T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERDE KULLANILAN BATARYA PAKETLERİNİN YENİDEN KULLANIMI İÇİN YÖNTEM ÖNERİLMESİ

Tuba GÜVEN ZURNACI

DANIŞMAN
Prof. Dr.Fırat KAÇAR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

Haziran, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Tuba GÜVEN ZURNACI tarafından, **Prof. Dr. Fırat KAÇAR** danışmanlığında hazırlanan **" ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERDE KULLANILAN BATARYA PAKETLERİNİN YENİDEN KULLANIMI İÇİN YÖNTEM ÖNERİLMESİ "** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **23/06/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Prof. Dr. Fırat KAÇAR İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Yasin ÖZÇELEP İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Muhammed Emin BAŞAK Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret

Annem Leyla GÜVEN /Babam Erol GÜVEN /Eşim Serdar ZURNACI/Çocuklarım Dokuz ve Dora ZURNACI' ya ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERDE KULLANILAN BATARYA PAKETLERİNİN YENİDEN KULLANIMI İÇİN YÖNTEM ÖNERİLMESİ

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Elektrikli araç hikayemizin başladığı İstanbul Üniversitesi SOCRAT ve YEREL projelerinin ardından tanıştığımız, parçası olmaktan her an gurur ve heyecan duyduğum GÜNSEL şirketinin CEO'su ve Yakın Doğu Oluşumunun Mütevelli Heyeti Başkanı Prof.Dr.Suat İrfan GÜNSEL'e şimdiye kadar olan tüm destekleri için teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Otomotiv sektörü gibi zor bir sektörde birlikte sıfır noktasından başladığımız, üniversite yıllarından itibaren yol arkadaşlarım olan Serdar ZURNACI, Aydın ALÇI, Halil YAKAR, Sertel TANTA ve Yalvaç AKGÜN'e teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans boyunca bana yön gösteren, desteklerini eksik etmeyen değerli hocam Prof.Dr.Fırat KAÇAR'a minnetlerimi sunar teşekkürü bir borç bilirim.

Her zaman yanımda olan, fikir alışverişi yaptığım eşim Serdar ZURNACI' ya özellikle bir kez daha çok teşekkür ederim.

Bana her zaman güvenen ve destekleri ile yanımda olan tüm aile bireylerime teşekkür ederim.

Haziran 2023 Tuba GÜVEN ZURNACI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xiv**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **4**
2.1. Elektrikli Araç Pazar Araştırması 4
2.1.1. Elektrikli Araç Türleri 4
2.1.2. Elektrikli Araçların Üretim Beklentileri 6
..... 7
2.1.3. Yasal Kısıtlar 9
2.2. Pil Teknolojileri 10
2.2.1. Silindirik Hücre 11
2.2.2. Kese Tipli Hücreler 11
2.2.3. Prizmatik Tipli Hücreler 12
2.2.4. Elektrikli Araçlarda Tercih Edilen Pillerin Kimyasal İçeriği 12
2.3. Elektrikli Araçlarda Batarya Paketi Ömrü 14
2.4. Hücre Birleştirme Metotları 16
2.4.1. Ark Kaynak 16
2.4.2. Ultrasonik Kaynak 16
2.4.3. Lazer Kaynak 17
2.5. Batarya Paketi Tasarım Kriterleri 18
2.5.1. Market ve Yasal Gereksinimler 18

2.5.2. Fonksiyonel Gereksinimler 19
2.6. Batarya Paketinde Kullanılan Komponentler 19
2.7. Elektrikli Araç Üreticilerinin Geri Dönüşüm ya da Yeniden Kullanım için Batarya Paketi Çözümleri 22
3. YÖNTEM 24
3.1. Süreç Yönetimi 24
3.1.1. Batarya Paketlerinin Toplanması 25
3.1.2. Birinci Yaşam Döngüsü Tamamlanmış Batarya Paketinin Kontrolü 26
3.1.3. Bakım / Tamir 27
3.1.4. İkinci Yaşam Döngüsüne Başlangıç 28
3.2. Standartlaşma 30
3.2.1. Elektriksel Komponentler 31
3.3. Batarya Yönetim Sistemi 34
3.3.1. Ön Şarj Devresi 37
3.4. Kategorizasyon 37
3.5. Batarya Paketi Gerilim Önerisi 38
4. BULGULAR 39
4.1. Direk Kullanım Metodunda Farklı Batarya Paketlerinin Birleştirilmesi 39
4.1.1. Şarj Protokolü 40
4.1.2. Deşarj Protokolü 42
4.2. Şarj & Deşarj Protokollerinin Simülasyonu / Doğrulaması 43
5. TARTIŞMA 53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 55
KAYNAKLAR 57
EKLER 62
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 78
ETİK KURUL İZİN YAZISI 79
KURUM İZNİ YAZILARI 80
ÖZGEÇMİŞ 81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1: BEV görseli [3] 5
Şekil 2: PHEV görseli [3] 5
Şekil 3: HEV görseli [3] 6
Şekil 4: 2013 – 2022 yılları arasındaki tahmini elektrikli araç satış rakamları [1] 7
Şekil 5: 2020 - 2040 Tahmini Elektrikli Araç Satış Rakamları [4] 7
Şekil 6: 2020 - 2025 Tahmini Elektrikli Kamyon Üretim Adetleri[5] 8
Şekil 7: Avrupa'daki Emisyon [6] 9
Şekil 8: İçten Yanmalı Araçların Ülkelere Göre Satışının Durdurulma Tarihleri [9] 10
Şekil 9: Hücre Tipleri [13] 11
Şekil 10: Lityum iyon hücrelerin kıyaslaması 13
Şekil 11: Batarya Yaşam Döngüsü [20] 15
Şekil 12: SoH - Yaşam Döngüsü İlişkisi [20] 15
Şekil 13: Ultrasonik Tel Kaynağı Örneği 17
Şekil 14: Silindirik Hücre - Modül - Batarya Paketi Mimarisi 19
Şekil 15: Batarya Paketi 20
Şekil 16: BMS Bağlantı Şematiği 22
Şekil 17:Batarya Paketlerinin Yeniden Kullanım Örnekleri [25] 23
Şekil 18: Yeniden Kullanım / Geri Dönüşüm Süreç Yönetimi 25
Şekil 19: SoC & SoH grafiği [28] 27
Şekil 20: Yüksek Gerilim Otomotiv Konnektörü 31
Şekil 21: Düşük Gerilim Otomotiv Konnektörü 32
Şekil 22: Yüksek Gerilim Konnektörü - Erkek Taraf [33] 32

Şekil 23: Düşük Gerilim Konnektörü - Erkek Tarafı [34] 33
Şekil 24: BMS durum diyagramı 34
Şekil 25: Sistem Kontrolcüsü - BMS Bağlantısı 35
Şekil 26: Şarj İş Akışı 40
Şekil 27: Lityum İyon Hücre CC-CV Şarj 41
Şekil 28: Deşarj İş Akışı 42
Şekil 29: Batarya Paketlerinin Konfigürasyon Şematiği 44
Şekil 30: Şarj & Deşarj Protokolleri Ana Çizelge Görseli 45
Şekil 31: Şarj & Deşarj & Kapalı & Bekleme ve Hata Durumları 46
Şekil 32: SoH Kontrol Fonksiyonu 46
Şekil 33: SoC Durum Kontrol Fonksiyonu 47
Şekil 34: Şarj Protokolü 48
Şekil 35: Deşarj Protokolü 49
Şekil 36: Kapalı ve Bekleme Durumu 50
Şekil 37:GUI Tasarımı 51
Şekil 38: Hatasız Şarj Durumu 51
Şekil 39: Hatasız Deşarj Durumu 52
Şekil 40: Hata Durumu 52

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1: UNECE Taşıt Sınıflandırması 4

Tablo 2: Hücre Tiplerinin Karşılaştırılması 12

Tablo 3: Hücre Tiplerine Göre Birleştirme Metotları [21] 16

Tablo 4: Hücre Birleştirme Metotları [22] 17

Tablo 5: Örnek Batarya Paketlerinin Konfigürasyonları 43

Tablo 6: Elektrikli Araçlara Geçiş için Avrupa Hükümet Emirleri 62

Tablo 7: Elektrikli Araçlara Geçiş için Kuzey,Orta ve Güney Amerika Hükümet Emirleri ... 64

Tablo 8: Elektrikli Araçlara Geçiş için Asya Hükümet Emirleri 66

Tablo 9: Elektrikli Araçlara Geçiş için Afrika Hükümet Emirleri 67

Tablo 10: Elektrikli Araçlar ve Batarya Tipleri & Çalışma Gerilimleri 68

Tablo 11: Yeniden Kullanım Örnekleri [36] 76

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
BEV	: Bataryalı Elektrikli Araç (Battery Electric Vehicle)
FCEV	: Yakıt Hücreli Elektrikli Araç (Fuel Cell Electric Vehicle)
PHEV	: Dışarıdan Şarj Edilebilen Hibrit Elektrikli Araç (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç (Hybrid Electric Vehicle)
CO_2	: Karbondioksit
UNECE	: Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (The United Nations Economic Commission for Europe)
NCA	: Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit (Lithium nickel cobalt aluminum oxide)
NMC	: Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (Lithium nickel manganese cobalt oxide)
LFP	: Lityum Demir Fosfat (Lithium iron phosphate)
AL	: Alüminyum
SoC	: Şarj Durumu (State of Charge)
SoH	: Sağlık Durumu (State of Health)
VCU	: Araç Kontrol Ünitesi (Vehicle Control Unit)
BMS	: Batarya Yönetim Sistemi (Battery Management System)
OCV	: Açık Devre Gerilimi (Open Circuit Voltage)
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı (Unlimited Power Supply)
CC	: Sabit Akım (Constant Current)
CV	: Sabit Gerilim (Constant Voltage)

ÖZET

[YÜKSEK LİSANS TEZİ]

ELEKTRİKLİ OTOMOBİLLERDE KULLANILAN BATARYA PAKETLERİNİN YENİDEN KULLANIMI İÇİN YÖNTEM ÖNERİLMESİ

[Tuba GÜVEN ZURNACI]

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

[Danışman : Prof. Dr. Fırat KAÇAR]

[Elektrikli araç üretiminin hızla arttığı günümüzde, elektrikli araçlarda ömrünü doldurmuş batarya paketlerinin yeniden kullanım/geri dönüşüm metotlarının olup, olmadığı var ise nasıl bir yol izleneceği henüz belli değildir. Tez kapsamında batarya paketlerinin otomotiv sonrası kullanımlarının mümkün olup, olmadığı incelenerek, batarya paketlerinin ikinci yaşam döngüsü için prosedür tanımlaması yapılmış ve yeniden kullanım metotları belirtilmiştir.

Batarya paketlerinin yeniden kullanım süreçlerinin hızlandırılması için batarya paketlerinde kullanılan komponentlerin ve BMS yazılımının ortaklaştırılmasına karar verilmiştir.

Geri dönüşüm süreçlerinin kolaylaştırılması için hücre birleştirme yöntemleri incelenerek, geri dönüşüm için uygun metoda karar verilmiştir.]

Haziran 2023 , [95] sayfa.

Anahtar kelimeler: [Elektrikli Araç Batarya Paketi, Batarya Paketlerinin Yeniden Kullanımı, Batarya Paketlerinin Geri Dönüşümü, Döngüsel Ekonomi]

ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

[THE METHOD PROPOSAL FOR THE REUSE OF BATTERY PACKS USED BY ELECTRIC VEHİCLES

Tuba GÜVEN ZURNACI]

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronics Engineering

Programme of Electrical and Electronics Engineering

[Supervisor : Prof. Dr. Fırat KAÇAR]

[In today's world where electric vehicle production is increasing rapidly, it is not yet clear whether there are reuse/recycling methods for battery packs that have expired in electric vehicles, or if there are, what kind of path will be followed. Within the scope of the thesis, whether it is possible to use the battery packs after automotive or not, the procedure for the second life cycle of the battery packs is defined, and the reuse methods are specified.

In order to accelerate the reuse processes of battery packs, it was decided to combine the components and BMS software used in battery packs.

To speed up the recycling processes, cell assembly methods were examined and the appropriate method for recycling was decided.]

June 2023, [95] pages.

Keywords: [Electric Vehicle Battery Pack, Repurpusing of the Battery Packs, Recycling of the Battery Packs, Circular Economy]

1. GİRİŞ

Elektrikli araçların son yıllarda üretim adetlerinin ve popülerliğinin artması ile birlikte yüksek gerilim ile çalışan batarya paketlerinin de gelişim hızı artmıştır. Her geçen yıl hem pil maliyetleri düşüş göstermekte hem de enerji yoğunlukları daha yüksek piller üretilebilmektedir. 2023 yılı sonuna kadar 40 milyon binek elektrikli aracın yollarda olması beklenmektedir [1].

Yeşil enerjinin devamlılığı ve devletler tarafından çevrenin korunması amaçlı yasalar nedeni ile enerjinin üretim biçiminden başlayarak, kullanılan komponentlerin çevreye zararları ve kullanılan malzemelerin ne kadarının geri kullanılabilir/dönüştürülebilir olduğu daha da önemli bir hale gelmektedir. Ülkelerdeki yasalar ve regülasyonlarla elektrikli araç üreticilerinin geri dönüştürme oranlarını denetim altında tutulmakta ve daha fazla geri dönüştürülebilir malzeme / sistem kullanması teşvik edilmektedir. Elektrikli araçlardaki hem hacimsel olarak büyük hem de maliyet olarak kritik komponentlerden birisi batarya paket/leridir. Batarya paketlerinin ise yeniden kullanılabilir olması çok kritik ve henüz net bir çözümü bulunamamış bir konudur.

Ömür & enerji kapasitesi kriterleri dikkate alındığında otomotiv sektöründe daha çok lityum iyon içerikli hücreler tercih edilmektedir. Lityum iyon hücreler silindirik, kese (pouch) ya da prizmatik hücre kılıflarında temin edilebilmektedir. Batarya paketi üreticileri (kimi zaman araç üreticileri kendi bünyelerinde üretmeyi tercih etmektedir), enerji ihtiyacı, boyut, hücre beklentileri ve otomotiv üreticisinin beklentilerini göz önüne alarak uygun paketleme metotlarına karar vererek, batarya paketlerinin üretimlerini yapmaktadır.

Hem araç hem de batarya paketi seviyesinde otomotiv üreticileri tarafından kullanıcıya sunulan bir ömür süresi bulunmaktadır. Belirtilen ömür sonrası araç menzilinde azalma ve performans kaybı olacağı için, pil paketlerinin değişimi önerilmektedir. Ancak değişen batarya paketlerinin daha sonra nerede ve nasıl kullanılacağı, nasıl geri dönüştürüleceği büyük bir soru işaretidir. Diğer bir yandan da bu sorunun ana muhatabının kim olduğu da belli değildir.

Batarya paketlerinin yeniden kullanım ve geri dönüşümünün önemli bir konu olduğunu doğrulamak için öncelikli olarak piyasada elektrikli otomobillerin gelecek yıllardaki araç satış

rakamları irdelenecektir. Bu araştırma ile tez konusu kapsamındaki yeniden kullanım ve geri dönüşümün gerçekten piyasanın bir ihtiyacı olup, olmadığı tekrar doğrulanacaktır.

Batarya paketlerinin elektrikli otomobillerdeki kullanımı sonrasında hala kullanıp, kullanılamayacağı araştırılacaktır. Özellikle batarya paketlerinin yeniden kullanımının değerlendirmesi için pil paketlerinin otomotiv kullanımı sonrasındaki kalan ömürleri araştırılacaktır.

Otomobillerin hedef pazarlarına bağlı olarak, tabi oldukları regülasyonlar / kurallar bulunmaktadır. Araç tasarımları yapılırken, bu kurallar dikkate alınarak yapılmaktadır. Aksi halde üretilen araçlar hedeflenen pazarlarda satılamazlar. Avrupa marketi için, batarya paketinin tasarım, üretim ve doğrulamaları için zorunlu olan regülasyon/kuralların listeleri çıkarılarak, yeniden kullanım için bir kısıt olup, olmayacağı belirlenecektir.

Batarya paketlerinde kullanılan lityum hücrelerin kimyasal içerikleri, hücrelerin paketleme tipleri ve bu hücrelerin birleştirme metotları incelenecektir. Piyasadaki elektrikli araçlar araştırılıp, çalışma gerilimleri ve hücrelerin paketleme tipleri araştırılarak listelenecektir. Araştırma sonrasında geri dönüşüm için uygun olan hücre birleştirme yöntemine karar verilecektir.

Her araç üreticisi batarya paketi tasarımında kendi gereksinimlerine göre komponent seçimi ve fonksiyon belirlemesi yapmaktadır. Bu durum araçlardaki batarya paketinin birbirlerinden farklı olmasına neden olmaktadır. İkinci yaşam döngüsünde farklı batarya paketlerinin birlikte kullanımı maliyet ve zaman açısından avantajlı olacaktır. Bu doğrultuda, batarya paketi tasarım kriterleri ile birlikte kullanılan komponentler incelenerek, yeniden kullanımın kolaylaşması için komponent ortaklaştırılması araştırılacaktır. Komponent ortaklaştırılması mümkün ise, öneriler sunulacaktır. Bu sayede farklı batarya paketleri ile enerji depolama sistemi tasarlamanın yolları bulunacaktır.

Batarya yönetim sistemlerinde olması gereken minimum özellikler belirlenerek, farklı üreticilerin batarya paketlerinin ikinci yaşam döngüsündeki ortak kullanımı için standartlaştırma önerileri sunulacaktır.

Batarya paketlerinin ikinci yaşam döngüsü için standart ya da regülasyonların olup, olmadığı araştırılacaktır. Prosedürler ve süreç tanımlı değil ise adımlar belirlenip, tanımlanacaktır.

Şimdiye kadar üretilen batarya paketlerinin ikinci yaşam döngüsünde nasıl kullanıldığı irdelenecektir. Farklı batarya paketleri ile oluşturulmuş enerji depolama sistemleri için şarj ve deşarj protokolleri belirlenecektir. Bu sayede farklı batarya paketlerinin birleştirilip, birleştirilemeyeceği irdelenecektir.

Elektrik-Elektronik mühendisliği bakış açısı ile geri dönüşüm kapsamındaki öneriler ve yenilikler sunulacaktır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Tezin bu bölümü içerisinde, elektrikli araç pazar araştırması kapsamında elektrikli araç türleri ve gelecek yıllardaki üretim hacimleri ile birlikte elektrikli araçların üretim adetlerinin artmasına neden olacak ülkelerin getirdiği yasal kısıtlar incelenecektir.

Geri dönüşümün mümkün olup, olmayacağının anlaşılması için pil teknolojileri ve birleştirme metotları araştırılacaktır. Batarya paketinin ikinci yaşam döngüsünde, yeniden kullanımının mümkün olup, olmadığının sorgulanması için elektrikli araçlardaki kullanım süreleri ve pillerin kalan kapasiteleri irdelenecektir.

2.1. Elektrikli Araç Pazar Araştırması

2.1.1. Elektrikli Araç Türleri

UNECE regülasyonlarına göre, karayolu taşıtları Tablo 1'deki gibi M1, M2 ve M3 kategorilerinde sınıflandırılmaktadır [2].

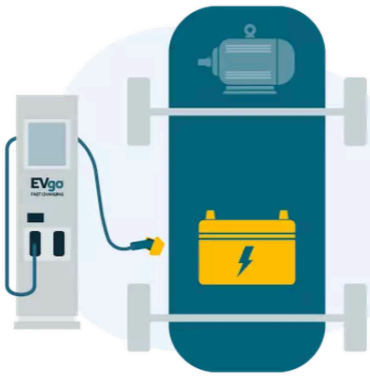
Tablo 1: UNECE Taşıt Sınıflandırması

Kategori	Açıklama
M1	Yolcu taşımacılığı için kullanılan ve sürücü koltuğuna ek olarak 8'den fazla koltuğu olmayan araçlar
M2	Yolcu taşımacılığı için kullanılan, sürücü koltuğuna ek olarak 8'den fazla koltuğu bulunan ve ağırlığı 5 tonu aşmayan araçlar
M3	Yolcu taşımacılığı için kullanılan, sürücü koltuğuna ek olarak 8'den fazla koltuğu bulunan ve ağırlığı 5 tondan fazla olan araçlar

Elektrikli araçlar piyasa da ise BEV, PHEV, FCEV ve HEV türlerinde bulunmaktadır.

2.1.1.1. Bataryalı Elektrikli Araç

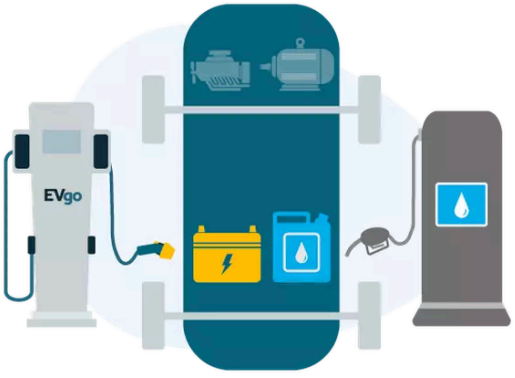
Bataryalı elektrikli araçlar, enerji ihtiyaçlarını araç içerisinde bulunan şarj edilebilir batarya paketlerinden sağlayan, sıfır emisyonlu, elektrik motoru ile tahrikleri sağlanan araçlardır. Şekil 1'de sembolik bir BEV görseli bulunmaktadır.



Şekil 1: BEV görseli [3]

2.1.1.2. Dışarıdan Şarj Edilebilen Hibrit Elektrikli Araç

Dışarıdan şarj edilebilen hibrit elektrikli araçlar hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor ile tahrikleri sağlanan, hem şarj edilebilir bir batarya paketine hem de benzin deposuna sahip olan araçlardır. Şekil 2'de sembolik bir PHEV görseli bulunmaktadır.



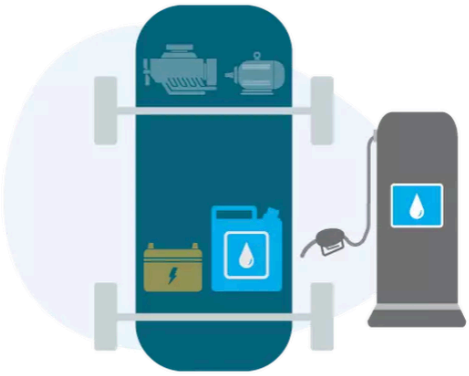
Şekil 2: PHEV görseli [3]

2.1.1.3. Yakıt Hücreli Elektrikli Araç

Yakıt hücreli elektrikli araçlar, enerji ihtiyaçlarını araç içerisinde bulunan yakıt hücrelerinden sağlayan, sıfır emisyonlu, elektrik motoru ile tahrikleri sağlanan araçlardır. Kimyasal enerji, araç içindeki dönüştürücüler ile elektrik enerjisine çevrilir ve bu enerji direk olarak elektrik motorunu beslemektedir.

2.1.1.4. Hibrit Elektrikli Araç

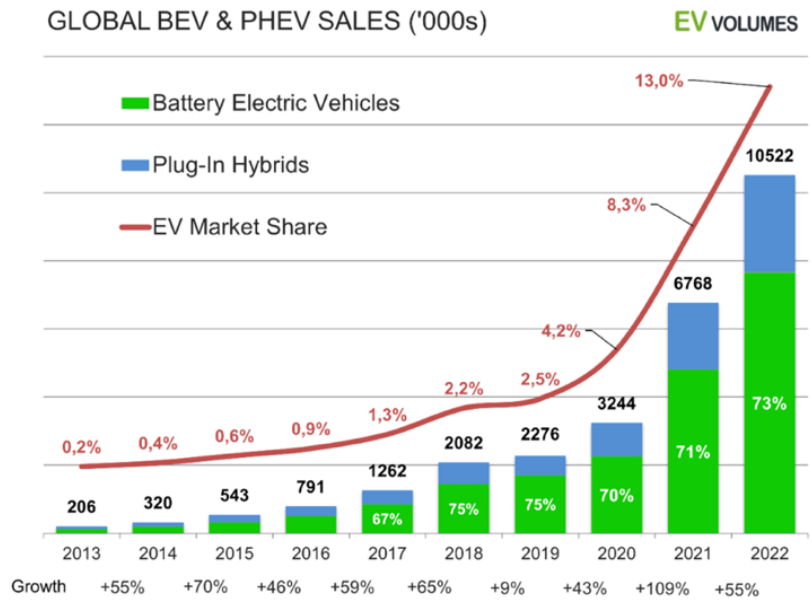
Hibrit elektrikli araçlar, içten yanmalı motor ve elektrik motorunun kombinasyonları ile tahrikleri sağlanan, dışarıdan batarya paketleri şarj edilemeyen araçlardır. Şekil 3'de sembolik bir HEV görseli bulunmaktadır.



