

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİCARİ ELEKTRİKLİ ARAÇ ÜSTYAPI DÖNÜŞÜMÜNDE EK BATARYA
YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ OPTİMİZASYONU

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZGE YILDIRIM

OCAK 2025

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİCARİ ELEKTRİKLİ ARAÇ ÜSTYAPI DÖNÜŞÜMÜNDE EK BATARYA
YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ OPTİMİZASYONU

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özge YILDIRIM

DANIŞMAN: Prof. Dr. Rifat HACIOĞLU

ZONGULDAK

Ocak 2025

KABUL:

Özge YILDIRIM tarafından hazırlanan “Ticari Elektrikli Araç Üstyapı Dönüşümünde Ek Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Enerji Verimliliği Optimizasyonu” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir. 23/01/2025

Danışman: Prof. Dr. Rıfat HACIOĞLU

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Muhsin Uğur DOĞAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../20....

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Özge YILDIRIM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TİCARİ ELEKTRİKLİ ARAÇ ÜST YAPI DÖNÜŞÜMÜNDE EK BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ OPTİMİZASYONU

Özge YILDIRIM

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Rifat HACIOĞLU

Ocak 2025, 67 sayfa

Son yıllarda dünya genelinde sürdürülebilir ulaşım çözümlerine yönelik yoğun bir talep artışı yaşanmaktadır. Elektrikli araçlar, düşük karbon salınımı ve çevre dostu yapılarıyla bu alandaki en önemli alternatiflerden biri olarak öne çıkmaktadır. Ancak, N2 sınıfı elektrikli panelvan araçların M2 sınıfı servis ve okul araçlarına dönüştürülmesi sürecinde enerji yetersizliği ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Mevcut yüksek voltajlı bataryalar, M2 sınıfında gerekli olan klima, ısıtıcı, elektrikli basamak, kayar kapı, USB cihazları ve aydınlatma sistemleri gibi donanımların enerji ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu problemi aşmak için, araç üzerine entegre edilecek ilave bir batarya ve şarj kontrol sistemiyle enerji altyapısının güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu entegrasyon elektrikli araçların batarya altyapısını güçlendirerek gerekli sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamasını sağlamaktadır.

ÖZET (devam ediyor)

Bu tez çalışmasında N2 sınıfı bir elektrikli aracın üst yapı dönüşümünün yapılabilmesi için gerekli enerjiyi sağlayacak ek batarya yönetim sistemi araca entegre edilmiş ve aracın M2 sınıfı elektrikli araca dönüşümü yapılarak üst yapı dönüşümü tamamlanmıştır. 48V 5.4 kWh kapasiteli bir batarya entegrasyonu ve 3.5 kW gücünde bir On-Board Charger (OBC) araç içerisine entegre edilmesinin tasarımı yapılmıştır. Batarya, aracın taşıma kapasitesini ve menzil ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde araç içerisindeki hostes koltuğu altındaki baza içine yerleştirilmiştir. Buna ek olarak içten yanmalı bir araçtan reel ölçüm değerleri alınarak üst yapı dönüşümü yapılan elektrikli aracın ek batarya yönetim sistemi sayesinde içten yanmalı araçlara kıyasla enerji verimliliğinin sağlandığı gösterilmiştir.

Bu sistemlerin doğru tasarımı ve entegrasyonu sayesinde, N2 sınıfı elektrikli panelvan araçlar, M2 sınıfı servis ve okul araçlarına başarıyla dönüştürülebilir. Bu entegrasyon, elektrikli araçların üst yapı dönüşümünü sağlayarak, çevre dostu ve enerji verimli ulaşım çözümlerinin yaygınlaşmasına katkı sunmaktadır. Özellikle okul ve servis araçlarında enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik sağlamayı amaçlayan bu dönüşüm, gelecekte daha sürdürülebilir ulaşım alternatiflerinin geliştirilmesine öncülük edecektir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Batarya Entegrasyonu, Şarj Sistemi, On-Board Charger, CAN, M2 Sınıf Üstyapı Dönüşümü

Bilim Kodu: 608.05.02.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN OF AUXILIARY BATTERY MANAGEMENT SYSTEM AND ENERGY EFFICIENCY OPTIMIZATION IN COMMERCIAL ELECTRIC VEHICLE SUPERSTRUCTURE TRANSFORMATION

Özge YILDIRM

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Thesis Advisor: Prof. Dr. RIFAT HACIOĞLU

January 2025, 67 pages

In recent years, there has been a significant increase in global demand for sustainable transportation solutions. Electric vehicles (EV) stand out as one of the most important alternatives in this field due to their low carbon emissions and environmentally friendly nature. However, the conversion of N2 class electric panel vans into M2 class service and school vehicles presents a major challenge due to energy insufficiency. The current high-voltage batteries are inadequate to meet the energy demands of essential systems such as air conditioning, heating, electric steps, sliding doors, USB devices, and lighting systems in M2 class vehicles. To overcome this issue, it is necessary to strengthen the energy infrastructure with an additional battery and charging control system integrated into the vehicle. This integration enhances the battery infrastructure of electric vehicles, ensuring the energy supply for the necessary systems.

ABSTRACT (continued)

In this thesis study, an additional battery management system providing the necessary energy for the superstructure conversion of an N2-class electric vehicle was integrated into the vehicle. The vehicle was then converted into an M2-class electric vehicle, completing the superstructure conversion. A 48V, 5.4 kWh battery integration and a 3.5 kW On-Board Charger (OBC) were designed and integrated into the vehicle. The battery was placed inside the base under the hostess seat to meet the vehicle's carrying capacity and range requirements. Additionally, real measurement data were obtained from an internal combustion vehicle, demonstrating that the converted electric vehicle, with its additional battery management system, achieved energy efficiency compared to internal combustion vehicles.

With the proper design and integration of these systems, N2 class electric panel vans can be successfully converted into M2 class service and school vehicles. This integration supports the upper structure transformation of electric vehicles, contributing to the widespread adoption of environmentally friendly and energy-efficient transportation solutions. This transformation, especially aimed at enhancing energy efficiency and sustainability in school and service vehicles, will lead to the development of more sustainable transportation alternatives in the future.

Keywords: Electric Vehicles, Battery Integration, Charging System, On-Board Charger, CAN, M2 Class Superstructure Conversio

Science Code: 608.05.02.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim süresince bana rehberlik eden, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, her zaman desteğini hissettiren değerli danışmanım Prof. Dr. Rıfat HACIOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım. Kıymetli bilgileri, yol gösterici yaklaşımı ve sabırlı desteği sayesinde bu çalışmayı başarıyla tamamlayabildim.

Ayrıca akademik hayatım boyunca bana destek olan tüm öğretim üyelerine, arkadaşlarıma ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu süreçte yanımda olan herkese minnettarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
1.1 ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TANIMI VE ÖNEMİ.....	1
1.2 ELEKTRİKLİ ARAÇ ÇEŞİTLERİ.....	2
1.2.1 Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEV)	2
1.2.2 Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV)	2
1.2.3 Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEV)	3
1.3 ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ROLÜ	8
1.4 BATARYA TEKNOLOJİLERİNİN EVRİMİ VE GELİŞİMİ	9
1.5 BATARYA TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	10
1.6 ÜST YAPI DÖNÜŞÜMÜNÜN ÖNEMİ VE TEMEL UNSURLARI.....	13
1.7 İNSAN VE SERVİS TAŞIMACILIĞI OLARAK ELEKTRONİK ARAÇLAR	14
1.7.1 Elektrikli Araçlarda Yardımcı Sistemler: Klima, Isıtıcı, USB Cihazları ve Aydınlatma.....	14
1.7.2 Sürdürülebilirlik.....	15
1.8 ELEKTRİKLİ ARAÇ ÜST YAPI DÖNÜŞÜM İHTİYACINA GÖRE ENERJİ OPTİMİZASYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	16
1.9 ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA MALİYET MENZİL VE SÜRE DENGESİ	17
1.10 TÜRKİYE’DE OTOMOTİV ÜST YAPI ÜRETİMİ	18

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

BÖLÜM 2 ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS)	19
2.1 BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ İÇİN KRİTİK PARAMETRELER.....	20
2.1.1 Pil Doluluk Oranı (SOC)	20
2.1.2 Hücre Dengesizliği ve Yönetimi.....	21
2.1.3 Pil Sıcaklığının Etkisi	21
2.1.4 Pil Sağlık Durumu (SOH)	22
2.1.5 Pil Sıcaklık Durumu (SOT)	23
2.2 EK BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN SİMÜLASYONU VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	24
2.2.1 N2 SINIFI VE M2 SINIFI ARAÇLAR	24
2.2.2 N2 Sınıfı Araçlar	24
2.2.3 M2 Sınıfı Araçlar	24
2.2.4 N2 ve M2 Sınıfları Arasındaki Farklar	25
2.3 N2 SINIFI ELEKTRİKLİ ARACIN M2 SINIFI ELEKTRİKLİ ARACA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE EK BATARYA SİSTEMİNİN ÖNEMİ.....	26
2.4 SİSTEM BİLEŞENLERİ.....	27
2.4.1 Batarya İç Yapısı.....	27
2.4.2 CAN	28
2.4.3 CAN Sisteminin Araçlardaki Uygulamaları	29
2.4.4 Yerleşik Şarj Ünitesi (OBC)	30
2.4.5 Araç Kontrol Ünitesi (VCU).....	31
2.4.6 Gösterge Paneli	33
2.4.7 Type 2 Soket	34
2.4.8 CAN Diyagram Haberleşmesi	35
BÖLÜM 3 EK BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ MODELLEME.....	37
BÖLÜM 4 ÜST YAPI DÖNÜŞÜMÜ SİSTEMİ.....	46
4.1 ELEKTRİKLİ MERCEDES SPRINTER VS30 ARACIN ÜST YAPI DÖNÜŞÜMÜ SIRASINDA ARACA ENTEGRE EDİLECEK SİSTEMLER	46
4.2 ENERJİ VERİMLİLİĞİ OPTİMİZASYONU	49
4.3 ELEKTRİKLİ ARAÇ VE İÇTEN YANMALI ARAÇ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ.....	54
4.3.1.Elektrikli Araç Verimliliği Analizi	54
4.4 İÇTEN YANMALI ARAÇ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ	55

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

4.5 MALİYET TABLOLARI İLE VERİMLİLİK KİYASLAMASI	58
BÖLÜM 5 SONUÇLAR ve ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ	67





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Seri hibrit araçlarının sistem yapısı.....	4
Şekil 1.2 Paralel hibrit araçların iç yapısı	6
Şekil 1.3 Seri-Paralel hibrit araçların iç yapısı.....	7
Şekil 1.4 Lityum-demir-fosfat batarya örneği.....	12
Şekil 2.1 Batarya yönetim sistemi akış diyagramı	20
Şekil 2.2 Ek batarya yönetim sistemi	27
Şekil 2.3 Araç içi şarj ünitesi yapısı.....	31
Şekil 2.4 Kullanılan görterge paneli (display)	34
Şekil 2.5 TYPE 2 soket	34
Şekil 2.6 CAN Bus haberleşme diyagramı.....	35
Şekil 3.1 Batarya paketinin MATLAB modeli	37
Şekil 3.2 1800 saniye boyunca bataryadan çekilen güç değeri	39
Şekil 3.3 1800 saniye boyunca bataryanın enerjisinin %86'ya düşme eğilimi.....	30
Şekil 3.4 1800 saniye boyunca kompresör motorundan çekilen anlık güç	41
Şekil 3.5 Elektrikli bir sistemin çalışma dinamikleri	44
Şekil 4.1 Batarya tüketiminin yüzdelik payı	48
Şekil 4.2 Sistem tüketimi ve batarya kapasitesi ilişkisi	49
Şekil 4.3 Araçtan alınan reel ölçüm değerleri	50
Şekil 4.4 Araçtan alınan reel ölçüm değerleri	50
Şekil 4.5 Araçtan alınan reel ölçüm değerleri	50
Şekil 4.6 Araç motor devri ve klima sistemi tarafından çekilen akım değerleri.....	52
Şekil 4.7 Araç motoru devri ve alternatör çıkış akımı	52
Şekil 4.8 Araç motor devri ve alternatör yakıt tüketimi.....	53
Şekil 4.9 Elektrikli araç ve içten yanmalı araç verimlilik kıyaslaması	56
Şekil 4.10 Batarya yönetim sistemi datası	57
Şekil 4.11 Batarya yönetim sistemi uygulanan araç datası	57
Şekil 4.12 Yolcu sayısına göre elektrikli araç ve içten yanmalı araç verimlilik karşılaştırması	59



ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 N2 ve M2 sınıfı araçlar arasındaki farklar	25
Çizelge 4.1 Bataryadan beslenmesi gereken sistemler.....	47
Çizelge 4.2 Araçtan ölçülen reel değerler	51
Çizelge 4.3 Elektrikli araç ve içten yanmalı araçların karşılaştırmalı değerlendirilmesi.....	55
Çizelge 4.4 Elektrikli araç tüketim ve maliyet analizi	58
Çizelge 4.5 İçten yanmalı araç tüketim ve maliyet analizi	59



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım (Alternating Current)
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
Cd	: Cd (OH) ₂ Kadmiyum Hidroksit
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
EA	: Elektrikli Araçlar
KOH	: Potasyum Hidroksit
LiCoO₂	: Lityum Kobalt Oksit (Lithium Cobalt Oxide)
LiFePO₄	: Lityum Demir Fosfat (Lithium Iron Phosphate)
Li-Ion	: Lityum İyon (Lithium Ion)
LiNiO₂	: Lityum Nikel Oksit (Lithium Nickel Oxide)
LiPo	: Lityum İyon Polimer (Lithium Polymer)
Li-S	: Lityum Sülfür (Lithium Sulfur)
Ni-Cd	: Nikel Kadmiyum (Nickel Cadmium)
Ni-MH	: Nikel Metal Hidrit (Nickel Metal Hydride)
Ni(OH)₂	: Nikel Hidroksit / Nikel Oksihidroksit
Pb	: Kurşun Asit (Lead-Acid)
RPM	: 1 dakika içerisinde gerçekleştirilen dönüş/devir sayısı (Revolutions per Minute)
SOC	: Batarya Doluluk Durumu (State Of Charge)
SOH	: Batarya Sağlık Durumu (State Of Health)
SOT	: Batarya Sıcaklık Durumu (State Of Temperature)



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bu çalışmada, elektrikli araçların üst yapı dönüşüm sürecinde ek batarya yönetim sistemi entegrasyonu ve enerji verimliliği optimizasyonuna odaklanılarak, literatürdeki önemli bir boşluk doldurulmaktadır. Literatür incelemeleri, mevcut çalışmaların genellikle batarya yönetim sistemlerinin temel işleyişi, enerji depolama teknolojileri ve batarya performans analizleri üzerine yoğunlaştığını göstermektedir. Ancak, elektrikli araçların farklı kullanım senaryolarına uyarlanması sürecinde ortaya çıkan enerji gereksinimleri ve ek batarya sistemleriyle bu gereksinimlerin nasıl karşılanabileceği konusundaki çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu bağlamda, çalışmamız N2 sınıfı elektrikli panelvan araçların M2 sınıfı servis araçlarına dönüştürülmesi sürecinde ortaya çıkan enerji yetersizliği problemini ele almakta ve bu sorunun çözümü için ek batarya yönetim sisteminin entegrasyonuna yönelik bir yaklaşım sunmaktadır. Özellikle, taşıma kapasitesinin artırılması ve araç menzilin korunması gibi kritik faktörler göz önünde bulundurularak, ek batarya sisteminin konumlandırılması ve şarj altyapısının optimizasyonu detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

Elde edilen çalışma sonuçları, yalnızca enerji verimliliğinin artırılması açısından değil, aynı zamanda sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin geliştirilmesi bakımından da büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, çalışma, elektrikli araçların farklı kullanım alanlarına uyarlanmasıyla ilgili yapılacak gelecekteki araştırmalara ışık tutacak nitelikte olup, elektrikli araç teknolojilerinin daha geniş çapta benimsenmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

1.1 ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TANIMI VE ÖNEMİ

Elektrikli araçlar (EA'lar), enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar yerine elektrik enerjisini kullanan, sürdürülebilir ulaşım teknolojilerinin öncü örneklerinden biridir. Geleneksel içten yanmalı motorlar yerine elektrik motorlarıyla donatılmış bu araçlar, genellikle şarj edilebilir bataryalarla çalışmakta ve sıfır emisyonlu bir sürüş sunmaktadır. Elektrikli araçların kapsamı, tamamen elektrikle çalışan bataryalı elektrikli araçlardan (BEV) hibrit sistemlere kadar geniş bir yelpazeyi içermektedir.

Son yıllarda küresel çevresel sorunlar, fosil yakıt rezervlerinin tükenme riski ve şehirleşme kaynaklı hava kirliliği gibi problemler, elektrikli araçların önemini artırmıştır. Elektrikli araçlar, karbon ayak izini azaltma potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre çalışabilme yeteneği sayesinde çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca, enerji verimliliği açısından içten yanmalı motorlara göre daha yüksek performans göstermeleri, enerji kaynaklarının daha etkin kullanımını sağlamaktadır (Agarwal, 2013).

Elektrikli araçların toplumsal ve ekonomik boyutları da dikkat çekicidir. Bu teknolojinin yaygınlaşması, enerji bağımlılığını azaltarak ülkelerin enerji güvenliğine katkıda bulunabilirken, aynı zamanda yeşil ekonomi çerçevesinde yeni istihdam alanları yaratmaktadır. Ayrıca, şehir içi ulaşımında sağladığı sessiz ve titreşimsiz çalışma avantajları, yaşam kalitesini artırıcı bir etkide bulunmaktadır.

Özetle elektrikli araçlar, yalnızca teknolojik bir yenilik olarak değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve toplumsal refah açısından kritik bir dönüşümün sembolü olarak değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, elektrikli araç teknolojilerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması hem akademik hem de endüstriyel açıdan stratejik bir öncelik taşımaktadır (Agarwal, 2013).

1.2 ELEKTRİKLİ ARAÇ ÇEŞİTLERİ

1.2.1 Bataryalı Elektrikli Araçlar (BEV)

Bataryalı elektrikli araçlar, tamamen elektrik enerjisiyle çalışan araçlardır. İçten yanmalı bir motora sahip olmayan bu araçlar, enerji depolamak için yüksek kapasiteli bataryalar kullanmaktadır. Şarj edilebilir bataryalar, aracın elektrik motoruna güç sağlar ve rejeneratif frenleme yoluyla enerji geri kazanımı yapar. Tesla Model 3, Nissan Leaf ve Hyundai Kona gibi modeller Bataryalı elektronik araçlara örnek olarak gösterilebilir (Li, 2007).

1.2.2 Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV)

Hibrit elektrikli araçlar içten yanmalı motor ile elektrik motorunu bir arada kullanılmaktadır. Elektrik motoru, genellikle düşük hızlarda ve kısa mesafelerde çalışırken, içten yanmalı motor daha yüksek hızlar ve uzun mesafeler için devreye girmektedir. Toyota Prius, Hibrit elektrikli araç segmentinin öncülerinden biridir (Lajunen, 2016).

1.2.3 Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEV)

PHEV'ler, hibrit araçların daha gelişmiş bir versiyonudur. Elektrik motoru için harici bir güç kaynağından şarj edilebilen daha büyük bir bataryaya sahiptir. Elektrikli modda daha uzun mesafeler kat edebilir ve benzinli motor bir destek sistemi olarak çalışmaktadır. Mitsubishi Outlander PHEV ve BMW 330e bu kategoride yer almaktadır. Bu kategorideki araçlar seri ve paralel hibrit araçlar olarak ikiye ayrılmaktadır:

Seri hibrit elektrikli araçlarda ana tahrik ünitesi olarak elektrik motoru görev yaparken, içten yanmalı motor bir jeneratörü çalıştırarak enerji üretmektedir. Üretilen elektrik enerjisi, hem bataryaları şarj etmek hem de elektrik motorunu beslemek için kullanılabilir. Bu sistemde, tekerleklerle iletilen hareket gücü tamamen elektrik motorlarından sağlanmaktadır. Elektrik motoru, bataryalardan veya hibrit güç ünitesinden elde edilen elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek aracı hareket ettirmektedir (Li vd. 2008).

Hibrit güç ünitesi, içten yanmalı bir motor ile bu motorun ürettiği mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir jeneratörden oluşmaktadır. Fosil yakıtlar, içten yanmalı motor tarafından mekanik enerjiye çevrilmektedir. Bu mekanik enerji, jeneratör aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülerek ihtiyaç durumuna göre ya doğrudan elektrik motoruna iletilir ya da bataryalarda depolanmaktadır. Güç kontrol ünitesi (PCU), bu enerji akışını yöneterek bataryaların ve elektrik motorunun verimli çalışmasını sağlamaktadır (Agarwal, 2013).

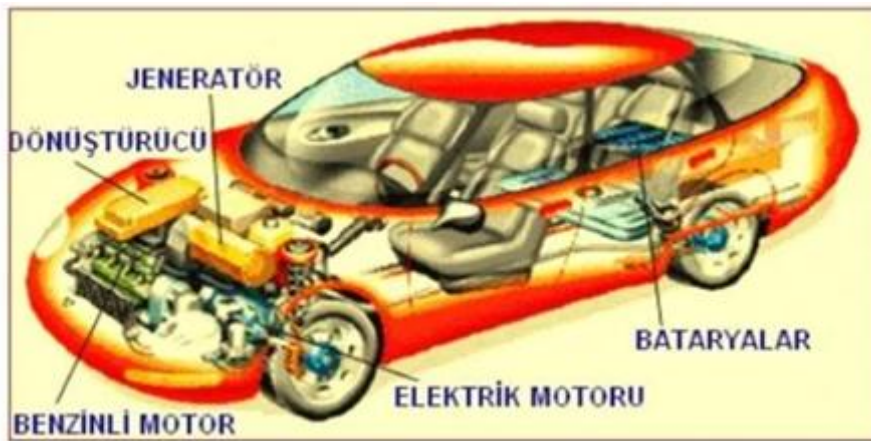
Motor kontrol ünitesi, bataryaların güvenli ve verimli çalışmasını sağlamak için doluluk oranını genellikle %60 ile %80 arasında tutmaktadır. Eğer batarya doluluk oranı belirlenen minimum seviyenin altına düşerse içten yanmalı motor devreye girerek jeneratörü çalıştırır ve bataryaları şarj etmektedir. Benzer şekilde, bataryaların doluluk oranı üst sınırı aştığında içten yanmalı motor durdurularak enerji israfı önlenir. Bu kontrol mekanizması, sistemin optimum yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini sağlamasına yardımcı olmaktadır (Branth ve Leitman, 2013).

Seri hibrit elektrikli araçların önemli avantajlarından biri, yokuş aşağı sürüş veya frenleme sırasında açığa çıkan kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek bataryaları şarj edebilmesidir. Bu süreç, rejeneratif frenleme olarak adlandırılır ve enerji verimliliğini artıran bir özelliktir. Seri hibrit sistemlerin yapısı, yakıt pilli elektrikli araçların sistemine oldukça yakındır. Yakıt pilli sistemlerde içten yanmalı motor ve jeneratör yerine yakıt pili yakıt tüketimi ve emisyon değerlerini sağlamasına yardımcı olmaktadır.

Seri hibrit sistemlerin yapısı, yakıt pilli elektrikli araçların sistemine oldukça yakındır. Yakıt pilli sistemlerde içten yanmalı motor ve jeneratör yerine yakıt pili sistemi kullanılırken, fosil yakıt deposu yerine hidrojen depolama sistemi yer almaktadır. Bu bağlamda, seri hibrit sistemler, geleceğin teknolojisi olarak görülen yakıt pilli sistemler için önemli bir altyapı sunmaktadır. Seri hibrit sistemin temel avantajı, elektrik motorunun daha çevre dostu ve verimli bir sürüş sunmasıdır. Şehir içi kullanımlarda enerji, genellikle bataryalardan sağlanırken, otoyollarda içten yanmalı motorun jeneratörü çalıştırmasıyla bataryalar şarj edilir ve elektrik motoru beslenmektedir. Ancak bu sistemin önemli bir dezavantajı jeneratörün ağırlık ve maliyet eklemesidir. Ayrıca, enerji dönüşüm süreçlerinin fazla olması toplam sistem verimini düşürebilir (Branth ve Leitman, 2013).

Sonuç olarak, seri hibrit elektrikli araçlar, şehir içi ve otoyol kullanımında çevre dostu bir seçenek sunmaktadır. Bataryalar hem enerji depolama hem de güç destek kaynağı olarak işlev görürken, içten yanmalı motor sabit hızda çalışarak optimum yakıt tüketimi ve düşük emisyon sağlamaktadır.

