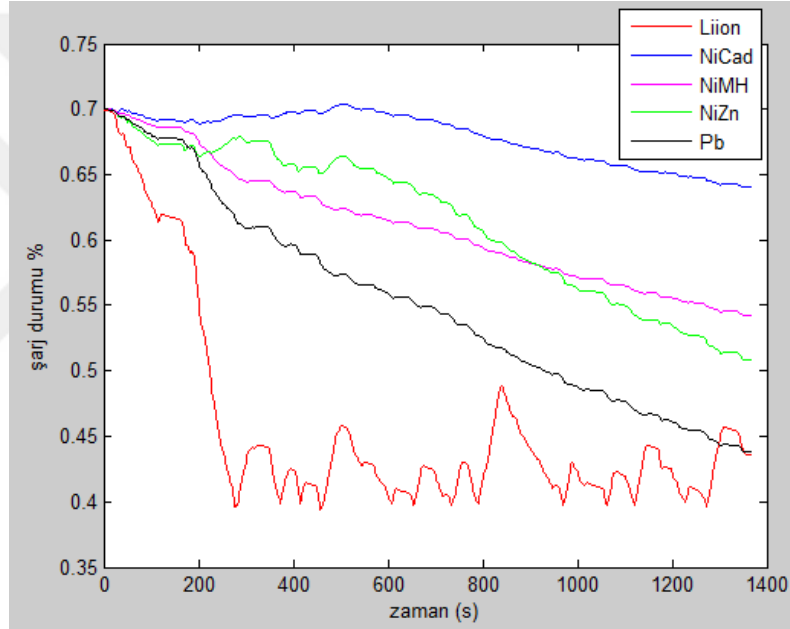


Şekil 4.14. UDDS sürüş güzergâhı hız-zaman değişimi

Şekil 4.14'te gösterilen hız zaman grafiği taşıtın seçilen UDDS sürüş çevrimine aittir. Buradan da görülebileceği gibi taşıt sürekli dur kalk yapmıştır ve taşıtın hızı zamana

bağlı sürekli değişmiştir. Bu durum bir bataryanın zor çalışma şartlarından bir tanesidir.

Şekil 4.15'te seçilen beş farklı batarya tipinin başlangıçtan itibaren olan şarj durumlarının seyri görülmektedir. Bataryanın aracın hareketine katkısı olabilmesi ve olası rejeneratif frenlemelerde açığa çıkan enerjinin şarj olarak bataryada saklanabilmesi için, aracın şarj durumu (SoC) belirli bir aralıkta korunmaktadır. Şarj aralığı Pb bataryada %70-%44, NiCad bataryada %70-%64, NiMH bataryada %70-%54, Li-ion bataryada %70-%44, NiZn bataryada ise %70-%51 arasında seyretmektedir.

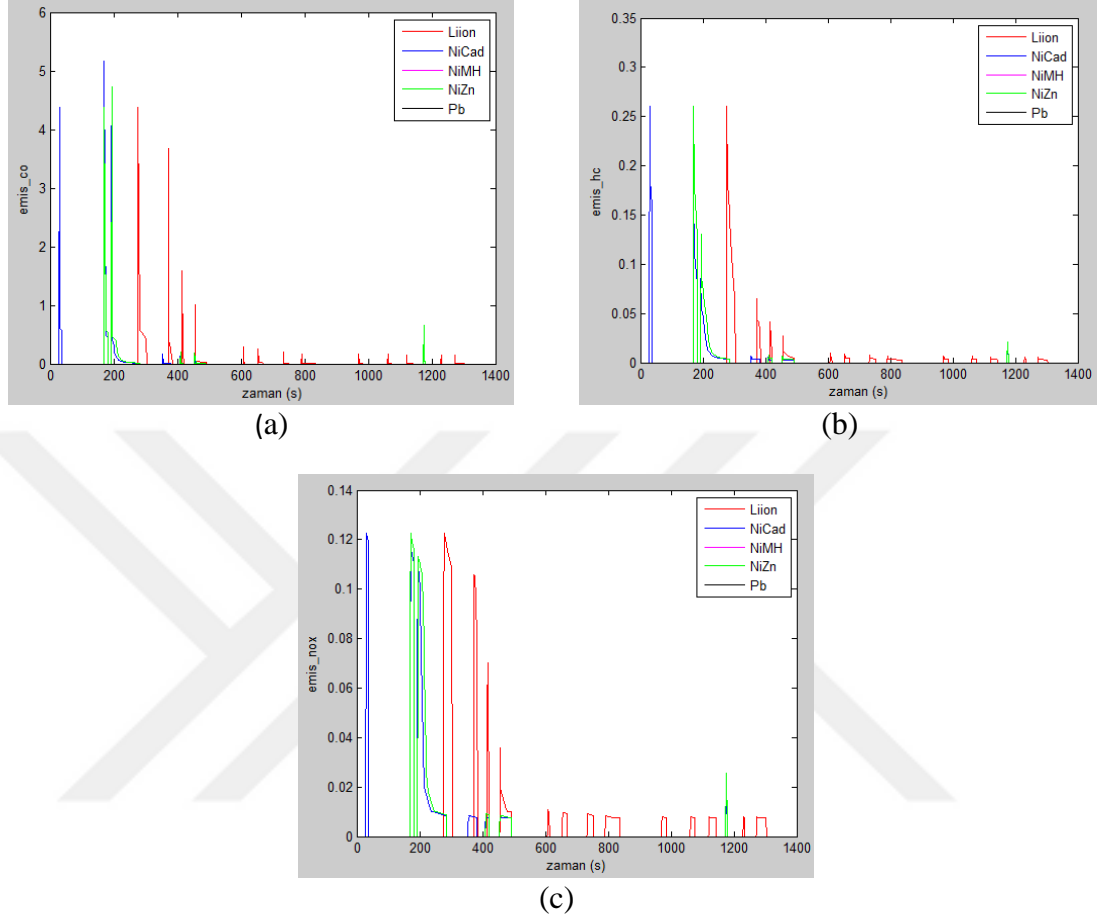


Şekil 4.15. UDDS sürüşü seri hibrit taşıt batarya şarj durumu

Şekil 4.15'teki grafikten anlaşılacağı gibi taşıtın ivmelenebilmesi için lityum iyon bataryanın diğer bataryalara oranla daha yüksek güç kullandığı görülmektedir. Ayrıca taşıtın dur kalk yapmasıyla rejeneratif frenleme ile ortaya çıkabilecek enerjiyi depolama kabiliyeti lityum iyon bataryada daha yüksektir. Şarj durumunu en iyi koruyan batarya grafiğe göre NiCad bataryadır. NiMH ve NiZn bataryalar ise benzer özellik göstermektedir.

Seçilen UDDS sürüş çevriminde dur kalk sayısının fazla olması taşıtın harekete başladığı an sürekli ivmelenmesine sebep olmuştur. Taşıt tipi hibrit olduğundan dolayı

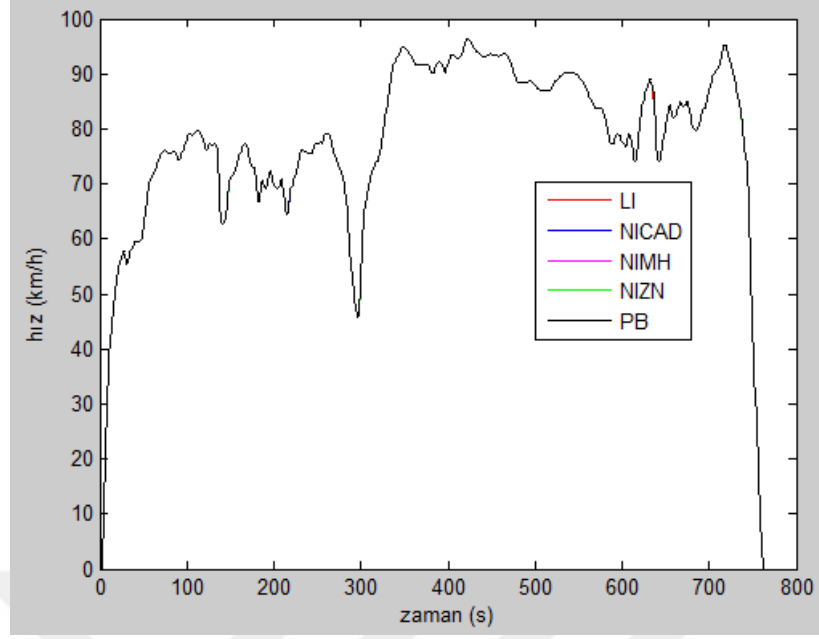
gerekli gücü sağlamak için elektrik motoru ile birlikte içten yanmalı motorun çalışması emisyonun artmasına neden olur.



Şekil 4.16. UDDS sürüşü seri hibrit taşıt toplam emisyon-zaman değişimi a) CO emisyon değerleri, b) HC emisyon değerleri, c)NOx emisyon değerleri

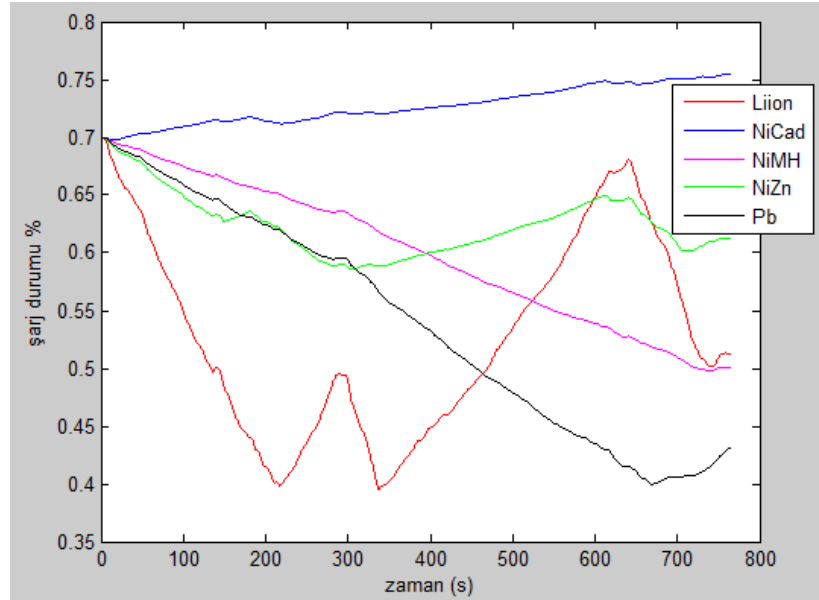
Bataryalara ait emisyon değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Emisyon değerlerinin birbirlerine yakın olmasına rağmen NiCad bataryanın diğerlerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Seri hibrit taşıtta yapılan diğer simülasyon çalışması ise HWFET sürüş çevriminde gerçekleştirilmiştir. Bu sürüş çevrimi şehirlerarası sürüşü temsil etmektedir. Pb, Li, NiMH, NiCad ve NiZn bataryalarına ait simülasyon sonuçları seri tip hibrit taşıt olan VEH_SMCAR parametreleri kullanılarak, 800 saniyelik bu güzergâhta elde edilmiştir. Şekil 4.17'de gösterilen hız zaman grafiği taşıtın seçilen HWFET sürüş çevrimine aittir. Buradan da görülebileceği gibi taşıttaki dur kalk sayısı sadece bir (1) tanedir. Taşıtın hızı zamana bağlı olarak nadiren değişmiştir.



Şekil 4.17. HWFET sürüş güzergâhı hız-zaman değişimi

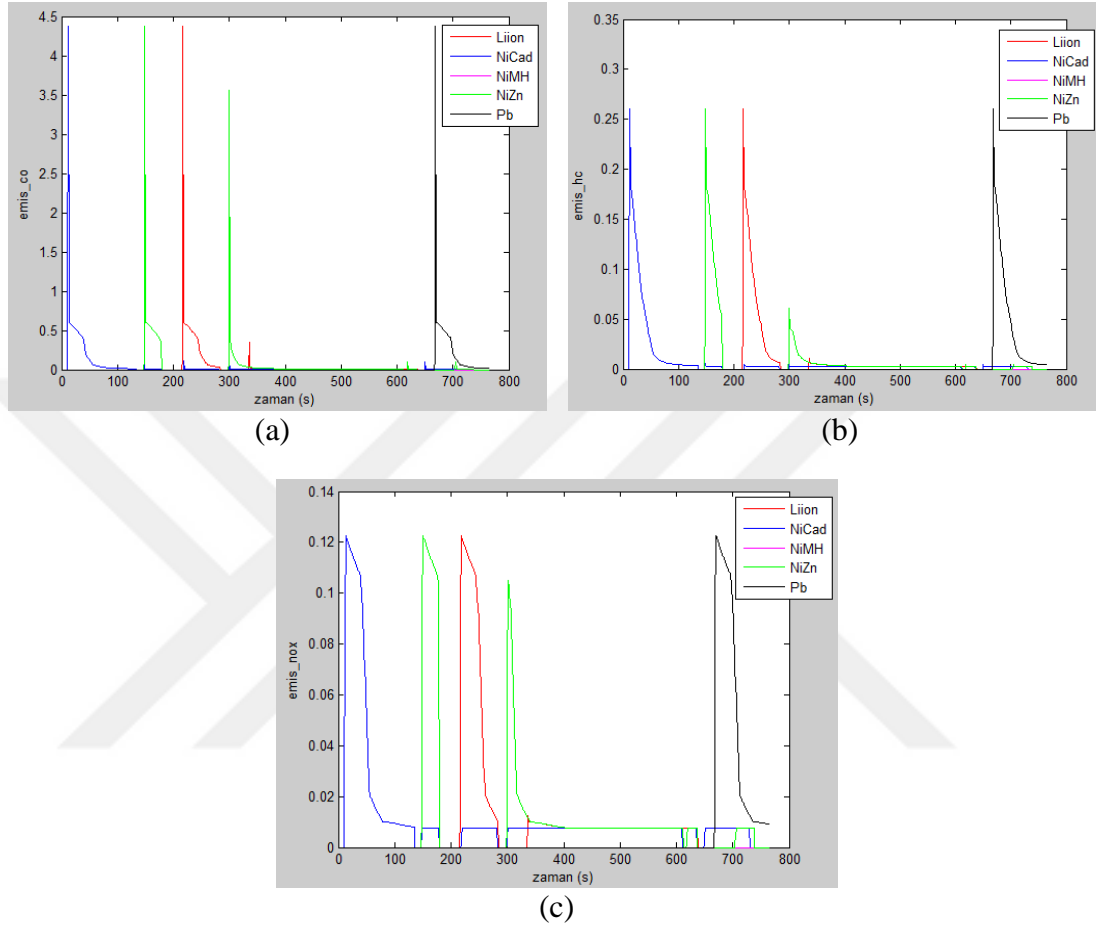
Şekil 4.18'de seçilen beş farklı batarya tipinin HWFET sürüşünde başlangıçtan itibaren olan şarj durumlarının seyri görülmektedir. Şarj aralığı Pb bataryada %70-%44, NiCad bataryada %70-%71, NiMH bataryada %70-%50, Li-ion bataryada %70-%51, NiZn bataryada ise %70-%61 arasında seyretmektedir.