Şekil 3: HEV görseli [3]

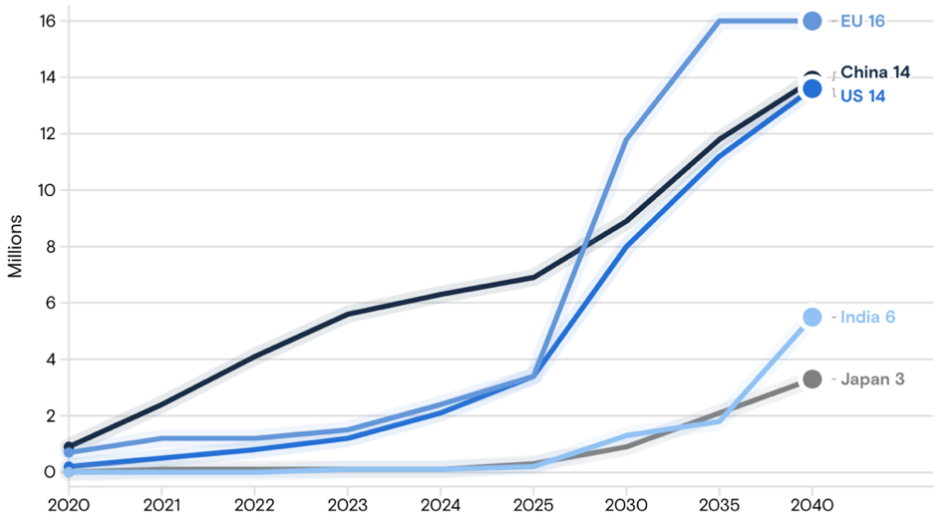
2.1.2. Elektrikli Araçların Üretim Beklentileri

Yapılan araştırmalara göre [4], elektrikli araçlar son yıllarda üretim adetlerini ciddi oranlarda arttırmıştır. Şekil 4'de 2013 – 2022 seneleri arasında gerçekleşen elektrikli araç satış rakamları görülmektedir.[4] Ülkelerin sıfır karbon emisyon hedefi ile getirmiş olduğu yasal kısıtların, gelecek yıllardaki araç üretim hızını daha da arttıracağı beklenmektedir.



Şekil 4: 2013 – 2022 yılları arasındaki tahmini elektrikli araç satış rakamları [1]

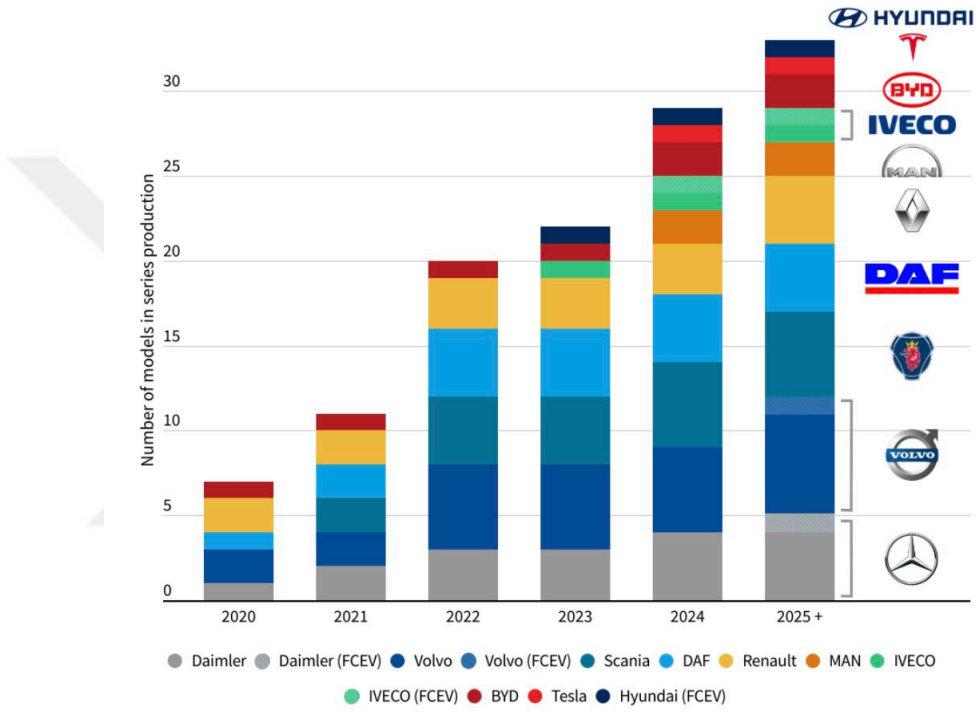
Yapılan araştırmalara göre [4], 2022 yılı sonunda toplamda yaklaşık olarak 10 Milyon elektrikli araç yollarda idi. Bu rakam pazarın %2'si iken, 2040 yılında satış oranlarının artması ile birlikte pazarın %61'inin elektrikli araçlardan oluşması beklenmektedir. Şekil 5'de 2020-2040 yılları arasında dünyadaki tahmini elektrikli araç satış rakamları görülmektedir.



Şekil 5: 2020 - 2040 Tahmini Elektrikli Araç Satış Rakamları [4]

Şekil 5'e göre, 2020 senesinde yollarda yaklaşık 2 milyon elektrikli araç var iken bu sayının 2040 yılına kadar 73 milyon olması öngörülmektedir.

Binek elektrikli otomobillerin yanında diğer taşıt kategorilerinin de elektrikli motorlara yöneldiği görülmektedir. Şekil 6'da 2020 yılı sonrasındaki elektrikli kamyonların üretim beklentileri görülebilmektedir. Kamyonların düşük üretim adetleri göz önüne alındığında, kamyonların ciddi bir şekilde elektrikliye dönüşeceği görülmektedir.

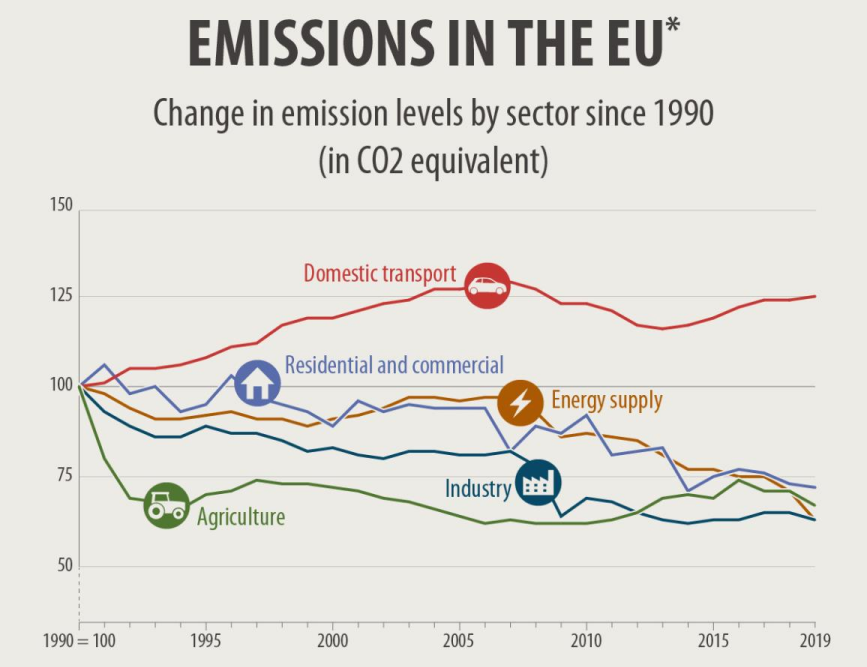


Şekil 6: 2020 - 2025 Tahmini Elektrikli Kamyon Üretim Adetleri[5]

Bu tez çalışması, M1, M2 ve M3 kategorilerindeki BEV ve PHEV'lerin batarya paketlerinin yeniden kullanım/geri dönüşümünü kapsayacaktır. Hibrit elektrikli araçlar, küçük bir batarya paketine sahip olduğu, yakıt hücreli elektrikli araçlarda da batarya paketi bulunmadığı için çalışma dışında bırakılmıştır.

2.1.3. Yasal Kısıtlar

Avrupa sıfır karbon emisyon hedefi ile birlikte yeşil enerjiye yoğunlaşmış ve karbon emisyonunu düşürmek amacıyla birçok yasal kısıt getirmeye başlamıştır. Araştırmalara göre [6], karbon emisyonu en çok olan sektör ulaşım sektörüdür. Şekil 7'de Avrupa'daki sektörlerin emisyon değerlerinin karşılaştırması görülmektedir.

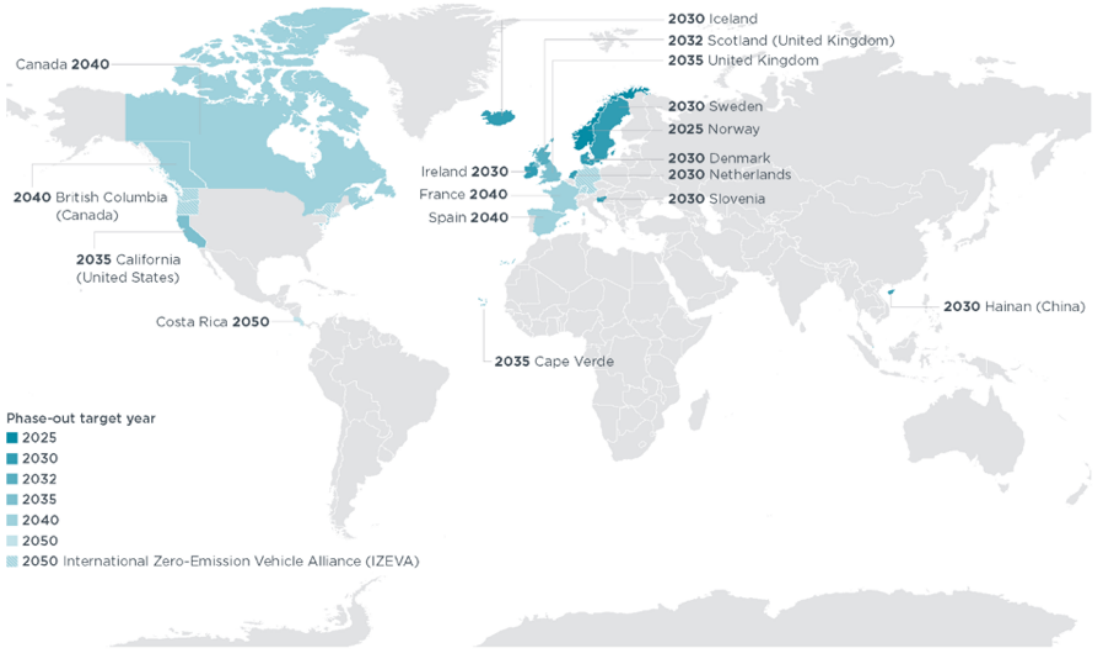


Şekil 7: Avrupa'daki Emisyon [6]

2035 senesinden itibaren petrol ve dizel ile çalışan araçların Avrupa Birliği'nde bulunan ülkelere girişi Haziran 2022'de Avrupa Birliği Parlamento'su tarafından yasaklanmıştır. 2035 senesine kadar da bu araçların kademeli olarak azaltılması hedeflenmiştir [7].

Şekil 8' de ülkelere göre içten yanmalı yolcu araçlarının satışlarının durdurulması için hükümetler tarafından belirlenen hedef tarihler görülmektedir.

Yeni kurallara göre, üretim ve tüketici atıklarından geri kazanılan minimum kobalt (%16), kurşun (%85), lityum (%6) ve nikel (%6) yeni pillerde yeniden kullanılmalıdır [8].



Şekil 8: İçten Yanmalı Araçların Ülkelere Göre Satışının Durdurulma Tarihleri [9]

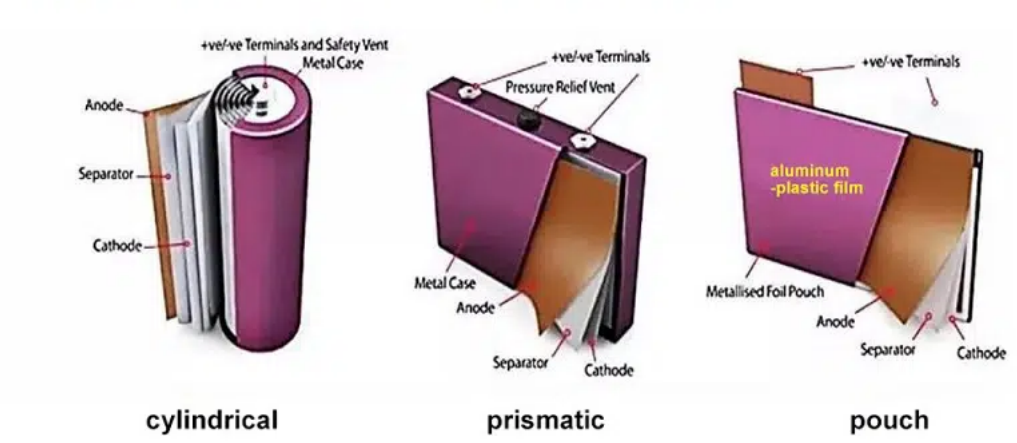
Ek-1 içerisinde ülkeler bazlı olarak 2050'ye kadar olan elektrikli araç yaklaşımlarını içeren politika dokümanlarının isimleri bulunmaktadır. Birçok ülke 2035 senesi itibari ile içten yanmalı araç girişlerini yasaklamışlardır.

Avrupa Parlamentosu geri dönüşüm ile ilgili birçok yasal karar almıştır. Kentsel atıkların 2025 yılına kadar %55'i, 2030'a kadar %60, 2035'e kadar da %65 inin geri dönüştürülmesi gerekmektedir [10]. Piller özelinde ise, lityum geri kazanım hedefi 2027 yılına kadar %50, 2031 yılına kadar da %80 olması hedeflenmektedir [11].

2.2. Pil Teknolojileri

Piller, birincil ve ikincil (depolama pilleri) piller olarak ikiye ayrılmaktadır [12]. Birincil piller, yalnızca bir kez kullanılan yeniden şarj edilemeyen hücrelerdir. İkincil piller, yeniden şarj edilmeye uygun, otomotivde ağırlıklı olarak kullanılan hücre tipidir.

Otomotiv sektöründe yaygın olarak silindirik, kese ve prizmatik olmak üzere 3 farklı paketlemeye sahip hücre kullanılmaktadır. Şekil 9'da görüldüğü gibi, hücre tipleri kimyasal içerik olarak aynı paketleme olarak farklılık göstermektedir.



Şekil 9: Hücre Tipleri [13]

2.2.1. Silindirik Hücre

Silindirik hücreler yüksek enerji yoğunluğuna, iyi mekanik kararlılığa sahip ve kolay üretilebilen hücrelerdir [13] [14] [15]. Boyutlarının küçük olması nedeni ile verebildikleri güç değerleri diğer tipteki hücrelere göre daha azdır. Metal bir kasa içerisinde olduğu için hem dayanıklı hem de güvenilirdir. Çok daha kolay özelleştirilebilirler. Bu özellikleri nedeni ile de araç üreticileri tarafından tercih sebebidirler.

Batarya paketleri, %100 elektrikli araçlarda tek parça halinde yapısal parça olarak da görev yaparak, aracın şasisinin bir parçası olarak tasarlanmaktadır. Bu durumda da binlerce silindirik hücrenin bir araya getirilerek, güvenlik faktörlerinin de dikkate alınarak hücre birleştirmelerinin yapılması gerekmektedir.

2.2.2. Kese Tipli Hücreler

Kese tipli hücrelerin nem ve yüksek sıcaklıkta ömürleri kısalmaktadır [15]. 500 çevrim üzerinde yüzde 8 ile 10 arasında hücrelerin geometrik şekillerinde deformasyon (şişme) meydana gelmektedir. Bu durum kese tipi hücrelerin yönetimini zorlaştırmaktadır. Buna rağmen düşük iç rezistans, güvenlik, yüksek güç çıkışı verebilmeleri nedenleri ile otomotivde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [15].

2.2.3. Prizmatik Tipli Hücreler

Yüksek enerji yoğunluğu ve güce sahip olan hücre tipidir. Dikdörtgen şekilleri itibari ile paketlenmesi kolaydır.

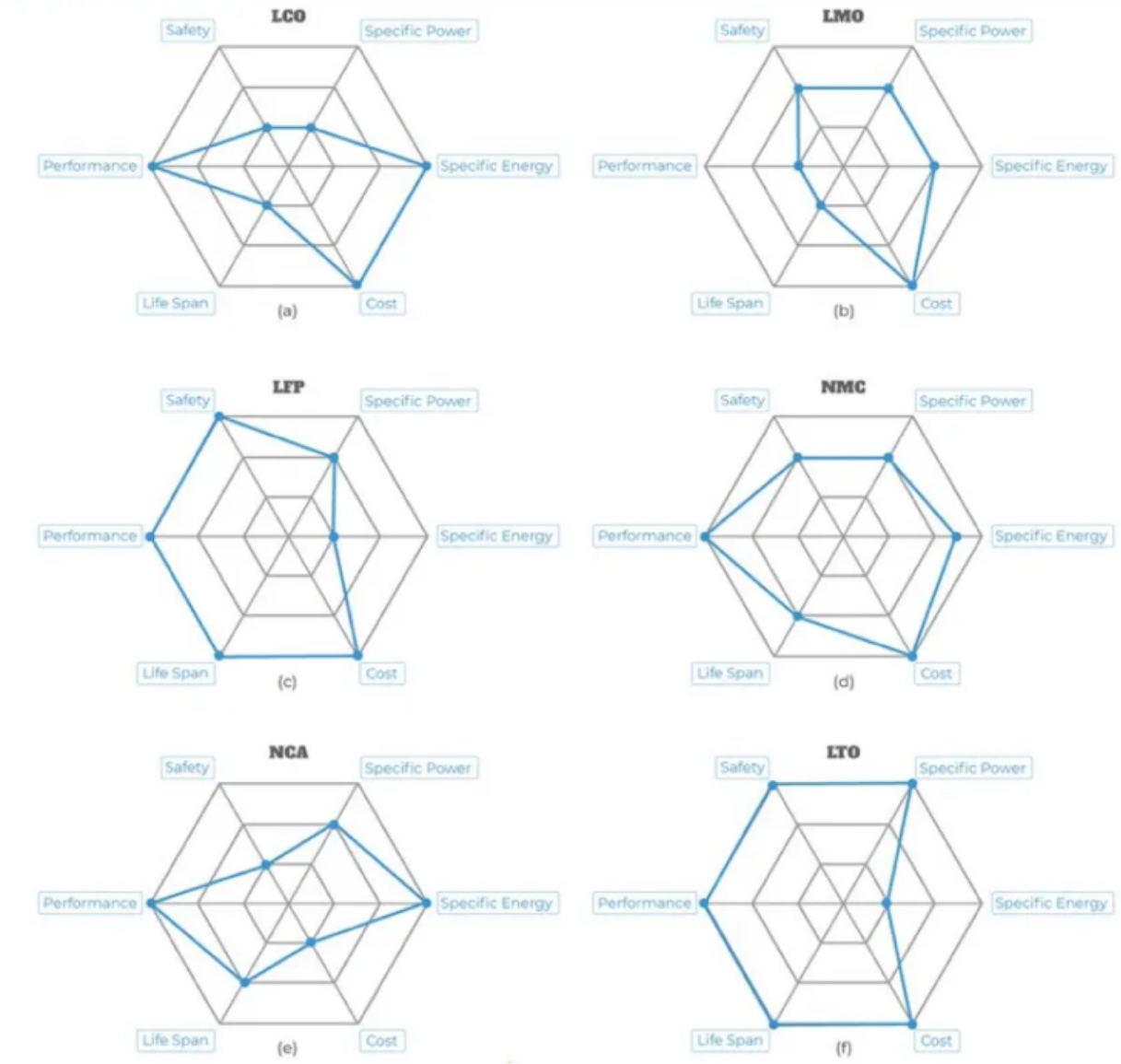
Tablo 2 de, 3 hücre tipinin karşılaştırması görülmektedir.

Tablo 2: Hücre Tiplerinin Karşılaştırılması

	Özellik	Silindirik Hücre	Kese Tip Hücre	Prizmatik Hücre
1	Fiyat / Wh [16]	Düşük	Orta	Kese Tip'ten daha çok
2	Enerji Yoğunluğu	Orta	Yüksek	Yüksek
3	Mekanik Kararlılık	Yüksek	Düşük	Orta
4	Termal Performans	Yüksek	Orta	Yüksek
5	Boşluk Kullanımı	Düşük	Yüksek	Yüksek

2.2.4. Elektrikli Araçlarda Tercih Edilen Pillerin Kimyasal İçeriği

Elektrikli araçlarda genellikle lityum iyon içerikli batarya hücreleri tercih edilmektedir [17]. Lityum iyon hücrelerin kimyasal içeriğine bağlı olarak 6 ana çeşidi bulunmaktadır [17]. Fiyat, enerji yoğunluğu, güç, güvenlik, ömür ve performans kriterleri çeşitliliğin oluşmasında etkilidir. Bu çeşitlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları Şekil 10'da görülmektedir. NCA/NMC ya da LFP elektrikli araç üreticileri tarafından genellikle tercih edilmektedir [17].



Şekil 10: Lityum iyon hücrelerin kıyaslaması

Lityum materyali aşağıdaki avantajları nedeni ile tercih edilmektedir:

- Diğer elementlere oranla daha hafif olması
- Daha hızlı şarj ve deşarj olabilmesi
- Yüksek enerji yoğunluğu
- Güvenlik [18]

Lityum iyon bataryalar diğer batarya tiplerine göre;

- Düşük şarj seviyesinde bile daha kararlı gerilim sağlarlar,
- Periyodik bakıma ihtiyaç duymazlar,
- İç dirençleri düşüktür [19].

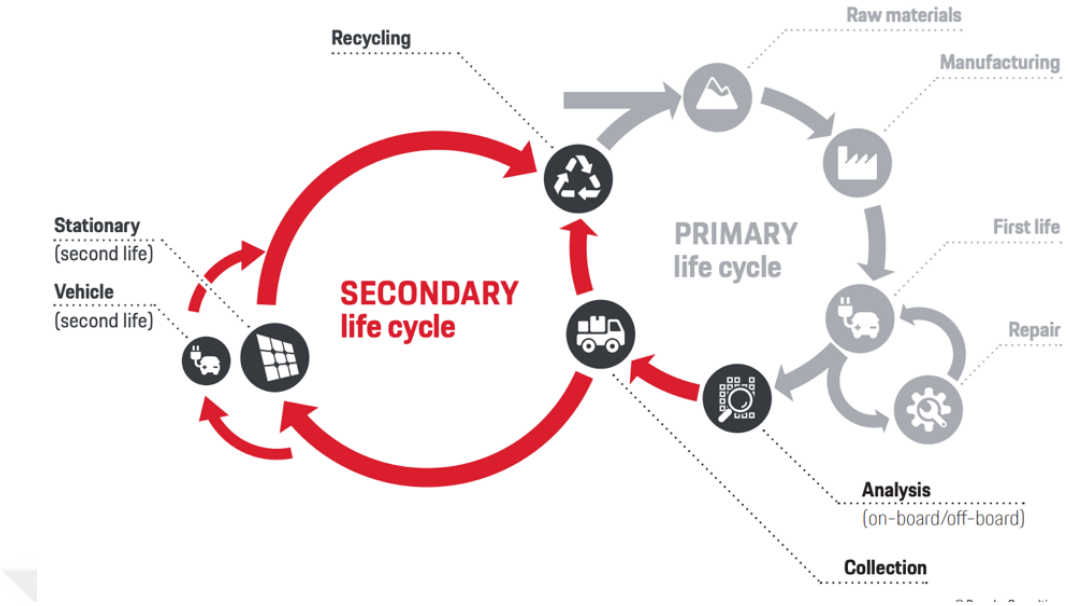
Elektrikli araç üreten firmalar, hücreleri daha uzun süre stabil ve güvenli bir şekilde tutabilmek için termal yönetim sistemleri geliştirmekte ve gelişmiş batarya yönetim sistemleri kullanmaktadır.