Seri hibrit elektrikli araçlarının jeneratör, dönüştürücü, batarya gibi ana bileşenleri bulunmaktadır. Benzinli motor, jeneratör vasıtasıyla elektrik üretmektedir. Bu enerji bataryalarda depolanır ve elektrik motoru aracılığıyla aracı hareket ettirmektedir. Şekil 1.1.'de bu bileşenler gösterilmektedir:



Şekil 1.1 Seri hibrit araçlarının sistem yapısı (Anonim, 2015)

Paralel hibrit elektrikli araçlar (PHEA), içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birlikte çalıştığı bir hibrit sistemdir. Bu araçlar, güç aktarım mekanizmasında hem içten yanmalı

motorun hem de elektrik motorunun doğrudan tekerleklerle güç iletebildiği bir yapı üzerine tasarlanmıştır. Paralel hibrit sistemlerde, iki güç kaynağı birbiriyle uyumlu bir şekilde çalışarak enerji verimliliğini artırmayı ve yakıt tüketimini azaltmayı hedeflemektedir. Paralel hibrit sistemde, içten yanmalı motor ve elektrik motoru bağımsız veya ortak çalışabilmektedir. (Şekil 1.2).

Araç, sürüş koşullarına bağlı olarak aşağıdaki modlarda çalışabilir (Chan, 2007). Araç düşük hızlarda veya kısa mesafelerde yalnızca elektrik motoru tarafından çalıştırılır. Bu mod şehir içi sürüş gibi düşük enerji gerektiren durumlarda kullanılır ve sıfır emisyon avantajı sağlamaktadır. Enerji, doğrudan bataryalardan elektrik motoruna aktarılmaktadır. Yüksek hız veya uzun mesafe sürüşlerinde içten yanmalı motor devreye girmektedir. Bu mod, otoyol kullanımı gibi daha fazla güç gerektiren durumlar için idealdir. İçten yanmalı motorun verimli olduğu hız aralıklarında çalışması sağlanarak yakıt tüketimi optimize edilmektedir (Grammatico, 2010).

Paralel hibrit elektrikli araçlar (PHEA), içten yanmalı motor ve elektrik motorunun birlikte çalıştığı bir hibrit sistemdir. Bu araçlar, güç aktarım mekanizmasında hem içten yanmalı motorun hem de elektrik motorunun doğrudan tekerleklerle güç iletebildiği bir yapı üzerine tasarlanmıştır. Paralel hibrit sistemlerde, iki güç kaynağı birbiriyle uyumlu bir şekilde çalışarak enerji verimliliğini artırmayı ve yakıt tüketimini azaltmayı hedeflemektedir. Paralel hibrit sistemde, içten yanmalı motor ve elektrik motoru bağımsız veya ortak çalışabilmektedir. Araç, sürüş koşullarına bağlı olarak aşağıdaki modlarda çalışabilmektedir.

Araç düşük hızlarda veya kısa mesafelerde yalnızca elektrik motoru tarafından çalıştırılır. Bu mod, şehir içi sürüş gibi düşük enerji gerektiren durumlarda kullanılır ve sıfır emisyon avantajı sağlamaktadır. Enerji, doğrudan bataryalardan elektrik motoruna aktarılmaktadır. Yüksek hız veya uzun mesafe sürüşlerinde içten yanmalı motor devreye girmektedir. Bu mod, otoyol kullanımı gibi daha fazla güç gerektiren durumlar için idealdir. İçten yanmalı motorun verimli olduğu hız aralıklarında çalışması sağlanarak yakıt tüketimi optimize edilmektedir.

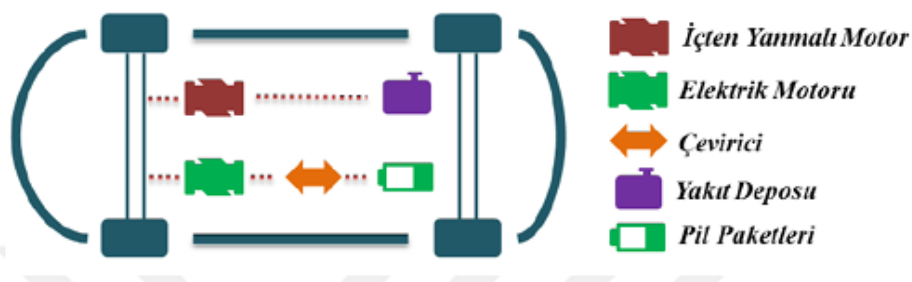
İçten yanmalı motor ve elektrik motoru birlikte çalışarak araca güç sağlamaktadır. Bu mod, özellikle hızlı ivmelenme, sollama veya yokuş tırmanma gibi yüksek enerji gereksinimi olan durumlarda kullanılmaktadır. Elektrik motoru, içten yanmalı motora destek olarak performansı artırır ve yakıt tüketimini düşürmektedir. Paralel hibrit sistemlerde rejeneratif frenleme teknolojisi kullanılmaktadır. Frenleme sırasında açığa çıkan kinetik enerji, elektrik

enerjisine dönüştürülerek bataryalarda depolanmaktadır. Bu süreç, enerji geri kazanımı sağlayarak sistemin verimliliğini artırmaktadır. İçten yanmalı motor, aracın hareketini sağlarken aynı zamanda jeneratör yardımıyla bataryaları şarj edebilir. Bu özellik, bataryaların düşük şarj seviyelerinde bile dolu tutulmasını sağlamaktadır. Paralel hibrit sistem, içten yanmalı motorun en verimli olduğu koşullarda çalışmasını sağlayarak yakıt tüketimini düşürmektedir (Agarwal, 2013).

Elektrik motorunun sağladığı ek güç, araç performansını artırır ve daha pürüzsüz bir sürüş deneyimi sunmaktadır. Enerji geri kazanımı, bataryaların daha uzun süre dayanmasını ve daha az enerji israf edilmesini sağlamaktadır. Sistem, farklı sürüş koşullarına uyum sağlayarak hem şehir içi hem de otoyol kullanımına uygun bir yapı sunmaktadır.

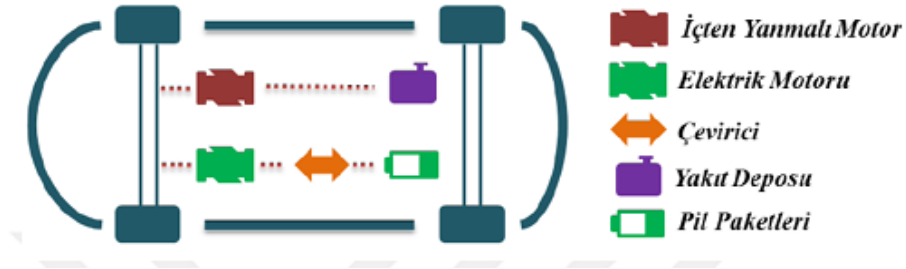
Paralel hibrit sistemlerin dezavantajları da bulunmaktadır. İçten yanmalı motor, elektrik motoru, bataryalar ve jeneratör gibi bileşenlerden oluştuğu için daha karmaşıktır. Teknolojik karmaşıklık, üretim maliyetini artırabilir. Hem içten yanmalı motor hem de elektrik motorunun varlığı, aracın toplam ağırlığını artırabilir (Kaymaz ve Hançar, 2021).

Güç aktarımı açısından hibrit araç sistemleri farklılık gösterebilmektedir. Paralel hibrit sisteminde elektrikli motor ve içten yanmalı motor bir arada çalışıp aracı hareket ettirebilmektedir. Şekil 1.2’de paralel hibrit araçlarının iç yapısı gösterilmektedir:



Şekil 1.2 Paralel hibrit araçların iç yapısı (Muratoğlu, 2017).

Seri-paralel hibrit sisteminde ise paralel hibrit sisteminden durum biraz daha farklıdır. Temel güç kaynağı elektrikli motordur ve gerektiğinde içten yanmalı motor devreye girmektedir. Şekil 1.3'te Seri-Paralel hibrit araçların iç yapısı gösterilmektedir ve enerji akım sistemi daha iyi anlaşılmaktadır:



Şekil 1.3 Seri-Paralel hibrit araçların iç yapısı (Muratoğlu, 2017)

Hibrit araçlar üzerine yapılan çalışmaların temel amacı, enerji verimliliğini artırmaktır. Bu çabalar, seri ve paralel hibrit araçların avantajlarını bir araya getiren seri-paralel ve kompleks hibrit elektrikli araçların geliştirilmesini sağlamıştır. Bu araçlar, yalnızca güç performansını artırmakla kalmaz, aynı zamanda yakıt tüketiminde de önemli bir ekonomik avantaj sunmaktadır (Aktaş ve Baygüneş, 2020).

Seri-paralel hibrit elektrikli araçlar, seri ve paralel hibrit sistemlerin verimliliklerini birleştirerek her iki yapının da güçlü yönlerini kullanmaktadır. Ancak tasarım olarak paralel hibrit sisteme daha yakındır. Bu sistemde, içten yanmalı motor doğrudan tekerleklere bağlanabilirken, aynı zamanda bir jeneratör aracılığıyla elektrik motoruna enerji desteği sağlayabilir. Araç, düşük hızlarda seri hibrit yapı prensibiyle çalışarak elektrik motorunu öncelikli güç kaynağı olarak kullanmaktadır. Yüksek hızlarda ise içten yanmalı motor doğrudan tekerleklere bağlanır ve gerekli gücü sağlayarak verimli bir sürüş sunmaktadır. Bu yapı, hem yüksek performans hem de yakıt tasarrufu sağlama hedefiyle hibrit araç teknolojisinin önemli bir gelişim aşamasını temsil etmektedir.

Seri-paralel hibrit sistemler, seri ve paralel hibrit sistemlerinin avantajlarını bir araya getirip etkin bir yapı sağlamaktadır. Bu sistem, içten yanmalı motorun hem direkt olarak tekerlere güç verebilmesi hem de jeneratör sayesinde elektrik motorunu beslemesi bakımından önemlidir. Bu sayede araç, çeşitli yük ve hız durumlarına göre en verimli çalışma moduna geçiş sağlayabilmektedir (Şekil 1.3).

1.3 ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN ROLÜ

Elektrikli araçların (EA'lar) performansı, verimliliği ve kullanım ömrü, büyük ölçüde enerji depolama sistemlerinin etkinliğine bağlıdır. Enerji depolama sistemleri, elektrikli araçların enerji ihtiyaçlarını karşılayan ve araç hareket halindeyken enerji temin eden temel bileşenlerdir. Bu sistemler, genellikle lityum-iyon bataryalar gibi gelişmiş batarya teknolojilerini içermekle birlikte, alternatif enerji depolama çözümleri de araştırılmaktadır.

Enerji depolama sistemleri, elektrikli araçların işlevselliğinde kritik bir rol oynamaktadır. İlk olarak bu sistemler, aracın elektrik motoruna kesintisiz ve güvenilir bir enerji akışı sağlayarak sürüş performansını doğrudan etkilemektedir. Bataryaların enerji yoğunluğu, araçların menzilini belirleyen ana faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryalar, daha uzun menzil sağlayarak elektrikli araçların günlük kullanıma uygunluğunu artırmaktadır.

Bunun yanı sıra, enerji depolama sistemleri, enerji geri kazanım mekanizmalarıyla da entegre çalışarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Regeneratif frenleme sistemleri, frenleme sırasında ortaya çıkan kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek bataryaya geri kazandırmaktadır. Bu özellik hem enerji tüketimini optimize etmekte hem de bataryanın kullanım ömrünü uzatmaktadır (Aktaş ve Baygüneş, 2020).

Enerji depolama sistemleri aynı zamanda elektrikli araçların çevresel sürdürülebilirliğini destekleyen bir unsurdur. Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltan bu sistemler, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla şarj edilme imkânı sunarak karbon emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Ancak bataryaların üretim sürecindeki çevresel etkiler ve geri dönüşüm gereklilikleri, bu sistemlerin sürdürülebilirliğini artırmak için çözüm bekleyen önemli konular arasında yer almaktadır (Aktaş ve Baygüneş, 2020).

Sonuç olarak, enerji depolama sistemleri, elektrikli araçların teknolojik altyapısının temel taşı olarak değerlendirilmelidir. Batarya teknolojilerindeki ilerlemeler, sadece araç performansını ve enerji verimliliğini artırmakla kalmayıp, aynı zamanda bu araçların ekonomik ve çevresel avantajlarını maksimize etme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi ve optimize edilmesi, elektrikli araç teknolojilerinin geleceği açısından stratejik bir öncelik taşımaktadır.

1.4 BATARYA TEKNOLOJİLERİNİN EVRİMİ VE GELİŞİMİ

Batarya teknolojilerinin evrimi, enerji depolama alanında yaşanan dönüşümlerin temelini oluşturarak modern enerji sistemlerinin gelişimine yön vermiştir. Tarihsel süreçte bataryalar öncelikli olarak taşınabilir enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla geliştirilmiş; ancak zamanla elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji sistemleri ve taşınabilir elektronik cihazlar gibi farklı uygulama alanlarında kritik bir bileşen haline gelmiştir.

Batarya teknolojilerinin ilk basamağı, 19. yüzyılın başlarında Alessandro Volta'nın voltaik pili icat etmesiyle atılmıştır. Bu buluş, kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebileceğini göstererek elektrokimyasal enerji depolamanın temelini oluşturmuştur. Ardından, Daniell pili ve kurşun-asit bataryaları gibi erken dönem teknolojiler, özellikle telekomünikasyon ve aydınlatma gibi alanlarda kullanım bulmuştur (Akgundogdu ve Karadeniz, 2017).

20. yüzyılda batarya teknolojilerinde önemli bir sıçrama yaşanmış ve taşınabilir enerji depolama gereksinimleri doğrultusunda nikel-kadmiyum (Ni-Cd) ve nikel-metal hidrit (NiMH) bataryaları geliştirilmiştir. Bu bataryalar, şarj edilebilirlik özelliği ve taşınabilir elektronik cihazlara uyum sağlamasıyla dikkat çekmiştir. Ancak bu dönemin en devrim niteliğindeki gelişmesi, lityum-iyon (Li-ion) bataryaların geliştirilmesidir. 1991 yılında ticari kullanıma sunulan lityum-iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, uzun döngü ömrü ve düşük ağırlıklarıyla enerji depolama teknolojilerinde bir paradigma değişimi yaratmıştır (Agarwal, 2013).

21. yüzyılın başından itibaren, batarya teknolojilerinin evrimi hızlanmış ve yenilikçi yaklaşımlar ön plana çıkmıştır. Lityum-demir-fosfat (LiFePO₄), katı hâl bataryaları, lityum-sülfür (Li-S) ve lityum-hava (Li-Air) gibi yeni nesil bataryalar, enerji yoğunluğunu ve güvenliği artırmak için geliştirilmiştir. Özellikle katı hâl bataryaları, elektrolit sıvısının yerine katı malzemelerin kullanılması sayesinde yanma riskini azaltmakta ve daha kompakt tasarımlar sunmaktadır. Bunun yanı sıra, sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımlar doğrultusunda geri dönüştürülebilir ve çevre dostu batarya malzemelerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Efe ve Güngör, 2021).

Batarya teknolojilerinin evrimi, yalnızca teknik iyileştirmelerle sınırlı kalmayıp, ekonomik ve çevresel hedefler açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, batarya teknolojilerine olan talep artış

göstermiştir. Bu durum, batarya üretim süreçlerinin ölçeklenebilirliğini artırmayı, maliyetleri düşürmeyi ve çevresel etkileri minimize etmeyi gerektiren yeni zorluklar doğurmuştur.

Sonuç olarak, batarya teknolojilerinin evrimi, enerji depolama alanında süregelen inovasyonların bir yansıması olarak değerlendirilmektedir. Gelecekte, enerji yoğunluğunun artırılması, şarj sürelerinin kısaltılması ve sürdürülebilirlik hedeflerine uyum sağlanması, batarya teknolojilerinin gelişiminde öncelikli araştırma alanları arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, batarya teknolojilerinin gelecekteki ilerlemeleri, enerji sistemlerinin daha verimli, çevre dostu ve erişilebilir hale gelmesine önemli katkılar sunacaktır (Durmuş ve Kaymaz, 2020).

1.5 BATARYA TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Kurşun-Asit Bataryalar

İlk olarak 19. yüzyılın sonlarında geliştirilen bu bataryalar, düşük maliyetleri ve güvenilirlikleri nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ancak enerji yoğunluklarının düşük olması, modern uygulamalardaki kullanımını sınırlandırmaktadır.

Nikel-Tabanlı Bataryalar

Nikel-kadmiyum (Ni-Cd) ve nikel-metal hidrit (NiMH) bataryalar, taşınabilir cihazlarda yaygın olarak kullanılan batarya türlerindendir. Yüksek döngü ömrüne sahip olmalarına rağmen, çevresel etkileri ve şarj kapasitesi sınırlamaları nedeniyle daha modern alternatiflerle yer değiştirmektedirler.

Lityum-İyon Bataryalar

1991 yılında ticari olarak kullanılmaya başlanan lityum-iyon bataryalar, günümüzde enerji yoğunluğu, şarj-deşarj verimliliği ve uzun döngü ömrü gibi üstün özellikleriyle öne çıkmaktadır. Bu bataryalar, özellikle elektrikli araçlar ve taşınabilir elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yeni Nesil Bataryalar

Lityum-sülfür (Li-S), lityum-hava (Li-Air) ve katı hâl bataryaları gibi yeni nesil teknolojiler, daha yüksek enerji yoğunluğu ve güvenlik sunmayı amaçlamaktadır. Bu tür bataryalar, henüz

araştırma ve geliştirme aşamasında olmasına rağmen, gelecekte enerji depolama alanında devrim yaratma potansiyeline sahiptir.

Lityum-Demir-Fosfat Bataryalarının Özellikleri

Lityum-demir-fosfat (LiFePO_4), lityum-iyon bataryaların bir alt türü olup, enerji depolama sistemlerinde güvenlik, dayanıklılık ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Kimyasal yapısı ve performans özellikleri, bu batarya türünü özellikle elektrikli araçlar, yenilenebilir enerji sistemleri ve taşınabilir enerji çözümleri için cazip bir seçenek haline getirmektedir (Akgundogdu ve Karadeniz, 2017).

Lityum-demir-fosfat bataryalarının katot malzemesi olarak lityum demir fosfat kullanılmaktadır. Bu malzeme, yüksek termal ve kimyasal kararlılık sergilemektedir. Geleneksel lityum-iyon bataryalarda sıkça görülen termal kaçak riski, Lityum-demir-fosfat bataryalarda oldukça düşüktür. Bu özellik, özellikle yüksek sıcaklık ortamlarında veya zorlu çalışma koşullarında güvenilir bir enerji depolama seçeneği sunmaktadır (Aktaş ve Baygüneş, 2020).

Lityum-demir-fosfat bataryaların enerji yoğunluğu, diğer lityum-iyon batarya türlerine kıyasla (örneğin, Lityum Kobalt Oksit - LiCoO_2) daha düşüktür. Ancak, yüksek deşarj akımı gerektiren uygulamalarda mükemmel güç performansı sunmaktadır. Bu nedenle, hızlı şarj ve deşarj gereksinimi olan uygulamalarda tercih edilmektedir. Lityum-demir-fosfat bataryalar, diğer lityum-iyon bataryalara kıyasla daha uzun bir döngü ömrüne sahiptir. Tipik olarak 2000-4000 arasında döngüye ulaşabilen bu bataryalar, aynı kapasiteyi koruyarak uzun yıllar boyunca çalışabilir. Bu özellik, toplam sahip olma maliyetini düşürerek ekonomik bir avantaj sağlamaktadır (Durmuş ve Kaymaz, 2020).

Lityum-demir-fosfat bataryalar, çevre dostu bir enerji depolama seçeneği sunmaktadır. Demir ve fosfat gibi bol bulunan ve düşük çevresel etkisi olan malzemelerden üretilmektedir. Ayrıca, yüksek güvenlik seviyeleri sayesinde patlama ve yanma riski taşımadığı için taşımacılık ve depolama süreçlerinde daha az kısıtlama gerektirir (Gültek ve Altın, 2022). Lityum-demir-fosfat bataryalar, düşük kendiliğinden deşarj oranı ve geniş bir sıcaklık aralığında kararlı çalışma özellikleri sunmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda çalışabilme kapasitesi, bu bataryaları elektrikli araçlar ve güneş enerjisi gibi uygulamalar için uygun hale getirir. Ayrıca, düşük şarj kesilme voltajı, batarya ömrünü uzatarak daha uzun süreli kullanım sağlamaktadır (Kozak ve Kozak, 2012).

Elektrikli Araçlar: Lityum-demir-fosfat bataryalar, yüksek güvenlik ve uzun ömür gereksinimlerini karşıladığı için elektrikli araçlarda tercih edilmektedir. Özellikle otobüsler ve ticari araçlar gibi yüksek kapasite gerektiren uygulamalarda yaygın kullanıma sahiptir.

Güneş ve rüzgâr enerjisi sistemleri için güvenilir bir enerji depolama çözümü sunar. Yüksek güvenlik ve dayanıklılık gerektiren taşınabilir güç kaynaklarında yaygın olarak kullanılır. Lityum-demir-fosfat bataryalar düşük enerji yoğunluğu dezavantajı bulunsada, bu durum genellikle güvenlik ve ekonomik avantajlar ile telafi edilmektedir. Lityum-demir-fosfat teknolojisi, enerji depolama sistemlerinde yenilikçi ve güvenilir çözümler sunmaya devam etmektedir (Kundakçı, 2016).

Lityum-demir-fosfat bataryalar, güvenlik, uzun ömür ve çevresel sürdürülebilirlik açısından üstün özelliklere sahiptir. Bu nitelikler, bataryayı hem ticari hem de bireysel enerji depolama uygulamaları için ideal bir seçenek haline getirmektedir. Şekil 1.4'te lityum-demir-fosfat batarya örneği verilmiştir:



Şekil 1.4 Lityum-demir-fosfat batarya örneği

Uzun ömürlülük, termal stabilite gibi çeşitli avantajlarla sıklıkla kullanılan lityum-demir fosfat bataryalar genelde prizma ve silindir bir formda üretilmektedir. Yüksek voltaj içerdiği için de güvenlik maksadıyla turuncu veya gri renklerinde dış kaplaması olmaktadır. Güvenlik bakımından ise dış ortam şartlarına uyumlu, sağlam ve yalıtımlı bir kasaya sahiptir (Şekil 1.4).

1.6 ÜST YAPI DÖNÜŞÜMÜNÜN ÖNEMİ VE TEMEL UNSURLARI

Otomotiv üst yapı sektörü, taşıyıcı araç üretimi, araç parçaları, araç üstü ekipmanlar ve iş makineleri üretimi gibi ana faaliyet alanlarına sahiptir. Otomotiv üst yapı sektöründe üretilen başlıca ürünler arasında vidanjör, çöp kamyonu, römork, damper, tanker, frigorifik kasa, transmikser, araç üstü vinç, beton pompası ile yardımcı ekipmanlar ve aksesuarlar yer almaktadır. Özellikle ülkemizde karayolu taşımacılığının artan önemi ve hacmiyle paralel olarak, bu sektörde üretilen ürünlere olan talep de yükselmektedir. Bu durum, sektörde faaliyet gösteren işletmelerin sayısının da giderek arttığını göstermektedir.

Elektrikli araçlarda batarya modüllerinin yerleşimi, aracın ağırlık merkezi, güvenliği ve dayanıklılığı açısından büyük önem taşır. Üst yapı dönüşümünde, bataryaların güvenli bir şekilde monte edilmesi için şasi ve taşıyıcı yapılar yeniden tasarlanabilir. Geleneksel motor sistemleri, elektrikli motorlar ve kontrol üniteleri ile değiştirilebilir. Bu, aracın güç aktarım mekanizmalarının elektrikli sisteme uygun hale getirilmesini gerektirmektedir. Elektrikli araçlarda bataryaların ve elektrik motorlarının boyutları ve ağırlıkları dikkate alınarak şasi ve gövde yapısında değişiklikler yapılabilir. Özellikle ticari araçlarda (otobüsler ve kamyonlar gibi), bataryaların yük taşıma kapasitesine etkisini minimize etmek için yapı değişiklikleri gereklidir. Elektrikli araçların enerji tüketimini azaltmak amacıyla aerodinamik tasarım ön plandadır. Üst yapının şekli, rüzgâr direncini minimize edecek şekilde optimize edilir.