Şekil 4.18. HWFET sürüşü seri hibrit taşıt şarj durumu

Şekil 4.18'deki grafikten anlaşılacağı gibi taşıtın ivmelenebilmesi için lityum iyon bataryanın diğer bataryalara oranla daha yüksek güç kullandığı görülmektedir. Şarj

durumunu en iyi koruyan batarya diğer sürüşte olduğu gibi yine NiCad bataryadır. Ayrıca taşıtta enerji depolama kabiliyeti en yüksek olan batarya yine lityum iyon bataryadır.



Şekil 4.19. HWFET sürüşü seri hibrit taşıt emisyon değeri-zaman değişimi a) CO emisyon değerleri, b) HC emisyon değerleri, c)NOx emisyon değerleri

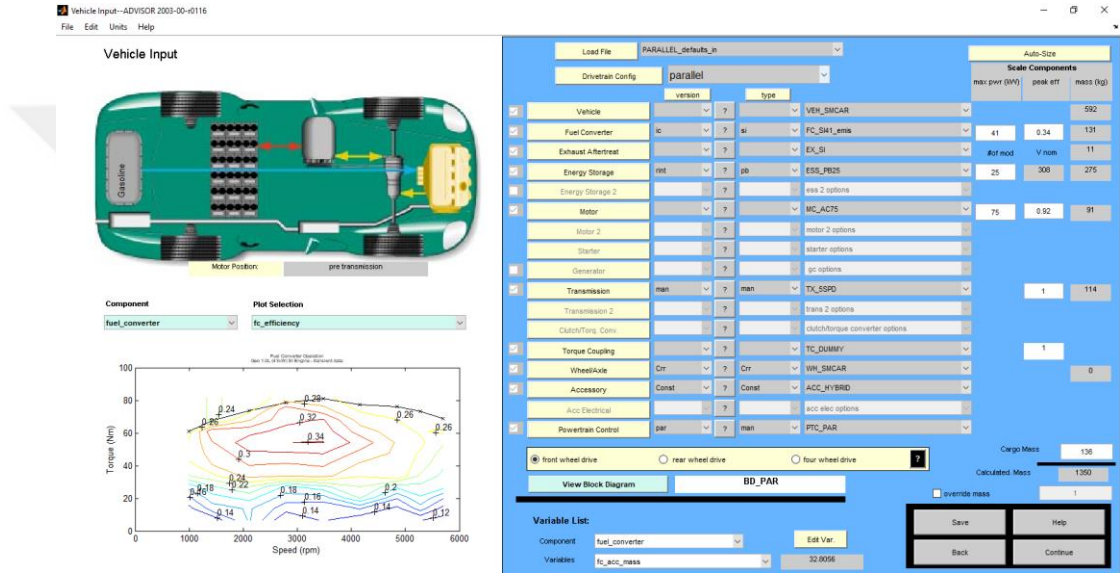
Seçilen HWFET sürüş çevriminde bataryalara ait emisyon değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Taşıt tipi hibrit olduğundan dolayı gerekli gücü sağlamak için elektrik motoru ile birlikte içten yanmalı motorun çalışması emisyonun artmasına sebep olmuştur. Seri hibrit taşıtta şehirlerarası sürüş çevriminde emisyon değerleri birbirlerine yakın değerlerde gözlemlenmiştir.

İkinci inceleyeceğimiz taşıt Tablo 4.6’da detayları verilen paralel tip hibrit taşıttır. Aynı sürüş çevriminde beş farklı bataryaya ait değerler analiz edilecektir.

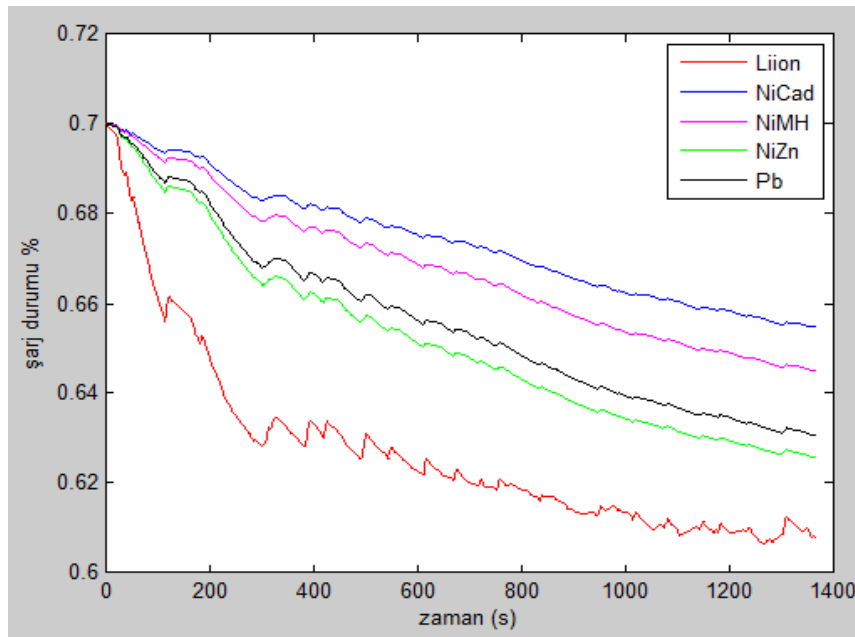
Tablo 4.6. Paralel topoloji için seçim kriterleri

Taşıt Tipi	Paralel Tip
Taşıt Adı	VEH_SMCAR
Sürüş Çevrimleri	UDDS, HWFET
Batarya Tipleri	Pb, Li-ion, NiMH, NiCad, NiZn
Batarya Modeli	Rint

Paralel taşıtın ADVISOR giriş ekranı Şekil 4.20’de verilmiştir. Seçilen parametreler seri tipteki taşıtla aynıdır. Tek farkı paralel taşıtlarda ekstra bir jeneratör ihtiyacı duyulmadığından jeneratör seçilmemiştir.



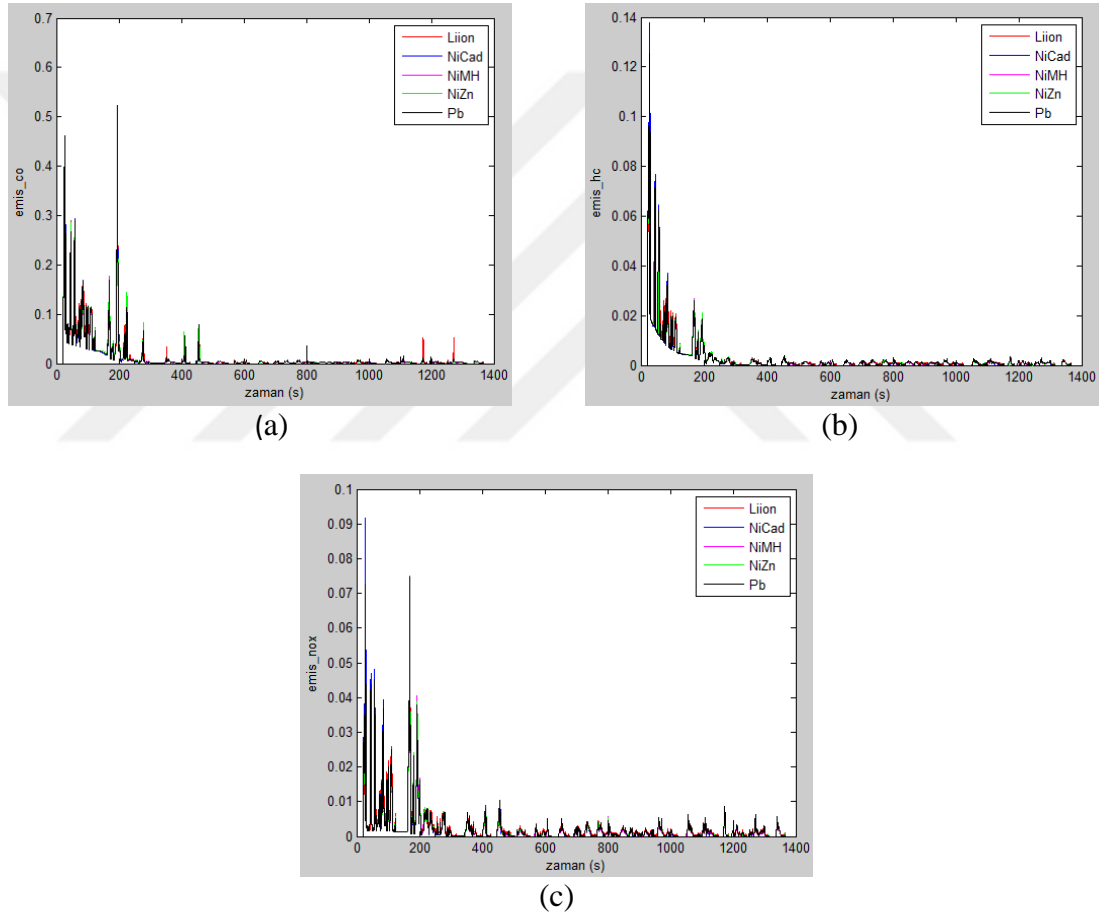
Şekil 4.20. Paralel hibrit elektrikli taşıt giriş ekranı



Şekil 4.21. UDDS sürüşü paralel hibrit taşıt batarya şarj durumu

Şekil 4.21’de seçilen beş farklı batarya tipinin başlangıçtan itibaren olan şarj durumlarının UDDS sürüş çevrimindeki seyri görülmektedir. Şarj aralığı Pb bataryada %70-%63, NiCad bataryada %70-%65, NiMH bataryada %70-%65, Li-ion bataryada %70-%61, NiZn bataryada ise %70-%61 arasında seyretmektedir.

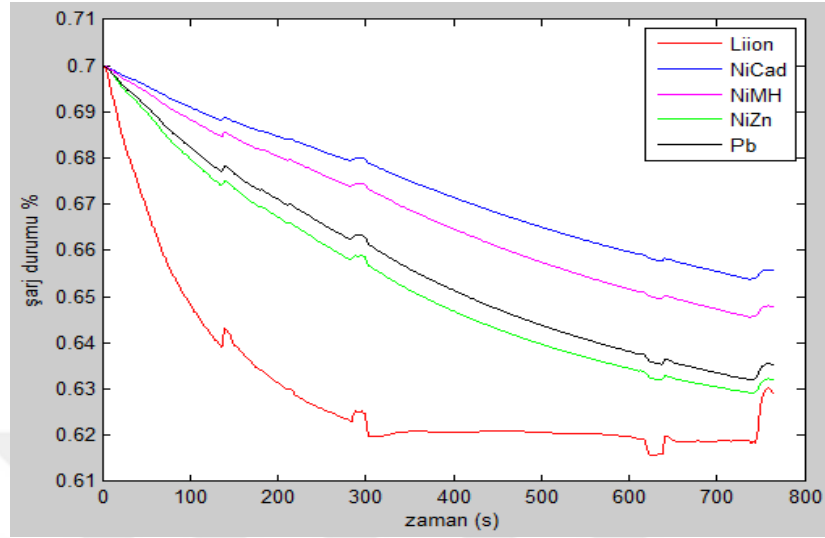
Genel olarak bakıldığında beş bataryanın da SoC değerini korudukları görülmektedir. NiCad ve NiMH bataryaları benzer performans sergilemiştir. Lityum iyon bataryanın rejeneratif frenleme ile elde ettiği enerji diğer bataryalara göre daha fazla olmasına rağmen SoC değerindeki en fazla düşüş gösteren bataryadır.



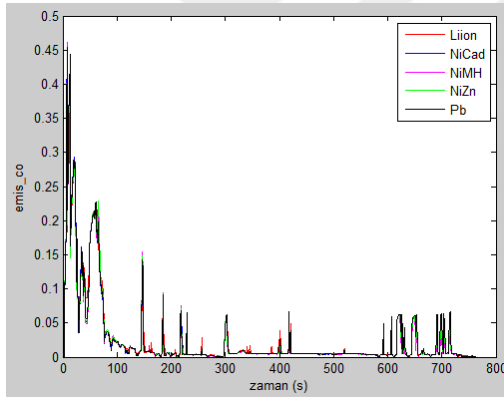
Şekil 4.22. UDDS sürüşü paralel hibrit taşıt emisyon değeri-zaman değişimi a) CO emisyon değerleri, b) HC emisyon değerleri, c)NOx emisyon değerleri

Bataryalara ait emisyon değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.22’de gösterilmiştir. NiCad bataryanın seri tip taşıtta olduğu gibi diğerlerine göre emisyon değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.23’te paralel hibrit taşıtta seçilen beş farklı batarya tipinin HWFET sürüşünde başlangıçtan itibaren olan şarj durumlarının seyri görülmektedir. Şarj aralığı Pb bataryada %70-%63,5, NiCad

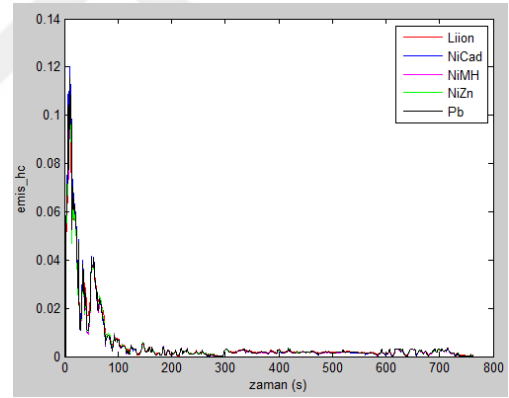
bataryada %70-%65,5, NiMH bataryada %70-%64,5, Li-ion bataryada %70-%63, NiZn bataryada ise %70-%63 arasında seyretmektedir.