EK-2 Tablo 9'da, piyasada bulunana elektrikli araç modelleri, kullandıkları hücre tiplerini, batarya çalışma gerilimlerini ve batarya paketi enerjilerini içeren detaylı bir karşılaştırma tablosu bulunmaktadır.

2.3. Elektrikli Araçlarda Batarya Paketi Ömrü

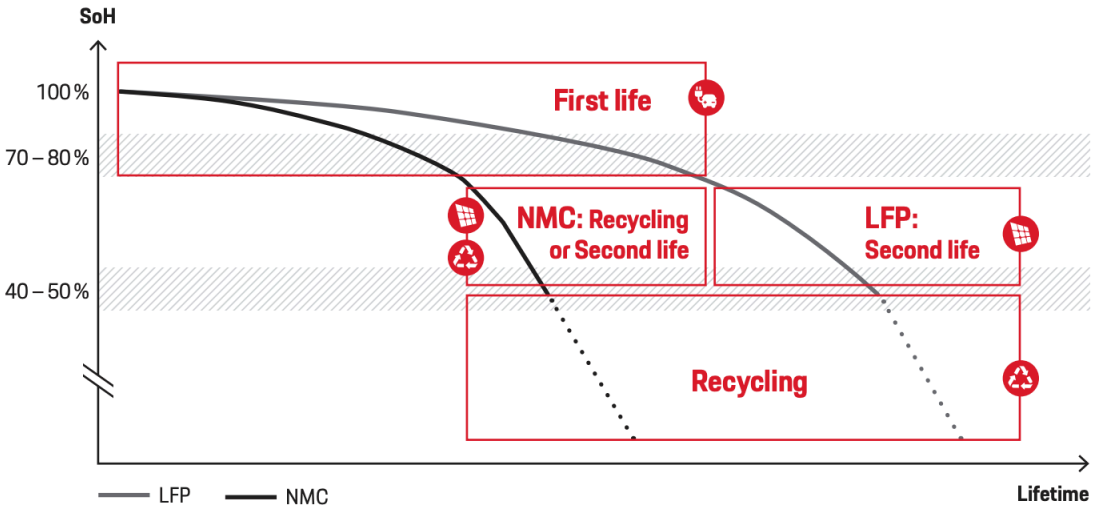
Elektrikli araçlarda batarya paketinin performans durumu SoC ve SoH değerlerinin kontrolü ile belirlenmektedir. Araç üreticileri batarya paketleri için en az 8 yıl ve 100.000 mil ömür garantisi vermektedir [19]. Bu sürelerden sonra batarya paketinin değişimi önerilmektedir. Belirtilen garanti zamanları genellikle bataryaların SoH değerlerinin %70-%80 lere indiği değerlere karşılık gelmektedir.

Bataryalar araç üreticileri tarafından garanti edilen sürelerinin bitmesi ile birlikte birinci yaşam döngülerini tamamlayıp, ikinci yaşam döngüleri için geri dönüşüm ya da yeniden kullanım metotları için hazırlanmaktadırlar. Şekil 11'de sembolik bir gösterim mevcuttur.



Şekil 11: Batarya Yaşam Döngüsü [20]

Batarya sağlığının %70 seviyelerinde olması başka uygulamalar için iyi bir başlangıç olmaktadır. Şekil 12'de de belirtildiği üzere geri dönüşüm öncesi ikinci yaşam döngüsü için batarya kimyasalından bağımsız belli bir kullanım ömrü bulunmaktadır.



Şekil 12: SoH - Yaşam Döngüsü İlişkisi [20]

2.4. Hücre Birleştirme Metotları

Hücreler birçok metot ile birleştirilebilirler. Hücre tiplerine göre önemli olan bazı birleştirme metotları Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3: Hücre Tiplerine Göre Birleştirme Metotları [21]

		Ark Kaynak	Ultrasonik Kaynak	Lazer Kaynak	Perçinleme	Civata & Somun
1	Silindirik Hücre	Uygun	Uygun	Uygun		
2	Kese Tipi Hücre	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	
3	Prizmatik Hücre	Uygun	Uygun	Uygun		Uygun

2.4.1. Ark Kaynak

Ark kaynağı, iki metalin birleştirilmesinde elektrik akımının oluşturduğu ısıdan faydalanmaktadır. Oluşan ısının etkisi ile iki metal eriyerek, birleşmenin meydana gelmesi sağlanmaktadır. Çok ince malzemeler için tercih edilen bir yöntem değildir.

Tek bir elektrot ile kaynak gerçekleşmektedir. Kaynak esnasında kıvılcımlar oluşmaktadır.

2.4.2. Ultrasonik Kaynak

Ultrasonik kaynak ya da ultrasonik yapıştırma, iki farklı materyalin ultrasonik titreşim metodu ile birbirine yapışmasıdır. Bu birleştirme esnasında iki materyalin birbirine yapışması için gerekli olan ısı kadar ısı üretilmektedir. Bu sayede birleştirme esnasında pilin ısınması engellenmektedir.

Ultrasonik kaynak / yapıştırma folyonun pil kutbuna ya da bir telin pil kutbuna yapışmasını sağlayabilmektedir. Birleştirme esnasında proses kontrolü ve yüzey kontrolleri yapmak mümkündür.

Proses diğer kaynak tiplerine göre oldukça hızlıdır. Yeniden kullanım ve geri dönüşüme diğer birleştirme türlerine oranla daha kolay olanak verebilmektedir.



Şekil 13: Ultrasonik Tel Kaynağı Örneği

2.4.3. Lazer Kaynak

Birleştirme yüzeylerine gönderilen yüksek odaklandırılmış ışınlar ile birleştirme sağlanmaktadır. İstenilen birleştirme figürü yüzeyler üzerine uygulanabilmektedir.

Tablo 4'de birleştirme metotlarının avantaj ve dezavantajları paylaşılmaktadır.

Tablo 4: Hücre Birleştirme Metotları [22]

	Birleştirme Metodu	Avantaj	Dezavantaj	Sorunlar
1	Ultrasonik Kaynak	Hızlı süreç, farklı materyallerin kaynakları mümkün, düşük enerji tüketimi, düşük direnç, güçlü birleşim	-	Fikstür ihtiyacı bulunmaktadır
2	Direnç Nokta Kaynağı	Kolay otomasyon, düşük fiyat, güçlü birleştirme	Farklı materyallerin birleşmesi zor	2 katmandan sonrası için kaynak zor

3	Ark Kaynak	Kolay otomasyon, düşük fiyat, güçlü birleştirme	Yüksek ısı çıktısı	Al – çelik birleşimi zor
4	Lazer Kaynak	Yüksek hız, düşük termal girdi, kolay otomasyon	Yüksek fiyat, ekranlama sistemi gereklidir	Yüksek yansımalı malzemeler
5	Mekanik Birleştirme	Soğuk prosesi kolay geri dönüşüm, kolay tamir	Ekstra fazla ağırlık, yüksek direnç	Mekanik zarar potansiyeli
6	Lehim	Farklı materyalleri birleştirme	Yüksek ısı	Güçlü birleşim
7	Ultrasonik Köşe Kaynağı	Hızlı süreç, farklı materyalleri birleştirme, düşük enerji tüketimi, kolay otomasyon	-	Bataryaların sabitlenmesi kritik

2.5. Batarya Paketi Tasarım Kriterleri

Batarya paketi tasarımı yapılmadan önce sistem ve alt sistem gereksinimleri belirlenmektedir. Sistem gereklilikleri iki alt başlıkta incelenmektedir:

2.5.1. Market ve Yasal Gereksinimler

Batarya paketinin kullanılacağı sistemin öncelikli olarak hangi hedef marketler için satışının gerçekleşeceği ve bu marketlerdeki yasal gereklilikler belirlenmektedir. Bu tez konusunun kapsamındaki batarya paketlerinin Türkiye ve Avrupa pazarları için UNECE regülasyonları dikkate alınarak tasarlandığı varsayılacaktır.

M kategorisinde ki elektrikli araçların batarya sistemleri UNECE R100 ve R10 kurallarına tabidirler [23] [24].

2.5.2. Fonksiyonel Gereksinimler

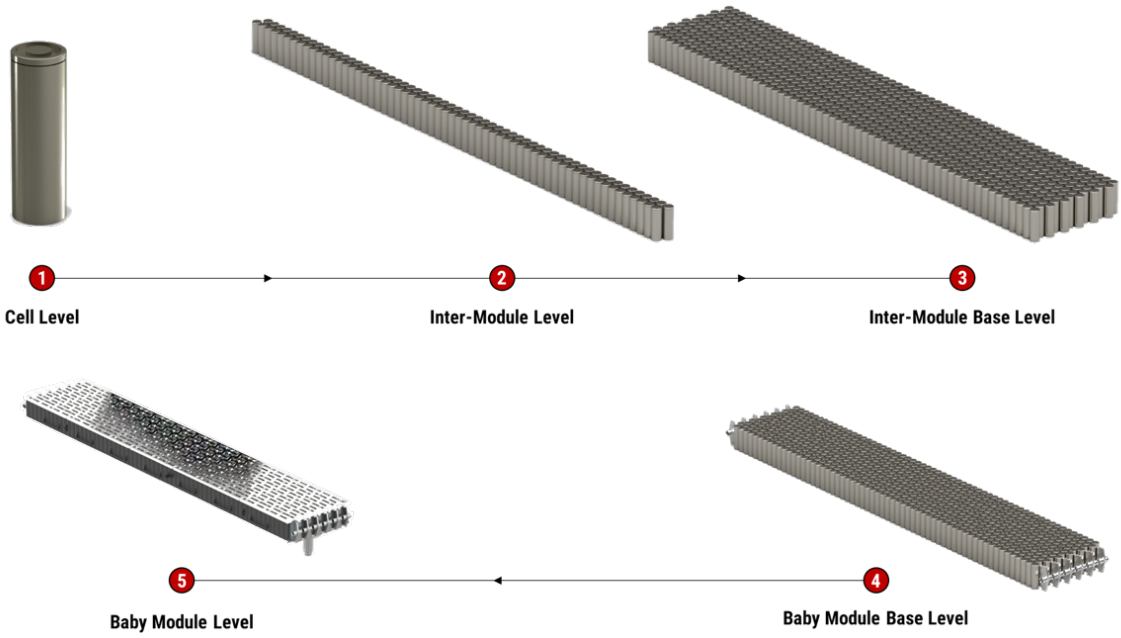
Sistemin fonksiyonel ve fonksiyonel olmayan tüm gereksinimleri oluşturulmalıdır. Fonksiyonel gereksinimler kapsamında minimum aşağıdaki başlıklar dikkate alınmalıdır:

- Güvenlik Beklentileri
- Kalite Beklentileri
- Elektriksel Beklentiler
- Performans Beklentileri
- Mekanik Gereksinimler

Fonksiyonel beklentiler aracın ana üreticisi tarafından piyasaya çıkacak aracın beklentilerine göre şekil almaktadır.

2.6. Batarya Paketinde Kullanılan Komponentler

Elektrikli araçlardaki batarya paketleri, hücrelerin modülleri oluşturması, modüllerin de batarya paketini oluşturması ile meydana gelmektedir. Şekil 14'de silindirik hücreler için sembolik bir hücre, modül, batarya paketi geçişini gösteren bir görsel bulunmaktadır.

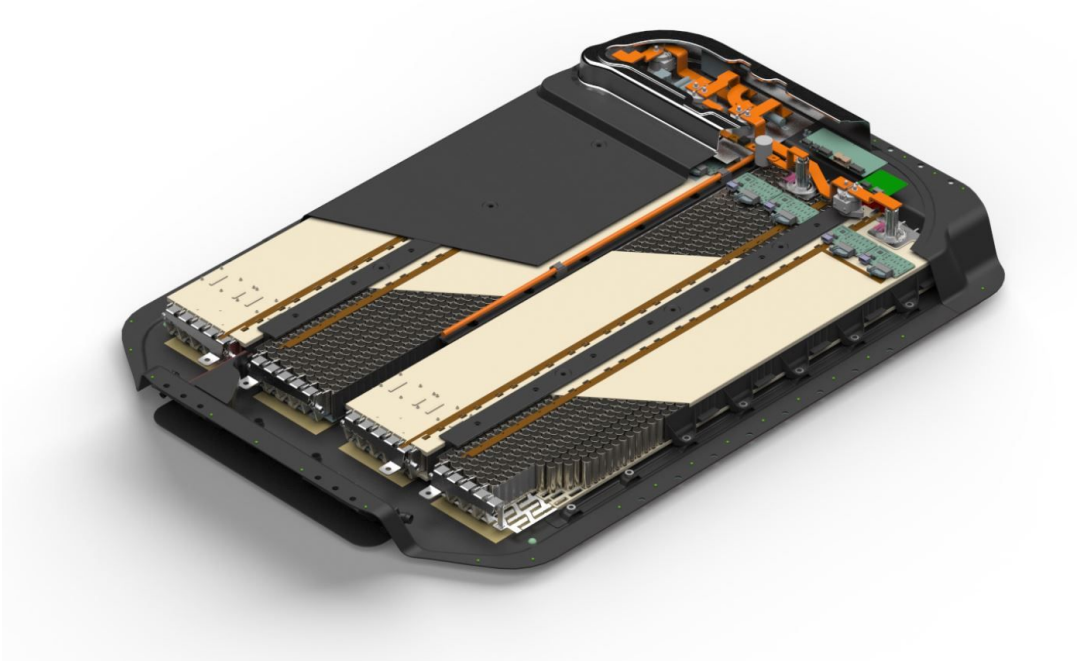


Şekil 14: Silindirik Hücre - Modül - Batarya Paketi Mimarisi

Batarya paketleri minimumda aşağıdaki komponentleri içermektedir:

- Hücre
- Mekanik birleşim elemanları
- Elektronik birleşim elemanları
- Yüksek gerilim kesiciler
- Yüksek ve düşük gerilim konnektörleri
- Yalıtım elemanları
- Sensörler
- Batarya yönetim sistemi
- Isıtma / soğutma komponentleri

Şekil 15'de sembolik bir batarya paketi görseli bulunmaktadır.



Şekil 15: Batarya Paketi

Mekanik birleşim elemanları hücrelerin modülleri oluşturması, modüllerin pakete sabitlenmesi, batarya kutusunun araca sabitlenmesi için gerekli olan tüm komponentleri kapsamaktadır.

Elektronik birleşim elemanları, yüksek gerilim kesiciler, kontaktörler, modüller arasındaki bağlantı baraları ve sigortaları kapsamaktadır. Kontaktörler, batarya paketinin dış dünya ile bağlantısının kesilmesi için kullanılırken, sigortalar da aşırı akımdan sistemi korumak için kullanılmaktadır.

Sensörler, akım, termal kaçış, sıcaklık, akım gibi birçok ölçüm ile batarya paketinin güvenli koşullarda çalışmasını sağlamak için kontrol yazılımına veri girdisi oluşturmaktadır.

Isıtma/soğutma komponentleri, pillerin optimum sıcaklıkta tutulmasını sağlayarak, batarya paketinin ömrünün uzamasına ve güvenli çalışma koşullarında kalmasına yardımcı olan komponentlerdir.

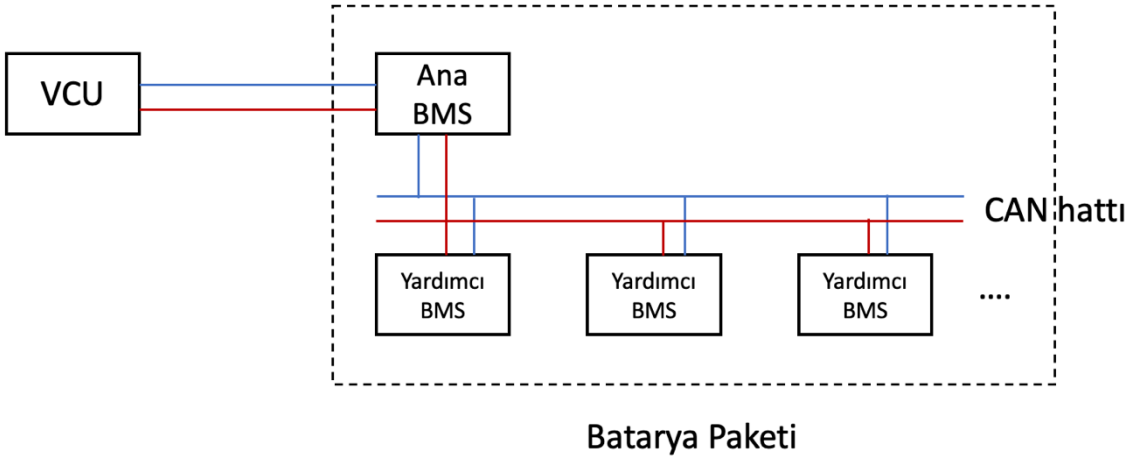
Batarya yönetim sistemi, en temelde akım, gerilim ve sıcaklık ölçümü yaparak batarya paketinin güvenli koşullarda kalmasını sağlamaktadır.

Bir batarya yönetim sistemi minimum aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Batarya paketinin şarj durumunun hesaplanması / kontrolü
- Batarya paketinin sağlık durumunun hesaplanması / kontrolü
- Akım değerlerinin ölçümü / kontrolü
- Gerilim değerlerinin ölçümü / kontrolü
- Sıcaklık ölçümü / kontrolü
- Aktif / pasif dengeleme
- Diğer kontrol üniteleri ile haberleşme hattı üzerinden haberleşme

Batarya paketi içerisinde bir adet ana/yönetici BMS yer almaktadır. Yönetici BMS düzenli olarak VCU ile haberleşmektedir. Batarya paketi içerisinde seri kol üzerinde bulunan her bir alt modül kendi BMS ine sahiptir. Bu BMS'ler yardımcı BMS olarak isimlendirilmektedir. Yardımcı BMS'ler ana BMS ile haberleşerek, sistemin kontrolünü ve raporlamasını

gerçekleştirmektedir. Şekil 16'da Ana BMS, yardımcı BMS ve araç kontrol ünitesi arasındaki haberleşme mimarisinin sembolik bir gösterimi bulunmaktadır.

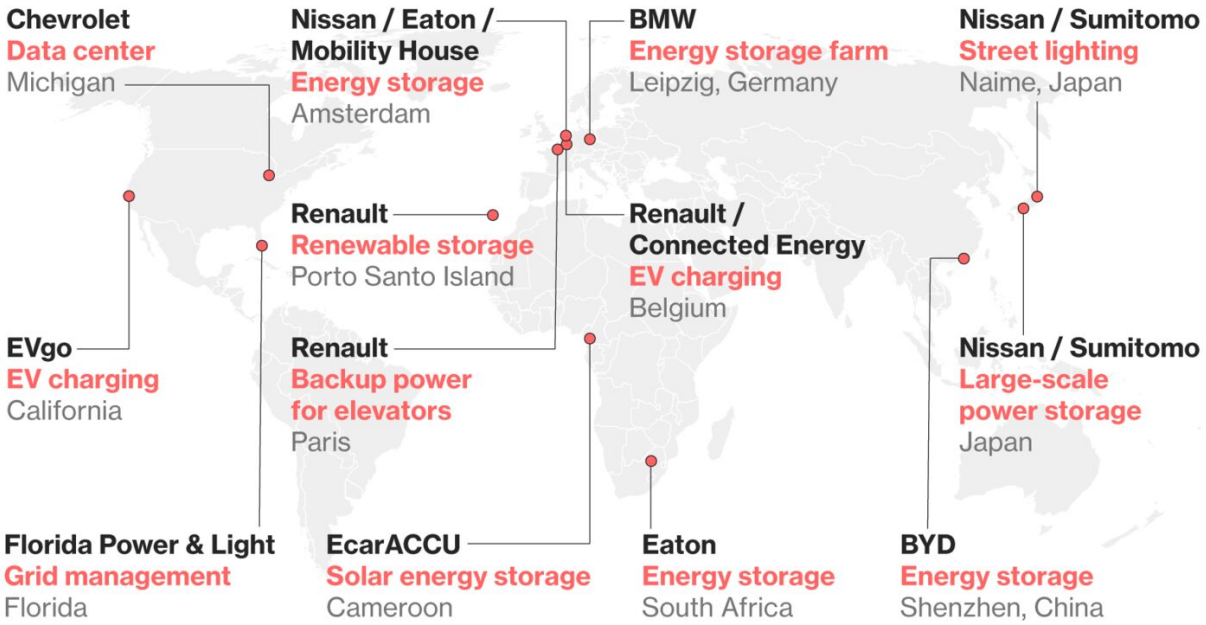


Şekil 16: BMS Bağlantı Şematiği

2.7. Elektrikli Araç Üreticilerinin Geri Dönüşüm ya da Yeniden Kullanım için Batarya Paketi Çözümleri

Elektrikli araç üreticileri genellikle batarya paketlerini kendi bünyelerinde üretmeyi tercih etmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden biri batarya paketi boyutlarının büyük olması nedeni ile oluşacak ek lojistik maliyetleri ve bir diğeri de batarya paketlerinin elektrikli arabaların en kritik ve riskli parçalarından birisi olmasıdır.

Elektrikli araç batarya paketi üreticileri pillerin ikinci ömürleri için alternatif birçok yöntem bulmuşlardır. Her üretici kendi ürettiği paketi kullanarak pillerin ikinci yaşam döngülerini tamamlamasını sağlamaktadır. Şekil 17'de üreticiler ve batarya paketlerinin ikinci yaşam döngüsündeki kullanım yöntemleri gösterilmektedir.



Şekil 17:Batarya Paketlerinin Yeniden Kullanım Örnekleri [25]

EK-3'de kullanım alanlarının örneklerini içeren detaylı bir liste bulunmaktadır.

3. YÖNTEM

Bölüm 2 ‘de de anlatıldığı gibi, ülkelerin karbon emisyonu ile ilgili getirdiği yasal kısıtlar ile birlikte gelecek senelerde elektrikli araç üretiminin artması beklenmektedir. Hızla gelişen pil teknolojisi ve birleştirme metotlarındaki yenilikler de bu artışın ivmesini git gide hızlandırmaktadır.