Elektrikli araçlarda bataryaların ve elektrikli motorların ısı yönetimi büyük önem taşır. Üst yapı dönüşümü sırasında soğutma sistemleri, batarya yönetim sistemi (BMS) ile entegre hale getirilir. Elektrikli araçlarda yüksek voltajlı elektrik sistemlerinin güvenli bir şekilde entegre edilmesi gerekir. Bu nedenle kablo demetleri, inverterler ve şarj portlarının konumlandırılması önemlidir.

Ticari araçlar, otobüs, kamyon ve minibüs gibi taşıtlarda yük ve yolcu taşıma ihtiyaçlarına uygun şekilde optimize edilmiş tasarımlar kullanılmaktadır. Binek araçlarda ise performansı artırmak ve menzili uzatmak amacıyla aerodinamik düzenlemeler yapılmaktadır. Ayrıca, ambulans ve itfaiye aracı gibi özel amaçlı taşıtlarda elektrikli sistemlerin entegrasyonu sağlanarak verimlilik ve işlevsellik artırılmaktadır. Üst yapı dönüşümü, elektrikli araç teknolojisinin yaygınlaşmasında önemli bir rol oynar ve hem yeni nesil araç tasarımlarına hem de mevcut araçların modernizasyonuna katkı sağlamaktadır.

1.7 İNSAN VE SERVİS TAŞIMACILIĞI OLARAK ELEKTRONİK ARAÇLAR

Günümüzde elektrikli araçla sadece bireysel kullanım için değil bununla beraber ticari ve toplu taşıma için de önemli bir alternatiftir. Elektronik araçlar gerek insan gerekse servis taşımacılığında çevre dostu ve ekonomik bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde konuyla ilişkili olarak klima, ısıtıcı, USB cihazları ve aydınlatma gibi yardımcı sistemler ve sürdürülebilirlik başlıkları ele alınmıştır.

1.7.1 Elektrikli Araçlarda Yardımcı Sistemler: Klima, Isıtıcı, USB Cihazları ve Aydınlatma

İnsan ve servis taşımacılığı gibi elektronik araçlarda yardımcı sistemler araç konforu ve işlevselliği açısından oldukça önemli unsurlardır. Söz konusu yardımcı sistemler özellikle M2 sınıf servisi ve toplu taşımalarda devamlı çalışmak durumunda olduğu için enerji tüketimi bakımından da önemli değişkenlerdir. Bu sistemler içten yanmalı motorlu araçlarda alternatör üstünden enerji sağlamaktadır. Buna kıyasla elektrikli araçlar ise direkt olarak bataryadan beslendiği için enerji yönetimi daha kritik olmaktadır (Yenigün ve Utlu, 2018).

Yardımcı sistemlerden biri olan klima ve ısıtıcılar, elektrikli araçlarda en çok enerji tüketenlerdendir. Özellikle kışın bataryadan alınan ek güç aracın menzilinı büyük ölçüde düşürebilmektedir. Elektrikli araçlarda ısıtma sistemleri tamamen bataryaya bağlı olduğundan enerji verimliliğini çoğaltmak için etkin termal yönetim sistemleri ve ısı pompaları geliştirilmelidir. Benzer olarak klima sistemleri yazları da bataryaya ek yük vererek menzil kaybını tetiklemektedir (Yenigün ve Utlu, 2018).

Araç içerisinde yer alan USB şarj üniteleri, aydınlatma vb. düşük güçlü donanımlar bataryadan çok enerji çekmemelerine karşın, uzun sürede batarya tüketimi bakımından ciddi fark oluşturabilmektedirler. Servis araçlarındaki yolcuların cihazlarını şarj etmeleri, söz konusu sistemlerin kullanımını çoğaltarak enerji tüketimini de yükseltmektedir (Demirkale ve Güven, 2017).

Elektrikli araçlarda bulunan yardımcı sistemlerin enerji tüketimini minimum seviyede tutmak için optimizasyon yöntemleri geliştirilmesi gerekmektedir. Örnek vermek gerekirse rejeneratif frenleme vb. sistemler araç hareket ederken bataryayı tekrar şarj edip menzil kaybını önleyebilmektedir. Bunun dışında batarya yönetim sistemleri enerji tüketimini gözlemleyerek gereksiz enerji kaybını engelleyecek ayarlamalar gerçekleştirebilmektedir. Yine örnek vermek

gerekirse belli sıcaklık seviyesinde ısıtıcıyı belli bir süre kapatan akıllı sistemler sayesinde batarya tüketimi optimize edilmektedir. Verilen bilgilerden ve örneklerden hareketle yeni nesil tasarruf teknolojisi ve batarya yönetimi elektrikli araçların daha etkin şekilde kullanılmasında kritik role sahiptir (Menak vd. 2021).

1.7.2. Sürdürülebilirlik

İnsan ve servis taşımacılığı olarak elektronik araçların batarya yönetimi ve tasarruf gibi konularla sınırlamak mümkün değildir. Bunun yanında söz konusu araçların çevre dostu ve ekonomik olması da oldukça önemlidir. Günümüzde insanlar doğayı verimli kullanma yolunda giderek sürdürülebilir çizgide ilerlemektedir. Sürdürülebilirlik, son yıllarda giderek yaygınlık kazanır hale gelmiştir. Her alanda olduğu gibi elektronik araçlarda da sürdürülebilirlik hayati öneme sahiptir. Elektronik araçlar sıfır emisyonlu yolculuk hizmeti sunarak karbon ayak izini düşürmekte ve hava kirliliği gibi ciddi çevre sorunlarına çözüm sağlamaktadır (Bediroğlu ve Genç, 2024).

Elektronik araçlar dahilinde sürdürülebilirlik aynı zamanda enerji tüketiminin optimize edilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegrasyonu da oldukça önemlidir. Güneş, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile şarj edilen elektrikli araçlar fosil yakıtlara yönelik mecburiyeti ortadan kaldırıp sürdürülebilir ulaşımı iyileştirmektedir (Bediroğlu ve Genç, 2024).

İnsan ve servis taşımacılığı yapan elektrikli araçlardaki batarya süresi ve geri dönüşüm süreci sürdürülebilirliğin bir diğer önemli boyutudur. Batarya üretimi ve geri dönüşümü, çevresel etkilere dikkat ederek planlanmalıdır. Konuyla ilgili olarak çeşitli gelişmeler bulunmaktadır. Örneği lityum-iyon, bataryaların kullanım süresini çoğaltarak atık miktarını da azaltmaktadır. Bu bağlamda lityum-iyon daha sürdürülebilir bir batarya sistemi oluşturmayı esas almaktadır. Ayrıca kullanım ömrü bitmiş bataryaların ikinci kullanım alanları da giderek önemli bir hal almaktadır. Bataryaların geri dönüştürülmesi ve ham madde kazanılması sürdürülebilirlik için oldukça önemli bir adımdır (Çıkan ve Nacar Çıkan, 2024).

Söz konusu elektronik araçların sürdürülebilirliği şehir içi ulaşımına da yarar sağlamaktadır. Daha açık bir ifadeyle bu araçların sessiz çalışması gürültü kirliliğini önlemekte ve daha konforlu bir şehir hayatı sunmaktadır. Öte yandan düşük işletme maliyeti sayesinde de toplu taşıma hizmetini çok daha ekonomik bir hale getirmektedir. Bu araçların giderek yaygınlık kazanması fosil yakıtlı araçların önünü kesip, karbon salınımını düşürmesi bakımından ciddi

bir dönüşüm sağlamaktadır. Söz konusu gelişmelerin her biri hem ekonomiklik hem de çevresel sürdürülebilirlik bakımından oldukça önemlidir (Kırmızı ve Baykal, 2023).

1.8 ELEKTRİKLİ ARAÇ ÜST YAPI DÖNÜŞÜM İHTİYACINA GÖRE ENERJİ OPTİMİZASYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Elektrikli araçlarda üst yapı dönüşümü var olan sisteme yeni donanım ile yapılarak gerçekleştirilmektedir. Fakat bu üst yapı dönüşüm sürecinde enerji tüketim ve verimliliği oldukça önemli bir parametreye dönüşmektedir. Bu süreçte enerji optimizasyonunu etkileyen birden çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerden ilki araç ağırlığıyla ilişkilidir. Üst yapı dönüşümünde aracın toplam ağırlığında çoğalma görülmektedir. Araç ağırlığının çoğalması ise batarya tüketimini etkilemesi sebebiyle enerji verimliliğini olumsuz etkileyebilmektedir. Söz konusu durumda gerekli müdahaleler yapılmalıdır. Enerji verimliliği için araç üstündeki klima, kayar kapı, aydınlanma gibi eklemelerin enerji tüketim durumları hesaplanarak optimal batarya durumunun tespit edilmesi önemlidir. Bu gibi müdahaleler alınmadığı taktide ise araç menzili azalır bataryanın hem ömrünü hem de verimliliğini olumsuz şekilde etkileyecektir. Dolayısıyla elektrikli araç üst yapı dönüşümünde hafif malzemelerin kullanılması son derece kritik role sahiptir (Menak vd. 2023).

Enerji optimizasyonunu etkileyen bir diğer önemli faktör ise batarya kapasitesiyle ilişkilidir. Üst yapı dönüşümünün başarısı için batarya kapasitesinin yeterli seviyede tutulması şarttır. Okul taşıtları ve M2 sınıfı servisler devamlı yüksek derecede enerji tükettikleri için mevcut bataryalar yetersiz gelmektedir. Bu problemin giderilmesi için ek batarya entegrasyonu, şarj yönetim sistemleri gibi kurtarıcı tekniklerin geliştirilmesi yararlı olacaktır (Eker vd. 2023).

Enerji optimizasyonunu etkileyen faktörleri batarya kapasitesiyle sınırlamak mümkün değildir. Bunun dışında araç içi enerji akışının etkin bir biçimde yönetilmesi de önemli faktördür. Örnek vermek gerekirse rejeneratif frenleme sistemini devreye sokarak frenleme esnasında açığa çıkan enerji tekrar bataryaya kazandırılabilir. Bu durumu bir bakıma geri dönüşüm gibi düşünmek mümkündür. Söz konusu örnekle ve benzerleriyle genel etkinlik yükseltilebilmektedir (Doğan vd. 2016).

Mevcut şart alt yapısının da incelenmesi gerekmektedir. Bu da enerji optimizasyonu ile ilişkili bir faktör olarak ele alınabilmektedir. Üst yapı dönüşümü neticesinde aracın enerji gereksinimi çoğaldığı için şarj süresi ve menzil yönetimi son derece önemlidir. Şarj süresinin fazla olması ticari kullanımda araçların kabiliyetini sınırlaması sebebiyle şart alt yapısının

dönüşüme uyarlanması da şarttır. Yüksek ve hızlı şarj eden batarya kapasitelerinin ve yüksek güçlü şarj istasyonlarının çoğaltılması servis ve lojistik sahalardaki elektronik araçlara ciddi yarar sağlayacaktır (Köksal vd. 2024).

Her alanda olduğu gibi bu alanda da yeni teknolojik yapı oldukça önemli bir faktördür. Elektrikli araçların üst yapı dönüşümünde tercih edilen yazılımsal çözümler de enerji optimizasyonu için önemlidir. Akıllı enerji yönetim yazılımları sayesinde araçların anlık enerji tüketim durumları gözlemlenerek batarya kullanımı daha etkin hale dönüştürülebilmektedir. Bunun dışında enerji tüketiminin anlık takibinde bulut tabanlı izleme sistemleri de tercih edilerek gerektiği zaman sistem optimizasyonları gerçekleştirilebilmektedir. Böylece dönüşüm aşamasında enerji kayıpları minimum seviyede tutularak aracın optimizasyonel etkinliği yükseltilebilmektedir (Doğan ve Narin, 2024).

1.9 ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA MALİYET, MENZİL VE SÜRE DENGESİ

Optimizasyon konusunu da yakından ilgilendiren önemli bir husus ise elektrikli araçlarda öncelikli kriter olan maliyet, menzil ve süredir. Elektrikli araçların giderek armasıyla beraber söz konusu araçların maliyet durumu, menzil ve süre gibi önemli parametreleri dikkat çekmiştir. Bu noktada insanlar için en önemli soru sadece maliyetin mi önemli olduğu yoksa bununla beraber menzil ve sürenin de dikkate alınması gerektiği üzerinedir.

Elektrikli araçlarla geleneksel içten yanmalı motorlu araçlar mukayese edildiğinde elektrikli araçlar elektrikli araçlar maliyet bakımından daha fazla başlangıç masrafına sahiptir. Fakat uzun süreli kullanımda enerji verimliliği, bakım giderleri gibi unsurlara dikkat edildiğinde elektrikli araçlar çok daha avantajlı gözükmemektedir. Elektrikli araçlarda maliyet analizi yapılırken pek çok hususu göz önünde bulundurmamak gerekmektedir. Daha geniş bir ifadeyle sadece araç satın alma bedeliyle sınırlı kalmayıp bunun yanında kullanım ömrü boyu meydana gelecek enerji tasarrufu, batarya değişim maliyeti gibi faktörler de hesaba katılmalıdır. Bir avantaj olarak elektrikli araçlar içten yanmalı motorlu taşıtlara göre daha az enerji tüketimi ve daha az hareketli parça içermektedir. Bu durum ise bakım maliyetlerini düşürür niteliktedir. Bununla beraber servis sektörü ve ticari taşımacılıkta en az maliyet kadar menzil ve şarj süresi de önemli faktörlerdir (Gülbüz ve Kulaksız, 2016).

Özellikle ticari kullanımlarda menzil kritik bir değişken olarak kendini göstermektedir. Elektrikli araçlardaki şarj süresi ve batarya kapasitesi işletmelerin günlük operasyonlarını etkiler niteliktedir. Bu noktada yine içten yanmalı araçlarla bir mukayese yapmak

mümkündür. İçten yanmalı araçlar kısa zamanda yakıt ikmali gerçekleştirerek yoluna devam ederken elektrikli araçlar ise uzun şarj süreleri sebebiyle operasyonel verimlilik bakımında kısıtlamalarla karşılaşabilmektedir. Söz konusu durum ise lojistik sektörü ve servis sektörleri açısından ciddi bir problem teşkil etmektedir (Aksoy vd. 2018).

Elektrikli araçlarda menzili çoğaltma konusunda enerji optimizasyon teknikleri ve ek batarya sistemleri gibi çeşitli girişimleri bulunmaktadır. Fakat hızlı şarj istasyonlarının yeterince yaygınlaşamaması uzun menzil isteyen operasyonlarda halen problem yaratmaktadır. Dolayısıyla ticari araç sahipleri için sadece maliyet değil bununla birlikte menzil ve şarj süresi de son derece önemli unsurlardır. Özetlemek gerekirse elektrikli araçlarda sadece maliyet odaklı olmam tamamen yanlış bir stratejidir. Menzil ve şarj süresi durumu da elektrikli araçlarda en az maliyet kadar kritik role sahiptir (Durmuş ve Kaymaz, 2020).

1.10 TÜRKİYE’DE OTOMOTİV ÜST YAPI ÜRETİMİ

Son yıllarda Türkiye’de otomotiv üst yapı sektörü, özellikle ülkenin ekonomik büyümesi ve artan yurtdışı pazar payı ile önemli bir konum kazanmıştır. ARÜSDER’den alınan 2009 ve 2010 yıllarına ait üretim, ithalat ve ihracat verileri incelendiğinde, 2009 yılında küresel kriz nedeniyle sektörün duraklama dönemine girdiği, ancak 2010 yılı itibarıyla yeniden canlanmaya başladığı gözlemlenmektedir. 2009 yılı itibarıyla otomotiv üst yapı sektöründe gerçekleştirilen ithalat ve ihracat verileri, sektörün krizden etkilenmesine rağmen iyileşme eğilimine girdiğini göstermektedir.

Bu çalışma, N2 sınıfı elektrikli panelvan araçların M2 sınıfı servis ve okul araçlarına dönüşüm sürecinde ortaya çıkan enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla ek batarya yönetim sisteminin entegrasyonunu ele almaktadır. Çalışmanın temel hedefi, ek batarya sisteminin doğru tasarımı ve entegrasyonu sayesinde elektrikli araçların taşıma kapasitesini ve menzil performansını artırarak enerji verimliliğini optimize etmektir. Bu kapsamda, 48V 5.4 kWh kapasiteli bir batarya ve 3.5 kW gücünde bir On-Board Charger (OBC) sisteminin entegrasyonu gerçekleştirilmiş, batarya konumlandırması ve şarj altyapısı detaylı bir şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca, içten yanmalı bir araçtan elde edilen reel ölçüm verileriyle, üst yapı dönüşümü yapılan elektrikli aracın enerji verimliliği açısından sağladığı avantajlar ortaya konmuştur. Bu çalışma, elektrikli araçların sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım çözümlerine adaptasyonuna katkı sağlamayı amaçlamakta olup, özellikle servis ve okul araçlarının enerji verimliliğini artırmaya yönelik gelecekteki araştırmalara önemli bir referans teşkil etmektedir.

BÖLÜM 2

Bu bölümde elektrikli araçta kullanılan batarya yönetim sistemleri ile genel bilgiler verilerek batarya yönetim sistemi tasarımında kritik parametreler ile ilgili bilgiler verilmiştir. N2 ve M2 sınıfı araçlar hakkında bilgiler verilmiş ve farkları vurgulanmıştır. Üst yapı dönüşümünün sağlanabilmesi için öncelikle tasarlanan batarya yönetim sisteminin simülasyonu yapılmış ve simülasyon sonuçları, sistem diyagramı ve tasarlanan sistemin bileşenleri açıklanmıştır.

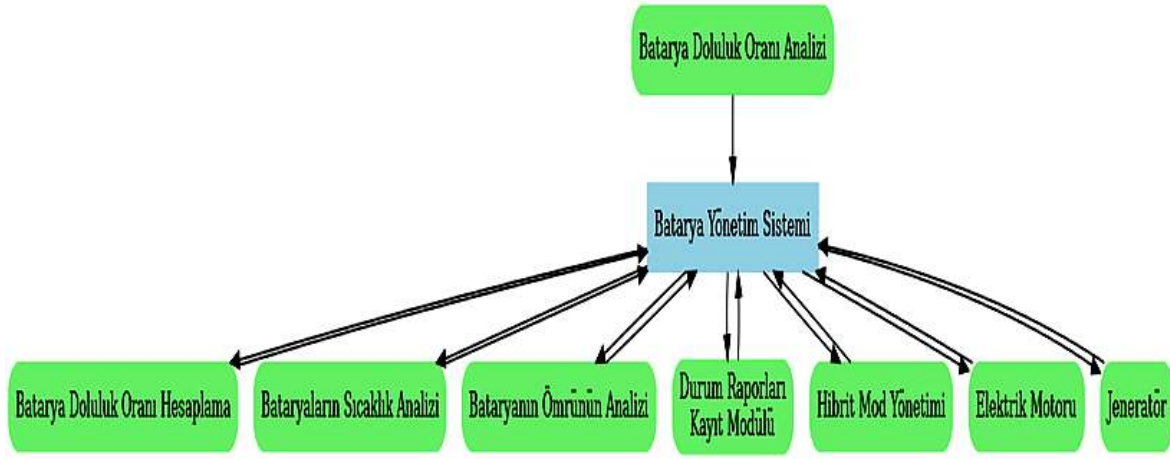
ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS)

Günümüzde pil teknolojileri, en basit elektronik cihazlardan elektrikli araç teknolojilerine kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Elektrikli araçlarda kullanılan batarya paketleri, genellikle seri ve paralel bağlanmış hücrelerden oluşur. Bu bağlantılar, bataryanın akım, gerilim ve kapasite değerlerini belirler. Seri ve paralel hücrelerin bir arada ve uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlayan Batarya Yönetim Sistemi (BYS), elektrikli araç teknolojilerinde kritik bir rol oynamaktadır (Gültek ve Altın, 2022).

Batarya yönetim sistemleri, hesaplama, veri izleme ve koruma olmak üzere üç temel işlevi yerine getirmektedir. Akım, gerilim ve sıcaklık gibi parametrelerin anlık izlenmesi, BYS'nin veri izleme algoritmalarıyla sağlanmaktadır. Bu parametreler sürekli değişir ve BYS, bu değişimlere göre pilin sağlık durumu, doluluk oranı, maksimum ve minimum şarj/deşarj akımı, voltaj sınırları, çalışma süresi ve döngü sayısı gibi kritik verileri hesaplamaktadır. Hesaplanan bu değerler, sistemin koruma mekanizması tarafından değerlendirilir ve yüksek akım, voltaj dalgalanmaları, kaçak akım veya aşırı sıcaklık gibi tehlikeler engellenmektedir (Gültek ve Altın, 2022).

Batarya yönetim sistemlerinin önemli bir işlevi, pil doluluk oranını belirleyerek hücrelerin şarj vedeşarj sırasında dengede kalmasını sağlamaktır (Şekil 2.1). Bu dengeleme süreci, tezin ilerleyen bölümlerinde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır. Ayrıca, yapılan batarya yönetim sistemi simülasyonlarında, bataryaların anlık izlenmesi ve kritik parametrelerin doğru şekilde

elde edilmesi sağlanarak sistemin verimli bir şekilde çalışması temin edilmektedir. Şekil 2.1’de batarya yönetim akış diyagramı verilmiştir:



2.1. BATARYA YÖNETİM SİSTEMLERİ İÇİN KRİTİK PARAMETRELER

Batarya yönetim sistemlerinde (BYS) pil durumunun izlenmesi, doğrudan pil üzerinden ölçüm yapılamadığından dolayı oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle, doğru bir pil modeli oluşturularak bu model üzerinden ölçümler gerçekleştirilir. Literatürde, pil modelleme için kullanılan farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler; analitik (deneysel), istatistiksel, elektrokimyasal ve elektriksel devre modelleri olarak sınıflandırılabilir. BYS açısından kritik öneme sahip parametreler arasında pil doluluk oranı (SOC), pil sağlık durumu (SOH) ve pil sıcaklık durumu (SOT) yer almaktadır. Bu bölümde özellikle bu parametrelerin detayları ele alınmıştır (Kılıc, 2019).

2.1.1 Pil Doluluk Oranı (SOC)

Pil doluluk oranı, batarya yönetim sistemlerinin en temel parametrelerinden biridir ve pilin mevcut kapasitesini ifade etmektedir. Bir BYS’nin performansını artırması ve pil ömrünü uzatması, pilin doluluk değerini hassas bir şekilde tahmin edebilmesine bağlıdır. Pilin doluluk oranının izlenmesi ve kontrol edilmesi, şarj ve deşarj süreçlerinin doğru bir şekilde

yönetilmesini sağlar. Bu nedenle bir BYS, hem izleme hem de kontrol görevlerini entegre bir şekilde yerine getirmelidir.

İdeal bir BYS, pilin fazla şarj olmasını, aşırı deşarj edilmesini ya da gereksiz güç tüketimini önleyerek bataryanın güvenli ve verimli çalışmasını sağlamaktadır. Pil doluluk oranı, bataryanın nominal kapasitesi cinsinden ifade edilen mevcut kapasitesini temsil etmektedir. Ancak pil doluluk oranının doğrudan ölçülebileceği bir yöntem bulunmamaktadır. Pil doluluk oranı bataryanın gerilim, sıcaklık ve diğer kimyasal ya da fiziksel özelliklerinin analiz edilmesiyle dolaylı olarak hesaplanmaktadır (Aktaş ve Baygüneş, 2020).

Pil doluluk oranının doğru bir şekilde izlenmesi, bataryanın doluluk oranı minimum seviyeye indiğinde aşırı deşarjı önlerken, maksimum doluluk oranına ulaşıldığında ekstra şarjı engellemektedir. Bu, bataryanın hem güvenli bir şekilde çalışmasını hem de uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, Pil doluluk oranı tahmini için gerilim, akım ve sıcaklık parametreleri temel alınarak bir modelleme yöntemi kullanılmıştır.

2.1.2 Hücre Dengesizliği ve Yönetimi

Batarya paketlerinde kullanılan hücreler genellikle seri, paralel veya seri-paralel kombinasyonlarında bağlanmaktadır. Ancak, farklı kimyasal özelliklere sahip hücreler ya da farklı sayılardaki hücrelerin bir arada kullanılması durumunda voltaj dengesizlikleri oluşabilir. Bu dengesizlikler, bataryanın tam kapasitesini kullanmasını engelleyerek kapasite kayıplarına neden olabilir. Örneğin, bir hücrenin tamamen şarj olduğu tespit edildiğinde, diğer hücreler kısmen şarj edilmiş olsa bile şarj işlemi durdurulmalıdır. Bu da hücreler arasında dengesizliğe yol açmaktadır (Kaymaz ve Hançar, 2021).