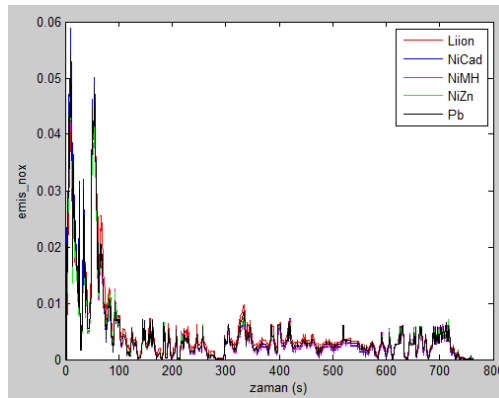
Şekil 4.23. HWFET sürüşü paralel hibrit taşıt batarya şarj durumu



(a)



(b)

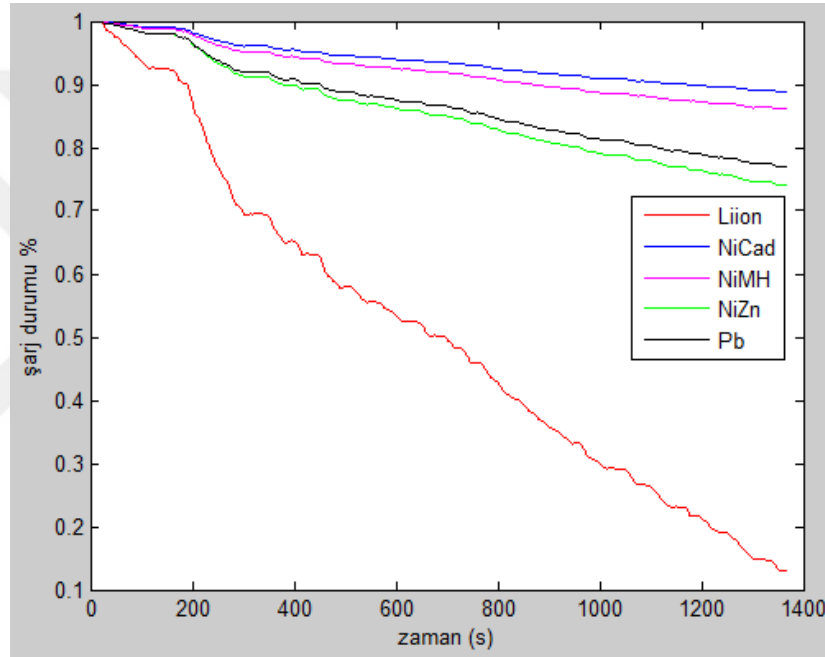


(c)

Şekil 4.24. HWFET sürüşü paralel hibrit taşıt emisyon değeri-zaman değişimi a) CO emisyon değerleri, b) HC emisyon değerleri, c) NOx emisyon değerleri

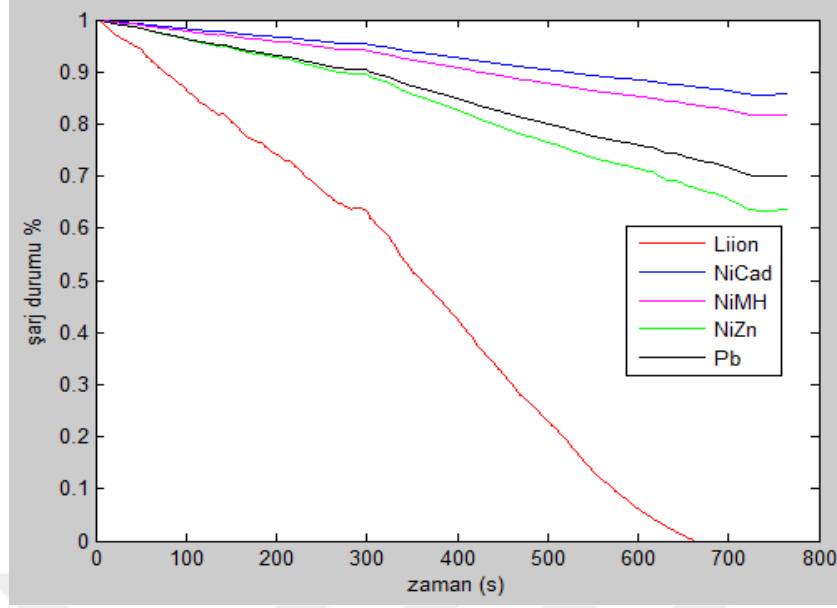
Paralel hibrit taşıtta şehirlerarası sürüşünde bataryalara ait emisyon değişim grafikleri Şekil 4.24'te gösterilmiştir. Seri tip taşıta nazaran HWFET sürüşünde paralel hibritte emisyon değerlerinin daha az seyrettiği gözlemlenmiştir.

Hibrit elektrikli taşıtların tam elektrikli taşıtlara oranla sonuçlarını kıyaslamak amacıyla son olarak ADVISOR veri tabanında bulunan örnek bir tam elektrikli taşıtın diğer bütün parametreleri sabit tutularak yine aynı şekilde beş farklı batarya üzerinden simülasyon çalışmaları devam ettirildi. Öncelikle UDSS sürüş çevriminde gerçekleştirilen şarj durumu grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir.



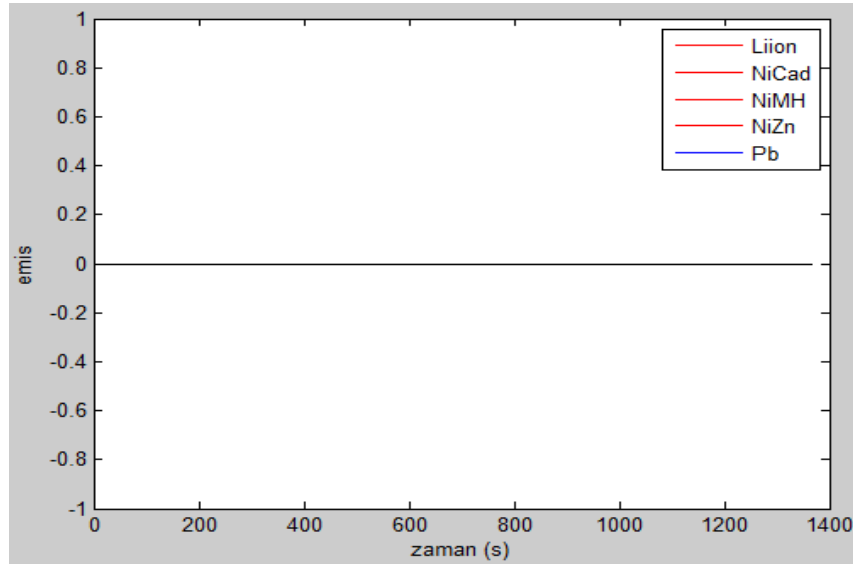
Şekil 4.25. UDSS sürüşü tam elektrikli taşıt batarya şarj durumu

Şekil 4.25'te tam elektrikli taşıtta seçilen beş farklı batarya tipinin başlangıçtan itibaren olan şarj durumlarının UDSS sürüş çevrimindeki seyri görülmektedir. Şarj aralığı Pb bataryada %100-%76, NiCad bataryada %100-%78, NiMH bataryada %100-%85, NiZn bataryada %100-%75, Li-ion bataryada ise %100-%12 arasında seyretmektedir.



Şekil 4.26. HWFET sürüşü tam elektrikli taşıt batarya şarj durumu

Şekil 4.26'da ise tam elektrikli taşıtta seçilen beş farklı batarya tipinin HWFET sürüşünde başlangıçtan itibaren olan şarj durumlarının seyri görülmektedir. Şarj aralığı NiCad bataryada % 100-%85, NiMH bataryada % 100-%81, Pb bataryada % 100-%70, NiZn bataryada % 100-%65 arasında seyrederken Li-ion bataryada ise 800 saniyelik sürüşü tamamlayamamıştır.

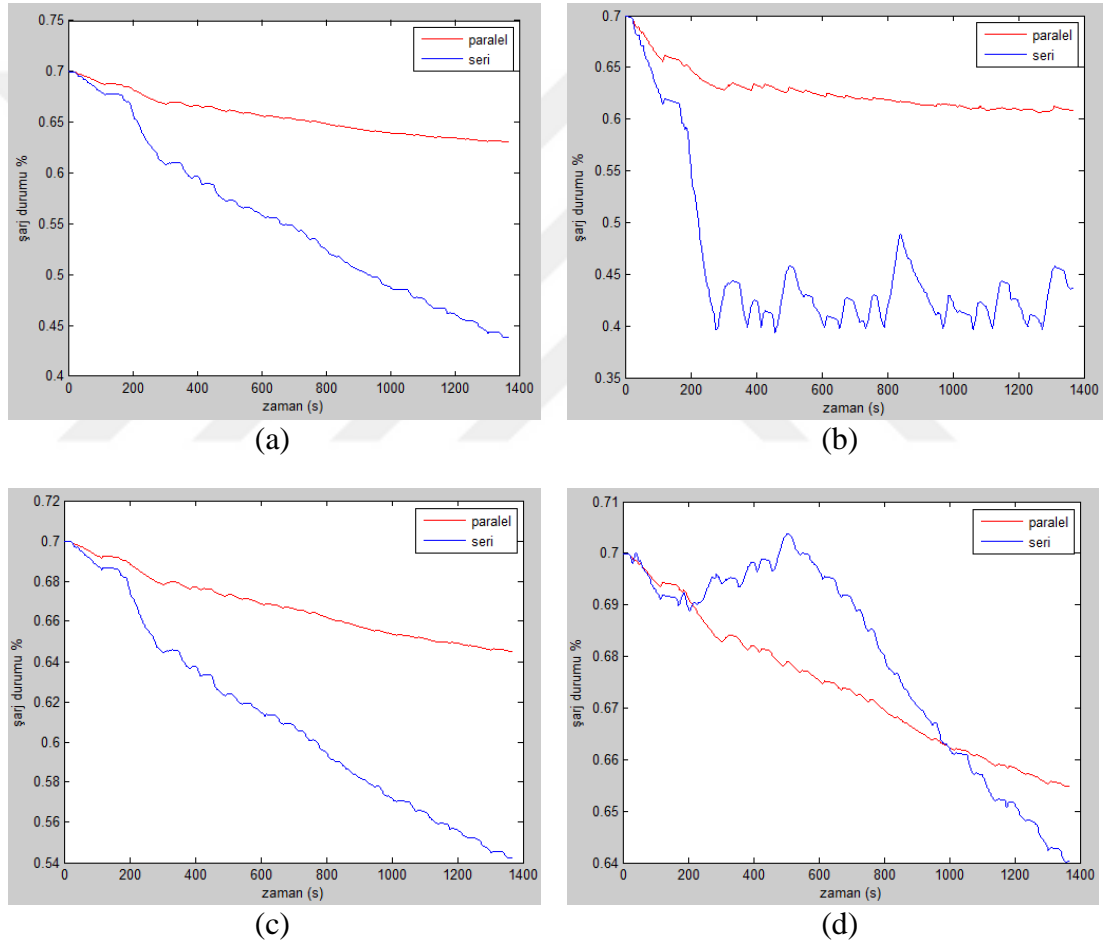


Şekil 4.27. UDDS ve HWFET sürüşü tam elektrikli taşıt emisyon değerleri

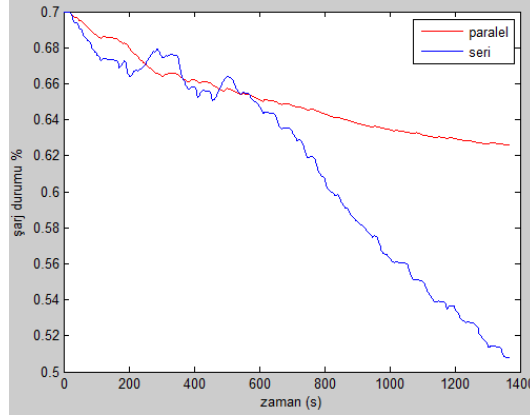
Tam elektrikli taşıtlarda içten yanmalı motor kullanılmadığından zararlı gaz salınımı yoktur. Şekil 4.27, UDDS ve HWFET sürüşlerindeki emisyon değerlerinin grafiği verilmiştir.

4.2. Sonuçların Değerlendirilmesi

ADVISOR programı simülasyon sonuçlarını istenilen veriye göre kıyaslama imkânını kullanıcıya sunan bir araç simülatörüdür. Bu sayede karşılaştırılmak istenen parametreler kolay bir şekilde grafikler yardımıyla gözlenebilmektedir. Analizler için iki farklı sürüş çevriminde seri ve paralel hibrit taşıtta beş farklı batarya tipi seçilmiştir. Şekil 4.28'de gösterilen sonuç grafikleri, UDDS şehir içi sürüşünde batarya şarj durumlarının seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlar arasındaki kıyaslamasını vermektedir.



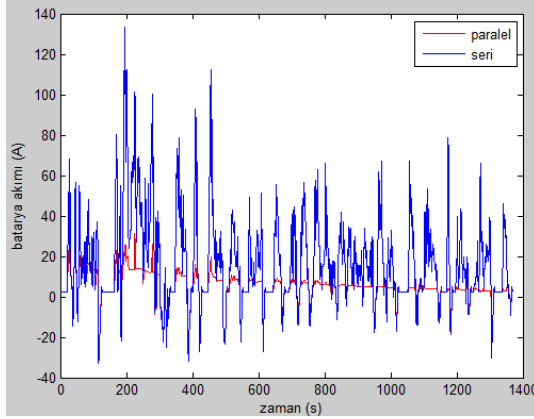
Şekil 4.28. UDDS sürüşü batarya şarj durumu-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn



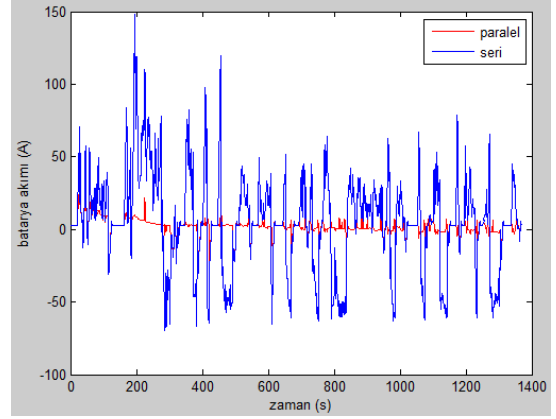
(e)

Şekil 4.28.(Devam) UDDS sürüşü batarya şarj durumu-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn

Seri tip taşıtlarda taşıt tahriki sadece elektrik motoru tarafından sağlanmaktadır. Bu durum da yüksek güç gerektiren durumlarda bataryadan daha fazla enerji çekilmesine sebep olur. Paralel taşıtlarda ise hem elektrik motoru hem de İYM birlikte tahriklenir ve yüksek güç durumlarında genelde İYM devreye girer. Böylece elektrik motorunun güç gereksinimi serilere göre daha az olur. Şekil 4.28'deki grafiklere bakıldığında da bütün batarya çeşitlerinin seri tip taşıtlarda daha fazla enerji harcadığı, şarj seviyelerinin daha düşük seviyelere düştüğü görülmektedir.