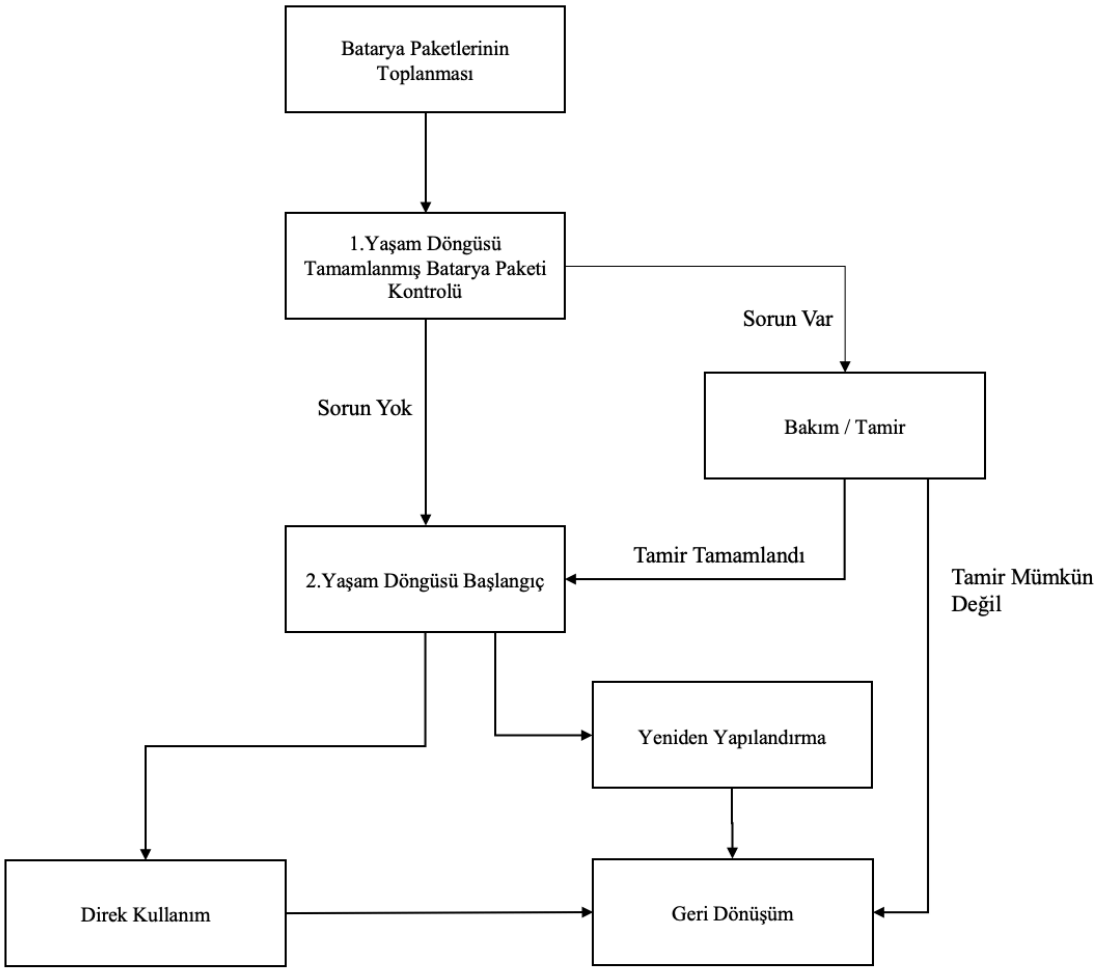
Bu bölümde, birinci yaşam döngüsü bitmiş bir paketin hayatına devam etmesi için oluşturulması gereken altyapı metotları ve standartlarda yer alması gereken adımlar ile prosedürler tanımlanacaktır.

3.1. Süreç Yönetimi

UNECE R-100 ve R10 da bahsedildiği üzere, araç seviyesinde geri dönüştürülebilirliğin belli bir oranda olup, olmadığı yetkili kuruluşlar tarafından sorgulanmaktadır. Bu amaçla kullanılan materyallerin bilgileri bir sistem üzerinde toplanarak, denetlenmektedir. Batarya hücreleri birleştirilerek modüller, modüller birleştirilerek batarya paketleri oluşturulmuş ve bir araç için ömrünü tamamlamış ancak geriye %70-%80’lik kapasitesi kalmış olan bir batarya paketi için durum açıktadır. İlgili paketin benzer ya da başka bir amaç ile yeniden kullanımı mümkün olmaktadır.

Batarya paketleri aracın güvenlik olarak en kritik ve önemli parçalarından birisidir. Bu nedenle bu parçaların değişimleri yetkili servisler ya da direk ana araç üreticisi tarafından yapılmaktadır. Kullanıcı tarafından batarya paketinin değişim talebi yapıldıktan sonra, batarya paketi yetkili servis depolarında ikinci yaşam döngüsünde yeniden kullanım ya da geri dönüşüm için beklemeye başlamalıdır.

Şekil-18’de sürecin nasıl başlayıp, nasıl ilerlemesi gerektiği ile ilgili bir yöntem sunulmaktadır.



Şekil 18: Yeniden Kullanım / Geri Dönüşüm Süreç Yönetimi

Şekil 18'de bahsedilen sürecin ilerletilebilmesi için yeniden yapılandırma ya da geri dönüşüm firmaları ile OEM' ler arasında özel antlaşmaların yapılması gerekmektedir. Piyasada batarya paketlerini yeniden yapılandıracak firma sayısı oldukça azdır. İlgili firmaların hem teknik kabiliyetlerinin oldukça yüksek olması, otomotiv süreçlerinden bilgi sahibi olması ve OEM seviyesinde görüşmeler yapabilmesi gerekmektedir. Gelecek yıllar için bir iş kolu olarak görünmektedir.

3.1.1. Batarya Paketlerinin Toplanması

Batarya paketlerinin ilgili depolardan toplanması oldukça zor ve maliyetli bir süreç olmaktadır. Lityum iyon pillerin en düşük kayıp için optimum depolama koşulu -20 – 25 °C' dur. Bu nedenle paketlerin taşıma öncesi ve sonrasında oda koşullarında depolanması gerekmektedir.

Uluslararası taşımacılıkta bir ön koşul olarak kabul edilen UN 38.3 [26], lityum iyon pillerin ya da batarya paketlerinin hava, kara ve deniz yolu taşımacılığı ile taşınmasının standardıdır. UN

38.3 de batarya paketlerinin yeniden kullanımı ile ilgili bir kısıt içermemektedir. Ancak UN 38.3.2.2'e göre pil paketinin nominal enerjisinin %20 den fazlasındaki bir değişim, prosedür içerisindeki testlerin geçilememesine yol açabilecek bir değişime neden olduğundan batarya paketi, yeni bir batarya paketi olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda UN 38.3 standardındaki testlerin yeniden yapılması gerekliliğine neden olmaktadır.

3.1.2. Birinci Yaşam Döngüsü Tamamlanmış Batarya Paketinin Kontrolü

Kontrol aşamasında aşağıdaki prosedürler takip edilmelidir:

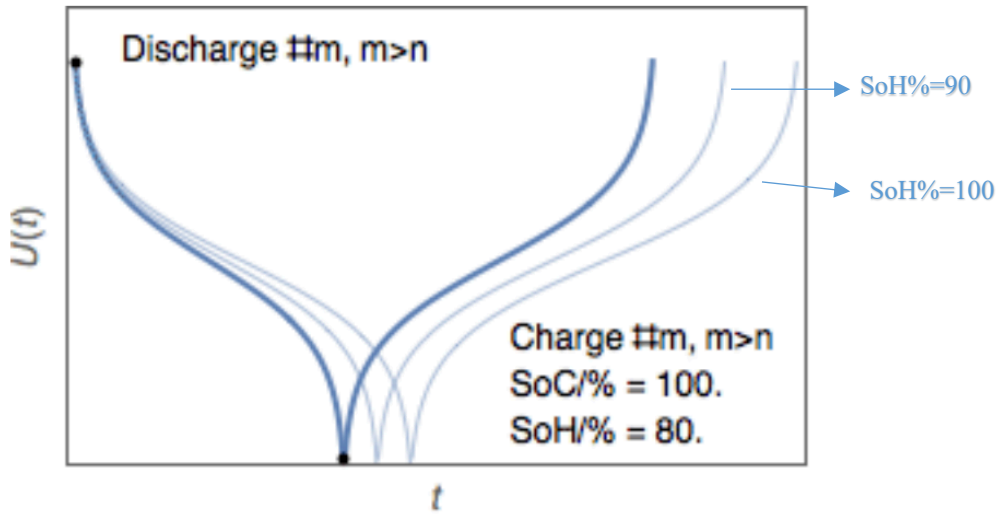
- 1. Aşama:
    - Hücre / Modül / Batarya paketinin üretici, parça numarası, teknik içerik (kapasite, enerji yoğunluğu, çalışma gerilim, maksimum akım, maksimum güç, şarj & deşarj & saklama sıcaklıkları vb.) bilgiler toplanıp, incelenmelidir,
    - BMS haberleşme protokolü, versiyon kontrolü incelenmelidir,
    - Şematikler, layoutlar, kurulum ve operasyonel bilgiler incelenmelidir,
    - Hücre / Modül / Batarya paketinin servis geçmişi incelenmelidir.
- 2. Aşama:
    - Görsel kontroller yapılmalıdır.
- 3. Aşama:
    - OCV, iç direnç, kapasite, kütle, SoC, SoH, boyut, yüksek gerilim izolasyon ölçüm ve kontrolleri yapılmalıdır,
    - BMS ve ilgili komponentlerinin kontrolleri yapılmalıdır,
    - Yüksek gerilim komponentlerinin kontrolleri yapılmalıdır (kontaktör, sigorta, konnektör vb.).

UL1974, hücre, modül veya batarya paketlerinin performans ve güvenliklerinden emin olmak için oluşturulmuş bir üretim prosesi standardıdır [27]. Standart içerisinde, hücre, modül ya da batarya paketinin toplanması sonrasındaki kontrol ve kontrol sonrası red edilen paketlerin

üretim prosesi prosedürleri yer almaktadır. İlgili standardın [27] takibi ile paketin performans ve güvenlik kriterleri değerlendirilerek, yeniden ya da direk kullanım ya da geri dönüşüm ile mi devam edileceğine karar verilmektedir.

3.1.2.1. SoC

Pilin şarj durumunu ifade etmek için kullanılmaktadır. % ile ifade edilmektedir. Batarya paketlerinin şarj ve deşarj sonrasında sağlıklı bir SoC eğrisi için Şekil 19'daki gibi görünmesi gerekmektedir. Batarya paketinin sağlıklı olduğunun kanıtı için SoC eğrisi oldukça önem arz etmektedir.



Şekil 19: SoC & SoH grafiği [28]

3.1.2.2. SoH

Pilin, yeni bir pile göre enerji saklama ve deşarj etme kabiliyetini anlatmaktadır. % ile ifade edilmektedir. Her uygulama için kabul edilebilir alt SoH sınırı farklılık göstermektedir. Uygulama içerisindeki anlık kabul edilebilir gerilim düşüşleri SoH threshold değerinin belirlenmesinde yardımcı olmaktadır.

3.1.3. Bakım / Tamir

Batarya paketinin kontrolleri esnasından fark edilen bir sorunun giderilmesi aşamasıdır. Bakım, 3 ayrı kategoride değerlendirilmelidir:

- Düşük Risk Seviyeli Hasarlar: Herhangi bir güvenlik parametresine etki etmeyecek seviyedeki hasarlardır. Bu hasarların tamiri sonucunda batarya paketinde herhangi bir

testin yeniden yapılmasına gerek olmamaktadır. Bu hasarlara konnektör, bağlantı elemanları değişimleri vb. dir.

- Orta Risk Seviyeli Hasarlar: Batarya paketi seviyesinde olmayan alt sistem seviyesindeki hasarlardır. Isıtma & soğutma hatlarının değişimi örnek verilebilir.

- Yüksek Risk Seviyesindeki Hasarlar: Batarya paketi seviyesinde güvenlik parametrelerine etki eden hasarlardır. Yüksek gerilim bağlantı baralarının değişimi, hücre – busbarlar arasındaki bağlantı vb. örnek olarak verilebilir.

Eğer bakım 3. Seviye olan yüksek risk grubunda ise yeniden kullanım şirketi yüksek test ve bakım maliyetleri nedeni ile paketi geri dönüşüme ya da hasarın durumuna bağlı olarak yeniden yapılandırmaya yönlendirebilir.

Batarya hücreleri uzun ömür için nominal gerilim ve en optimum sıcaklıkta depolanmalıdır. Lityum iyon hücreler için nominal gerilim 3.7V, saklanması gereken en optimum sıcaklık da oda sıcaklığıdır. Bakım/tamir aşamasından sonra pillerin, gerilimleri nominalden düşük ise şarj edilerek, yüksek ise deşarj edilerek, sıcaklık kontrollü depolarda saklanmalıdır.

3.1.4. İkinci Yaşam Döngüsüne Başlangıç

Otomotiv uygulamalarında ömrünü tamamlamış pil / modül / batarya paketlerinin farklı uygulamalarda direk kullanımı ya da yeniden yapılandırılarak kullanımı ikinci yaşam döngüsü olarak ifade edilmektedir.

İkinci yaşam döngüsü için piller, birçok farklı alanda kullanıma devam edebilirler. Piller enerji depolamak amacıyla üretildiğinden, farklı sektörlerde de ikinci yaşam döngülerinde enerji depolama amacıyla kullanılır. İkinci yaşam döngüsü için kullanım metotları aşağıdaki gibi önerilmektedir:

- Enerji Depolama Sistemleri: Günün her anında yenilenebilir enerji kaynakları aracılığı ile enerji üretilemediğinden, üretilen enerjinin depolanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Batarya paketleri ile üretilen enerjinin depolandığı, istenilen yer ve zamanda tekrar kullanılmasını sağlayan bir sistem olarak tasarlanabilir. Bu sayede üretilen fazla enerji günün diğer zaman dilimlerinde de kullanılabilir hale gelebilecektir.

- Şebeke Bağlantılı Enerji Depolama Sistemleri: Yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen enerjinin batarya paketi üzerinden şebekeyi beslediği bir model oluşturulabilir. Bu model ile elektrik enerjisinin pahalı olduğu saatlerde şebekeye elektrik verilebilir ya da pahalı olduğu saatlerde şebeke yerine enerji depolama sistemi üzerinden enerji ihtiyacı karşılanabilir.

- Gerilim Dalgalanması: Günümüzde hala birçok ülkede gerilim dalgalanması sorunu yaşanmaktadır. Bu dalgalanmalar birçok elektronik komponentin ya da cihazın zarar görmesine neden olmaktadır. Pil paketleri ile UPS sistemleri oluşturularak, dalgalı gelen elektrik enerjisi pillerde depolanıp, çıkış gerilimi düzenlenerek enerji çıkışı sağlanabilir.

- Elektrikli Araçlarda Yeniden Kullanım: Performans beklentilerinin karşılanmaması nedeni ile birçok kullanıcı aracının batarya paketini değiştirmek isteyecektir. Ancak belli bir kesim için bu paketler hala kişilerin performans beklentilerini karşılayabilir. Bu nedenle piller başka araçlarda tekrar kullanıma açılabilir.

3.1.4.1. Direk Kullanım

Birçok batarya paketi artık kullanıcıların performans beklentilerini karşılayamadığı için değişime uğrayacaktır. Teknik olarak bir sorunu bulunmayan bu batarya paketleri ikinci yaşam döngülerine herhangi bir tamir ya da bakıma ihtiyaç duymadan devam edebilecekler. Bu metot direk kullanım metodu olarak adlandırılmaktadır.

3.1.4.2. Yeniden Yapılandırma

Yapılan araştırmalara göre [29][30][31][32], batarya paketinin yeniden kullanım için yenileme maliyetleri 15$/kWh – 150 $/kWh arasında değişmektedir. Yapılan araştırmalardaki söz konusu batarya paketleri otomotivde kullanılmış, ikinci yaşam döngüsü için yenileme gereken paketler değildir. Bu nedenle bahsedilen değerlerin yalnızca sahada yeniden kontrol edilmesi gereken batarya paketlerine ait olduğunu düşünülmeli ve bu tez konusu batarya paketleri için kaba değerler olduğu dikkate alınmalıdır.

Uygulamalar için batarya paketlerinin açıldığı ve daha sonra yeni bir paketin ortaya çıktığı metottur. İkinci yaşam döngüsündeki kullanım alanına bağlı olarak sistem güvenliği için ek testlerin yapılması gerekebilir. Bu durum ek maliyetlere ve zaman kayıplarına neden olacaktır.

Batarya paketlerinin yeniden yapılandırma metodu yerine direk geri dönüşüme gitmesi çıkan ek maliyetler ve zaman kayıpları nedeni ile çoğu zaman daha çok tercih edilecektir.

3.1.4.3. Geri Dönüşüm

Maliyet, fonksiyonellik ya da performans kaynaklı nedenlerle batarya paketlerinin kullanımının mümkün olmadığı durumlarda, batarya paketleri hücre seviyesine kadar ayrıştırılabilmelidirler. Ancak batarya paketlerinin üretimlerinde kullanılan yapıştırıcılar ya da bazı hücre birleştirme metotları geri dönüşüm için uygun değildir. Regülasyonlarda da hücre seviyesinde geri dönüşüm yapılabilmesine olanak sağlayan bir metodun kullanılması teşvik edilmemektedir.

3.2. Standartlaşma

Birden fazla batarya paketinin seri ya da paralel bağlanarak, ikinci yaşam döngüsüne devam etmesi için iki metot bulunmaktadır. Birinci metotta, seri ya da paralel bağlanan pillerin hepsinin birbirinin aynısı olması, diğer metot ise farklı üreticilerin pillerinin de seri ya da paralel bağlanabilmesidir. İlk metot teknik olarak süreç yönetimi kolay ancak yüksek güç isteyen sistem kurulumu gerekli ise birçok batarya paketinin ikinci yaşam döngüsüne başlangıcının beklenmesi gerektiğinden avantajlı bir durum olmamaktadır. Birinci yaşam döngüsü biten her batarya paketinin en kısa sürede ikinci yaşam döngüsüne başlaması en makul çözüm olacaktır. Aksi halde depolama maliyetleri, pillerin iç dirençleri nedeni ile deşarj olması kaynaklı düzenli bakım ihtiyacı gibi birçok yan maliyet oluşmaya devam edecektir.

Farklı batarya paketlerinin birleştirilmesinin kolaylaştırılması için bazı komponentlerin standartlaştırılması gerekmektedir. Bu sayede her batarya paketine özel süreç yürütülmesi gerekmeyecektir.

Her araç üreticisi, araç beklentisine göre gereksinimleri belirlemektedir. Ancak aşağıdaki komponentlerin batarya paketinin içinde olması Yeniden Kullanım firması tarafından paketlerin kullanımının daha güvenli kalmasını sağlayacaktır:

- BMS / ler
- Batarya paketi ile araç arasındaki bağlantıyı kesecek kontaktör / ler
- Isıtma & Soğutma Hatları
- Yeniden Kullanım firması için BMS hattı bağlantı konnektörü
- Yüksek Gerilim Bağlantı konnektörü

- Isıtma & Soğutma hattının giriş & çıkış bağlantıları

3.2.1. Elektriksel Komponentler

Otomotiv üreticileri araçtaki birçok parçanın yatırımının kendisine ait olmasını tercih etmektedir. Genellikle OEM ürün kodları ve logoları ile ürün üreticilerine parçaların üretimini yaptırmaktadır. Bu durumda her araç üreticisinin farklı farklı ürünler kullanmasına neden olmaktadır.

Batarya paketlerinde yüksek ve alçak gerilim konnektörleri araç ile batarya paketi arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Piyasadaki batarya paketlerinde farklı tiplerde ve özelliklerde yüksek ve alçak gerilim konnektörleri kullanılmaktadır. Şekil 20 ve Şekil 21'de otomotiv de kullanılan haberleşme ve yüksek gerilim konnektörleri ile ilgili örnek görseller bulunmaktadır.



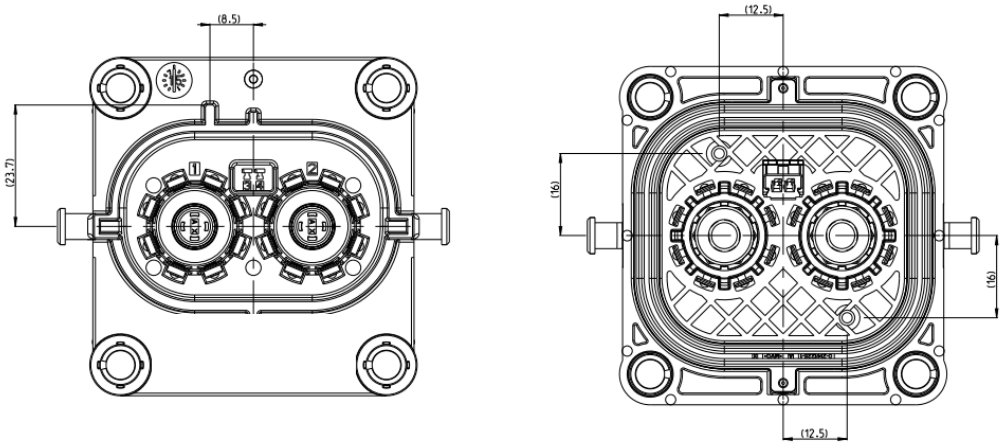
Şekil 20: Yüksek Gerilim Otomotiv Konnektörü



Şekil 21: Düşük Gerilim Otomotiv Konnektörü

Yüksek ve düşük gerilim konnektörler üreticisine ve kullanım yerlerine bağlı olarak farklı birçok layouta sahiptir.

Pinler arası boşluklar, interlock özelliği, sızdırmazlık özelliği, pinlerin yerleşimi, akım taşıma kapasitesi, gerilim gibi birçok gereklilik konnektör tipleri arasındaki farklılığın nedenidir. Regülasyonlar ile birlikte Şekil 22 ve Şekil 23' deki konnektör layoutları zorunlu hale getirilmelidir. Bu durum farklı araç üreticilerine ait olan batarya paketinin ikinci yaşam döngüsü için büyük kolaylık olacaktır.

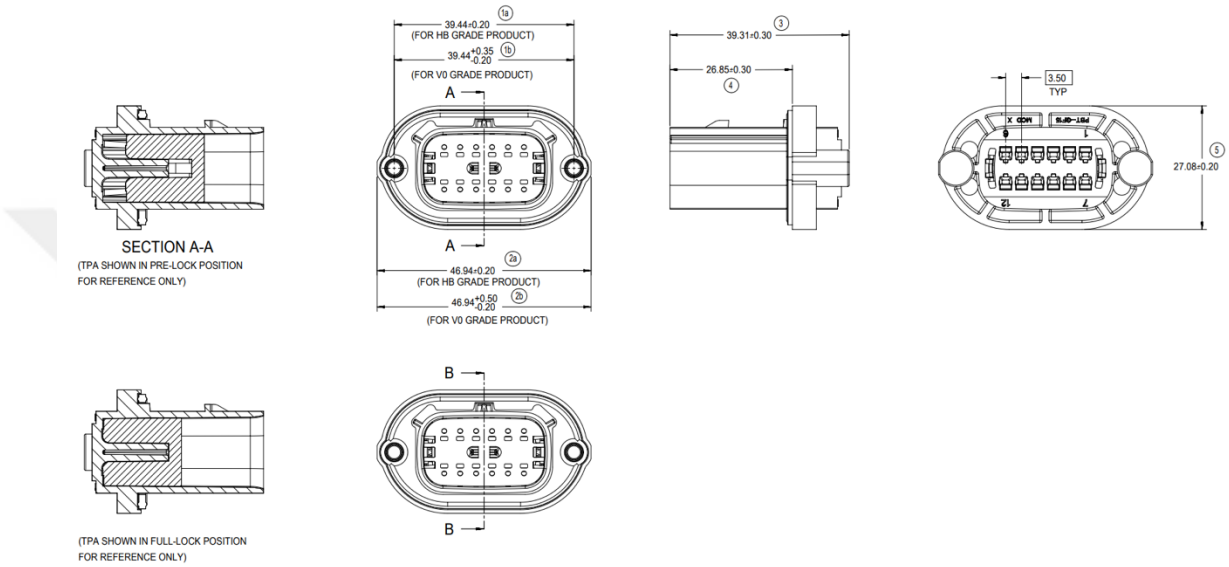


Şekil 22: Yüksek Gerilim Konnektörü - Erkek Taraf [33]

Yüksek gerilim konnektörünün seçimi yapılırken aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır:

- Batarya paketinin dış paneline tutturulabilir, panel montajlı olması

- Sızdırmaz olması
- Otomotiv sıcaklık beklentisi olan -40° ile +125°C arasında çalışabilmesi
- 35 mm2, 50mm2 ve 75 mm2 lik yüksek gerilim kabloları ile uyumlu olması
- Interlock özelliğine sahip olması



Şekil 23: Düşük Gerilim Konnektörü - Erkek Tarafı [34]

Düşük gerilim konnektörünün seçimi yapılırken aşağıdaki kriterler dikkate alınmıştır:

- Batarya paketinin dış paneline tutturulabilir, panel montajlı olması
- Sızdırmaz olması
- Otomotiv sıcaklık beklentisi olan -40° ile +125°C arasında çalışabilmesi
- En az 6 pinli olması (Can High, Can Low, Toprak, Besleme Ucu, Kontaktör Açma & Kapama)
- Alternatif diğer bağlantılar için boş pinlere sahip olması

3.3. Batarya Yönetim Sistemi

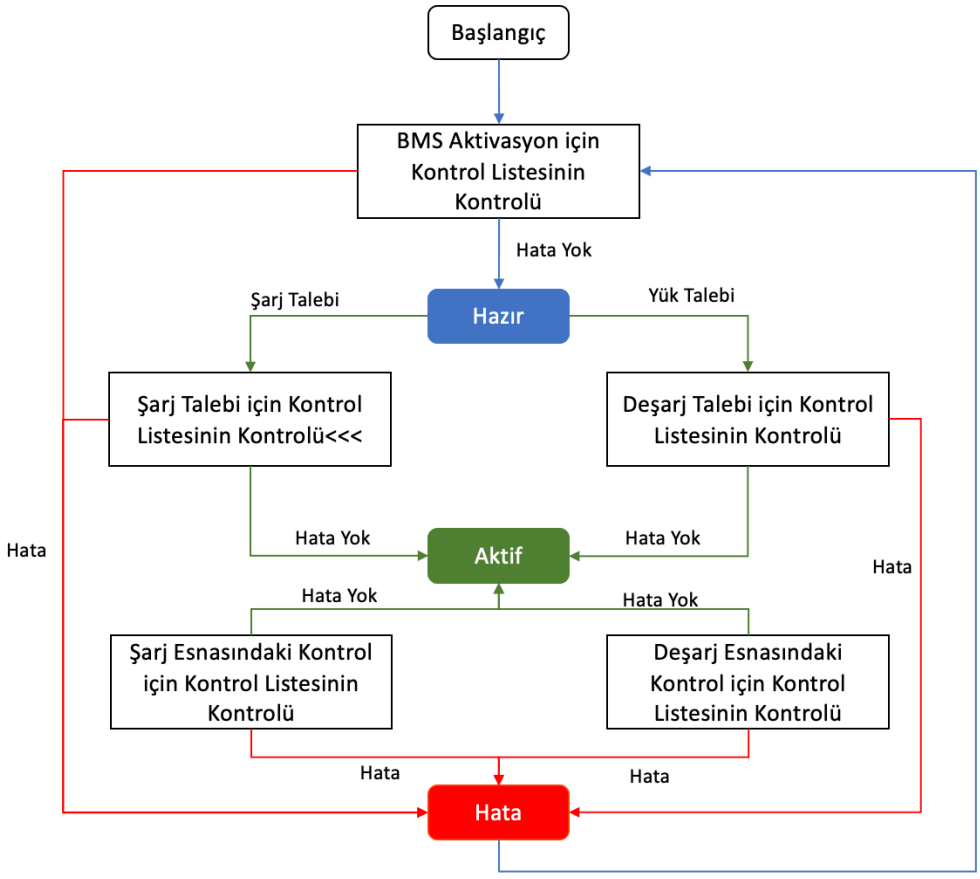
Her batarya paketi, hücreleri dengede tutabilmek ve ihtiyacı olan verileri alarak, kullanıcının ihtiyaçlarına / beklentilerine göre veri çıkışı yapabilen bir batarya yönetim sistemine sahiptir.