Hücrelerin yaşlanmasıyla birlikte, ilk üretildikleri kapasiteyi koruma yetenekleri azalır. Bu durum, %100 pil doluluk oranına sahip bir hücrenin bile eskisi kadar şarj tutma kapasitesine sahip olmamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, gerçeğe en yakın pil doluluk oranı tahmini, bataryanın mevcut enerji durumunu doğru bir şekilde yansıtmalı ve sistemin ihtiyaç duyduğu gücü karşılayabilmelidir (Akgundogdu ve Karadeniz, 2017).

2.1.3 Pil Sıcaklığının Etkisi

Bir pilin şarj ve deşarj sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar, sıcaklık artışına neden olmaktadır. Bu sıcaklık artışı, pilin mevcut kapasitesini etkileyebileceği gibi, aşırı durumlarda

hücreye zarar verebilmektedir. Bu nedenle BYS, pil sıcaklığını sürekli olarak izlemeli ve gerekirse sıcaklık kontrol mekanizmalarını devreye sokmalıdır (Aktaş ve Baygüneş, 2020).

2.1.4 Pil Sağlık Durumu (SOH)

Pil sağlık durumu (SOH), pillerin şarj ve deşarj süreçlerindeki güvenlik, dayanıklılık ve performansını değerlendiren kritik bir parametredir. Pilin sağlık durumu, aynı zamanda yaşlanmanın bir göstergesi olarak kullanılır ve bu durum, pilin ne zaman değiştirilmesi gerektiği ya da elektrikli araçlarda sağlanan menzil gibi önemli unsurların hesaplanmasında belirleyici rol oynamaktadır. Pil sağlık durumu, pil tasarımı sırasında belirlenen teknik parametrelerle ilişkilidir ve pilin kullanım ömrünü tanımlamaktadır. Pilin kapasite kaybı veya iç direnç artışı gibi faktörler, pil sağlık durumunun değerlendirilmesinde dikkate alınmaktadır (Kaymaz ve Hançar, 2021).

Pil doluluk oranı parametresinin aksine, pil sağlık durumunun kesin bir tanımı konusunda henüz tam bir uzlaşa sağlanamamıştır. Bu nedenle, pil sağlık durumu değerlendirmesi üzerine farklı araştırmalar devam etmektedir. Endüstriyel uygulamalarda, pil sağlık durumu genellikle pil kimyası üzerine yapılan analizlerle tahmin edilmektedir. Ancak, bu değerlendirmelerde tarihsel verilerin doğruluğu sınırlı olduğundan, pillerin güvenliğini sağlamak adına daha dikkatli ve muhafazakâr bir kullanım stratejisi uygulanmaktadır (Akgundogdu ve Karadeniz, 2017).

Pil sağlık durumu, pilin başlangıçtaki performans koşullarıyla karşılaştırıldığında, enerji depolama kapasitesini ne ölçüde koruyabildiğini göstermektedir. Bu tahmin, pillerin daha güvenli ve etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak için son derece önemlidir. Pilin mevcut sağlık durumu genellikle yüzdelik olarak ifade edilir; %100 oranı yeni bir pil anlamına gelirken, bu oran %80'in altına düştüğünde pilin elektrikli araçlarda kullanımı artık uygun görülmez ve değiştirilmesi gerekebilir.

Pil sağlık durumu değerlendirmesi, genellikle pilin kapasitesindeki azalma ya da iç direnç artışına dayanmaktadır. Pil kapasitesinin azalması ve performansındaki düşüş, tek bir nedene bağlı değildir; bu durum, pildeki pozitif veya negatif elektrotlarda meydana gelen çeşitli kimyasal süreçler ve bu süreçlerin etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır. Pil sağlık durumunun doğru bir şekilde tespiti, pilin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır.

2.1.5 Pil Sıcaklık Durumu (SOT)

Pilin fizikokimyasal özellikleri, sıcaklık değişimlerine doğrudan bağlıdır ve sıcaklık, pilin performansı, ömrü ve güvenilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Sıcaklık değiştikçe, pildeki kimyasal bileşimler ve iç reaksiyonların hızları farklı oranlarda değişim gösterebilir. Örneğin, düşük sıcaklıklarda kimyasal reaksiyonlar yavaşlar ve pil uyku moduna benzer bir duruma geçer. Bu durum, kapasite kayıplarına ve pilin iç direncinin artmasına neden olabilir. Diğer taraftan, yüksek sıcaklıklar kimyasal reaksiyonların hızlanmasına yol açarak pilin daha hızlı boşalmasına sebep olabilir (Turğut, 2008).

Sağlıklı bir pil sisteminin temel koşulu, her bir hücrenin uygun bir çalışma sıcaklığında tutulmasıdır. Çünkü akım, voltaj, pil doluluk oranı ve pil sağlık durumu gibi kritik parametreler sıcaklıktan büyük ölçüde etkilenir. Özellikle şarj ve deşarj sırasında bir hücrede meydana gelen yüksek sıcaklık artışı, pilin güvenilirliğini ve ömrünü olumsuz etkileyebilir ve ciddi durumlarda termal kaçak (alevlenme) gibi tehlikelere neden olabilir. Yüksek güç gerektiren uygulamalarda, pillerin sıcaklıkları artacağından, bu tür durumlar için etkili bir termal yönetim sistemi gereklidir (Gültek ve Altın, 2022).

BYS'nin (Batarya yönetim sistemi) termal yönetim fonksiyonu, şarj ve deşarj süreçlerinde hücrelerde oluşan termal dağılımı izlemeyi ve sıcaklığı kontrol altında tutmayı amaçlamaktadır. Termal yönetim sistemleri, pilin sıcaklık verilerini toplar, BYS ana kontrol birimi bu verileri analiz eder ve sonuçlara göre soğutma ya da ısıtma elemanlarına kontrol sinyalleri göndermektedir. Ancak mevcut sıcaklık ölçüm cihazları genellikle pil hücrelerinin dış yüzeylerine monte edilir ve hücrelerin iç sıcaklıklarını doğrudan takip edemez. Bu durum, sıcaklık kontrolünde gecikmelere neden olabilir (Akgundogdu ve Karadeniz, 2017).

Pil içindeki termal dağılımın gerçek zamanlı olarak gözlemlenmesi, BYS'nin termal yönetim süreçlerini büyük ölçüde basitleştirebilir ve etkinliğini artırabilir. Bu bağlamda, termal yönetim, pillerin güvenli, verimli ve uzun ömürlü çalışmasını sağlamak için BYS'nin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

2.2 EK BATARYA YÖNETİM SİSTEMİNİN SİMÜLASYONU VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında N2 sınıfı bir elektrikli aracın, M2 sınıf bir araca dönüştürülmesi için gerekli olan ek batarya yönetim sisteminin tasarımı, simülasyonu yapılmış daha sonrasında sistem gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında var olan enerjinin en verimli şekilde kullanılması hedeflenmiştir. Var olan elektrik enerjisinin en verimli şekilde kullanılması hedeflenmiştir. Var olan enerjinin en verimli şekilde kullanıldığını gösterebilmek için içten yanmalı bir araçtan reel değerler alınarak kıyaslama yapılmıştır (Yıldırım, 2025).

2.2.1 N2 Sınıfı Ve M2 Sınıfı Araçlar

Avrupa Birliği araç sınıflandırma sistemi, araçları teknik özellikleri ve kullanım amaçlarına göre farklı kategorilere ayırmaktadır. Bu sınıflandırma, araçların tasarımı, taşıma kapasitesi ve kullanım alanlarına ilişkin belirli standartları tanımlamaktadır. Bu bağlamda N2 ve M2 sınıfı araçlar, yük ve yolcu taşımacılığına yönelik özel özelliklere sahip araç türlerini ifade etmektedir.

2.2.2 N2 Sınıfı Araçlar

N2 sınıfı araçlar, yük taşımacılığı amacıyla tasarlanmış ve azami yüklü ağırlığı 3.5 ton ile 12 ton arasında olan motorlu taşıtlardır. Bu araçlar, genellikle orta büyüklükteki kamyonları ve ticari yük taşıma araçlarını kapsamaktadır. N2 araçları, lojistik, inşaat ve malzeme taşımacılığı gibi sektörlerde sıklıkla tercih edilmektedir. N2 sınıfı araçların öne çıkan özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

N2 sınıfı araçların taşıdığı yük 3.5 tondan fazla ve 12 tondan az olmalıdır. Ticari yük taşımacılığına uygun kasa veya platform yapısına sahip olması yer almaktadır. Bu sınıf araçlar, şehir içi lojistik hizmetlerinde, hafif inşaat ekipmanlarının taşınmasında ve orta mesafeli taşımacılık görevlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

2.2.3 M2 Sınıfı Araçlar

M2 sınıfı araçlar, yolcu taşımacılığına yönelik tasarlanmış, sürücü dahil 8 kişilik kapasitenin üzerinde yolcu taşıma yeteneğine sahip ve azami yüklü ağırlığı 5 tonu geçmeyen motorlu taşıtlardır. Bu araçlar, özellikle şehir içi toplu taşıma, okul servisleri ve personel taşımacılığı

gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürücü hariç 8 kişiden fazla yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Azami olarak taşıdıkları yük 5 tondan az olmalıdır. Şehir içi ve kısa mesafeli toplu taşıma çözümleri sunmaktadır. Bu araçlar, genellikle minibüs veya küçük otobüs formunda tasarlanır ve toplu taşımada önemli bir rol oynamaktadır.

2.2.4 N2 ve M2 Sınıfları Arasındaki Farklar

N2 ve M2 sınıfı araçlar, taşıma amaçları ve teknik özellikleri bakımından farklılık göstermektedir. N2 sınıfı araçlar yük taşımacılığı için tasarlanırken, M2 sınıfı araçlar yolcu taşımacılığı için kullanılmaktadır. Bu sınıflandırma, araçların kullanım alanlarına uygun şekilde düzenlenmesini ve ilgili yasal mevzuatların uygulanmasını kolaylaştırmaktadır.

N2 ve M2 sınıfı araçlar, ticari taşıma sektöründe önemli bir yer tutmaktadır. N2 sınıfı araçlar, yük taşımacılığına yönelik çözümler sunarken, M2 sınıfı araçlar yolcu taşımacılığında kullanılmaktadır (Çizelge 2.1). Bu sınıflar, taşıma sektörünün farklı ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla geliştirilmiş ve düzenlenmiş araç kategorilerini temsil etmektedir. Araçların bu şekilde sınıflandırılması, sektörel standartların belirlenmesi ve yasal düzenlemelerin uygulanmasında etkin bir temel oluşturmaktadır.

N2 ve M2 sınıfı araçları özellik, kullanım amacı, ağırlık sınırı, yolcu kapasitesi gibi faktörlerle birbirinden ayrılmaktadır. Bu farklılıklar çizelge 2.1’de belirtilmektedir:

Çizelge 2.1 N2 ve M2 sınıfı araçlar arasındaki farklar

Ozellik	N2 Sınıfı	M2 Sınıfı
Kullanım Amacı	Yük taşımacılığı	Yolcu taşımacılığı
Ağırlık Sınırı	3.5 ton ile 12 ton arasında	5 tondan az
Yolcu Kapasitesi	Yolcu taşımaya yönelik değildir	Sürücü dahil 8 kişiden fazla
Tipik Örnekler	Orta boy kamyonlar	Minibüsler, küçük otobüsler

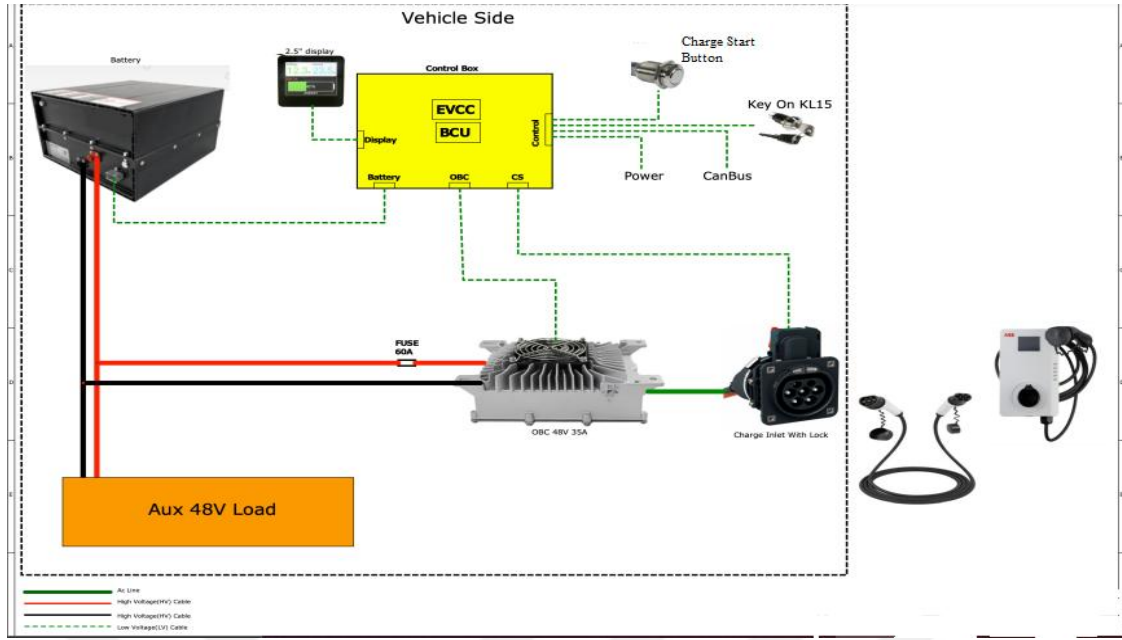
2.3 N2 SINIFI ELEKTRİKLİ ARACIN M2 SINIFI ELEKTRİKLİ ARACA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ VE EK BATARYA SİSTEMİNİN ÖNEMİ

Elektrikli N2 sınıfı panelvan araçların elektrikli M2 sınıfı servis ve okul araçlarına dönüştürülmesi, mevcut yüksek voltajlı bataryaların yeterli enerji çıkışı sunmaması nedeniyle yapılamamaktadır. M2 sınıfı araçlarda, klima, ısıtıcı, elektrikli basamak, kayar kapı, USB cihazları, aydınlatma gibi gerekli sistemlerin çalışabilmesi için ek enerji gereklidir. Bu dönüşüm, aracın üzerine entegre edilecek ilave bir batarya ve şarj kontrol sistemi ile mümkün hale gelmektedir (Yıldırım, 2025).

Bu entegrasyon, elektrikli araçların batarya altyapısını güçlendirerek, gerekli sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca, batarya türü, şarj altyapısı, CAN Bus haberleşmesi ve yerleşik şarj ünitesi (OBC) sistemleri de bu dönüşüm sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Yerleşik şarj ünitesi (OBC), elektrikli araçların bataryasını şarj etmek için araç üzerinde bulunan bir cihazdır. Alternatif akım elektrik enerjisini alıp, uygun doğru akım (DC) voltaja dönüştürerek bataryanın şarj edilebilmesini sağlamaktadır. CAN Bus ise araç içindeki bileşenler arasında veri iletimini sağlayarak enerji yönetimini koordine eder. Bu sistem, aracın şarj altyapısının daha verimli bir şekilde çalışması için kullanılmaktadır. Bu sistemlerin doğru tasarımı ve entegrasyonu sayesinde, N2 sınıfı elektrikli panelvan araçlar M2 sınıfı servis ve okul araçlarına dönüştürülebilir (Alao, 2017).

Bu entegrasyon, elektrikli araçların üst yapı dönüşümünü sağlayarak, çevre dostu ve enerji verimli ulaşım çözümlerinin yaygınlaşmasına katkı sunmaktadır. Özellikle okul ve servis araçlarında, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik sağlamayı amaçlayan bu dönüşüm gelecekte daha sürdürülebilir ulaşım çözümleri sunacaktır (Yıldırım, 2025).

Ticari ve toplu taşıma araçlarında ek batarya yönetim sistemi, yüksek kapasiteli enerji depolama gereksinimini gidermektedir. Ek batarya yönetim sistemi, birden çok bataryanın aynı anda yönetilmesini sağlar ve güç dağılımını optimize etmektedir. Elektrikli araçların etkinliği ve güvenliği için önemli olan ek batarya yönetim sistemini şekil 2.2’de verilmiştir:



Şekil 2.2 Ek batarya yönetim sistemi

Ek batarya yönetim sistemi araca dâhil olan ilave bataryanın 380V alternatif akım elektrik enerjisiyle şarj olabildiğini hedeflemektedir. Şekil içerisinde yer alan kontrol kutusu şarj istasyonundan gelen enerjinin araç içerisinde kontrollü bir şekilde iletilmesini sağlamaktadır. Kontrol kutusu yerleşik şarj ünitesi için gerekli olan şarj başlangıç butonu ile şarj istasyonundan gelen enerjinin yerleşik şarj ünitesi ile bataryanın şarj olmasını sağlamaktadır. Kontrol kutusu yerleşik şarj ünitesi batarya ve gösterge paneli arasında CAN Bus haberleşme sistemi ile haberleşmeyi sağlamaktadır. Kontrol kutusu şarj işlemini başlatması ile birlikte bataryadan gelen voltaj akım pil doluluk ve pil sağlık durumlarını değerlendirerek şarjı durdurma işlemine de sahiptir. Aynı zamanda kontrol kutusu bataryadan gelen güç bilgileri gösterge paneli ünitesinden sürücüye paylaşmaktadır (Şekil 2.2).

2.4. SİSTEM BİLEŞENLERİ

2.4.1 Batarya İç Yapısı

Elektrikli araç teknolojisinde de kullanılan bir pil çeşidi olan lityum-demir-fosfat pil çeşidini üst yapı dönüşümü yapılacak olan araç üzerinde kullanılacaktır. Lityum-demir-fosfat pil çeşidini seçme sebebimizden bahsedecek olursak daha uzun ömürlü, daha yüksek yoğunluğa sahip, hızlı şarj olan ve diğer türlere göre daha hafif olmasından dolayı lityum-demir-fosfat pil çeşidini seçmiş bulunmaktayız. Ayrıca patlama durumlarında insan sağlığı için risk teşkil etmemektedir.

Seçilen pil paketi özellikleri aşağıdaki gibidir:

- Kapasite: 5.4 kWh
- Voltaj: 51,2 Vdc
- Enerji: 105 Ah
- Yapı Tipi 1P16S Hücre Tipi: LFP 105Ah
- Ağırlık: 48 kg
- ller: 391(en)x400(boy)x244(Yükseklik) mm

2.4.2 Can

CAN (Controller Area Network) sistemi, modern araçlarda kullanılan bir iletişim protokolüdür ve araç içindeki elektronik kontrol nitelerinin (ECU'lar) birbiriyle hızlı ve güvenilir bir şekilde iletişim kurmasını sağlamaktadır. İlk olarak 1980'li yıllarda Bosch tarafından geliştirilmiş olan CAN, araçlardaki karmaşık elektrik-elektronik sistemlerin etkin bir şekilde yönetilmesini hedefler. Günümüzde, hem binek araçlarda hem de ticari araçlarda vazgeçilmez bir standart haline gelmiştir.

CAN, araç içinde merkezi bir aė oluşturarak, elektronik kontrol üniteleri arasında veri paylaşımını sağlamaktadır. Geleneksel sistemlerde her bir cihazın ayrı bir bağlantı kablosu üzerinden iletişim kurması gerekirken, CAN tek bir veri yolu üzerinden bu iletişimi gerçekleştirir. Bu yapı, kablo karmaşasını azaltırken aynı zamanda sistem maliyetini ve ağırlığını düşürmektedir.

CAN, iki ana kablodan oluşan bir veri hattı kullanır: CAN H (yüksek veri hattı) ve CAN L (düşük veri hattı). Bu kablolar, bir diferansiyel sinyal yöntemi ile iletişimi sağlar ve elektromanyetik parazitlere karşı dayanıklılık sunmaktadır. CAN üzerinden iletilen bilgiler, belirli bir veri erevesi formatında gönderilir. Her ereve, mesaj kimliği, veri uzunluğu ve veri yükü gibi alanları içermektedir. Aynı anda birden fazla Elektronik kontrol ünitelerinin veri göndermek istemesi durumunda, CAN bir öncelik sıralaması yapar ve yüksek öncelikli mesajların iletimini sağlamaktadır. CAN, iletişim sırasında oluşabilecek hataları otomatik olarak algılamakta ve düzeltmektedir. Bu zellik, sistemin güvenilirliğini artırmaktadır. (Lokman vd. 2019).

2.4.3 CAN Sisteminin Araçlardaki Uygulamaları

- CAN sistemi, araç içinde farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır:
- Motor, şanzıman ve diğer aktarma organlarının verimli bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır.
- Kilitlenme karşıtı fren sistemi, elektronik denge programı ve hava yastıkları gibi kritik güvenlik sistemlerinin verilerini paylaşmaktadır.
- Araç içi eğlence, navigasyon ve klima sistemlerini kontrol etmektedir.
- Gösterge paneli ile elektronik kontrol üniteleri arasındaki iletişimi sağlar, sürücüye araç durumu hakkında bilgi sunmaktadır.

CAN Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları

CAN sistemi, araç içi iletişimde sağladığı avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Azaltılmış Kablo Maliyeti ve Ağırlık: Geleneksel sistemlere kıyasla daha az kablo kullanılır, bu da maliyet ve ağırlık tasarrufu sağlamaktadır.
- Yüksek veri iletim hızı sayesinde sistemlerin eşzamanlı çalışmasını mümkün kılmaktadır.
- Diferansiyel sinyal yöntemi, harici parazitlere karşı sistemin güvenliğini artırmaktadır.
- Yeni modüllerin sisteme kolayca eklenmesine olanak tanımaktadır.

Dezavantajlar ise aşağıdaki gibidir:

- Yüksek veri yoğunluğuna sahip sistemlerde, veri yolu kapasitesi sınıra ulaşabilmektedir.
- Veri yolundaki bir arıza, tüm sistemi etkileyebilmektedir.
- Sistem tasarımı ve entegrasyonu, uzmanlık gerektirmektedir.

Otomotiv teknolojilerinin gelişimiyle birlikte, CAN sistemleri de daha gelişmiş iletişim protokolleri ile desteklenmektedir. Örneğin, CAN FD (Flexible Data-Rate), veri iletim hızını artırarak daha karmaşık sistemlere uyum sağlar. Ayrıca, otonom sürüş ve araç-arac iletişimi gibi yeni teknolojilerle CAN sistemleri, modern araçlarda daha fazla görev üstlenmeye başlamaktadır.

2.4.4 Yerleşik Şarj Ünitesi (OBC)

Elektrikli araçlarda (EV) yerleşik şarj ünitesi (OBC), bataryaların şebekeden gelen alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) dönüştürerek şarj edilmesini sağlayan önemli bir güç elektroniği cihazıdır. Bu sistem, elektrikli araçların şebekeye doğrudan bağlanarak enerji almasını mümkün kılmaktadır. Yerleşik şarj ünitesinin temel işlevi, enerji dönüşümünü yüksek verimlilikle gerçekleştirirken bataryanın güvenliğini, ömrünü ve performansını korumaktır. Araçların elektrik altyapısıyla entegre çalışmasını sağlayan yerleşik şarj ünitesi elektrikli mobilitenin yaygınlaşmasında kilit bir bileşen olarak öne çıkmaktadır (Alao, 2017).

Yerleşik şarj ünitesi, elektrik şebekesinden alınan alternatif akımını, doğrultucu devreler ve diğer güç elektroniği bileşenleri yardımıyla doğru akıma dönüştürür. Bu süreçte doğrultucu devre, alternatif şebeke akımını doğru akıma çevirirken, DC-DC dönüştürücü bataryanın ihtiyaç duyduğu doğru akım seviyesini düzenlemektedir. Kontrol sistemi ise bu dönüşüm sürecini optimize ederek bataryanın aşırı şarj, yüksek gerilim veya sıcaklık gibi olumsuz durumlara karşı korunmasını sağlamaktadır. Böylece hem enerji transferi verimli bir şekilde gerçekleştirilir hem de batarya güvenliği üst düzeyde tutulmaktadır.

Yerleşik şarj ünitelerin tasarımında dikkate alınması gereken çeşitli teknik özellikler bulunmaktadır. Güç kapasitesi, genellikle 3.3 kW ile 22 kW arasında değişir ve daha yüksek güç kapasitesine sahip modeller bataryayı daha hızlı şarj edebilmektedir. Şarj standartlarına uygunluk, uluslararası düzeyde IEC 61851 ve SAE J1772 gibi standartlarla uyumlu olarak geliştirilmesi gereken önemli bir tasarım kriteridir. Bunun yanı sıra, enerji kayıplarını minimuma indiren yüksek verimli tasarımlar tercih edilirken, kompakt ve hafif yapılar araç içi kullanım için büyük avantaj sağlamaktadır. Yüksek güç yoğunlukları nedeniyle, Yerleşik şarj ünitelerin ısı yönetimi kritik bir öneme sahiptir ve bu süreçte etkili bir soğutma mekanizması uygulanmalıdır (Alao, 2017).