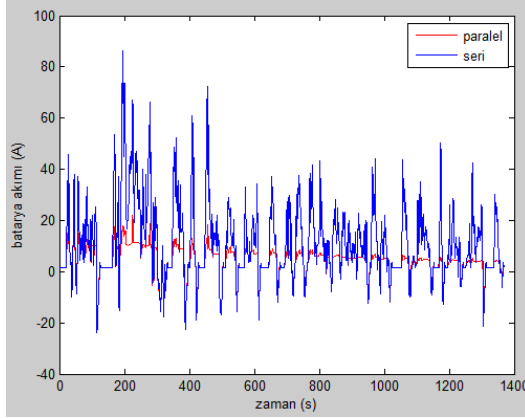


(a)

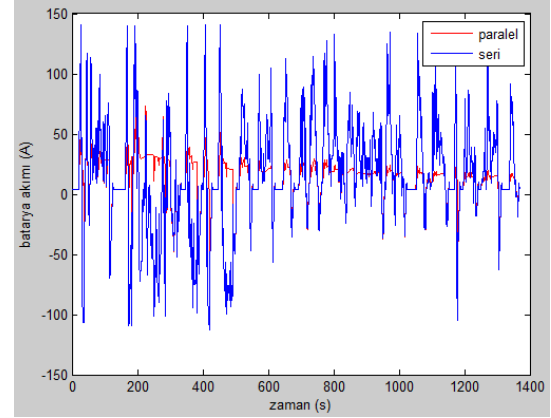


(b)

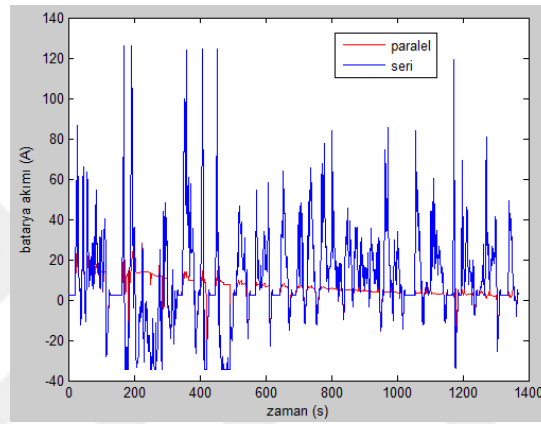
Şekil 4.29. UDDS sürüşü batarya akım-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn



(c)



(d)

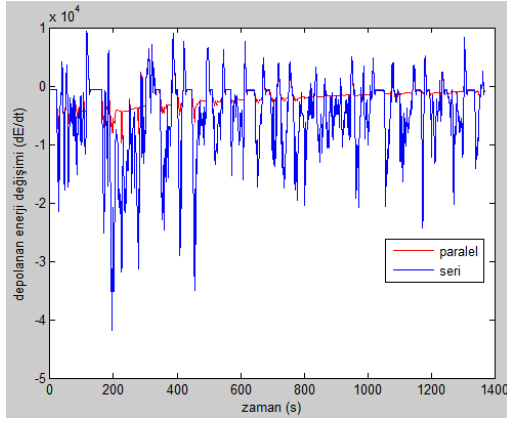


(e)

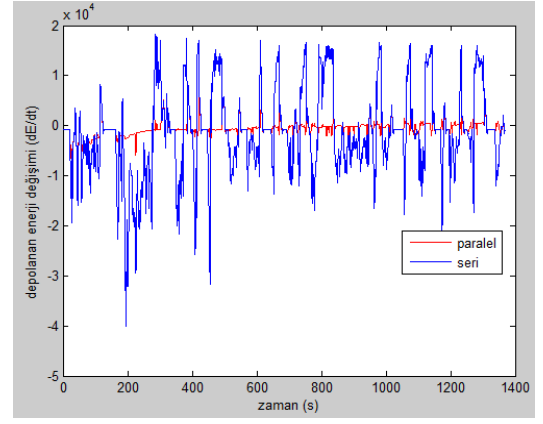
Şekil 4.29.(Devam) UDDS sürüşü batarya akım-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn

Şarj durumunun seri hibritlerde daha düşük olmasına rağmen rejeneratif frenleme ile enerji depolama kabiliyetleri paralel hibritlere göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu da şehir içi sürüşlerde seri hibritlerin daha avantajlı olduğunu açıklar.

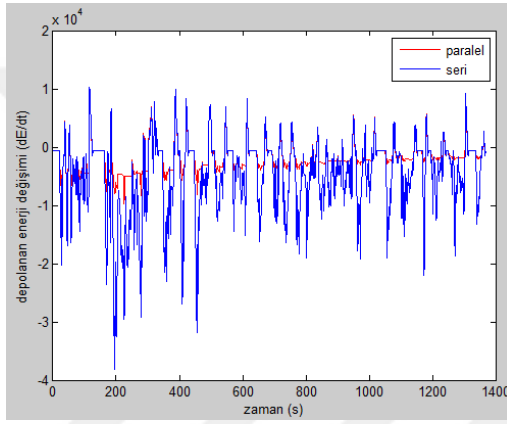
Şekil 4.29'da batarya akımının zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Grafiklere bakıldığında bataryaların hem depolama yaparken (pozitif) hem de dışarıya enerji verirken (negatif) her iki tip taşıt için de en çok akımı NiCad bataryanın çektiği görülmektedir. Ayrıca seri tip taşıtlarda batarya akım zaman değişimleri paralel tiplere göre daha fazla olmuştur. Ancak batarya akımı hiçbir zaman tek başına belirleyici bir unsur olamaz. Batarya akımı batarya gücünü artırırken aynı zamanda batarya omik direnci nedeniyle de bir güç kaybına da neden olmaktadır. Dolayısıyla yüksek batarya akımının yüksek batarya gücü anlamına gelmediği, batarya çıkış gücünü önemli ölçüde düşürdüğü bilinmelidir.



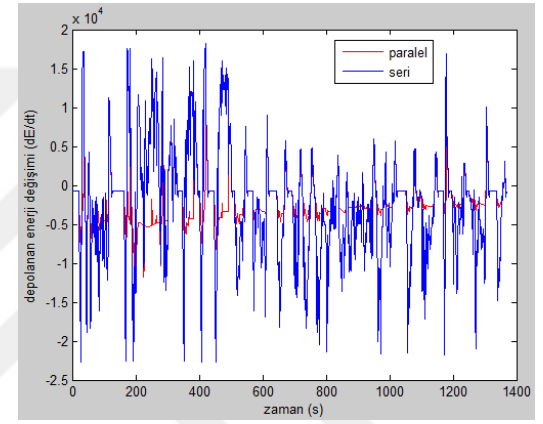
(a)



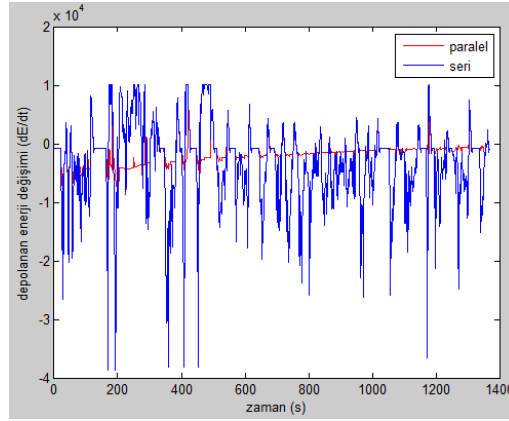
(b)



(c)



(d)

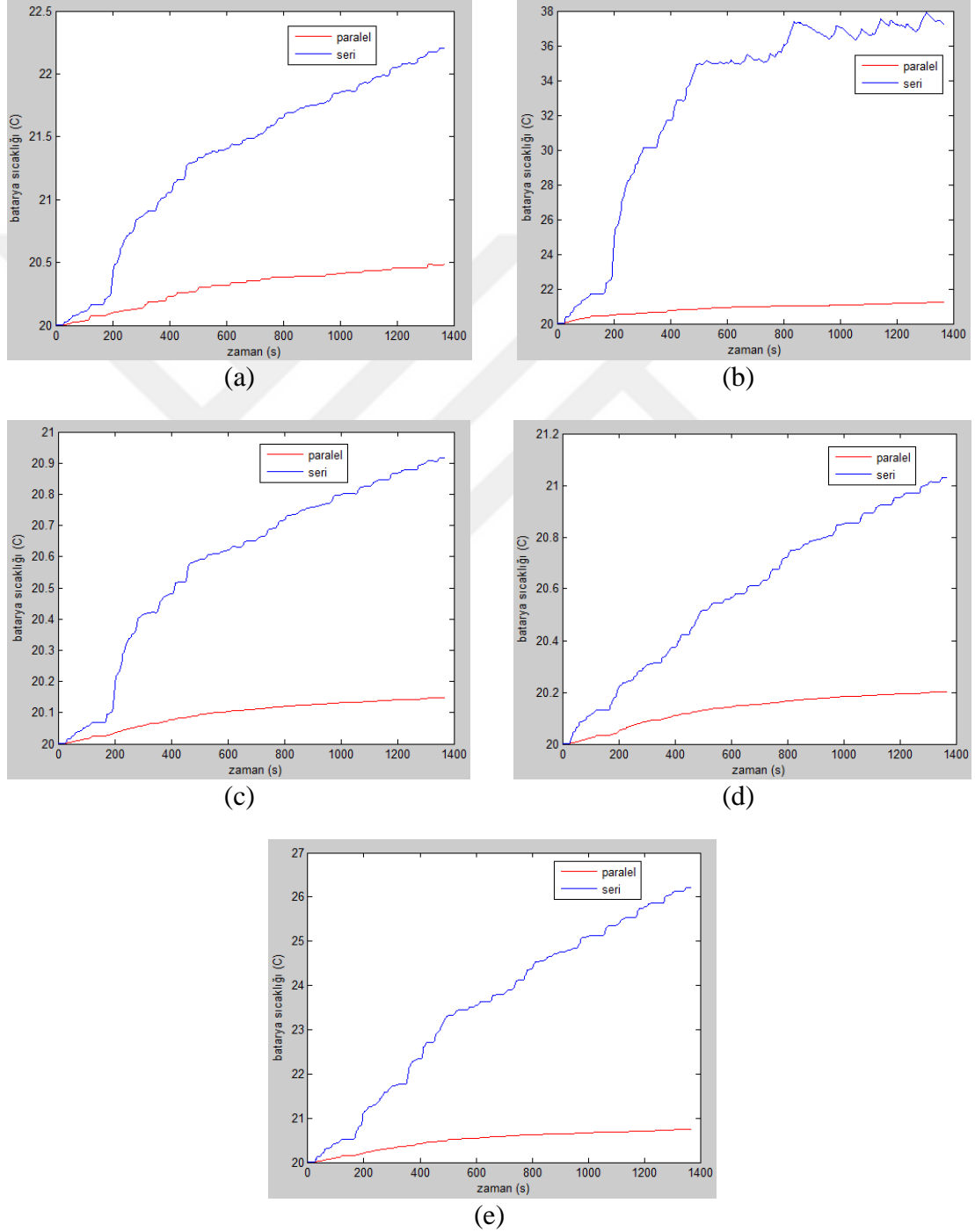


(e)

Şekil 4.30. UDDS sürüşü depolanan enerji değişimleri a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn

Bataryaların anlık enerji depolama kabiliyeti sürüş güzergâhı boyunca dE/dt değişimi ile ifade edilmektedir. Bu değişim Şekil 4.30'da belirli bir zaman aralığında (dt) bataryaların enerji depolama değişimi (dE)'nin sürüş güzergâhı boyunca verilmektedir. Enerji depolama kabiliyetlerinin yüksek olması taşıtın değişik zaman

aralıklarında hareketi için gerekli olan enerjiyi daha rahat karşılayabilmesini sağlamaktadır. Grafiklere bakıldığında seri tip taşıtların batarya performanslarının enerji depolama konusunda daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu da rejeneratif frenlemedeki enerji depolama kabiliyetinin seri tiplerde daha fazla olduğunu açıklayan bir durumdur.



Şekil 4.31. UDDS sürüşü batarya sıcaklığı-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn

Şekil 4.31’de sürüş güzergâhı boyunca bataryaların sıcaklık değişimleri kabul edilebilir normal sınırlar içerisinde değişmektedir. Ancak paralel tip taşıtlarda batarya sıcaklıkları daha kararlı seyretmektedir.

Tablo 4.7. Seri hibrit taşıt UDDS sürüşü egzoz emisyon değerleri

Egzoz Emisyon Değerleri (g/km)				
	CO	HC	NO _x	PM
Pb	0	0	0	0
Li	2,7	0,419	0,521	0
NiMH	0	0	0	0
NiCad	2,683	0,375	0,459	0
NiZn	2,34	0,373	0,442	0

Tablo 4.7 ve 4.8’de seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtların UDDS sürüş çevriminde gerçekleştirilen simülasyondaki egzoz emisyon sonuçlarının değerleri verilmiştir. Tablolardan da görülebileceği gibi emisyon değerleri iki taşıtta da seçilen batarya tiplerinde birbirine yakın değerlerde seyretmiştir.

Seri hibrit taşıtta gerçekleşen UDDS sürüşünde Tablo 4.7’ye bakıldığı zaman HC miktarı NiCad bataryada 0,375 g/km olurken bu değer NiZn’de %0,53 azalmış, lityum iyon bataryada ise %11,73 artış göstermiştir. NiCad bataryaya göre lityum iyondaki CO miktarı %0,63 artmış, NiZn bataryada ise %12,78 azalmıştır. NO_x gaz değerlerine bakıldığında ise NiZn batarya NiCad bataryaya göre %3,70 daha az salınım yaparken, lityum iyonda bu değer %13,50 yükselmiştir. Pb ve NiMH bataryaların emisyon değerinin olmaması seri hibritte tam elektrikli taşıttaki gibi bir performans göstermelerindedir.

Tablo 4.8. Paralel hibrit taşıt UDDS sürüşü egzoz emisyon değerleri

Egzoz Emisyon Değerleri (g/km)				
	CO	HC	NO _x	PM
Pb	1,465	0,323	0,253	0
Li	1,512	0,335	0,266	0
NiMH	1,406	0,317	0,233	0
NiCad	1,426	0,319	0,243	0
NiZn	1,435	0,321	0,241	0

Paralel hibrit taşıta bakıldığında ise Tablo 4.8’e göre UDDS sürüşünde en düşük emisyon değerleri NiMH bataryada görülmektedir. Örneğin HC miktarlarında NiMH bataryaya göre NiCad %0,63, NiZn %1,26, Pb %1,89 ve lityum iyon ise %5,67’lik artış göstermiştir. CO ve NO_x miktarlarında da aynı şekilde benzer artışlar olmuştur.

Her iki taşıt tipinde de UDDS sürüş şartlarında bütün batarya tiplerinde partikül maddeye rastlanmamıştır.

Bu çalışmada örnek olarak seri ve paralel hibrit taşıtlar karşılaştırılmıştır. Programın örnek veri dosyalarından seçilen taşıtların analizi sürüş çevrimi olarak şehir içi güzergâhında tamamlanmıştır. Simülasyon, bu güzergâh tamamlanana ve en yüksek hıza ulaşılanaya kadar devam ettirilmiştir. Bu karşılaştırma için seri hibrit elektrikli taşıt simülasyonundan elde edilen yakıt sarfiyatı değeri sonuçları Tablo 4.9’da özetlenmiştir.

Tablo 4.9. Seri hibrit taşıt UDDS sürüşü yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması

	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
Yakıt sarfiyatı (l/km)	0	4,5	3,4	0	2,8
5 saniyede alınan yol (m)	52,4	52,5	40	60,3	42,6

Tablo 4.9’den anlaşıldığı üzere aynı güzergâhta seri hibrit elektrikli taşıtta seçilen bazı bataryaların (Pb ve NiMH) yakıt sarfiyatı olmadığı gözlenmiştir. Bunun sebebi Pb ve NiMH batarya türlerinin seçilen bu güzergâhta elektrikli taşıttaki gibi davranmasıdır. Doğal olarak sadece elektrik motoru çalıştığı için yakıt tüketimi olmamıştır.

Tablo 4.9’daki sonuçlara bakıldığında seri hibrit elektrikli taşıtta NiCad batarya için yakıt tüketimi 3,4 l/km olmasına rağmen bu değer lityum iyon bataryada %32 artmış, NiZn bataryada ise %17 azalmıştır. Ayrıca benzin eşdeğeri değerleri de batarya tiplerinde aynı değişiklikleri göstermiştir. 5 saniyede alınan yol miktarı ise lityum iyon bataryada NiCad bataryaya göre %31,25 artarken NiMH bataryaya göre ise %14,85 daha azalmıştır. Yakıt sarfiyatı olmamasına rağmen 5 saniyede en fazla yolu NiMH batarya almıştır.