Batarya paketinin içerisinde bulunan ana BMS, araç beyni olan VCU ile haberleşerek, karşılıklı bilgi akışı sağlanmaktadır. İkinci yaşam döngüsünde kullanımda olan batarya paketleri, sistemi kontrol eden kontrolcü ile de düzenli olarak haberleşmeli ve veri alışverişi yapmalıdır.

Her BMS'in bir açılış protokolü ve durumlar arasındaki geçişin bir standarttı olmalıdır. Şekil 24'de BMS durum geçişleri ile ilgili bir akış diyagramı önerilmektedir.

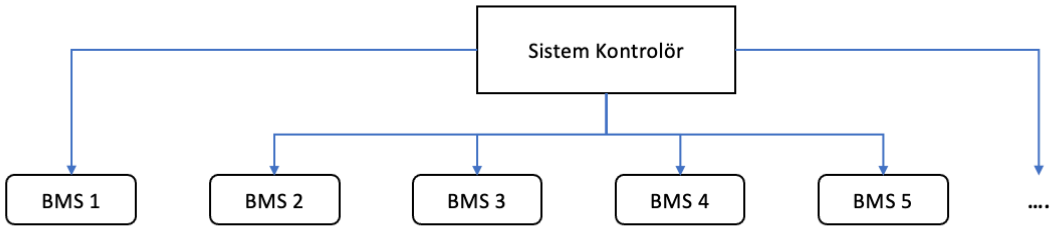
BMS'deki durumlar arası geçiş protokolünün standart hale gelmesi ile birlikte yeniden kullanım firmalarının tüm paketleri aynı protokol ile kullanımı sağlanabilecektir.

Yeniden kullanım firmaları batarya paketlerini direk kullanıma alabileceğinden, batarya paketleri içerisinde BMS kullanımının zorunlu hale getirilmesi gerekmektedir.



Şekil 24: BMS durum diyagramı

Geri dönüşüm süreçlerini yürütecek olan firmalar, batarya paketlerinin birçok zaman yeniden kullanımı metodundan ilerleyecektir. Bu metot içerisinde batarya paketlerinin birbirlerine seri ya da paralel bağlanması gereklidir. Ana kontrolcü tarafından tüm batarya paketlerinin durumları gözlemlenerek, kontrolleri yapılacaktır. Yeniden kullanım firması tarafından tasarlanacak olan enerji depolama sisteminde Şekil 25'de gibi bir bağlantı şematiği görülecektir:



Şekil 25: Sistem Kontrolcüsü - BMS Bağlantısı

Sistem kontrolör ve BMS'ler arasındaki haberleşme protokolünün standartlaşması süreç yönetimi açısından geri dönüşüm firmasına kolaylık sağlayacaktır. BMS'lerin iki ayrı haberleşme çıkışlarının olması OEM – Yeniden Kullanım firması arasındaki antlaşma süreçlerini kolaylaştıracaktır. Bu sayede herhangi bir Yeniden Kullanım firması araç haberleşme hattı ile ilgili bilgi sahibi olmayacak, bir güvenlik açığı kalmayacaktır. Bu haberleşme hattı üzerinden minimum aşağıdaki bilgilerin Yeniden Kullanım firmasına iletilmesi gerekmektedir:

- OEM Bilgisi
- Batarya Paketi Kimlik Numarası
- İzin Verilen Hücre Sıcaklığı
- İzin Verilen Batarya Paketi Gerilim
- İzin Verilen Batarya Paketi Maksimum Güç
- İzin Verilen Batarya Paketi Enerji Kapasitesi
- İzin Verilen Maksimum Şarj Akımı

- Batarya Paketi Gerilim
- Batarya Paketi Maksimum Güç
- Batarya Paketi Enerji Kapasitesi
- Hücre Sıcaklığı
- SoC
- SoH
- Hata Sinyalleri
- Durum Modları
- Bağlantı Durum Bilgisi

Otomotiv haberleşme hızının yüksek olmasından kaynaklı CAN 2.0 kullanmaktadır. BMS ikinci haberleşme hattı CAN 2.0 haberleşme protokolüne uygun olmalıdır.

OEM bilgisi ve kimlik numarası paketin kontrolü esnasından diğer paketlerden ayrılmasını sağlayacaktır.

İzin verilen değerlerin haberleşme kanalına eklenmesi Yeniden Kullanım firmasının yapacağı hataları minimum seviyeye düşürecek ve batarya paketinin güvenli alanlarda kalıp, kalmadığı iki sinyalin değer karşılaştırması ile sağlayabilecektir.

SoC ve SoH değerleri paket sağlığı, şarj ve deşarj kontrolleri için kullanılacaktır.

Hata sinyalleri batarya paketinde oluşan bir hatanın nedenini kolaylıkla anlayarak, sorunun hızlıca çözülmesini sağlayacaktır.

Durum modları ve bağlantı durum bilgisi doğru bir haberleşme bağlantısının kurulup, kurulmadığının kontrolü için gereklidir.

3.3.1. Ön Şarj Devresi

Batarya paketinin direnç değeri 1 Ω' dan çok çok küçük bir değer olmaktadır [35]. Batarya paketinin ana kontaktörleri kısa devre durumda ve batarya paketi yük ya da bir şarj cihazına bağlandığında, gerilim eşitlemesi olana kadar batarya paketinden çok yüksek akımlar geçebilmektedir. Bu durum batarya paketinin içerisindeki birçok komponentin zarar görerek kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir. Kontaktörler kısa devre olduğunda yüksek akımın önüne geçebilmek için önlemler alınması gerekmektedir. Aşağıda alınabilecek önlemler görülmektedir:

- Yük ya da şarj cihazındaki bir ön şarj devresi
- Batarya paketi içerisinde ön şarj devresi

Ön şarj devreleri ön şarj direnci ve ön şarj kontaktöründen oluşmaktadır. Batarya paketine seri olarak bağlanarak, akımın ön şarj direnci tarafından sınırlandırılması sağlanmaktadır. Gerilim eşitlemesi sonrasında ana kontaktör açılarak, ön şarj devresi kontaktörü kapatılmaktadır.

Ön şarj devresinin BMS üzerinde olduğu modellerde mevcuttur. İkinci yaşam döngüsü için ön şarj devresinin batarya paketi içerisinde olması batarya paketlerinin standardizasyonu için önerilmektedir.

3.4. Kategorizasyon

Farklı batarya paketlerinin paralel şarjındaki en büyük sorunlardan biri paketlerin farklı kapasitelerde olması nedeni ile oluşacak SoC farklılıkları olmaktadır. Şarj yöntemindeki prosedür bu durumun önüne geçse de pil sağlığı için alternatif başka önlemlerinde alınması gerekmektedir.

Ek-2 Tablo 9'da piyasadaki elektrikli araçlar ve araçlarda kullanılan batarya paketlerinin kapasite değerleri paylaşılmaktadır. İlgili tablo referans alınarak, aşağıdaki kategorizayonun oluşturulmuş ve batarya paketlerinin bu kategorizasyona göre paralel bağlanması önerilmektedir:

- 1.Sınıf : 40kWh den az
- 2.Sınıf: 40 - 60kWh arasındaki batarya paketleri
- 3.Sınıf: 60 - 90kWh arasındaki batarya paketleri
- 4.Sınıf: 90 - 130kWh arasındaki batarya paketleri
- 5.Sınıf: 130kWh'dan büyük batarya paketleri

3.5. Batarya Paketi Gerilim Önerisi

Ek-2 Tablo 9'da piyasadaki elektrikli araçların gerilim değerleri paylaşılmaktadır. İlgili referans incelendiğinde farklı gerilim değerlerinde araçların bulunduğu görülmektedir. Yüksek gerilim değerinin ortaklaşması ikinci yaşam döngüsüne başlanacak pillerin zaman kaybetmeden başka uygulamalara yönlendirilmesini sağlayacaktır.

Araç segmentine bağlı olarak her aracın güç ihtiyacı farklı olmaktadır. Güç ihtiyacı arttıkça akım kaynaklı kayıplar da artmaktadır. Bu nedenle üreticiler 800V civarına çıkmaya başlamışlardır. Bu noktada 350V ve 800V olmak üzere iki farklı gerilim önerisi yapılacaktır. 350V gerilim ile piyasada hazır olan komponentlerin kullanımına devam edilmesi hedeflenmektedir. 800V gerilim ile de yüksek güçlü araçların akım kayıplarının minimize edilmesi hedeflenmektedir.

4. BULGULAR

Birçok ülke karbon emisyonu ile ilgili politika dokümanları yayınlamıştır. Politika dokümanları karbon emisyon hedeflerini içerirken, sürecin nasıl ilerleyeceği ile ilgili bilgi içermemektedir. Politika dokümanları haricinde de sürecin standartlaşması ve belirlenmesi ile ilgili de regülasyon/standartlar son haline henüz ulaşmamıştır.

Otomotiv sektöründeki batarya paketlerinde ağırlıklı olarak lityum hücreler kullanılmaktadır. Araç üreticileri kendi hedefleri doğrultusunda farklı hücre tiplerini ve birleştirme metotlarını kullanmaktadırlar. Kimi üreticiler performans kimi üreticilerde güvenlik ağırlıklı tercihlerini yönlendirmektedirler. Bu durum paketlerin ve teknolojilerin farklılaşmasına neden olmaktadır.

Batarya paketleri araçlardan kolaylıkla takılıp, sökülebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Araç ile batarya paketi arasındaki yüksek gerilim bağlantıları yüksek gerilim konnektörleri ile, haberleşme, kontaktör bağlantıları ve düşük gerilim güç bağlantıları ise düşük gerilim konnektörleri ile ayrılabilmektedir. Birçok farklı tipte yüksek ve düşük gerilim konnektörü bulunmaktadır.

Her otomotiv üreticisi batarya paketlerinin ikinci yaşam döngüsünün yeniden kullanım aşamasında kendi çözümlerini üretmiştir. Bu süreçlerin ortaklaştırılması için OEM'ler ile batarya paketlerini yeniden yapılandıracak firmalar arasında özel antlaşmaların yapılması ve süreçlerin standartlara oturtulması gerekecektir.

Bu bölüm kapsamında, yöntem bölümünde paylaşılan yöntemin doğrulaması gerçekleştirilecektir.

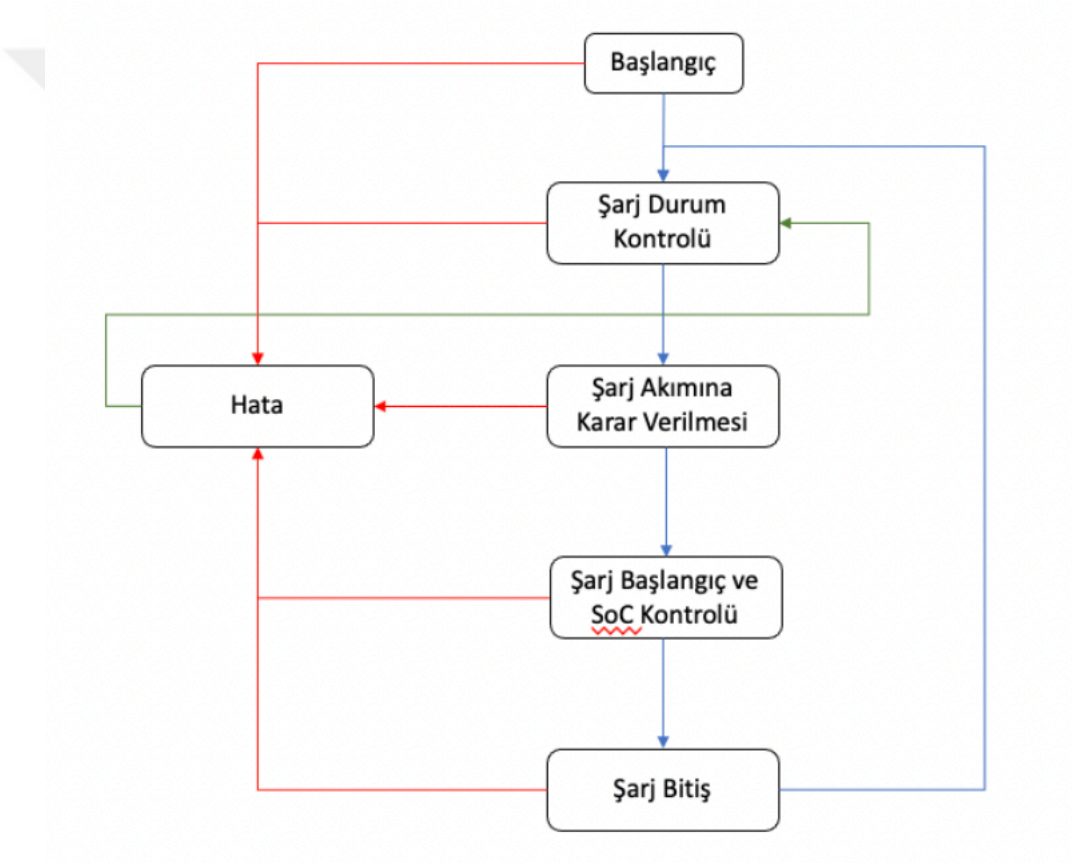
4.1. Direk Kullanım Metodunda Farklı Batarya Paketlerinin Birleştirilmesi

Batarya paketlerinin ikinci yaşam döngüsü için yeniden kullanımlarında farklı batarya paketlerinin seri ve paralel bağlanarak daha yüksek güce sahip enerji depolama sistemlerinin oluşturulabilmesi, sistem oluşturulması esnasında büyük esneklik ve hız kazandıracaktır. Bu sayede pillerin ikinci yaşam döngüleri hızlı bir şekilde başlayarak, ek maliyet kalemlerinin de oluşması engellenecektir.

Birden fazla batarya paketinin birleştirildiği sistemlerde sistemin doğru ve güvenli çalıştığını denetleyen bir elektronik kontrol ünitesi kullanılmalıdır. Kontrol ünitesi, sistemin düzenli kontrollerini, ısıl yönetimini, şarj ve deşarj protokollerini yürütmelidir.

4.1.1. Şarj Protokolü

İkinci yaşam döngüsüne başlayan batarya paketleri seri ya da paralel bağlanmadan önce öncelikli olarak deşarj edilerek, gerilim eşitlemesi yapılmalıdır. Deşarj edilen batarya paketlerinin sistem kurulumu için seri ve paralel bağlantıları yapılabilir. Sistem kurulumu yapılan batarya paketlerinin şarj ve deşarj süreçleri ana kontrolcü tarafından kontrol edilmektedir. Şarj için Şekil 26'daki iş akışı takip edilmektedir:



Şekil 26: Şarj İş Akışı

4.1.1.1. Şarj Durum Kontrolü

Batarya paketlerinin SoH kontrolleri yapılmaktadır.

4.1.1.2. Şarj Akımına Karar Verilmesi

Lityum iyon hücreler için şarj akımının 0.5C ile 1.0C arasında olması önerilir. Batarya paketlerinin şarj akım değerleri karşılaştırılarak en küçük olan şarj akımı seçilmektedir.

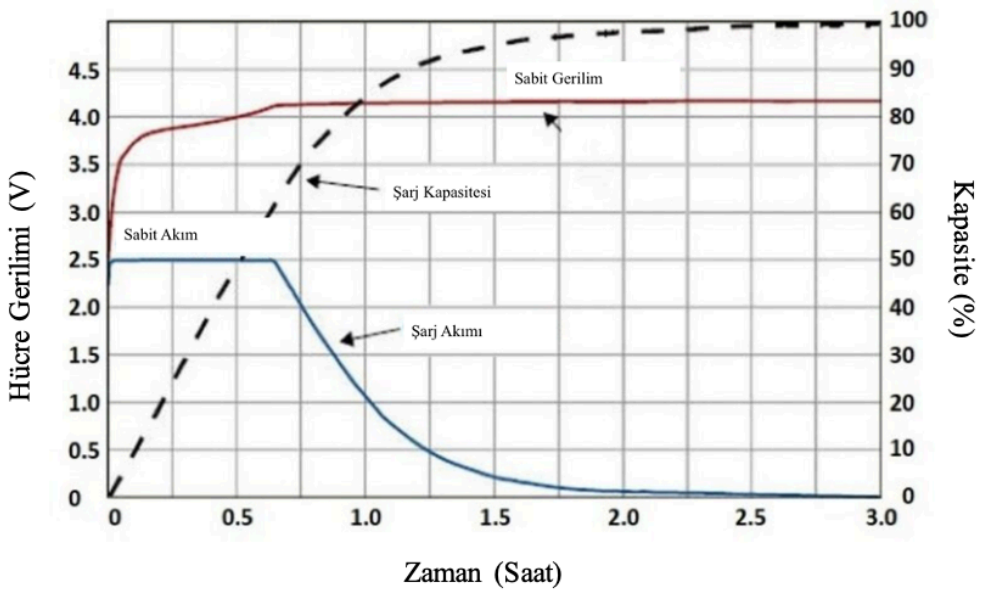
4.1.1.3. Şarj Başlangıç ve SoC Kontrol

Sistem şarj için uygun ise ana kontaktör açılarak şarj başlangıç sinyali yayınlanır. Paralel hat üzerinde SoC değeri belirlenen doluluk seviyesine ya da belirlenen gerilim değerine gelen bir batarya paketi var ise, şarj bitiş protokolü uygulanır.

4.1.1.4. Şarj Bitiş

Şarj bitiş protokolünde, şarjın bitiş talebi şarj cihazına iletilir. Şarj cihazının şarjı kesmesinin ardından enerji depolama sisteminin kontaktörü açık devre pozisyonuna getirilir ve şarj sonlandırılır.

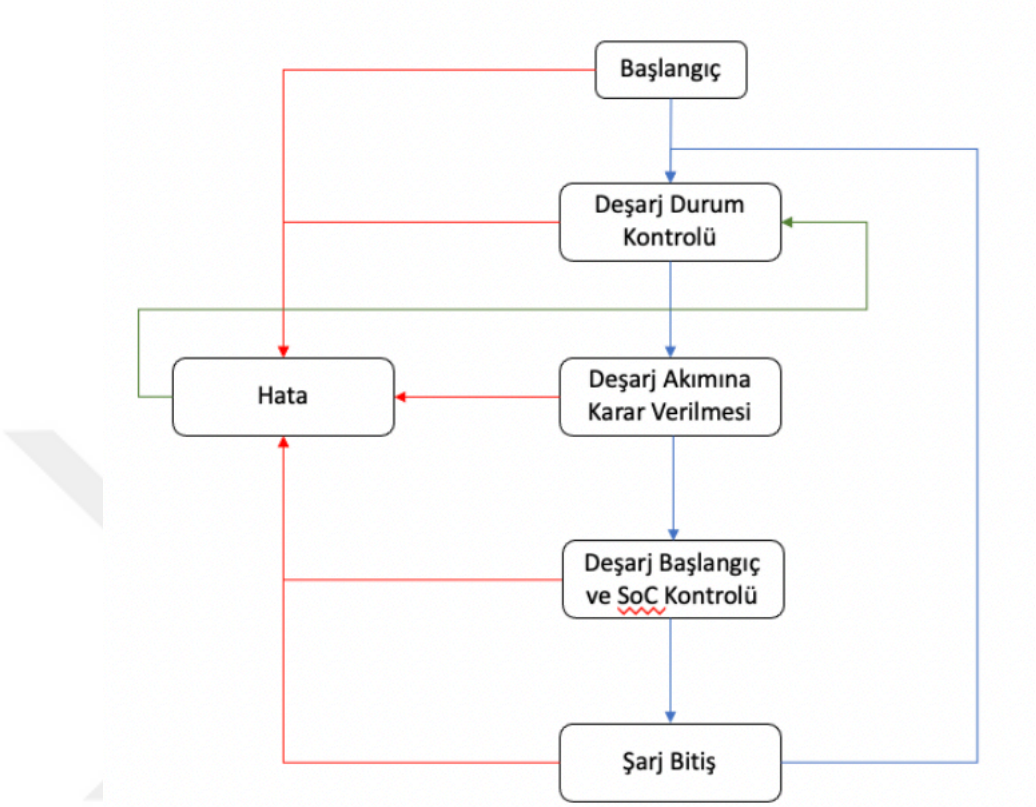
Şarj protokolü uygulanırken sabit akım-sabit gerilim yöntemi uygulanmalıdır. Şekil 27'de hücre seviyesindeki bir örnek bulunmaktadır.



Şekil 27: Lityum İyon Hücre CC-CV Şarj

4.1.2. Deşarj Protokolü

Sistemin deşarj süreci Şekil 28'deki akış şeması ile takip edilmektedir:



Şekil 28: Deşarj İş Akışı

4.1.2.1. Deşarj Durum Kontrolü

Batarya paketlerinin SoH kontrolleri yapılmaktadır.

4.1.2.2. Deşarj Akımına Karar Verilmesi

Seri koldaki batarya paketlerinin deşarj akım değerleri karşılaştırılarak en küçük olan şarj akımı seçilmektedir.

4.1.2.3. Deşarj Başlangıç ve SoC Kontrol

Sistem deşarj için uygun ise, kontaktörler kısa devre yapılarak deşarj başlangıcı sağlanmaktadır. Batarya paketlerinin deşarj esnasında düzenli SoC kontrolü yapılmaktadır. Paketlerin deşarj bitişi için SoC değeri kontrol edilmektedir. Seri ya da paralel kol üzerinde SoC değeri kritik seviyeye ulaşan var ise iş akışı şarj bitiş durumuna geçiş yapmaktadır.