Yerleşik şarj üniteleri elektrikli araç kullanıcılarına sağladığı çeşitli avantajlar ile öne çıkmaktadır. Şebekeye doğrudan bağlanarak herhangi bir harici cihaz gerektirmeden şarj olanağı sunar. Bu özellik, kullanıcıların harici şarj istasyonlarına olan bağımlılığını azaltarak maliyet verimliliği sağlamaktadır. Aynı zamanda, bataryanın güvenliğini sağlayarak aşırı şarj, gerilim dalgalanmaları ve yüksek sıcaklık gibi risklere karşı koruma sağlamaktadır. Dış katmanı genelde hafif ve ısı dağılımını optimize eden malzemeyle yapılmış şarj ünitesi,

bataryaların etkin ve güvenli olarak şarj edilmesini desteklemektedir (Şekil 2.3). Bu işlevsellik, hem kullanıcı deneyimini hem de araç güvenliğini önemli ölçüde iyileştirmektedir.

Bununla birlikte, yerleşik şarj üretimi tasarımı ve üretimi sırasında bazı zorluklarla karşılaşılabilir. Daha küçük boyutlarda yüksek performanslı cihazlar geliştirmek, mühendislik açısından önemli bir zorluktur. Özellikle yüksek güç uygulamalarında ortaya çıkan ısıнын etkin bir şekilde yönetilmesi, sistemin dayanıklılığı ve güvenilirliği açısından büyük önem taşır. Ayrıca, farklı ülkelerin şebeke sistemleri ve enerji altyapısı ile uyumlu tasarımlar yapmak, uluslararası pazarda başarılı bir ürün sunabilmek için gereklidir.

Yerleşik şarj ünitesi teknolojisi, enerji yoğunluğunu artırmak, üretim maliyetlerini düşürmek ve kullanıcı deneyimini iyileştirmek amacıyla sürekli gelişmektedir. Kablosuz şarj sistemleri, çift yönlü şarj (V2G) teknolojisi ve silikon karbür (SiC) gibi yeni nesil yarı iletken malzemelerin kullanımı, OBC tasarımında ön plana çıkan yenilikçi yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Bu gelişmeler, yerleşik şarj ünitesinin gelecekte daha verimli, kompakt ve kullanıcı dostu bir yapıya kavuşmasını sağlamaktadır. Elektrikli araçlar için kritik bir bileşen olan yerleşik şarj ünitesi, yalnızca araç teknolojisinin değil, aynı zamanda elektrikli ulaşım altyapısının dönüşümünde de kilit bir rol üstlenmektedir (Inamdar vd. 2019). Elektrikli araçlar için oldukça verimli ve önemli olan araç içi şarj ünitesinin yapısı Şekil 2.3'te verilmiştir:



Şekil 2.3 Araç içi şarj ünitesi yapısı

2.4.5 Araç Kontrol Ünitesi (VCU)

Elektrikli ve hibrit araçların kalbinde yer alan araç kontrol ünitesi (VCU), modern otomotiv teknolojisinin en karmaşık ve stratejik bileşenlerinden biridir. Araç kontrol ünitesi, aracın güç aktarma sisteminden enerji yönetimine, sürüş dinamiklerinden güvenlik protokollerine kadar tüm sistemleri bir araya getiren merkezi bir yönetim birimidir. Elektrikli araçlar, karmaşık ve

entegre bir yapıya sahiptir; bu nedenle araç kontrol ünitesi, araç içindeki farklı alt sistemlerin uyum içinde çalışmasını sağlamakla görevlidir. Bu bağlamda araç kontrol ünitesi yalnızca bir yönetim birimi değil, aynı zamanda verimlilik, güvenlik ve kullanıcı deneyimi açısından da aracın başarısında kritik bir rol oynamaktadır (Söyünmezoğlu vd. 2015).

Araç kontrol ünitesi, araç içindeki sensörler, aktüatörler ve diğer elektronik kontrol üniteleri (ECU) ile sürekli iletişim halindedir. Şarj durumundan hızlanmaya, frenleme gücünden rejeneratif enerji geri kazanımına kadar birçok veriyi gerçek zamanlı olarak işler. Bu veriler ışığında, araç için en uygun kontrol stratejilerini belirler ve diğer sistemlere gerekli komutları gönderir. Örneğin, sürücünün seçtiği sürüş modu (eko, spor, normal gibi) ile enerji dağılımını optimize ederken, bataryanın güvenli şarj ve deşarj koşullarını da sürekli olarak izlemektedir. Bu süreçte, araçtaki tüm sistemlerin uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlamak araç kontrol ünitesinin en temel görevlerinden biridir (Söyünmezoğlu vd. 2015).

Bir araç kontrol ünitesinin tasarımı, yalnızca işlevsellik açısından değil, aynı zamanda dayanıklılık, enerji verimliliği ve güvenlik açısından da yüksek standartlara uygun olmak zorundadır. Mikro denetleyici tabanlı işlemciler, yüksek hızlı veri işleme kapasitesini mümkün kılar ve bu da gerçek zamanlı kontrol için hayati önem taşır. ISO 26262 gibi uluslararası güvenlik standartlarına uygun yazılımlar, sistemin hata toleransını artırırken, araç güvenliğini de üst seviyelere taşır. Bununla birlikte, araç kontrol ünitesinin fiziksel tasarımı da otomotiv koşullarına uygun şekilde zorlu çevresel faktörlere dayanacak şekilde optimize edilir. Yüksek sıcaklık, titreşim ve elektromanyetik girişimlere karşı dayanıklı malzemeler ve devreler, bu birimin uzun ömürlü ve güvenilir olmasını sağlar.

Araç kontrol ünitesinin sahip olduğu bir diğer avantaj, sistem güncellemeleri ve yeni teknolojilere adaptasyon kabiliyetidir. Kablosuz yazılım güncellemeleri (OTA), araç kontrol ünitesinin hem yeni işlevler kazanmasını hem de var olan yazılım hatalarının giderilmesini kolaylaştırır. Bu esneklik, araç üreticileri için operasyonel maliyetleri düşürürken, kullanıcılar için daha güvenli ve uzun ömürlü bir sürüş deneyimi sunar. Örneğin, rejeneratif frenleme algoritmalarındaki bir iyileştirme veya batarya yönetim stratejisindeki bir optimizasyon, sadece bir yazılım güncellemesiyle araç kontrol ünitesine entegre edilebilir. Böylece, araçların teknolojik yaşam döngüsü de uzatılmış olmaktadır (Söyünmezoğlu vd. 2015).

Bununla birlikte, araç kontrol ünitesi geliştirme süreci bazı önemli mühendislik zorluklarını beraberinde getirmektedir. Donanımın karmaşıklığı ve yazılımın güvenilirliği, bu zorlukların

başında gelmektedir. Özellikle, elektrikli araçlarda araç kontrol ünitesinin enerji verimliliği ile gerçek zamanlı performansı aynı anda sağlaması gereklidir. Düşük gecikme süreleri, enerji dönüşümünde minimum kayıplar ve hassas kontrol algoritmaları, bu hedeflere ulaşmada kritik rol oynar. Ayrıca, farklı bölgelerin enerji standartları ve yasal düzenlemeleri, araç kontrol ünitesi tasarımında ek kısıtlamalar yaratmaktadır.

Geleceğe bakıldığında araç kontrol ünitesinin daha da gelişmiş bir yapıya bürüneceği öngörülmektedir. Yapay zeka tabanlı kontrol algoritmalarının ve makine öğrenimi teknolojilerinin entegre edilmesi, araç kontrol ünitesinin daha akıllı ve özerk bir şekilde çalışmasını sağlayacaktır. Bu yenilikler, otonom araçlar gibi ileri teknolojilerle entegre araç kontrol ünitesi sistemlerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlayacaktır. Ayrıca, çift yönlü enerji akışı (V2G) ve akıllı şarj yönetimi gibi geleceğin enerji uygulamaları, araç kontrol ünitesinin enerji ekosisteminin ayrılmaz bir parçası olmasını mümkün kılacaktır. Sonuç olarak, araç kontrol ünitesi teknolojisi, elektrikli ve hibrit araçların yalnızca performansını değil, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliğini de şekillendiren bir bileşen olmaya devam edecektir.

2.4.6. Gösterge Paneli (Display)

Gösterge paneli elektronik cihazlarla kullanıcı arasındaki etkileşimi sağlayan temel bir görüntüleme bileşenidir. Görsel bilgilerin aktarılması amacıyla geliştirilen bu teknoloji, günümüzde televizyonlardan akıllı telefonlara, otomobil ekranlarından endüstriyel kontrol panellerine kadar çok çeşitli alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Gösterge paneli sistemleri, dijital olarak üretilen bilgilerin, insan gözü tarafından algılanabilir bir görsel forma dönüştürülmesini mümkün kılarak, kullanıcı deneyimini ve cihazlarla etkileşimi büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır (Şekil, 2.4) . Bu nedenle, gösterge paneli teknolojileri modern elektronik cihazların vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir (Menekşe, 2023).

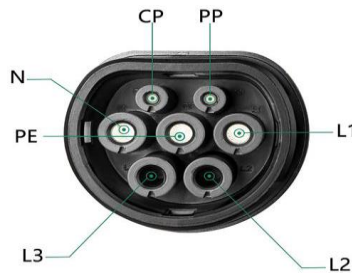
Batarya ve şarj sisteminin çıktıları (voltaj, akım, soc, soh ve sarj zaman çıktıları) araç sürücüsüne Şekil 2.4'te gösterilen ekran ile gösterilecektir.



Şekil 2.4 Kullanılan gösterge paneli (display)

2.4.7 Type 2 Soket

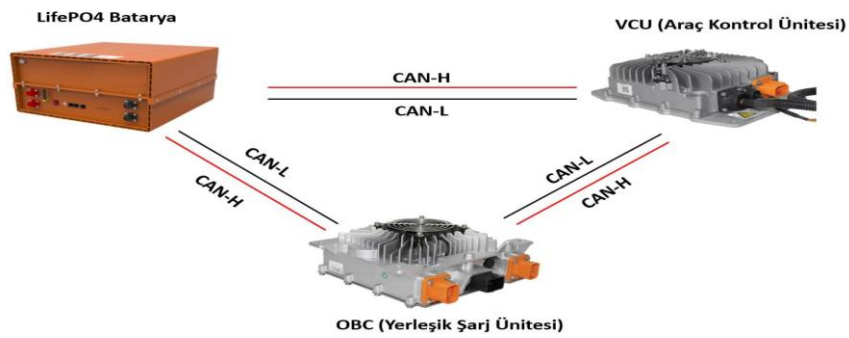
Type 2 soket, elektrikli araçların (EV) şarj sistemlerinde yaygın olarak kullanılan, Avrupa Standartları (EN 62196-2) ile uyumlu bir şarj konektörüdür. "Mennekes" olarak da bilinen bu soket, elektrikli araçların hem yavaş (alternatif akım) hem de hızlı (doğru akım) şarj işlemlerinde güvenilir ve verimli bir bağlantı sağlar. Avrupa'da elektrikli araç şarj altyapısının standartlaştırılması amacıyla geliştirilen Type 2 soket, kullanıcı dostu tasarımı ve geniş uyumluluk özellikleri ile dikkat çekmektedir. Type 2 soket, elektrikli araç şarj altyapısında bir köprü görevi görmektedir. 7 pilli şarj desteği sunan, çok yönlü bağlantı noktasıdır (Şekil 2.5). Avrupa'daki elektrikli araç ekosisteminin bir standarda bağlanmasını sağlayarak, üreticiler, şarj ağı sağlayıcıları ve kullanıcılar arasında bir ortak zemin oluşturur. Bu, elektrikli araçların daha yaygın hale gelmesinde ve şarj altyapısının daha erişilebilir olmasında önemli bir rol oynar. Type 2 soket, elektrikli araç şarj sistemlerinde güvenli, hızlı ve kullanıcı dostu bir çözüm sunmaktadır. Elektrikli araç teknolojisinin sürekli gelişimiyle birlikte, Type 2 soket, sürdürülebilir ulaşım çözümleri için kritik bir bileşen olmaya devam edecektir (Durmuş ve Kaymaz, 2020). Güvenli şarj imkanı sunan ve performans bakımından gelişmiş özelliklere sahip Type 2 soket'in görseli şekil 2.5'te olduğu gibidir:



Şekil 2.5 TYPE 2 soket

2.4.8 Can Diyagram Haberleşmesi

Can diyagram haberleşmesi, bir elektrikli aracın temel güç aktarma organlarının iletişim ve yönetim altyapısını göstermektedir. Özellikle bu sistem, batarya yönetimi, araç kontrolü ve yerleşik şarj ünitesinin (OBC) birbiriyle nasıl etkileşimde bulunduğunu açıklamaktadır. Diyagram, üç ana bileşen ve bunlar arasındaki iletişim hatlarını CAN protokolü aracılığıyla görselleştirmektedir. Şekil 2.6'da diyagram Can haberleşme görseli verilmiştir:



Şekil 2.6 Diyagram CAN haberleşmesi

Diyagramın sol üst kısmında yer alan lityum-demir-fosfat batarya, elektrikli araçların enerji kaynağıdır. Lityum-demir-fosfat teknolojisi, yüksek güvenlik, uzun ömür ve kararlılık gibi avantajları nedeniyle tercih edilmiştir (Şekil 2.6). Bu batarya, aracın hareketini sağlayan motorlara enerji iletmekle birlikte, aynı zamanda yerleşik şarj ünitesi (OBC) üzerinden şarj edilebilmektedir (Koyuncu ve Taşdelen, 2022).

Batarya, sistemin merkezinde yer alır ve diğer iki ana bileşenle CAN protokolü üzerinden iletişim kurar:

Yüksek Hızlı CAN Hattı (CAN-H): Yüksek hızlı veri iletimi için kullanılan kanaldır.

Düşük Hızlı CAN Hattı (CAN-L): Düşük hızda ve güvenilir veri iletimi için kullanılan kanaldır. Bu iki kanal, bataryanın diğer bileşenlere doluluk durumu, sıcaklık, akım ve gerilim bilgilerini aktarabilmesini sağlar.

Diyagramın sağ üst köşesinde araç kontrol ünitesi yer almaktadır. Araç kontrol ünitesi, elektrikli araçların "beyni" olarak nitelendirilebilir. Bu birim, batarya, motor ve diğer

sistemler arasındaki iletişimi koordine eder. Araç kontrol ünitesinin temel işlevleri aşağıdaki gibidir (Şekil 2.6).

Bataryadan gelen verileri analiz ederek, enerji yönetimini optimize etmektedir. Yerleşik şarj ünitesi (OBC) ile şarj sürecini kontrol etmektedir. Araç sürüş dinamiklerini (örneğin hızlanma ve frenleme) yönetir. Güvenlik mekanizmalarını (aşırı sıcaklık veya düşük batarya seviyesi gibi durumları) etkinleştirir.

Araç kontrol ünitesi yüksek hızlı CAN hattı (CAN-H) ve düşük hızlı CAN hattı (CAN-L) hatları üzerinden hem batarya hem de yerleşik şarj ünitesi ile sürekli bir veri alışverişi halindedir. Bu iletişim, sistemin koordineli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır (Branth ve Leitman, 2013).

Diyagramın alt kısmında yer alan yerleşik şarj ünitesi, aracın şarj altyapısının kritik bir bileşenidir. Bu ünite, harici şarj kaynaklarından gelen elektriği alır, dönüştürür ve bataryaya iletir. Aynı zamanda şarj işlemi sırasında batarya sağlığını ve güvenliğini izler. Yerleşik şarj ünitesinin işlevleri arasında şunlar bulunmaktadır:

Alternatif Akım (AC) elektriği, bataryanın kullanabileceği Doğru Akım (DC) elektriğe dönüştürmek. Batarya şarj seviyesini izlemek ve buna göre şarj hızını ayarlamak.

Yerleşik şarj ünitesi, CAN protokolü ile araç kontrol ünitesi ve batarya ile iletişim halindedir. Bu iletişim, OBC'nin bataryanın ihtiyaçlarına göre şarj sürecini optimize etmesine olanak tanır. Bu diyagram, modern elektrikli araçlarda kullanılan enerji yönetim sisteminin temel bileşenlerini ve bu bileşenlerin birbirleriyle nasıl iletişim kurduğunu açıkça göstermektedir. Elektrikli araçların verimliliğini ve güvenliğini artırmak için bu tür bir iletişim altyapısı hayati önem taşımaktadır. Diyagramın temel işlevi, farklı mühendislik disiplinleri (örneğin elektrik mühendisliği, otomotiv mühendisliği) arasında bir anlayış birliği sağlamaktır.

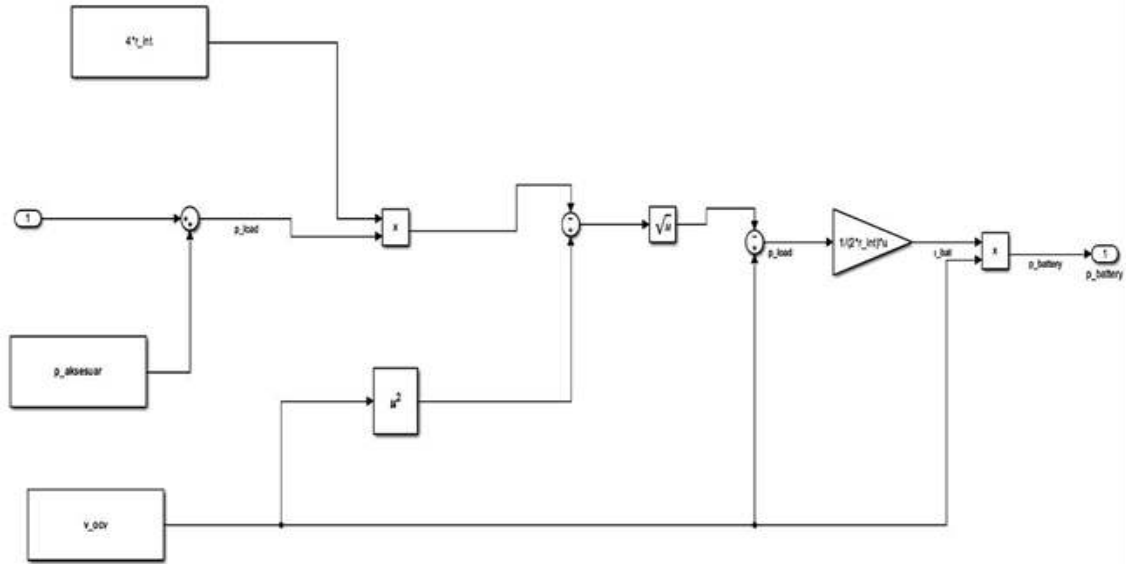
Sonuç olarak, bu sistemdeki koordinasyon ve veri alışverişi, elektrikli araçların sürdürülebilir bir şekilde çalışmasını mümkün kılar. Bu tür bir yapının etkili tasarımı, elektrikli araçların performansını ve güvenliğini doğrudan etkilemektedir.

BÖLÜM 3

EK BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ MODELLEME

Çalışmanın bu bölümde tasarlanan ek batarya yönetim sisteminin simülasyon sonuçları grafikler yardımıyla yorumlanmaktadır. Sistemin devre şeması oluşturulmuş ve matematiksel ifadeler yardımıyla bataryanın güç yönetimini, yük akımlarını ve batarya karakteristikleri incelenmiştir.

Bu aşamada sistem MATLAB ortamında simüle edilmiştir. En çok enerji tüketen sistem kompresör olduğu için kompresör güç kullanımı baz alınmıştır. Devre şeması, bir batarya paketinin MATLAB/Simulink'te modellenmiş halini temsil etmektedir (Şekil 3.1). Şemadaki bileşenler ve ilişkili matematiksel ifadeler, bataryanın güç yönetimini, yük akımlarını ve batarya karakteristiklerini anlamak için tasarlanmıştır.



Şekil 3.1 Batarya paketinin MATLAB modeli

Pload: Yük Gücü

Yük gücü, bataryadan çekilen veya yk tarafından kullanılan toplam gücü temsil eder. Bu gücün, bataryanın iç direnci, açık devre gerilimi ve akım ile ilişkisi modellenmiştir.

Matematiksel İfadeler:

$$P_{load}=P_{motor}+P_{aksesuar}+P_{kaybı} \quad (3.1)$$

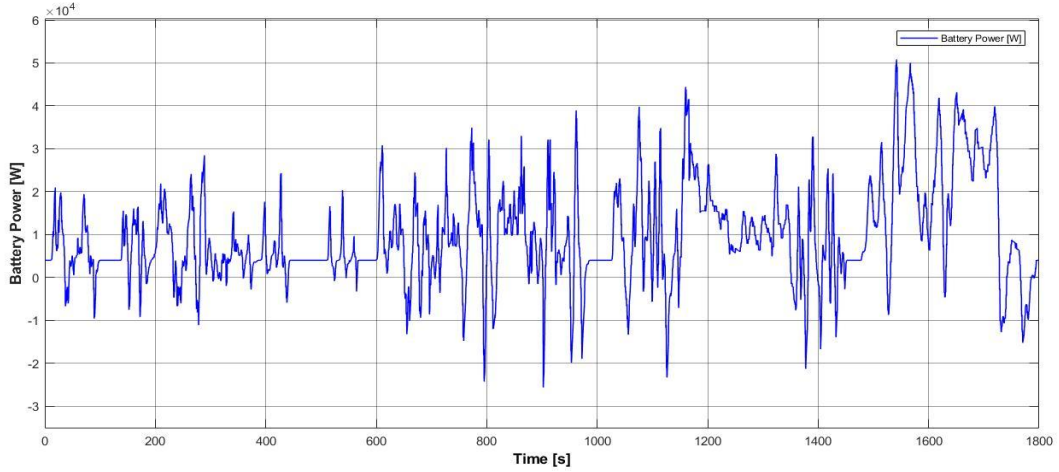
Yük gücü, motor gücü, aksesuar gücü ve kayıpların toplamıdır. Bu ifade, toplam yük gücünün, motor gücü, aksesuarların harcadığı g ve kayıplardan kaynaklanan g toplamına eşit olduğunu göstermektedir.

Batarya gücü ($P_{battery}$), (I_{bat}), akım ve açık devre geriliminin (V_{OCV}) arpımı ile řu şekilde hesaplanır:

$$P_{battery}=I_{bat} \times V_{OCV} \quad (3.2)$$

şekilde görülen g dalgalanmaları, bu modeldeki parametrelerle ilişkilendirilebilir: Dalgalanmalar, P_{motor} , $P_{aksesuar}$ gibi yüklerin değişkenliğinden kaynaklanmaktadır. Örneğin, motor talebinin artması, yk gücünün artmasına ve dolayısıyla bataryadan çekilen akımın (I_{bat}) yükselmesine neden olur. Akımda görülen ani değişiklikler, bataryanın yüksek dinamik talebi karşılamak için hızlı tepki verme kapasitesini gösterir. Bu, dalgalanmalar olarak gözlenir (şekil 3.2).

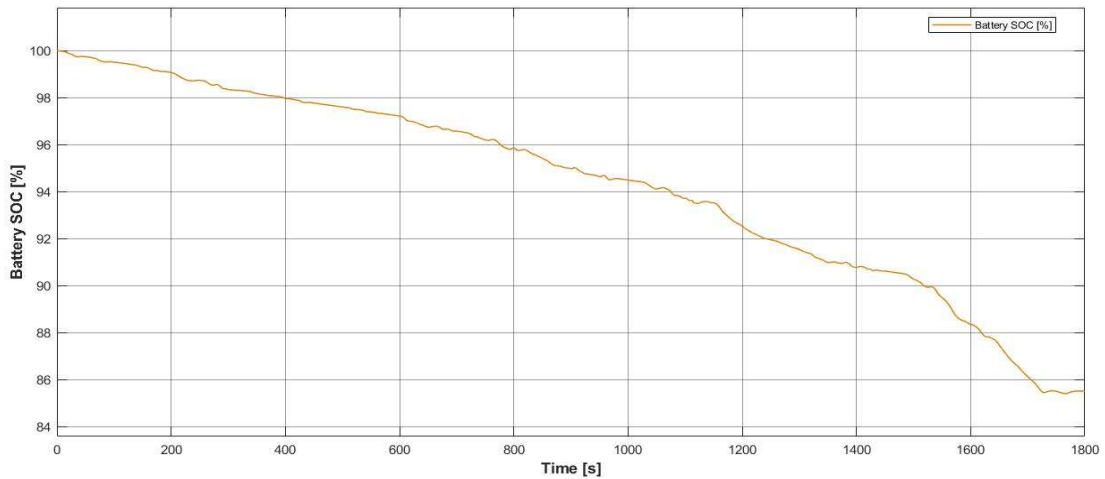
Dalgalı güç talebi, modelin bataryanın şarj ve deşarj çevrimlerini simüle etmek için uygun olduğunu gösterir. Bu tür bir model, özellikle elektrikli araçlar veya enerji depolama sistemleri gibi değişken yük profillerine sahip sistemlerde faydalıdır. Bu model lityum-demir-fosfat batarya paketi için tasarlanmıştır. Bataryanın uzun ömürlü çalışması için güç kaybı ($P_{kaybı}$) ve i direncin (r_{int}) düşük tutulmasını amaçlar. 1800 saniye boyunca bataryadan çekilen güç değerini şekil 3.2’ge görmek mümkündür: Bu veriler bataryanın g talebine nasıl tepki verdiğini anlamak için önemlidir.