Tablo 4.10. Paralel hibrit taşıt UDDS sürüşü yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması

	Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
Yakıt sarfiyatı (l/km)	5,8	6,4	5,4	5,4	5,7
5 saniyede alınan yol (m)	55,1	55,2	46,3	59	49

Paralel hibrit elektrikli taşıtta ise Tablo 4.10'a bakıldığı zaman yakıt sarfiyatı değerinin UDDS sürüşünde NiCad ve NiMH bataryalarda 5,4 l/km olurken bu değer NiZn bataryada %5,55, Pb bataryada %7,4, lityum iyon bataryada ise %18,5 artığı gözlemlenmiştir. 5 saniyede alınan yol miktarlarında ise lityum iyon bataryada NiCad bataryaya göre %19,22 artarken NiMH bataryaya göre %6,44 azalmıştır.

Tablo 4.11. Seri hibrit taşıt UDDS sürüşü en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması

	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
En yüksek ivmelenme (m/s ²)	5	5	5	5	5
En yüksek hız (km/h)	158	156,5	134,8	156,3	137,5

Analiz sonuçlarındaki seri hibrit taşıtın şehir içi sürüşündeki en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırması Tablo 4.11'de gösterilmektedir. Seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtta bütün batarya tiplerinde en yüksek ivmelenme değeri aynıdır. Seri hibrit elektrikli taşıtta NiMH bataryada en yüksek hız NiCad bataryaya göre %15,94 artarken lityum iyon bataryaya göre ise %0,12 azalmıştır. En yüksek hızlanma ise 158 km/h ile Pb bataryada meydana gelmiştir.

Tablo 4.12. Paralel hibrit taşıt UDDS sürüşü en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması

	Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
En yüksek ivmelenme (m/s ²)	5	5	5	5	5
En yüksek hız (km/h)	191,4	190,1	166,9	209,6	169,2

Paralel hibrit elektrikli taşıtta Tablo 4.12'ye göre UDDS sürüşünde lityum iyon bataryanın en yüksek hızı NiCad bataryaya göre %13,9, NiZn bataryaya göre %12,35 artarken, NiMH bataryaya göre ise %10,25 azalmıştır. En yüksek hız değeri paralel hibrit elektrikli taşıtta NiMH bataryası tarafından sağlanmıştır.

Tablo 4.13. Seri hibrit taşıt UDDS sürüşü ivme testi

İvme testi (s)	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
0-96,6 (km/h)	11,3	10,7	23,7	6,9	20,4
64,4-96,6 (km/h)	6,2	5,7	14,3	3	12,2
0-137(km/h)	28,1	30,6	-	13,3	91,6

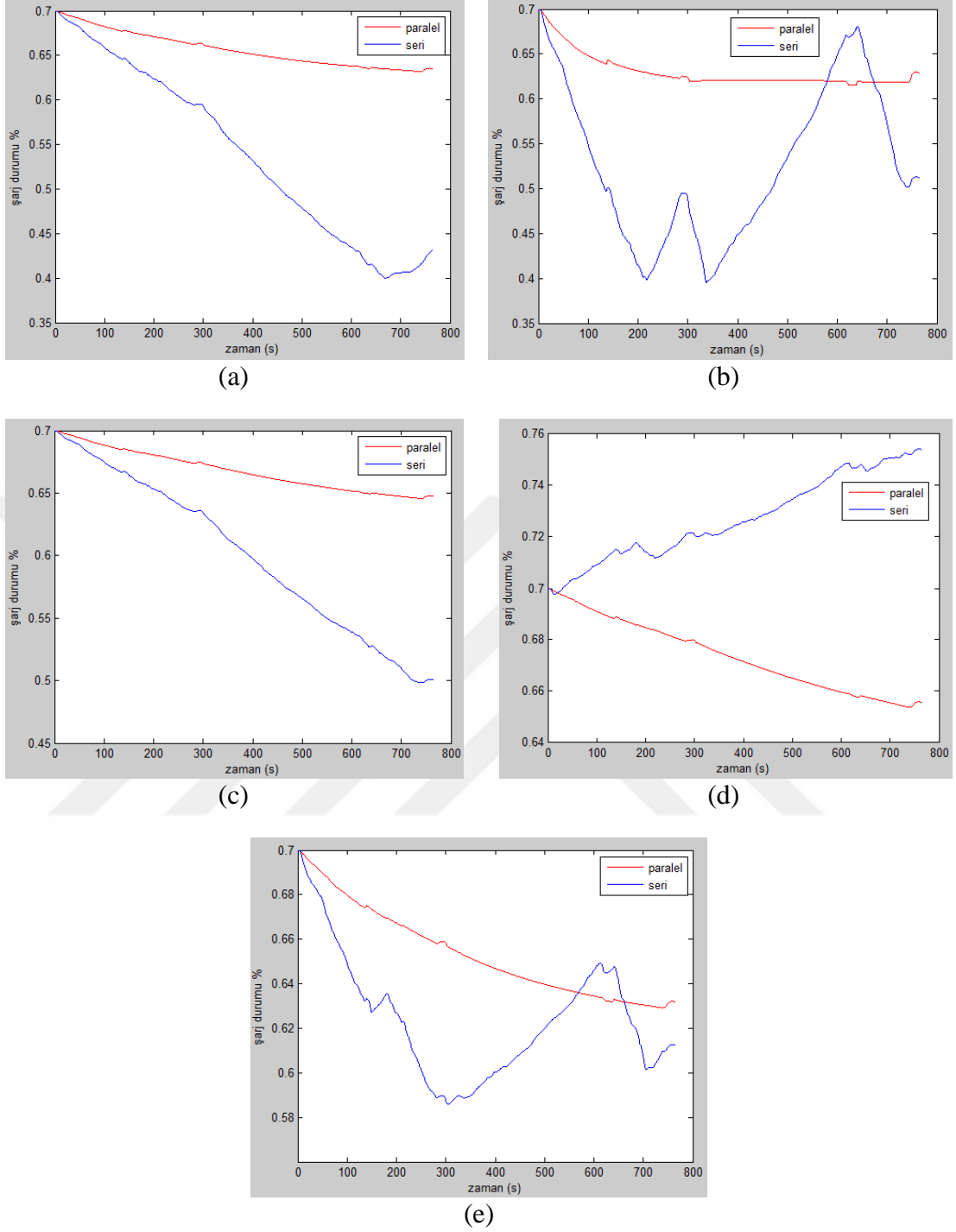
Seri ve paralel hibrit taşıtlardaki şehir içi sürüş çevriminde ivmelenme süreleri Tablo 4.13 ve 4.14’te verilmiştir. Verilen hız aralıklarında seri hibrit elektrikli taşıtta en kısa sürede performans sergileyen NiMH bataryadır. 0-96,6 km/h hız aralığında ivmelenme süresi Pb bataryada 11,3 saniye olurken bu değer lityum iyon bataryada %5,30 ve NiMH bataryada ise %38,93 artarken, NiZn bataryada %80,53 ve NiCad bataryada ise %109,73 azalmıştır.

Tablo 4.14. Paralel hibrit taşıt UDDS sürüşü ivme testi

İvme testi (s)	Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
0-96,6 (km/h)	9	8,7	14,5	6,7	12,7
64,4-96,6 (km/h)	4,5	4,2	7,8	2,8	6,8
0-137 (km/h)	18,4	17,9	32,9	11,9	28,5

Paralel hibrit elektrikli taşıtta ise Tablo 4.14’e bakıldığında verilen hız aralıklarına en kısa sürede ulaşan yine NiMH bataryadır. 137 km/h hızına NiZn batarya 28,5 saniyede ulaşırken bu değer NiMH bataryada %58,24 azalmış, NiCad bataryada ise %15,43 artış göstermiştir.

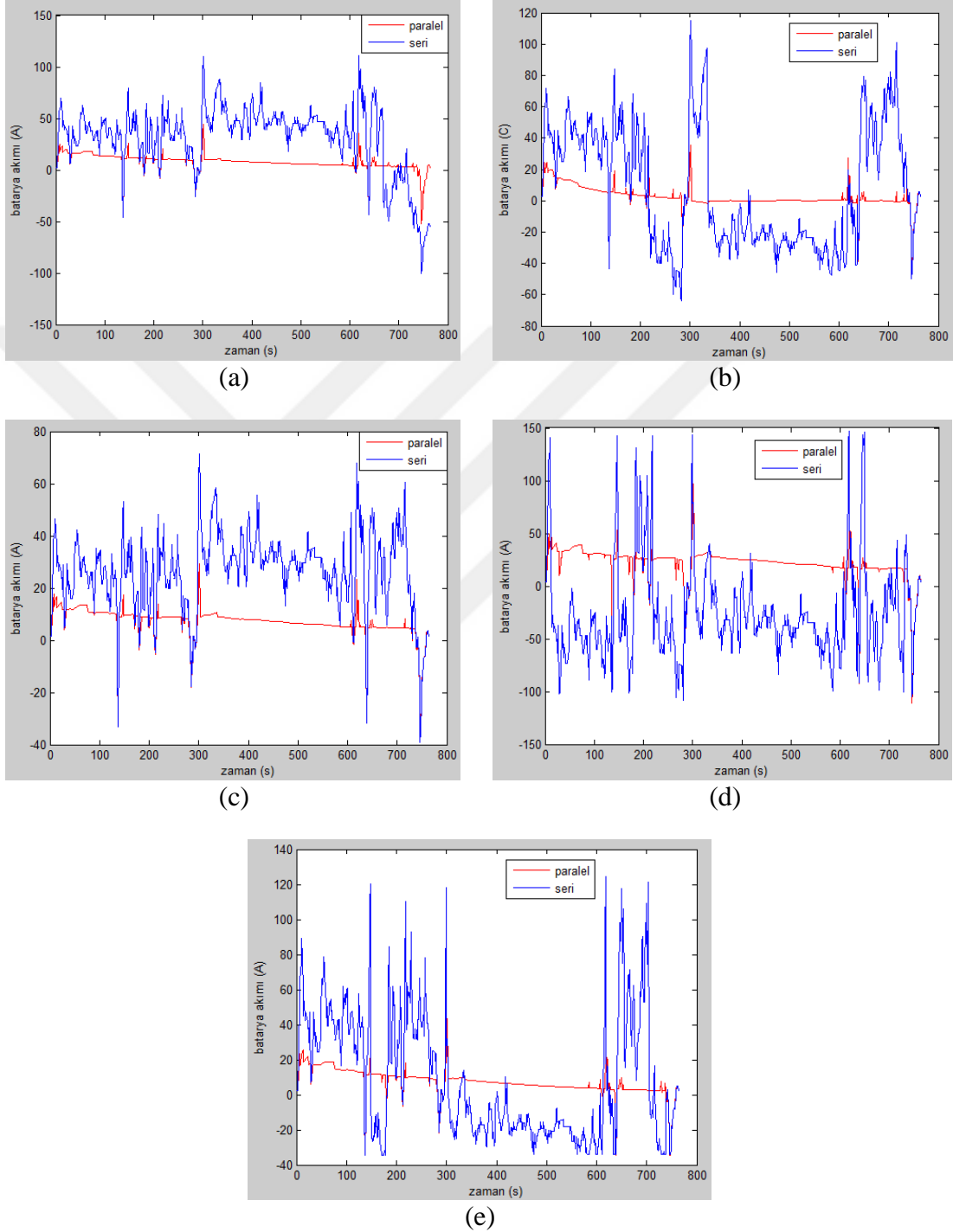
Şehir içi sürüş çevrimindeki analizlerden sonra şehirlerarası sürüş çevrimi olan HWFET sürüşünde seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlar için simülasyon devam ettirilmiştir. Şekil 4.32’de gösterilen sonuç grafikleri, HWFET sürüşünde batarya şarj durumlarının seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlar arasındaki kıyaslamasını vermektedir.



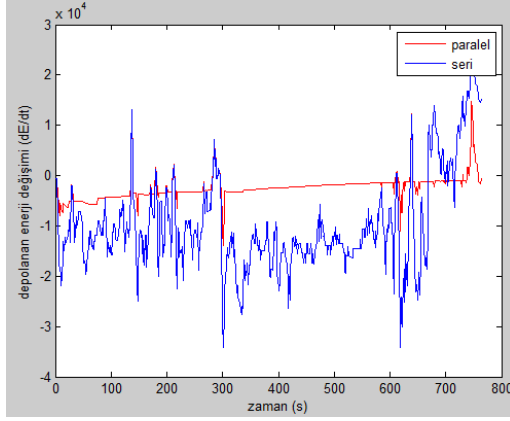
Şekil 4.32. HWFET sürüşü batarya şarj durumu-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn

Şekil 4.33'te batarya akımının zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Grafiklere bakıldığında şehirlerarası sürüş çevriminde de önceki sürüşte olduğu gibi benzer bir tablo ortaya çıkmaktadır. Hem seri hem de paralel hibrit elektrikli taşıtlarda bataryaların hem depolama yaparken (pozitif) hem de dışarıya enerji verirken (negatif)

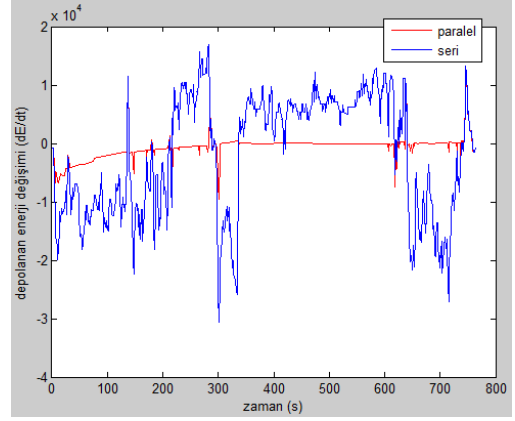
her iki tip taşıt için de en çok akımı NiCad bataryanın çektiği görülmektedir. Ayrıca seri tip taşıtlarda batarya akım zaman değişimleri paralel tiplere göre daha fazla olmuştur.



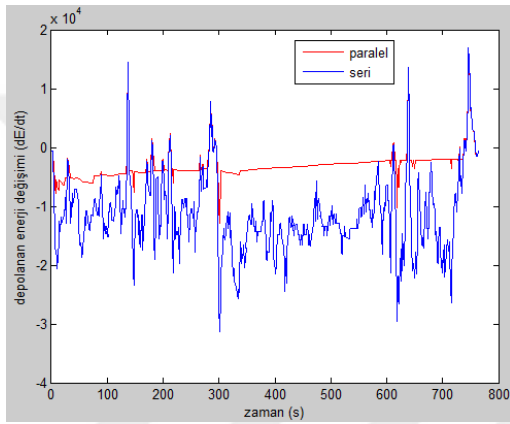
Şekil 4.33. HWFET sürüşü batarya akım-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn



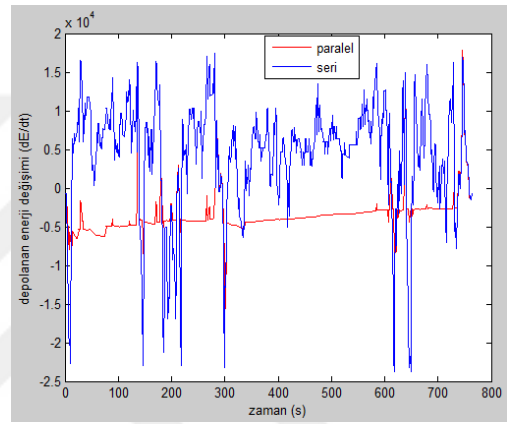
(a)



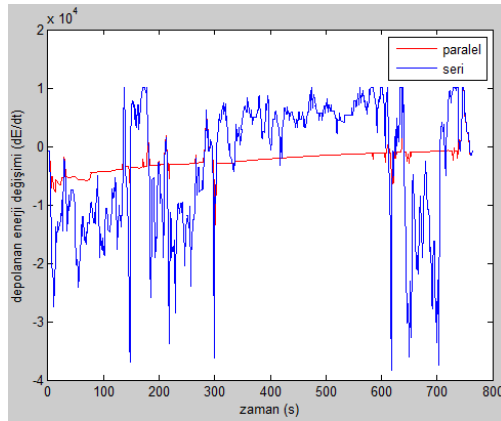
(b)



(c)



(d)

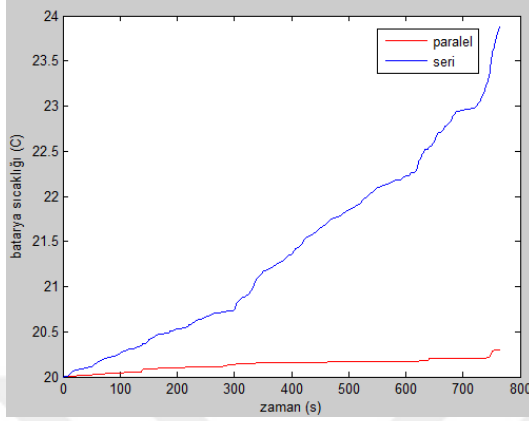


(e)

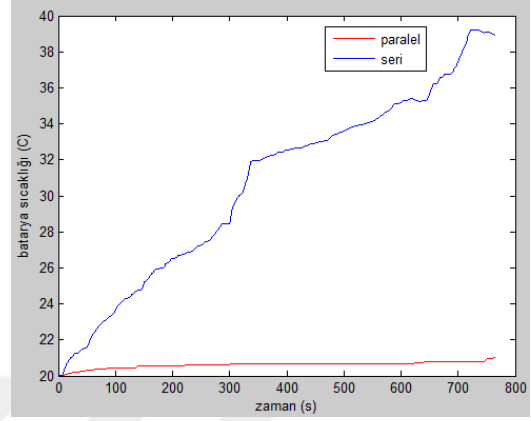
Şekil 4.34. HWFET sürüşü depolanan enerji değişimleri a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn

Şekil 4.34'te belirli bir zaman aralığında (dt) bataryaların enerji depolama değişimi (dE)'nin HWFET sürüşü boyunca verilmektedir. Enerji depolama kabiliyetlerinin yüksek olması taşıtın değişik zaman aralıklarında hareketi için gerekli olan enerjiyi daha rahat karşılayabilmesini sağlamaktadır. Grafiklere bakıldığında seri tip taşıtların

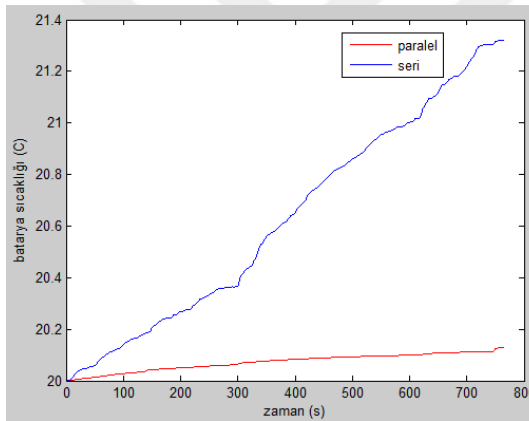
batarya performanslarının enerji depolama konusunda daha başarılı olduğu görülmektedir. Bu da rejeneratif frenlemedeki enerji depolama kabiliyetinin seri tiplerde daha fazla olduğunu açıklayan bir durumdur.



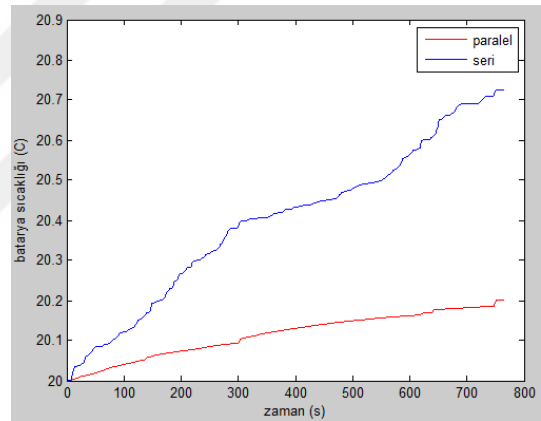
(a)



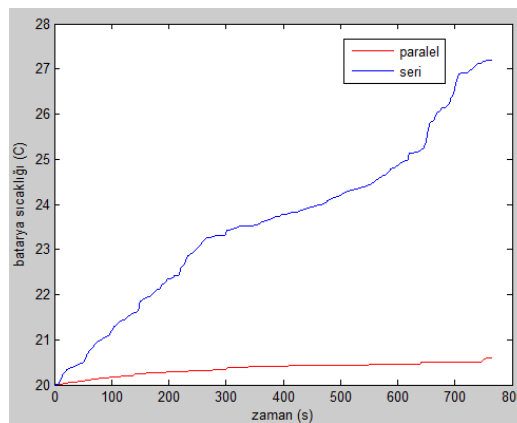
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.35. HWFET sürüşü batarya sıcaklığı-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn

Şekil 4.35'te HWFET sürüş güzergâhı boyunca bataryaların sıcaklık değişimleri kabul edilebilir normal sınırlar içerisinde değişirken paralel tip taşıtlarda batarya sıcaklıkları daha kararlı seyretmektedir.

Tablo 4.15 ve 4.16'da seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtların HWFET sürüş çevriminde gerçekleştirilen simülasyondaki egzoz emisyon sonuçlarının değerleri verilmiştir. Tablolardan da görülebileceği gibi emisyon değerleri iki taşıtta da seçilen batarya tiplerinde birbirine yakın değerlerde seyretmiştir.

Tablo 4.15. Seri hibrit taşıt HWFET sürüşü emisyon değerleri

Egzoz Emisyon Değerleri (g/km)				
	CO	HC	NO _x	PM
Pb	1,365	0,267	0,297	0
Li-ion	1,551	0,319	0,422	0
NiMH	0	0	0	0
NiCad	1,708	0,366	0,537	0
NiZn	1,831	0,33	0,454	0

Seri hibrit taşıtta gerçekleşen HWFET sürüşünde Tablo 4.15'e bakıldığı zaman HC miktarı NiCad bataryada 0,366 g/km olurken bu değer NiZn bataryada %9,83, lityum iyon bataryada %12,84, Pb bataryada ise bu değer %27.04 azalmıştır. NiCad bataryaya göre lityum iyon bataryadaki CO miktarı %9,19 azalmış, NiZn bataryada ise %7,20 artmıştır. NO_x gaz değerlerine bakıldığında ise lityum iyon bataryaya NiZn'ye göre %7,04 daha az salınım yaparken, NiCad bataryada bu değer %18,28 yükselmiştir. NiMH bataryanın emisyon değerinin olmamasının sebebi şehirlerarası sürüşte de seri hibrit taşıttın tam elektrikli taşıttaki gibi bir performans göstermesidir.

Tablo 4.16. Paralel hibrit taşıt HWFET sürüşü emisyon değerleri

Paralel Egzoz Emisyon Değerleri (g/km)				
	CO	HC	NO _x	PM
Pb	1,176	0,251	0,205	0
Li-ion	1,17	0,256	0,225	0
NiMH	1,124	0,242	0,188	0
NiCad	1,13	0,249	0,196	0
NiZn	1,14	0,246	0,197	0

Paralel hibrit taşıta bakıldığında ise Tablo 4.16'ya göre HWFET sürüşünde de en düşük emisyon değerleri NiMH bataryada görülmektedir. Örneğin HC miktarlarında NiMH bataryaya göre NiCad %2,89, NiZn %1,65, Pb %3,71 ve lityum iyon ise %5,78'lik artış göstermiştir. CO ve NO_x miktarlarında da aynı şekilde benzer artışlar

olmuştur. Her iki taşıt tipinde de HWFET sürüş şartlarında bütün batarya tiplerinde partikül maddeye rastlanmamıştır.

Programın örnek veri dosyalarından seçilen taşıtların analizi sürüş çevrimi olarak şehirlerarası güzergâhında tamamlanmıştır. Simülasyon, bu güzergâh tamamlanana ve en yüksek hıza ulaşılanaya kadar devam ettirilmiştir. Bu karşılaştırma için seri hibrit elektrikli taşıt simülasyonundan elde edilen yakıt sarfiyatı değeri sonuçları Tablo 4.17’de özetlenmiştir.

Tablo 4.17. Seri hibrit taşıt HWFET sürüşü yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması

	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
Yakıt sarfiyatı (l/km)	1,2	4,4	7,5	0	4,8
5 saniyede alınan yol (m)	52,4	52,5	40	60,3	42,6

Tablo 4.17’den anlaşıldığı üzere aynı güzergâhta seri hibrit elektrikli taşıtta seçilen NiMH bataryanın yakıt sarfiyatı olmadığı gözlenmiştir. Bunun sebebi NiMH batarya seçilen bu güzergâhta elektrikli taşıt gibi davranmıştır. Doğal olarak sadece elektrik motoru çalıştığı için benzin tüketimi olmamıştır.

Tablo 4.17’deki sonuçlara bakıldığında seri hibrit elektrikli taşıtta lityum iyon batarya için yakıt tüketimi 4,4 l/km olmasına rağmen bu değer NiZn bataryada %9,09, NiCad bataryada %70,45 artarken Pb bataryada ise %72,72 azalmıştır. Ayrıca benzin eşdeğeri değerleri de batarya tiplerinde aynı değişiklikleri göstermiştir. 5 saniyede alınan yol miktarı ise lityum iyon bataryada NiZn bataryaya göre %23,23 artarken NiMH bataryaya göre ise %14,85 daha azalmıştır. Yakıt sarfiyatı en fazla olmasına rağmen 5 saniyede en az yolu NiCad batarya almıştır.

Tablo 4.18. Paralel hibrit taşıt HWFET sürüşü yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması

	Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
Yakıt sarfiyatı (l/km)	4,6	4,9	4,3	4,3	4,5
5 saniyede alınan yol (m)	55,1	55,2	46,3	59	49

Paralel hibrit elektrikli taşıtta ise Tablo 4.18'e bakıldığı zaman yakıt sarfiyatı değerinin HWFET sürüşünde NiCad ve NiMH bataryalarda 4,3 l/km olurken bu değer NiZn bataryada %4,65, Pb bataryada %6,97, lityum iyon bataryada ise %13,95 artığı gözlemlenmiştir. 5 saniyede alınan yol miktarlarında ise Pb bataryada NiZn'ye göre %12,44 artarken lityum iyon bataryaya göre %0,18 azalmıştır.

Tablo 4.19. Seri hibrit taşıt HWFET sürüşü en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması

	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
En yüksek ivmelenme (m/s ²)	5	5	5	5	5
En yüksek hız (km/h)	158	156,5	134,8	156,3	137,5

Seri hibrit taşıtın şehirlerarası sürüşteki en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırması Tablo 4.19'da gösterilmektedir. Seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtta bütün batarya tiplerinde en yüksek ivmelenme değeri aynıdır. Seri hibrit elektrikli taşıtta lityum iyon bataryada en yüksek hız NiZn bataryaya göre %13,81 artarken Pb bataryaya göre ise %0,95 azalmıştır. En düşük hızlanma ise 134,8 km/h ile NiCad bataryada meydana gelmiştir.

Tablo 4.20. Paralel hibrit taşıt HWFET sürüşü en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması

	Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
En yüksek ivmelenme (m/s ²)	5	5	5	5	5
En yüksek hız (km/h)	191,4	190,1	166,9	209,6	169,2

Paralel hibrit elektrikli taşıta bakıldığında Tablo 4.20'ye göre HWFET sürüşünde Pb bataryanın en yüksek hızı NiZn bataryaya göre %12,52, NiCad bataryaya göre %14,67 artarken, NiMH bataryaya göre ise %9,50 azalmıştır. En yüksek hız değeri paralel hibrit elektrikli taşıtta NiMH bataryası tarafından sağlanmıştır.

Tablo 4.21. Seri hibrit taşıt HWFET sürüşü ivme testi

İvme testi (s)	Seri Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
0-96,6 (km/h)	11,3	10,7	23,7	6,9	20,4
64,4-96,6 (km/h)	6,2	5,7	14,3	3	12,2
0-137(km/h)	28,1	30,6	-	13,3	91,6

Seri ve paralel hibrit taşıtlardaki şehirlerarası sürüş çevriminde ivmelenme süreleri Tablo 4.21 ve 4.22’de verilmiştir. Verilen hız aralıklarında seri hibrit elektrikli taşıtta en kısa sürede performans sergileyen NiMH bataryadır. 0-96,6 km/h hız aralığında ivmelenme süresi NiZn bataryada 20,4 saniye olurken bu değer Pb bataryada %44,60 azalırken NiCad bataryada ise %16,17 artmıştır.

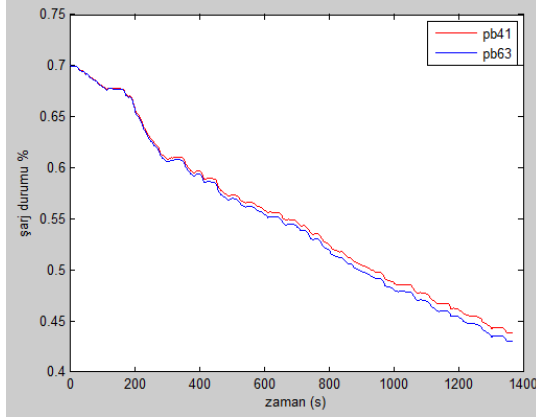
Tablo 4.22. Paralel hibrit taşıt HWFET sürüşü ivme testi

İvme testi (s)	Paralel Hibrit Elektrikli Taşıt				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
0-96,6 (km/h)	9	8,7	14,5	6,7	12,7
64,4-96,6 (km/h)	4,5	4,2	7,8	2,8	6,8
0-137(km/h)	18,4	17,9	32,9	11,9	28,5

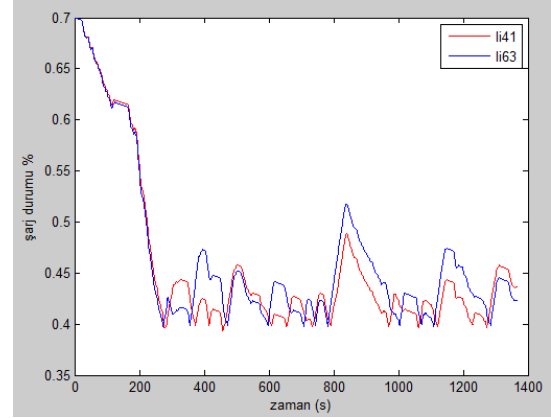
Paralel hibrit elektrikli taşıtta ise Tablo 4.22’ye bakıldığında verilen hız aralıklarına en kısa sürede ulaşan yine NiMH bataryadır. 137 km/h hızına lityum iyon batarya 17,9 saniyede ulaşırken bu değer NiMH bataryada %33,51 azalırken, Pb’de %2,79, NiZn’de %59,21 ve NiCad bataryada ise %83,79 artış göstermiştir.

Son olarak yapılan bir örnek çalışmada hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan içten yanmalı motorun taşıt performansına etkisini incelemek amacıyla seri hibrit bir taşıtta motor güçleri değiştirilerek batarya performansları kıyaslanmak istenmiştir. 41 ve 63 kW gücündeki iki motor seri hibrit elektrikli taşıtta şehir içi sürüş şartlarında beş farklı batarya tipinde incelenmiştir.

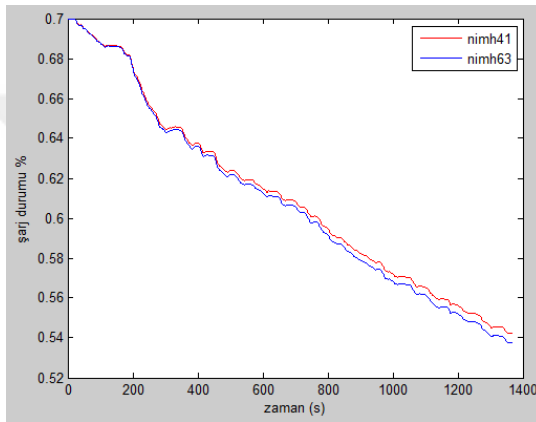
Şekil 4.36, farklı motor güçlerine sahip seri hibrit taşıtlarda kullanılan batarya tiplerinin şehir içi sürüşteki şarj durumlarını göstermektedir.



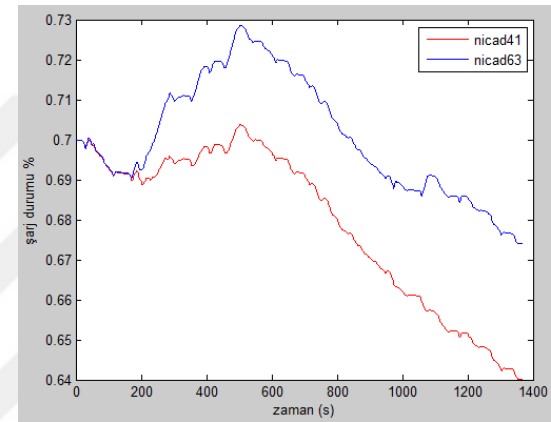
(a)



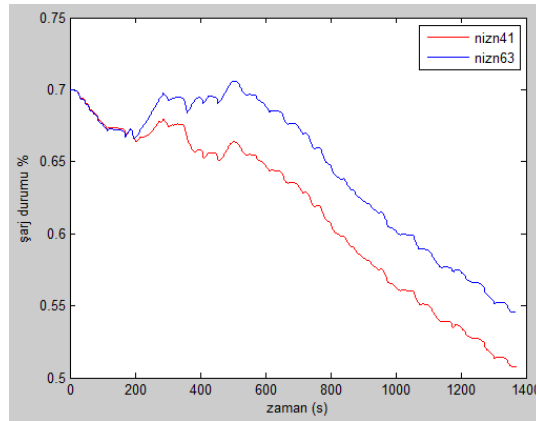
(b)



(c)



(ç)



(d)

Şekil 4.36. Farklı güçteki motorların batarya şarj durumu-zaman değişimi a) Pb, b) Li-ion, c) NiMH, d) NiCad, e) NiZn

(*kırmızı grafikler 41 kW gücündeki motoru, mavi grafikler 63 kW gücündeki motoru ifade etmektedir.)

Şekil 4.36'ya bakıldığında iki farklı güçteki motor kullanılan seri hibrit elektrikli taşıtın batarya tiplerindeki şarj durumu grafikleri gösterilmektedir. Grafiklere bakıldığında NiCad ve NiZn bataryaların sürüş çevrimini 63 kW gücündeki motorda daha yüksek şarj seviyelerinde tamamladığı görülmektedir. Pb, NiMH ve lityum iyon

bataryalarda ise 41 kW güçlü motor kullanılan seri hibrit elektrikli taşıtta şarj seviyesi daha yüksektir.

Tablo 4.23. Yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması

	41 kW					63 kW				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
Yakıt Sarfiyatı (l/km)	0	4,5	3,4	0	2,8	0	6,3	6,4	0	5,4
5 saniyede alınan yol (m)	52,4	52,5	40	60,3	42,6	53,5	53,4	43,3	60,4	45,3

İki farklı motor kullanılarak oluşturulan simülasyon sonuçlarında yakıt sarfiyatı değeri karşılaştırılması Tablo 4.23'te verilmektedir. Seri hibrit taşıtta kullanılan içten yanmalı motor gücü 41'den 63 kW'a çıkarıldığında Pb ve NiMH dışındaki bataryalarda yakıt sarfiyatı değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Beş saniyede alınan yol miktarlarında ise Pb bataryada %2,09, lityum iyon bataryada %1,71, NiCad bataryada %8,25, NiMH bataryada %0,16, NiZn bataryada %6,33 artış meydana gelmiştir.

Tablo 4.24. En yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırılması

	41 kW					63 kW				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
En yüksek ivmelenme (m/s^2)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
En yüksek hız (km/h)	158	156,5	134,8	156,3	137,5	157,6	157,7	147,5	156,2	150

Tablo 4.24, en yüksek ivmelenme ve hız karşılaştırmasını göstermektedir. İçten yanmalı motorun gücünün artmasıyla en yüksek hız değeri lityum iyon bataryada %0,76, NiCad bataryada %9,42, NiZn bataryada %9,09 artış gösterirken; Pb bataryada %0,18 ve NiMH bataryada ise %0,06 azalmıştır.

Tablo 4.25. İvme testi

İvme testi (s)	41 kW					63 kW				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
0-96,6 (km/h)	11,3	10,7	23,7	6,9	20,4	10,5	10	18,8	6,8	16,5
64,4-96,6 (km/h)	6,2	5,7	14,3	3	12,2	5,6	5,2	10,9	3	9,5
0-137 (km/h)	28,1	30,6	-	13,3	91,6	24,5	24,6	57,1	13	47,7

Tablo 4.25, belli hız limitlerindeki hızlanma sürelerini vermektedir. Motor gücü arttırıldığında performans incelenmesine bakıldığında bütün batarya tiplerindeki simülasyonlarda hızlanma sürelerinin azaldığı yani daha iyi bir hızlanma süresi sergiledikleri Tablo 4.25'ten görülmektedir.

Tablo 4.26. Emisyon değerleri

Emisyon değerleri (g/km)	41 kW					63 kW				
	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn	Pb	Li-ion	NiCad	NiMH	NiZn
HC	0	0,419	0,375	0	0,373	0	0,333	0,325	0	0,321
CO	0	2,7	2,683	0	2,34	0	1,406	1,395	0	1,306
NOx	0	0,521	0,459	0	0,442	0	0,316	0,319	0	0,287
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Emisyon değerlerinde ise Tablo 4.26'ya bakıldığında Pb ve NiMH bataryaların tam elektrikli taşıttaki bir sonuç sergiledikleri görülmektedir. Lityum iyon, NiCad ve NiZn bataryalarda ise yüksek güçlü motor kullanılan hibrit taşıtta emisyon değerlerinin daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 4.27. UDDS sürüşü batarya performans tablosu

	SERİ HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞIT					PARALEL HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞIT				
	Pb	Li-ion	NiMH	NiCad	NiZn	Pb	Li-ion	NiMH	NiCad	NiZn
Şarj durumu (SoC)	4	4	8	10	6	6	2	8	10	4
Batarya akımı	6	10	2	8	4	8	6	4	10	4
Depolanan enerji	2	8	6	10	4	2	6	8	10	4
Batarya sıcaklığı	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Emisyon değerleri	10	4	10	6	8	4	2	10	8	6
Yakıt sarfiyatı	10	4	10	6	8	6	4	10	10	8
5 saniyede alınan yol	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4
En yüksek hız	10	8	6	2	4	8	6	10	2	4
TOPLAM	58	56	62	54	48	50	44	70	62	44

Bu tezde incelenen beş farklı bataryanın hem şehir içi hem de şehirlerarası sürüş çevrimlerindeki genel performans tabloları oluşturulmuştur. Tablo 4.27'de sonuç verilerinin ağırlık katsayıları eşit kabul edilerek şehir içi sürüş çevrimindeki performans puanları en düşük iki, en yüksek on puan olacak şekilde gösterilmiştir. Bu

puanlama sisteminde UDDS sürüşünde seri ve paralel hibrit taşıtın en iyi performans sergilediği batarya tipi NiMH bataryadır. Tezde yapılan simülasyonlara göre seri hibrit elektrikli taşıtlar açısından bataryaları değerlendirdiğimizde, sıralamamız NiMH, Pb, Li-ion, NiCad ve NiZn şeklindedir. Paralel hibrit elektrikli taşıtlar açısından bataryaları değerlendirdiğimizde ise sıralamamız NiMH, NiCad, Pb, Li-ion/NiZn şeklindedir.

Tablo 4.28. HWFET sürüşü batarya performans tablosu

	SERİ HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞIT					PARALEL HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞIT				
	Pb	Li-ion	NiMH	NiCad	NiZn	Pb	Li-ion	NiMH	NiCad	NiZn
Şarj durumu (SoC)	2	6	4	10	8	4	6	10	8	6
Batarya akımı	4	6	2	10	8	6	4	4	10	8
Depolanan enerji	4	8	6	10	2	10	6	4	10	2
Batarya sıcaklığı	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Emisyon değerleri	8	6	10	4	2	2	4	10	8	6
Yakıt sarfiyatı	8	6	10	2	4	6	4	10	10	8
5 saniyede alınan yol	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4
En yüksek hız	10	8	6	2	4	8	6	10	2	4
TOPLAM	52	58	58	50	42	52	48	68	60	48

Şehirlerarası sürüş çevrimindeki performans puanlaması ise Tablo 4.28’de verilmiştir. Bu tabloda toplam puanlara bakıldığında NiMH batarya şehirlerarası sürüşte de hem seri hem paralel hibrit taşıt tipinde en iyi performans sergileyen batarya olmuştur. Tezde yapılan simülasyonlara göre şehirlerarası sürüşte seri hibrit elektrikli taşıtlar açısından bataryaları değerlendirdiğimizde, sıralamamız NiMH/Li-ion, Pb, NiCad ve NiZn şeklindedir. Paralel hibrit elektrikli taşıtlar açısından bataryaları değerlendirdiğimizde ise sıralamamız NiMH, NiCad, Pb, Li-ion/NiZn şeklindedir.

Tablo 4.27 ve Tablo 4.28 batarya performanslarını birçok parametre cinsinden puanlamaya imkân tanımıştır. Bu parametrelerden şarj durumu (SoC), depolanan enerji ve emisyon değeri sonuç verilerinin bir batarya performansı için diğer sonuç verilerine oranla daha ön planda olduğu düşünülürse yeni bir performans tablosu elde etmek mümkündür. Seçilen parametrelerin şehir içi sürüşteki batarya performans puanları Tablo 4.29’da verilmiştir.

Tablo 4.29. Seçilen parametreler açısından UDDS sürüşü batarya performans tablosu

	SERİ HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞIT					PARALEL HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞIT				
	Pb	Li-ion	NiMH	NiCad	NiZn	Pb	Li-ion	NiMH	NiCad	NiZn
Şarj durumu (SoC)	4	4	8	10	6	6	2	8	10	4
Depolanan enerji	2	8	6	10	4	2	6	8	10	4
Emisyon değerleri	10	4	10	6	8	4	2	10	8	6
TOPLAM	16	16	24	26	18	12	10	26	28	14

Tablo 4.29'a bakıldığında seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlarda şehir içi sürüş çevriminde en iyi performans sergileyen batarya NiCad olmuştur. Seri tip taşıtlarda sıralamamız NiCad, NiMH, NiZn, Pb/Li-ion olurken; paralel tip taşıtlarda ise NiCad, NiMH, NiZn, Pb, Li-ion şeklindedir.

Tablo 4.30. Seçilen parametreler açısından HWFET sürüşü batarya performans tablosu

	SERİ HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞIT					PARALEL HİBRİT ELEKTRİKLİ TAŞIT				
	Pb	Li-ion	NiMH	NiCad	NiZn	Pb	Li-ion	NiMH	NiCad	NiZn
Şarj durumu (SoC)	2	6	4	10	8	4	6	10	8	6
Depolanan enerji	4	8	6	10	2	10	6	4	10	2
Emisyon değerleri	8	6	10	4	2	2	4	10	8	6
TOPLAM	14	20	20	24	12	16	16	24	26	14

Şehirlerarası sürüş çevriminde seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtların simülasyon sonuç verilerine göre hazırlanan Tablo 4.30'a göre her iki taşıt tipinde de NiCad batarya en iyi performansı göstermiştir. Hem seri hem de paralel hibrit elektrikli taşıtlar açısından bataryaları değerlendirirsek sıralamamız NiCad, NiMH/Li-ion, Pb, NiZn şeklinde olacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hibrit elektrikli taşıt simülatörü olan ADVISOR simülasyon amaçlı kullanılabilen gelişmiş bir programdır. Bu nedenle batarya analizi için bu program tercih edilmiştir.

Analizler için hibrit taşıtlarda yaygın kullanılan ve geliştirilmeye devam edilen beş farklı batarya tipi seçilmiştir. Batarya performanslarını kıyaslayabilmek adına şehir içi ve şehirlerarası olmak üzere iki farklı sürüş çevrimi üzerinde testler gerçekleştirilmiştir.

Taşıt olarak program veri dosyalarından seri ve paralel hibrit elektrikli taşıtlar kullanılmıştır. Bu taşıtların ortak parametreleri sabit tutulmuş olup sedan tip bir binek taşıt tercih edilmiştir. Bu taşıt modellerinde Rint batarya modeli kullanılarak performans karşılaştırılması yapılmıştır.

Programın birden fazla veriyi kıyaslama imkânı vermesi nedeniyle seçilen hibrit elektrikli taşıtlar bataryaların etki ettikleri birçok parametre cinsinden karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Şehir içi sürüş çevriminde bataryaların şarj durumu sonuçlarına bakıldığı zaman bütün batarya tiplerinin seri hibrit elektrikli taşıtlarda sürüşü daha düşük şarj seviyelerde bitirdikleri gözlemlenmiştir. Bu durum seri hibritlerin paralel hibritlerden farklı olarak sadece elektrik motoruyla tahriklendiğini, böylece daha fazla enerji harcadıklarını açıklar. Ayrıca seri hibritlerde rejeneratif frenleme ile ortaya çıkan enerji miktarı paralel hibritlerden daha yüksektir. Böylece seri hibritlerde batarya performanslarının enerji depolama konusunda daha başarılı olduğu görülmektedir. Batarya akımlarına bakıldığında ise en yüksek akım değerlerine her iki taşıt tipinde de NiCad batarya ulaşırken seri hibritlerde akımın zamana göre değişimleri paralel hibritlere göre daha yüksek değerlerde olmuştur.

Şehirlerarası sürüş çevrimine bakıldığında ise şarj durumu grafikleri batarya tiplerinde değişiklik göstermektedir. Şarj seviyesini en iyi koruyan batarya hem seri hem paralel hibritte NiCad batarya olurken diğer batarya tipleri sürüşü benzer şarj seviyelerinde

bitirmişlerdir. Batarya akımlarının grafiklerine bakıldığında hem seri hem de paralel hibrit elektrikli taşıtlarda bataryaların hem depolama yaparken hem de dışarıya enerji verirken her iki tip taşıt için de en çok akımı NiCad bataryanın çektiği görülmektedir. Şehirlerarası sürüş çevriminde de bataryaların enerji depolama kabiliyetlerinin seri hibritlerde daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Batarya sıcaklıklarında her iki sürüş çevriminde kabul edilebilir sıcaklık değişimleri meydana gelmiştir. Seri tip taşıtların batarya sıcaklıkları iki sürüş çevriminde de paralel tipteki bataryalardan daha yüksek değerlerde seyretmiştir.

Seçilen şehir içi ve şehirlerarası sürüşlerde seri ve paralel hibrit taşıtlardaki emisyon değerleri verilmiştir. Pb ve NiMH bataryalar şehir içi sürüşte seri tip taşıtlarda tam elektrikli taşıttaki gibi davranırken, şehirlerarası sürüşte NiMH batarya aynı performansı göstermiştir.

Hibrit elektrikli taşıtların tam elektrikli taşıtlarla farkını inceleyebilmek adına tam elektrikli taşıtta iki sürüş çevrimine ait batarya şarj durumu grafikleri verilmiştir. Şehir içi sürüşte en düşük şarj seviyesinde tamamlayan lityum iyon batarya şehirlerarası sürüşte çevrimi tamamlayamamış şarj seviyesi sıfıra inmiştir. Diğer bataryalar benzer şarj seviyelerinde sürüşü tamamlamıştır.

Ayrıca kullanılan içten yanmalı motorun taşıt performansına etkisini incelemek amacıyla seri hibrit elektrikli bir taşıtta iki farklı güçte motor seçilerek beş farklı batarya üzerinden analizler yapılmıştır. Motor gücünün artmasının taşıt performansını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

Bu tezde hibrit elektrikli taşıtlarda kullanılan bataryaların performans analizleri ADVISOR programı kullanılarak analiz edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan bu analizler farklı güzergâh, batarya tipleri, motor-jeneratör tipleri, şanzıman tipleri, farklı taşıt topolojileri gibi birçok farklı çalışmalarla tekrarlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Xue Q., Zhang X., Teng T., Zhang J., Feng Z., Lv Q., A Comprehensive Review on Classification Energy Management Strategy, and Control Algorithm for Hybrid Electric Vehicles, *Energies*, 2020, **13**(5355), 1-30.
- [2] Kavalchuk I., Arisoy H., Than Oo A., Stojcevski A., Challenges of Electric Power Management in Hybrid and Electric Vehicles, *Australasian Universities Power Engineering Conference*, Curtin University, Perth, Australia, 28 September-1 October 2014.
- [3] Bhurse S. S., Bhole A. A., A Review of Regenerative Braking in Electric Vehicles, *International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, India, 28-29 March 2018.
- [4] Burke A., Liu Z., Zhao H., Present and Future Applications of Supercapacitors in Electric and Hybrid Vehicles, *IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC)*, Italy, 17-19 December 2014.
- [5] Buchroithner A., Wegleiter H., Schweighofer B., Flywheel Energy Storage Systems Compared to Competing Technologies for Grid Load Mitigation in EV Fast-Charging Applications, *IEEE 27th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Cairns, QLD, Australia, 13-15 June 2018.
- [6] Shaukat N., Khan B., Ali S. M., Mehmood C. A., Khan J., Farid U., Majid M., Anwar S. M., Jawad M., Ullah Z., A survey on electric vehicle transportation within smart grid system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, **81**(1), 1329-1349.
- [7] Chowdhury M. S. A., Rahman A. M., Mamun K. A. A., Modelling and simulation of power system of battery, solar and fuel cell powered Hybrid Electric Vehicle, *International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT)*, Dhaka, Bangladesh, 22-24 September 2016.
- [8] Xue X. D., Cheng K. W. E., Raghu Raman S., Chan J., Mei J., Xu C. D., Performance Prediction of Light Electric Vehicles Powered by Body-Integrated Super-Capacitors, *International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles & International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC)*, Toulouse, France, 2-4 November 2016.
- [9] Gao D. W., Mi C., Emadi A., Modeling and Simulation of Electric and Hybrid Vehicles, *Proceedings of the IEEE*, 2007, **95**(4), 729-745.

- [10] Solmaz H., Kocakulak T., HCCI Menzil Arttırıcı Motor Kullanılan Seri Hibrit Bir Aracın Modellenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2020, **8**(2), 279-292.
- [11] Köklükaya E., Yıldız M., Bağcı S., Hibrit Araçlarda Güç Elektronik Sistemlerinin Genelleştirilmiş Durum Uzay Ortalama Yöntemiyle Modellenmesi, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, Türkiye, 5-6-7 Ekim 2011.
- [12] Amaç Ergün A., Şahin Y. G., Aras F., ADVISOR ile Otomotiv Elektrik Sistemlerinin Benzetişimi ve Analizi, *ELECO 2008*, Bursa, Türkiye, 26-30 Kasım 2008.
- [13] Markel T., Brooker A., Hendricks T., Johnson V., Kelly K., Kramer B., O'Keefe M., Sprik S., Wipke K., ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling, *Journal of Power Sources*, 2002, **110**(2), 255-266.
- [14] Kunt M. A., Tümüyle Elektrikli Binek Tipli Bir Araçta Yuvarlanma Direnci Değişiminin İvmelenme Performansı ve Transmisyon Kayıplarına Etkisi Üzerine Bir Çalışma, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2020, **7**(2), 743-752.
- [15] Erdem Y., Taci M. S., Elektrikli Araçlarda Rejeneratif Frenlemenin Etkisi ve Güç Analizi, *Journal of Current Researches on Engineering, Science and Technology (JoCREST)*, 2018, **4**(2), 75-88.
- [16] Türkmen A. C., Solmaz S., Çelik C., Saraç H.İ., Advisor Programıyla Yakıt Pilli Araç Analizi, *19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Samsun, Türkiye, 9-12 Eylül 2013.
- [17] Pangaribuan K. A., Purwadi A., Performance Analysis on EV Mode of the 2012 Toyota Hybrid, *Procedia Technology*, 2013, **11**(2013), 1065-1073.
- [18] Xu J. W., Zheng L., Simulation and Analysis of Series Hybrid Electric Vehicle (SHEV) based on ADVISOR, *2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Changsha, China, 13-14 March 2010.
- [19] Meng X., Langlois N., Optimized Fuzzy Logic Control Strategy of Hybrid Vehicles Using ADVISOR, *2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering (CMCE)*, Changchun, China, 24-26 August 2010.
- [20] Zhou Q., Li P., Improvement of Power Allocation Strategy for Pure Electric Vehicles of Composite Power Based on ADVISOR, *2018 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, Hangzhou, China, 25-26 August 2018.
- [21] Deyang K., Dan M., Minmin W., A Simulation Study of Upgrading Urban Gasoline Taxis to Electric Taxis, *Energy Procedia*, 2016, **104**(2016), 390-395.

- [22] Bin Z., Pin F., Guoqing X., Simulation of Hybrid Electric Truck and Plug-in Hybrid Electric Truck Based on ADVISOR, *2007 IEEE International Conference on Integration Technology*, Shenzhen, China, 20-24 March 2007.
- [23] Bradai S., Ghariani M., Guerhazi A., Study of the traction chains of different models of electric vehicles with the ADVISOR tool, *2016 7th International Renewable Energy Congress (IREC)*, Hammamet, Tunisia, 22-24 March 2016.
- [24] Rashid M. I. M., Danial H., ADVISOR Simulation and Performance Test of Split Plug-in Hybrid Electric Vehicle Conversion, *Energy Procedia*, 2017, **105**(2017), 1408-1413.
- [25] Niknamian S., Fuzzy Logic Controller for Parallel Plug-in Hybrid Vehicle, *Scholar Journal of Applied Sciences and Research*, 2019, **2**(9), 19-26.
- [26] Johnson V. H., Battery performance models in ADVISOR, *Journal of Power Sources*, 2002, **110**(2), 321-329.
- [27] Yaich M., Hachicha M. R., Ghariani M., Modeling and Simulation of Electric and Hybrid Vehicles for Recreational Vehicle, *16th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, Monastir, Tunisia, 21-23 December 2015.
- [28] Saleki A., Rezazade S., Changizian M., Analysis and Simulation of Hybrid Electric Vehicles for Sedan Vehicle, *25th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2017)*, Tehran, Iran, 2-4 May 2017.
- [29] Rezazade S., Changizian M., Saleki A., Moghbeli H., Investigation and Comparison between PHEV and SHEV for Sedan Vehicle Based on ADVISOR, *2018 9th Annual Power Electronics, Drives Systems and Technologies Conference (PEDSTC)*, Tehran, Iran, 13-15 February 2018.
- [30] Erbeyler S. A., Hibrit Elektrikli Hafif Ticari Araçta Dizel Motoru Azotoksit (NOx) Emisyonlarının Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 223618.
- [31] Aktaş D. Ö., Hybrid Electric Vehicle Simulation in Advisor, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004, 151578.
- [32] Biliroğlu A. Ö., Seri Hibrit Elektrikli Araçların Modellenmesi ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 243931.
- [33] Tuncay N., Üstün Ö., Elektrikli Araçlarda Geçmişten Geleceğe Bakış, *Müstakil Sanayici ve İşadamları Derneği (MUSİAD)*, 77, 1-60, 2012.
- [34] Bulgu A. E., Tekerlek Motorlu Seri Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Kontrol Algoritmalarının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 293959.

- [35] Keskin A., Hibrid Taşıt Teknolojileri ve Uygulamaları, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 2009, **50**(597), 12-20.
- [36] Boyraz D., Hibrid Elektrikli Araçlarda Bulanık Mantık Tabanlı Enerji Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2019, 548974.
- [37] Boyalı A., Hibrid Elektrikli Yol Taşıtlarının Modellenmesi ve Kontrolü, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 252181.
- [38] Muratoğlu Y., Alkaya A., Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme, *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Dergisi*, 2016, 458, 10-14.
- [39] Ünlü N., Karahan Ş., Tür O., Uçarol H., Özsu E., Yazar A., Turhan L., Akgün F., Tırıs M., *Elektrikli Araçlar*, Gebze, Kocaeli, 2003.
- [40] Ehsani M., Gao Y., Gay S. E., Emadi A., *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory, and Design*, 1st edition, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2004.
- [41] Ağyel S., Computer Simulation for Series Hybrid Electrical Vehicle, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2011, 275566.
- [42] Şanal A.K., A Predictive Control Strategy for Optimal Power Sharing and Battery Thermal Management in Hybrid Electric Vehicles, Yüksek Lisans Tezi, Yaşar University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, 2019, 538999.
- [43] İskender T., Elektrikli Araçlarda Flywheel Destekli Bir Hibrit Sistem Modelinin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2019, 564535.
- [44] Demiroğlu O., Elektrikli/Hibrid Araçların Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2012, 318583.
- [45] Varol G., Elektrikli Araçlarda Enerji Depolama ve Geri Kazanımlı Frenleme Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019, 546460.
- [46] Özer T., Active and Passive Balancing Battery Control for Electric Vehicle, Doktora Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2020, 619088.
- [47] Uçarol H., Karma Elektrikli Araç, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003, 142971.
- [48] Altanneh N., Güneş Pili ve Hidrojen Yakıt Pilinden Beslenen Küçük Bir Elektrikli Araç İçin Batarya Şarj Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi,

Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012, 322919.

- [49] Tuna M., Hibrit Elektrikli Araçlarda (HEA) Kullanılan Konvertörlerin Genelleştirilmiş Durum Uzay Ortalama (GSSA) Yöntemi İle Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 233165.
- [50] Kayıklı T., Elektrikli Araçlarda Kullanılan Lityum-Polimer Batarya İçin Şarj Cihazı Geliştirme, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008, 373287.
- [51] Aras U. T., Hibrit Elektrikli Araçların Batarya Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009, 259447.
- [52] Altunkaya S. M., Hibrit Elektrikli Araçlarda Enerji Depolama Yöntemleri ve Verimliliği Arttırmak İçin Yeni Bir Kişisel Sürüş Modu Algoritmasının Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 535387.
- [53] Keskin F., Yakıt Pili-Bataryalı Hibrid Bir Elektrikli Araçta Enerji Yönetiminin Sağlanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 364233.
- [54] Aydın B., Yakıt Pili Elektrikli Araçların Tahriki İçin Farklı Tipte Batarya Gruplarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 295823.
- [55] Baykal T., Lityum Polimer Bataryalar İçin Batarya Yönetim Sistemi Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013, 332322.
- [56] Kırçiçek Y., Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Destek İçin Kullanılan Batarya ve Ultrakapasitör Depolama Birimlerinin Modellenmesi ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2016, 423752.
- [57] Nemry F., Leduc G., Munoz A., Plug-in Hybrid and Battery-Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency, *Joint Research Centre (JRC)*, 54699, 1-48, 2009.
- [58] Erhan K., Hibrit ve Elektrikli Araçlarda Volan ve Ultrakapasitör Teknolojilerinin Kullanımının İncelenmesi ve Volan Enerji Depolama Ünitesinin Prototip Üretimi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2018, 521171.
- [59] Doucette R. T., McCulloch M. D., A comparison of high-speed flywheels, batteries, and ultracapacitors on the bases of cost and fuel economy as the energy storage system in a fuel cell based hybrid electric vehicle, *Journal of Power Sources*, 2011, **196**(3), 1163-1170.

- [60] Sharma S., Panwar A. K., Tripathi M. M., Storage technologies for electric vehicles, *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2020, **7**(3), 340-361.
- [61] Balali Y., Stegen S., Review of energy storage systems for vehicles based on technology, environmental impacts, and costs, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, **135**, 1-15.
- [62] Turkmen A. C., Solmaz S., Celik C., Analysis of fuel cell vehicles with advisor software, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, **70**, 1066-1071.
- [63] Soydaş Ş., Lityum Tabanlı Batarya Paketleri İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2015, 405845.
- [64] Wipke K., Cuddy M., Bharathan D., Burch S., Johnson V., Markel A., Sprik S., Advisor 2.0: A Second-Generation Advanced Vehicle Simulator for Systems Analysis, *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, TP-540-25928, 1-10, 1999.
- [65] Kumar P., Majhi S., Introduction to Hybrid and Electric Vehicles, NPTEL, <https://nptel.ac.in/courses/108/103/108103009/>, (Ziyaret tarihi: 18 Ocak 2021).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Özen B.**, Kuşdoğan Ş., Elektrikli Araçlarda Enerji Depolama ve Şarj Teknolojisi, *IMASCON 2019 Autumn Organizing Committee*, Kocaeli, 01-03 Kasım 2019.
- [2] **Özen B.**, Kuşdoğan Ş., Advisor Programıyla Hibrit Elektrikli Taşıtlarda Batarya Analizi, *IMASCON 2020 Autumn Organizing Committee*, Kocaeli, 04-05 Aralık 2020.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak'ta tamamladı. 2012 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 2019 yılından beri Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