4.1.2.4. Deşarj Bitiş

Şarj bitiş protokolünde, deşarj bitiş talebi sisteme iletilir. Deşarjın durdurulması ile birlikte enerji depolama sisteminin kontaktörü açık devre pozisyonuna getirilir.

4.2. Şarj & Deşarj Protokollerinin Simülasyonu / Doğrulaması

Önerilen şarj ve deşarj protokollerinin doğrulanması amacı ile MATLAB- Simulink'de model tabanlı yazılım yapılarak, sistem simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

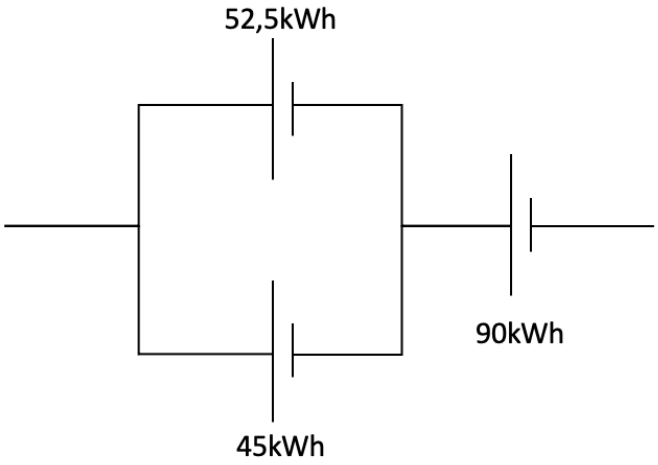
Tez kapsamında belirtilen tüm prosedürler yazılımın kabulü olarak alınmıştır. Yeniden kullanım firmasının deposunda aşağıdaki özelliklere sahip batarya paketlerinin olduğu varsayılmıştır:

Tablo 5: Örnek Batarya Paketlerinin Konfigürasyonları

	Paket Üreticisi	Gerilim(V)	Hücre Kimyası	Hücre Paketleme Tipi	Batarya Paketi Kapasitesi (kWh)
1. Paket	A Hücre Üreticisi	350V	Lityum İyon	Silindirik	25kWh
2.Paket	B Hücre Üreticisi	350V	Lityum İyon	Kese Tip	36kWh
3.Paket	A Hücre Üreticisi	350V	Lityum İyon	Kese Tip	52.5kWh
4.Paket	C Hücre Üreticisi	350V	Lityum İyon	Silindirik	45kWh
5.Paket	D Hücre Üreticisi	800V	Lityum İyon	Prizmatik	90kWh

Tablo 5'de gösterilmiş olan batarya paketleri tezde bahsi geçen gerilim standartlaşmasına uygun olarak üretildiğinden 1,2,3 ve 4 numaralı paketlerin paralel bağlanmasında sorun yoktur.

Kapasite gruplaması göz önüne alındığında sadece 52,5kWh ve 45kWh lik paketlerin paralel bağlanabileceği görülmektedir. Bu iki paketin paralel bağlanması ile birlikte yaklaşıl 97.5kWh lik kapasiteye sahip bir seri kol oluşacaktır. Bu değere en yakın paket 5. Pakettir. Bu durumda Şekil 29'daki gibi bir enerji depolama sistemi konfigürasyonu oluşmaktadır.



Şekil 29: Batarya Paketlerinin Konfigürasyon Şematiği

MATLAB - Simulink ile Şekil 29 da oluşturulan enerji depolama sisteminin tez kapsamında belirlenen sinyaller ile çalışıp, çalışmayacağı doğrulanacaktır. Yazılım aşağıdaki enerji depolama sistemine göre modellenmiştir:

- Kapasiteleri sırası ile 52.5kWh, 45kWh ve 90kWh olan ikinci yaşam döngüsüne başlangıç için tez kapsamındaki tüm süreçlerden geçmiş batarya paketlerinin verileri kullanılmıştır.

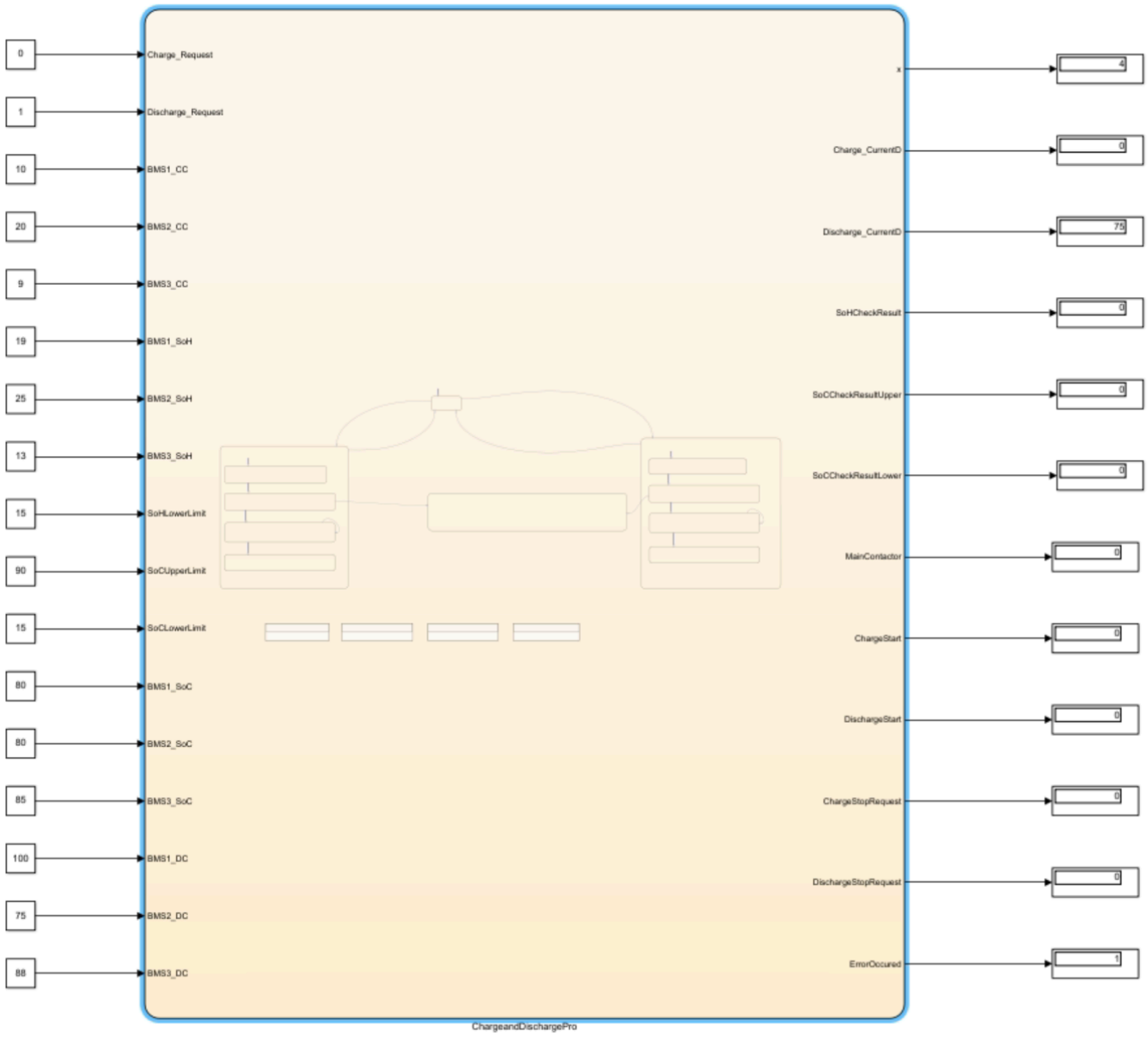
- Tüm batarya paketleri, paket içerisinde bir kontaktöre sahiptir. Bu kontaktör araç içerisindeki ana kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir.

- İkinci yaşam döngüsü için tez kapsamında belirlenmiş olan sinyallerin BMS tarafından ana kontrolcüye gönderilmektedir.

- Tez kapsamındaki arayüzlere sahip yüksek ve düşük gerilim konnektörleri 3 batarya paketinde de kullanılmaktadır.

- Tez kapsamındaki deşarj – şarj prosedürü uygulanmış, paralel koldaki tüm paketlerin gerilimleri 350V dur.

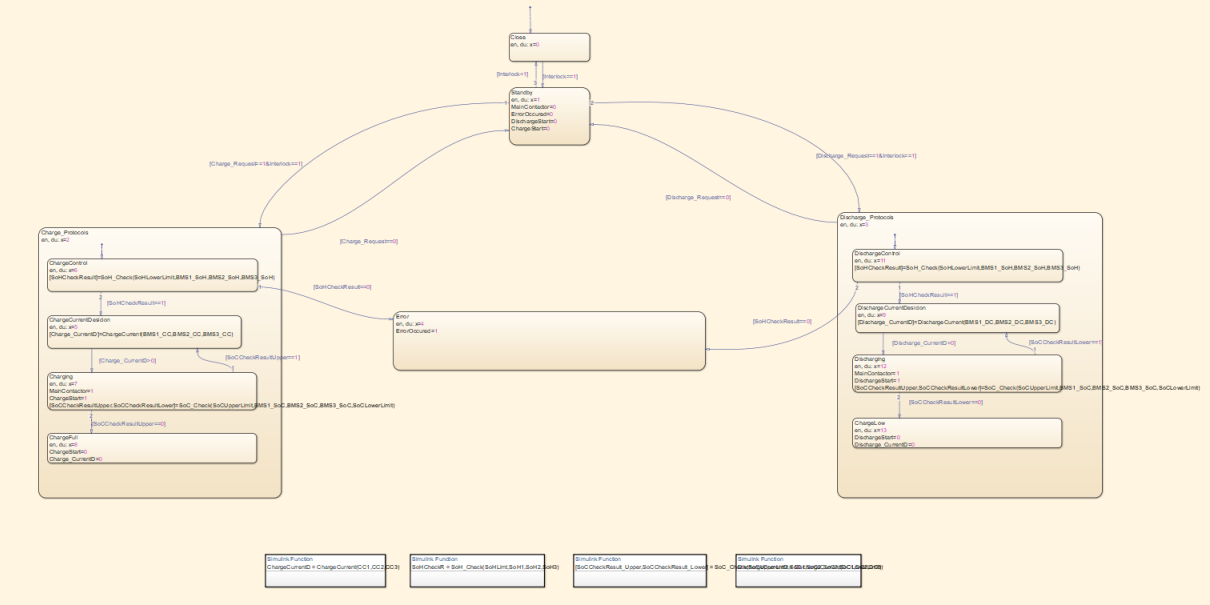
İlgili yazılım enerji depolama sistemini kontrol eden kontrolcünün içerisinde olmalıdır. Sistem simülasyonu için girişler yazılımda manuel olarak bırakılmıştır. Bu sayede veriler kolaylıkla manipüle edilebilir.



Şekil 30: Şarj & Deşarj Protokolleri Ana Çizelge Görseli

Şekil 30'daki görselde sol tarafta sinyal girişleri, sağ tarafta sinyal çıkışları yer almaktadır. Sinyal girişleri tez kapsamında BMS'den yayınlanması gereken sinyalleri içermektedir. Sol taraftaki sinyaller kontaktör kontrolü, hata durum kontrolü, SoC ve SoH'ların durumları, şarj ve deşarj akımlarının bilgilerini içermektedir.

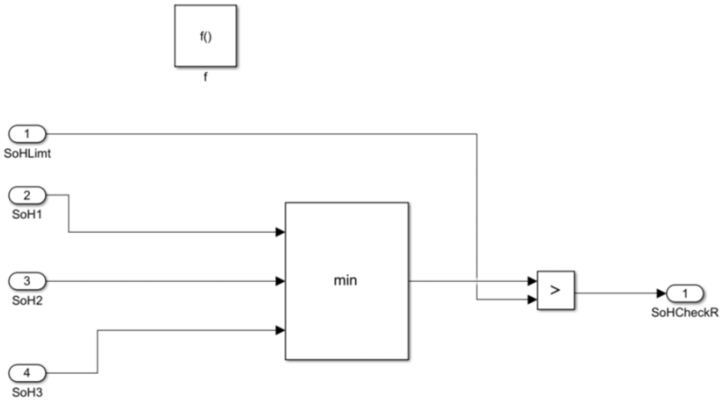
Tez kapsamında belirtilen şarj, deşarj, kapalı, bekleme ve hata durumlarındaki protokoller ana kontrolcünün içerisine gömülüdür. Şekil 31'de görülebilmektedir.



Şekil 31: Şarj & Deşarj & Kapalı & Bekleme ve Hata Durumları

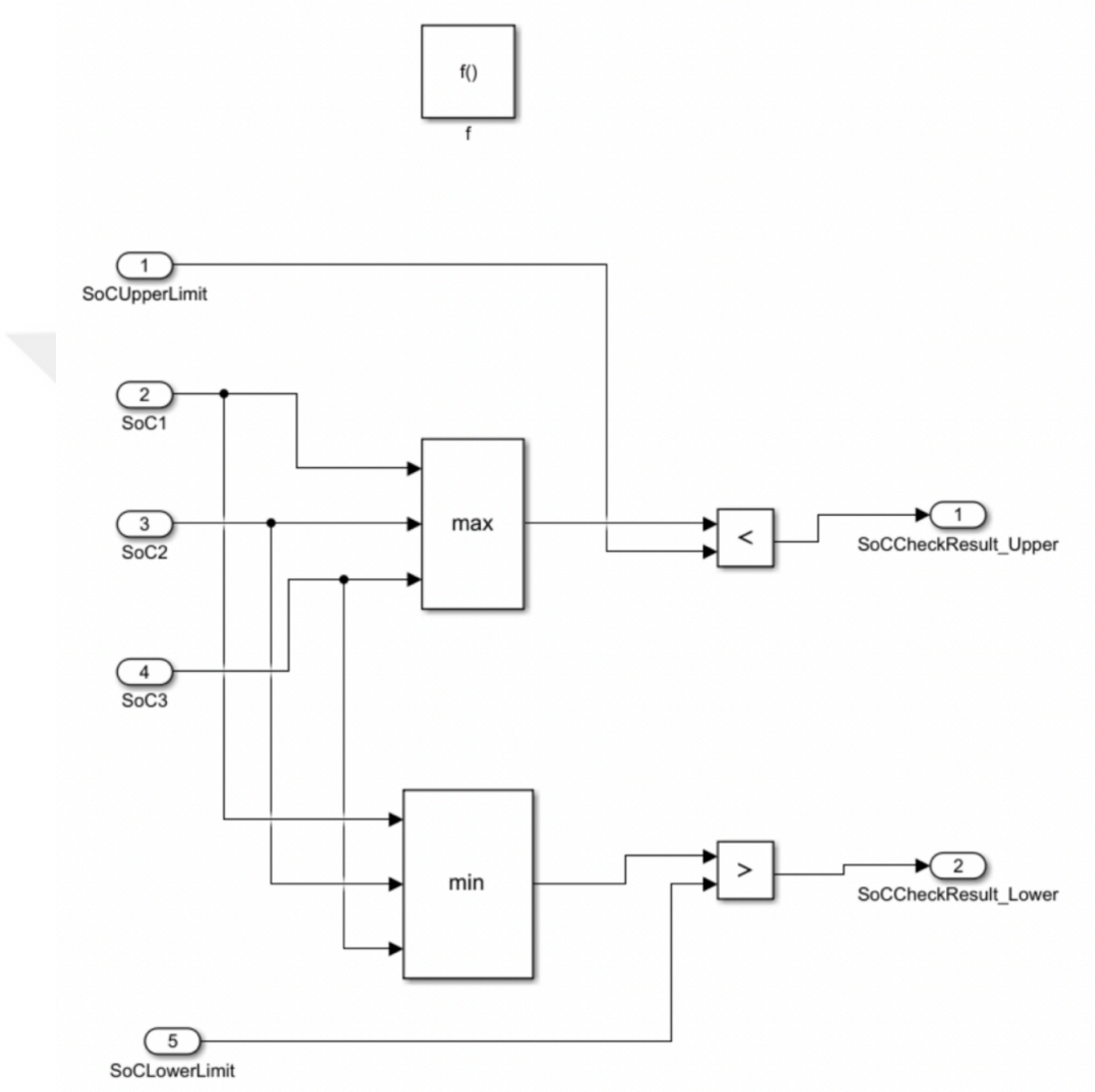
Şarj ve deşarj akımlarına karar verilen fonksiyonlar statelerin dışında ortak kullanılabilir olarak tasarlanmıştır. SoH ve SoC kontrol fonksiyonları da statelerin dışında ortak kullanılabilir olarak tasarlanmış ve hem şarj hem de deşarj protokolleri içerinde çağrılmaktadırlar.

SoH değerine karar verilirken belirlenen kritik alt SoH limiti ile mevcut batarya paketlerinin SoH değerleri karşılaştırılarak, sistemin sağlıklı olup, olmadığına karar verilmektedir. SoH için kritik alt limit %15 olarak yazılım içerisinde belirlenmiştir. Bu değer mevcut yazılım içerisinde kolaylıkla kalibre edilebilmektedir.



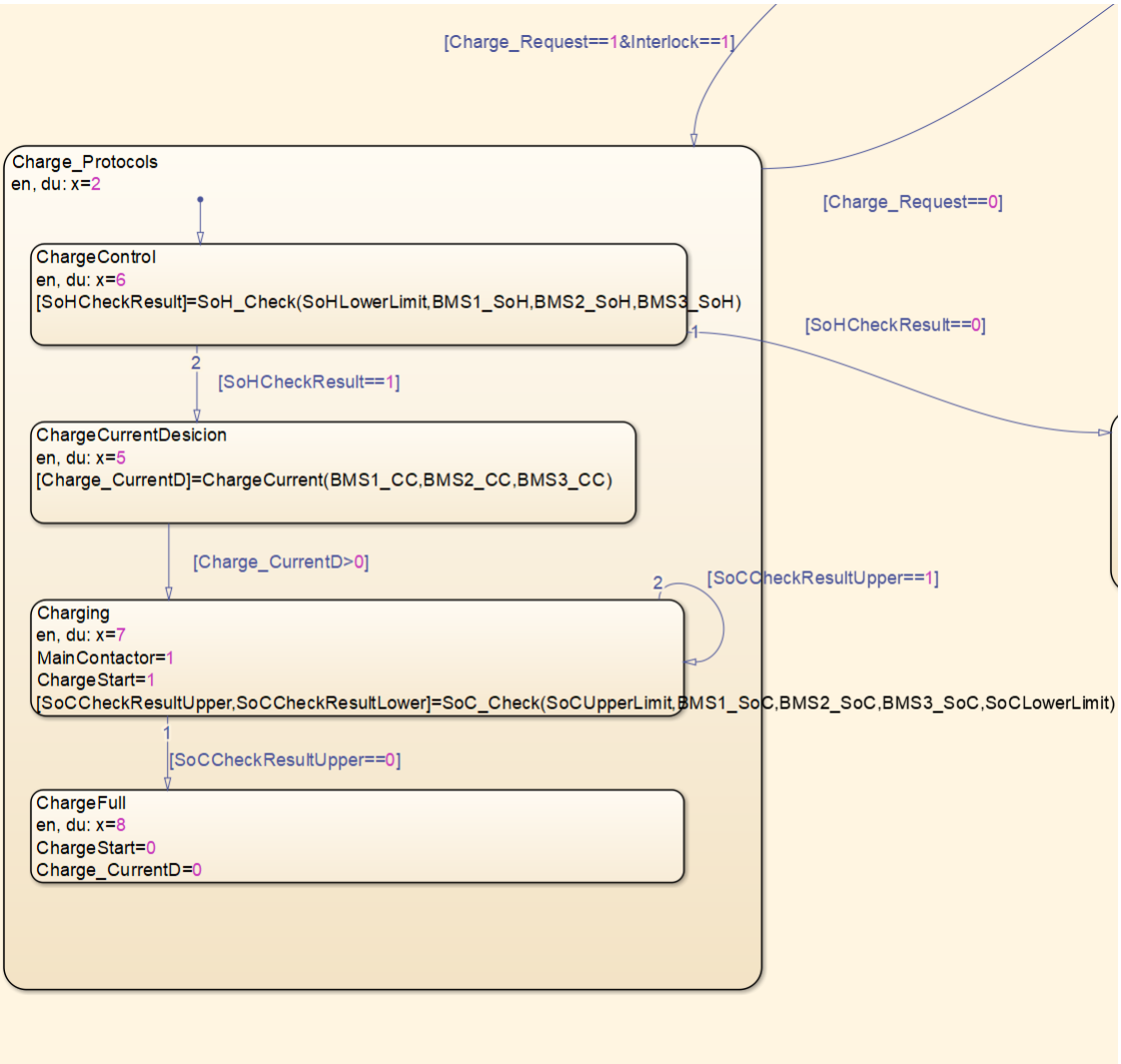
Şekil 32: SoH Kontrol Fonksiyonu

SoC kontrol fonksiyonu hem şarj hem de discharge protokolleri içerisinde kullanılmaktadır. Mevcut paketlerin belirlenen SoC alt ve üst limit arasında kalıp, kalmadığı kontrol edilmektedir. Yazılım içerisinde SoC üst limit %90, alt limiti de %15 olarak belirlenmiştir. Bu değerler mevcut yazılım içerisinde kolaylıkla kalibre edilebilmektedir.



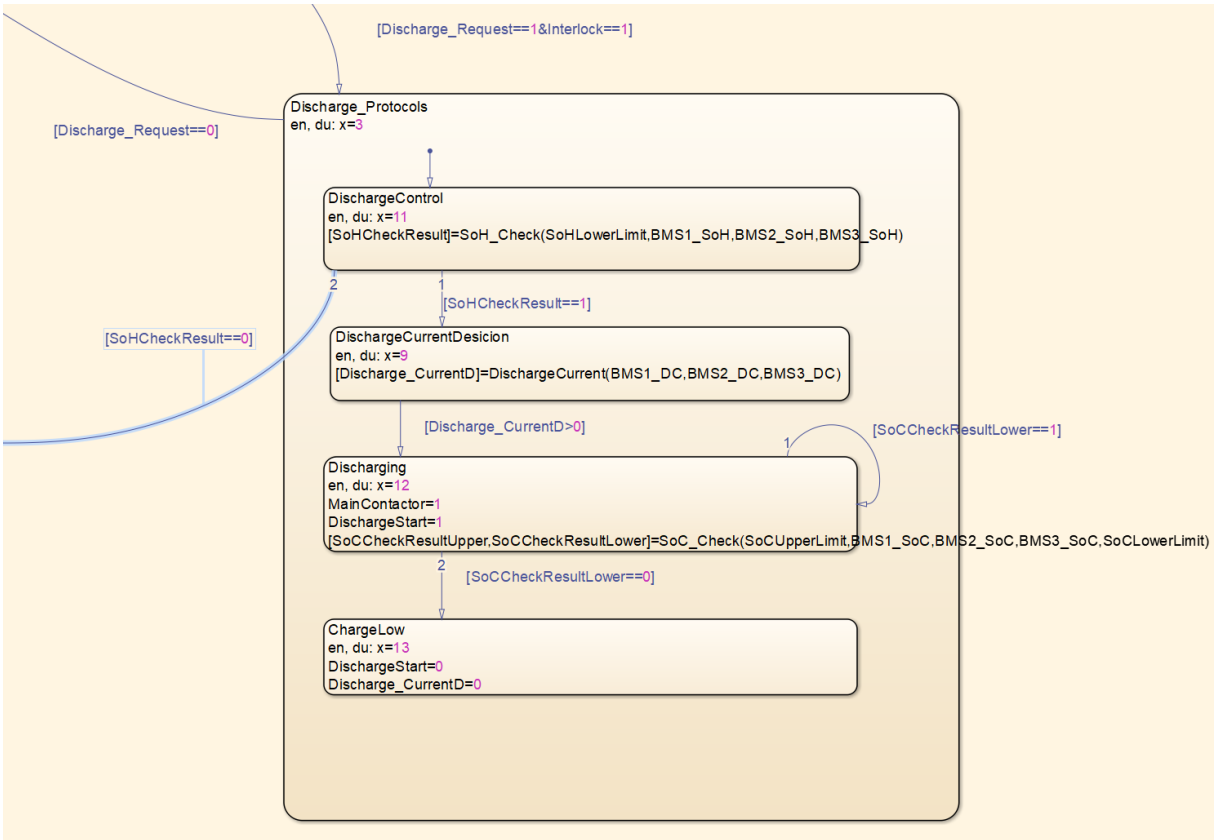
Şekil 33: SoC Durum Kontrol Fonksiyonu

Şarj protokolünün adımları Şekil 34'deki gibi tanımlanmıştır.



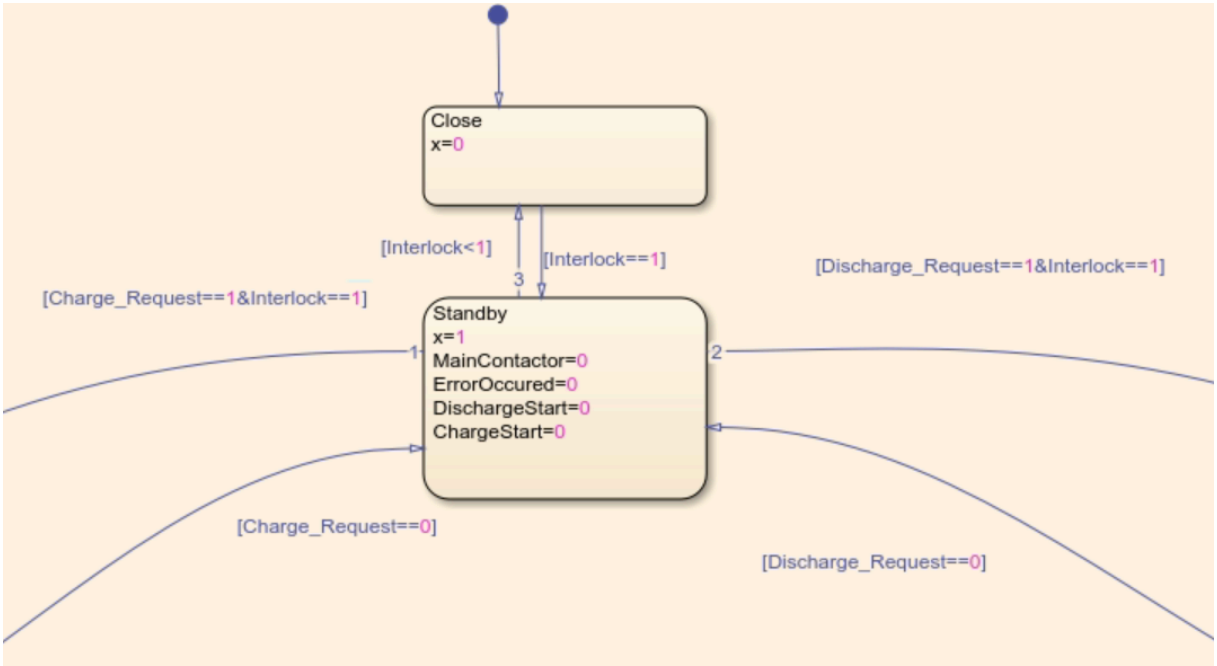
Şekil 34: Şarj Protokolü

Deşarj protokolünün adımları Şekil 35'deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 35: Deşarj Protokolü

Sistemin kapalı olduğu ve hazır konumda beklediği durumların görseli Şekil 36'da belirtilmektedir. Sistemi interlock sinyali hazır durumuna getirebilmektedir. İlgili durum içerisinde ana kontaktörün kapalı pozisyondadır. Batarya paketlerinin içerisindeki kontaktörler her zaman kısa devre konumda kalacaktır. Bu sayede paralel kolda olan batarya paketleri her zaman gerilim eşitlemesi yapabilecektir.

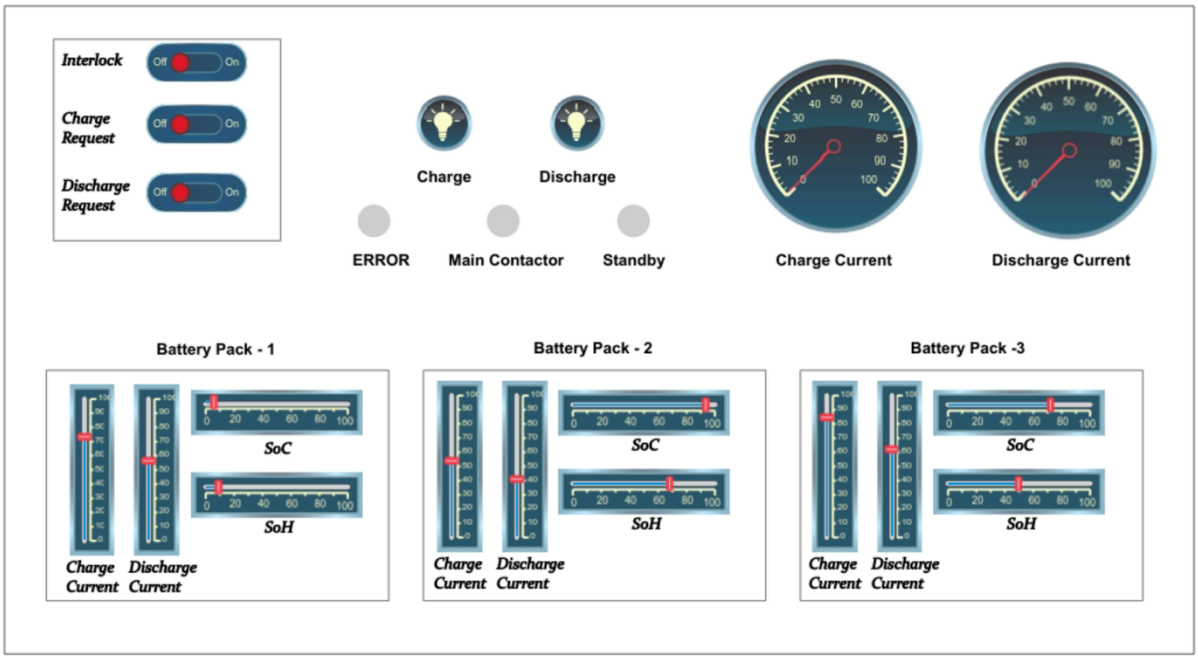


Şekil 36: Kapalı ve Bekleme Durumu

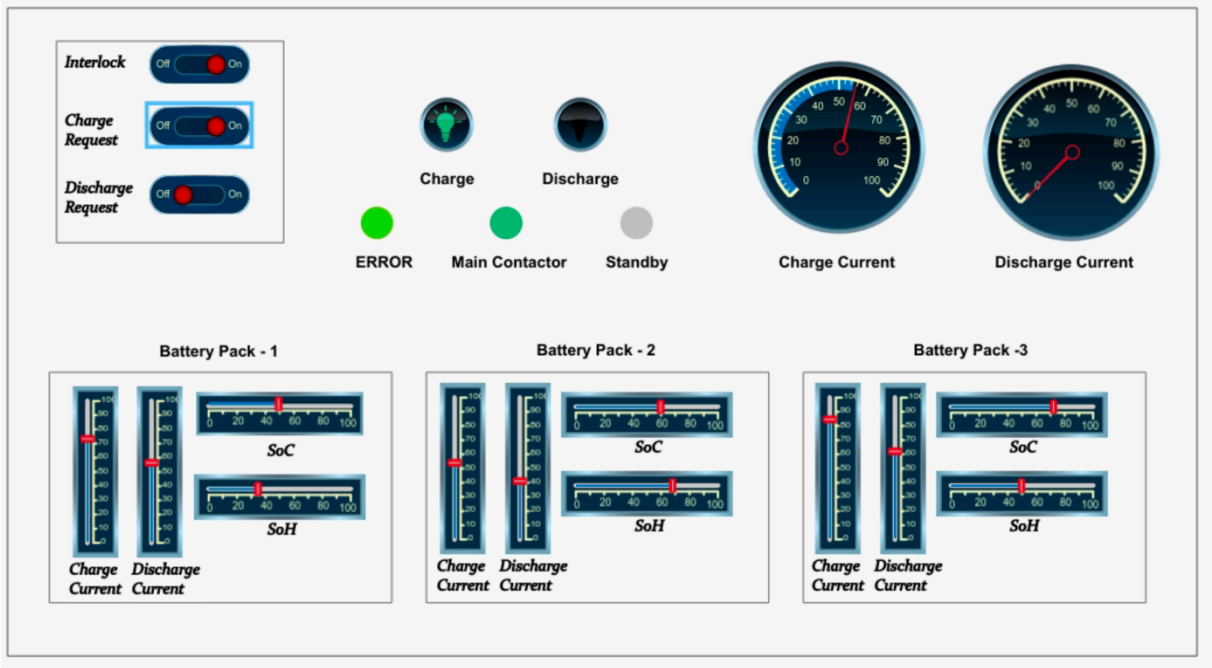
Sistemi bekleme durumundan şarj ve deşarj talepleri çıkarmaktadır.

Fonksiyonlar yazılırken sistemin batarya paketi adetlerinin değişeceği düşünülerek, daha kolay adapte edilebilir şekilde yazılmıştır. Konfigürasyon değişmesi sonrasında yazılımdaki birkaç ufak değişiklik ile sistem kısa sürede tekrar çalışır konuma getirilebilmektedir.

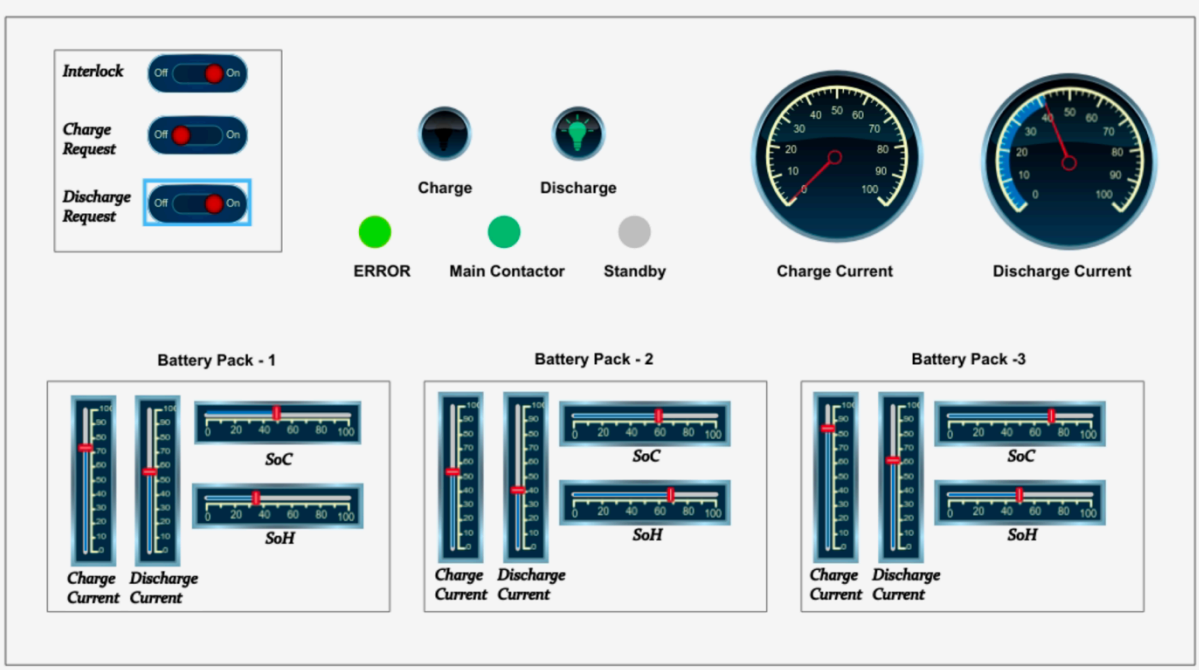
Yazılımdaki çıktıların kolaylıkla analiz edilebilmesi için bir GUI tasarımı yapılmıştır. GUI aracılığı ile sistem giriş değerleri kolaylıkla verilmekte de çıktılar kontrol edilebilmektedir.



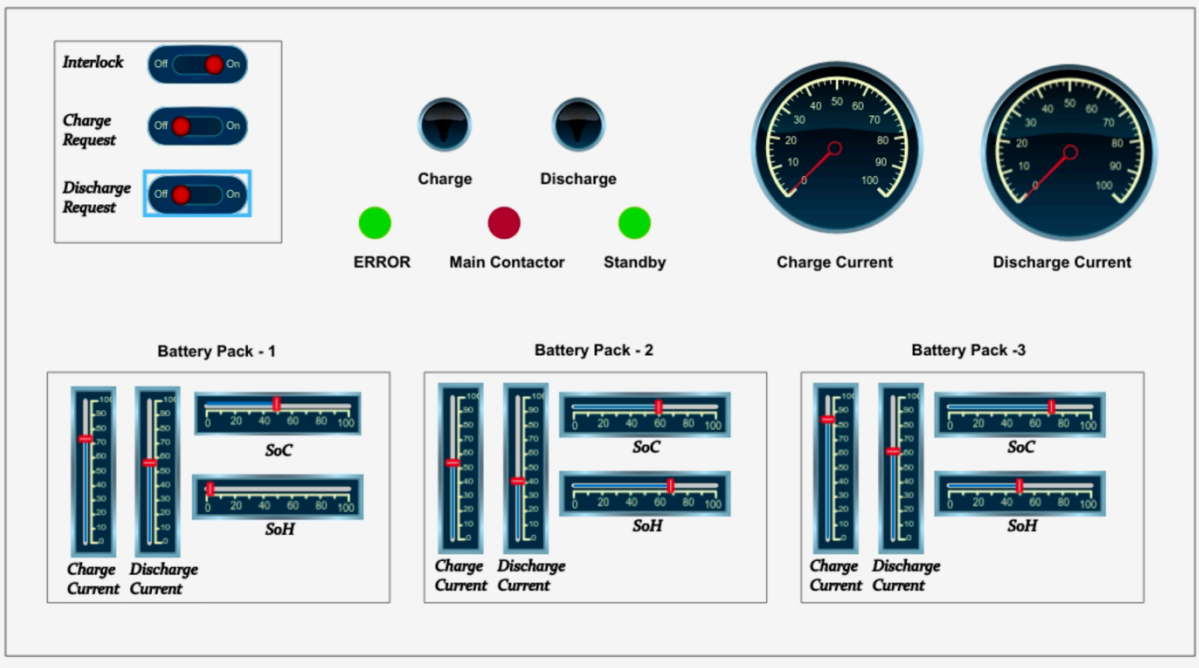
Şekil 37:GUI Tasarımı



Şekil 38: Hatasız Şarj Durumu



Şekil 39: Hatasız Deşarj Durumu



Şekil 40: Hata Durumu

5. TARTIŞMA

Literatür taramaları sonucu, batarya paketlerinin otomotiv uygulamaları sonrasındaki kullanımlarında hala %70 lik bir kapasitesinin kaldığını ve batarya paketlerinin ikinci yaşam döngülerine devam edebileceğini göstermektedir.

UN 38.3'e göre paketin %20 sinden fazlasındaki bir değişimde, batarya paketi yeni bir paket olarak tanımlanmaktadır. Batarya paketinin yeniden kullanımında pakette bir tamir gerekmesi ya da batarya paketindeki modüller ile yeni bir paketi oluşturulması durumunda UN 38.3 de yer alan tüm testlerin yeniden yapılması gerekmektedir. Bu durumda da ciddi bir maliyete neden olmaktadır. Benzer bir durumda paketin direk geri dönüşüme gönderilmesi ya da modül seviyesinde kullanılması daha makul olmaktadır.

Regülasyonlar araç seviyesindeki geri dönüşümleri içerirken, ülkelerin politika hedeflerinin ülke bazlı karbon emisyon hedeflerini oluşturduğu anlaşılmıştır. Batarya paketlerinin geri dönüşüm ve yeniden kullanım süreci politika dokümanlarında tam olarak henüz tanımlı değildir.

Araştırmalar piyasada çok fazla ikinci yaşam döngüsüne sahip bataryanın olmadığını ve bataryaların ikinci yaşam döngüsü sorumlularının tanımlı olmadığını gösterdiğinden, araç üreticilerinin kendi çözümlerini bulduklarını göstermiştir. Batarya paketlerinin maliyetlerinin yüksek olması, otomotiv üreticilerinin alternatif kaynaklarda batarya paketlerini kullanmaya devam etmeleri ile fayda sürelerini uzatmaya çalıştığını göstermiştir. İlgili ana muhatabın araç üreticileri olmamaları ve yüksek güçlü sistemler için batarya paketlerinin toplanmasının beklenmesi bir sorundur. Sorun çözümü için tez kapsamında farklı paketlerinin kullanımı ile sistem tasarlanması önerilmektedir. Ancak bu durumun yönetimi çok kolay olmayacaktır. Paralel kollardaki farklı bataryaların şarj esnasında over şarj olmaması, deşarj esnasında fazla deşarj olmaması yani ölmemesi gerekmektedir. Bunun için şarj ve deşarj prosedürleri belirlenmiştir.

Batarya paketlerinde alt komponent seviyesinde ortak ara yüz ve yazılım kullanımı önerilmiştir. Ortak kullanım ile standartlaşmaya gidilmiş, yeniden kullanım firmalarının süreç yönetimini kolaylaştırmak ve hata riskini azaltması sağlanmıştır.

Tez çalışması boyunca ağırlıklı olarak süreç ve metotlar tanımlanmıştır. Bu çalışma birçok standart için altyapı hazırlığı niteliğindedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamındaki çalışma ile yeniden kullanım/geri dönüşüm prosedürleri tanımlanmıştır. Bahsi geçen prosedür ile bir standart yayını veya regülasyonlardaki atıflar ile süreç tanımlanabilir.

Tez kapsamında literatür taraması yapılmış ve pil birleştirme metotları incelenmiştir. İncelemeler sonucunda tel ile birleştirme metodunun geri dönüşüm için uygun olduğuna karar verilmiştir.

Tez kapsamındaki araştırma sonucunda otomotiv sektöründe ağırlıklı olarak lityum hücreler kullanıldığı tespit edilmiştir. Araç üreticileri kendi hedefleri doğrultusunda farklı hücre tiplerini ve birleştirme metotlarını kullanmaktadırlar. Kimi üretici performans kimi üretici de güvenlik nedeniyle tercihlerini farklılaştırmıştır. Bu durum paketlerin ve teknolojilerin farklılaşmasına neden olmaktadır. Tez içerisinde farklılaşan bazı komponentlerin ara yüzlerinin ya da yazılımlarının ortaklaştırılması önerisi getirilmiştir. Ortaklaştırılan komponentler ile geri dönüşüm/yeniden kullanım sürecinin hızlandırılması ve maliyet düşüşü hedeflenmiştir.

Her otomotiv üreticisi batarya paketinin ikinci yaşam döngüsünün yeniden kullanım aşamasında kendi çözümlerini üretmiştir. Yüksek güç ve uzun süreli kullanım ihtiyacı olan uygulamalarda aynı batarya paketlerinin bulunabilmesi uzun süreler alacaktır. Tez kapsamındaki şarj ve deşarj protokolleri ile farklı üreticilerin batarya paketleri kullanılarak, ikinci yaşam döngüsünün yeniden inşası hedeflenmiştir.

Farklı batarya paketlerinin ikinci yaşam sürecine başlangıcını hızlandırabilmek için batarya paketlerinin kapasite değerlerine göre gruplanması ve gerilim ortaklaşması metotları önerilmektedir.

Batarya paketlerinin ikinci yaşam döngüsündeki kullanım alanları ile ilgili alternatifler sunulmuştur. Geri dönüşüm ile ilgili daha detaylı çalışmalar yapılmaya devam edilebilir.

MATLAB Simulink programında, tez kapsamında sunulan metot, BMS tarafından yayınlanması gereken sinyaller, gerilim ortaklaştırılması ve kategorileşme ile oluşturulan enerji

depolama sistemi için şarj ve deşarj protokollerinin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. 5 farklı batarya paketi değerlendirilerek, 3 farklı paketin birleştirilmesine karar verilmiştir. Oluşan enerji depolama sistemde şarj, deşarj, hata ve bekleme durumlarının simülasyonu başarı ile tamamlanmış ve önerilen BMS haberleşme sinyallerinin doğruluğu kanıtlamaktadır.

KAYNAKLAR

[1]. Irle, R., 2022, Global EV Sales for 2022, https://www.ev-volumes.com/, [Ziyaret Tarihi: 06 Nisan 2023]

[2]. United Nations Inland Transport Committee, 2017, 'Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3)', Revision 6.

[3]. Types of electric vehicles, https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/#hevs, [Ziyaret Tarihi: 06 Nisan 2023]

[4]. 2023, Electric vehicles are forecast to be half of global car sales by 2035, https://www.goldmansachs.com/insights/pages/electric-vehicles-are-forecast-to-behalf-of-global-car-sales-by-2035.html, [Ziyaret Tarihi: 06 Nisan 2023]

[5]. https://evmarketsreports.com/ , [Ziyaret Tarihi: 06 Nisan 2023]

[6]. 2019, CO2 emissions from cars: facts and figures (infographics), https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190313STO31218/co2-emissions-from-cars-facts-and-figures-infographics, [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2023]

[7]. 2022, EU ban on the sale of new petrol and diesel cars from 2035 explained, https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/economy/20221019STO44572/eub an-on-sale-of-new-petrol-and-diesel-cars-from-2035-explained, [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2023]

[8]. 2022,https://www.europarl.europa.eu/news/en/pressroom/20221205IPR60614/ batteries-deal-on-new-eu-rules-for-design-production-andwaste-treatment,[Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2023]

[9]. Wappelhorst, S. and Cui, H. , 2020, Growing momentum: Global overview of goverment targets for phasing out sales of new internal combustion engine vehicles, https://theicct.org/growing-momentum-global-overview-of-government-targets-forphasing-out-sales-of-new-internal-combustion-engine-vehicles/, [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2023]

[10]. 2018, Waste no more: Introducing Europe's new waste laws, https://eeb.org/waste-nomore-introducing-europes-new-waste-laws/#:~:text=EU%20countries%20will%20now%20be,the%20collection%20of%20key%20recyclables, [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2023]

[11]. 2022, Green Deal: EU agrees new law on more sustainable and circular batteries to support EU's energy transition and competitive industry, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_7588, [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2023]

[12]. Larsson, H., Chamberlain, A., Walin,S., Schouri,S., Nilsson, L., Myrsell, E. And Vasquez, D., 2019, Welding methods for electrical connections in battery systems, TVE-Q; 19004/TVE-K;19005,https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1326174/FULLTEXT01. pdf

[13]. Melançon, S., 2022, Electric Vehicle Battery Cells Explanied, https://www.laserax.com/blog/ev-battery-cell-types#:~:text=There%20are%20three%20basic%20types,actually%20used%20in%20electric%20vehicles, [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2023]

[14]. 2022, Cylindrical, pouch, prismatic lithium battery,why tesla only prefer cylindricalcell?, https://www.takomabattery.com/cylindrical-pouch-prismatic-lithium-batterywhy-tesla-only-prefer-cylindrical-cell/#cylindrical_pouch_prismatic_lithium_battery_who_is_the_best_one, [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2023]

[15]. 2019, BU-301a: Types of Battery Cells, https://batteryuniversity.com/article/bu-301atypes-of-battery-cells, [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2023]

[16]. Schröder, R., Aydemir, M. And Seliger, G., 2016, Comparatively assessing different shapes of lithium-ion battery cells, 14th Global Conference on Sustainable Manufacturing, , GCSM 3-5 October 2016, Stellenbosch, South Africa, Elsevier B.V,104 – 111

[17]. Agatie, C., 2022, The Main Types of Li-Ion Batteries Explained and What Is the Best for Electric Vehicles, https://www.autoevolution.com/news/the-main-types-of-li-ionbatteries-explained-and-what-is-the-best-for-electric-vehicles-181498.html#:~:text=Lithium%20nickel%20cobalt%20aluminum%20oxide,of%20their%20more%20unstable%20nature, [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2023]

[18]. Ess, W., 2022, Why is lithium used in batteries, https://waareeess.com/why-lithiumion/#,[Ziyaret Tarihi: 19 Nisan 2023]

[19]. MCALEER, B., 2022, Electric Car Battery Life: Everything You Need to Know,https://www.caranddriver.com/research/a31875141/electric-car-battery-life/, [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2023]

[20]. Gernant, E., Seuster, F., Duffner, F., Jambor, M., König, M. and Mauler, L., 2022,Understanding the Automotive Battery Life Cycle,https://newsroom.porsche.com/dam/jcr:5a063b1d-7d12-4072-94eee4c479cd1621/Understanding%20the%20Automotive%20Battery%20Life%20Cycle_C_Porsche%20Consulting_2022.pdf, [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2023]

[21]. Saariluoma, H., Piiroinen, A., Unt, A., Hakanen, J., Rautava, T. and Salminen, A., 2020,Overview of Optical Digital Measuring Challenges and Technologies in Laser Welded Components in EV Battery Module Design and Manufacturing, Batteries 2020, 6(3), 47; https://doi.org/10.3390/batteries6030047

[22]. https://www.emobility-engineering.com/ev-battery-welding/, [Ziyaret Tarihi:23 Nisan 2023]

[23]. UNECE, 2022, Addendum 99: Regulation No. 100 Revision 3

[24]. UNECE, 2019, Addendum 9 – UN Regulation No. 10 Revision 6

[25]. Stringer, D. And Ma, J., 2018, Where 3 Million Electric Vehicle Batteries Will Go When They Retire, https://www.bloomberg.com/news/features/2018-06-27/where-3-millionelectric-vehicle-batteries-will-go-when-they-retire?leadSource=uverify%20wall, [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2023]

[26]. UNECE, 2015, ST/SG/AC.10/11/Rev.6

[27]. UL 1974: Creating a Safe Second Life for Electric Vehicle Batteries, https://www.ul.com/resources/ul-1974-creating-safe-second-life-electric-vehiclebatteries,[Ziyaret Tarihi: 09 Mayıs 2023]

[28]. 2023, https://www.biologic.net/topics/battery-states-state-of-charge-soc-state-ofhealth-soh/, [Ziyaret Tarihi: 09 Mayıs 2023]

[29]. E. Cready, J. Lippert, J. Pihl, I. Weinstock, P. Symons and R.G. Jungst, 2003, Technical and Economic Feasibility of Applying Used EV Batteries in Stationary Applications: A Study for the DOE Energy Storage Systems Program, U.S. Department of Energy, Sandia National Laboratories, Final Report SAND2002-4084, Albuquerque, Livermore

[30]. J. Neubauer, K. Smith, E. Wood and A. Pesaran, 2015, Identifying and Overcoming Critical Barriers to Widespread Second Use of PEV Batteries, National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-5400-63332, Golden

[31]. E.N. Elkind, S. Hecht, C. Horowitz, S. Weissman, 2014, REUSE AND REPOWER - How to Save Money and Clean the Grid with Second-Life Electric Vehicle Batteries,CLEE, Emmett Institute, Final Report, California

[32]. J.S. Neubauer, A. Pesaran, B. Williams, M. Ferry, J. Eyer, A Techno-Economic Analysis of PEV Battery Second Use Repurposed-Battery Selling Price and Commercial and Industrial End-User Value, SAE International 2012-01-0349 (2012)

[33]. https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=showdoc&DocId=Customer+Drawing%7F2322122%7FC1%7Fpdf%7FEnglish%7FENG_CD_2322122_C1.pdf%7F1-2322122-1, [Ziyaret Tarihi: 14 Mayıs 2023]

[34]. https://www.molex.com/content/dam/molex/molex-dot-com/products/automated/enus/salesdrawingpdf/148/148028/1480286002_sd.pdf?inline, [Ziyaret Tarihi: 14 Mayıs 2023]

[35]. Zhang, H., Lu, R., Zhu, C. and Zhao, Y., 2014, On-line Measurement of Internal Resistance of Lithium Ion Battery for EV and its Application Research, Doktora, Harbin Teknoloji Enstitüsü

[36]. 2019, Research Study on Reuse and Recycling of Batteries Employed in Electric Vehicles: The Technical, Environmental, Economic, Energy and Cost Implications of Reusing and Recycling EV Batteries, https://www.api.org/~/media/files/oil-andnatural-gas/fuels/kelleher%20final%20ev%20battery%20reuse%20and%20recycling%20report%20to%20api%2018sept2019%20edits%2018dec2019.pdf, [Ziyaret Tarihi: 25 Nisan 2023]

EKLER

EK-1 Ülkeler Bazlı Elektrikli Araçlara Geçiş Hükümet Emirleri

Tablo 6: Elektrikli Araçlara Geçiş için Avrupa Hükümet Emirleri

Devlet	Yıl	Araç kategorisi	Hedef araç türleri	Politika dokümanı
AVRUPA				
Norveç	2025	Binek araçlar, hafif ticari araçlar, şehir içi kullanımlar	Yeni araç satışları %100 sıfır emisyon	National Transport Plan 2018–2029 (2017)
Hollanda	2025	Şehir içi otobüsler	Yeni araç alımları %100 sıfır emisyonlu	Mission Zero (2019)
	2030	Yolcu arabaları	Yeni araç satışları %100 sıfır emisyon	
Danimarka	2030	Yolcu arabaları	Yeni benzinli veya dizel araç satışı yok	Climate and Air Plan (2018)
	2035		Yeni benzinli, dizel veya plug-in hibrit araç satışı yok	
İzlanda	2030	Yolcu arabaları	Yeni benzinli veya dizel araç kaydı yok	Iceland's Climate Action Plan for 2018–2030 (2018)
İrlanda	2030	Yolcu arabaları	Yeni fosil yakıtlı araç satışı yok	Climate Action Plan 2019 (2019)

Slovenya	2030	Binek otomobiller, hafif ticari araçlar	CO 2 emisyonu 50 g/km'nin üzerinde olan araçlar için yeni kayıt yok	Market Development Strategy for the Establishment of Adequate Alternative Fuel Infrastructure in the Transport Sector in the Republic of Slovenia (2017)
İsveç	2030	Yolcu arabaları	Yeni benzinli veya dizel araç satışı yok	Climate Policy Action Plan (2019)
İskoçya (Birleşik Krallık)	2032	Binek otomobiller, hafif ticari araçlar	Yeni benzinli veya dizel araç satışı yok	Climate Change Plan (2018)
Birleşik Krallık	2035	Binek otomobiller, hafif ticari araçlar	Yeni benzinli, dizel veya hibrit araç satışı yok	Consulting on ending the sale of new petrol, diesel, and hybrid cars and vans (2020)
Fransa	2040	Binek otomobiller, hafif ticari araçlar	Yeni fosil yakıtlı araç satışı yok	Mobility Guidance Law (2019)
ispanya	2040	Binek otomobiller, hafif ticari araçlar	Yeni araç satışları %100 sıfır emisyon	Draft Law on Climate Change and Energy Transition (2020)
Almanya, Baden-	2050	Yolcu arabaları	Yeni araç satışları %100 sıfır emisyon	IZEVA commitment (2015), not yet reflected in national

Württemberg (Almanya)				Climate Protection Plan

Tablo 7: Elektrikli Araçlara Geçiş için Kuzey,Orta ve Güney Amerika Hükümet Emirleri

Devlet	**Yıl**	**Araç kategorisi**	**Hedef araç türleri**	**Politika dokümanı**
KUZEY, ORTA ve GÜNEY AMERİKA				
Kaliforniya (Amerika Birleşik Devletleri)	2035	Binek araçlar, hafif hizmet kamyonları	Yeni araç satışları %100 sıfır emisyon	Executive Order (2020)
Kolombiya	2035	Toplu taşıma	Yeni alımlar %100 elektrikli veya sıfır emisyonlu	Law for the Promotion of Electric Vehicles in Columbia (2019)
Britanya Kolombiyası (Kanada)	2040	Hafif ticari araçlar (binek otomobiller, hafif ticari araçlar)	Yeni araç satışları ve kiralamaları %100 sıfır emisyon	Zero-Emission Vehicles Act (2020)
Kanada	2040	Hafif ticari araçlar (binek otomobiller, hafif ticari araçlar)	Yeni araç satışları %100 sıfır emisyon	Canada's Federal Budget (2019)

Kosta Rika	2050	Hafif araçlar (binek otomobiller, hafif ticari araçlar)	Yeni araç satışları %100 sıfır emisyon	National Decarbonization Plan (2019)
Connecticut, Maryland, Massachusetts, New Jersey, New York, Oregon, Rhode Island, Vermont, Washington (Amerika Birleşik Devletleri)	2050	Yolcu arabaları	Yeni araç satışları %100 sıfır emisyon	IZEVA commitment (2015), not yet reflected in official state or provincial-level strategic documents
Kaliforniya, Connecticut, Colorado, Hawaii, Maine, Maryland, Massachusetts, New Jersey, New York, Kuzey Karolina, Oregon, Pensilvanya, Rhode Island, Vermont, Washington, District of	2050	Orta ve ağır hizmet araçları	Yeni araç satışları %100 sıfır emisyon	Memorandum of understanding (2020), not yet reflected in official strategic documents

Columbia (Amerika Birleşik Devletleri)				

Tablo 8: Elektrikli Araçlara Geçiş için Asya Hükümet Emirleri

Devlet	**Yıl**	**Araç kategorisi**	**Hedef araç türleri**	**Politika dokümanı**
ASYA				
Haynan (Çin)	2020	Kamu ve araba paylaşım araçları, hafif hizmet kamyonları	Yeni araç satışları %100 elektrikli	Clean Energy Vehicle Development Plan (2019)
	2020	Otobüsler, binilen araçlar	Yeni benzinli veya dizel araç satışı yok	
	2025	Antrenörler, kiralık arabalar	Yeni benzinli veya dizel araç satışı yok	
	2030	Özel arabalar	Yeni araç satışları %100 elektrikli	

İsrail	2030	Özel Araçlar	Yeni araç satışları %100 elektrikli	Energy Economy Objectives for the Year 2030 (2018)

Tablo 9: Elektrikli Araçlara Geçiş için Afrika Hükümet Emirleri

Devlet	**Yıl**	**Araç kategorisi**	**Hedef araç türleri**	**Politika dokümanı**
AFRİKA				
Yeşil Burun	2035	Binek otomobiller, hafif ticari araçlar, otobüsler, orta ve ağır kamyonlar, iki tekerlekli araçlar	Fosil yakıt (benzin veya dizel) kullanan içten yanmalı motorlu araçların ithalatı yapılmaz.	Electric Mobility Policy Charter (2019)

EK-2 Piyasadaki Elektrikli Araçların Kullandığı Batarya Kimyasalları

Tablo 10: Elektrikli Araçlar ve Batarya Tipleri & Çalışma Gerilimleri

	Ülke	**Marka**	**Model**	**Batarya Çalışma Gerilimi**	**Batarya Tipi**	**Batarya Enerji (kWh)**
1	Almanya	Audi	Q4 Sportback e-tron 35	350 V	Kese	55/52
2	Almanya	Audi	Q4 e-tron 35	350 V	Kese	55/52
3	Almanya	Audi	e-tron Sportback 50 quattro	396 V	Prizmatik	71/64.7
4	Almanya	Audi	e-tron 50 quattro	396 V	Prizmatik	71/64.7
5	Almanya	Audi	Q4 Sportback e-tron 50 quattro	350 V	Kese	82/76.6
6	Almanya	Audi	Q4 e-tron 50 quattro	350 V	Kese	82/76.6
7	Almanya	Audi	Q4 e-tron 45 quattro	350 V	Kese	82/76.6
8	Almanya	Audi	Q4 Sportback e-tron 40	350 V	Kese	82/76.6
9	Almanya	Audi	Q4 e-tron 40	350 V	Kese	82/76.6
10	Almanya	Audi	e-tron GT RS	723 V	Kese	93.4/85
11	Almanya	Audi	e-tron GT quattro	723 V	Kese	93.4/85
12	Almanya	Audi	e-tron S Sportback	396 V	Kese	95/86.5
13	Almanya	Audi	e-tron S	396 V	Kese	95/86.5

14	Almanya	Audi	e-tron Sportback 55 quattro	396 V	Kese	95/86.5
15	Almanya	Audi	e-tron 55 quattro	396 V	Kese	95/86.5
16	Almanya	BMW	i3s 120 Ah	351 V	Prizmatik	42.2/37.9
17	Almanya	BMW	i3 120 Ah	351 V	Prizmatik	42.2/37.9
18	Almanya	BMW	i4 M50	398.5 V	Prizmatik	83.9/80.7
19	Almanya	BMW	i4 eDrive40	398.5 V	Prizmatik	83.9/80.7
20	Amerika	Chevrolet	Bolt EV 65 kWh	350 V	Kese	68/65
21	Amerika	Chevrolet	Bolt EUV 65 kWh	350 V	Kese	68/65
22	Fransa	Citroen	e-C4	400 V	Kese	50/45
23	Fransa	Citroen	e-Berlingo M 50 kWh	400 V	Kese	50/45
24	Fransa	Citroen	e-Berlingo XL 50 kWh	400 V	Kese	50/45
25	Fransa	Citroen	e-Jumpy Combi M 50 kWh	400 V	Kese	50/45
26	Fransa	Citroen	e-Jumpy Combi XS 50 kWh	400 V	Kese	50/45
27	Fransa	Citroen	e-SpaceTourer M 50 kWh	400 V	Kese	50/45
28	Fransa	Citroen	e-SpaceTourer XS 50 kWh	400 V	Kese	50/45

29	Fransa	Citroen	e-Jumpy Combi XL 50 kWh	400 V	Kese	50/45
30	Fransa	Citroen	e-SpaceTourer XL 50 kWh	400 V	Kese	50/45
31	KKTC	GÜNSEL	B9	345 V	Silindirik	52.5
32	Japonya	Honda	e 100 kW	350 V	Prizmatik	35.5/28.6
33	Japonya	Honda	e 113 kW	350 V	Prizmatik	35.5/28.6
34	Güney Kore	Hyundai	Kona Electric 100 kW	324 V	Kese	42/39.2
35	Güney Kore	Hyundai	Ioniq 5 Standard Range RWD	522.7 V	Kese	42/39.2
36	Güney Kore	Hyundai	Kona Electric 150 kW	356 V	Kese	61/58
37	İngiltere	Jaguar	I-PACE EV400	390 V	Kese	90/84.7
38	Güney Kore	Kia	Soul EV 39 kWh	327 V	Kese	42/39.2
39	Güney Kore	Kia	e-Niro 39 kWh	324 V	Kese	42/39.2
40	Güney Kore	Kia	EV6 Standard Range RWD	522.7 V	Kese	61/58
41	Güney Kore	Kia	e-Niro 64 kWh	356 V	Kese	67.1/64
42	Güney Kore	Kia	Soul EV 64 kWh	356 V	Kese	61/59

43	Güney Kore	Kia	EV6 GT	697 V	Kese	77.4/72.6
44	Güney Kore	Kia	EV6 Long Range AWD	697 V	Kese	77.4/72.6
45	Güney Kore	Kia	EV6 Long Range RWD	697 V	Kese	77.4/72.6
46	Amerika	Lucid	Air Dream Edition Range	800 V	Silindirik	118/112
47	Amerika	Lucid	Air Dream Edition Performance	800 V	Silindirik	118/112
48	Japonya	Mazda	MX-30 105 kW	355 V	Prizmatik	35.5/30
49	Almanya	Mercedes-Benz	EQS AMG 53 4MATIC+	396 V	Prizmatik	115/107.8
50	Almanya	Mercedes-Benz	EQS 580 4MATIC	396 V	Prizmatik	115/107.8
51	Almanya	Mercedes-Benz	EQS 450+	396 V	Prizmatik	115/107.8
52	Almanya	Mercedes-Benz	EQA 350 4MATIC	420 V	Prizmatik	78/66.5
53	Almanya	Mercedes-Benz	EQB 350 4MATIC	420 V	Prismatic	78/66.5
54	Almanya	Mercedes-Benz	EQA 300 4MATIC	420 V	Prismatic	78/66.5
55	Almanya	Mercedes-Benz	EQB 300 4MATIC	420 V	Prismatic	78/66.5

56	Almanya	Mercedes-Benz	EQA 250	420 V	Prismatic	78/66.5
57	Almanya	Mercedes-Benz	EQC 400 4MATIC	405 V	Prismatic	86/80
58	Çin	NIO	ES8 Standard 75 kWh	350 V	Kese	80/75
59	Japonya	Nissan	Leaf 40 kWh	350 V	Kese	40/37
60	Japonya	Nissan	Leaf e+ 62 kWh	350 V	Kese	62/56
61	Almanya	Opel	Corsa-e 50 kWh	400 V	Kese	50/45
62	Almanya	Opel	Mokka-e 50 kWh	400 V	Kese	50/45
63	Almanya	Opel	Combo-e Life 50 kWh	400 V	Kese	50/45
64	Almanya	Opel	Combo-e Life XL 50 kWh	400 V	Kese	50/45
65	Fransa	Peugeot	e-208 50 kWh	400 V	Kese	50/45
66	Fransa	Peugeot	e-2008 50 kWh	400 V	Kese	50/45
67	Fransa	Peugeot	e-Rifter 50 kWh	400 V	Kese	50/45
68	Fransa	Peugeot	e-Rifter 50 kWh Long	400 V	Kese	50/45
69	Almanya	Porshce	Taycan Sport Turismo Turbo S	800 V	Pouch	93.4/83.7
70	Almanya	Porshce	Taycan Cross Turismo Turbo S	800 V	Pouch	93.4/83.7

71	Almanya	Porshce	Taycan Turbo S	800 V	Pouch	93.4/83.7
72	Almanya	Porshce	Taycan GTS	800v	Pouch	93.4/83.7
73	Almanya	Porshce	Taycan Sport Turismo GTS	800 V	Pouch	93.4/83.7
74	Almanya	Porshce	Taycan Sport Turismo Turbo	800 V	Pouch	93.4/83.7
75	Almanya	Porshce	Taycan Turbo	800 V	Pouch	93.4/83.7
76	Almanya	Porshce	Taycan Cross Turismo Turbo	800 V	Pouch	93.4/83.7
77	Almanya	Porshce	Taycan Sport Turismo 4S	800 V	Pouch	93.4/83.7
78	Almanya	Porshce	Taycan 4S	800 V	Pouch	93.4/83.7
79	Almanya	Porshce	Taycan Cross Turismo 4S	800 V	Pouch	93.4/83.7
80	Almanya	Porshce	Taycan Cross Turismo 4	800 V	Pouch	93.4/83.7
81	Almanya	Porshce	Taycan Sport Turismo	800 V	Pouch	93.4/83.7
82	Almanya	Porshce	Taycan	800 V	Pouch	93.4/83.7
83	Fransa	Renault	Twingo E-Tech Electric R80	400 V	Pouch	23.5/21.3
84	Fransa	Renault	Zoe R135	345 V	Pouch	55/52
85	Fransa	Renault	Zoe R110	345 V	Pouch	55/52

86	Amerika	Rivian	R1T Dual-Motor AWD Standard Pack	389 V	Cylindirical	105/95
87	Amerika	Rivian	R1T Quad-Motor AWD Large Pack	359 V	Cylindirical	135/125
88	Amerika	Rivian	R1T Dual-Motor AWD Large Pack	359 V	Cylindirical	135/125
89	Amerika	Rivian	R1T Quad-Motor AWD Max Pack	800 V	Cylindirical	180/170
90	Amerika	Rivian	R1T Dual-Motor AWD Max Pack	800 V	Cylindirical	180/170
91	Almanya	Smart	EQ fortwo coupe 60 kW	344.1 V	Pouch	19/17.6
92	Almanya	Smart	EQ fortwo cabrio 60 kW	344.1 V	Pouch	19/17.6
93	Almanya	Sono	Sion 54 kWh	350 V	Prismatic	54/49
94	Amerika	Tesla	Model S Plaid	390 V	Cylindirical	102.4/98.4
95	Amerika	Tesla	Model S Long Range	390 V	Cylindirical	102.4/98.4
96	Amerika	Tesla	Model Y Performance	355 V	Cylindirical	77/74
97	Amerika	Tesla	Model 3 Performance	355 V	Cylindirical	77/74
98	Amerika	Tesla	Model Y Long Range	355 V	Cylindirical	77/74
99	Amerika	Tesla	Model 3 Long Range	355 V	Cylindirical	77/74

100	Türkiye	TOGG	SUV AWD	400 V	Prismatic	80/80
101	Türkiye	TOGG	SUV RWD	400 V	Prismatic	80/80
102	Almanya	Volkswagen	ID.3 Pure Performance	355 V	Pouch	55/45
103	Almanya	Volkswagen	ID.4 Pure Performance	355 V	Pouch	55/52
104	Almanya	Volkswagen	ID.4 Pure	355 V	Pouch	55/52
105	Almanya	Volkswagen	ID.3 Pro	396 V	Pouch	62/58
106	Almanya	Volkswagen	ID.3 Pro Performance	396 V	Pouch	62/58
107	Almanya	Volkswagen	ID.5 GTX	408 V	Pouch	82/77
108	Almanya	Volkswagen	ID.4 GTX	408 V	Pouch	82/77
109	Almanya	Volkswagen	ID.5 Pro	408 V	Pouch	82/77
110	Almanya	Volkswagen	ID.4 Pro	408 V	Pouch	82/77
111	Almanya	Volkswagen	ID.3 Pro S 4 Seats	408 V	Pouch	82/77
112	Almanya	Volkswagen	ID.3 Pro S 5 Seats	408 V	Pouch	82/77
113	Almanya	Volkswagen	ID.4 Pro Performance	408 V	Pouch	82/77
114	Almanya	Volkswagen	ID.5 Pro Performance	408 V	Pouch	82/77
115	Almanya	Volkswagen	ID. Buzz 82 kWh	408 V	Pouch	82/77
116	İsveç	Volvo	C40 Recharge AWD	400 V	Prismatic	69/67

EK-3 Yeniden Kullanım Örnekleri

Tablo 11: Yeniden Kullanım Örnekleri [36]

Firma	**Elektrikli Araç Batarya Paketinin Yeniden Kullanmım Uygulaması**	**Lokasyon**
Audi	Forklift ve fabrika römorkları	Ingolstadt, Almanya
Audi	Pil depolama	Berlin,Almanya
BMW	Enerji depolama tarlası	Leipzig, Almanya
BYD	Enerji Depolama	Shenzhen, Çin
Chevrolet	GM data merkezi için yedek güç	Michigan, Amerika Birleşik Devletleri
Daimler	Ticair ve endüstriyel güç depolama	
Eaton	Enerji Depolama	Güney Afrika
EcarACCU	Güneş Enerji Depolama	Cameroon
EVgo	Elektrikli Araba Şarj İstasyonu	California, Amerika Birleşik Devletleri
General Motors	Yeniden Üretim	
GreatWall Power	Yedek Güç, Enerji Depolama	Shanghai,Çin
Honda/American Electric Power	Şebeke Beslenmeli Enerji Depolama	
Nissan	Yeniden Üretim, Elektrikli Araba Şarj	
Nissan/Eaton/Mobility Hous	Enerji Depolama	Amsterdam, Hollanda

Nissan/Eaton ve EDF Energy	Ticari Enerji Depolama	İngiltere
Nissan/Sumitomo	Sokak Aydınlatması	Japonya
Nissan/Sumitomo	Büyük Ölçekli Güç Depolama	Japonya
Relectrify	Kalıcı Güneş Enerjisi Depolama, Şebeke Destek	Avusturalya
Renault	Yenilenebilir Enerji	Porto Santo Adası
Renault	Asansörler için Yedek Güç	Paris, Fransa
Renault	Ev Şarj	Belçika
Volvo	Kalıcı Enerji Depolama	

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

TUba_Guven

ORİJİNALLİK RAPORU

%7	%6	%1	%5
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%4
2	theicct.org İnternet Kaynağı	%1
3	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
4	www.teknolojitransferi.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
6	hdl.handle.net İnternet Kaynağı	<%1
7	Yossi Hadad, Baruch Keren, Dima Alberg. "An Expert System for Ranking and Matching Electric Vehicles to Customer Specifications and Requirements", Energies, 2023 Yayın	<%1
8	www.springerprofessional.de İnternet Kaynağı	<%1