Şekil 3.2 1800 saniye boyunca bataryadan çekilen güç değeri

Y-ekseninde batarya gücü (Watt cinsinden), X-ekseninde ise zaman (saniye cinsinden) gösterilmektedir. Batarya gücü hem pozitif hem negatif değerlere sahiptir. Bu, bataryanın enerji depoladığı (pozitif) ve enerji sağladığı (negatif) anları temsil etmektedir.

Güç çıkışındaki dalgalanmalar, zamanla bataryanın yüklenme ve boşalma döngülerini göstermektedir. Özellikle 1400. saniye civarında daha yoğun dalgalanmalar gözlemlenmekte olup, bu durum daha yüksek enerji talebini veya sistemdeki dinamik değişimleri işaret etmektedir. Güç seviyesi genellikle ± 30.000 Watt arasında seyretmektedir. Şekil 3.3'te, 1800 saniye boyunca bataryanın enerji seviyesinin %86'ya düşme eğilimi görülmektedir:



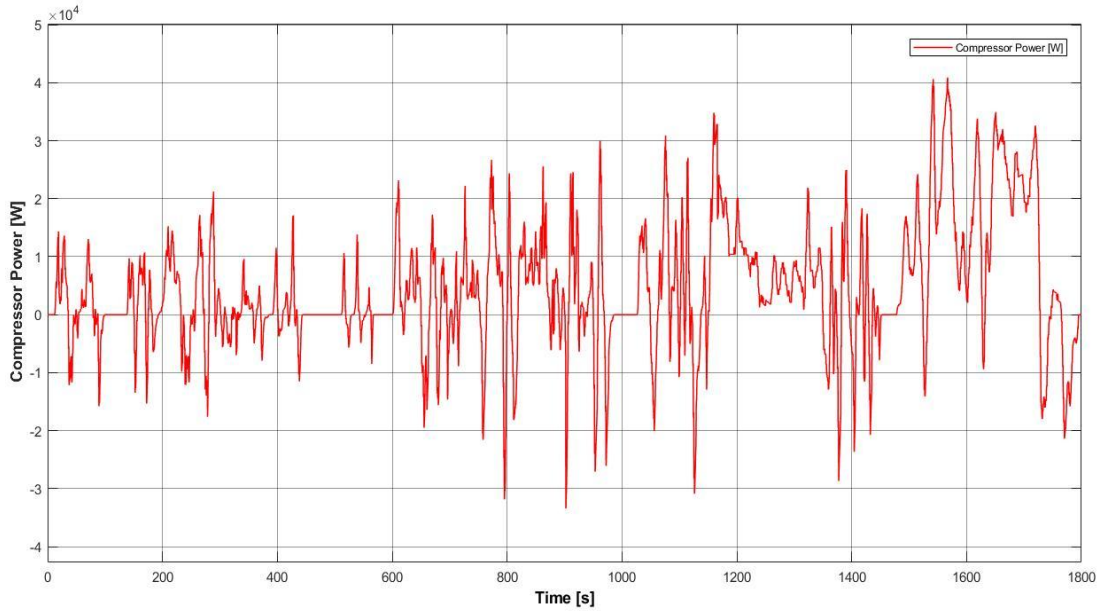
Şekil 3.3 1800 saniye boyunca bataryanın enerjisinin %86'ya düşme eğilimi

Bu şekilde bataryanın şarj durumu (SOC) zamanla yüzde cinsinden gösterilmektedir. Batarya şarj durumu, bataryanın doluluk seviyesini ifade eder ve 1800 saniyelik bir süreçte gözlemlenmiştir.

Bataryanın batarya şarj durumu seviyesi başlangıçta %100'dür. Bu, bataryanın tamamen dolu olduğu anlamına gelir. 1800 Saniyeye Kadarki azalmada zamanla bataryanın şarj durumu düzenli olarak azaldığı görülmektedir. Bu süreç boyunca batarya şarj durumu %100'den yaklaşık %86'ya düşmüştür. Bu, bataryanın enerji kapasitesinin %14'ünün kullanıldığını gösterir. İlk 1200 saniye (20 dakika): Batarya şarj durumunun daha sabit bir şekilde azaldığı gözlemleniyor. Bu, bataryadan çekilen gücün nispeten sabit olduğu bir yük profiline işaret eder. 1200-1800 saniye arası: Azalma eğrisi daha dik hale geliyor. Bu, bataryadan çekilen yükün arttığına veya yüksek enerji tüketen bir duruma geçildiğine işaret edebilir. 1800 saniyede bataryanın %14 kapasitesi kullanılmıştır (Şekil 3.3).

Batarya şarj durumundaki düzenli azalma, bataryadan sürekli bir yük çekildiğini düşündürür. Azalma eğrisinin şekli, bataryanın tüketim hızında değişiklikler olduğunu göstermektedir. Yük dinamik olduğunda (örneğin, bir motor veya değişken enerji talebi olan bir sistem çalışıyorsa), batarya şarj durumundaki azalma eğrisindeki farklılıklar bu değişkenliği temsil eder. Yük sabit olduğunda, batarya iç direnç kayıpları ya da batarya yönetim sistemi (BMS) kaynaklı faktörler batarya şarj durumu azalma hızını etkileyebilir.

Batarya 1800 saniye boyunca enerji sağlamış ve doluluk seviyesi %86'ya düşmüştür. Lityum-demir-fosfat bataryalar, genellikle kararlı bir deşarj eğrisi sergileyerek yüksek çevrim ömrüne sahiptir. Şekil 3.4'te, 1800 saniye boyunca kompresör motorundan çekilen anlık güç değeri gösterilmektedir:



Şekil 3.4 1800 saniye boyunca kompresör motorundan çekilen anlık güç

Bir kompresör motorundan 1800 saniye boyunca çekilen anlık gücü zaman ekseninde göstermektedir. Güç, watt (W) cinsinden ölçülmüş ve dalgalı bir profil sergilemektedir. Dalgalı profil sergilenmesi esasında kompresörün çalışma dinamiklerini ve güç tüketimindeki ani değişimleri ifade etmektedir (Şekil 3.4).

Kompresör, gazları sıkıştırarak basıncını artıran bir mekanik cihazdır. Temel prensibi, gazın hacmini azaltarak içindeki moleküllerin enerji seviyesini artırmak ve böylece gazın basıncını yükseltmektir. Kompresörler, sanayi, ulaşım ve günlük yaşamda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Çeşitli endüstriyel uygulamalarda enerji taşıyıcı bir ortam olarak kullanılan basınçlı hava veya gazların üretilmesi için kritik bir bileşen olarak işlev görür. Kompresörlerin oldukça çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Bu alanlar aşağıda detaylandırılmıştır (Efendi 2022).

Fabrikalarda pnömatik (hava basıncı ile çalışan) cihazları çalıştırmak, üretim süreçlerinde ihtiyaç duyulan basınçlı havayı sağlamak için kullanılır. Yol inşaatlarında beton dökme makineleri veya taş kırma gibi süreçlerde basınçlı hava sağlar. Ayrıca otomotiv sektöründe lastik şişirme ve hava destekli fren sistemleri gibi uygulamalarda kullanılır. Soğutucu akışkanların sıkıştırılması yoluyla soğutma döngülerini başlatmak için soğutma ve klima sistemlerinde kullanılır. Solunum cihazları gibi medikal ekipmanlarda hassas basınç kontrolü sağlamak için tercih edilir (Yağcı, 2011). Kompresörler genellikle iki ana kategoriye ayrılmaktadır. İlki pozitif yer değiştirmeli kompresörler, diğeri ise dinamik kompresörlerdir. Pozitif yer değiştirmeli kompresörler, gazı sıkıştırmak için bir hacmi azaltan pistonlu veya

vidalı sistemler kullanır. Dinamik Kompresörler, gazı sıkıştırmak için dönme hareketi ve kinetik enerji kullanır. Elektrikli kompresörler, çalışması için bir elektrik motoru kullanan kompresör türüdür. Geleneksel kompresörlerden farklı olarak, enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar yerine elektrikten yararlanır. Bu özellikleri, modern enerji verimliliği standartlarını karşılamak ve çevresel etkileri en aza indirmek amacıyla tercih edilir hale getirmiştir.

Elektrikli kompresörlerin kullanım alanları aşağıda açıklanmıştır:

Elektrikli Araçlarda (EV): Özellikle elektrikli araçlarda (EV) klima ve hava süspansiyonu gibi sistemlerde sıkıştırılmış havanın sağlanması için yaygın olarak kullanılır. Geleneksel içten yanmalı motorlarda kullanılan motor tahrikli kompresörlerin yerini almıştır. Enerji verimliliği açısından tercih edilen bu kompresörler, üretim tesislerinde pnömatik sistemler ve otomasyon süreçlerinde kullanılır. Hafif ve taşınabilir modeller, ev tipi kullanım için idealdir. Lastik şişirme veya küçük çaplı ekipmanların çalıştırılması için kullanılabilir.

Elektrikli kompresörlerin kullanımını yaygınlaştıran bir dizi avantajı bulunmaktadır. Elektrikli motorlar, enerji dönüşümünde daha yüksek verimlilik sağlayarak işletme maliyetlerini düşürür. Fosil yakıt kullanımını ortadan kaldırarak karbon emisyonlarını azaltır. Elektrikli motorlar genellikle daha düşük gürültü seviyelerine sahiptir, bu da sessiz çalışma gerektiren ortamlar için idealdir. Elektrik bağlantısı olan herhangi bir alanda kolaylıkla çalıştırılabilir. Elektrikli kompresörler, basınç ve akış hızı gibi parametrelerin hassas bir şekilde kontrol edilmesini sağlar (Yağci, 2011).

Elektrik kompresörlerin avantajları gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Her ne kadar birçok avantaja sahip olsa da elektrikli kompresörlerin de bazı sınırlamaları vardır. Çalışması için sürekli bir elektrik kaynağına ihtiyaç duyar, bu da taşınabilirlik açısından sınırlayıcı olabilir. Geleneksel yakıtlı sistemlere kıyasla ilk yatırım maliyeti daha yüksek olabilir. Çok yüksek kapasiteli endüstriyel uygulamalar için uygun olmayabilir.

Kompresörler, modern teknolojinin ayrılmaz bir parçası olup enerji taşıma, mekanik işlemleri destekleme ve sistemleri optimize etme gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Elektrikli kompresörler ise enerji verimliliği, çevre dostu tasarım ve kullanım kolaylığı ile geleneksel kompresörlere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle elektrikli araçlar gibi yeni nesil teknolojilerde yaygın olarak kullanılması, bu cihazların gelecekteki enerji yönetim sistemlerinde önemli bir rol oynayacağını göstermektedir. Bu bağlamda, elektrikli

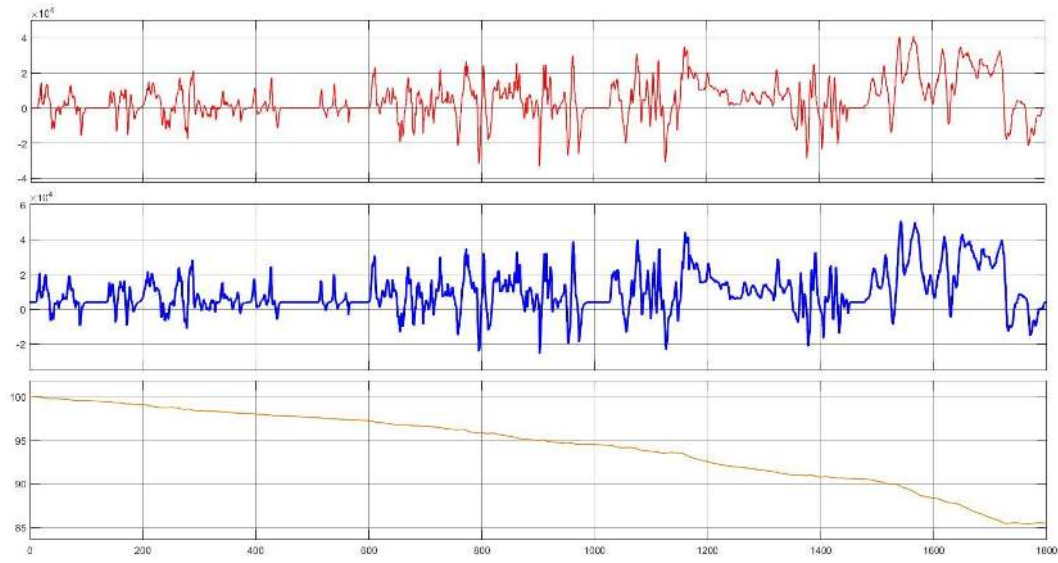
kompresörlerin endüstriyel ve bireysel kullanımlarda daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir (Oğuz, 2006).

Bu bilgiler doğrultusunda Şekil 3.4'teki grafiği yorumlayacak olursak, kompresör motorunun çektiği güç oldukça değişken bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, kompresör motorunun yük durumunun sürekli değiştiğini ya da değişen operasyonel gereksinimlere bağlı olarak çalıştığını gösterir. Güç değerleri hem pozitif (motor çalışıyor ve enerji çekiyor) hem de negatif (frenleme, enerji geri dönüşümü ya da sistemde yük azalması olabilir) değerlere ulaşmaktadır. Pozitif değerler, motorun aktif olarak enerji çektiği durumları temsil eder. Negatif güç, enerjinin geri döndüğü ya da frenleme durumlarını temsil etmektedir. Bu, enerji geri kazanımı (regeneratif frenleme) olan sistemlerde beklenebilir. İlk 600 saniye içinde güç dalgalanmaları nispeten düşük genliktedir. 600-1200 saniye arası dalgalanmaların genlik ve frekansında artış görülmektedir. 1200 saniyeden sonra güç dalgalanmaları belirgin şekilde artmış ve genlik çok daha yükseklerle çıkmıştır, bu da kompresör motorunun daha fazla enerji gereksinimi olan bir yükte çalıştığını göstermektedir (Şekil 3.4).

Güç dalgalanmalarının genliği -4 kW ile +4 kW arasında değişmektedir. Bu geniş genlik aralığı, kompresör motorunun değişken yük koşullarında çalıştığını ve bazen enerji geri dönüşümü olabileceğini göstermektedir. Pozitif güç değerlerinin integralinin alınması, motorun toplam enerji tüketimini verecektir. Negatif değerler, enerjinin geri dönüşüm miktarını veya yükteki azalmayı ifade eder.

Dinamik Çalışma: Kompresör motorunun yük dinamiklerinin oldukça değişken olduğu bir sistemde çalıştığı görülüyor. Yük profili sabit olmadığından, motor performansının sürekli değiştiği anlaşılmaktadır. Güç dalgalanmaları, şarj durumu grafiğinde görülen değişimlere doğrudan etki eder. Dalgalı güç çekimi, bataryadan çekilen enerji miktarının da değişken olmasına yol açar.

Enerji tüketimi, bileşen etkileşimi gibi faktörler elektrikli bir sistemin çalışma dinamikleri ışığında belirlenmektedir. Elektrikli sistemlerde güç tüketim durumu bileşenlerin yüküne bağlı şekilde değişiklik göstermektedir. Söz konusu durumda motor, batarya ve enerji yönetim sistemleri arasındaki etkileşim de direkt olarak etkilenmektedir. Aynı zamanda elektrikli sistemler elektrik akımı ve gerilim dalgalanmaları, güç tüketimi değişimleri ve batarya durumu gibi parametreler aracılığıyla analiz edilebilmesi bakımından oldukça önemlidir. Şekil 3.5'te elektrikli bir sistemin çalışma dinamikleri gösterilmiştir:



Şekil 3.5 Elektrikli bir sistemin çalışma dinamikleri

Bu bölümde, elektrikli bir sistemin çalışma dinamiklerini yansıtan üç farklı grafik detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Şekiller sırasıyla kompresör akımı, batarya çıkış akımı ve batarya deşarj eğrisini göstermektedir. Bu veriler, elektrikli araç veya enerji depolama sistemlerinde enerji yönetimi ve performans değerlendirmesi açısından oldukça kritiktir. Aşağıda, her bir renk detaylı şekilde ele alınmıştır.

Kompresör Akımı (Kırmızı Şekil)

Birinci şekil, elektrikli kompresörün çalışması sırasında geçen akımın zamana bağlı değişimini göstermektedir. Kompresör, sistemde basınçlı hava üreten önemli bir bileşendir ve enerji tüketimi açısından dikkatlice izlenmesi gereken bir ünedir.

Kompresör akımı zaman içinde dalgalı bir seyir izlemektedir. Bu dalgalanmalar, kompresörün yüklenme ve boşaltma döngülerinden kaynaklanmaktadır. Kompresör devreye girdiğinde akımda ani artışlar, yük azaldığında ise düşüşler gözlemlenmiştir. Akımın pozitif ve negatif

yönlü genlik değişimleri, kompresörün dinamik yükleme ve boşaltma karakteristiğini yansıtır. Zamanla akımda artan dalgalanmalar, kompresörün daha yüksek yükte çalıştığını gösterir.

Kompresörün enerji tüketimi, bu dalgalı akım yapısından doğrudan etkilenir. Özellikle yüksek genlikli akım dalgalanmaları, kompresörün daha fazla enerji tükettiği anlamına gelir. Bu grafik, kompresörün enerji verimliliğini ve performansını izlemek için kritik öneme sahiptir. Verilerin analizi, enerji yönetiminde iyileştirme yapılabilecek noktaları belirlemeye yardımcı olur.

Batarya Çıkış Akımı (Mavi Şekil)

İkinci şekil, bataryanın çıkış akımının zamana bağlı değişimini göstermektedir. Batarya çıkış akımı, sistemdeki enerji tüketen bileşenlere sağlanan enerjinin bir göstergesidir. Grafik, bataryanın çıkış akımında zamanla artış ve dalgalanmalar olduğunu göstermektedir. Başlangıçta düşük seviyelerde seyreden akım, zaman ilerledikçe artarak daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bu durum, sistemdeki yüklerin artmasıyla birlikte bataryanın daha fazla enerji sağladığını göstermektedir.

Akımın düzensiz yapısı, sistemdeki enerji tüketen bileşenlerin değişken taleplerinden kaynaklanabilir. Özellikle ani artışlar, kompresör gibi yüksek güç çeken cihazların devreye girmesiyle ilişkilendirilebilir. Çıkış akımındaki değişkenlik, bataryanın yük altında nasıl performans gösterdiğini ortaya koyar. Ani akım artışları, bataryanın ani yük değişimlerine nasıl tepki verdiğini anlamak için kritik bir göstergedir. Bu şekil, bataryanın enerji sağlama kapasitesini ve sistem yüklerinin batarya üzerindeki etkisini analiz etmek için önemlidir.

Batarya Deşarj Eğrisi (Sarı Şekil)

Üçüncü şekil, bataryanın deşarj sürecini, yani kapasitesinin zamanla nasıl azaldığını göstermektedir. Bu şekil, bataryanın ömrü ve enerji sağlama performansı hakkında önemli bilgiler sunar.

Sürekli Azalan Eğri: Şekil, bataryanın şarj seviyesinin zamanla düzenli olarak azaldığını göstermektedir. Bu durum, bataryanın enerji sağlayarak sistem yüklerini karşıladığını ve zamanla kapasitesinin tükendiğini ortaya koymaktadır.

Başlangıçta Yavaş, Sonra Hızlı Azalma: Eğrinin başlangıç kısmında şarj seviyesi daha yavaş düşerken, ilerleyen süreçte daha hızlı bir azalma gözlemlenmektedir. Bu, bataryanın yüksek yük altında daha hızlı tükendiğini göstermektedir.

Enerji Yönetimi: Bataryanın bu şekilde düzenli deşarj olması, enerji yönetimi stratejilerinin gözden geçirilmesi gerektiğini gösterir. Özellikle, bataryanın aşırı yüklenmesi durumunda kapasite kaybı hızlanabilir.

Bu şekil, batarya ömrünü uzatmak ve enerji verimliliğini artırmak için şarj-deşarj döngülerinin optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu üç grafik birlikte değerlendirildiğinde, enerji yönetimi ve sistem performansı hakkında önemli sonuçlara ulaşılabilir:

Enerji Tüketimi ve Yönetimi: Kompresörün düzensiz ve dalgalı akım tüketimi, batarya çıkış akımında dalgalanmalara neden olmakta ve bataryanın deşarj hızını artırmaktadır. Bu durum, enerji yönetiminde dengesizliklere yol açabilir. Kompresörün daha verimli çalışması için enerji optimizasyon stratejileri geliştirilmelidir.

Batarya çıkış akımının yüksek dalgalanmalar göstermesi ve deşarj eğrisinin hızla düşmesi, bataryanın performansını olumsuz etkileyebilir. Bu durum, batarya ömrünün kısılmasına neden olabilir. Bu nedenle bataryanın yük altındaki davranışı daha dikkatli izlenmeli ve koruma mekanizmaları devreye alınmalıdır.

Ani yüklenmeler ve yüksek güç talepleri, bataryanın daha hızlı tükenmesine neden olmaktadır. Bu durum, sistem stabilitesini bozabilir ve enerji kesintilerine yol açabilir. Sistem yüklerinin dengeli dağıtılması ve bataryanın aşırı yüklenmeden korunması önem arz etmektedir.

Bu şekiller, elektrikli bir sistemin enerji yönetimi, batarya performansı ve yük dinamikleri hakkında kapsamlı bilgiler sunmaktadır. Kompresörün dalgalı akım çekişi, bataryanın çıkış akımında dalgalanmalara ve hızlı deşarja neden olmaktadır. Bu durum, sistemin enerji verimliliğini ve batarya ömrünü olumsuz etkileyebilir. Enerji yönetimi süreçlerinin optimize edilmesi, batarya ömrünün uzatılması ve sistemin daha verimli çalışmasının sağlanması için kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, elde edilen verilerin analizi sonucunda enerji tüketiminin optimize edilmesi, yük yönetiminin iyileştirilmesi ve batarya performansının korunması için stratejik önlemler alınması gerekmektedir (Şekil 3.5).

BÖLÜM 4

ÜST YAPI DÖNÜŞÜM SİSTEMİ

Bu bölümde üst yapı dönüşümünün tamamlanması için araca entegre edilecek sistemler gösterilmektedir. Bu sistemlerin tasarlanan ek batarya yönetim sisteminden ne kadar güç çektiği tablo ve grafiklerle açıklanmaktadır. İçten yanmalı araçtan alınan araç motor devri ve klimadan çekilen akımı, araç motoru devri ve alternatör çıkış akımı gibi değerlerle üst yapı dönüşümü sağlanan elektrikli aracın sistem tüketimi kıyaslanarak verimlilik analizi yapılmıştır.

4.1 ELEKTRİKLİ MERCEDES SPRINTER VS30 ARACIN ÜST YAPI DÖNÜŞÜMÜ SIRASINDA ARACA ENTEGRE EDİLECEK SİSTEMLER

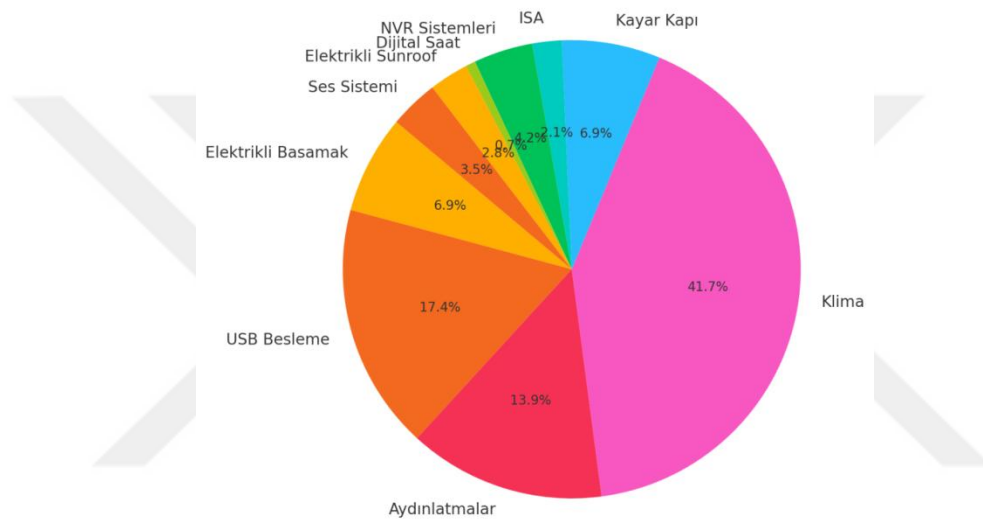
Elektrikli Mercedes Sprinter VS30 aracın üst yapı dönüşümü aşamasında aracın güvenlik, rahatlık ve fonksiyonel kapasitesini genişletmek üzere çeşitli sistemler entegre edilmektedir. Söz konusu sistemler ise aracın bataryasından beslenip enerji gereksinimini gidermekte ve çeşitli akım gereksinimlerine sahip bileşenlerden meydana gelmektedir. Çizelge 4.1’de ise bataryadan beslenmesi gereken sistemlerin enerji tüketimleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Bataryadan beslenmesi gereken sistemler

Sistem Tüketimi	Gerekli Akım (A)
Elektrikli Basamak	10
USB Besleme	25
Aydınlatmalar	20
Klima	60
Kayar Kapı	10
ISA	3
NVR Sistemleri	6
Dijital Saat	1
Elektrikli Sunroof	4
Ses Sistemi	5

Elektrikli bir aracın veya sistemin bataryadan beslenmesi gereken bileşenleri, çeşitli güç tüketim seviyelerine sahiptir. Her sistemin gerektirdiği akım miktarı, batarya kapasitesinin doğru şekilde yönetimi için oldukça önemlidir. Sistemlerin enerji tüketim toplamaları, çalışma performansı ve çalışma süresi üstünde son derece etkilidir. Dolayısıyla enerji yönetim sistemleri, sistem ihtiyacına uygun olarak optimize edilmelidir (Tablo 4.1).

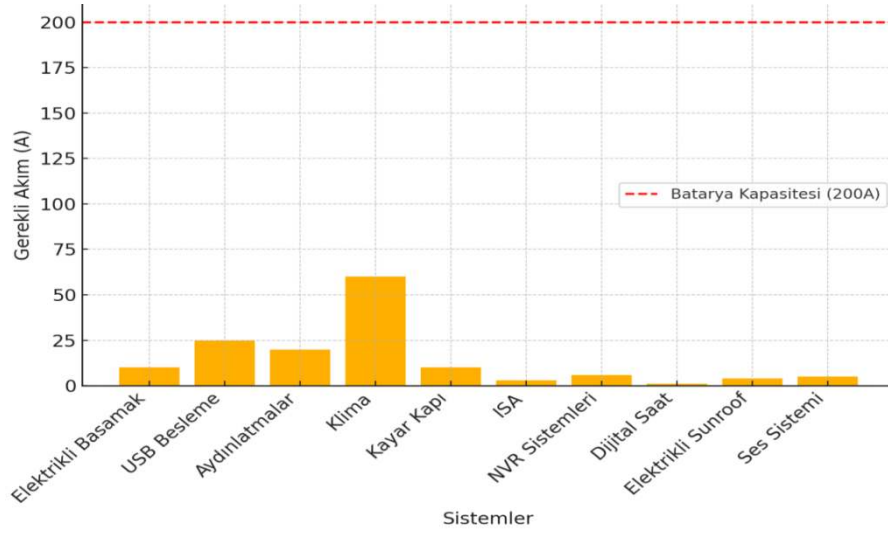
Sistemlerin batarya tüketimleri de batarya ömrü, enerji verimliliği ve aracın çalışma süresi bakımından son derece önemli faktörlerdir. Konuyla ilişkili olarak şekil 4.1’de batarya tüketiminin yüzdelik dağılımı verilmiştir:



Şekil 4.1 Batarya tüketiminin yüzdelik payı

200 A/sa kapasiteli bir bataryadan beslenen sistemlerin enerji tüketimindeki yüzdelik payları gösterilmektedir. Klima sistemi %41,7 oranında en fazla enerji tüketimini gerçekleştirmekte, USB besleme %17,4 ve aydınlatmalar %13,9 oranlarıyla takip etmektedir. Diğer sistemler ise daha düşük oranlarda enerji tüketmektedir. Klima sisteminin yüksek enerji tüketimi, enerji yönetiminde dikkat edilmesi gereken bir faktördür ve enerji tasarrufu için bu sistemin optimize edilmesi önem arz etmektedir (Şekil 4.1).

Enerji tüketimlerinin de batarya kapasitesine göre nasıl dağıldığını tespit etmek enerji yönetim stratejileri açısından önemlidir. Her bileşenin enerji tüketim oranı, bataryanın yük dağılımını ve çalışma süresini de etkilemektedir. Batarya yönetim sistemleri, denge kurup aşırı tüketimi önlerken aynı zamanda da enerji kullanımını optimize etmektedir. Şekil 4.2’de sistem tüketimi ve batarya kapasitesi ilişkisi verilmiştir:



Şekil 4.2 Sistem tüketimi ve batarya kapasitesi ilişkisi

Her bir sistemin gereksinim duyduğu akım (amper) ve batarya kapasitesi karşılaştırılmıştır. Klima sistemi 60 A ile en yüksek akımı çeken bileşendir. USB besleme ve aydınlatmalar sırasıyla 25 A ve 20 A ile dikkat çekerken, diğer sistemler batarya kapasitesine oranla daha az enerji tüketmektedir. Ayrıca kırmızı kesikli çizgi, 200 amperlik batarya kapasitesini temsil etmektedir (Şekil 4.2).

4.2 ENERJİ VERİMLİLİĞİ OPTİMİZASYONU

Bu bölümde gerçekleştirilen ek batarya yönetim sistemi sayesinde içten yanmalı araçlara kıyasla enerji verimliliğinin sağlandığı gösterilecektir. Bunun için öncelikle içten yanmalı bir Mercedes Sprinter VS30 araç üzerinden reel ölçüm sonuçları alınmıştır.

Söz konusu reel ölçümler, araçtaki elektrik sisteminin performansını ve enerji yönetimini incelemek üzere kullanılmaktadır. Ayrıca bunlar şarj sistem etkinliği, bileşenlerin yük altında çalışma kapasitesi tespit etmek adına oldukça önemlidir. Konuyla ilişkili olarak şekil 4.3, 4.4 ve 4.5'te İçten yanmalı Mercedes Sprinter VS30 araçtan alınan reel ölçü değerleri görseli verilmiştir:



Şekil 4.3 Araçtan alınan reel ölçüm değerleri



Şekil 4.4 Araçtan alınan reel ölçüm değerleri



Şekil 4.5 Araçtan alınan reel ölçüm değerleri

Şekil 4.3'te ölçüm cihazı 14.4V değerini belirtmektedir. Bu, araç alternatörünün ürettiği ve bataryaya sağlanan tipik bir voltaj seviyesidir, bir diğer ifadeyle sistemin şarjda olduğunu yansıtmaktadır. Ardından gelen şekil 4.4' te ise voltaj değeri 8.24V olarak belirtilmiştir. Bu, bataryanın düşük şarj durumunu göstermektedir. Son olarak şekil 4.5'tw ise ölçüm cihazı 8.10V göstermektedir. Bu, sistemin farklı bir yük şartı altında ne gibi bir tepki gösterdiğini tespit etmek üzere alınmış bir ölçümdür.

İçten yanmalı Mercedes Sprinter VS30 bir aracın motor bölümündeki alternatörden alınan reel ölçüm sonuçları da çizelge 4.2'de verilmiştir:

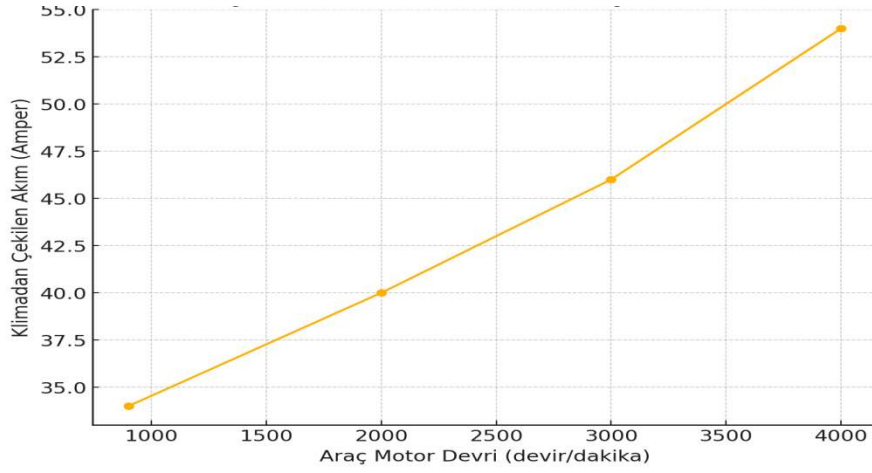
Çizelge 4.2 Araçtan ölçülen reel değerler

Klimadan Çekilen Akım	Araç Motor Devri	Alternatör Çıkış Akımı	Alternatör Yakıt Tüketimi
34 amper	900 devir/dakika	2,4 amper	0,03 litre
40 amper	2000 devir/dakika	1 amper	0,03 litre
46 amper	3000 devir/dakika	0,9 amper	0,03 litre
54 amper	4000 devir/dakika	1,4 amper	0,03 litre

Alternatör, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren bir elektrik makinesidir. Temel işlevi, döner bir mekanik hareketi kullanarak alternatif akım (AC) üretmektir. Genellikle içten yanmalı motorlarla çalışan araçlarda ve çeşitli sanayi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe alternatörler, aracın elektriksel ihtiyaçlarını karşılamak ve bataryayı şarj etmek amacıyla önemli bir rol üstlenir (Doğru, 2019).

Alternatörler, elektromanyetik indüksiyon prensibine dayalı olarak çalışır. Bu prensibe göre, bir manyetik alan içerisinde hareket eden bir iletkende elektrik akımı oluşur. Alternatörün en önemli bileşenlerinden biri rotordür ve bu parça, motorun sağladığı mekanik enerjiyle dönerek manyetik alan oluşturur. Rotorun çevresinde yer alan stator ise sabit konumda bulunur ve rotorun yarattığı manyetik akı değişimleri sayesinde elektrik akımı üretir. Alternatörde üretilen alternatif akım, sistemde bulunan diyot köprüsü aracılığıyla doğru akıma (DC) dönüştürülür. Ayrıca, alternatörün çıkış voltajını düzenlemek için voltaj regülatörü kullanılır. Bu regülatör, elektrikli ekipmanların zarar görmesini önlemek amacıyla gerilimi belirli bir seviyede sabit tutar (Doğru, 2019).

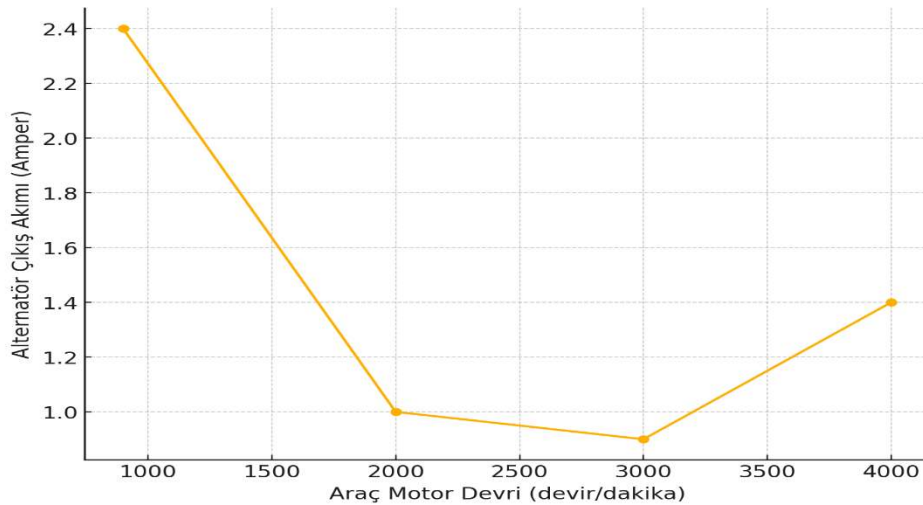
İçten yanmalı Mercedes Sprinter VS30 aracın motor bölümündeki alternatörden alınan reel ölçüm değerleri baz alınarak şekil 4.6’da araç motor devri ve klima sistemi tarafından çekilen akım değerleri gösterilmiştir:



Şekil 4.6 Araç motor devri ve klima sistemi tarafından çekilen akım değerleri

Araç motor devrinin (devir/dakika) artışı ile klimadan çekilen akımın (amper) değişimi gözlemlenmektedir. Motor devri 900 devir/dakikadan 4000 devir/dakikaya çıkarken klimadan çekilen akımın 34 amperden 54 ampere yükseldiği görülmektedir. Bu artış, motor devri yükseldikçe klima sisteminin daha fazla enerji talep ettiğini ve buna bağlı olarak akım çekişinin arttığını göstermektedir. Bu durum, klima sistemlerinin yüksek motor devirlerinde daha fazla soğutma performansı sağlamak amacıyla daha fazla enerjiye ihtiyaç duymasından kaynaklanabilir. Ayrıca, bu sonuç araç enerji yönetimi açısından dikkate alınması gereken önemli bir bulgudur (Şekil 4.6).

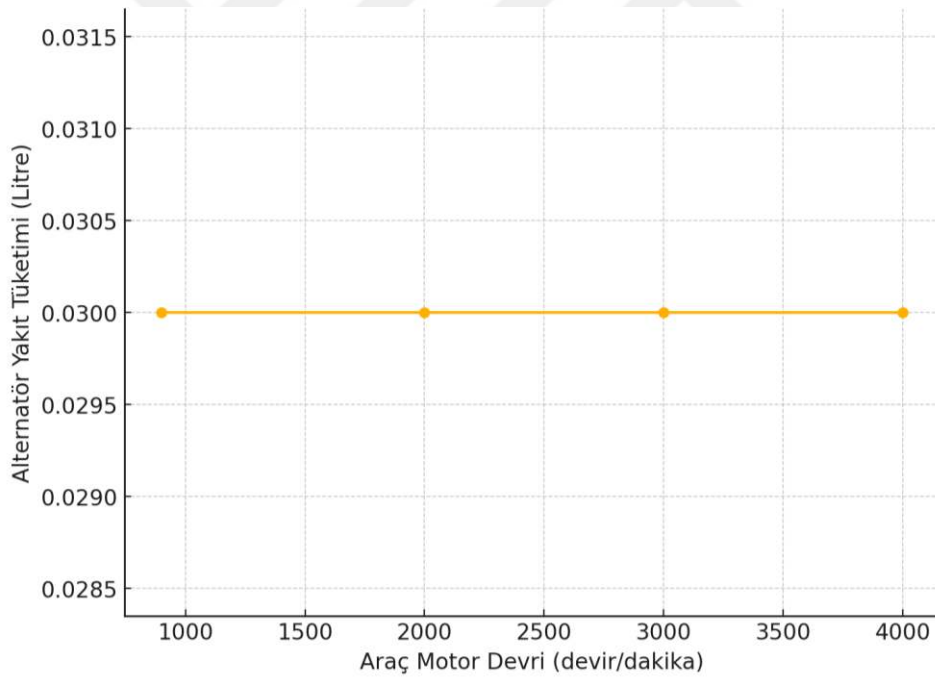
İçten yanmalı Mercedes Sprinter VS30 aracın motor bölümündeki alternatörden alınan reel ölçüm değerleri baz alınarak şekil 4.7’de araç motoru devri ve alternatör çıkış akımı gösterilmiştir:



Şekil 4.7 Araç motoru devri ve alternatör çıkış akımı

Araç motor devrinin artışı ile alternatör çıkış akımının (amper) nasıl değiştiği incelenmiştir. 900 devir/dakikada 2,4 amper olan çıkış akımı, 3000 devir/dakikada 0,9 ampere kadar düşmüş, ardından 4000 devir/dakikada 1,4 ampere yükselmiştir. Alternatör çıkış akımının motor devri arttıkça düşmesi ve sonrasında tekrar yükselmesi, alternatörün yük durumuna ve motorun enerji talebine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini işaret etmektedir. Bu durum, alternatörün farklı devirlerde optimum verimlilikle çalışmadığını ve belirli devirlerde enerji üretim kapasitesinin azaldığını göstermektedir. Araç enerji yönetiminde bu dalgalanmanın minimize edilmesi için optimizasyon çalışmaları yapılması önerilir (Şekil 4.7).

İçten yanmalı Mercedes Sprinter VS30 aracın motor bölümündeki alternatörden alınan reel ölçüm değerleri baz alınarak şekil 4.8’de araç motoru devri ve alternatör yakıt tüketimi gösterilmiştir:



Şekil 4.8 Araç motor devri ve alternatör yakıt tüketimi

Araç motor devri ile alternatör yakıt tüketimi (litre) arasındaki ilişkiden bahsetmek gerekirse motor devri arttıkça yakıt tüketiminin sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Tüm devir aralıklarında yakıt tüketimi 0,03 litre olarak sabit kalmıştır. Bu durum, alternatörün yük durumunun yakıt tüketimine doğrudan bir etkisi olmadığını veya bu etkinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu

göstermektedir. Ayrıca, araç motor devrinin alternatör üzerindeki yüklenmeye rağmen yakıt tüketimini etkilemediği sonucu çıkarılabilir. Bu bulgu, alternatörlerin enerji verimliliği açısından optimize edildiğini ve yakıt tüketimi üzerinde ciddi bir yük oluşturmadığını göstermektedir (Şekil 4.8).

Yapılan analizler sonucunda, araç motor devrinin ve sistem tüketimlerinin enerji üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Klimadan çekilen akımın motor devri ile doğru orantılı olarak artması, alternatör çıkış akımındaki dalgalanmalar, yakıt tüketimindeki sabitlik ve sistemlerin batarya üzerindeki yükleri, araç enerji yönetimi açısından önemli ipuçları sunmaktadır. Özellikle klima sisteminin yüksek enerji tüketimi, enerji yönetiminde öncelikli iyileştirme alanı olarak belirlenmelidir. Bu veriler, araçlarda enerji verimliliğinin artırılması ve sistemlerin optimize edilmesi için yol gösterici olmaktadır. Araç enerji yönetiminde, sistemlerin dengeli bir şekilde enerji kullanması ve batarya kapasitesinin etkin yönetimi için mühendislik çözümleri geliştirilmesi önerilmektedir.

4.3 ELEKTRİKLİ ARAÇ VE İÇTEN YANMALI ARAÇ ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Bu bölümde, elektrikli araçların ve içten yanmalı motorlu araçların klima sistemlerinin enerji verimliliği detaylı şekilde karşılaştırılmıştır. Elektrikli araçlarda klima sistemi doğrudan bataryadan beslenirken, içten yanmalı motorlu araçlarda klima sistemi motor gücüyle çalışan kompresör ve alternatör üzerinden çalışmaktadır. Bu iki sistemin enerji tüketimini ve verimliliğini karşılaştırmak için kullanılan grafikler analiz edilmiştir. Ayrıca maliyet, menzil ve süre hakkında bilgi verilecek ve bununla ilişkili olarak grafikler ele alınacaktır.

4.3.1 Elektrikli Araç Verimliliği Analizi

1800 saniyelik süre boyunca bataryadan çekilen güç oldukça dalgalı ve değişkendir. Güç değerleri anlık yük değişimlerine göre artmakta veya azalmaktadır. Maksimum güç talebi yaklaşık +5 kW, minimum güç ise -3 kW seviyelerindedir. Bu dalgalanmalar klima kompresörünün yük durumuna bağlıdır ancak sistemin ani güç taleplerine yanıt verebildiğini göstermektedir.

Bataryanın doluluk oranı 1800 saniyede yaklaşık %100'den %86'ya düşmüştür. Bu da bataryanın toplamda %14'lük bir enerji kaybı yaşadığını göstermektedir. Bu oran, bataryanın klima sistemini destekleyecek kadar yeterli kapasiteye sahip olduğunu ve enerji tüketiminin

kontrollü bir şekilde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Kompresörün çektiği güç zaman içinde dalgalı bir seyir izlemektedir. Maksimum güç çekişi 4 kW, minimum ise -3 kW civarındadır. Kompresör, yalnızca ihtiyaç olduğunda devreye girerek enerji tüketimini optimize etmektedir (Koyuncu ve Taşdelen, 2022).

4.4. İÇTEN YANMALI ARAÇ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

Motor devri arttıkça klimadan çekilen akım da artmaktadır. 1000 devir/dakikada yaklaşık 33 amper, 4000 devir/dakikada ise 54 amper seviyelerine ulaşmaktadır. İçten yanmalı motorlarda klima sistemi doğrudan motor gücüne bağlı olduğundan, motor devri arttıkça klima yükü de artmakta ve motoru daha fazla zorlamaktadır. Alternatör çıkış akımı motor devrine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Başlangıçta 2.4 amper olan çıkış akımı, 2000 devir/dakikada 1 amper seviyesine düşmekte ve ardından tekrar artış göstermektedir. Alternatörün düzensiz güç üretimi, içten yanmalı motorun klima performansını doğrudan etkilemektedir. Alternatörün yakıt tüketimi motor devrinden bağımsız olarak sabit kalmıştır (0.03 Litre). Alternatör sürekli çalışarak sabit bir yakıt tüketimi oluşturmakta ve bu da motorun ekstra yüklenmesine neden olmaktadır. Yakıt tüketimi sabit olsa da sistemin genel enerji verimliliği düşüktür (Çizelge 4.2).

Elektrikli araç ve içten yanmalı aracın birbirinden farklı çeşitli avantajları bulunmaktadır. Bu avantajları tespit etmek için her iki araçta kriterlerin karşılaştırılması gerekmektedir. Çizelge 4.3'te Elektrikli araç ve içten yanmalı aracın karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır:

Çizelge 4.3 Elektrikli araç ve içten yanmalı aracın karşılaştırmalı değerlendirmesi

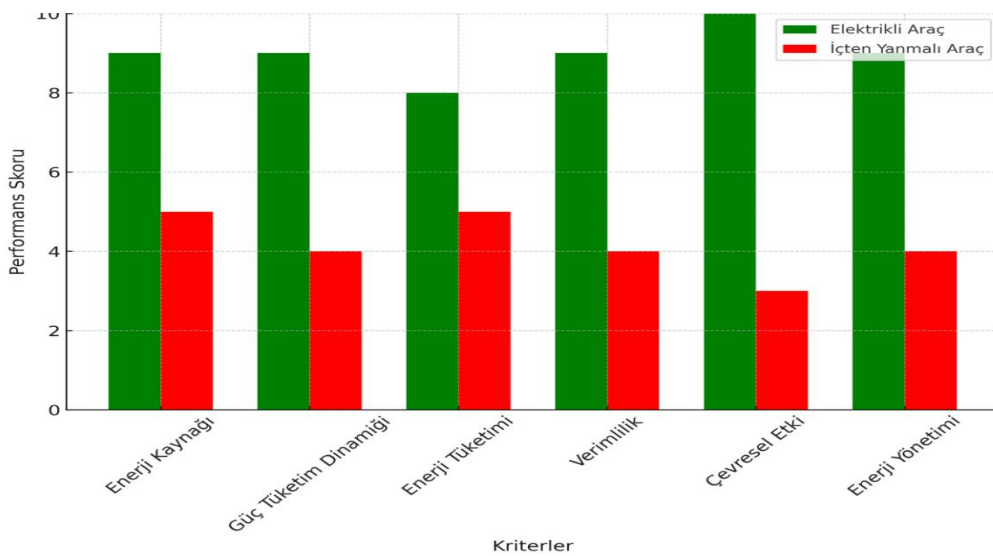
Kriter	Elektrikli Araç	İçten Yanmalı Araç
Enerji Kaynağı	Batarya	Yakıt + Alternatör
Güç Tüketim Dinamiği	Anlık ve optimize (dalgalı güç çekişi)	Motor devrine bağlı sürekli artan yük
Enerji Tüketimi (SOC veya Yakıt)	%14 batarya tüketimi	Sabit yakıt tüketimi (0.03 L) + artan motor yükü
Verimlilik	Yüksek (ihtiyaca göre enerji kullanımı)	Düşük (motor devrine bağımlı ve sabit yük)
Çevresel Etki	Sıfır emisyonlu, çevre dostu	Fosil yakıt kullanımı ve karbon salımı
Enerji Yönetimi	Dinamik ve verimli	Sabit ve verimsiz enerji kullanımı

Yapılan analizler sonucunda elektrikli araçların klima sistemlerinin enerji verimliliği açısından içten yanmalı araçlara kıyasla çok daha avantajlı olduğu görülmektedir. Elektrikli araçta klima sistemi, bataryadan aldığı enerjiyi anlık ihtiyaçlara göre optimize ederek daha az

enerji harcamakta ve batarya kapasitesini daha verimli kullanmaktadır. İçten yanmalı araçlarda ise klima sisteminin motor devrine bağlı olması, motoru daha fazla zorlamakta ve yakıt tüketimini artırmaktadır. Söz konusu durum elektrikli araçların uzun dönemde ekonomik olduğu fakat yüksek ilk yatırım maliyeti sebebiyle tercih edilebilirlik açısından değerlendirilmesi gerektiğini işaret eder niteliktedir. İşletme maliyeti daha az olan elektronik araçların batarya değişim maliyeti ve şarj alt yapısı da göz önünde bulundurulmalıdır. Elektrikli araçlarla kıyaslama yapıldığında içten yanmalı araçların yakıt fiyatı değişkenliğinden daha çok etkilendiği ve daha fazla menzile avantajı oluşturduğu bilinmektedir.

Elektrikli araçlar, anlık enerji tüketimi dalgalı ve optimize edilmiştir. Batarya tüketimi kontrollü bir şekilde gerçekleşmektedir. Enerji yönetimi daha verimli ve çevre dostudur. *Buna kıyasla içten yanmalı araçlar klimanın enerji tüketimi motor devrine bağlıdır. Alternatörün sabit yakıt tüketimi motor verimliliğini olumsuz etkiler. Fosil yakıt kullanımı çevresel açıdan olumsuzdur. Bu bağlamda, elektrikli araç klima sistemleri enerji verimliliği, çevre dostu yapısı ve optimize edilmiş enerji yönetimi sayesinde içten yanmalı motorlu araçlardan daha verimli bir performans sergilemektedir (Çizelge 4.3).*

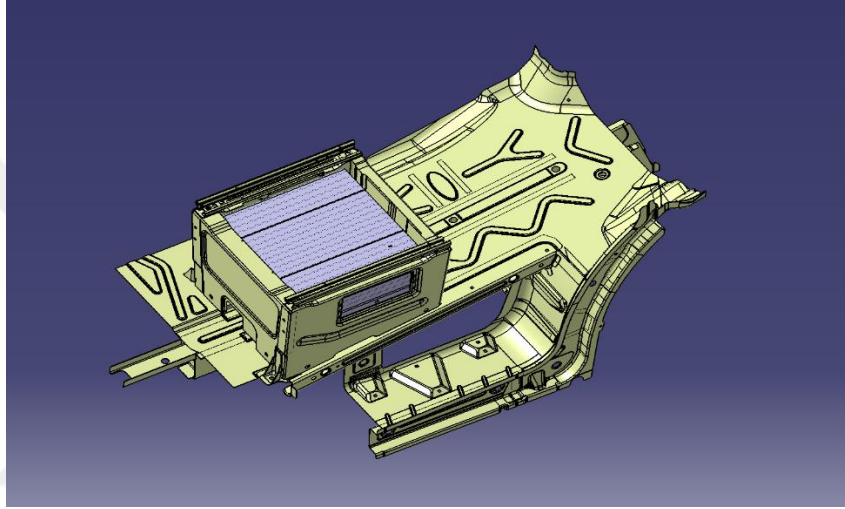
Farklı bir konu olarak enerji verimliliği bağlamında elektrikli araç ve içten yanmalı araçları kıyaslama mümkündür. Şekil 4.9’da elektrikli araç ve içten yanmalı araç menzile ve süre bakımından incelenmiştir:



Şekil 4.9 Elektrikli araç ve içten yanmalı araç verimlilik kıyaslaması

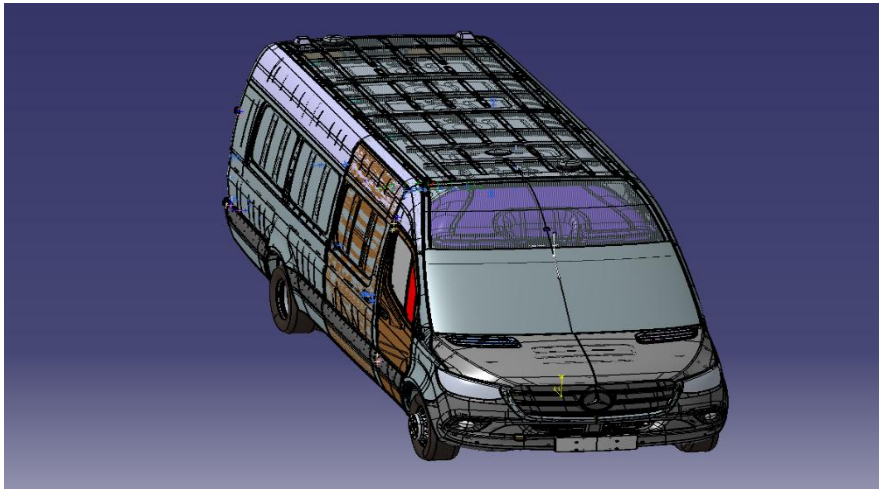
Enerji verimliliğinde elektronik araçlar daha üstün olsa da şarj ve menzil dezavantajı sebebiyle bazı kısıtlamaları içermektedir. İçten yanmalı araçlar kısa zamanda yakıt ikmali gerçekleştirerek uzun süreli yolculuklara daha elverişliken, elektrikli araçlarda ise şarj süresi kritik bir noktadır (Şekil 4.9).

Ticari taşımacılıkta menzil ihtiyacının fazla olması sebebiyle elektrikli araçların tam manasında içten yanmalı araçların yerine geçebilmesi için batarya teknolojilerinin ve şarj alt yapısının iyileştirilmesi oldukça önemlidir. Konuyla ilişkili olarak tasarlanmış ek batarya yönetim sisteminin dataları Şekil 4.10'te verilmiştir:



Şekil 4.10 Batarya yönetim sistemi datası

Benzer şekilde ek batarya yönetim sistemi sayesinde üst yapı dönüşümü tamamlanan aracın dataları da Şekil 4.11'de verilmiştir:



Şekil 4.11 Batarya yönetim sistemi uygulanan araç datası

Aracın elektrik sistemine ek batarya yönetimi entegre edilmiştir. Tasarlanan ek batarya yönetim sistemi bileşenleri ve montaj detayları bulunmaktadır (Şekil 4.10). Bu sistemin entegrasyonu ile üst yapı dönüşümü tamamlanmış bir aracın 3D modelini görmek mümkündür. Söz konusu dönüşüm, aracın enerji yönetimini optimize ederek, uzun menzil ve sürdürülebilir elektrik kullanımını gerçekleştirmek için önemlidir (Şekil 4.11).

4.5. MALİYET TABLOLARI İLE VERİMLİLİK KIYASLAMASI

Çalışmanın bu aşamasında maliyet tablolarından hareketle elektrikli araç ve içten yanmalı araç için verimlilik mukayeseleri yapılmıştır. İlk olarak çizelge 4.4'te elektrikli araç tüketimi ve maliyet analizi verilmiştir:

Çizelge 4.4 Elektrikli araç tüketim ve maliyet analizi

	Min yolcu	Ort yolcu	Max yolcu
YOLCU SAYISI	2	5	11
Klima	30A	40A	50A
USB Besleme (2A)	4A	10A	22A
ISA	3A	3A	3A
Dijital saat	1A	1A	1A
Basamak	10A	10A	10A
Kayar Kapı	10A	10A	10A
Elektrikli Sunroof	4A	4A	4A
NVR Sistemleri	6A	6A	6A
Aydınlatmalar	20A	20A	20A
Ses Sistemi	5A	5A	5A
Batarya Tüketim Max YOLCU (Ah)	x	x	131Ah
Batarya Tüketim Min YOLCU (Ah)	93Ah	x	x
Batarya Tüketim Ort YOLCU (Ah)	x	109Ah	x
Batarya kWh Maaliyeti (2,05TL/kWh)	2,3 TL	2,69 TL	3,22 TL

Elektrikli aracın minimum, maksimum ve ortalama yolcu sayısına göre 1 saatteki batarya tüketimi gösterilmiş ve güncel elektrik şarj fiyatı baz alınmıştır. Yolcu sayısı arttıkça bataryadan çekilen akım da artmıştır. Böylece enerji tüketimi ve maliyet artmaktadır (Çizelge 4.4).

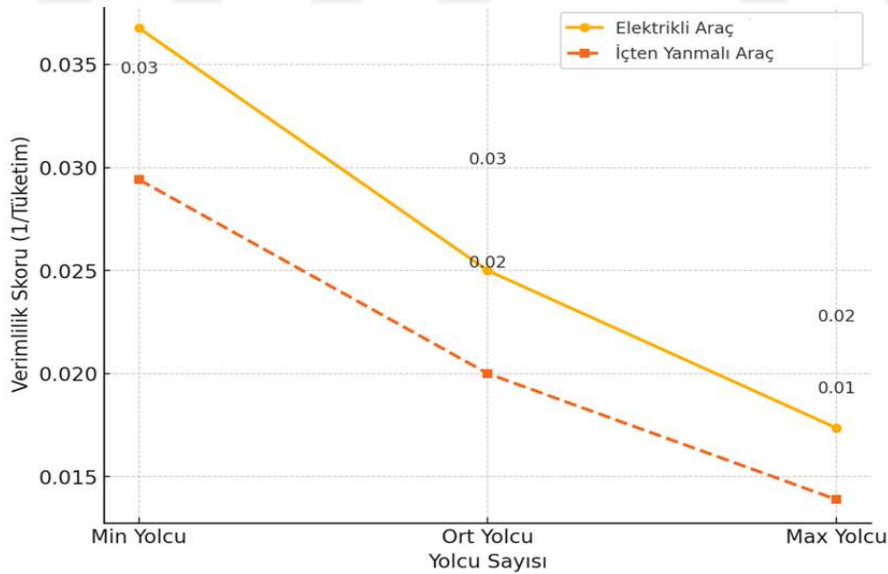
Elektrikli araçlar ve içten yanmalı araçlar arasında maliyet karşılaştırması yapmak yakıt ve enerji tüketimini, bakım maliyetlerini ve çevresel etkileri değerlendirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla iki sistem arasındaki avantajları tespit etmek gerekmektedir. Çizelge 4.5'te içten yanmalı aracın tüketim ve maliyet analizi verilmiştir:

Çizelge 4.5 İçten yanmalı araç tüketim ve maliyet analizi

	Min yolcu	Ort yolcu	Max yolcu
YOLCU SAYISI	2	5	11
Klima	30A	40A	50A
USB Besleme (2A)	4A	10A	22A
ISA	3A	3A	3A
Dijital saat	1A	1A	1A
Basamak	10A	10A	10A
Kayar Kapı	10A	10A	10A
Elektrikli Sunroof	4A	4A	4A
NVR Sistemleri	6A	6A	6A
Aydınlatmalar	20A	20A	20A
Ses Sistemi	5A	5A	5A
Yakıt Tüketim Max YOLCU (Ah)	x	x	131Ah
Yakıt Tüketim Min YOLCU (Ah)	93Ah	x	x
Yakıt Tüketim Ort YOLCU (Ah)	x	109Ah	x
Alternatör Yakıt Tüketimi (Lt) 200W=0,034lt	0,190lt	0,223lt	0,267lt
Yakıt Lt Maaliyeti (47,24TL)	8,98TL	10,5 TL	12,62 TL

İçten yanmalı aracın minimum, maksimum ve ortalama yolcu sayısına göre 1 saatteki yakıt tüketimi gösterilmiştir. Hesaplama sırasında güncel benzin litre fiyatı baz alınmıştır. Yolcu miktarı arttıkça benzin tüketiminin arttığı gözlemlenmektedir (Çizelge 4.5).

Elektrikli araç ve içten yanmalı araç verimlilik karşılaştırması yolcu sayılarına göre yapılmış elde edilen veriler şekil 4.12’de gösterilmiştir:



Şekil 4.12 Yolcu sayısına göre elektrikli araç ve içten yanmalı araç verimlilik karşılaştırması

Elektrikli aracın tüketimi %20 azaltılarak daha verimli olduğu görülmektedir. Sarı elektrikli aracın, turuncu ise içten yanmalı aracın verimliliğini temsil etmektedir. Elektrikli araç her yolcu sayısında daha yüksek verimlilik sağlamaktadır, bu da enerji tüketiminde daha avantajlı olduğunu göstermektedir (Şekil 4.5).



BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında elektrikli bir Mercedes Sprinter aracın üst yapı dönüşünü gerçekleştirebilmek için gerekli olan enerjinin sağlanması amacıyla ek batarya yönetim sistemi tasarlanmıştır. Elektrikli N2 sınıf panelvan aracın M2 sınıfı servis ve okul araçlarına dönüşümünde, 48V 5 kWh batarya ve 3.5 kW yerleşik şarj ünitesi (OBC) entegrasyonu başarılı sonuçlanmıştır. Batarya, hostes koltuğu altındaki baza içerisine yerleştirilmiş ve yerleşik şarj ünitesi Type 2 şarj soketi ile yalnızca 380V ve 220V şebeke gerilimlerinde maksimum 22 kW güçle çalışmaktadır. Batarya ve şarj sistemi arasındaki CAN Bus haberleşmesi, batarya durumu ve enerji tüketimini izlemeyi doğru bir şekilde sağlamıştır. Araç kontrol paneli, batarya verilerini göstererek üst yapı için harcanan güç ve enerji ihtiyaçlarını son kullanıcı ile paylaşmıştır. Bu entegrasyon, dönüşümü verimli ve güvenli bir şekilde gerçekleştirmiştir.

Enerji tüketimi ve verimliliği, içten yanmalı motorlu araçlarla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yapılan analizler ve simülasyonlar sonucunda aşağıdaki özgün bulgulara ulaşılmıştır:

Elektrikli araçların klima sistemi, doğrudan bataryadan beslenerek çalışmaktadır. Yapılan simülasyonlar, bataryadan çekilen gücün zamana bağlı olarak dalgalı bir yapıda olduğunu göstermiştir. Batarya gücündeki bu değişkenlik, sistemin ani yük taleplerine esnek şekilde yanıt verebildiğini göstermektedir. 1800 saniyelik süre boyunca batarya doluluk oranı (SOC) %100'den %86'ya düşmüş ve bataryanın toplam enerji kapasitesinin yalnızca %14'lük bir kısmı tüketilmiştir. Kompresör gücünde gözlemlenen dalgalanmalar, sistemin enerji talebine bağlı olarak optimum şekilde devreye girip çıktığını ve böylece enerji verimliliğini artırdığını ortaya koymuştur.

Elektrikli kompresörün dinamik yük taleplerini karşılayabilmesi, bataryanın uzun ömürlü ve verimli bir şekilde kullanılmasını desteklemektedir. İçten yanmalı araçlarda klima sistemleri, doğrudan motor gücüyle çalışan kompresörler ve alternatör üzerinden çalışmaktadır.

Gerçekleştirilen ölçümler sonucunda motor devri arttıkça klimadan çekilen akım da artmış ve bu durum motorun daha fazla zorlanmasına yol açmıştır. 900 devir/dakikada 34 amper olan klima çekiş akımı, 4000 devir/dakikada 54 amper seviyesine ulaşmıştır. Alternatör çıkış akımında dalgalanmalar gözlemlenmiş, bu durum enerji üretiminin motor devrine bağlı olarak verimsiz hale geldiğini göstermiştir. Alternatörün yakıt tüketimi sabit kalmış olsa da, motor üzerindeki yük artışı yakıt tüketimini dolaylı olarak artırmıştır.

Sonuç olarak, elektrikli araca entegre edilen ek batarya yönetim sistemi, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha verimli, çevre dostu ve sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışma, elektrikli araçlarda enerji yönetiminin optimize edilmesi gerektiğini ve özellikle yüksek enerji tüketen sistemlerde verimliliğin artırılmasının, batarya ömrü ve genel sistem performansı açısından kritik olduğunu göstermiştir.

Bu kapsamda, gelecekte yapılacak çalışmalarda elektrikli araçların enerji verimliliğini daha da artırmak için yenilikçi batarya teknolojileri, gelişmiş enerji yönetim sistemleri ve yüksek verimli kompresör tasarımları üzerine yoğunlaşılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Agarwal V** (2013) Introduction To Hybrid Electric Vehicles: State Of Art. *In 2013 Students Conference On Engineering And Systems (Sces)*.
- Akgundogdu A ve Karadeniz O** (2017) Elektrikli Araçlar İçin Batarya Paketi Ve Batarya Yönetim Sisteminin Gerçeklenmesi. *In World Electro Mobility Conference*, 1(1): 56-62.
- Aksoy A, Ene Yalçın S, Küçükoğlu İ ve Öztürk N** (2018) Elektrikli Kamyonlar İçin Açık Uçlu Rotalama Optimizasyonu. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 23(4): 1-10.
- Aktaş M ve Baygüneş B** (2020) Elektrikli Araç İçin Düşük Maliyetli Bir Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 227-238.
- Alao O D** (2017) Comparative Design And Analysis Of On-Board Charger Topologies In Ev Charging Systems For Optimum Performance. *Doctoral Dissertation*, Near East University, Graduate School of Applied Sciences, Electrical and Electronics Engineering, Nicosia.
- Bediroğlu G ve Genç Y G** (2023) Elektrikli Araç Satışları, Karbon Emisyonu ve Elektrik Tüketimi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 23(91):1192-1209
- Branth B and Leitman S** (2013) *Build Your Own Electric Vehicle, 3rd ed., ISBN: 978-0-07-161473-6, McGraw-Hill, e-kitap*.
- Chan C C** (2007) The State Of The Art Of Electric, Hybrid, And Fuel Cell Vehicles. *Proceedings Of The Ieee*, 95(4): 704-718.
- Çeri A S** (2019) N2 Kategorisi Bir Aracın M2 Kategorisine Dönüşümü İçin Bir Tse Standardı Oluşturulması. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Çıkan M ve Nacar Çıkan N** (2024) Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Enerji Dağıtım Hatlarına Optimum Şekilde Konumlandırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(2): 340-363.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Demirkale B ve Güven F** (2017) Kinetik Enerji Geri Kazanım Sistemlerinin Elektrikli Araçlarda Kullanımının İncelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (6): 1550-1557.
- Doğru M B** (2019) Topoloji Optimizasyonu Yardımıyla Bir Alternatörün Tasarım Eniyilemesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Doğan E ve Narin M** (2024) Enerji Sektöründe Dijitalleşme ve Blokzincir Teknolojisindeki Gelişmenin Ekonomik Etkileri. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 10 (1): 125-148.
- Doğan U, Erfidan T ve Bilgin M Z** (2016) Elektrikli Araçlarda Faydalı Frenleme Enerjisinin Depolanması. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(2).
- Durmuş F ve Kaymaz H** (2020) Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri. *Kıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(2): 123-139.
- Efe Ş ve Güngör Z** (2021) Geçmişten Günümüze Batarya Teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32): 947-955.
- Efendi, A** (2022) *Pompa Tipleri Pompa ve Kompresör*, 1st ed., ISBN: 978-605-320-831-0, Penerbit Andi, e-kitap,
- Eker M, Eser E ve Günay İ** (2023) Elektrikli Araçlar İçin Lityum İyon Bataryalarda Sağlık Ömrünün Belirlenmesi. *Journal Of New Results In Engineering And Natural Science*, 19: 54-63.
- Gültek E ve Altın S** (2022) Lifepo4 Bataryalarda Güncel Çalışmalar. *Turkish Journal Of Engineering Research And Education*, 1(2): 108-119.
- Grammatico S** *A Series-Parallel Hybrid Electric Powertrain for Industrial Vehicles*. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC 2010), 1-3 Eylül 2010, Lille, France, IEEE.
- Gürbüz Y ve Kulaksız A A** (2016) Elektrikli Araçlar İle Klasik İçten Yanmalı Motorlu Araçların Çeşitli Yönlerden Karşılaştırılması. *Güfbed/Gustij*, 6 (2): 117-125
- Inamdar S, Thosar A and Mante S** *Literature Review of 3.3 kW On-Board Charger Topologies*. Presented at 2019 3rd International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, 12-14 June 2019, Coimbatore, India, ss. 276-281.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kaymaz H ve Hançar Y** (2021) Elektrikli Araç Batarya Yönetim Sistemleri İçin Hücre Eşitleme Yöntemleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 4(1):59-73.
- Kılıç E** (2019) Da-Da Yükselten Dönüştürücü İle Elektrikli Araç Batarya Şarj Cihazı Tasarımı. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(4): 281-287.
- Kırmızıgül İ E ve Baykal B** (2023) Elektrikli Araç Tercihinde Tüketici Motivasyonu. *Sosyal Bilimler Metinleri*, (2): 223-241
- Koyuncu M ve Taşdelen K** (2022) Kü Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi ve CAN Bbus Veri Trafiğinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Bölüm C: Tasarım Ve Teknoloji*, 10(4): 884-894.
- Kozak M ve Kozak Ş** (2012) Enerji Depolama Yöntemleri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(2): 17-29.
- Köksal E, Ardiyok Ş ve İkiler B** (2024) Türkiye’de Elektrikli Araçlar İçin Şarj Altyapısı Nasıl Yaygınlaşır?. *Ekonomi-Tek*, 13(1):84-121.
- Kundakcı İ M** (2016) Elektrikli Araç Tasarımı ve Batarya Dengeleme Sistemi. *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Lajunen A S** (2016) Electric And Hybrid Electric Non-Road Mobile Machinery–Present Situation And Future Trends, *World Electr. Veh. J.*, 8(1):172-183.
- Li R, Liu C and Luo F** (2008) A Design For Automotive CAN Bus Monitoring System. *N 2008 Ieee Vehicle Power And Propulsion Conference*, 1-5.
- Li X V** *Assessment of Efficiency Improvement Techniques for Future Power Electronics Intensive Hybrid Electric Vehicle Drive Trains*. Elektrik Gücü Konferansı, 15-17 Mayıs 2007, Kanada, IEEE, ss. 268-273
- Lokman S, Othman A and Abu-Bakar M** (2019) Intrusion Detection System For Automotive Controller Area Network (Can) Bus System: A Review. *Eurasip Journal On Wireless Communications And Networking*, 1-17.
- Menak R, Karadağ T, Altuğ M ve Tan N** (2021) Elektrikli Araçlarda Batarya Yönetim Sistemleri Üzerine Bir Derleme Çalışması. *Gazi University Journal Of Science Part A: Engineering And Innovation* 8(2):234-275.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Menekşe M D** (2023) Elektrikli Araçlarda Cruise Control Sistem Tasarımı ve Model Bazlı Parametre Optimizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 7 s.
- Oğuz E** (2006) Ermetik Soğutucu Akışkan Kompresörlerinde Zamana Bağlı Isı Transferinin Kompresör Performansına Etkisinin İncelenmesi. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 8 s.
- Söyünmezoğlu B, Buğra E ve Bavtar G** (2015) Ticari Araç Silecek Sistemlerinde Akım Paylaşımlı Fırçalı Dc Motor Sürücü Tasarımı Ve Optimizasyonu. Uluslararası Thales Yaşam, Mühendislik Kongresi Mimarlık Ve Matematik Kongre Tutanakları Kitabı
- Turğut M** (2018) Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Karabük, 19 s.
- Yağci A** (2011) Değişken Kapasiteli Bir Kompresörde Minimum 1200 Rpmde Sorunsuz Çalışabilen Kompresör Krank Mili Tasarımının Gerçekleştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, 36 s.
- Yenigün M ve Utlı Z** (2016) Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Soğutma Sistemlerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 59(692): 35-47.
- Yıldırım Ö** (2025) Elektrikli Araçlarda M2 Sınıf Üstyapı Dönüşümü İçin Batarya Ve Şarj Sistemi Entegrasyonu. *14. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi*.

ÖZGEÇMİŞ

Eğitim hayatıma Zonguldak Anıl Cömert İlköğretim Okulu'nda başladım, ardından Başöğretmen Anadolu Lisesi'ne devam ettim. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldum. Aldığım eğitimle birlikte kendimi sürekli geliştirmeye önem veriyor ve alanımda yeni bilgiler edinmeye açık bir mühendis olarak kariyerime yön veriyorum.

İLETİŞİM BİLGİLERİ: