



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



# **ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN SERİ- PARALEL BAĞLANTI KOMBİNASYONUNU DESTEKLEYEN YENİ BİR BATARYA PAKETİ TASARIMI**

NURŞAH ÖZ

**TEZ ÇALIŞMASI**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**DANIŞMAN**

Prof. Dr. Ahmet Fevzi BABA

**EŞ DANIŞMAN**

Dr. Öğr. Üyesi Koray ERHAN

İSTANBUL, 2024



**MARMARA UNIVERSITY**  
**INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES**  
**IN PURE AND APPLIED SCIENCES**



# **DESIGN OF A NEW BATTERY PACK THAT SUPPORTS SERIAL PARALLEL CONNECTIVITY FOR ELECTRIC VEHICLE**

---

**NURŞAH ÖZ**

**MASTER THESIS**

Department of Electrical – Electronics Engineering

**Thesis Supervisor**

Prof. Dr. Ahmet Fevzi BABA

**Thesis CO- Supervisor**

Dr. Öğr. Üyesi Koray ERHAN

ISTANBUL, 2024

---

## TEŞEKKÜR

Tez çalışma sürecim boyunca desteklerini esirgemeyen birinci danışman hocam Sn. Prof. Dr. Ahmet Fevzi BABA'ya ve ayrıca tüm tez sürecim boyunca tecrübelerini benimle paylaşan, öneri ve fikirleri ile yol gösteren, desteğini her zaman hissettiğim ikinci danışman hocam Sn. Dr. Öğr. Üyesi Koray ERHAN'a teşekkür ederim.

Maddi, manevi tüm desteğiyle her zaman yanımda olan canım eşim Veysel ÖZ'e, varlığıyla güç veren biricik oğlum Aybars ÖZ'e, hayatım boyunca her kararımda arkamda olan sevgili babam Doç. Dr. Mehmet YAZ'a, sevgili annem Gülerman YAZ'a ve sevgili kardeşim O. Mert YAZ'a teşekkür ederim.

Nurşah ÖZ  
Eskişehir, 2024

# İÇİNDEKİLER

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR .....                                                | ii  |
| İÇİNDEKİLER.....                                              | iii |
| ÖZET .....                                                    | vi  |
| ABSTRACT .....                                                | vii |
| KISALTMALAR/ABBREVIATIONS .....                               | x   |
| ŞEKİL.....                                                    | xii |
| TABLO LİSTESİ/LIST OF TABLES.....                             | xv  |
| 1. GİRİŞ/INTRODUCTION .....                                   | 2   |
| 2. ELEKTRİKLİ ARAÇ MODELLERİ.....                             | 3   |
| 2.1 Bataryalı Elektrikli Araçlar .....                        | 5   |
| 2.2 Hibrit Elektrikli Araçlar.....                            | 6   |
| 2.2.1 Seri hibrit elektrikli araçlar .....                    | 7   |
| 2.2.2 Paralel hibrit elektrikli araçlar .....                 | 8   |
| 2.2.3 Kombine hibrit elektrikli araçlar .....                 | 9   |
| 2.3 Yakıt Pili Elektrikli Araçlar .....                       | 9   |
| 2.4 800 V Topolojisine Sahip Elektrikli Araçlar .....         | 10  |
| 2.4.1 Porsche Taycan Özellikleri.....                         | 11  |
| 3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ŞARJ YÖNTEMLERİ.....                  | 13  |
| 3.1 Kablolu Şarj Yöntemi .....                                | 13  |
| 3.1.1 Şarj modları .....                                      | 15  |
| 3.2 Kablosuz Şarj Yöntemi.....                                | 19  |
| 4. ELEKTRİKLİ ARACIN SİSTEMSEL BİLEŞENLERİ.....               | 20  |
| 4.1. Elektrik Motoru .....                                    | 21  |
| 4.2. Batarya.....                                             | 21  |
| 4.3. İnvertörler (DC/AC) .....                                | 22  |
| 4.4 Şarj Üniteleri .....                                      | 23  |
| 4.5 Güç Dağıtım Ünitesi ( Power Distribution Unit -PDU) ..... | 23  |
| 4.6 Diğer Elektrikli Araç Bileşenleri.....                    | 23  |
| 4.6.1 Alçak Gerilim Bataryası: .....                          | 23  |
| 4.6.2 Şarj girişi: .....                                      | 24  |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6.3 Sıcaklık kontrol sistemi: .....                              | 24 |
| 4.6.4 Şanzıman: .....                                              | 24 |
| 5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA TEKNOLOJİLERİ ....      | 24 |
| 5.1 Şarj Edilmeyen Bataryalar .....                                | 27 |
| 5.2 Şarj Edilebilir Bataryalar .....                               | 28 |
| 5.2.1 Lityum iyon batarya çeşitleri (Li-ion) .....                 | 31 |
| 6. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS) .....                             | 35 |
| 6.1 Merkezi BYS .....                                              | 38 |
| 6.2 Modüler BYS.....                                               | 38 |
| 6.3. Ana Kart ve Yardımcı Kart BYS.....                            | 39 |
| 6.4. Dağıtılmış BYS .....                                          | 40 |
| 6.5 Batarya Yönetim Sistemlerinin Önemli Parametreleri.....        | 41 |
| 6.5.1 Batarya doluluk oranı (State of Charge, SoC).....            | 41 |
| 6.5.2. Bataryanın sağlık durumu (State of Healthy, SoH).....       | 41 |
| 6.5.3 Bataryanın işlev durumu (State of function, SoF).....        | 42 |
| 7. MOTOR SEÇİMİ .....                                              | 42 |
| 7.1. Motor için Gerekli Hesaplamalar .....                         | 49 |
| 8. BATARYA PAKETİ TASARIMI .....                                   | 50 |
| 8.1 Batarya Paketi ve Modül Konfigürasyonu .....                   | 53 |
| 8.2 Batarya Kontrol Yapısı.....                                    | 65 |
| 8.3 Tercih Edilen Durumun Bağlantı Şeması.....                     | 67 |
| 9. ELEKTRİKSEL GEREKSİNİMLER .....                                 | 68 |
| 9.1 Elektriksel Güç Kaybı Hesabı .....                             | 69 |
| 9.2 Boyut ve Ağırlık Bakımından Durumların Karşılaştırılması ..... | 75 |
| 9.3 Komponent Seçimi .....                                         | 77 |
| 9.3.1. Kontaktör.....                                              | 77 |
| 9.3.2. Akım Sensörü .....                                          | 78 |
| 9.3.3. Sigorta.....                                                | 81 |
| 9.3.4. EMC filtre.....                                             | 83 |
| 9.3.5. Konnektör .....                                             | 84 |
| 9.3.6. HVIL (High Voltage Interlock).....                          | 85 |
| 9.3.7. MSD (Manuel Service Disconnect).....                        | 86 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 10. SOĞUTMA SİSTEMİ TASARIMI ..... | 87 |
| 10.1 Hava Soğutma Sistemi .....    | 87 |
| 10.2 Sıvı Soğutma Sistemi .....    | 88 |
| 10.3.PCM Soğutma Sistemleri .....  | 90 |
| 10.4. Termoelektrik soğutma.....   | 92 |
| 11. SONUÇ.....                     | 93 |
| KAYNAKÇA .....                     | 95 |



## ÖZET

### **ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN SERİ-PARALEL BAĞLANTI KOMBİNASYONUNU DESTEKLEYEN YENİ BİR BATARYA PAKETİ TASARIMI**

Elektrikli araçların sayısı dünya genelinde her geçen gün artmaktadır. Geleneksel araçlarda kullanılan fosil yakıtlar yerini batarya içerisinde depolanan elektrik enerjisine bırakmaktadır. Elektrik enerjisi, batarya paketine şebeke tarafından sağlanmaktadır. Bu bağlamda elektrikli araç şarj istasyonları, enerji transferinin yapıldığı üniteler olarak karşımıza çıkmaktadır. Önceleri 200 V seviyelerinde olan batarya gerilimleri yerini günümüzde 400 V – 450 V seviyelerine bırakmıştır bu nedenle günümüzde kullanılan şarj istasyonları bu gerilim seviyesini desteklemektedir. Ancak yapılan geliştirme çalışmaları, bu gerilim seviyesinin daha az kayıp ve daha yüksek verim elde edebilmek için 800 v seviyesine kadar yükseltilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada, günümüzde standart olarak kurulan şarj istasyonlarının gelecekte yaygınlaşması ön görülen gerilim seviyelerindeki (400 V üstü) batarya paketine sahip araçlara da destek verebilmesi adına yeni bir batarya paketi topolojisi geliştirilecektir. Ön görülen sistemde araç üzerindeki batarya paketinin iki ayrı paket olarak tasarlanması düşünülmektedir. Araç kullanımında iken paketler seri bağlı olarak 800 V seviyesinde iken, araç şarj işlemi sırasında paketler paralel duruma geçerek 400 V seviyesinde şarj işlemi gerçekleştirilecektir. Böylece yeni nesil batarya paketine sahip araçlar daha düşük gerilim seviyesini destekleyen şarj istasyonları ile şarj edilebileceklerdir. Tez kapsamında ön görülen sistemin çalışma algoritması, elektrik ve elektronik topolojisi, uluslararası standart ve regülasyonlar kapsamında geliştirilecektir.

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF A NEW BATTERY PACK THAT SUPPORTS SERIAL PARALLEL CONNECTIVITY FOR ELECTRIC VEHICLE**

The number of electrical vehicles is increasing day by day around world. Fossil fuels used in traditional vehicles are replaced by electrical energy stored in the battery. However, this electrical energy is supplied to the battery pack by the network. In this context, electric vehicle charging stations appear as units where energy transfer is made. Battery voltage, which used to be at 200 V, have been replaced by 400 V-450 V today. Therefore, the charging stations used today supports this voltage level. However, development studies show that this voltage level can rise to 800 V to achieve less loss and higher efficiency. In this study, a new battery pack topology will be developed so that charging stations established as standard today can also support vehicles with voltage-level battery packs that are projected to be commercialized in the future. In the projected system, it is thought that battery pack on the vehicle will be designed as two separate packages. While the packages are at 800 V Depending on the series while the vehicle is in use, the packages will be switched to parallel status during the vehicle charging process and the charging process will be carried out at the level of 400 V. Thus, vehicles with the next generation battery pack will be able to be charged with charging stations that supports a lower voltage level. The working algorithm of the system envisaged within the scope of the thesis, electrical and electronic topology, will be developed within the scope of international standards and regulations.



## SEMBOLLER/SYMBOLS

|                      |                              |
|----------------------|------------------------------|
| $P_{loss}$           | : Kayıp güç                  |
| $R_{Module}$         | : Modül direnci              |
| $R_{Modulecont}$     | : Modül bağlantı direnci     |
| $R_{Welding}$        | : Kaynak direnci             |
| $R_{copper}$         | : Bakırın direnci            |
| $R_{internal}$       | : Pilin iç direnci           |
| $R_{pack}$           | : Paket direnci              |
| $R_{packcont}$       | : Paket bağlantı direnci     |
| $R_{polecont}$       | : Kutup bağlantı direnci     |
| $n_{Series}$         | : Seri Bağlı pil sayısı      |
| $n_{measuriment}$    | : Gerilim ölçüm noktası      |
| $n_{paralel}$        | : Paralel bağlı pil sayısı   |
| $n_{parallelcell}$   | : Paralel hücre sayısı       |
| $n_{parallelmodule}$ | : Paralel modül sayısı       |
| $n_{seriescell}$     | : Seri hücre sayısı          |
| $n_{seriesmodule}$   | : seri modül sayısı          |
| $A_v$                | : Ekspansiyon voltaj         |
| $A$                  | : Akım                       |
| $A_1$                | : Bakırın kesiti             |
| $Al$                 | : Alüminyum                  |
| $C$                  | : Kapasitif değer            |
| $Cd$                 | : Kadmiyum                   |
| $Co$                 | : Kobalt                     |
| $E_{02}$             | : Sabit Voltaj Gerilimi      |
| $H$                  | : Hidrojen                   |
| $i^*$                | : Düşük Frekans Akım Grafiği |

|                      |                           |
|----------------------|---------------------------|
| <b>it</b>            | : Çıkarılan Kapasite      |
| <b>K</b>             | : Potasyum                |
| <b>Kp</b>            | : Polarizasyon sabiti     |
| <b>L</b>             | : Uzunluk                 |
| <b>Mn</b>            | : Manganez                |
| <b>Ni</b>            | : Nikel                   |
| <b>P</b>             | : Güç                     |
| <b>O</b>             | : Oksijen                 |
| <b>O<sub>2</sub></b> | : Oksit                   |
| <b>Pb</b>            | : Kurşun                  |
| <b>Q</b>             | : Maksimum pil kapasitesi |
| <b>T</b>             | : Sıcaklık (°C)           |
| <b>t</b>             | : Zaman                   |
| <b>Ti</b>            | : Titanat                 |
| <b>V</b>             | : Volt                    |
| <b>W</b>             | : İş                      |
| <b>β</b>             | : Ekspansiyonel kapasite  |
| <b>ρ</b>             | : Bakırın Özdirenci       |
| <b>Ω</b>             | : Direnç (ohm)            |

## KISALTMALAR/ABBREVIATIONS

|             |                                               |
|-------------|-----------------------------------------------|
| <b>AC</b>   | : Alternatif Akım                             |
| <b>ACIM</b> | : Asenkron Motor                              |
| <b>BEV</b>  | : Bataryalı Elektrikli Araç                   |
| <b>BLDC</b> | : Fırçasız Doğru Akım Motoru                  |
| <b>BT1</b>  | : Batarya Takımı 1                            |
| <b>BT2</b>  | : Batarya Takımı 2                            |
| <b>BYS</b>  | : Batarya Yönetim Sistemi                     |
| <b>CCS</b>  | : Kombine Şarj Sistemi                        |
| <b>CT</b>   | : Akım Trafosu                                |
| <b>DC</b>   | : Doğru Akım                                  |
| <b>DCM</b>  | : Fırçalı Doğru Akım Motoru                   |
| <b>EMC</b>  | : Elektromanyetik Uyumluluk                   |
| <b>EV</b>   | : Elektrikli Araç                             |
| <b>FEV</b>  | : Yakıt Pili Elektrikli Araç                  |
| <b>HEV</b>  | : Hibrit Elektrikli Araç                      |
| <b>HVIL</b> | : Yüksek Voltaj Kilidi                        |
| <b>LCO</b>  | : Lityum Kobalt Oksit Batarya                 |
| <b>LFP</b>  | : Lityum Demir Fosfat Batarya                 |
| <b>LMO</b>  | : Lityum Manganez Oksit Batarya               |
| <b>LTO</b>  | : Lityum Titanat Oksit Batarya                |
| <b>MBYS</b> | : Merkezi Batarya Yönetim Sistemi             |
| <b>MCU</b>  | : Batarya Kontrol Ünitesi                     |
| <b>MSD</b>  | : Manuel Bakım Koruma Anahtarı                |
| <b>NCA</b>  | : Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit Batarya |
| <b>NMC</b>  | : Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit Batarya  |
| <b>PCM</b>  | : Faz Değişim Malzemesi                       |
| <b>PHEV</b> | : Fişli Hibrit Elektrikli Araç                |
| <b>PMSM</b> | : Sabit Mıknatıslı Senkron Motor              |
| <b>SOC</b>  | : Batarya Şarj Durumu                         |
| <b>SOH</b>  | : Batarya Sağlık Durumu                       |
| <b>SOF</b>  | : Batarya İşlev Durumu                        |

**SRM** : Anahtarlmalı Relüktans Motor

**WPT** : Kablosuz Güç Aktarımı



## ŞEKİL

Şekil 2.1. Bataryalı Elektrikli Araçların Yapısı

Şekil 2.2. Hibrit Elektrikli Aracın temel yapısı

Şekil 2.3. Seri Hibrit Elektrikli Araç Yapısı

Şekil 2.4. Paralel Hibrit Elektrikli Araç Yapısı

Şekil 2.5. Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araç Yapısı

Şekil 2.6. Temel hidrojen-oksijen yakıt pili şeması

Şekil 3.1 Standartlar göre elektrikli ve hibrit elektrikli araç şarj konnektör tipleri

Şekil 3.2. Mod 1 şarj bağlantısı

Şekil 3.3. Mod 2 şarj bağlantısı

Şekil 3.4. Mennekes Tip 2 şarj soketi

Şekil 3.5. Mod 3 şarj bağlantısı

Şekil 3.6. Mod 4 şarj bağlantısı

Şekil 3.7. Nissan Leaf Mod 4 CHAdeMO ve Mod 3 soketleri

Şekil 3.8. Mod3 + Mod 4 CCS soketi

Şekil 3.9. Kablosuz Güç Transferi Sınıflandırması

Şekil 4.1. Elektrik Motoru

Şekil 4.2. Elektrikli Araç Bataryası

Şekil 4.3. İnvertör (Güç çevirici)

Şekil 4.4. Güç Dağıtım Ünitesi (PDU)

Şekil 5.1. Pouch hücre tipi

Şekil 5.2. Silindirik hücre tipi

Şekil 5.3. Prizmatik hücre tipi

Şekil 5.4 Batarya tipine göre enerji yoğunlukları

**Şekil 5.5.** Kurşun Asit Batarya

**Şekil 5.6.** Lityum İyon Batarya

**Şekil 5.7.** Lityum iyon pil çeşitlerinin güçlü ve zayıf yönleri

**Şekil 6.1.** BYS'nin görevlerinin şeması

**Şekil 6.2.** BYS'nin akış diyagramı

**Şekil 6.3** Merkezi Batarya Yönetim Sistemi

**Şekil 6.4.**Modüler Batarya Yönetim Sistemi

**Şekil 6.5.** Ana kart-Yardımcı kart BYS

**Şekil 6.6.** Dağıtılmış BYS

**Şekil 7.1.** Sabit Mıknatıslı Senkron Motor

**Şekil 7.2.** Anahtarlama Relüktans Motor Yapısı

**Şekil 7.3.** Asenkron Motor Yapısı

**Şekil 7.4.** Fırçalı DC Motor Yapısı

**Şekil 7.5.** Fırçasız DC Motor Yapısı

**Şekil 8.1.** Tek bir batarya paketi için modül konfigürasyonları

**Şekil 8.5.** Durum 1- 7s10p Bir Modül 2B çizimi

**Şekil 8.6.** Durum 1 – 7s -10p Bir Modül 3B çizimi

**Şekil 8.7.** Durum 1 için tasarlanan batarya

**Şekil 8.8.** Durum 2- 11s 7p Bir modül içeriği 2B çizimi

**Şekil 8.9.** Durum 2 – 11s7p bir modül içeriği 3B çizimi

**Şekil 8.10.** Durum 2 için tasarlanan batarya

**Şekil 8.11.** Durum 3- 5s14p bir modül içeriği 2B çizimi

**Şekil 8.12.** Durum 3 – 5s14p bir modül içeriği 3B çizimi

**Şekil 8.13.** Durum 3 için tasarlanan batarya

**Şekil 8.14.** Durum 4 – 4s5p bir modül içeriği 2B çizimi

**Şekil 8.15.** Durum 4- 4s5p bir modül içeriği 3B çizimi

**Şekil 8.16.** Durum 4 için tasarlanan batarya

**Şekil 8.17.** Durum 5- 10s 14p bir modül içeriğinin 2B çizimi

**Şekil 8.18.** Durum 5- 10s 14 bir modül içeriğinin 3B çizimi

**Şekil 8.19.** Durum 5 için tasarlanan batarya paketi

**Şekil 8.20.** Durum 3 için Örnek Gerilim Ölçüm Noktasının Gösterimi

**Şekil 8.21.** Paralel-Seri Bağlantı için Elektrik Tasarımı

**Şekil 8.22.** Durum 5 Elektriksel bağlantıların tamamlanmış hali

**Şekil 9.1.** Yüksek Gerilim Kontaktörü DHC800

**Şekil 9.2.** (a) Hall etkili akım sensörü (b) Shunt Akım Sensörü

**Şekil 9.3.** Sigorta

**Şekil 9.4.** (a) Core (b) Capacitor

**Şekil 9.5.** Konnektör seçimi

**Şekil 9.6.** HVIL Konnektörü

**Şekil 9.7.** MSD elemanı

**Şekil 10.1.** Pasif sıvı soğutma sistemi

**Şekil 10.2.** Aktif Sıvı soğutma sistemi

**Şekil 10.3.** Durum 5 – Bir modül içi için soğutma sistemi tasarımı

**Şekil 10.4.** PCM'nin Sınıflandırılması

## TABLO LİSTESİ/LIST OF TABLES

**Tablo 1.1.** Türkiye’de satılan elektrikli ve hibrit elektrikli otomobillere ait veriler

**Tablo 2.1.** 800 V topolojisine sahip elektrikli araçlar

**Tablo 2.2** Porsche Taycan S Turbo Özellikleri

**Tablo 3.1** CHAdeMO büyüklükleri

**Tablo 3.2.** SAE J1772 Elektriksel büyüklükleri

**Tablo 5.1.** Birincil pillerin Avrupa ve Amerikan Standartlarına göre sınıflandırılması

**Tablo 5.2.** Elektrikli araçlarda kullanılan farklı batarya türleri ve özellikleri

**Tablo 6.1.** Kullanılan BYS çeşitlerinin karşılaştırılması

**Tablo 7.1.** Elektrikli araçlarda kullanılan motorların kriterler açısından karşılaştırılması

**Tablo 8.1.** Seçilen Pil Özellikleri

**Tablo 8.2.** BT1 için Tasarlanan Özellikleri

**Tablo 8.3.** BT1 için Modül Konfigürasyonu

**Tablo 8.4.** Elektriksel güvenlik için Temin Edilen Boşluk Boyutları

**Tablo 8.5.** Durumların MCU miktarları

**Tablo 9.1.** Tasarlanan Elektrikli araca ait bilgiler

**Tablo 9.2.** Durum 1 için Deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

**Tablo 9.3.** Durum 1 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

**Tablo 9.4.** Durum 2 için Deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

**Tablo 9.5.** Durum 2 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

**Tablo 9.6.** Durum 3 için Deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

**Tablo 9.7.** Durum 3 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

**Tablo 9.8.** Durum 4 için deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

**Tablo 9.9.** Durum 4 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama



**Tablo 9.10.** Durum 5 için Deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

**Tablo 9.11.** Durum 5 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

**Tablo 9.12.** Konfigürasyonların Deşarj Durumunda Güç Kayıpları

**Tablo 9.13.** Konfigürasyonların Şarj Durumunda Güç Kayıpları

**Tablo 9.14.** İletkenlerin ve modülün Ağırlıkları

**Tablo 9.15.** İletkenlerin Uzunlukları

**Tablo 9.16.** Kontaktör seçimi

**Tablo 9.17.** Akım Sensörlerinin karşılaştırılması

**Tablo 9.18.** Akım Sensörlerinin seçilmesi

**Tablo 9.19.** Sigorta seçimi

**Tablo 9.20.** EMC Filtre Seçimi

**Tablo 9.21.** Konnektör seçimi

**Tablo 10.1.** Soğutma sistemlerinin karşılaştırılması

**Tablo 10.2.** PCM sınıflarının avantajları

**Tablo 10.3.** PCM sınıflarının avantajları



## 1. GİRİŞ/INTRODUCTION

İlk kullanımları 1800'lere dayanan elektrikli araçların menzil mesafesinin kısa olması, batarya gerilimlerinin 180 V – 200 V civarında olması, benzine ulaşımın daha kolay olması, içten yanmalı motorların seri üretimle daha uygunu satılması gibi sebeplerden dolayı kullanımı gün geçtikçe azalmıştır. Günümüzde elektrikli araçların gelişimi, batarya ömrünün ve menzilin uzaması, şarj istasyonlarına ulaşımın kolaylaşması, içten yanmalı motorların çevreye verdiği zararlar sebebiyle elektrikli araçlara yönelim başlamıştır ve bu yönelimle birlikte elektrikli araçların sayısı dünya genelinde her geçen gün artmaktadır. Günümüzde içten yanmalı motora sahip araçların yerini kablolu hibrit (Plug-in hybrid-PHEV) ve bataryalı elektrikli (Battery Electric Vehicle- BEV) araçların almaya başladığını görmekteyiz. Özellikle gelişmiş ülkelerde bu araçları üretenler ve kullanıcılar için ciddi teşvikler verilmekte ve bu tip araçların yaygınlaşması için büyük çapta altyapı çalışmaları yapılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak bu ülkelerde elektrikli ve hibrit elektrikli araç satışları büyük bir ivme ile artmaktadır. Ancak ülkemizde elektrikli ve hibrit elektrikli araç satış rakamları diğer ülkelere göre henüz oldukça düşüktür [1]. Tablo 1'de 2015-2023 yılları arasında Türkiye'de Satışı yapılan elektrikli ve hibrit araç sayıları verilmektedir.

**Tablo 1.1.** Türkiye'de satılan elektrikli ve hibrit elektrikli otomobillere ait veriler [1].

| YIL  | TRAFİĞE ÇIKAN ARAÇ SAYISI | BİR ÖNCEKİ YILA GÖRE<br>DEĞİŞİM ORANI |
|------|---------------------------|---------------------------------------|
| 2015 | 750                       | -                                     |
| 2016 | 994                       | %32,53                                |
| 2017 | 4528                      | %355,53                               |
| 2018 | 4031                      | - %10,97                              |
| 2019 | 11237                     | %178,76                               |
| 2020 | 17785                     | %58,271                               |

|      |                     |        |
|------|---------------------|--------|
| 2021 | 23764               | %33,61 |
| 2022 | 27336               | %15,04 |
| 2023 | 26467- Haziran sonu | -      |

Bu durumun önemli sebeplerinden biri de yetersiz şarj istasyonu altyapısıdır. Ülkemiz, yüz ölçümü ve boyutları bakımından tek şarjla kat edilemeyecek kadar büyüktür. Elektrikli ve hibrit elektrikli araçların ülkemizde yaygınlaşması için, hızlı şarj istasyonlarının sayısı büyük önem arz etmektedir. Bu altyapının sağlanması, elektrikli ve hibrit elektrikli araçların satışlarının artmasını sağlayacaktır.

Ancak ilerleyen dönemde dünya ile ülkemizde de BEV ve PHEV’lerin yaygınlaşması beraberinde bazı sorunları da getirmektedir. Şarj istasyonlarının yaygınlaşması mevcut elektrik şebeke altyapısına ek yük getirmektedir. Bunun yanında BEA ve PHEV’ların tercih edilebilir olması kısa sürede şarj olabilme yetenekleri ile orantılıdır. Hızlı şarj demek şebekeden yüksek akımların çekilmesi demektir.

EV ve PHEV’lerin şarj edilmeleri ve şarj istasyonları ile ilgili çeşitli standartlar mevcuttur. Bu standartlara göre gelecekte hızlı şarjın (150 kW) da ötesinde “ultra fast charging ya da extra fast charging” (up to 400 kW) kavramları ortaya konmaktadır. 100 kW ile şarj edilen, ortalama 50-70 kWh batarya kapasitesine sahip bir araç, bir saat gibi bir sürede %90 doluluğa ulaşabilmektedir. Ancak elektrikli araçların yaygınlaşması için şarj işleminin çok daha kısa bir zaman içinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

## 2. ELEKTRİKLİ ARAÇ MODELLERİ

Elektrikli araçların ilk örneği Amerika’da Thomas Davenport tarafından 1835 yılında icat edildi. Bu araç bir batarya, iki elektromıknatıs ve bir pivot kullanılarak tasarlanmış küçük bir araçtır. Benzer tarihlerde İskoçya’da yaşamını sürdüren Robert Anderson da elektrik enerjisiyle çalışan bir araç icat etmeyi başarmıştır. Fakat Robert Anderson'un icat ettiği bu araçta şarj edilme özelliği olmadığı için günlük yaşama uyum sağlayamamış ve başarısız olmuştur. 1830’larda çalışmaları başlayan elektrikli araçlar 1900’lü yılların ilk çeyreğinde en verimli dönemini geçirdi [2].

Bu dönemlerde elektrikli otomobillerin başarılı örnekleri görülmeye başlandı ve artarak yaygınlaştı. Elektrikli ticari taksiler New York'ta kullanılmaya başlamıştı. İlk elektrikli ticari taksi olarak kullanılan 1894 yılında geliştirilen ElectroBoat aracı Henry G. Morris ve Pedro G. Salom tarafından geliştirilmiştir. Elektrikli araçların dünya çapında pek çok uygulaması gerçekleştirilmiş ve kullanımı yaygınlaşmıştır.

Üretimi Amerika'da gerçekleştirilmiş olan 4000'i aşkın elektrikli aracın yaklaşık 1120'si elektrik enerjisiyle çalışmaktaydı. Örneğin New York, Chicago ve Boston gibi şehirlerde araçların yarısından fazlası elektrikli araçlardan oluşmaktaydı. Elektrikli araçlara olan yüksek talebin sebebi kısıtlı imkân ve teknik bilgiler ile üretilen benzinli araçlarda gürültü ve titreme gibi çeşitli teknik arızaların meydana gelmesiydi. Böylece içten yanmalı motorlu araçlarla birlikte elektrikli araçlar da önem kazandı.

1912 yılında elektrikli ve benzinli araçların fiyatları arasında belirgin farklar bulunmaktaydı. Elektrikli araç 1750 dolar iken benzinli araç ise 650 dolar olarak kayıtlara geçmişti [3]. 1920'li yıllarda ise Model T'ye olan talep giderek artmış ve elektrikli araçların popülerliği azalmıştı. Beygir gücü, uygun fiyat, uzun süreli sürüş imkânı ve yakıtı ulaşımın oldukça kolay olması sebebiyle benzinli araçlar ön plana çıkarken elektrikli araçlar ise benzinli araçların gerisinde kaldı. Ancak içten yanmalı motorlu araçlar fosil yakıt kullandığından çevreye zarar vermekteydi. Aynı zamanda yaşanan petrol kriziyle birlikte bu araçlara alternatif başka araçların arayışına girildi.

BMW 1602 E model elektrikli araç 1972 yılında tasarlandı ve aynı yıl Olimpiyat Oyunları'nda büyük bir ilgiyle sergilendi ancak aracın hiçbir zaman üretimi gerçekleşmedi. Aynı dönemlerde elektrikli ve hibrit araçlar tekrar gündeme gelip popülerleşmeye başladı. Bunun sonucunda Amerika yeni kararlar alarak araç üreticilerinin devlet tarafından teşvik edilmesini sağladı. 1990'lı yıllarda imzalanan Temiz Hava Yasası Değişikliği ve Enerji Politikası Kanunu'yla birlikte elektrikli araçların üretimi çalışmaları yeniden hız kazanmaya başladı [2].

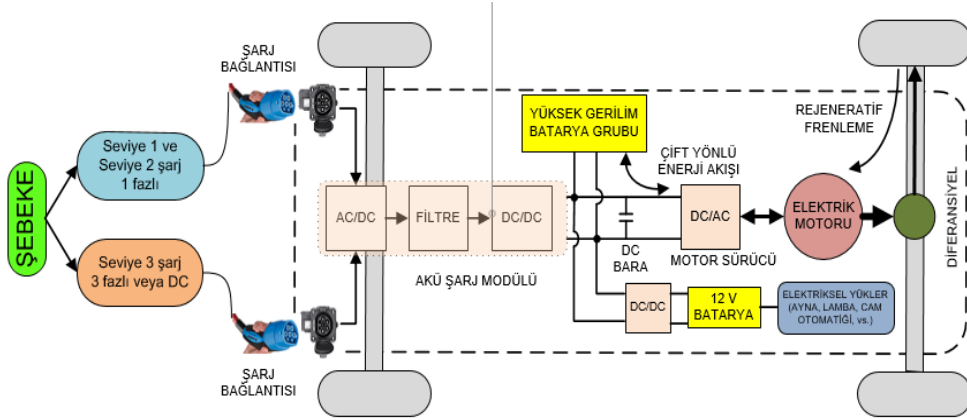
1996 yılında General Motors'un EV1 modeli "Dünyanın en verimli üretim aracı" olarak tanınarak üretildi. Fakat pazarlama stratejilerinde yapılan başarısız girişimler EV1'in üretiminin devam etmesini engelledi. Daha sonra otomobil üretiminin başında gelen Toyota ticari olarak ilk kez pazarlanma ve seri olarak üretilme özelliğine sahip Prius isimli hibrit aracın tanıtımını yaptı. Prius'un 1997 yılında üretimine başlandı ve

üretiminin ilk yılında yaklaşık 70 bin araç satıldı [2]. 2011 yılında Tesla tarafından üretilen Roadster modeli ise elektrikli araç tarihi için devrim niteliğindeydi. Çünkü Tesla Roadster, mevcut araçlardan farklı olarak 240 km menzil performansına sahipti. Bu başlıkta elektrikli araçlar modelleri bataryalı elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar ve yakıt pilli elektrikli araçlar olarak incelenmiştir.

## **2.1 Bataryalı Elektrikli Araçlar**

Bataryalı elektrikli araçlar (Battery Electrical Vehicle- BEV) batarya grubunda depolanan enerjiyi kullanarak elektrik motorunun tahrik edilmesini sağlayarak çalışan araçlardır. Bu tip bataryalı elektrikli araçlarda içten yanmalı motor bulunmaz. Bu sebeple elektrikli araçlar fosil yakıt kullanmazlar. İçten yanmalı motorlu araçlara göre daha sessiz çalışırlar ve sıfır emisyon prensibine dayanırlar. Bataryanın kullanım sonrası deşarj olmasından kaynaklı elektrikli araçların kullanımına devam edebilmek amacıyla elektrik enerjisine ihtiyaç duyulur. Gerekli olan elektrik enerjisini bataryanın şarj edilmesi ile elde edilir. Şarj ihtiyaçları park halindeyken şebekeden karşılanmakla birlikte sahip oldukları rejeneratif frenleme yapısından da enerji üretimi gerçekleştirebilirler. Bu faydalı frenleme sistemi fren sisteminin ömrünü uzatmaktadır. Bu elektrikli araçlarda bataryanın tipi, özellikleri ve batarya yönetim sistemi- BYS (Battery Management Systems- BMS) önemli bir rol oynamaktadır. Bataryalı elektrikli araçlarda içten yanmalı motorlu araçlarda bulunan benzin/dizel motor ve yakıt tankı yerine elektrik motoru, batarya grupları ve kontrol sistemi bulunur [4].

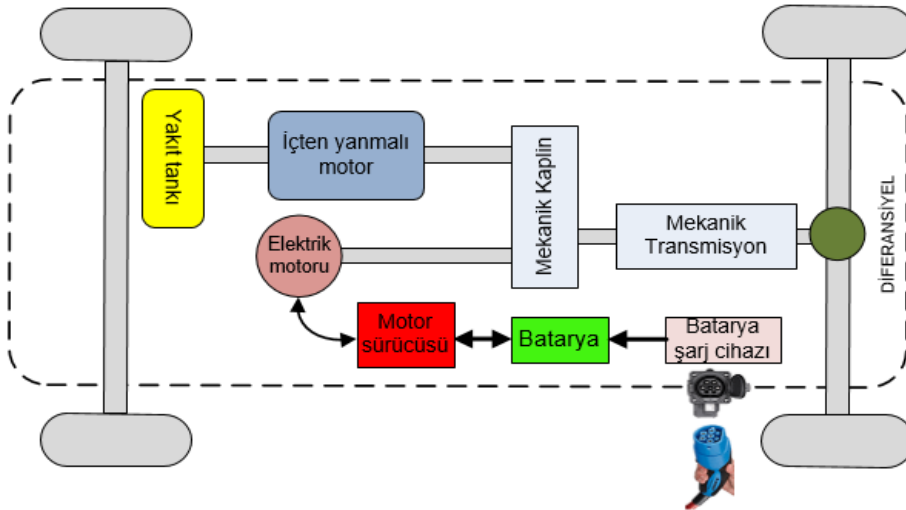
Bataryalı elektrikli araçların tahriki için ihtiyaç duyulan güç elektrik motorlarına aktarılmadan önce güç elektroniği devreleri kullanılarak istenilen gerilim ve akım değerlerine dönüştürülür. Güç aktarım sisteminde enerji sistemi ve sürüş sistemi olmak üzere iki alanda incelenir. Enerji sistemi batarya grubunu ve batarya yönetim sisteminden oluşur. Sürüş sistemi, elektrik motoru, mekanik sürücü sistemi, motor sürücü sistemi ve tekerleklerden oluşmaktadır. Hareketli elemanlar çok olmadığından dolayı bakımlarının daha az yapılması ve yağ değişimi gibi bakımlara ihtiyaç duymadığından bakım maliyetleri geleneksel araçlara göre oldukça düşüktür. Ayrıca yakıt olarak elektrik enerjisi kullanılıyor olması yakıt maliyetini oldukça düşürmektedir. Şekil 2.1.'de Bataryalı elektrikli araçların yapısı gösterilmiştir.



**Şekil 2.1.** Bataryalı Elektrikli Araçların Yapısı [5]

Bataryalı elektrikli araçların birçok avantajı olmasına rağmen henüz şarj sürelerinin yeterince kısa olmaması, sürüş menzilinin az olması, akü ömrünün maliyeti arttırması gibi sorunlardan kaynaklı olarak geleneksel içten yanmalı motorlara göre hala daha az tercih edilmektedir.

## 2.2 Hibrit Elektrikli Araçlar

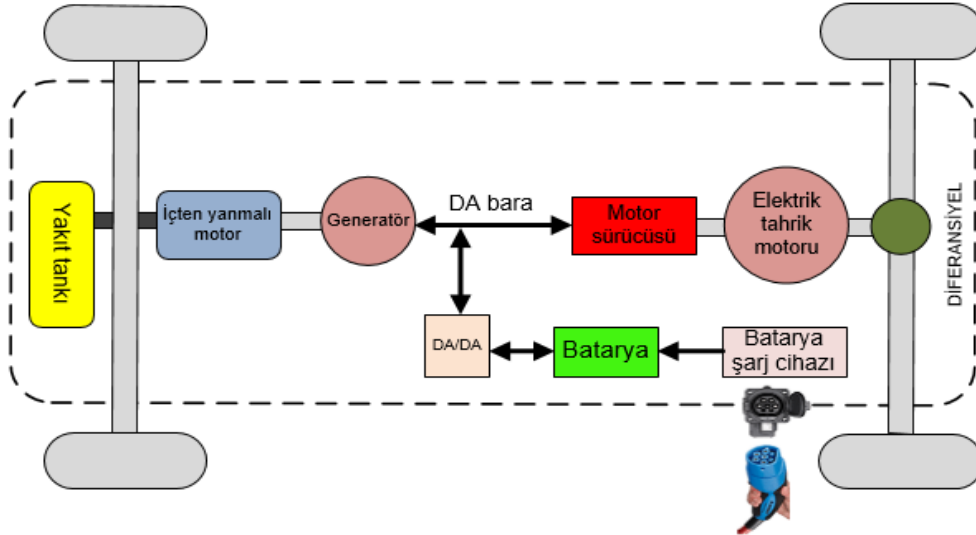


**Şekil 2.2.** Hibrit Elektrikli Aracın temel yapısı [5]

Hibrit elektrikli araçlar (Hybrid Electrical Vehicle- HEV), konvansiyonel içten yanmalı motorlarla birlikte elektrik motorlarının birlikte kullanıldığı araçlardır. Hibrit elektrikli

araçlar iki farklı motor yapısı kullanması sebebiyle daha iyi bir yakıt ekonomisi ve performans sağlamaktadır. Hibridizasyon oranı, elektrik motorundan sağlanacak maksimum güç ve güç aktarma sisteminin maksimum 7 gücü arasındaki oran olarak tanımlanır. Yüksek hibridizasyon oranı büyük güçte elektrik sistemi ve küçük içten yanmalı motor yapısı gerektirmektedir. Buna ters olarak, küçük hibridizasyon oranı elde etmek için düşük güçte çalışan bir elektrik motoru ve yüksek güç sağlayan içten yanmalı motor yapısına ihtiyaç duyulur [6]. Hibrit elektrikli araçlarda düşük hızlarda elektrik motoru, yüksek hızlardan içten yanmalı motor kullanılarak maksimum verim elde edilir. Şehir içi kullanımlarda fren sisteminin sıklıkla kullanılmasından dolayı frenlerde oluşan kinetik enerji bataryayı beslemek için elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Hibrit araçlar oluşan yeni teknolojilerle hibrit elektrikli araçlar ve Fişli hibrit elektrikli araçlar (Plug-in Hybrid Electrical Vehicle- PHEV) olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Aralarındaki en temel fark PHEV'ların harici bir şekilde bataryalarının şarj edilebilmesidir. Bu çalışmada hibrit elektrikli araçlar incelenmiştir. HEV'ler kendi içlerinde seri hibrit araçlar, paralel hibrit araçlar ve seri-paralel hibrit araçlar olmak üzere 3 alt başlıkta incelenebilir.

### 2.2.1 Seri hibrit elektrikli araçlar



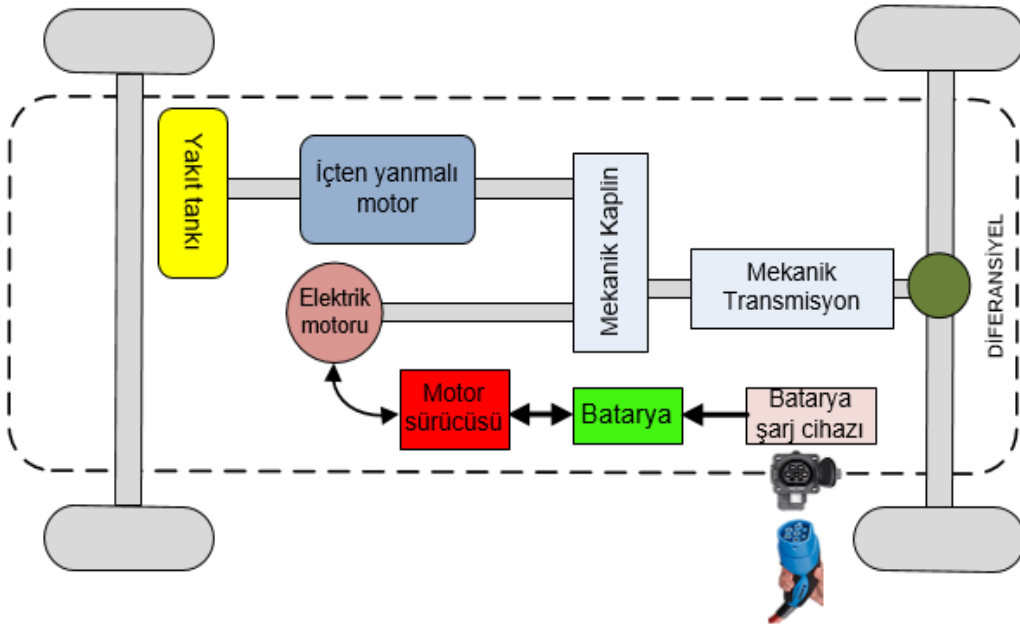
**Şekil 2.3.** Seri Hibrit Elektrikli Araç Yapısı [5]

Seri hibrit elektrikli araçlarda tekerlekler ile bağlantılı olan sadece elektrik motorudur. Bu tipte içten yanmalı motorların bulunma amacı araçta generatör olarak çalışarak



bataryanın elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamaktır. Seri hibrit elektrikli araçlarda içten yanmalı motor optimum verimin elde edilebileceği şekilde devre girip çıkmaktadır. Elektrik motoru ve içten yanmalı motorun arasında bulunan mekaniksel güç iletiminin olması, dişli kutusu ve debriyajın bulunmaması güç iletim sisteminde tasarımın kolaylaşmasını sağlamıştır. %25 daha fazla verimin sağlandığı seri hibrit elektrikli araçta frenlemenin oldukça sık kullanıldığı şehir içi kullanıma uygundur.

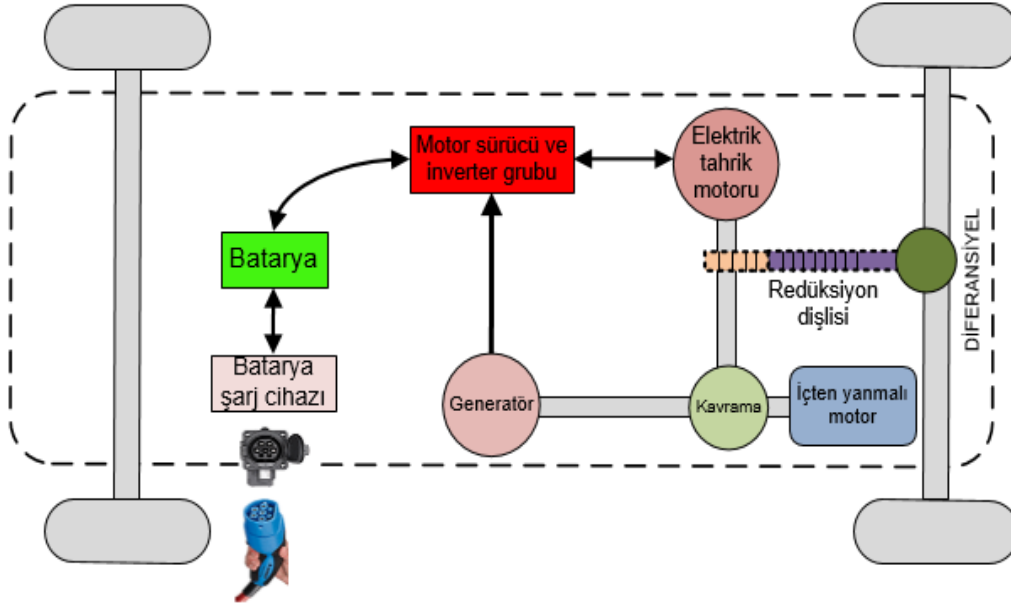
### 2.2.2 Paralel hibrit elektrikli araçlar



Şekil 2.4. Paralel Hibrit Elektrikli Araç Yapısı [5]

Paralel hibrit elektrikli araçlar da şekil 2.4'te görüldüğü üzere mekaniksel iletime farklı iki yoldan ulaşım sağlanabilir. Aracın ihtiyacı olan enerjiyi içten yanmalı motor ve elektrik motoru ile eş zamanlı olarak sağlanabilir olarak tasarlanmıştır. İki kaynağında eş zamanlı çalışabiliyor olması sebebiyle seri hibrit araçlardan daha verimlidirler. Bataryanın şarj durumuna bağlı olarak ihtiyaç duyulan güç eş zamanlı olarak sağlanabildiği gibi tek bir motordan da sağlanabilir. Aynı zamanda bataryanın şarjının azalması durumunda içten yanmalı motorun gücünün bir kısmı bataryayı şarj etmek amacıyla kullanabilir. Kompleks bir yapıya sahip olan paralel hibrit elektrikli araçlar şehir içi kullanım yerine şehirlerarası otobanlarda kullanımda çok daha verimlidir.

### 2.2.3 Kombine hibrit elektrikli araçlar



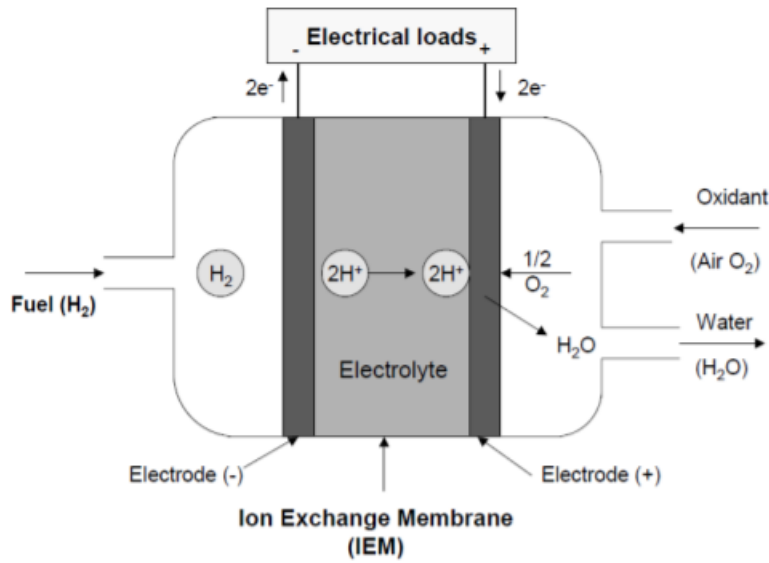
Şekil 2.5. Seri-Paralel Hibrit Elektrikli Araç Yapısı [5]

Seri ve paralel sistemlerin bir arada kullanıldığı bir yapıdır. Bu yöntemle her iki sisteminde avantajlı olduğu yönlerin kullanılması hedeflenmiştir. Güç ayırım elemanı sayesinde araç seri veya paralel sistemlerde çalışabilmektedir. Bu sistemde Şekil 2.5 'te görüldüğü üzere hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor mekanik sisteme doğrudan bağlıdır. Seri-paralel hibrit araçlara örnek olarak Toyota Prius verilebilir.

### 2.3 Yakıt Pili Elektrikli Araçlar

Bu sistemler elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan elektrokimyasal pillerdir. Kendi enerjisini kendi üretebilen ve ihtiyaç duyulan gücü sadece elektrik motordan sağlayabilen araçlardır (Fuel Cell Electrical Vehicle- FEV). Elektrik, hidrojen ve oksijenin tepkimesiyle üretilir. Oksijen havadan sağlanırken, hidrojen yakıt olarak dışarıdan alınır. Hidrojen yakıldığında sadece ortaya su buharı çıkmaktadır. Hidrojen ve oksijen kaynakları temin edilebildiği sürece elektrik üretimi devam edecektir. Bu kimyasal reaksiyon sisteminin en büyük avantajı egzoz gazlarının dışarı atılmamasıdır. Hidrojen aynı ağırlıkta olan benzin yakıtından 3 kat daha fazla enerjiyi içerisinde barındırmaktadır [3] . İlk olarak 1839'da William Grove tarafından incelenen yakıt hücresi arabalar uzun yıllar gözden kaçmıştır. 170 yıl sonra Hyundai, ilk yakıt hücresi

aracı olan Tucson FCEV'i 2013'te, ardından 2015'te Toyota Mirai'yi piyasaya sürdü.



**Şekil 2.6.** Temel hidrojen-oksijen yakıt pili şeması [7]

## 2.4 800 V Topolojisine Sahip Elektrikli Araçlar

Günümüzde elektrikli araçlar için yüksek voltajlar gittikçe önem kazanmaktadır. Bu çalışma yapılırken örnek alınabilecek 800 V topolojisine sahip araç seri üretim araçlar bulunmaktadır. Porsche Taycan Turbo S modeli referans alındığından dolayı detaylıca anlatılmış ve diğer elektrikli araçların özellikleri Tablo 2.1' de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** 800 V topolojisine sahip elektrikli araçlar

| Model                         | Güç<br>(kW) | Batarya<br>Kapasitesi | Maksimum<br>Şarj Güç | Şarj Süresi<br>(DC) | Menzil<br>(km) |
|-------------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------|
| Lucid Air Dream Edition Range | 686         | 113 kWh               | >300 kW              | 20 dk               | 837            |
| Porsche Taycan Turbo S        | 460         | 93.4 kWh              | 270 kW               | 22,5 dk             | 468            |
| Audi E-Tron GT                | 474         | 93.4 kWh              | 270 kW               | 22,4 dk             | 472            |
| GMC Hummer EV pick up         | 735         | 212.7 kWh             | 350 kW               | <60 dk              | 560            |

|                 |     |          |        |       |     |
|-----------------|-----|----------|--------|-------|-----|
| Hyundai Ioniq 6 | 238 | 77.4 kWh | 235 kW | 18 dk | 519 |
| Kia EV6         | 167 | 77.4 kWh | 235 kW | 18 dk | 510 |

#### 2.4.1 Porcshe Taycan Özellikleri

Taycan, her bir aksta sabit mıknatıslı senkron motora sahip yeni bir akülü elektrikli dört tekerlekten çekiş aktarma organı kullanıyor. Önde güç, tek vitesli bir şanzıman (8.05:1 vites oranı) arkada, iki vitesli şanzıman ve sınırlı kaymalı diferansiyel aracılığıyla tekerleklere iletiliyor. Şanzıman, maksimum hızlanma sağlayan kısa bir planeter birinci vitese (15.5:1) ve en yüksek hız ve verimlilik sağlayan uzun oranlı bir ikinci vitese (8.05:1) sahiptir [8].

Güç, yapısal bir şasi bileşeni işlevi gören ve ağırlık merkezini düşük tutan 93 kWh 630 kg (1,389 lb) lityum iyon pil paketinden gelir. Arka koltuk diz mesafesini artırmak için, pil takımına "ayak garajı" adı verilen girintiler dahil edilmiştir.

Lansman sırasında, Turbo S'deki daha büyük invertör ile ayırt edilen en yüksek çıkışlı güç aktarma organları (Turbo ve Turbo S) mevcuttu. Daha sonra, 4S aktarma organları kullanıma sunuldu; çıkış gücü daha az güçlü bir arka motora geçilerek azaltıldı, ancak ön motor üçünde de (4S, Turbo ve Turbo S) aynıdır. 2021'in başlarında ön motoru düşüren ve daha küçük bir 79,2 kW-saat pil ile donatılmış temel model tanıtıldı. Cross Turismo gövdesi Mart 2021'de tanıtıldığında, daha büyük pil ve iki motorlu dört tekerlekten çekiş kullanan ancak arka motorlu Taycan ile karşılaştırılabilir çıkışlara sahip temel model 4 olarak belirlendi. Bir seçenek olarak, normal Taycan'a 2021 sonbaharında daha büyük 93 kW-saat "Performance Battery Plus" ve 4 Cross Turismo güç aktarma organının tek motorlu bir varyantı takıldı. GTS aktarma organı, Kasım 2021'de Sport Turismo gövdesiyle birlikte duyurulmuştu; GTS, 4S ve Turbo arasındaki boşluğu doldurmak için daha büyük pil ve daha güçlü bir motor seti kullanımı gerektirir. 4S Sport Turismo, standart olarak daha küçük pil ile donatılmıştır, ancak daha büyük pil bir seçeneği mevcuttur [8].

Taycan, elektrikli otomobillerde alışlagelmiş 400 V yerine 800 V sistem gerilimine sahip ilk üretim araçtır. Bu, tutarlı yüksek performans sağlar, şarj süresini azaltır ve

kabloların ağırlığını ve kurulum alanını azaltır.

Taycan Turbo S ve Taycan Turbo'da kullanılan iki kademeli Performance Battery Plus, 723 V'luk pakette (835 V dolu, 610 V boş) her biri 12 ayrı hücreden (toplam 396) oluşan 33 hücre modülü içerir. Toplam kapasite 93,4 kWh'dir. Hücrelerin kendileri sözde kese hücreleridir. Bu hücre tipinde, elektrot yığını sert bir mahfaza ile değil, esnek bir kompozit folyo ile çevrelenmiştir. Bu, pil için mevcut olan dikdörtgen alandan en iyi şekilde yararlanılmasına ve ağırlıkta bir azalmaya izin verir.

Modüllerin her biri voltaj ve sıcaklığı izlemek için dahili bir kontrol ünitesine sahiptir ve birbirlerine baralar aracılığıyla bağlanır. Ayak garajları- arka ayak boşluğundaki pildeki girintiler- arkada mümkün olan en iyi oturma konforunu sağlar ve spor otomobillere özgü düşük araç yüksekliğine izin verir [9].

**Tablo 2.2.** Porsche Taycan S Turbo Özellikleri [8]

| Porsche Taycan S Turbo Özellikleri | Değerler                              |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Brüt Batarya Kapasitesi            | 93,4 kWh                              |
| Net Batarya Kapasitesi             | 83,7 kWh                              |
| Kapasite                           | 129,2 Ah                              |
| Azami Hız                          | 260 km/s                              |
| Menzil (kombine)                   | 440 km- 468 km                        |
| Maksimum Şarj Gücü                 | 270 kW                                |
| DC için şarj süresi 50 kW (100km)  | 31 dk                                 |
| DC için şarj süresi 50 kW (%5-%80) | 91 dk                                 |
| Şarj süresi maksimum güç (%5-%80)  | 22,5 dk                               |
| Hücre sayısı                       | 396 / 198s 2p                         |
| Nominal voltaj                     | 723 V                                 |
| Voltaj aralığı                     | 610 V- 834 V                          |
| Ağırlık                            | 630 kg                                |
| Hücre Ağırlığı                     | 355 kg                                |
| Tepe deşarj gücü                   | 460 kW (10s)                          |
| Modüller                           | Her modülde 12 hücre bulunan 33 modül |
| Elektrik Tüketimi (Ortalama)       | 23,4- 21,9 kWh/100 km                 |
| Elektrik Tüketimi (Şehir içi)      | 19,2- 17,6 kWh/100 km                 |

### 3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ŞARJ YÖNTEMLERİ

Elektrikli araçlarda batarya kullanan modeller için en büyük problem şarj sürelerinin uzun olması ve şarj istasyonlarının azlığıdır. Kullanılan şarj yöntemleri kablolu şarj ve kablosuz şarj olmak üzere başlıca ikiye ayrılır. Kablosuz şarj yöntemi çok yeni bir yöntem olup üzerinde hala araştırmalar devam etmektedir. İleriki zamanlarda elektrikli araçlarında bu topolojiye uygun gelişmeleriyle kablosuz şarj yöntemi kullanılabilir duruma gelecektir.

#### 3.1 Kablolu Şarj Yöntemi

Kablolu şarj yöntemi elektrikli bir aracın bir kablo vasıtasıyla şarj istasyonuna veya şebekeye bağlanması yöntemidir. Günümüzdeki elektrikli araçlar şu an için kablolu şarj yöntemini desteklemektedir. Bir aracın şarj istasyonuna bağlanarak şarj edilmesi sırasında karşılaşılabilecek birçok problem olabilir. Dünya'daki farklı üreticiler farklı konnektör tipleri seçerek kendi ülkelerine ve pazarlarına özgü standartlar ortaya koymaktadır. Şekil 3.1'de farklı ülkelerin kabul ettiği şarj konnektör tipleri görülmektedir.

|                                  | Type 1/USA                                                                                                   | Type 2/Europe                                                                                      | GB/China                                                                                                       |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alternating current (AC)         | <br>SAE J1772/IEC 62196-2 | <br>IEC 62196-2 | <br>GB Part 2             |
| Direct current (DC)              | <br>IEC 62196-3           | <br>IEC 62196-3 | <br>GB Part 3/IEC 62196-3 |
| "Combined AC/DC charging system" | <br>SAE J1772/IEC 62196-3 | <br>IEC 62196-3 |                                                                                                                |

Şekil 3.1. Standartlar göre elektrikli ve hibrit elektrikli araç şarj konnektör tipleri [10].

Şarj istasyonlarının ülkelere göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Temelde en önemli

farklılık AC ve DC gibi görünse de Japonya, Avrupa, Amerika kendi standartlarını uygulamaktadır. Japonya CHAdeMO standardını kullanmaktadır. Japon kullanıcılar araçlarını doğru akım ile şarj eden üniteler geliştirmiş ve kullanıma sunmuşlardır. Bu standart ile araçlara 62,5 kW'a kadar enerji aktarımı yapabilmektedir. Bu standarda ait elektriksel büyüklükler Tablo 3.1'de gösterilmiştir [11].

**Tablo 3.1.** CHAdeMO büyüklükleri [4]

| Şarj Yöntemi | Anma Gerilimi (VDC) | Max. Akım (A) | Max. Güç (kW) |
|--------------|---------------------|---------------|---------------|
| CHAdeMO      | 500                 | 125           | 62,5          |

Amerika'da SAE J1772 standardı kullanılmaktadır. Bu standart ile 19,2kW'a kadar elektrikli araçlar şarj edilebilmektedir. SAE J1772 standardına ait elektriksel büyüklükler Tablo 3.2'de gösterilmiştir [12] [13].

**Tablo 3.2.** SAE J1772 Elektriksel büyüklükleri [14]

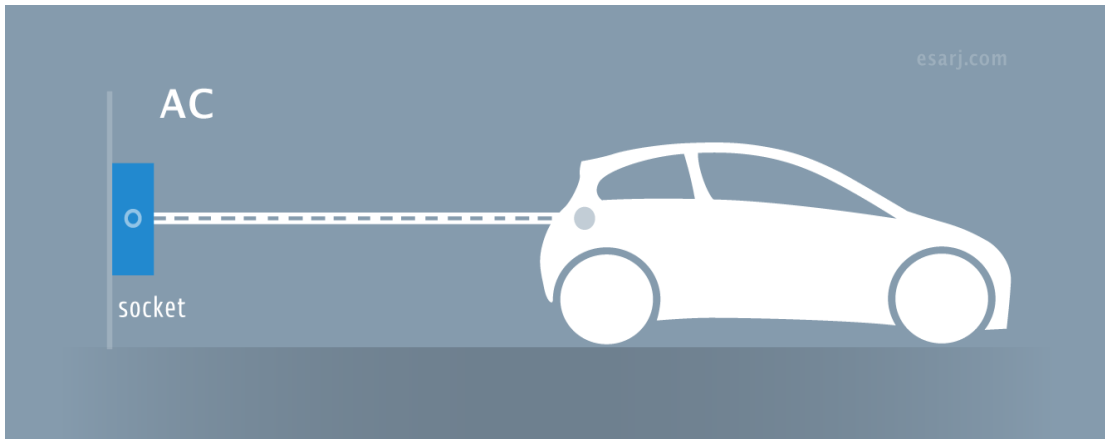
| Şarj Yöntemi | Anma Gerilimi (V) | Max. Akım (A) | Max. Güç (kW) |
|--------------|-------------------|---------------|---------------|
| AC           | Seviye 1          | 120           | 12            |
|              |                   | 120           | 16            |
|              | Seviye 2          | 208-240       | >20           |
|              |                   | ≤ 80          |               |
| DC           | Seviye 1          | 200-500       | 80            |
|              | Seviye 2          | 200-500       | 200           |

Avrupa'da benimsenen IEC 62196 standardı ise AC VE DC şarj gerçekleştirmektedir. Bu standartta 3 faz 43,5 kW'a kadar şarj yapabilmektedir. Şarj işlemi için farklı modlar mevcuttur [12]. Türkiye'de de bu modlar kullanılmaktadır.

### 3.1.1 Şarj modları

Ülkemizde Avrupa ülkelerinin kullanmış olduğu IEC 62196 uluslararası standardı kullanılmaktadır. IEC 62196 standardı elektrikli araçların şarj olması ve şarj modları üzerinde düzenlemeler yapabilir. Elektrikli araçların bataryaları yapılarından dolayı doğru akım (DC) kullanarak şarj olurlar. 4 farklı Mod bulunmaktadır. Mod 1,2,3'te şebekeden gelen alternatif akım (AC), doğru akıma elektrikli araç üzerinde dönüştürülür. Mod 4'te ise alternatif akımdan doğru akıma dönüştürme işlemi şarj istasyonu üzerinde gerçekleşmektedir.

**Mod 1:** Elektrikli aracın doğrudan AC prize bağlanarak şarj edilmesi yöntemidir. Bu tip şarj esas olarak evlerde kullanılan şarj etme yöntemidir. 16 A derecesine sahip tek fazda 250 V ve üç fazda 480 V ile sınırlandırılmıştır. Evde şarj, 1,4–1,9 kW güç çekebilir. Bu şarj türünde Elektrikli aracın tam şarj olması 8 ila 16 saati bulabilir. Uzun sürmesi sebebiyle en ucuz yöntem olarak kabul edilebilir. Şarj etmek için ayrıca bir donanıma ihtiyaç duymaz. Bu şarj yönteminde prizlerde topraklama olması zorunludur. Amerika dahil olmak üzere birçok ülkede Mod 1 tipi şarj güvenlik sebepleri nedeniyle yasaklanmıştır. Bu durumu çözebilmek için Mod 2 geliştirilmiştir. Şekil 2'de Mod 1 tipi şarj bağlantısı gösterilmiştir [15].

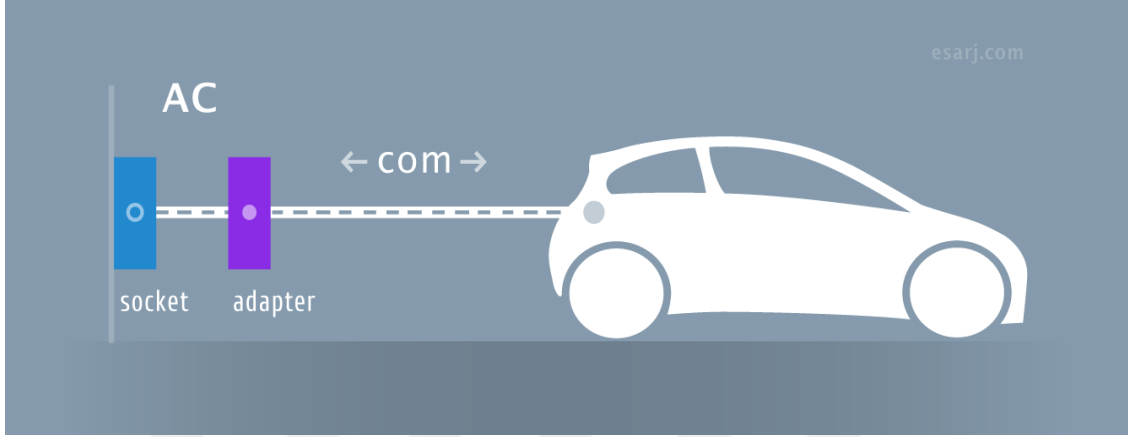


**Şekil 3.2.** Mod 1 şarj bağlantısı [15]

**Mod 2:** Bu şarj modu elektrikli aracın doğrudan AC prize bağlanarak şarj edilmesidir. Mod 1'den farkı ise Mod 2 de bir haberleşme adaptörünün bulunmasıdır. Haberleşme adaptörü sadece priz tarafında topraklama varsa iletmektedir. Enerjinin verildiği AC



prizde herhangi bir kontrol pini mevcut değildir. Akım 32 A seviyesindeyken gerilim tek fazda 250 V ve üç fazda 480 V olarak sınırlandırılmıştır. Elektrikli araçlarda standart olarak sunulan kablo Mod 2 şarj tipinin kullanımı için uygundur. Şekil 3'te Mod 2 tipi şarj bağlantısı gösterilmektedir.



**Şekil 3. 3. Mod 2 şarj bağlantısı [15]**

Mod 3: Bu şarj modunda daha önce de bahsedilen konnektör tiplerinden Mennekes tipi bir konnektörle bağlantı yapılmaktadır. Şekil 4 'de Mennekes tipi konnektör gösterilmiştir. Şarj istasyonu kullanılmalıdır. Mennekes tipi konnektörde 7 farklı pin bulunmaktadır.

7 ayrı pinin farklı fonksiyonları vardır. Bunlar; 3 ayrı fazı (L1, L2, L3), Nötr bağlantısını (Neutral), Topraklanma bağlantısını, Kontrol ve Haberleşme pinleridir [15].



**Şekil 3.4. Mennekes Tip 2 şarj soketi [15]**

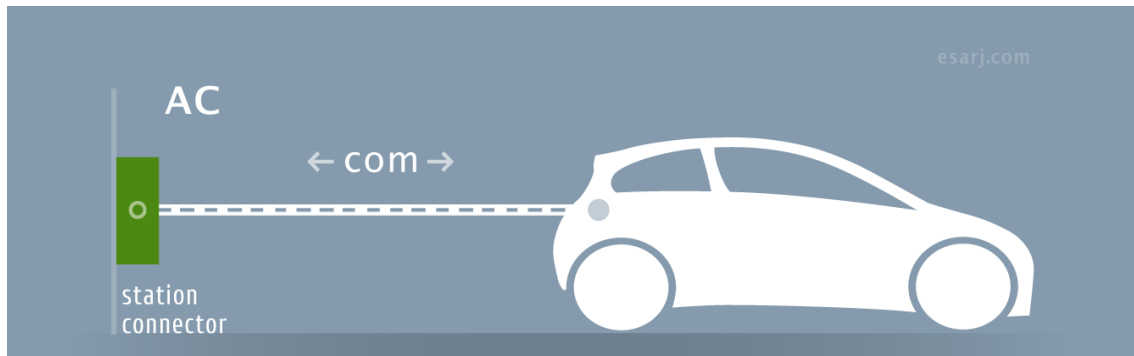
Bu şarj modunda araç istasyona bağlandığında bir haberleşme başlar. Araç kabul edebileceği akım seviyesini şarj istasyonuna bildirir ve istasyonda kendi içerisinde akımı ayarlayarak araca aktarır. Bir istasyondaki şarj süresi, sadece istasyonun gücüne değil, aracınızın neyi kabul ettiğine (onboard charger gücü) de bağlıdır. Batarya kapasitesi arttıkça da şarj süresi artar. Bataryalar yaklaşık %90 doluluk seviyesine kadar lineer şarj olurken, %90 seviyesi üzerinde daha yavaş şarj olmaktadır. Aracın mevcut batarya doluluğunu %90 seviyesine kadar çıkartmak için gerekli şarj süresi (saat) aşağıdaki formülle yaklaşık olarak hesaplanabilir:

$$\frac{\text{Batarya Kapasitesi kWh} \times (0.90 - \text{Mevcut batarya doluluğu \%})}{\text{MIN}(\text{Şarj istasyonu Gücü}, \text{Araç Onboard Charger Gücü}) \text{ kW}} \cong \text{kVA}$$

**Mod 3:** tipi şarj süresi Mod 2 tipi şarj süresinden daha azdır. Mod 3 şarj modunun şarj olması 4 ila 8 saat sürer. Bu tür şarj, 7,7–25,6 kW Güç çeker.[7] Şarj istasyonunun gücü ve araç üzerindeki onboard charger'ın gücü arasındaki en küçük değer, şarj işleminin gücünü verir. Şarj işlemi gücü arttıkça, bataryayı doldurmak için gerekli şarj süresi düşer. Mod 3'te, şarj gücüne göre (akım ve faz sayısı) 4 adet şarj kademesi bulunmaktadır;

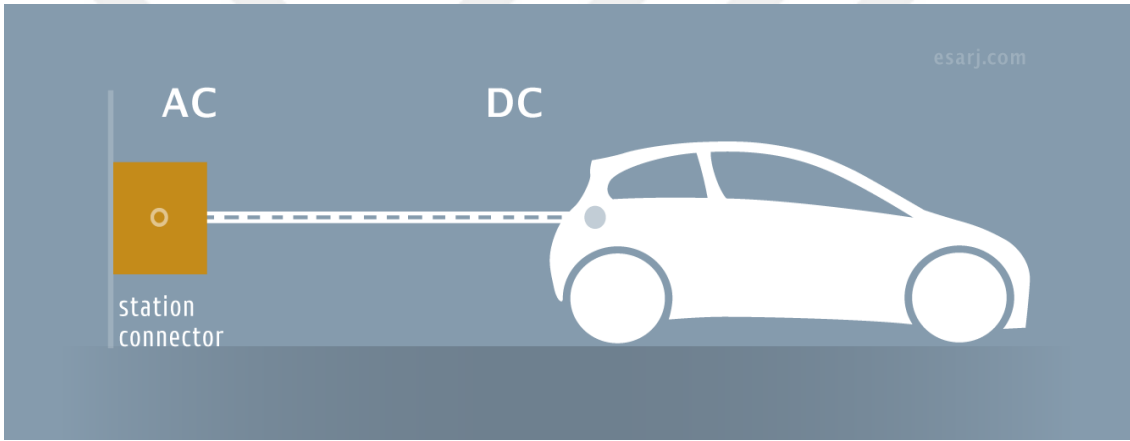
- 3,7 kVA (16 A, Tek Faz – 230 V AC)
- 7,4 kVA (32 A, Tek Faz – 230 V AC)
- 11 kVA (16 A, Üç Faz – 400 V AC)
- 22 kVA (32 A, Üç Faz – 400 V AC)

Şekil 5' de Mod 3 tipi şarj bağlantısı gösterilmiştir.



**Şekil 3.5.** Mod 3 şarj bağlantısı [15]

Mod 4: Bu şarj tipi hızlı şarja yönelik bir moddur. Doğru Akım (DC) kullanılır. DC güç veren istasyonlardan 400 A e kadar olan şarlanmayı içerir. Şebekeden çekilen AC kaynağın bir hızlı şarj istasyonunda invertör yardımıyla doğru akıma dönüştürülerek elektrikli aracın batarya grubuna girmeden (redresöre girmeden) verilmesini sağlamaktadır. Elektrikli araçlar için en verimli ve en hızlı şarj yöntemi olarak kabul edilmektedir. DC Hızlı şarj cihazları ticari ve halka açık yerlerde bulunur. Bu tür şarj, 10-15 dakikada %80 şarj sağlar. Elektrikli araç şarj istasyonlarında büyük etki yaratacak gelecek vaat eden teknolojilerden biridir. Mod 4 tipi şarj bağlantıları, üç fazlı devrelerin 480 V veya daha yüksek derecesini gerektirir [16]. DC hızlı şarj maliyetinin istasyona ve kullanım şekline göre farklılık gösterdiği tahmin edilmektedir [17]. Şekil 3.6’da Mod 4 tipi şarj bağlantısını gösterilmiştir.



**Şekil 3.6.** Mod 4 şarj bağlantısı [15]

İki farklı tipte soket mevcuttur.

CHAdMo: Uzakdoğu’da ortaya çıkan bu şarj standardında Mod 3 tipi şarj işlemi yapabileceğiniz soketin yanında ayrıca bir DC soketi daha bulunmaktadır. Mod3 tipi 7-pinli (sağda) soketin yanında ayrıca solda bir DC (CHAdMO) soketi bulunmaktadır. Şekil 3.7’de Nissan Leaf model aracın şarj soketleri gösterilmiştir [18].



**Şekil 3.7.** Nissan Leaf Mod 4 CHAdeMO ve Mod 3 soketleri [15]

CCS (COMBO): Avrupa ve Amerika ’lı araç üreticileri ise birleşik bir soket geliştirmişlerdir. Buna göre Mod 4 tipi tabanca görülen soketlere tamamen bağlanmaktadır. Bağlanan enerji kaynağının tipine ve gücüne göre üstte kalan 7-pinli kısım Mod 3 tipi şarjı ve alttaki kısım ise Mod 4 tipi şarj etmeyi gerçekleştirmektedir. Şekil 3.8’de CCS soketi gösterilmiştir [18].

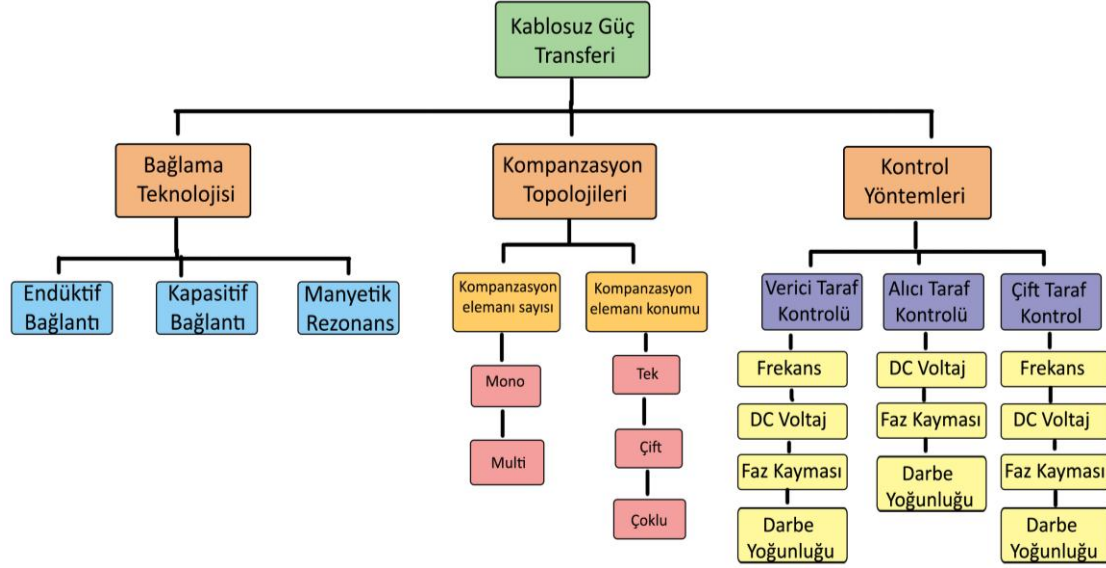


**Şekil 3.8.** Mod3 + Mod 4 CCS soketi [15]

### **3.2 Kablosuz Şarj Yöntemi**

Kablosuz Güç Aktarımı (WPT) metodolojisi, araçlar ile şarj ekipmanı arasındaki doğrudan fiziksel etkileşim ihtiyacını ortadan kaldırarak, geleneksel iletken sistemle ilişkili dezavantajları ve riskleri ortadan kaldırır. Yenilikçi WPT tekniği, benzer güç değerini ve verimliliği korumak için iletken şarj sisteminin yerini alır. WPT modelinin

etkinliğini ve güvenilirliğini artırmak için çok sayıda strateji oluşturulmuştur. Oluşturulan yöntemler Şekil 3.9’da sınıflandırılmıştır.



**Şekil 3.9.** Kablosuz Güç Transferi Sınıflandırılması [18]

WPT ile ilgili çalışmalar olumlu yönde hızla devam etse de mali analiz, elektromanyetik güvenlik, şarj altyapısının oluşturulması, aktarım mesafesi, yanlış hizalanma gibi başlıkların çözülmesi gereken açık bir araştırma konusudur.

## 4. ELEKTRİKLİ ARACIN SİSTEMSEL BİLEŞENLERİ

Bataryalı Elektrikli Araçlar denildiği zaman temel olarak bataryadan alınan elektriğin mekanik enerjiye dönüştürülmesi temel çalışma prensibi olarak tanımlanabilir. Bataryalı elektrikli araçlar içten yanmalı motora sahip araçlar gibi fazla aksam ihtiyacı duymazlar bu sebeple aksamlar arasında enerji iletimi esnasında enerji kaybı da yaşanmaz [19].

Elektrikli araç parçaları içten yanmalı motorlu araçlardan farklı olarak elektrik motoru, şarj elektroniği ve bataryaya sahiptir.

1. Elektrik Motoru
2. Batarya
3. İnvertörler

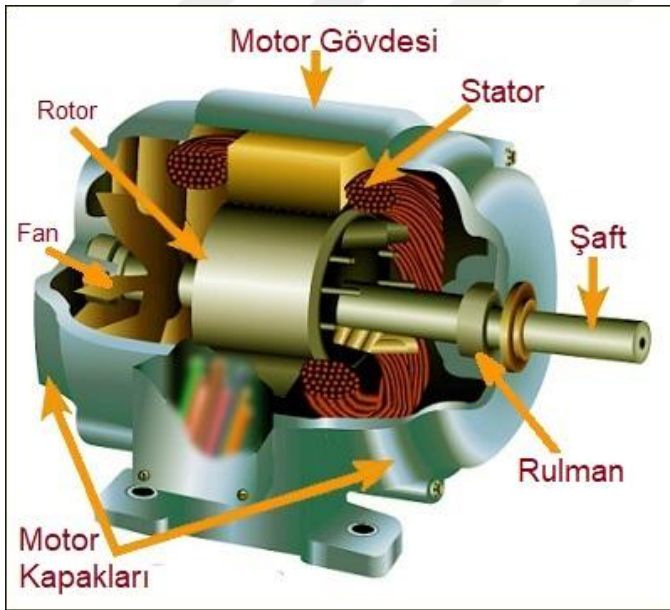
4. Araç Üstü Şarj Cihazı (On board Charger)
5. Araç Kontrol Ünitesi (Vehicle Control Unit – VHC)
6. Batarya Yönetim Sistemi (BMS)

Yukarıda belirtilen parçaların dışında tasarlanan elektrikli araca bağlı olarak farklı parçalarda bulunmaktadır [20]. Belirtilen aksamalar bu bölümde anlatılacaktır.

#### 4.1. Elektrik Motoru

Elektrik motorları bataryadan alınan elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştürme görevi yaparlar. Elektrikli araçlarda dönüşün bu oran %95 civarındayken içten yanmalı geleneksel araçlarda %30 civarındadır. Elektrikli araçların daha verimli olduğu oranlara bakarak söylenebilir.

Tasarlanan elektrikli araç ihtiyacına göre değişmekte olsa bile Dünya genelinde kullanılan motor tipi Fırçasız DC Motorlardır (BLDC) [21]. BLDC ve kullanılabilecek diğer motor tipleri Motor seçimi başlığı altında detaylıca anlatılmıştır.



Şekil 4.1. Elektrik Motoru [22]

#### 4.2. Batarya

Batarya veya Pil, elektrik motorundan alınan enerjisinin depolanması görevinde bulunurlar. Kullanılan piller yeniden şarj edilebilir ikincil derece pillerdir. Piller



genellikle elektrikli araçların zemine yerleştirilirler. Dünya genelinde verimi sebebiyle en çok kullanılan pil türü Lityum – İyon pillerdir [23]. Kullanılan Batarya Teknolojileri başlığı altında çeşitli pil türleri detaylıca anlatılmış ve tercih sebeplerinden bahsedilmiştir.



**Şekil 4.2** Elektrikli Araç Bataryası [24]

#### **4.3. İnvörtörler (DC/AC)**

Elektrikli araçlarda güç dönüştürücü olarak çift taraflı invörtörler tercih edilir. İhtiyaç duyulan yerde yüksek DC akımını düşük DC akımına veya kullanılan motora göre gelen DC akımı AC akıma çevirirler [25].



**Şekil 4.3.** İnvörtör (Güç çevirici) [25]

#### 4.4 Şarj Üniteleri

Bataryaları şarj etmek için şarj üniteleri elektrik şebekesi, elektrik santralleri gibi kaynaklardan elektriği alır ve bataryaların şarj olmasını sağlarlar. Şebekeden alınan AC elektriği DC elektriğe dönüştürerek bataryaya aktadır. Şarj üniteleri elektrikli araçlarda 2 farklı şekilde bulunabilirler. Bunlar Yerleşik Şarj Ünitesi, yerleşik olmayan şarj üniteleri şeklindedir [26]. Elektrikli araçları şarj etmek için farklı yöntemler mevcuttur. Şarj yöntemleri detaylı olarak Elektrikli araçlarda şarj yöntemleri başlığı altında anlatılmıştır.

#### 4.5 Güç Dağıtım Ünitesi (Power Distribution Unit -PDU)

Power Distribution Unit – PDU asıl amacı batarya tarafından sağlanan elektriğin akışını yönetmektir. Elektriğin araçların bileşenlerini denetler, üretilen torku ve motor hızını kontrol eder [23].

Şekil 4.4’ de PDU görseli verilmiştir.



Şekil 4.4. Güç Dağıtım Ünitesi (PDU) [27]

#### 4.6 Diğer Elektrikli Araç Bileşenleri

**4.6.1 Alçak Gerilim Bataryası:** Bir aracın düşük gerilim ile çalışan tüm alıcılarını çalıştırmak için ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlar.



**4.6.2 Şarj girişi:** Bataryayı şarj etmek amacıyla elektrikli aracın harici bir güç kaynağı ile bağlantısını sağlar.

**4.6.3 Sıcaklık kontrol sistemi:** Sıcaklık sistemi elektrikli araçlarda en önemli sistemlerden biridir. Bataryanın, elektrik motorunun ve güç elektroniği devrelerinin ısınması gibi durumlarda araç için gerekli sıcaklığı kontrol ederek arızaya sebebiyet vermeden tehlikelerden koruma sağlar.

**4.6.4 Şanzıman:** Elektrik motorundan alınan mekanik enerjiyi elektrikli aracın tekerleklerine aktarmasıyla aracın çalışmasını sağlayan sistemdir [23].

## 5. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA TEKNOLOJİLERİ

Elektrik enerjisini kimyasal bir reaksiyon sonucu ortaya çıkan enerjiyi depolayabilen birimlere batarya denir [28]. Bataryaları oluşturan birim hücreleri bir veya birkaçı seri bağlanarak modülleri meydana getirirler. Batarya grupları ise paralel veya seri bağlanan batarya modüllerinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Batarya hücreleri şekilsel olarak 3 tipe ayrılmaktadır. Bunlar;

**Pouch (Kese) Hücre;** 1995'te ilk üretimi gerçekleşmiştir. Elektrotlara iletken folyo şeritlerin kaynaklanarak sızdırmaz bir hücre tasarlanmıştır. Kese tipi hücre pil paketleri arasında verimliliği en yüksek olanıdır. Alanı verimli şekilde kullanarak verimliliği %90-95 civarındadır. İnce dikdörtgen bir yapıya sahiptirler. Kese tipi hücre anot, katot ve ayırıcı gibi içerisinde bulunan bileşenlerin üst üste gelerek dikdörtgen katmanlar şeklinde oluşurlar [29]. Dış yapısında polimer keseler veya esnek lamine alüminyum kullanılmaktadır. Kasası prizmatik hücrelerdeki gibi sert ve metal olmadığı için ağırlık ve maliyet açısından daha avantajlıdır. Örnek olarak baz aldığımız Porsche Taycan 4S modeli pouch (kese) tipi hücre kullanmaktadır.



**Şekil 5.1.** Pouch hücre tipi [30]

**Silindirik Hücre;** Bataryalar arasında en yaygın olarak kullanılan hücre tipidir. Dış kasası paslanmaz çelikten oluşmuştur. Düşük maliyetli olması, boyutunun küçük ve hücrenin kalın olması sıcaklığın daha iyi kontrol edilebiliyor olması, esnek sistemlere uygun olması avantajları arasındadır [29]. Ancak önemli dezavantajı birim başına düşen kapasitenin daha düşük olmasıdır. Bu sebeple yüksek performans alabilmek için hücre sayısı çok fazla olmalıdır.



**Şekil 5.2.** Silindirik hücre tipi [30]

**Prizmatik Hücre;** Hücre yığını olarak adlandırılan üst üste yerleştirilmiş katot ve anot paketlerinden meydana gelir. Dış kasası alüminyumdan yapılmış olup prizmatik bir görünüme sahiptir. Katmanlı bir yaklaşım kullanmasından kaynaklı olarak alanı en iyi seviyede kullanır. Fakat üretimi maliyetli ve zordur. Silindirik hücreye göre daha az çevrim ömrüne sahiptir. Enerji yoğunluğunun yüksek olması güvenlik kombinasyonu prizmatik hücreyi tercih sebebi yapan özelliklerdendir [29]. Günümüzde elektrikli araçlarda en sık kullanılan hücre tipidir.



**Şekil 5.3.** Prizmatik hücre tipi [30]

Bataryalar ve batarya kapasiteleri ile ilgili bilinmesi gereken bazı ifadeler aşağıdaki şekildedir [28]:

- Hücre: Depolanan kimyasal enerjiden elektrik enerjisini üretebilen veya elektrik enerjisini, kimyasal enerji şeklinde biriktirebilen en küçük yapıdır. İki elektrot ve separatörden (pozitif ve negatif elektrotlar) oluşur.
- Özgül Enerji (Wh/kg): Bataryanın kütleli ağırlığı başına enerji biriktirme yoğunluğunu gösterir. Hacmi küçük olan bataryalar daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir.
- Özgül Güç (W/kg): Birim kütleye düşen maksimum güç yoğunluğunu gösterir. Birim hacimdeki watt olarak ifade edilebilir. Bataryanın en dolu olduğu

durumda en yüksek seviyededir. Bataryanın azalmaya başladığı durumda özgül güç azalmaya başlar ve hızlanma ivmesi düşmektedir.

- Anma kapasitesi: Üreticinin belirlediği bataryanın kapasite değeri (Ah) olarak tanımlanır ve toplam şarjı belirtir.
- C-oranı: Amper saat olarak anma kapasitesinde görülen şarj/deşarj akım değeri olarak adlandırılır. Teorik olarak 100 saat boyunca 1 A sağlayabilen 100 Ah kapasiteye sahip batarya olarak tanımlanabilir. Bataryanın bir saat boyunca sürdüreceğideşarj akımı üzerindeki çoklu akım olarak tanımlanır.
- Çevrim ömrü: Bataryalar şarj vedeşarj oldukları süre boyunca deformasyonlar meydana gelir. Meydana gelen deformasyonlar sebebiyle batarların şarj/deşarj olma ömürleri vardır. Bu süreyi belirten sayı çevrim ömrü olarak tanımlanır.
- Kesme gerilimi: Bataryanın boş durumda üretici tarafından belirlenmiş izin verilen minimum gerilim değeri olarak tanımlanır.

Bataryalar üzerine yapılan çalışmaların son yıllarda hızla artmasından kaynaklı olarak büyük gelişmeler yaşanmıştır. Batarya teknolojileri elektrikli araçların artmasıyla daha düşük maliyet, daha yüksek enerji yoğunluğu, yüksek güç yoğunluğu, dayanıklılık ve maliyet gibi özelliklerin geliştirilmesi için her gün ilerlemektedir. Farklı elektrolit tiplerine göre sınıflandırılmalar yapılsa dahi en yaygın olarak bataryalar Birincil (şarj edilemez) ve İkincil bataryalar (şarj edilebilir) olarak sınıflandırılırlar. Pil tüketiminin artmasıyla çevre kirliliği konuları gündemdedir. Üreticiler tarafından kullanıcılar ikincil (şarj edilebilir) pillere teşvik edilse bile hala birincil pillerin kullanımı önemli ölçüde devam etmektedir.

### **5.1 Şarj Edilmeyen Bataryalar**

Genellikle karbon çinkodan oluşan piller şarj edilemediğinden dolayı ilk kullanımdan sonra atılmak zorunda kalmaktadır. Genellikle daha az güç gerektiren cihazlarda, elektronik veya elektrikli cihazlarda, oyuncaklarda, fotoğraf makinaları gibi birçok cihazda kullanılabilen paketlenmiş ve ucuz güç kaynaklarıdır. Tablo 5.1’de karşılaştırmaları gösterilmiştir.

**Tablo 5.1.** Birincil pillerin Avrupa ve Amerikan Standartlarına göre sınıflandırılması (L: boy, D: çap) [31]

| Amerikan Standartları | Avrupa Standartları | Şekil ve Boyutlar                           | Çalışma Voltajı |
|-----------------------|---------------------|---------------------------------------------|-----------------|
| N                     | -                   | Silindir, L 30,2 mm, D 12 mm                | 1,5 V           |
| AAAA                  | -                   | Silindir, L 42 mm, D 8 mm                   | 1,5 V           |
| AAA                   | R03                 | Silindir, L 44,5 mm, D 10,5 mm              | 1,5 V           |
| AA                    | R6                  | Silindir, L 50 mm, D 14,2 mm                | 1,5 V           |
| C                     | R14                 | Silindir, L 43 mm, D 23 mm                  | 1,5 V           |
| D                     | R20                 | Silindir, L 58 mm, D 33 mm                  | 1,5 V           |
| PP3                   | 6F22                | Dikdörtgenler prizması 48 mm x 25 mm x 15mm | 9,0 V           |

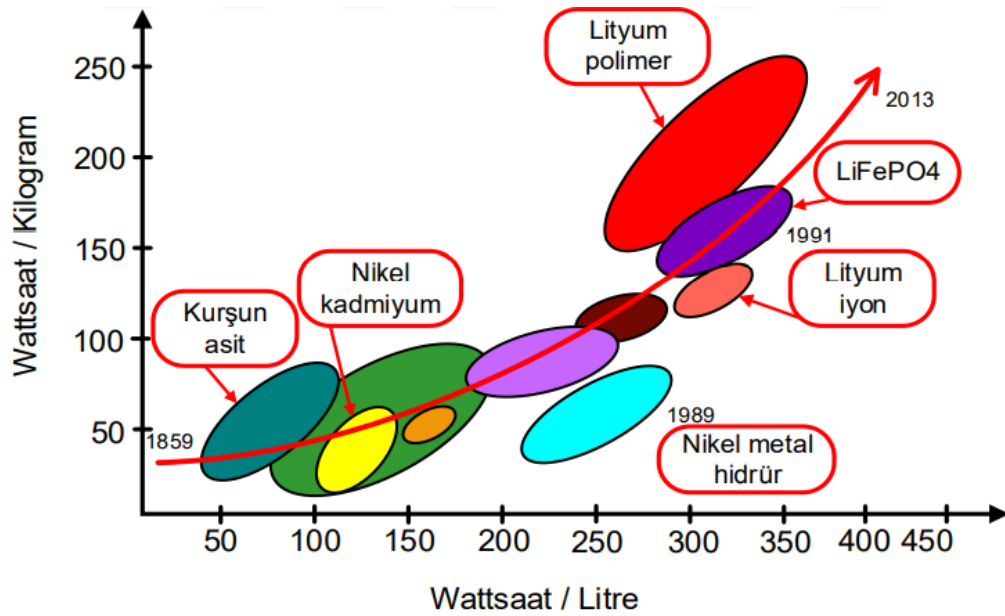
## 5.2 Şarj Edilebilir Bataryalar

İkincil bataryalar şarj edilebilir bataryalar olarak tanımlanabilir. İlk kullanımlarından sonra tekrar olarak şarj edilebilirler. Günümüzde elektrikli araçlar başta olmak üzere birçok alanda kullanılan enerji depolama birimleridir [32]. Tablo 5.2’de özellikleri gösterilmiştir. Şekil 5.4’te batarya tipine göre enerji yoğunlukları verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Elektrikli araçlarda kullanılan farklı batarya türleri ve özellikleri [33]

| Batarya Çeşitleri | Nominal Gerilim (V) | Enerji Yoğunluğu (Wh/kg) | Çevrim Ömrü | Hafıza Etkisi | Çalışma Sıcaklığı (C°) |
|-------------------|---------------------|--------------------------|-------------|---------------|------------------------|
|-------------------|---------------------|--------------------------|-------------|---------------|------------------------|

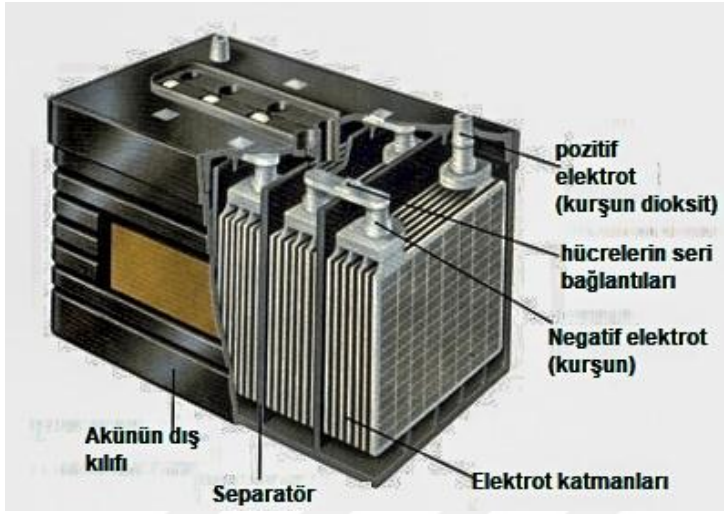
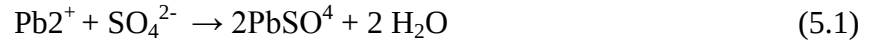
|                        |     |         |       |       |          |
|------------------------|-----|---------|-------|-------|----------|
| Kurşun-Asit            | 2   | 35      | 1000  | Yok   | -15, +50 |
| Nikel<br>Kadmiyum      | 1,2 | 50-80   | 2000  | Var   | -20, +50 |
| Nikel Metal<br>Hidrat  | 1,2 | 70-95   | <3000 | Nadir | -20, +60 |
| Lityum iyon<br>Batarya | 3,6 | 118-250 | 2000  | Yok   | -20, +60 |
| Lityum iyon<br>Polimer | 3,7 | 130-225 | >1200 | Yok   | 20, +60  |
| Lityum Sülfür          | 2,5 | 350-650 | 3000  | Yok   | -60, +60 |
| Lityum Demir<br>Fosfat | 3,2 | 120     | >2000 | Yok   | -45, +70 |



Şekil 5.4. Batarya tipine göre enerji yoğunlukları [34]

**Kurşun asit bataryalar (Pb);** Bataryaların tarihçesinde ilk kullanıldığı görülen batarya tipi kurşun asit bataryalardır. Kurşun asit bataryaların negatif elektrotu kurşun (Pb)

elementi bulundurur. Pozitif tabaka kurşun dioksit ( $\text{PbO}_2$ ) elementini içinde barındırmaktadır. Eski ve ucuz bir teknolojidir. Elektrolit çözünmüş sülfürik asidi kaybeder böylelikle meydana su gelir. Kimyasal reaksiyon sırasında açığa çıkan enerjidir ve enerji eklendiğinde bu süreç tam tersine döner. Toplam reaksiyon aşağıdaki gibidir;



Şekil 5.5. Kurşun Asit Batarya [35]

**Nikel kadmiyum bataryalar (Ni-Cd);** Maliyet bakımından uygun olan Nikel Kadmiyum bataryalar emniyetli olarak tanımlanabilir. Kurşun asit bataryalara göre daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak nikel kadmiyum bataryaların dezavantajları fazladır. Bunlardan bazıları soğuk havalarda düşük bir performansa sahip olmaları, yüksek deşarj oranı, zayıf şarj verimliliği gibi sıralanabilir. Batarya denklemi aşağıda verilmiştir.



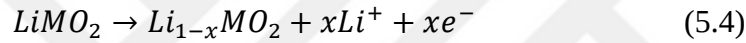
**Nikel metal hidrat bataryalar;** Nikel kadmiyum bataryaları, nikel metal hidrat bataryaları ile karşılaştırdığımızda metal hidrat bataryalar daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu bataryalar daha geliştirilmiştir ve nikel kadmiyum bataryaların yerine geçmiştir. Dezavantajları arasında kullanılsa dahi deşarj olabilmeye özelliği vardır ve daha uzun şarj olma süreleri vardır. Kombinasyon denklemi aşağıdaki gibidir.



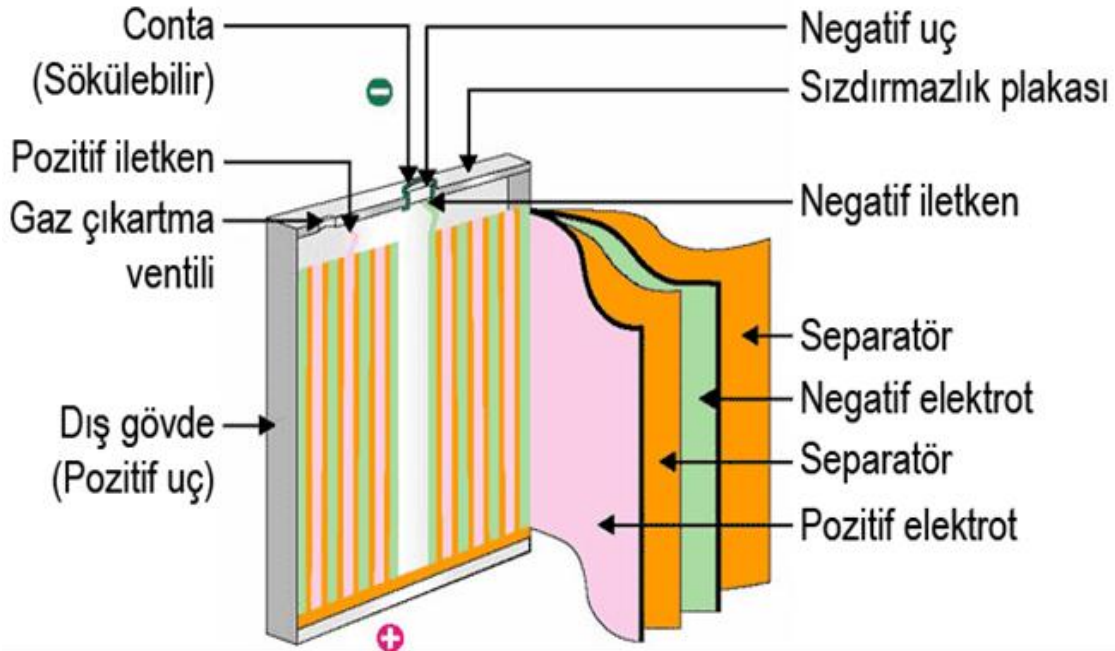
### 5.2.1 Lityum iyon batarya çeşitleri (Li-ion)

Bataryalı elektrikli araçlar ve hibrit araçlarda lityum iyon bataryalar gittikçe yaygınlaşarak kullanılmaktadır. Son yıllarda cep telefonları ve düz üstü bilgisayarlar gibi küçük elektronik aletlerde kullanım hızı gittikçe artmaktadır. Enerji yoğunluğu diğer bataryalar ile karşılaştırıldığında çok daha yüksektir. Lityum metali metaller arasında en yüksek standart potansiyele ve elektrokimyasal eşdeğere sahiptir. Bahsedilen özellikleri, metaller arasında ve magnezyum ve alüminyum hariç en yüksek hacimsel enerji temeline (Wh/l) ve özgül enerji potansiyeline (Wh/kg) sahip olduğunun göstergesidir. Reaksiyonları aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.

Katot reaksiyonu;



Anot reaksiyonu;



Şekil 5.6. Lityum İyon Batarya [36]

Lityum iyon bataryalar yüksek enerji yoğunluğu, fiziksel dayanıklılık, yüksek enerji



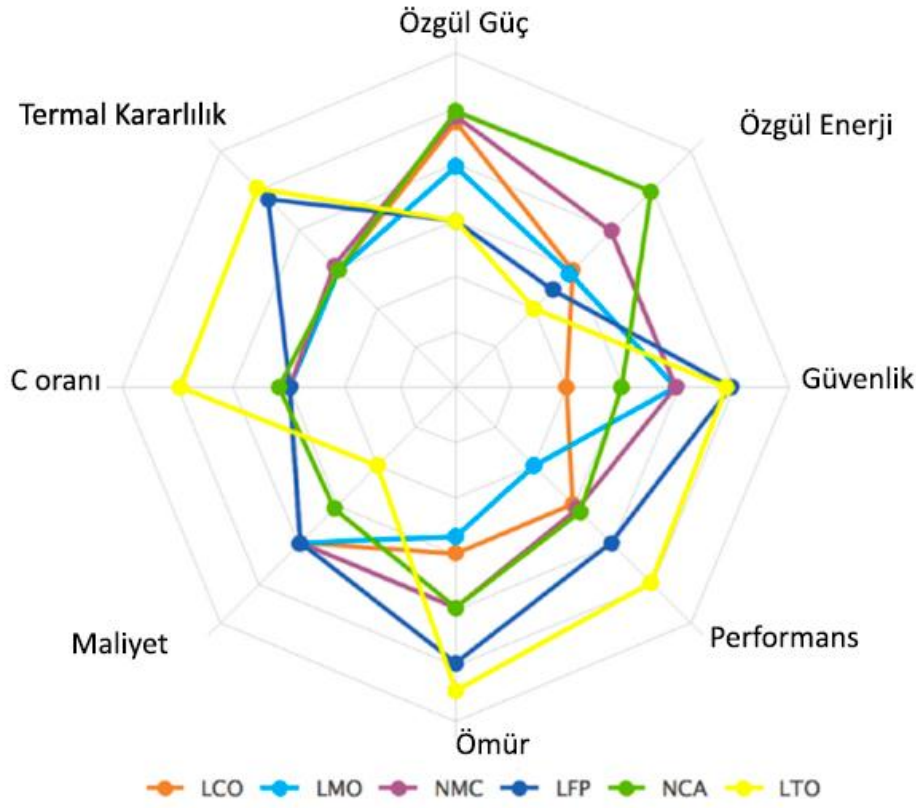
verimliliği, yüksek çevrim ömrü gibi özelliklere sahiptirler. Diğer batarya türlerine göre üstün özellikleri mevcuttur. Bunlara da ayrıca örnekler verecek olursak; [37]

- Lityum, herhangi bir hücrede en düşük indirgeme potansiyeline sahiptir, bu da lityum bataryaların mümkün olan en yüksek hücresel potansiyeli sağlamasına olanak tanır.
- Lityum en hafif üçüncü elementtir ve yüklü iyonlar arasında en küçük iyon yarıçaplarından birine sahiptir. Bu faktörler, lityum bazlı bataryalar yüksek gravimetrik ve toplu kapasite ve güç yoğunluğu sağlamasına izin verir.
- Mutlak anlamda, yer kabuğundaki lityum miktarı küresel filoya güç sağlamak için yeterlidir.
- Lityum iyon bataryalar, taşınabilir elektrokimyasal enerji depolamanın ana kaynağı olduğundan, performanslarının iyileştirilmesi kapsamalarını önemli ölçüde genişletebilir ve yeni enerji depolama teknolojileri yaratabilir.
- Lityum-iyon bataryalar, yeni malzemeler ve stratejiler ortaya çıktıkça, önümüzdeki yıllarda kuşkusuz yaşamlarımız üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olacak.
- Bakımı en az olan bataryalardır.

Lityum iyon bataryaların diğer bataryalara göre bazı zayıf özellikleri;

- Geleceğe bakıldığında, lityum iyon pillerin uzun vadede dünyanın taşınabilir enerji depolama ihtiyaçlarını karşılayabileceği şüphelidir. Lityum iyon piller artık bazı uygulamalar için (nakliye ve kamu hizmetleri gibi) pahalı olduğundan, lityum ve lityum iyon pillerde kullanılan bazı geçiş metallerinin eksikliği bir gün sorun haline gelebilir.
- Maliyet, yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını engelleyen en önemli faktör olduğundan, lityum iyon piller için artan fiyatlar bir sorun olabilir.
- Kırılgan yapı.
- Diğer piller gibi, lityum iyon pillerin de yaşlanma etkisi vardır.
- Düzenli olarak kontrol edilmelidir.

Yaygın olarak kullanılan lityum iyon batarya çeşitlerinin LCO – lityum kobalt oksit, LMO – lityum manganez oksit, NMC – lityum nikel manganez oksit, LFP – lityum demir fosfat, NCA – lityum nikel kobalt alüminyum oksit, LTO – lityum titanat oksit olmak üzere güçlü ve zayıf yönleri şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Lityum iyon pil çeşitlerinin güçlü ve zayıf yönleri [38]

**Lityum iyon polimer bataryalar (LiPo);** Lityum iyon polimer bataryaların lityum iyon bataryalarla benzer özellikler göstermektedir. En önemli farklı elektrolit yerine polimer malzemenin kullanılmış olmasıdır. Aynı zamanda bu bataryalar en az kendi kendini deşarj eden bataryalardır [39]. Bu bataryalarda polimer elektrolit kullanılması bataryaların daha kolay, hızlı ve çeşitli şekillerde üretiminin yapılmasını sağlar [40].

**Lityum demir fosfat bataryalar (LiFePO<sub>4</sub> LFP);** Lityum iyon pillerin katodu için fosfat kullanılır. Lityum demir fosfat bataryalar çevrim oranları, daha güvenli oluşu ve yüksek güç yoğunluğuna sahip olması yönlerinden avantajlı bir bataryadır. Fakat lityum iyon bataryalarla karşılaştırılırsa dezavantaj olarak daha az enerji yoğunluğuna sahiptirler [33]. Bu bataryalar için reaksiyon denklemleri aşağıda gösterilmiştir.

Deşarj denklemi;

$$E_{Deşarj} = E_{O2} - K \times \frac{Q}{Q-it} \times i^* - K \times \frac{Q}{Q-it} \times it + A_v e^{-\beta it} \quad (5.6)$$

Şarj denklemi;

$$E_{\text{şarj}} = E_{02} - K \times \frac{Q}{it+0.1 \times Q} \times i^* - K \times \frac{Q}{Q-it} \times it + A_v e^{-\beta it} \quad (5.7)$$

$E_{02}$ , sabit voltaj gerilimini,

$i^*$ , düşük frekans akım dinamiği,

$Q$ , maksimum pil kapasitesi,

$K$ , polarizasyon sabiti,

$\beta$ , eksponansiyel kapasiteyi,

$A_v$ , eksponansiyel voltajı ve

$it$ , çıkarılan kapasiteyi ifade etmektedir.

**Lityum kobalt oksit (LCO – LiCoO<sub>2</sub>);** Özgül enerjisi sebebiyle cep telefonları, dijital kameralar ve laptoplar için uygun bir seçenek haline getiriyor. Yapısı katot katmanlıdır. Deşarj durumunda lityum iyonlar anottan katoda doğru hareket eder. Şarj durumunda akış tersi şeklinde ilerler. Sınırlı yük kapasitesine sahip olması, kullanım ömrünün kısa olması, sıcaklık kararlılığının düşük olması dezavantajları olarak listelenebilir [41].

**Lityum mangan oksit (LMO – LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>);** İlk olarak 1983 yılında mangan spinali li-ion olarak tanınmıştır. Elektrot üzerinde iyonların akışını arttıran, gelişmiş akım kullanımı ve düşük iç direnç özellikleri bulunan üç boyutlu spinal bir yapıya sahiptir. Spinali olmasının farklı bir avantajı yüksek güvenlik ve yüksek sıcaklık stabilitesidir. Fakat kullanım ömrü sınırlıdır. Düşük iç direnci sayesinde yüksek akım boşaltma ve hızlı şarj imkanları sunar. 50 A’ye kadar bir saniye içinde yük darbesi uygulanabilir. 50 A’de yüksek yük sebebiyle ısı birikir. Saf lityum mangan piller yaygın olarak kullanılmaktadır. Özel amaçlar için kullanılabilirler [41]. Yapısı gereğiyle geliştirilmeye uygun olduğundan Lityum mangan oksit olarak geliştirilmiştir. Elektrikli el cihazları, tıbbi cihazlar yaygın kullanım alanlarıdır.

**Lityum nikel mangan kobalt oksit (NMC – LiNiMnCoO<sub>2</sub>);** En başarılı lityum iyon sistemlerinden birisidir. Lityum manganze benzerlik olarak bu bileşimler güç hücresi veya enerji hücresi olarak üretilirler. Nikel özgül enerjisinin yüksek olmasıyla tanınır fakat stabilitesi iyi değildir buna karşı mangan spinal yapısıyla düşük bir iç direnç oluşturabilir. Bu iki metali birleştirmek oluşan birleşimi kuvvetlendirmektedir. NMC’nin katot kombinasyonuna bakarsak 1-1/1 şeklinde bilinen üçte biri mangan, üçte biri kobalt ve geriye kalan üçte biri nikeldir [41]. Kobalt içerikten azaldığı için

hammadde maliyetini azaltan bir birleşimdir. Farklı bir kombinasyon olarak 3 kobalt – 2 manganez – 5 nikel birleşimidir. BMW i3, Nissan Leaf, Cevy Volt elektrikli araçlarında kullanılmıştır. Elektrikli bisikletler, endüstriyel EV’ler, tıbbi cihazlar yaygın kullanım alanlarıdır.

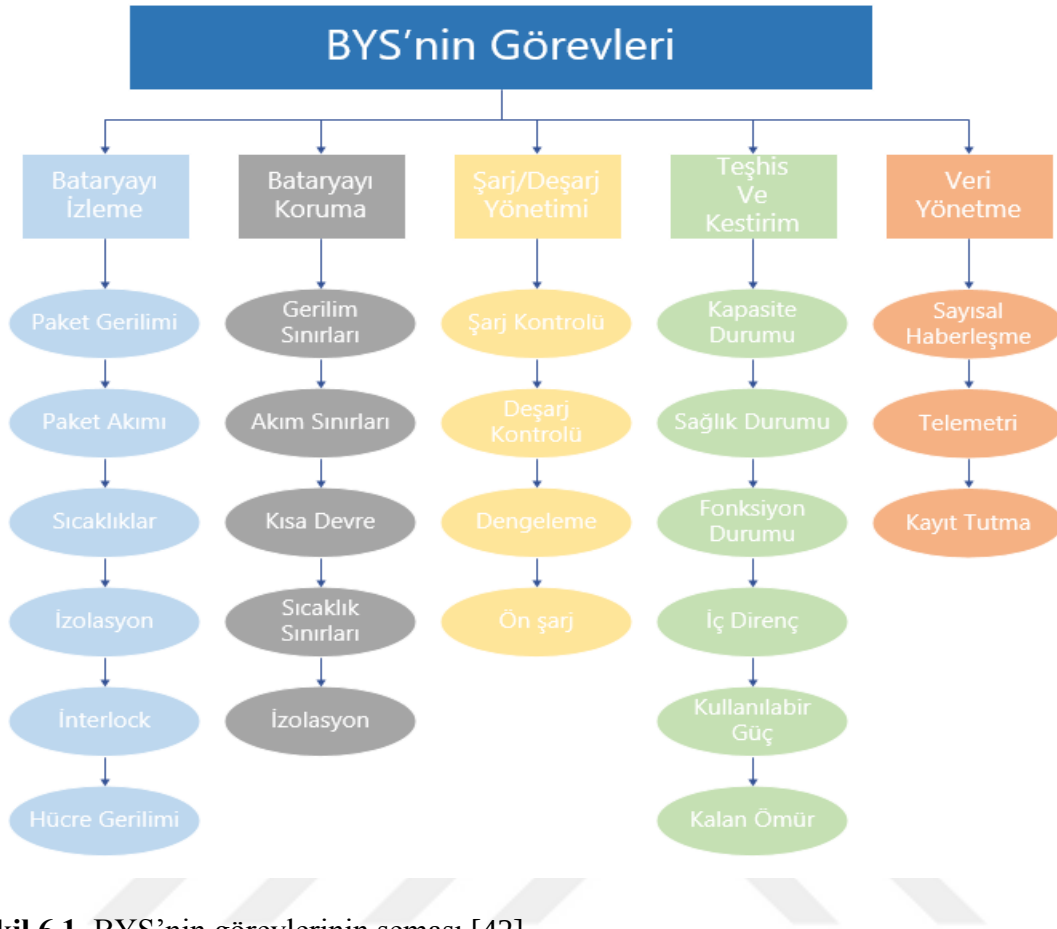
**Lityum Nikel Kobalt alüminyum oksit (NCA-LiNiCoAlO<sub>2</sub>);** Özel uygulamalara yönelik kullanılırlar. 1999’dan beridir kullanılmaktadırlar. İyi derecede güç seviyesi, yüksek özgül enerji, kullanım ömrünün uzun olması avantajları arasındadır. Alüminyum olması birleşime stabilite katmaktadır. Endüstride, elektrik aktarma organlarında (Tesla Örnek verilebilir) tıbbi cihazlarda yaygın olarak kullanım sunar.

**Lityum titanat oksit (LTO- Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>);** Lityum titanat 2.40 voltluk nominal bir hücre değerindedir. Hızlı şarj edilebilir ayrıca nominal kapasite değerinin 10 katı fazlasını veya 10C’lik yüksek deşarj akım değerini verebilir. Çevrim sayısı olarak normal bir lityum iyon pilden daha yüksektir [37]. Güvenlik ve performans konusunda çok iyi bir seçimdir. Fakat bu batarya birleşimi pahalıdır. -30 derecede %80 batarya kapasitesini verebilir. Yaygın olarak güneş enerjisine sahip sokak aydınlatmalarında, elektrikli güç aktarıcılarında (Honda fit EA – Mitsubishi i-mi ev) kullanılmaktadır.

## 6. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ (BYS)

Batarya yönetim sistemleri (BYS), hibrit ve elektrikli araçların en önemli bölümlerinden biridir. Elektrikli araçların korunması, izlenmesi ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar. BYS’nin asıl amacı bataryanın verimini ve bataryanın ömrünü arttırmaktır. Bu iki parametre oldukça önem taşımaktadır. Batarya parametrelerinden akım, gerilim, sıcaklık, benzeri verilerin herhangi bir karşılaşılması istenilmeyen duruma karşı anlık olarak alınıp görüntülenmesi gerekmektedir. Yüksek akım, aşırı şarj olma, zamansız deşarj, yüksek sıcaklık gibi parametrelerde uyarı sinyallerinin verilip gerekli işlemlerin yapılmasını sağlar [34].

BYS farklı birçok görevi yerine getirir. Şekil 6.1’de BYS görevlerinin şeması bulunmaktadır.



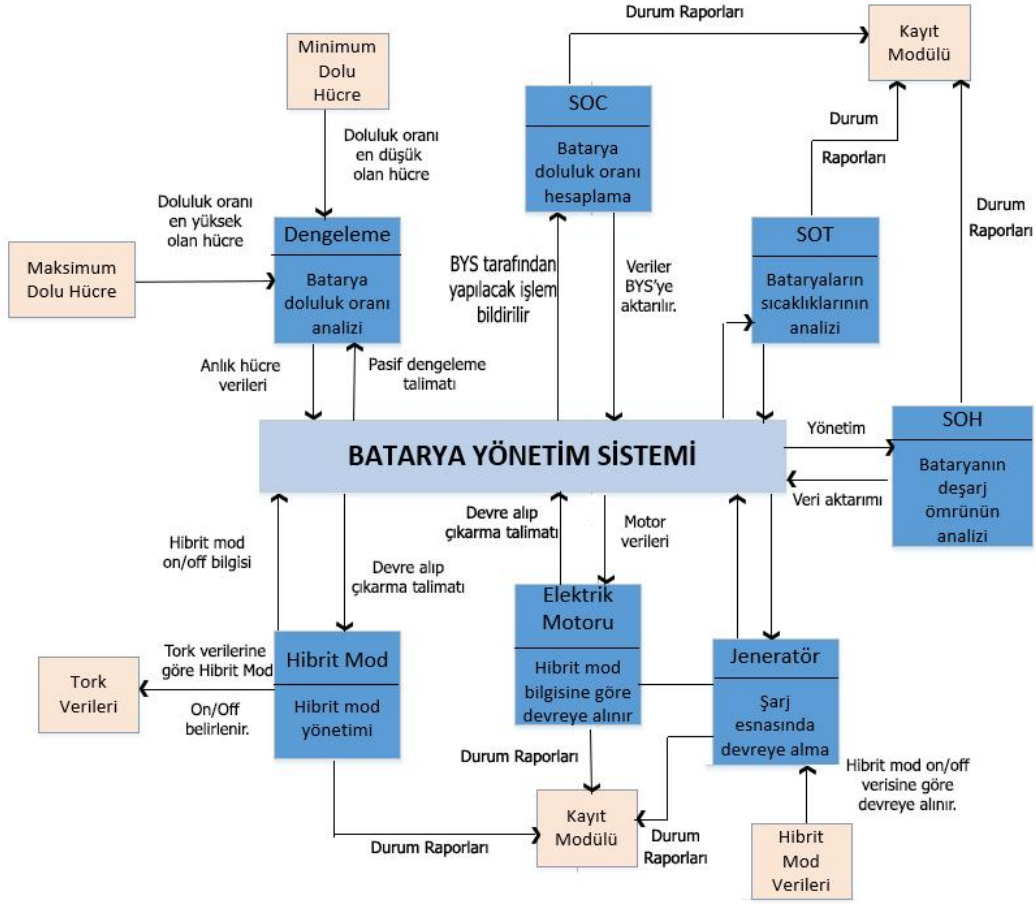
**Şekil 6.1.** BYS'nin görevlerinin şeması [42]

BYS'nin batarya izleme, bataryayı koruma, şarj/deşarj yönetimi, teşhis ve kestirim, veri yönetme başlığı altında birçok görevi yukarıdaki şekilde detaylandırılmıştır.

Şekil 6.2'te ise BYS'nin akış diyagramını gösterilmiştir.

BYS çeşitleri kurulma şekillerine göre gruplandırılabilirler. BYS çeşitlerinde önemli olan kurulum ve bakım kolaylığı, ölçüm hassasiyeti, güvenilirliği ve maliyetidir. BYS dört farklı şekilde gruplandırılabilir.

- Merkezi Batarya Yönetim Sistemi
- Modüler Batarya Yönetim Sistemi
- Ana kart ve Yardımcı kart Batarya Yönetim Sistemi
- Dağıtılmış Batarya Yönetim Sistemi



Şekil 6.2. BYS'nin akış diyagramı [42]

Tablo 6.1. Kullanılan BYS çeşitlerinin karşılaştırılması [40]

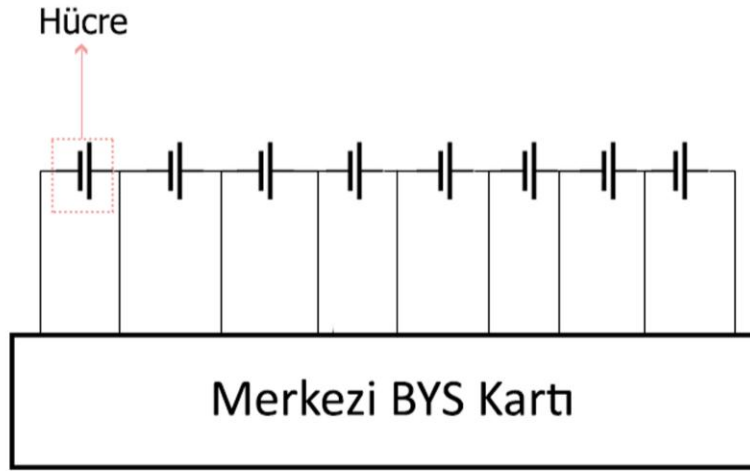
| BYS Çeşitleri                 | Ölçüm Kalitesi | Gürültü | Güvenlik | Malzeme Maliyeti | Montaj Maliyeti | Bakım Maliyeti |
|-------------------------------|----------------|---------|----------|------------------|-----------------|----------------|
| <b>Merkezi</b>                | ++             | +++     | +        | +                | ++              | +              |
| <b>Modüler</b>                | ++             | +++     | +        | +++              | ++              | +              |
| <b>Ana kart Yardımcı kart</b> | ++             | +++     | +        | +++              | ++              | +              |
| <b>Dağıtılmış</b>             | +++            | ++      | +++      | +++              | +               | ++             |

(+++ : iyi , ++ : orta , + : kötü)

## 6.1 Merkezi BYS

Merkezi batarya sisteminin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [40], [43]. Şekil 6.3’te yapısı gösterilmiştir.

- Tüm hücreler tek bir karta bağlanmış durumdadır.
- Kompakttır.
- Bu yaklaşım en ucuzudur.
- Onarım veya sorun giderme için sadece tek bir parça değişeceğinden dolayı bakımı daha kolaydır.
- Ek olarak haberleşme birimine ihtiyaç duyulmaz.
- MBYS’nin kullanılabilmesi için işlemcinin birçok sayıda sayısal çıkışının olmasına ihtiyaç duyulur.



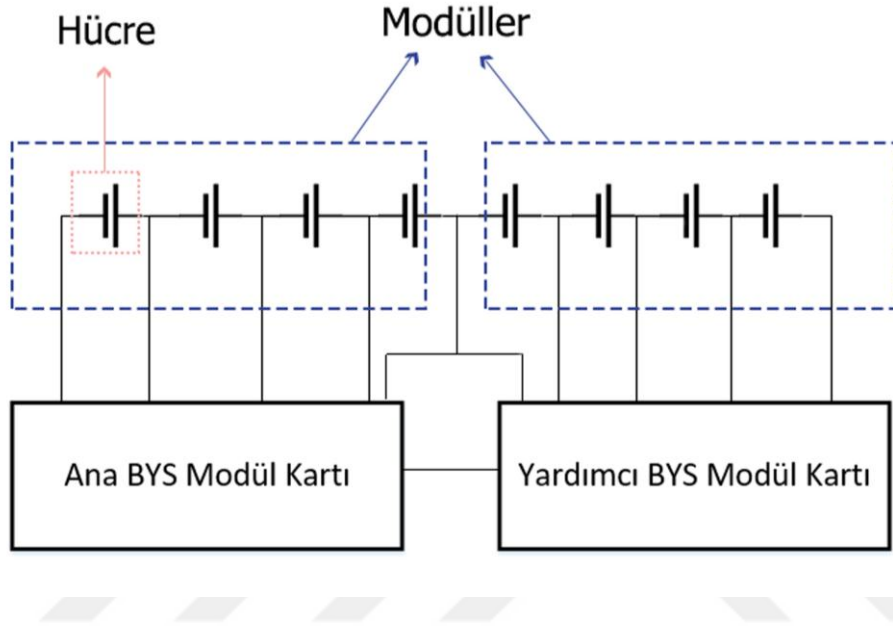
Şekil 6.3 Merkezi Batarya Yönetim Sistemi [44]

## 6.2 Modüler BYS

Modüler batarya sisteminin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [40], [43]. Şekil 6.4’te yapısı gösterilmiştir.

- Birçok özdeş modülden oluştuğu için MBYS’ye göre daha yüksek maliyet oluşmaktadır.

- Hücrelere bağlı olan kabloların kontrolü çok daha kolaydır.
- Genişletmek daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir.
- Her modülün tasarımında eşit sayıda hücre kullanılmıştır.
- Modüller arası haberleşme bağlantıları olduğu için fazladan kablo gerektirir.



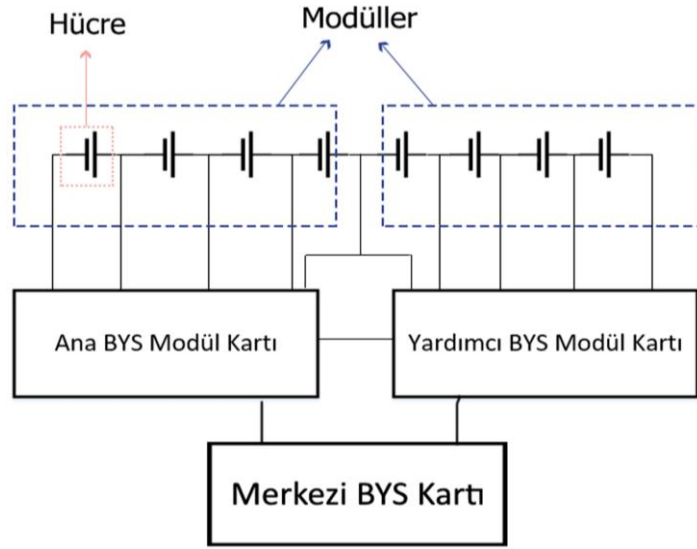
Şekil 6.4. Modüler Batarya Yönetim Sistemi [44]

### 6.3. Ana Kart ve Yardımcı Kart BYS

Ana Kart ve Yardımcı Kart batarya sisteminin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [40] [43]. Şekil 6.5'te yapısı gösterilmiştir.

- İki farklı BYS kartı mevcuttur. Yardımcı kart (elektronik kart) ve ana kart (merkezi kontrol kartı) olarak adlandırılır.
- Ana kart ile verileri toplayı işleme ve haberleşme işlemleri yapılırken ölçümler yardımcı kartta yapılmaktadır.
- Ana kart- yardımcı kart BYS, avantaj ve dezavantaj olarak Modüler BYS'ye benzerdir fakat maliyet yönünden daha hesaplıdır



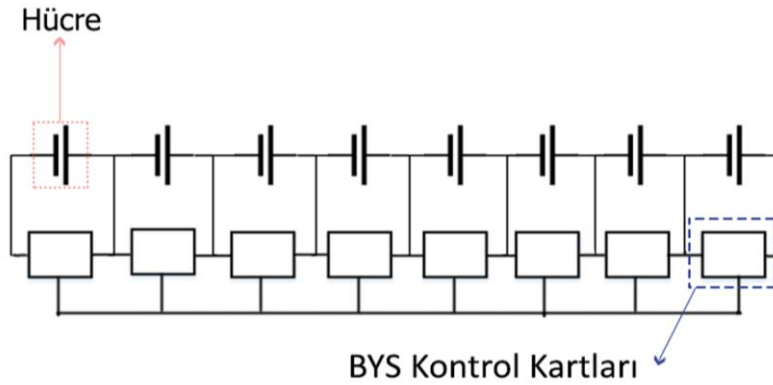


Şekil 6.5. Ana kart-Yardımcı kart BYS [44]

#### 6.4. Dağıtılmış BYS

Dağıtılmış batarya sisteminin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [43] [40]. Şekil 6.6’ da yapısı gösterilmiştir.

- Her hücreye bir yardımcı kart bağlanır, bu sebeple diğer türlerden oldukça farklıdır.
- Her bir hücre için ayrı ölçümler yapıldığından dolayı ölçüm doğruluğu diğer türlere göre yüksektir.
- Bağlantı sayısının fazla olması kablo ve eleman sayısının fazla olmasına sebep olmuştur.



Şekil 6.6. Dağıtılmış BYS [44]

## 6.5 Batarya Yönetim Sistemlerinin Önemli Parametreleri

Batarya durum kontrolleri doğrudan bataryalar üzerinden ölçülemez. Bu sebeple bir pil belirlenir ve seçilen bataryadan ölçümler gerçekleştirilir. Literatürde batarya modelleme metotları ile ilgili birçok çalışma mevcuttur.

### 6.5.1 Batarya doluluk oranı (State of Charge- SoC)

Elektrikli araçlar için oluşan aşırı şarj, zamansız deşarj gibi durumlar bataryanın ömrünü kısaltmaktadır. Bu durumlarda daha sonra oluşabilecek sorunları da beraberinde getirir. Kapasite durumu (SoC) kutup başlarından doğrudan ölçülememektedir. Bu sebeple, SoC’u tahmin edebilmek adına literatürde yöntemler geliştirildiği görülmektedir [45].

Kapasite durumunu öğrenmek için gelişen yöntemler 3 ana başlık altında incelenebilir. Bunlar; tahmine dayalı, ölçümsel ve akım/şarj sayımıdır.

Ölçümsel yaklaşımlar: Hücrenin iç direncinden alınan ölçümler yardımıyla yapılabilir, Bunun yanı sıra elektrolit yoğunluğu veya hücre empedansı da ölçüm için kullanılabilir. Dezavantaj olarak ölçüm için ihtiyaç duyulan aletlerin elektriksel donanımları ve boyutları oldukça fazladır. Her ne kadar sonuçların doğruluk oranı yüksek bile olsa araç hareket halindeyken ölçüm yapılması mümkün değildir.

Tahminsel yaklaşımlar: Bu yaklaşımlara örnek olarak filtre uygulamaları, yapay zekâ bulanık mantık yöntemleri, açık devre yöntemleri verilebilir. Bu yöntemlerle hesaplama yapmak oldukça zordur ve uygulanması uygun görülmemektedir [45].

Akım sayma yöntemi: Mevcut yöntemler arasında en kullanılabilir ve basit olanı akım sayma yöntemidir. Bu yöntemle araç hareket halindeyken kapasite durumu ölçülebilir. Hesaplama belirli aralıklarla devam ettirilerek ölçme işlemine devam edilir. Kapasitesi belli olan bir bataryanın SoC’sini hesaplamak için gerekli olan denklem aşağıda verilmiştir.

$$SoC = \frac{\text{Şarj edilme miktarı (Ah)}}{\text{Bataryanın kapasitesi (Ah)}} \times 100 \quad (6.1)$$

### 6.5.2. Bataryanın sağlık durumu (State of Healty- SoH)

Bataryanın güvenliği, performansı, dayanıklılığı ve şarj/deşarj anındaki durumları

bataryanın sağlık durumuna bağlıdır. Bu tanım bataryanın yaşlanma durumunu bilmek, değiştirilme sũresini tahmin etmek sũrũř km birimini hesaplamak için oldukça önemlidir. SoH'un SoC gibi kesin bir tanımı henũz yapılamamıştır. Pil kimyasının incelenmesi ile SoH'un durumuna endũstriyel ortamlarda bakılabilir. SoH incelemelerden sonra sadece yũzdelik dilimler olarak yansıtılabilir. %100 oranına sahip bir batarya yeni bir batarya anlamına gelmektedir. Eğer SoH oranı %80'nin altına dũřerse mevcuttaki batarya bir elektrikli araç için kullanılamaz durumdadır. [46]' da belirtildiği üzere SoH tespiti çoğunlukla batarya kapasitesinin azalması veya dahili direncin artmasıyla alakalıdır. Kapasitenin ve gũcũn azalması batarya üzerindeki elektrotlar üzerindeki farklı işlemlerden veya bunları etkileşimlerinden kaynaklanmış olabilir.

### 6.5.3 Bataryanın işlev durumu (State of function- SoF)

İşlev durumu (SoF), pilin gũ taleplerini nasıl karşıladığını açıklar ve genellikle mevcut maksimum çıkış gũcũyle yorumlanır. Akũ gũvenliđi ve diğer faktörler göz  nũne alındığında, akũnũn terminal voltajı ve akımı belirli bir aralıkta iyi bir şekilde sınırlandırılmalıdır ve dolayısıyla mevcut maksimum gũ bu eşiklerle sınırlanır [47]. SoF, bataryanın, bataryadan gũ alan bir sistemin işlevselliği ile ilgili belirli bir görevi yerine getirme kapasitesidir. SoF, bataryanın SoC, SoH ve çalışma sıcaklığının bir fonksiyonudur. Örneğin, daha dũřuk SoC ve daha yũksek çalışma sıcaklığındaki yeni bir batarya (yũksek SoH), daha yũksek SoC ve daha dũřuk sıcaklıktaki eski bir bataryadan (dũřuk SoH) daha iyi (daha yũksek SoF) performans gösterebilir [48].

## 7. MOTOR SEÇİMİ

Elektrik araçlarda avantajları ve dezavantajları göz  nũne alındığı taktir de 5 çeşit elektrik motoru genel olarak tercih edilmiştir. Alternatif Akım Motorları başlığı altında Sabit Mıknatıslı Senkron Motorlar (PMSM), Anahtarlamalı Relũktans Motorlar (SRM), Asenkron Motorlar (ACIM), Doğru Akım Motorları Başlığı Altında Fırçalı DC Motorlar (DCM), Fırçasız DC Motorlar (BLDC)'tır. Aşağıdaki tabloda Elektrik Motorlarının kriterlere göre karşılaştırılması verilmektedir. Tasarlanan elektrikli araç için avantajları ve kullanım alanı göz  nũne alındığında Fırçasız DC Motor tercih edilmiştir. Tablo 7.1'de motor kriterlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

(Tabloda kullanılan “0” değerlendirmesi ilgili kriter açısından diğer motor tiplerine göre ortalamayı, “-” ve “—” değerlendirmesi ilgili kriter açısından diğer motor tiplerine göre dezavantajlı durumu, “+” ve “++” değerlendirmesi ise ilgili kriter açısından diğer motor tiplerine göre avantajlı durumu temsil etmektedir.)

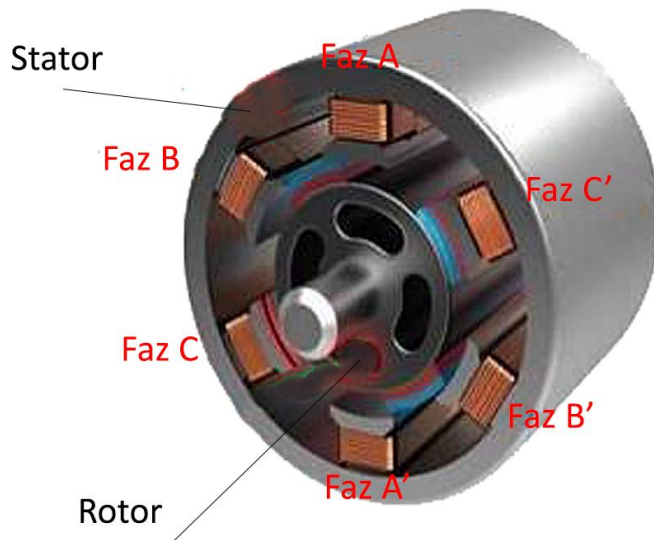
**Tablo 7.1.** Elektrikli araçlarda kullanılan motorların kriterler açısından karşılaştırılması

| KRİTER                   | DCM | ACIM | PMSM | BLDC | SRM |
|--------------------------|-----|------|------|------|-----|
| Maliyet                  | 0   | ++   | -    | -    | +   |
| Tork Güç Yoğunluğu       | -   | 0    | ++   | ++   | 0   |
| Verim                    | -   | +    | ++   | ++   | +   |
| Basitlik                 | ++  | ++   | 0    | +    | ++  |
| Kontrol Kolaylığı        | ++  | ++   | 0    | +    | ++  |
| Boyut                    | -   | +    | ++   | ++   | +   |
| Sağlamlık                | 0   | ++   | +    | +    | ++  |
| Hata Toleransı           | +   | ++   | -    | -    | ++  |
| Ömür                     | -   | ++   | +    | +    | ++  |
| Vade                     | ++  | ++   | +    | +    | +   |
| Potansiyel               | -   | ++   | ++   | 0    | ++  |
| Termal Limit             | 0   | +    | -    | -    | ++  |
| Aşırı Yükleme Kapasitesi | -   | +    | +    | +    | ++  |

**Sabit Mıknatıslı Senkron Motorlar (PMSM);** Motor üzerinde bulunan sabit mıknatıslar üzerinden manyetik alan üretilir. Kalıcı mıknatısın kullanılması durumunda elektrik makinası bir PM (Permanent Magnet) motoru adını alır. PMSM yapısını incelersek endüksiyon motoru ve fırçasız bir DC motorun birleşiminden oluşmuştur.

PMSM bir stator ve bir rotor olmak üzere 2 parçadan oluşur. Stator her elektrik motorunda olduğu gibi sabit kısımdır rotor ise üzerinde kalıcı mıknatıslar yerleştirilmiş hareketli olan parçadır. PMSM sinüzoidal zıt elektromotor kuvvetine sahiptir [49]. PM motorlardaki en önemli avantajlardan bir tanesi rotor bakır kayıplarının sıfır olmasıdır bu sebeple rotor da ısınma kaybı meydana gelmez. Bu özellik elektrikli araçlarda soğutma sistemi açısından önemlidir. AC Asenkron Motorlarla kıyaslandığında daha yüksek moment yoğunluğuna sahiptir. Aynı gün için daha küçük bir hacime sahiptirler. Ancak motorda oluşan yüksek ısı ve yük koşullarındaki mıknatıslanma özelliğinin kaybolması dezavantajları arasındadır. Şekil 7.1’de Sabit mıknatıslı senkron motor yapısı gösterilmiştir.

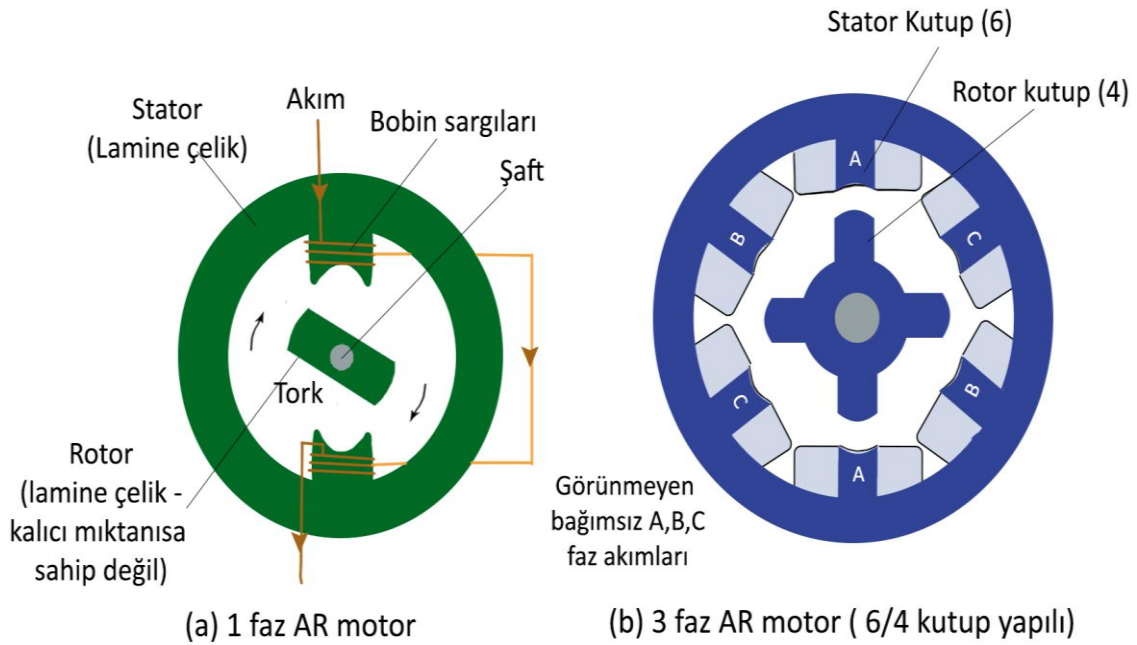
**PMSM Sürücüler:** Sabit mıknatısları sayesinde PMSM sıfır hızda tork üretebilir ancak kontrolün sağlanması için dijital kontrollü invertere ihtiyaç vardır. Skaler kontrol veya Vektörel kontrol uygulaması sağlanabilir. Vektörel kontroller Alan yönlendirmeli Kontrol, Doğrudan Moment Kontrol olarak kendi içerisinde sıralanabilir. Stator akımlarının dönen eksen takımlarına dönüştürülmesiyle alan yönlendirmeli kontrol yöntemi tercih edilir.



**Şekil 7.1.** Sabit Mıknatıslı Senkron Motor [50]

**Anahtarlama Relüktans Motorlar (SRM);** SR Motorundaki rotor, rotorda bobin olmaması sebebiyle kendi etrafında bir manyetik alan oluşturmaz yani bu nedenle bir SR motorunda reaktif tork üretilmemektedir. SRM’ler de her faz birbirinden manyetik, elektriksel ve fiziksel olarak birbirinden bağımsız olması sebebiyle doğru akım ve asenkron makinelerine göre daha güvenilir motorlardır. Rotorunda sargı veya herhangi bir sabit mıknatıs bulunmadığı için çok yüksek hızlara ulaşabilmektedir. SRM’ler basit ve sağlam yapıya sahiptirler bu sebeple yüksek hızlı uygulamalar için tercih edilirler [51]. Elektrikli araçlardaki yüksek güç yoğunluğu önemli bir konudur. SR Motorlar bu avantaja sahiptirler. Anahtarlama relüktans motorların düzgün çalışması için sürekli moment oluşturulması gerekmektedir. Şekil 7.2’de anahtarlama relüktans motor yapısı görülmektedir.

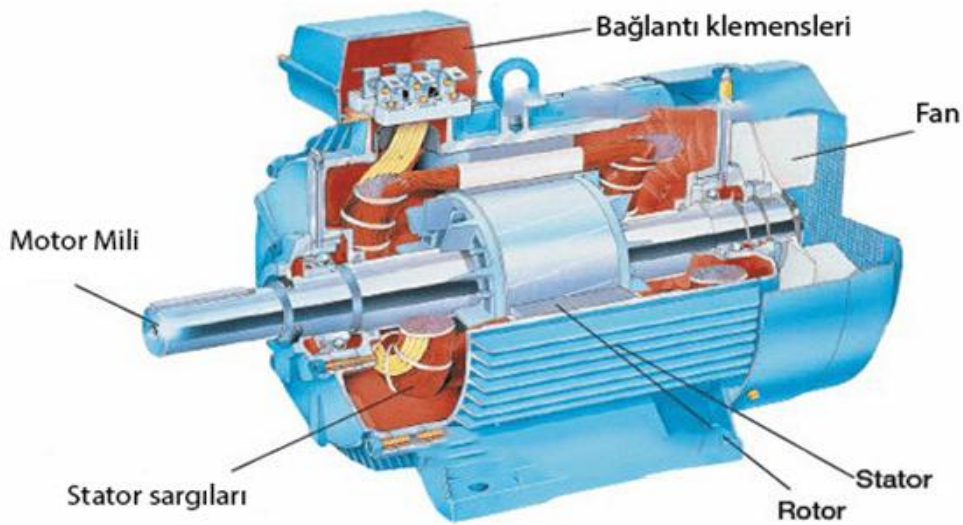
**Anahtarlama Relüktans Motor Sürücüleri:** SR Motorların düzgün çalışabilmesi amacıyla motorun endüktans karakteristikleri göz önünde bulundurarak rotor konumunun belirlenmesi için konum algılayıcısı kullanılır. Belirlenen konumlar üzerinden motor fazları uyarılır. SR motor sürücüleri yüksek hızda çalışmaya uygundur.



**Şekil 7.2.** Anahtarlama Relüktans Motor Yapısı [52]

**Asenkron Motorlar (ACIM);** Asenkron motorlar çalışma yapısı olarak benzerlik gösterdiğinden dolayı indüksiyon motorlar olarak da adlandırılırlar. Rotor yapılarına göre Sincap kafes ve Bilezikli olmak üzere 2 farklı yapıda bulunabilirler. Sincap kafesli asenkron motorlar bilezik yapılı asenkron motorlara göre daha avantajlıdır. Sincap kafesli AM Bilezikli asenkron motorlara göre daha verimli, bakım masraflarının daha az olması maliyet açısından daha ucuz olması avantajlarına sahiptir. Asenkron motorlarda hız kontrolünün zor olması dezavantajdır. Düşük güç faktöründe çalıştıklarından dolayı güç faktörü düzeltilmesi gereklidir. Yüksek bakır kayıpları verimin düşmesine sebebiyet verir. Aynı zamanda verimin düşmesinin bir diğer sebebi hava boşluğu aralıklarının fazla olmasıdır [51]. Motor nominal akımının 5 veya 6 katına kadar değişiklik gösteren yüksek bir başlangıç akımı ihtiyacı duyar. Şekil 7.3'te asenkron motor yapısı verilmiştir.

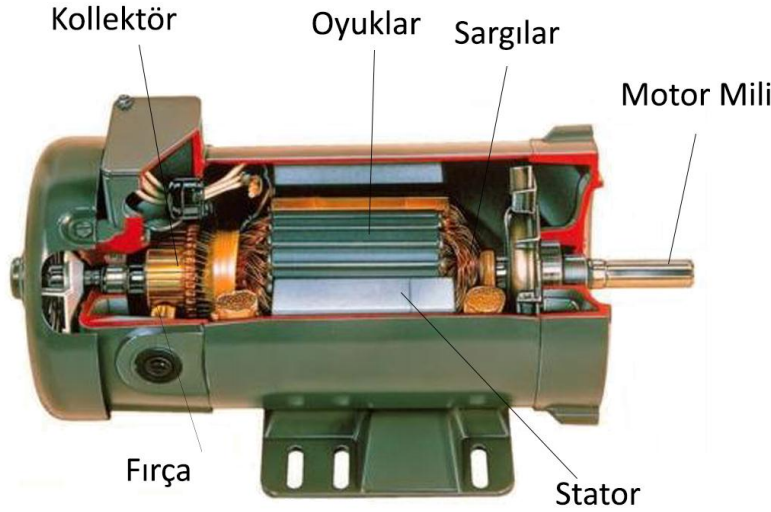
**Asenkron Motor Sürücüleri;** hız kontrolü voltaj frekansının değiştirilmesi ile yapılmaktadır. Vektör kontrollü AC motor sürücülerinde motor akımı sürücü içinde bulunan akım kontrolörü tarafından kontrol edilir. Faz sargılarına anlık darbe gerilimleri uygulayarak motorun yeni moment değerine ulaşması sağlanır. Motor ulaştığı yeni moment değeriyle sürücü normal çalışma özellikleri ile çalışmaya devam eder. Asenkron motorların zor kontrol edilmesi sebebiyle DC motorlara göre daha maliyetli duruma gelirler.



**Şekil 7.3.** Asenkron Motor Yapısı [53]

**Fırçalı DC Motorlar (DCM);** Motor Stator ve Rotor olmak üzere iki ana parçadan oluşur. Rotor üzerinde bobinler, stator üzerinde mıknatıslar bulunmaktadır. Motor milinde bulunan bobinlere karbon veya bakırdan imal edilmiş olan fırçalar(kömür) üzerinden elektrik akımı aktarılır. Uygulanan akım bobinler üzerinde manyetik alan oluşmasına sebebiyet verir. Mıknatıslarda oluşan manyetik alan ile bobinlerin oluşturduğu manyetik alan zıt manyetik alan oluşturduğu için motor durmadan dönmeye başlar. Seri ve kolay üretilmesi avantajları arasındadır. Sürücü devreleri kolay, uygun fiyatlıdır [54]. Hız kontrolü sürücü devreler tarafından kolaylıkla yapılır. Ancak Fırçalı DC motorların bazı dezavantajları mevcuttur. Bunlardan en önemlisi miller dönerken üzerinde bulunan fırçalar sürekli birbirine temas ettiği için çok sık bakım ihtiyacı duyarlar. Sürtünme ısı meydana getirir ve verimi fırçasız DC motorlara göre düşürür. Şekil 7.4'te fırçalı dc motor yapısı verilmiştir.

**Fırçalı DC Motor Sürücüleri:** Motorun hızını ayarlamak için meydana gelen manyetik alandaki voltaj farkı değiştirilir. L293D vb. sürücü entegreler ile mikro kontrolör yardımıyla küçük boyutlu DC motorlar sürülebilir.



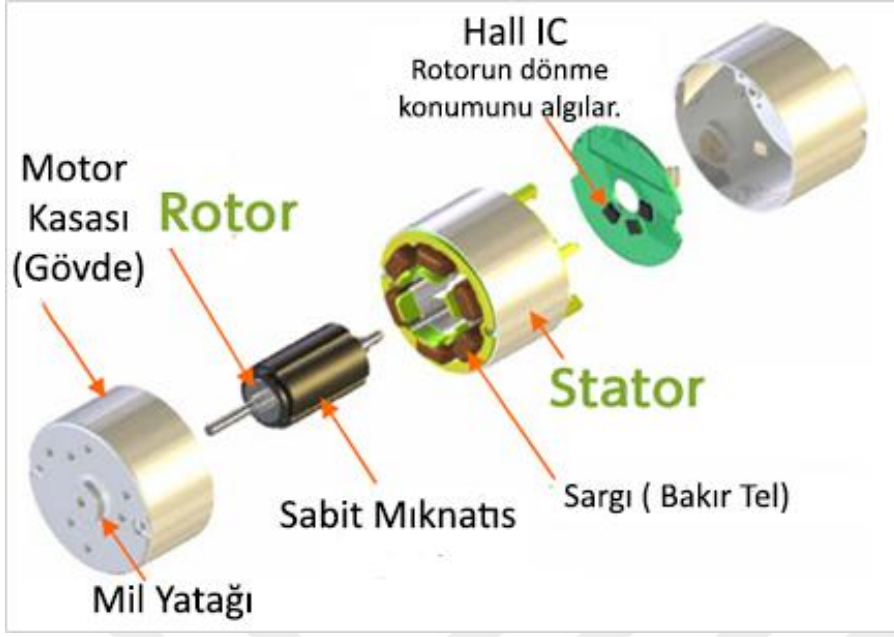
**Şekil 7.4.** Fırçalı DC Motor Yapısı [55]

**Fırçasız DC Motorlar (BLDC);** Üç adet faz sargısıyla oluşmuş stator, Sabit mıknatıslardan meydana gelmiş bir rotor, sürücü ve konum sensöründen meydana



gelmektedir. Fırçasız DC motorlar, komütasyon içeren fırça-toplayıcı düzeneğinin rolünü üstlenecek bir elektronik denetleyiciye ve motor sürücülerine bağlıdır. Komütasyon; akımın yönünün değişmesidir. Motor sürücülerinde yüksek akım anahtarlama görevini yerine getiren yarıiletken devre elemanları ve anahtarlama ile ilgili zamanlamayı sağlayan mikrodenetleyici bulunmaktadır. Kontrolör, motorun dönüşünün bozulmaması için gövdenin (rotorun) konumunu uygun bir hızda takip etmelidir. Bu işlem, rotor konumunun bilinmesini gerektirir. Hall etkisi sensörleri, sensörlü fırçasız DC motorların çoğunda rotor konumu için kullanılır. Fırçasız DC Motorlar sabit tork ile hız kontrolüne olanak sağlar. Verimleri hem AC motorlara göre hem de Fırçalı DC motorlara göre yüksektir. Yüksek momente sahip olması boyutlarının diğer elektrik motorlarına göre daha küçük olması, yüksek devir imkânı, sessiz çalışması ve uzun ömürlü olmaları elektrikli araçlarda tercih sebebidir [54]. Sürücü devrelerinin zor olmasından kaynaklı maliyetleri yüksektir. Şekil 7.5'te fırçasız DC Motor yapısı verilmiştir.

Fırçasız DC Motor Sürücüler: Kullanım için konum sensörlerine ihtiyaç duyarlar ve rotor pozisyon bilgisine ihtiyaç vardır. Yapılarından kaynaklı olarak kontrolleri elektronik olarak yapılır. BLDC kontrolünde iki adet farklı kapalı çevrim kullanılır. İlki iç Kontrol çevrimi ikincisi dış kontrol çevrimidir. İç kontrol, momenti ve motor akımını kontrol etmektedir. Dış kontrol, motor hızını kontrol etmektedir. Geri besleme için pozisyon bilgisi veren sensörlerden alınan gerçek konum bilgisi ile motor hızı verilmektedir.



Şekil 7.5. Fırçasız DC Motor Yapısı [56]

### 7.1. Motor için Gerekli Hesaplamalar

Aracın bataryalı ağırlığı 2300 kg'dır. Maksimum taşıma kapasitesi dahil edildiği takdirde aracın tam yük ağırlığı 2900 kg olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar tam yük dahil araç ağırlığı üzerinden yapılmıştır.

Sürtünme katsayısı dünya genelinde 0,17-0,27 arasında kabul edilen bir değerdir. Kullanılan sürtünme katsayısı 0,2 olarak alınmıştır ve iş yükü denklem (7.1)'den 580 kg olarak bulunmuştur.

$$2900 \times 0,2 = 580 \text{ kg} \quad (7.1)$$

$$W = P \times t \quad (7.2)$$

$$P = v \times T \quad (7.3)$$

$$T = F \times X \quad (7.4)$$

$$X = r \quad (7.5)$$

Yukarıdaki (7.4), (7.5) numaralı formüllerden tork hesabı yapılır.

$$F = m \times g \quad (7.6)$$

$$580 \times 9,81 = 5689,8N \sim 5700 N \quad (7.7)$$

Kuvvet değeri (7.7) numaralı formülden yaklaşık 5700 N olarak bulunmuştur. Lastik yarı çapı referans araçtan 0,35m olarak alınmıştır

$$Tork = 0,35 \times 5700 = 1995 Nm \quad (7.8)$$

W=iş, P=güç, t=zaman, T=Tork, F=Kuvvet, X=kuvvete olan uzaklık, r=lastik yarıçapı, m=iş yükü ağırlığı, g= yer çekimi ivmesi

Denklem (7.8)'de hesaplanan tork değeri araç için en alt sınırdır. Eğer hesaplanan alt değere ulaşılamazsa eylemsizlik kanunu sebebiyle araç harekete başlamaz.

Elektrikli aracın ulaşabileceği maksimum hız 260 km/s olarak belirlenmiştir. Belirlenen değer Metre/dakika cinsinde dönüştürüldüğün de 4333,34 m/dk olarak elde edilir. Elde edilen değer devir/dakika olarak denklem (7.9)'dan hesaplanır. Lastik yarı çapı 0,35m olarak alınmıştır. Lastiğin çevresi 2,2 metredir.

$$4333,34/2,2 = 1969,70 \text{ devir/dk.} \sim 1970 dv/dk \quad (7.9)$$

$$(1970 \times 1995) / 10000 = 392,819 kW \sim 400 kW \quad (7.10)$$

Güç (7.3) formülü kullanılarak (7.10)'da 400 kW olarak hesaplanır ancak yapılan hesaplamalar yüzeysel olarak hesaplanır güvenlik ve stabilite için bu değer 1.5 katıyla çarpılmalıdır.

$$400 kW \times 1,5 = 600 kW \quad (7.11)$$

Elektrikli aracın motor gücü gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra denklem (7.11)'de 600 kW'a ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.

## 8. BATARYA PAKETİ TASARIMI

Ön görülen elektrikli aracın batarya tasarımı için Li-ion pil kullanılması uygun görülmüştür. Darbe dayanıklılığı ve kontrol edilebilirliği daha yüksek olduğu için silindirik hücreye sahip li-ion pil tercih edilmiştir. Batarya olarak kullanımı planlanan pil özellikleri aşağıdaki 8.1 numaralı tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 8.1.** Seçilen Pil Özellikleri

| Model                     | Panasonic 21700  |
|---------------------------|------------------|
| Nominal Voltaj (V)        | 3,7 V            |
| Kapasite                  | 5,0 Ah           |
| Pil Türü                  | Li-iyon          |
| Deşarj Kapasitesi         | 30C              |
| Enerji Yoğunluğu          | 250 Wh/kg        |
| Ağırlık                   | 60 gr            |
| Çapı (mm)                 | 21,7 ± 0,3       |
| Yükseklik                 | 70,3 ± 0,5       |
| Max. İşlem Voltaj Aralığı | 2,75 V to 4,20 V |
| Max. Şarj Voltajı         | 4,2 V ± 50 mv    |
| Max. Şarj Akımı           | 2400 mA          |
| Standart Şarj Akımı       | 960 mA           |

Özgün değer olarak tasarlanması düşünülen sistem 2 eşit bataryadan oluşmaktadır. 800V olan elektrikli araçların şarj esnasında 2 bataryanın paralel bağlanarak 400V da şarj edilebilmesi, kullanım esnasında iki bataryanın seri bağlanarak 800 V olarak kullanabilmesi planlanmıştır. Bu sebeple batarya tasarımı yapılırken toplam batarya kapasitesi iki batarya için eşit olarak ikiye bölünerek tasarlanacaktır. Çalışmanın devamında batarya paketinin eşit bölümleri BT1 ve BT2 olarak tanımlanacaktır. 800 volt seviyelerinde çalışan elektrikli araçların batarya kapasiteleri 80 kWh – 100 kWh aralığındadır. Tasarlanan elektrikli aracın batarya kapasitesi 100 kWh olarak planlanmış ve 50 kWh – 50 kWh olmak üzere iki adet olarak tasarlanmıştır.

BT1 için yapılması gereken hesaplamalar;

**Seri Bağlanacak Pil Sayısı:** 800 V'luk sistemin bir bataryası için 400 V'luk bir gerilime ihtiyaç vardır. Tercih edilen li-iyon pilin nominal gerilimi 3,7 V 'dur.

$$n_{Series} = \frac{V_{Batarya}}{V_{PilNominal}} \quad (8.1)$$

8.1 no'lu denklemden sonuç 108,108 bulunmaktadır. 110 adet seri pile ihtiyaç duyulmaktadır. (109 konfigürasyon çeşitliliği sınırlı bir değer olduğundan dolayı 110 olarak alınmıştır.)

**Paralel Bağlanacak Pil Sayısı:** Bir pil ağırlığı 60 gr'dır. 110 adet pilin toplam ağırlığı 6600 gr olarak bulunur.

Toplam pil ağırlığı, iki adet batarya paket takımı bulunduğu için 6160 adet hücre vardır. Her biri 60 gr olduğu için minimum 370 kg olarak bulunur.

Bataryanın hücreleri için araçta ayrılan kilo 370 kilogramdır. Batarya iki bölüm olarak tasarlandığı için 370 kg'da 185 kg tek kısım ağırlığıdır. Buradan;

$$n_{paralel} = \frac{Batarya\ Paket\ ağırlığı}{Seripilağırlığı} \quad (8.2)$$

Denklemini kullanarak;  $185000 / 6600 = 28$  paralel bağlantı yapılacağı bulunur.

**Deşarj Kapasitesi:** Tercih edilen 21700 pilinin deşarj kapasitesi 30 A'dır. Deşarj kapasitesini hesaplamak için paralel bağlantı sayısı ile orantılıdır. Buradan 840 A olarak bulunmuştur.

**Elde Edilen Batarya Gerilimi:**  $110 \times 3,7 = 407$  V 'dur.

**Elde edilen Batarya Kapasitesi:**  $28 \times 4,8 = 134,4$  Ah

**Elde Edilen Batarya:**  $134,4 \times 407 = 54,7$  kWh şeklinde bulunmuştur.

Eş değer iki adet batarya kullanılacağından *Elde edilen toplam batarya 109,4 kWh* olarak bulunmuştur.

Tablo 8.2'de BT1 için tasarlanan özellikler verilmiştir.

**Tablo 8.2.** BT1 için Tasarlanan Özellikleri

|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| Teknik Özellikler | Panasonic 21700 |
| Hücre Gerilimi    | 3,7 V           |

|                                  |                                          |
|----------------------------------|------------------------------------------|
| Seri Sayısı                      | 110                                      |
| Paralel Sayısı                   | 28                                       |
| Batarya Ağırlığı                 | 400 kg                                   |
| Batarya Kapasitesi               | 134,4 Ah (Tek Batarya Paketi)            |
| Deşarj Kapasitesi                | 840 A (Max)                              |
| Kullanılacak Toplam Hücre Sayısı | 6160 (İki Paketteki Toplam Hücre Sayısı) |

### 8.1 Batarya Paketi ve Modül Konfigürasyonu

Batarya paketi oluşturulurken modüllerin nasıl dizileceği ayarlanmalıdır. Modüller seçmiş olduğumuz hücreler yani silindirik yapılı pillerden oluşmaktadır. Aracın çalışması için gerekli olan nominal motor gerilimine ulaşmak için seri bağlantı kullanılır. Nominal akım değerine ulaşmak için paralel bağlantılar kullanılır. Tasarladığımız elektrikli aracın eş değerlerde iki adet bataryası bulunmaktadır. 400 V'luk bir batarya için model konfigürasyonu aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. İkinci batarya paketi aynı konfigürasyonda seçilmiştir. Tablo 8.3'te BT1 için modül konfigürasyon seçenekleri verilmiştir.

**Tablo 8.3.** BT1 için Modül Konfigürasyonu

|            | Seri<br>Modü<br>l<br>Sayısı | Paralel<br>Modü<br>l<br>Sayısı | Modüllerde<br>ki Seri<br>Hücre<br>Sayısı | Modülde<br>ki Paralel<br>Hücre<br>Sayısı | Tek Batarya<br>İçin Hücre<br>Sayısı | Bir<br>Batarya<br>Paketi<br>Modülü | TM<br>S |
|------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------|
| Durum<br>1 | 11                          | 4                              | 10                                       | 7                                        | 3080                                | 44                                 | 88      |
| Durum      | 10                          | 4                              | 11                                       | 7                                        | 3080                                | 40                                 | 80      |



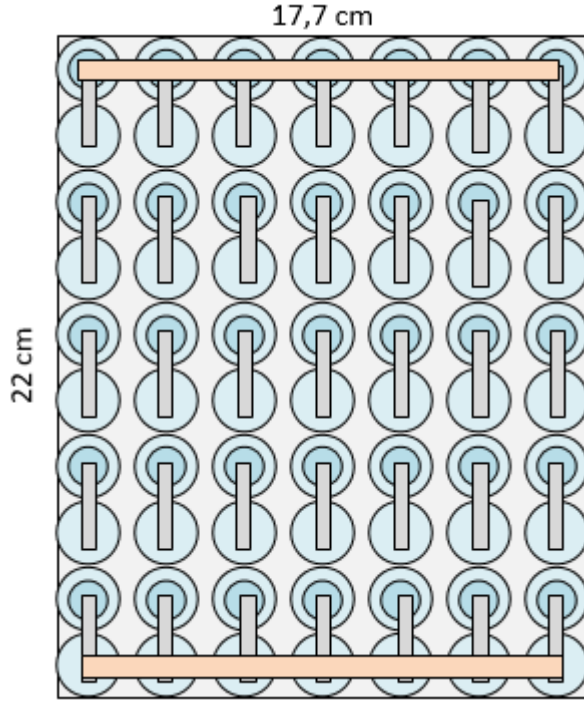
Konfigürasyonların tasarımları hesaplanırken piller için aşağıdaki tabloda verilen uzaklıklar kullanılmıştır. Tablo 8.4'te belirtilmiştir.

**Tablo 8.4.** Elektriksel güvenlik için Temin Edilen Boşluk Boyutları

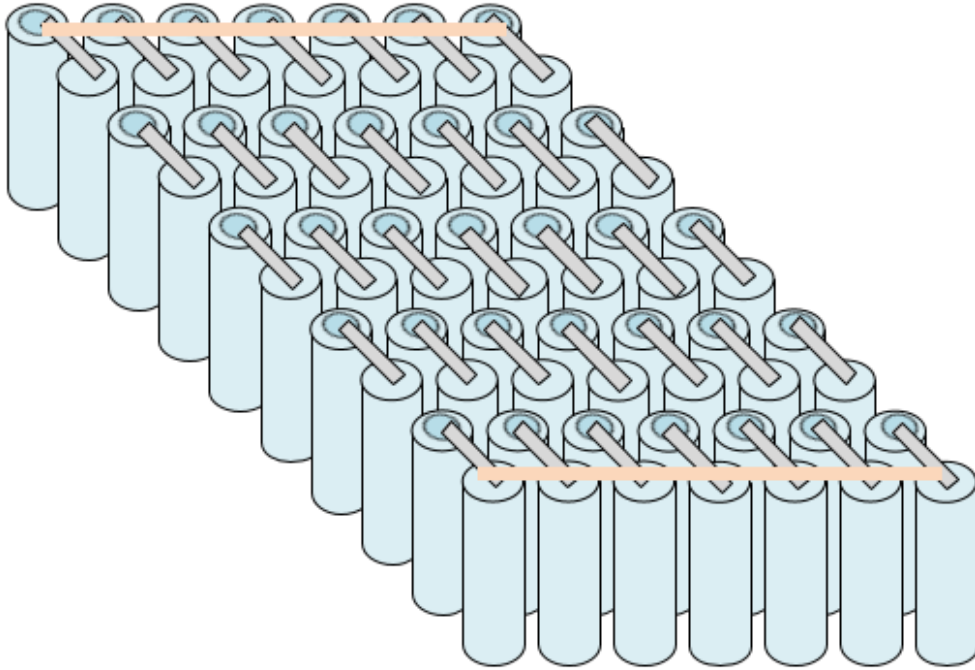
| Bağlantı Şekli | Bağlantı Türü     | Bırakılan Boşluk (mm) |
|----------------|-------------------|-----------------------|
| Seri           | Hücre             | 1                     |
| Seri           | Modül             | 2                     |
| Paralel        | Hücre             | 5                     |
| Paralel        | Modül             | 6                     |
| Paralel        | Eş Batarya Paketi | 40                    |

Durum 1'de gösterilmiş olan 4 paralel modül dizisi ve 11 paralel seri dizisi batarya paketinin bir kısmı için gösterilmiştir. İki batarya paketi için toplamda 8 paralel modül dizisi ve 11 seri diziye ihtiyaç vardır. Durum 1 için bir modül içeriği 10 seri pil ve 7 paralel pilden oluşmaktadır. Bir modül içeriğini ve modül içeriğinin 3D çizimi aşağıdaki Şekil 8.5'de ve Şekil 8.6'da gösterilmiştir.





**Şekil 8.5.** Durum 1- 7s10p Bir Modül 2B çizimi

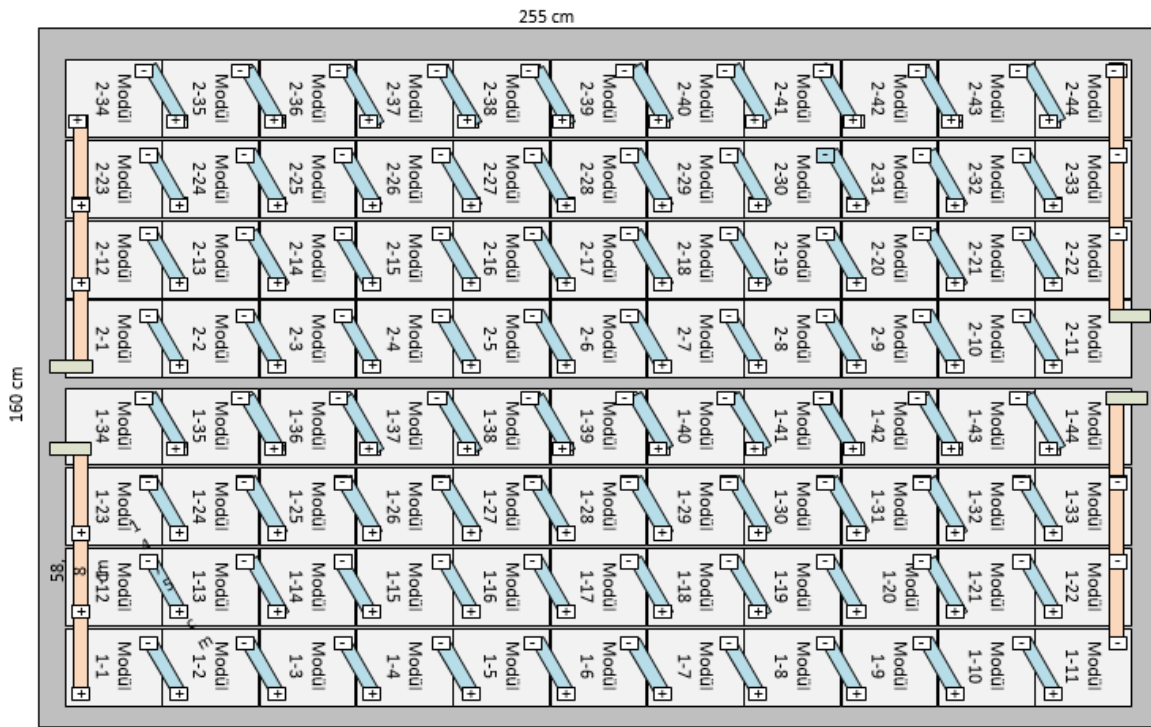


**Şekil 8.6.** Durum 1 – 7s -10p Bir Modül 3B çizimi

Şekil 8.6’da görülen ve paralel bağlantı sağlayan turuncu bakır baraların uzunluğu 14,5 cm’dir. 2 adet paralel bağlantı barasına ihtiyaç duyulmaktadır. Pillerin seri bağlanmasını sağlayan gri renk ile gösterilmiş bakır baraların uzunlukları 2,5cm olarak belirlenmiştir.

Hücreleri birbirine bağlayan 63 adet bara bulunmaktadır.

Batarya ölçüleri 255 cm x 160 cm'dir. Her bir konfigürasyon için batarya paketleri bu ölçülerdeki bataryaya yerleştirilmiş ve bağlantıları yapılmıştır. Durum 1 için toplamda 88 adet modüle ihtiyaç duyulmuştur. Mavi çapraz baralar seri bağlantıları temsil etmektedir ve 14,5 cm olarak hesaplanmıştır. Turuncu baralar paralel bağlantıyı temsil etmektedir ve 59 cm'lik bara ihtiyacı duyulmuştur. Yeşil baralar iki batarya paketi arasındaki kontaktör bağlantısı için bırakılmıştır ve durumun tercih edilmesi halinde hesaplamaları yapılacaktır. Tercih edilmiş olan ölçülerdeki bataryaya Durum 1 için gerekli olan batarya paketleri ve bağlantılarının yerleştirilmiş hali aşağıdaki Şekil 8.7'de gösterilmiştir.

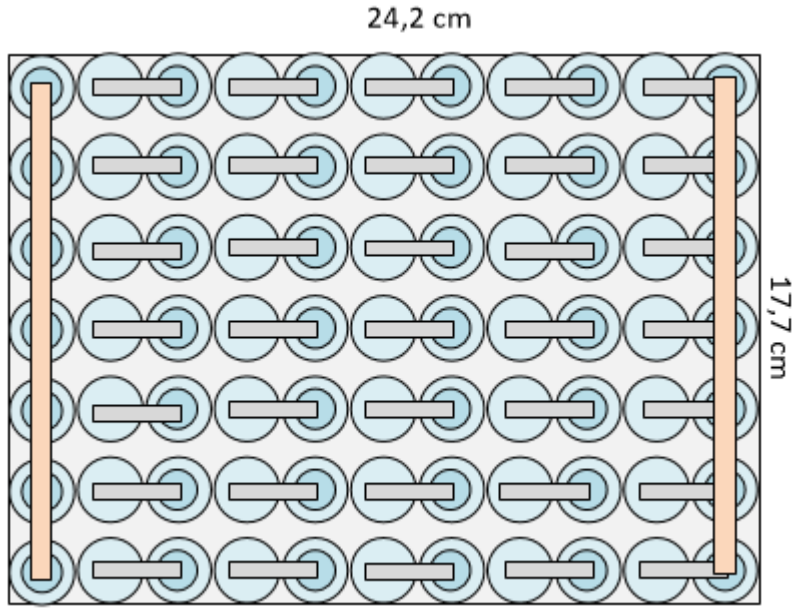


**Şekil 8.7.** Durum 1 için tasarlanan batarya

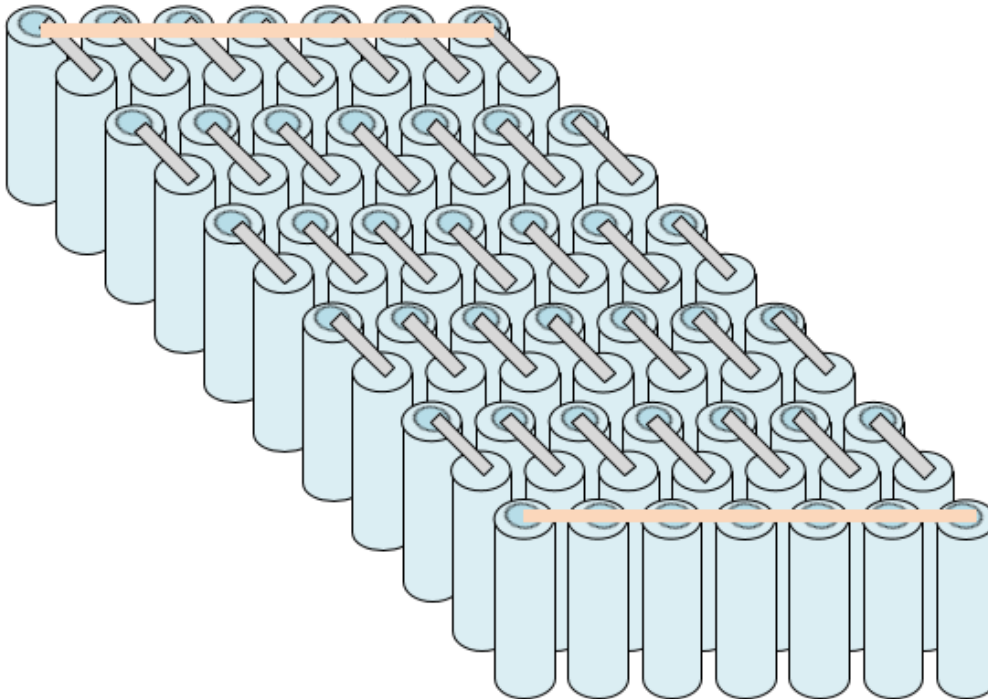
Durum 1 için yüksek modül sayısı batarya yönetim sisteminde MCU (Modul Control Unit) biriminin daha fazla olmasına sebebiyet vermektedir. Geometrik olarak bağlantılarının çapraz olmasının avantajları olsa da modül sayısı çok yüksektir.

Durum 2'de 10 seri modül dizisi ve 4 paralel dizi batarya paketinin bir kısmı için gösterilmiştir. İki batarya paketi için toplamda 8 paralel modül dizisi ve 14 seri diziye ihtiyaç vardır. Durum 2 için bir modül içeriği 11 seri pil ve 7 paralel pilden

oluşmaktadır. Bir modül içeriği ve modül içeriğinin 3D çizimi aşağıdaki Şekil 8.8'de ve Şekil 8.9'da gösterilmiştir.



**Şekil 8.8.** Durum 2- 11s 7p Bir modül içeriği 2B çizimi

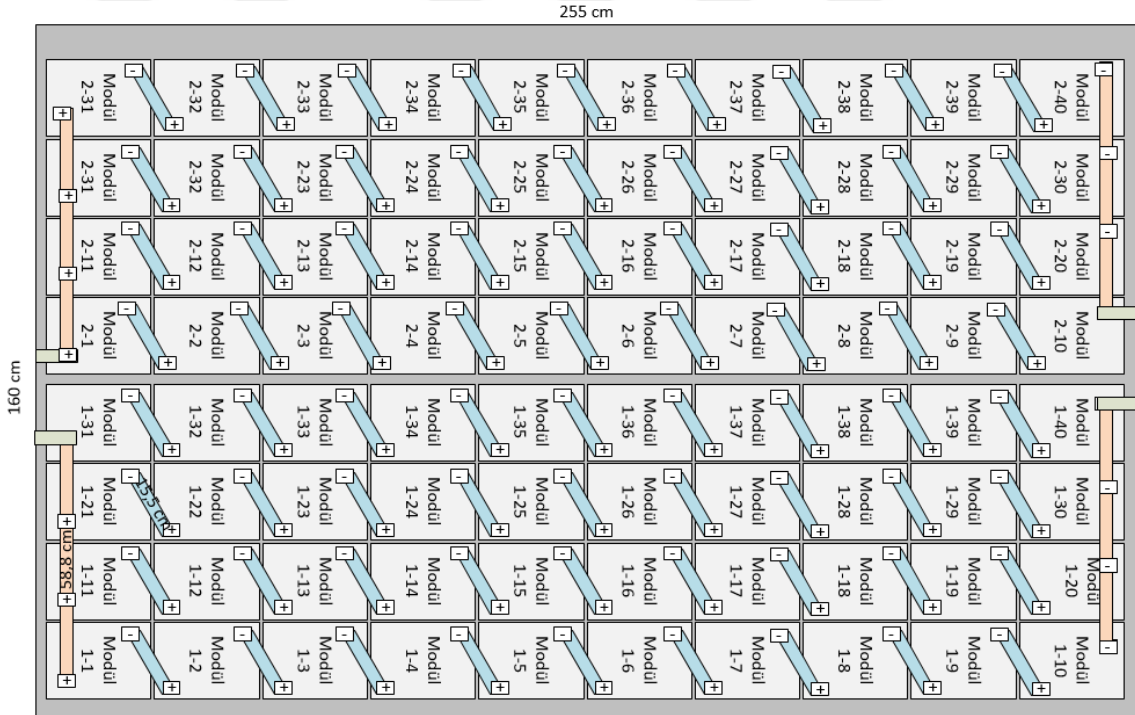


**Şekil 8.9.** Durum 2 – 11s7p bir modül içeriği 3B çizimi

Yukarıdaki şekillerde de görülen ve paralel bağlantı sağlayan turuncu bakır baraların

uzunluğu 15,6 cm'dir. 2 adet paralel bağlantı barasına ihtiyaç duyulmaktadır. Pillerin seri bağlanmasını sağlayan gri renk ile gösterilmiş bakır baraların uzunlukları 2,5 cm olarak belirlenmiştir. Hücreleri birbirine bağlayan 70 adet bara bulunmaktadır.

Durum 2 için toplamda 80 adet modüle ihtiyaç duyulmuştur. Mavi çapraz baralar seri bağlantıları temsil etmektedir ve 15,5 cm olarak hesaplanmıştır. 72 adet seri bağlantı barasına ihtiyaç duyulmuştur. Turuncu baralar paralel bağlantıyı temsil etmektedir ve 59 cm'lik bara ihtiyacı duyulmuştur. Yeşil baralar iki batarya paketi arasındaki kontaktör bağlantısı için bırakılmıştır ve durumun tercih edilmesi halinde hesaplamaları yapılacaktır. Tercih edilmiş olan ölçülerdeki bataryaya Durum 2 için gerekli olan batarya paketleri ve bağlantılarının yerleştirilmiş hali aşağıdaki Şekil 8.10'da



gösterilmiştir.

#### Şekil 8.10. Durum 2 için tasarlanan batarya

Durum 1 ile geometrik görünüm olarak neredeyse aynı olan 2. Durumda daha fazla modül bulunmaktadır. Yukarıdaki Şekilde görüldüğü üzere seri baralar çapraz şekilde bağlanmıştır. Çapraz şekilde bağlanması daha düşük EMC paraziti demektir ancak modül sayısının Durum 5'e göre çok fazla olmasından kaynaklı olarak Durum 2 seçilmemiştir.

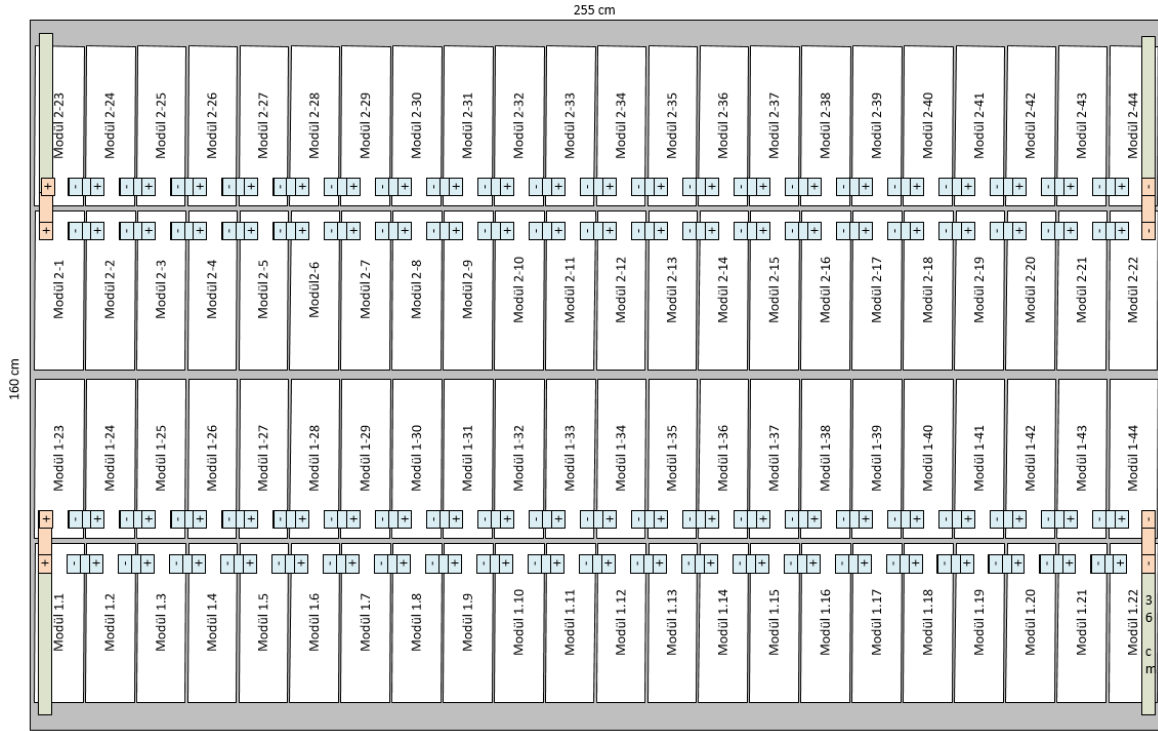
Diagram illustrating the layout of a rectangular plate with dimensions 35,9 cm (width) and 11 cm (height). The plate contains a grid of 15 columns and 3 rows of circular holes. Each hole has a vertical rectangular slot. Two horizontal orange bars are positioned across the top and bottom rows of holes.

A diagram showing a 3D array of blue cylinders arranged in a grid. Two horizontal orange lines are drawn across the top of the cylinders, indicating a specific layer or slice of the array.

Yukarıdaki şekillerde de görülen ve paralel bağlantı sağlayan turuncu bakır baraların uzunluğu 34 cm'dir. 2 adet paralel bağlantı barasına ihtiyaç duyulmaktadır. Pillerin seri bağlanmasını sağlayan gri renk ile gösterilmiş bakır baraların uzunlukları 2,5 cm olarak belirlenmiştir. Hücreleri birbirine bağlayan 56 adet bara bulunmaktadır.

60

batarya paketi arasındaki kontaktör bağlantısı için bırakılmıştır ve durumun tercih edilmediği için hesaplanmamıştır. Tercih edilmiş olan ölçülerdeki bataryaya Durum 3 için gerekli olan batarya paketleri ve bağlantılarının yerleştirilmiş hali aşağıdaki Şekil 8.13'te gösterilmiştir.

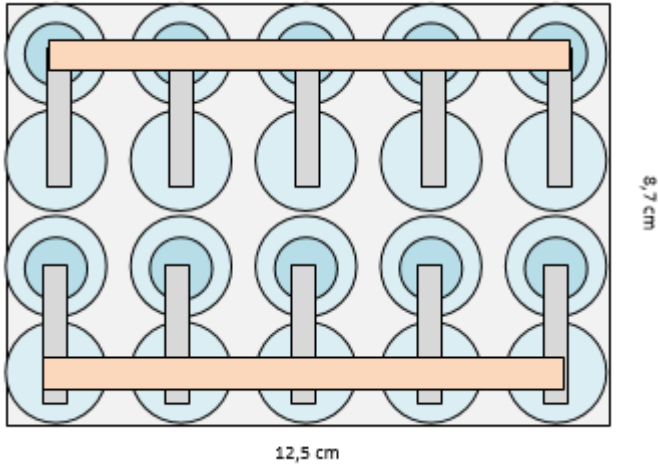


**Şekil 8.13.** Durum 3 için tasarlanan batarya

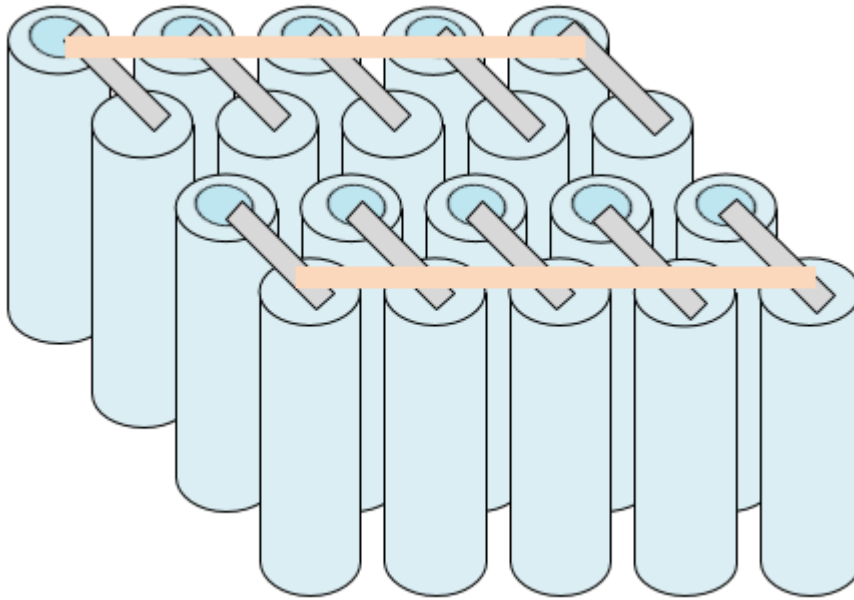
Şekil 8.13'ten görüldüğü üzere bağlantıları diğer 1-2 ve 4. Durumların bağlantılarına göre daha kısa baralar ve düzgün bağlantı şekilleri içermektedir. Ancak modül sayısının fazla olması baraların sayısının artması, pillerin kaplanması için gerekli olan levhaların artması ve dolayısıyla ağırlığın artması anlamına gelmektedir. Durum 5'e göre daha dezavantajlı olduğundan dolayı tercih edilmemiştir.

Durum 4'te 22 seri modül dizisi ve 7 paralel dizi batarya paketinin bir kısmı için gösterilmiştir. İki batarya paketi için toplamda 14 paralel modül dizisi ve 22 seri diziye ihtiyaç vardır. Durum 4 için bir modül içeriği 5 seri pil ve 4 paralel pilden oluşmaktadır. Bir modül içeriği ve modül içeriğinin 3D çizimi aşağıdaki Şekil 8.14'de ve Şekil 8.15'te gösterilmiştir.





**Şekil 8.14.** Durum 4 – 4s5p bir modül içeriği 2B çizimi



**Şekil 8.15.** Durum 4- 4s5p bir modül içeriği 3B çizimi

Yukarıdaki şekillerde de görülen ve paralel bağlantı sağlayan turuncu bakır baraların uzunluğu 10,4 cm'dir. 2 adet paralel bağlantı barasına ihtiyaç duyulmaktadır. Pillerin seri bağlanmasını sağlayan gri renk ile gösterilmiş bakır baraların uzunlukları 2,5 cm olarak belirlenmiştir. Hücreleri birbirine bağlayan 15 adet bara bulunmaktadır.

Durum 4'te toplam 308 adet modüle ihtiyaç duyulmuştur. Mavi çapraz baralar seri bağlantıları temsil etmektedir 280 adet 8 cm bara kullanılmıştır. Seçilen batarya ölçülerine uyulması için 22 adet seri pil 11-11 olmak üzere katlanarak yerleştirilmiştir. Katlama kısımlarında 14 adet 4,5 cm bara kullanılmıştır. Turuncu ve pembe baralar

paralel bağlantıyı temsil etmektedir ve 109,5 cm olarak toplam 4 adet kullanılmıştır. Paralel baralara bağlantı sağlamak için hücrelerin eksi (-) bağlantıları için (pembe baralar) 5 cm olmak üzere 14 adet hücrelerin art (+) bağlantıları için (turuncu baralar) 5,2 cm olmak üzere 14 adet kullanılmıştır. Tercih edilmiş olan ölçülerdeki bataryaya Durum 4 için gerekli olan batarya paketleri ve bağlantılarının yerleştirilmiş hali aşağıdaki Şekil 8.16'da gösterilmiştir.



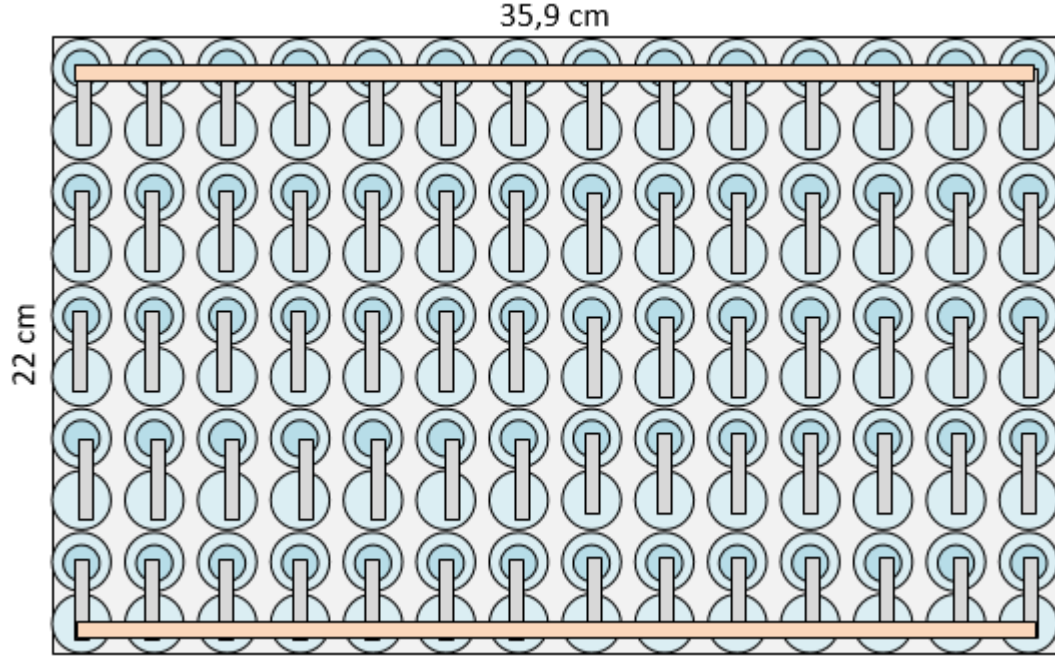
**Şekil 8.16.** Durum 4 için tasarlanan batarya

Yukarıdaki Şekil 8.16'dan görüldüğü üzere çok çeşitli bara tipi kullanılmış ve bağlantıları oldukça karmaşıktır. Modül sayısının diğer durumlara kıyasla çok fazla olmasından ve bağlantı şekillerinin karmaşıklığından seri üretime uygun değildir. Güç kayıpları diğer durumlara göre çok yüksek olacaktır bu sebeple durum 4 uygun görülmemiştir.

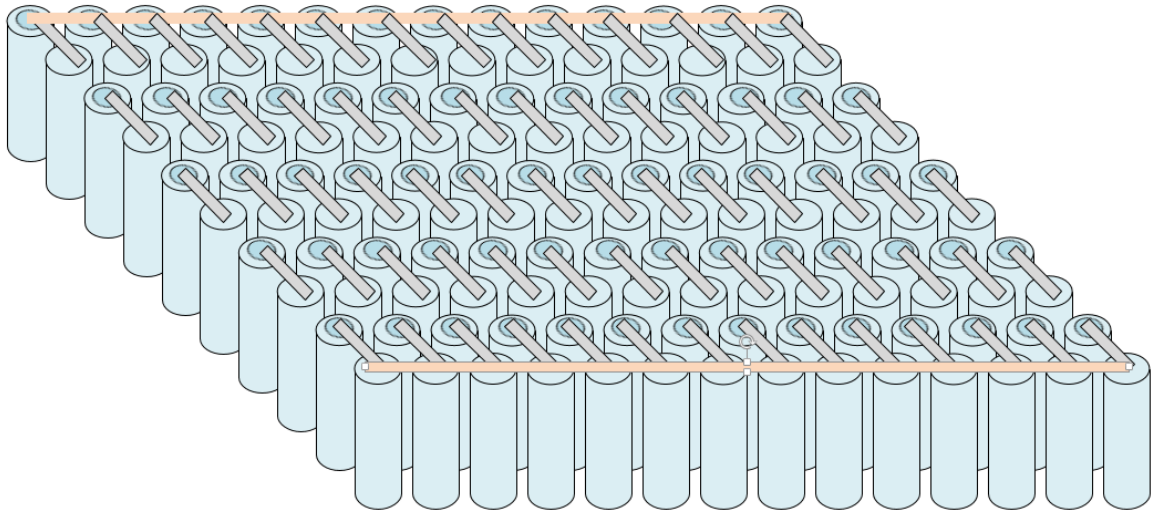
Durum 5' de 11 seri modül dizisi ve 14 paralel dizi batarya paketinin bir kısmı için gösterilmiştir. İki batarya paketi için toplamda 4 paralel modül dizisi ve 11 seri diziye ihtiyaç vardır. Durum 5 için bir modül içeriği 10 seri pil ve 14 paralel pilden oluşmaktadır. Bir modül içeriği ve modül içeriğinin 3D çizimi aşağıdaki Şekil 8.17'de ve Şekil 8.18'de gösterilmiştir. Turuncu baralar 2 adet 34 cm gri baralar 126 adet 2,5 cm



olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 8.17.** Durum 5- 10s 14p bir modül içeriğinin 2B çizimi

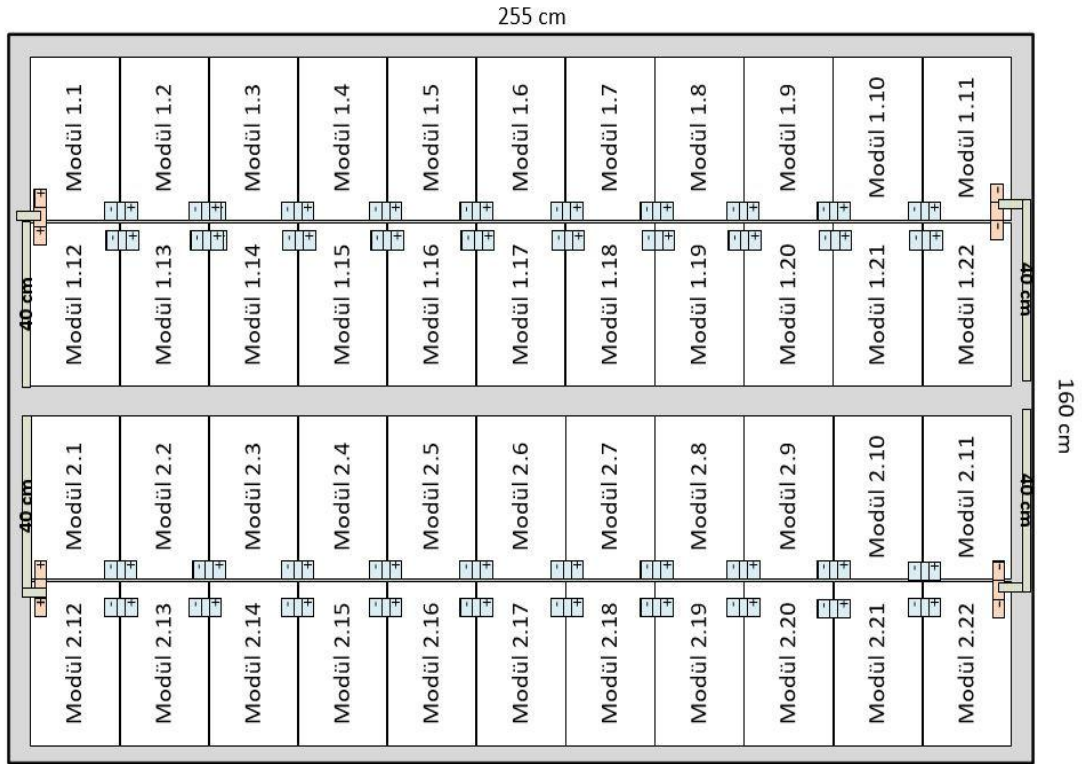


**Şekil 8.18.** Durum 5- 10s 14 bir modül içeriğinin 3B çizimi

Durum 5'te toplam 44 adet modüle ihtiyaç duyulmuştur. Mavi baralar seri bağlantıları temsil etmektedir ve 4 cm olarak hesaplanmıştır. Turuncu baralar paralel bağlantıyı temsil etmektedir ve 6 cm'lik bara ihtiyacı duyulmuştur. Yeşil baralar iki batarya paketi arasındaki kontaktör bağlantısı için bırakılmıştır ölçüleri kontaktör bağlantısı başlığının altında detaylıca verilmiştir. Tercih edilmiş olan ölçülerdeki bataryaya Durum 5 için gerekli olan batarya paketleri ve bağlantılarının yerleştirilmiş hali aşağıdaki Şekil

8.19’de gösterilmiştir.

Durum 5 in seçilmesindeki en önemli etken modül sayısının diğer 4 duruma göre çok daha düşük olmasıdır. Az modül sayısı batarya yönetim sisteminde modül kontrol biriminin daha az olmasını bara bağlantısının az olduğu için ağırlığının artmamasına sebebiyet vermektedir. Seçilen batarya ölçülerine göre yerleştirildiğinde baraların ölçüleri çok fazla çeşitlilik göstermediğinden dolayı üretim ve montaj aşamasında kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 8.19. Durum 5 için tasarlanan batarya paketi

## 8.2 Batarya Kontrol Yapısı

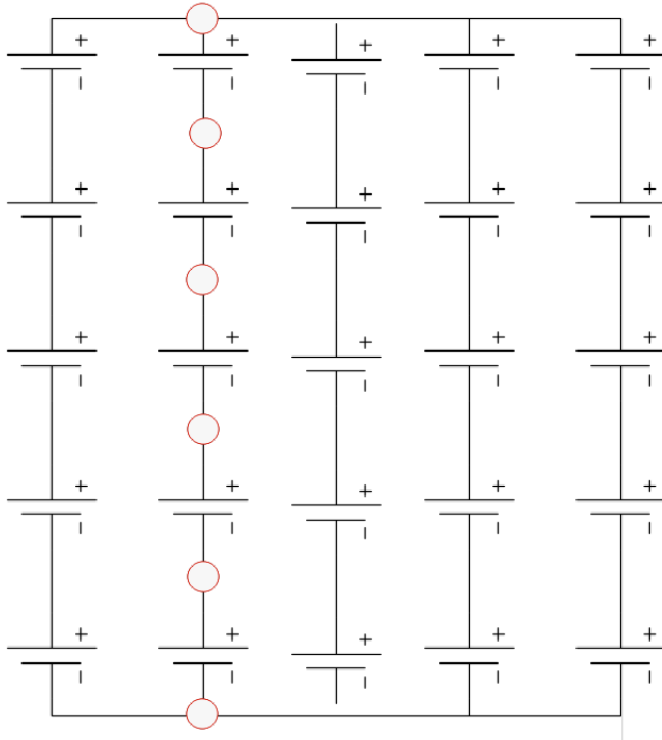
Batarya yönetim sistemleri başlığında anlatılmış olan sistemlerden Dağıtılmış Batarya Yönetim sistemi tercih edilmiştir. Tek bir modülü veya birden çok modülü kontrol etmek için esnek yapıya sahiptir. 12 V-1000 VDC Modül başına 1 MCU tercih edilmiştir.

Durumların MCU miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir. MCU sistemlerin sıcaklık sensörleri en sıcak nokta ve en soğuk nokta olmak üzere iki noktaya bağlanmıştır. Tablo

8.5’te verilmiştir. Şekil 8.20’de Örnek gerilim ölçüm nokta hesabı görselleştirilmiştir.

**Tablo 8.5.** Durumların MCU miktarları

| Durum Numaraları | Yaklaşım (Modül Başına) | Her Modül İçin Gerilim Ölçüm Puanı | Sıcaklık Ölçümü İçin MCU Noktaları | 6160 hücre için toplam MCU Sayısı |
|------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| DURUM 1          | 1 MCU                   | 11                                 | 2                                  | 88                                |
| DURUM2           | 1 MCU                   | 12                                 | 2                                  | 80                                |
| DURUM 3          | 1 MCU                   | 6                                  | 2                                  | 88                                |
| DURUM 4          | 1 MCU                   | 6                                  | 2                                  | 308                               |
| DURUM 5          | 1 MCU                   | 12                                 | 2                                  | 44                                |



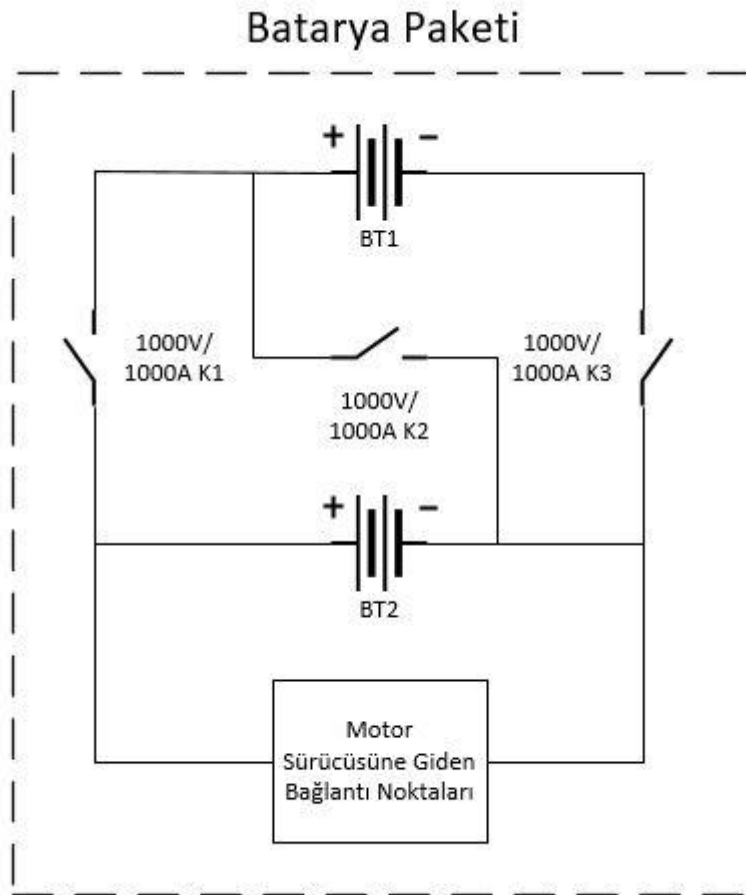
**Şekil 8.20.** Durum 3 için Örnek Gerilim Ölçüm Noktasının Gösterimi

Gerilim ölçüm noktalarının sayısı Denklem 8.3 ile hesaplanmıştır.

$$n_{measurement} = n_{series} + 1 \quad (8.3)$$

### 8.3 Tercih Edilen Durumun Bağlantı Şeması

Belirtildiği üzere yukarıdaki hesaplamaları yapılan tüm durumlar arasından Durum 5 seçilmiştir. Tasarlanan sistemde paralel ve seri bağlantıları sağlayabilmek için 3 adet kontaktöre ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemin elektriksel tasarım şeması aşağıdaki Şekil 8.21’de gösterilmiştir.

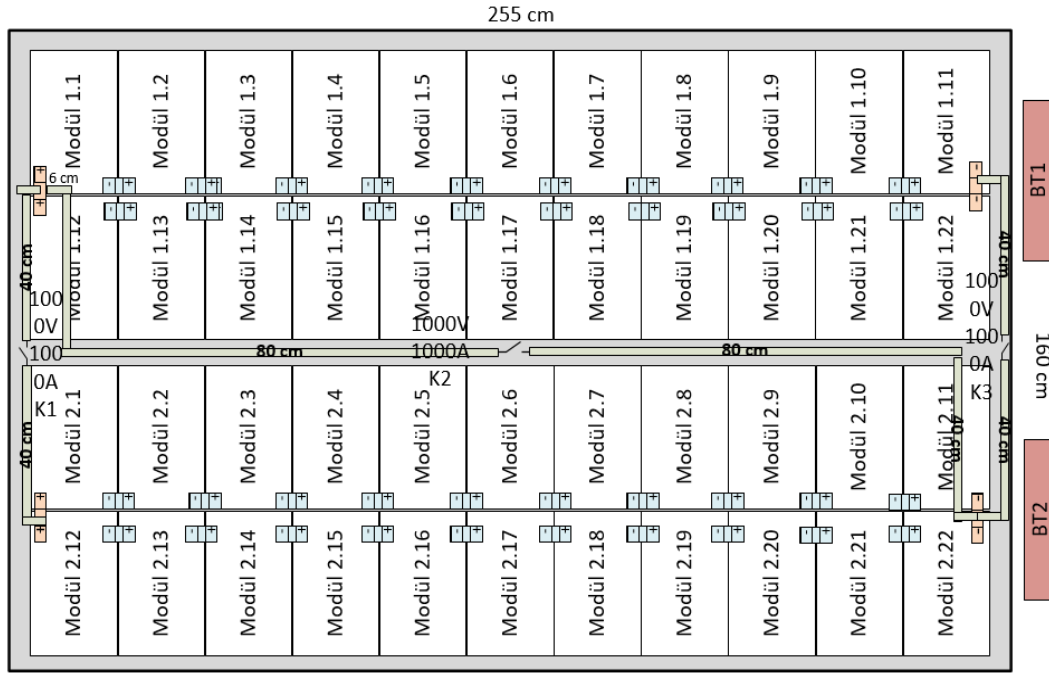


**Şekil 8.21.** Paralel-Seri Bağlantı için Elektrik Tasarımı

Şekil 8.21’de gösterilmiş olan K1, K2 ve K3 kontaktörleri olmak üzere 3 adet kontaktör vardır. K1 ve K3 kontaktörlerinin kapalı durumda, K2 kontaktörünün açık olması halinde tasarlanan devre her biri max. 403,7 V olan BT1 ve BT2 batarya paketlerini

paralel bağlayarak elektrikli aracın bataryasını max. 403,7 V bandına getirmektedir. K2 kontaktörünün kapalı, K1 ve K3 kontaktörlerinin açık olması durumunda tasarlanan devre BT1 ve BT2 batarya paketlerini seri konuma getirerek max. 814 V değeri elde edilmiştir.

Şekil. 8.22’de tasarlanan devrenin 2B çizimi gösterilmiştir.



Şekil 8.22. Durum 5 Elektriksel bağlantıların tamamlanmış hali

## 9. ELEKTRİKSEL GEREKSİNİMLER

Batarya tasarımı yaparken dikkat edilmesi gereken unsurlardan birisi ise SoC (State of Charge) pencere değeridir. Pillerin çok daha fazla döngüye dayanabilmesini, pil ömrünün uzamasını ve mevcut gücün daha tutarlı olabilmesi için SoC penceresinin ayarlanması gerekmektedir. Yapılan batarya tasarımı için SoC penceresi %95-%5 olarak ön görülmüştür. Bu sebeple hesaplanan batarya kapasitesinin %90’nı kullanılabilen kapasite olarak tanımlanmaktadır. Tablo 9.1’de Tasarlanan elektrikli araca ait bilgiler yer almaktadır.

**Tablo 9.1.** Tasarlanan Elektrikli araca ait bilgiler

|                              | Batarya Paketi | Açıklama                           |
|------------------------------|----------------|------------------------------------|
| <b>Maksimum Gerilim</b>      | 924 V          | Bütünleşik Paket (Sürüş Esnasında) |
| <b>Maksimum Gerilim</b>      | 462 V          | Tek Paket (Şarj Durumunda)         |
| <b>Nominal Gerilim</b>       | 814 V          | Bütünleşik Paket (Sürüş Esnasında) |
| <b>Nominal Gerilim</b>       | 407 V          | Tek Paket (Şarj Durumunda)         |
| <b>Minimum Gerilim</b>       | 550            | Bütünleşik Paket (Sürüş Esnasında) |
| <b>Minimum Gerilim</b>       | 275            | Tek Paket (Şarj Durumunda)         |
| <b>Dayanım Gerilimi</b>      | 2500 V         | IEC 60664'e Göre                   |
| <b>Enerji Kapasitesi</b>     | 109,4 kWh      |                                    |
| <b>SoC Penceresi Değeri</b>  | %5-95 SoC      |                                    |
| <b>Kullanılabilir Enerji</b> | 98,46 kWh      | SoC Penceresine Göre               |

### 9.1 Elektriksel Güç Kaybı Hesabı

Batarya tasarımı yaparken oluşabilecek güç kayıplarının en aza indirilmesi elektrikli aracın verimi, menzili, şarj süresi gibi birçok parametresini olumlu yönde etkileyecektir [57]. Bu çalışmada tercih edilen elektrikli aracın gücü 600 kW/816 hp değerindedir. Şarj ve deşarj olmak üzere iki durum içinde hesaplamalar yapılmıştır. Deşarj durumu için nominal gerilim değeri 814 V, nominal akım değeri 738 A olarak hesaplanmıştır. Şarj durumu için güç 200 kW, Nominal gerilim değeri 407 V, nominal akım değeri 491,4 ~ 492 A olarak alınmıştır.

Bakırın direnç hesabı (2) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır [58].

$$R_{copper} = \rho * \frac{L}{A} \quad (9.1)$$

$\rho$ : Bakırın Öz direnci 0.017 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ), A: Kesit, L: uzunluk

Her konfigürasyon için ayrı ayrı bakır dirençleri hesaplanmış ve aşağıdaki tabloda şarj vedeşarj durumları için gösterilmiştir.

Durum 1 konfigürasyonundadeşarj durumu için 4p / 11s modül içeren iki eşit yapıdan oluşmuştur. BT1 ve BT2 birbirine seri olarak bağlıdır. Şarj durumunda toplam 8p / 11s yapıya sahiptir. BT1 ve BT2 birbirine paralel olarak bağlanmıştır. Tablo 9.2 ve Tablo 9.3’de iletken dirençleri gösterilmiştir.

**Tablo 9.2.** Durum 1 için Deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Paralel Modül           | 738             | 246                                      | 50x5                | 59                    | 40,120               |
| Seri Modül              | 184,5           | 61,5                                     | 16x4                | 14,5                  | 38,52                |
| Paralel hücre           | 184,5           | 61,5                                     | 16x4                | 14,5                  | 38,52                |
| Seri Hücre              | 26,35           | 8,79                                     | 3x3                 | 2,5                   | 47,22                |

**Tablo 9.3.** Durum 1 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Paralel Modül           | 492             | 164                                      | 41x4                | 59                    | 61,159               |
| Seri Modül              | 61,5            | 20,5                                     | 7x3                 | 14,5                  | 117,38               |
| Paralel hücre           | 61,5            | 20,5                                     | 7x3                 | 14,5                  | 117,38               |
| Seri Hücre              | 8,78            | 2,92                                     | 2x2                 | 2,5                   | 106,250              |

Durum 2 konfigürasyonundadeşarj durumu için 4p / 10s modül içeren iki eşit yapıdan oluşmuştur. BT1 ve BT2 birbirine seri olarak bağlıdır. Şarj durumunda toplam 8p / 10s yapıya sahiptir. BT1 ve BT2 birbirine paralel olarak bağlanmıştır. Tablo 9.4 ve Tablo 9.5’de iletken dirençleri gösterilmiştir.

**Tablo 9.4.** Durum 2 için Deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Paralel Modül           | 738             | 246                                      | 50x5                | 59                    | 40,12                |
| Seri Modül              | 184,5           | 61,5                                     | 16x4                | 15,5                  | 41,17                |
| Paralel hücre           | 184,5           | 61,5                                     | 16x4                | 15,5                  | 41,17                |
| Seri Hücre              | 26,35           | 8,79                                     | 3x3                 | 2,5                   | 47,22                |

**Tablo 9.5.** Durum 2 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Paralel Modül           | 492             | 164                                      | 41x4                | 59                    | 61,16                |
| Seri Modül              | 61,5            | 20,5                                     | 7x3                 | 15,5                  | 125,47               |
| Paralel hücre           | 61,5            | 20,5                                     | 7x3                 | 15,5                  | 125,47               |
| Seri Hücre              | 8,78            | 2,92                                     | 2x2                 | 2,5                   | 106,25               |

Durum 3 konfigürasyonunda deşarj durumu için 2p / 22s modül içeren iki eşit yapıdan oluşmuştur. BT1 ve BT2 birbirine seri olarak bağlıdır. Şarj durumunda toplam 4p / 22s yapıya sahiptir. BT1 ve BT2 birbirine paralel olarak bağlanmıştır. Tablo 9.6 ve Tablo 9.7’de iletken dirençleri gösterilmiştir.

**Tablo 9.6.** Durum 3 için Deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|



|               |       |      |      |     |        |
|---------------|-------|------|------|-----|--------|
| Paralel Modül | 738   | 246  | 50x5 | 14  | 9,520  |
| Seri Modül    | 369   | 123  | 18x7 | 8,1 | 10,929 |
| Paralel hücre | 369   | 123  | 18x7 | 34  | 45,87  |
| Seri Hücre    | 26,35 | 8,79 | 3x3  | 2,5 | 47,22  |

**Tablo 9.7.** Durum 3 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Paralel Modül           | 492             | 164                                      | 41x4                | 14                    | 14,51                |
| Seri Modül              | 123             | 41                                       | 14x3                | 8,1                   | 32,78                |
| Paralel hücre           | 123             | 41                                       | 14x3                | 34                    | 137,61               |
| Seri Hücre              | 8,78            | 2,92                                     | 2x2                 | 2,5                   | 106,250              |

Durum 4 konfigürasyonunda deşarj durumu için 7p / 22s modül içeren iki eşit yapıdan oluşmuştur. BT1 ve BT2 birbirine seri olarak bağlıdır. Şarj durumunda toplam 14p / 22s yapıya sahiptir. BT1 ve BT2 birbirine paralel olarak bağlanmıştır. Durum 4'te her farklı boyuttaki iletken için dirençler ayrıca hesaplanmıştır. Tablo 9.8 ve Tablo 9.9'da iletken dirençleri gösterilmiştir.

**Tablo 9.8** Durum 4 için deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Paralel Modül           | 738             | 246                                      | 50x5                | 109,5                 | 74,46                |
| Paralel Bağlantı (-)    | 105,3           | 35,15                                    | 9x4                 | 5                     | 23,61                |
| Paralel Bağlantı (+)    | 105,3           | 35,15                                    | 9x4                 | 5,2                   | 24,55                |
| Seri Modül              | 105,3           | 35,15                                    | 9x4                 | 8                     | 32,78                |

|                |       |       |     |      |        |
|----------------|-------|-------|-----|------|--------|
| Çapraz         |       |       |     |      |        |
| Seri Modül Düz | 105,3 | 35,15 | 9x4 | 4,5  | 21,250 |
| Paralel hücre  | 105,3 | 35,15 | 9x4 | 10,4 | 49,12  |
| Seri Hücre     | 21,06 | 7,02  | 2x4 | 2,5  | 53,13  |

**Tablo 9.9** Durum 4 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Paralel Modül           | 492             | 164                                      | 41x4                | 109,5                 | 113,51               |
| Paralel Bağlantı (-)    | 35,14           |                                          | 4x3                 | 5                     | 70,83                |
| Paralel Bağlantı (+)    | 35,14           | 35,15                                    | 4x3                 | 5,2                   | 73,66                |
| Seri Modül Çapraz       | 35,14           | 35,15                                    | 4x3                 | 8                     | 113,33               |
| Seri Modül Düz          | 35,14           | 35,15                                    | 4x3                 | 4,5                   | 63,75                |
| Paralel hücre           | 35,14           | 35,15                                    | 4x3                 | 10,4                  | 106,25               |
| Seri Hücre              | 8,78            | 2,92                                     | 2x2                 | 2,5                   | 147,33               |

Durum 5 konfigürasyonunda Deşarj durumu için 2p / 11s modül içeren iki eşit yapıdan oluşmuştur. BT1 ve BT2 birbirine seri olarak bağlıdır. Şarj durumunda toplam 4p / 11s yapıya sahiptir. BT1 ve BT2 birbirine paralel olarak bağlanmıştır. Tablo 9.10 ve Tablo 9.11’de iletken dirençleri gösterilmiştir.

**Tablo 9.10.** Durum 5 için Deşarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|

|               |      |      |      |     |       |
|---------------|------|------|------|-----|-------|
| Paralel modül | 738  | 246  | 50x5 | 6   | 4,080 |
| Seri Modül    | 369  | 123  | 18x7 | 4   | 5,397 |
| Paralel hücre | 369  | 123  | 18x7 | 34  | 45,87 |
| Seri Hücre    | 8,79 | 8,79 | 3x3  | 2,5 | 47,22 |

**Tablo 9.11.** Durum 5 için Şarj durumunda Bakır direnci ve iletken kesit hesaplama

| İletken Bağlantı Tanımı | Akım Değeri (A) | İhtiyaç duyulan Kesit (mm <sup>2</sup> ) | İletken kesiti (mm) | İletken uzunluğu (cm) | İletken direnci (μΩ) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Paralel Modül           | 492             | 164                                      | 41x4                | 6                     | 6,220                |
| Seri Modül              | 123             | 41                                       | 14x3                | 4                     | 16,190               |
| Paralel hücre           | 123             | 41                                       | 14x3                | 34                    | 137,619              |
| Seri Hücre              | 8,78            | 2,92                                     | 2x2                 | 2,5                   | 70,833               |

Literatürde lityum iyon pillerin iletkenlerle bağlantısının sağlanması için resistance spot welding, ultrasonic welding ve laser beam welding olmak üzere üç farklı yöntem bulunmaktadır.  $R_{\text{Welding}}$  değeri 0,150 mΩ olarak seçilmiştir [59]. Seçilen 2170 kılıflı Li-ion hücrenin  $R_{\text{internal}}$  değeri 13,2 mΩ olarak alınmıştır [60]. Güç kayıplarını hesaplamak için aşağıdaki (9.2), (9.3) ve (9.4) numaralı denklemler kullanılmış, Tablo 9.12 ve Tablo 9.13'te gösterilmiştir. Yukarıdaki bara kesit hesaplamalarından görüldüğü üzere iletkenlerden deşarj durumunda şarj durumuna göre daha yüksek akım geçmektedir. Bu sebeple Tablo 9.13 oluşturulurken iletkenler deşarj durumundaki değerlere göre seçilmiş ve hesaplamalar buna uygun yapılmıştır.

$$R_{\text{Module}} = (2 \cdot R_{\text{Welding}} + R_{\text{internal}}) \cdot \frac{n_{\text{seriescell}}}{n_{\text{parallelcell}}} + R_{\text{Modulecont}}(n_{\text{seriescell}} - 1) + 2 \cdot R_{\text{polecont}} \quad (9.2)$$

$$R_{\text{pack}} = (2 \cdot R_{\text{Welding}} + R_{\text{module}}) \cdot \frac{n_{\text{seriesmodule}}}{n_{\text{parallelmodule}}} + R_{\text{packcont}}(n_{\text{seriesmodule}} - 1) + 4 \cdot R_{\text{polecont}} \quad (9.3)$$

$$P_{\text{loss}} = I^2 \cdot R_{\text{pack}} \quad (9.4)$$

**Tablo 9.12.** Konfigürasyonların Deşarj Durumunda Güç Kayıpları

|         | Modül direnci<br>(mΩ) | Sistem direnci<br>(mΩ) | Güç kaybı<br>(kW) |
|---------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| Durum 1 | 19,78                 | 111,41                 | 60,68             |
| Durum 2 | 21,76                 | 111,25                 | 60,59             |
| Durum 3 | 5,10                  | 119,29                 | 64,97             |
| Durum 4 | 17,18                 | 120,48                 | 65,61             |
| Durum 5 | 10,16                 | 115,31                 | 62,80             |

**Tablo 9.13.** Konfigürasyonların Şarj Durumunda Güç Kayıpları

|         | Modül direnci<br>(mΩ) | Sistem direnci<br>(mΩ) | Güç kaybı<br>(kW) |
|---------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| Durum 1 | 19,78                 | 28,16                  | 6,82              |
| Durum 2 | 21,76                 | 28,12                  | 6,81              |
| Durum 3 | 5,10                  | 29,96                  | 7,25              |
| Durum 4 | 17,18                 | 30,98                  | 7,50              |
| Durum 5 | 10,16                 | 28,90                  | 6,99              |

Tablolardan görüldüğü üzere seçilen konfigürasyon en az güç kaybına sahip olmasa dahi ortalama değerlere sahiptir. Tüm durumlar için değerlendirildiğinde şarj sırasındaki kayıplar deşarj esnasındaki kayıplara göre daha az çıkmıştır.

## 9.2 Boyut ve Ağırlık Bakımından Durumların Karşılaştırılması

Batarya ağırlığını etkileyen önemli bileşenlerden biri iletkenlerdir. Bu bölümde aynı modül sayısına sahip bataryanın farklı şekillerde konfigürasyonu gerçekleştirildiğinde bağlantı şekilleri değiştiği için ağırlıklarının nasıl değiştiği gösterilmiştir. İletkenlerin kesitleri, uzunlukları göz önüne alınarak hesaplama yapılmıştır. Ağırlık hesaplaması

için bakırın özgül ağırlığı  $8,94 \text{ gr/cm}^3$  olarak alınmıştır. İletkenlerin ağırlıkları hesaplanırken Deşarj durumundaki iletken kesitleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ağırlık açısından en avantajlısı durum 2 olarak görülmektedir. Ancak Durum 4 hariç diğer durumlar arasında ciddi bir fark bulunmamaktadır. Tablo 9.14’te gösterilmektedir.

**Tablo 9.14.** İletkenlerin ve modülün Ağırlıkları

|         | Modül içi iletken ağırlığı | Modüller arası iletken ağırlığı | Modül Ağırlığı | Toplam Modül Ağırlığı | İletkenlerin Toplam Ağırlığı |
|---------|----------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------|------------------------------|
| Durum 1 | 0,293 kg                   | 11,912 kg                       | 4,493 kg       | 395 kg                | 37,696 kg                    |
| Durum 2 | 0,318 kg                   | 11,654 kg                       | 4,938 kg       | 407 kg                | 37,094 kg                    |
| Durum 3 | 0,879 kg                   | 8,916 kg                        | 5,079 kg       | 446 kg                | 86,268 kg                    |
| Durum 4 | 0,100 kg                   | 17,654 kg                       | 1,3 kg         | 419 kg                | 48,450 kg                    |
| Durum 5 | 1,019 kg                   | 2,338 kg                        | 9,419 kg       | 416 kg                | 47,192 kg                    |

İletkenlerin uzunlukları sistemin EMC (electromagnetic compatibility)’sini etkilemektedir. Oluşabilecek parazitleri minimuma indirmek elektromanyetik uyumluluk açısından önem arz etmektedir [61]. Seçilmiş olan durum konfigürasyonu için en az iletken harcanmıştır. İletken uzunluğunun diğer durumlara kıyasla az olması maliyet ve uygulanabilirlik açısından da önemlidir. Seçilmiş olan Durum 5 en avantajlı konumdadır. Tablo 9.15’te konfigürasyonlar için hesaplanan iletken uzunlukları verilmiştir.

**Tablo 9.15.** İletkenlerin Uzunlukları

|         | Bataryadaki toplam iletken uzunluğu |
|---------|-------------------------------------|
| Durum 1 | 15,805 m                            |
| Durum 2 | 15,580 m                            |
| Durum 3 | 9,444 m                             |
| Durum 4 | 29,421 m                            |
| Durum 5 | 5,67 m                              |

### 9.3 Komponent Seçimi

Komponent seçimleri yapılırken uygulanabilirlik açısından otomotiv sektöründe kullanılabilen standartlara uygun seçimler yapılmalıdır. Seçilen komponentlerin maruz kalacağı akımlar ve gerilimler hesaplanan değerler üzerinden kontrol edilerek uygun komponent seçimleri yapılmıştır. Kullanılması planlanan sigorta, kontaktör, EMC filtresi, akım sensörü, HVIL (High Voltage Interlock – Yüksek Voltaj Kilidi), MSD (Manuel Sevice Disconnect – Manuel Bakım Koruma Anahtarı) seçimleri yapılmıştır.

#### 9.3.1. Kontaktör

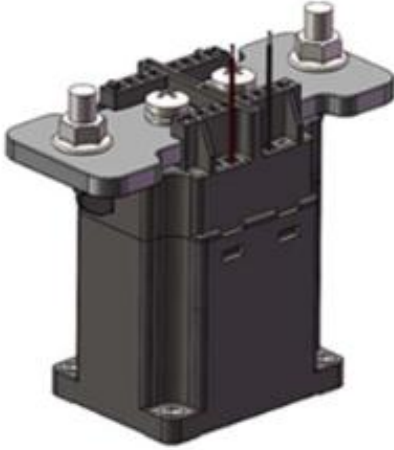
Elektrik ile kontrol edilebilen, anahtar olarak güç devresi için kullanılan komponent kontaktör olarak adlandırılmaktadır. Kontaktörler yüksek akıma sahip güç cihazlarında doğrudan bağlanılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Rölelerde aralarındaki en önemli farklardan biri kontaktörler, akım akışını keserken oluşabilecek arkın kontrolünü ve arkın bastırılabilmesi için gerekli özellikleri ile tasarlanmaktadır. Kontaktörler uyarım devresi ve kontak devresi olmak üzere iki adet devreye sahiptirler. Herhangi bir kaçak akım, kısa devre akımı, aşırı akım kontrolü sağlamadan devreyi açıp kapatabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Uyarım devresinden akım kesildiğinde veya akım geçtiğinde selenoid ile hareket ettirilen sürgülü kontak pabuçlarını kontak plakalarından çeker veya bastırır [62]. Bu şekilde, düşük voltajlı veya akımlı bir devre, yüksek voltajlı veya akımlı bir devreyi kontrol eder. Kontaktör boyutları işlevi, kullanılacak alanları gibi temel özelliklerine göre farklı çeşitlerde boyutlandırılabilir.

Tasarlamış olduğumuz bataryada seri-paralel bağlantıyı sağlayacak 3 adet kontaktöre ihtiyaç duymaktayız. Kontaktör 1 ve Kontaktör 3'ün devrede olduğu durumda belirlenen BT1 ve BT2 birbirine paralel olarak bağlı olacaktır. Bu bağlantı elektrikli araç şarj durumundayken planlanan bağlantı şeklidir. Şarj durumunda kontaktörlerden geçecek en yüksek akım 492 A olarak hesaplanmıştır. Kontaktör 2 ve Kontaktör 3'ün açık Kontaktör 2'nin kapalı olduğu durum deşarj durumudur ve BT1 ve BT2 birbirine seri olarak bağlıdır kontaktörden geçecek akım maksimum 738 A olarak hesaplanmıştır. Seçimler yapılırken en yüksek akım olan 738 A' e göre yapılmıştır. Ayrıca seçimlerde otomotiv sektörüne uygunluğu, boyutu, bağlantı şekli, uygulanabilirlik açısından montaj kolaylığı, çalışma sıcaklığı gibi parametreler dikkate alınmıştır. Tablo 9.16'da seçilen

kontaktörün özellikleri verilmiştir. Şekil 9.1’de tercih edilen kontaktör gösterilmiştir.

**Tablo 9.16.** Kontaktör seçimi

|                      | Kontaktör      |
|----------------------|----------------|
| Marka -Model         | DONGYA- DHC800 |
| Maksimum Gerilim     | 1500 VDC       |
| Sürekli Akım         | 800 A          |
| Maksimum Kesme Akımı | 3000 A         |
| Çalışma Sıcaklığı    | -40°C and 85°C |



**Şekil 9.1.** Yüksek Gerilim Kontaktörü DHC800 [63]

### 9.3.2. Akım Sensörü

Akım sensörleri teldeki elektrik akımını algılayıp algılanan akım ile doğru orantılı bir şekilde sinyal üreten sensörlerdir. Üretilen sinyal dijital, akım veya analog voltaj olabilir. Üretilmiş olan sinyal kontrol amacıyla kullanılabilir, bir veri sisteminde toplanabilir veya bir ampermetre yardımıyla görüntülenebilir [64].

Algılanan akım sinyali alternatif akım ise çıkışı;

- Dalga şeklinin kopyalayabilen bipolar bir çıkış,
- Dalga şeklini çoğaltabilen analog bir çıkış,
- Ortalama veya RMS değeri ile orantılı tek kutuplu bir çıkış olabilir.

Algılanan akım sinyali doğru akım ise çıkışı;

- Dalga şeklini kopyalayabilen tek kutuplu bir çıkış,
- Belirli bir eşik aşıldığı takdirde devreye giren dijital bir çıkış olabilir.

Başlıca akım sensörü çeşitleri; Sönt, Hall etkisi, CT (akım trafosu), Rogowski, Zero Flux.

Elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan iki çeşit sensör bulunmaktadır. Bunlar sönt direnç ve hall etkili akım sensörüdür.

Şönt dirençler, ohm yasası temeline dayanmaktadır. Bir direnç üstündeki voltaj düşüşüne bakılarak içerisinden geçen akımla orantılı olduğu tespit edilir. Bu prensipleri sebebiyle daha düşük maliyet ve daha yüksek güvenilirlikle bilinirler. Sönt direncinin seçimi yapılırken uygun voltaj değeri ve akım aralığına bakılmalıdır. Çünkü çok yüksek bir direnç değeri ölçümü doğrudan etkiler ayrıca direncin ısınması enerji kaybına sebebiyet verir.

Hall Etkili Akım sensörü, akımın miktarıyla orantılı olarak oluşan elektromanyetik alan üzerinden akımın ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Eğer elektronlar bir iletkenin bir ucundan diğer ucuna daha fazla itilirse iletkenin iki ucu arasında potansiyel fark meydana gelir. Hall, oluşan potansiyel farkın meydana gelen manyetik alan ile doğru orantılı olduğunu kanıtlamıştır. Bu sebeple ölçülen potansiyel voltaj farkı Hall voltajı olarak adlandırılır. Hall etkili akıma ait pensler, açık çekirdeklerinden iletkeni geçirerek çalışmaktadır [65]. Bu sebeple DC veya AC akımlar ölçülerken temassız bir yöntem kullanılmış olur.

Tablo 9.17’de Akım sensörü çeşitlerinin farklı özellikler üzerinden karşılaştırılması mevcuttur.



**Tablo 9.17** Akım Sensörlerinin karşılaştırılması [64]

|                  | Shunt    | Hall<br>Etkisi | CT      | Rogowski | Zero Flux |
|------------------|----------|----------------|---------|----------|-----------|
| Bağlantı<br>Tipi | Doğrudan | Dolaylı        | Dolaylı | Dolaylı  | Dolaylı   |
| Akım             | AC ve DC | AC ve DC       | AC      | AC       | AC ve DC  |
| Doğruluk         | Yüksek   | Orta           | Orta    | Düşük    | Yüksek    |
| Aralık           | Düşük    | Orta           | Yüksek  | Orta     | Yüksek    |
| Drift            | Düşük    | Orta           | Orta    | Yüksek   | Düşük     |
| İzolasyon        | Hayır    | Evet           | Evet    | Evet     | Evet      |

Akım sensörlerini faz akımlarının yanında gerektiği takdirde sabit akım ile kontrollü şarj edebilmek için DC baraların pozitif ucuna yerleştirilerek kullanılır. Ayrıca bataryayı korumak amacıyla akım sensörleri kullanılır. Akım sensörlerinden birinin zarar görmesi veya yanlış okuma gibi sistemsel güvenlik açığını önlemek için akımları ölçerken bir adet şönt ve bir adet hall etkili olmak üzere 2 adet akım sensörü kullanılmaktadır. Otomotiv sektörü için sensörün uygunluğu kontrol edilmiştir. Tablo 9.18’de tercih edilen akım sensörleri ve özellikleri verilmiştir.

Şekil 9.2’de akım sensörleri gösterilmiştir.

**Tablo 9.18.** Akım Sensörlerinin Seçimi

|       | Ana Shunt                       | Batarya<br>Shunt                | Şarj Shunt                      | Ana Hall                | Batarya<br>Hall         | Şarj Hall               |
|-------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Marka | Isabellenhüt<br>te IVT-S-<br>1k | Isabellenhüt<br>te IVT-S-<br>1k | Isabellenh<br>ütte IVT-<br>S-1k | LEM<br>HAH1BV<br>W S/09 | LEM<br>HAH1B<br>VW S/09 | LEM<br>HAH1BV<br>W S/09 |

|                     |                |                |                |                |                |                |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Max. Gerilim        | 1000 V         | 1000 V         | 1000 V         | -              | -              | -              |
| Sürekli Deşarj Akım | 1000 A         | 1000 A         | 1000 A         | 900 A          | 900 A          | 900A           |
| Sürekli Şarj Akımı  | 1000 A         | 1000 A         | 1000 A         | 900 A          | 900 A          | 900 A          |
| Çalışma Sıcaklığı   | -40°C - +125°C | -40°C - +125°C | -40°C - +125°C | -40°C - +125°C | -40°C - +125°C | -40°C - +125°C |
| Direnç              | 0.1            | 0.1            | 0.1            | -              | -              | -              |



(a)



(b)

**Şekil 9.2.** (a) Hall etkili akım sensörü (b) Shunt Akım Sensörü [66]

### 9.3.3. Sigorta

Doğru akım ve alternatif akım devrelerindeki iletkenleri aşırı akımdan koruyan güvenlik elemanıdır. Elektrik ile çalışabilen tüm cihazlarda kullanılırlar. Sigorta, genellikle yanıcı

olmayan bir yapıyla çevrelenmiş elektrik terminalleri arasına entegre edilmiştir. Devreye tüm akımı alabilmek için seri şekilde bağlanırlar. Elemanın direnci geçen akım sayesinde elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürür. Sigortalar akıma göre belirlendiği için üzerinden elemanın ihtiyaç duyduğu akım geçtiği zaman ısıya sebebiyet vermezler ancak yüksek bir akım geçmesi halinde daha yüksek bir sıcaklığa ulaşarak teli koparabilir veya içerisindeki lehimli bağlantının erimesini sağlayarak devreyi açar. Sigorta seçimi yapılırken, sistemin maksimum sahip olduğu akım değerinden daha yüksek bir akım değerine sahip sigorta seçilmelidir. Piyasada binlerce çeşit sigorta tasarımı mevcuttur. Seçimde boyutu, otomotiv sektörüne uygunluğu da dikkate alınarak çalışma sıcaklığı, depolama sıcaklığı gibi parametrelere de bakılmıştır. Seçilen sigortanın bazı temel özellikleri Tablo 9.19’da gösterilmiştir. Şekil 9.3’te sigorta görseli mevcuttur.

**Tablo 9.19.** Sigorta seçimi

|                   | Sigorta                     |
|-------------------|-----------------------------|
| Marka             | Hudson – ESE10-1000-CL(F/M) |
| Max. Gerilim      | 1000V DC                    |
| Sürekli Akım      | 1000 A                      |
| Çalışma Sıcaklığı | -40°C and +125°C            |



**Şekil 9.3.** Sigorta [67]

#### 9.3.4. EMC filtre

EMC, elektromanyetik uyumluluktur. EMC bir koruma kalkanı olarak değerlendirilebilir. Oluşan elektromanyetik alanın akıma ulaştırılırken ortaya çıkabilecek bir aksaklığı engellemek için kullanılır. EMC, sistem yazılımının veya makine ekipmanlarının kendi doğal elektromanyetik indüksiyon ortamındaki düzenlemelere uygun çalışabilmesi ayrıca doğal ortamında bulunan tüm makinelere dayanamayacakları parazit sinyali vermemesi anlamındadır. Bu sebeple EMC iki düzeyde düzenlemeye sahiptir. Birincisi, doğal ortamdaki oluşan parazit sinyalinin belirli bir sınırı geçmemesi ikincisi, ekipmanın doğal ortamda bulunmasıdır. Mevcut girişim sinyalinin elektromanyetik indüksiyon duyarlılığı mevcuttur. EMC Filtre oluşturulan sistemlerde oluşmaması gereken parazitin ve dolayısıyla parazitten kaynaklanan sorunları engellemek için kullanılan ana öğelerden biridir.

EMC Filtresi için X ve Y kapasitörlerinin görevi elektriksel gürültüyü bastırmaktır. Ayrıca kapasitörler yangınlara ve elektrik çarpmalarına karşı koruma sağlamaktadır. X kapasitörleri simetrik parazitlerin engellenmesinden sorumludur. Hat fazları arasına bağlanmalıdır. Y kapasitörleri, asimetrik parazitleri önler ve hat-toprak arasına bağlanmalıdır [68].

EMC Filtresi seçilirken araç entegrasyonu ve EMC için gerekli olan standartlar dikkate alınmalıdır. Ayrıca frekans değişimleri, anahtarlama hızları, batarya dalgalanmalarına dayanabilen bir filtre seçimi yapılmalıdır. Filtrenin kapasitif değeri ve çalışma sıcaklığı önemlidir. Kapasitif değerin hesaplanması için denklem 6 kullanılmıştır.

$$E \leq C \frac{V^2}{2} \quad \rightarrow \quad C \leq \frac{2E}{U^2} \quad (9.6)$$

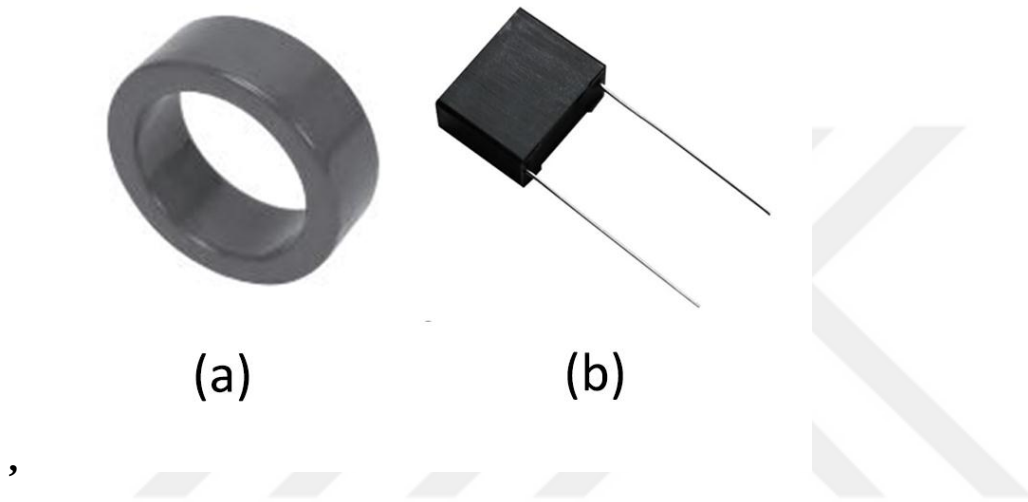
Tablo 9.20’de hesaplanan kapasitif değerler ve tercih edilen kapasitörler gösterilmiştir.

$$C = 0,60 \mu F$$

**Tablo 9.20.** EMC Filtre Seçimi

|       | EMC Core       | EMC Filtre X<br>Capacitor | EMC Filtre Y<br>Capacitor |
|-------|----------------|---------------------------|---------------------------|
| Marka | Vacuumschmelze | Panasonic                 | Panasonic                 |

|                      |                           |                  |                     |
|----------------------|---------------------------|------------------|---------------------|
|                      | T60006- L2030-<br>W358-03 | ECQUAAF824       | ECQUAAF824          |
| Çalışma<br>Sıcaklığı | -40°C and +125°C          | -40°C and +125°C | -40°C and<br>+125°C |
| Kapasitans           |                           | 0,82             | 0,82                |



Şekil 9.4. (a) Core (b) Capasitor [66]

### 9.3.5. Konnektör

Elektrik konnektörü, elektrik iletkenlerini bir devre oluşturacak şekilde bağlamak için kullanılan elektromekanik bir cihazdır. Çoğu elektrik konektörü cinsiyete göre değişir. Bu, fiş adı verilen erkek bileşenin priz adı verilen dişi bileşene bağlandığı anlamına gelir. Bağlantı çıkarılabilir (taşınabilir cihazlarda olduğu gibi), montaj ve demontaj için bir alet gerektirebilir ya da iki nokta arasında kalıcı bir elektrik bağlantısı sağlayabilir. Adaptör farklı konnektörleri birleştirmek için kullanılır. Veri, güç ve görsel-işitsel uygulamalara yönelik binlerce konektör yapılandırması vardır. Bir konnektör seçerken amacını göz önünde bulundurulmalıdır. Çoğu konektör ters polariteye karşı korunur. Bu, ters takılamayacakları anlamına gelir. Güvenilir bir bağlantı sağlamak için uygun konektör seçilmelidir. Her konektörün işleyebileceği akım değeri farklılık gösterir. Konnektör erimesi veya voltaj düşmesi gibi sorunların önüne geçebilmek için uygun konnektörlerin seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca otomotiv sınıfına uygunluğu da göz

önüne alınmalıdır.

Tablo 9.21’de seçilen konnektörün özellikleri verilmiştir. Şekil 9.5’te konnektör seçimlerinin görselleri mevcuttur.

**Tablo 9.21.** Konnektör seçimi

|                    | Konnektör              |
|--------------------|------------------------|
| Marka              | Pola Power ABHC30A6KSK |
| Maksimum Gerilim   | 3600 V DC              |
| Sürekli Şarj Akımı | 1000 A                 |
| Çalışma Sıcaklığı  | -55°C to +150°C        |



**Şekil 9.5.** Konnektör seçimi [69]

#### 9.3.6. HVIL (High Voltage Interlock)

HVIL, yüksek gerilim kitleme elemanı olarak adlandırılan bir güvenlik önlem elemanıdır. Prensip olarak düşük gerilim döngüsünü kullanarak yüksek gerilim dönüşünü izlemektedir. Düşük gerilime sahip HVIL sinyali eğer herhangi bir sebeple kesilmişse yüksek gerilim sisteminde bir sıkıntı olduğu anlaşılır. HVIL sistemi elektrikli araçlarda bulunan yüksek voltaja sahip bileşenlerle temas edebilecek kişileri korumak amacıyla tasarlanmıştır. Elektrikli araçlar için en önemli risklerden birisi ani elektrik

kesintileridir. Bu durum aracın güç kaybetmesine sebebiyet verir. HVIL oluşan risk durumlarında sürücüye alarm vererek devreyi keser. Dolayısıyla sisteme ait tüm cihazlar korunmuş olur [70].Şekil 9.6’da örnek bir HVIL görseli verilmiştir.



**Şekil 9.6.** HVIL Konnektörü [71]

#### **9.3.7. MSD (Manuel Service Disconnect)**

MSD, yüksek gerilim kutuları veya elektrikli araç akü kutuları için yüksek gerilim kilitleme fonksiyonuna sahip manuel bakım emniyet anahtarıdır. MSD, yüksek voltajlı dahili akünün bağlantısını kesmek ve onu kısa devrelerden korumak için alet gerektirmeyen bir çözümdür. Aşırı akımı önlemek için esas olarak elektrikli araçların iç ana devresini korumak ve kontrol etmek için kullanılır. Yüksek gerilim kontaklarını ayırmadan önce HVIL devresini açar [70]. Şekil 9.7’de MSD elemanı görseli verilmiştir.



**Şekil 9.7.** MSD elemanı [71]

## 10. SOĞUTMA SİSTEMİ TASARIMI

Batarya termal sıcaklık yönetim sistemi bu tezin batarya yönetim sistemi başlığı altında kısaca anlatılmıştır. Lityum iyon bataryaların termal yönetimine yönelik hava soğutma, sıvı soğutma, faz değişim (Phase Change material - PCM) ve termoelektrik malzemeleri dahil olmak üzere çeşitli yaklaşımlar vardır. Soğutma sisteminin amacı, pili en uygun sıcaklık aralığında tutarak yıpranma ve performans arasında en iyi dengeyi sağlamaktır. Ayrıca bu yapının basit bir tasarıma sahip olması, bakımının kolay olması ve masraflarının düşük olması, kullandığı enerjinin az olması, ağırlığının performansı etkilememesi gerekmektedir. Sıcaklık gradyanı hücreler arasında farklı aşınma oranlarına ve dolayısıyla her hücre için farklı şarj-deşarj davranışına neden olabileceğinden kasa içindeki sıcaklık dağılımı her noktada aynı olmalıdır. Tablo 10.1’ de Soğutma sistemlerinin bazı başlıklar altında karşılaştırmaları mevcuttur [72].

**Tablo 10.1.** Soğutma sistemlerinin karşılaştırılması

| Parametreler | Hava Soğutma | Sıvı Soğutma | PCM Soğutma | Termoelektrik Soğutma |
|--------------|--------------|--------------|-------------|-----------------------|
| Maliyet      | Düşük        | Orta düzeyde | Yüksek      | Yüksek                |
| Ağırlık      | Daha az      | Orta düzeyde | Ağır        | Orta düzeyde          |
| Hacim        | Büyük        | Kompakt      | Büyük       | Kompakt               |

### 10.1 Hava Soğutma Sistemi

Soğutma sistemi için hava doğrudan atmosferden alınabilir veya klima sisteminden faydalanılabilir. Eğer hava atmosferden alınıyorsa pasif hava soğutmalı, klima kondenserinden alınıyorsa aktif hava soğutma olarak adlandırılır. Batarya paketlerinin hava ile soğutulması batarya üzerinden akan hava kullanılarak gerçekleşir. Konveksiyon, sıvılarda ve gazlarda meydana gelen bir tür ısı transferi işlemidir. Moleküllerin toplu hareketi olarak tanımlanabilir. Bir batarya ısındığında termal bir genleşme meydana gelmektedir [73]. Sıcaklık arttığı zaman alt katman daha az yoğun



hale gelmektedir. Daha soğuk olan kısım daha yoğundur. Kaldırma kuvveti sebebiyle daha sıcak kısım veya az yoğun olan bölüm yükselir ve daha soğuk olan bölüm ile yer değiştirir. Bu işlemin tekrarlanması sonunda ısı transferi ve konveksiyon gerçekleşir.

Hava soğutma sistemi diğer soğutma yöntemlerine göre daha ucuz ve basit bir yapıya sahiptir. Fakat bataryadan daha az ısı çıkarması dezavantajlarından biridir. Basınçlı hava soğutmasında yüksek basınç düşüşü elde edebilmek için güçlü bir fanı ihtiyaç duyulur bu da bataryadan daha fazla güç çekmesine sebebiyet verir. Hava soğutma sistemi kullanan elektrikli araç modelleri için Honda Insight, Honda FitEV, Hyundai IONIQ, Nissan e-NV 200, Nissan Leaf, Renault Zoe, Toyota Prius Prime örnek verilebilir [74].

## 10.2 Sıvı Soğutma Sistemi

Hava soğutma sistemi ile karşılaştırıldığında zaman zaman sıvılar daha yüksek ısı iletkenliğine ve ısı taşıma özelliklerine sahiptir. Bu sebeple daha etkili bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Kompakt tasarım ve montaj kolaylığı sunarlar. Bataryayla doğrudan veya dolaylı yoldan temas halinde bulunurlar. Dolaylı temas sisteminde batarya modülleri soğutma sistemi plakalarının arasına yerleştirilir veya batarya modüllerinin arasından borular yardımıyla sistem uygulanabilir. Doğrudan temas sisteminde batarya modülleri mineral yağa batırılarak sistem uygulanır [75].

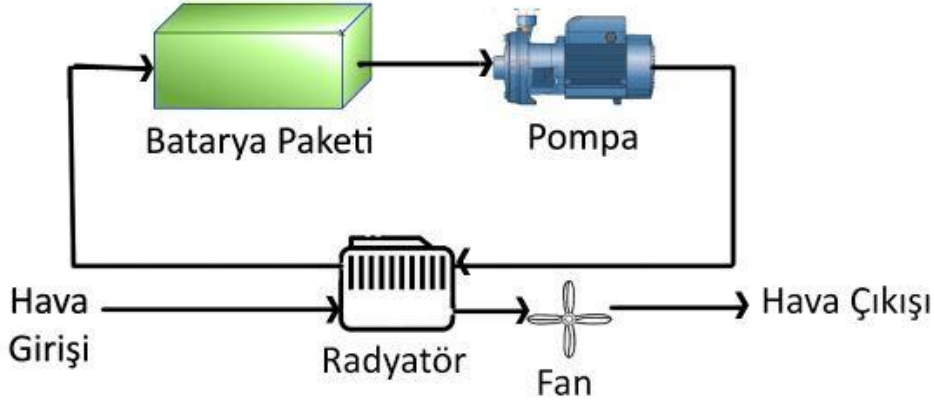
Sıvı soğutma sistemleri için önemli olan özgül ısıdır. En yüksek özgül ısı suda bulunmaktadır fakat donma ve kaynama sorunları bulunduğu için tek başına su kullanılamaz ve glikol ile karıştırılır. Glikolün özgül ısı kapasitesi oldukça yüksek ve ısı transfer özelliği çok yüksektir. Ucuz ve kullanımı tercih edilen yöntemlerden biridir. Karışımın içeriği %50 glikol, %45 su, %5 boyalar, antioksidanlar, korozyon önleyiciler ve antifriz gibi koruyucu maddelerden oluşmaktadır [76].

Kontrol yöntemlerine bağlı olarak sıvı soğutma sistemleri 2 grupta incelenir;

- Aktif soğutma sistemi
- Pasif soğutma sistemi

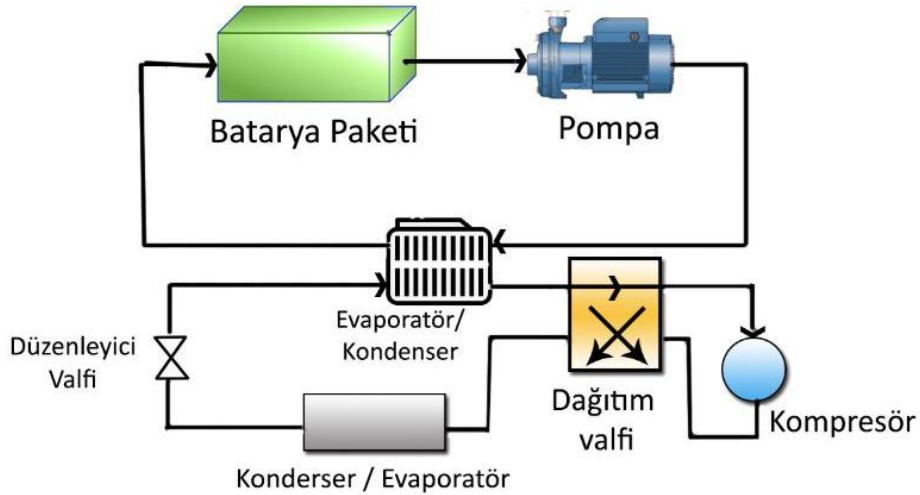
Pasif soğutma sistemleri, bataryanın ısını alan bir radyatör aracılığıyla yardımıyla ısıyı serbest bırakan yüksek ısı sıvıları kullanır. Bir egzoz fanı sayesinde ısı radyatörden dışarı aktarılır. Pasif soğutma daha kolay kurulumu sahiptir ve ucuzdur. Fakat verimlilik açısından havanın termal iletkenliğinin düşük olması sebebiyle düşüktür. Şekil 10.1’de

pasif soğutma sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir.



**Şekil 10.1.** Pasif sıvı soğutma sistemi

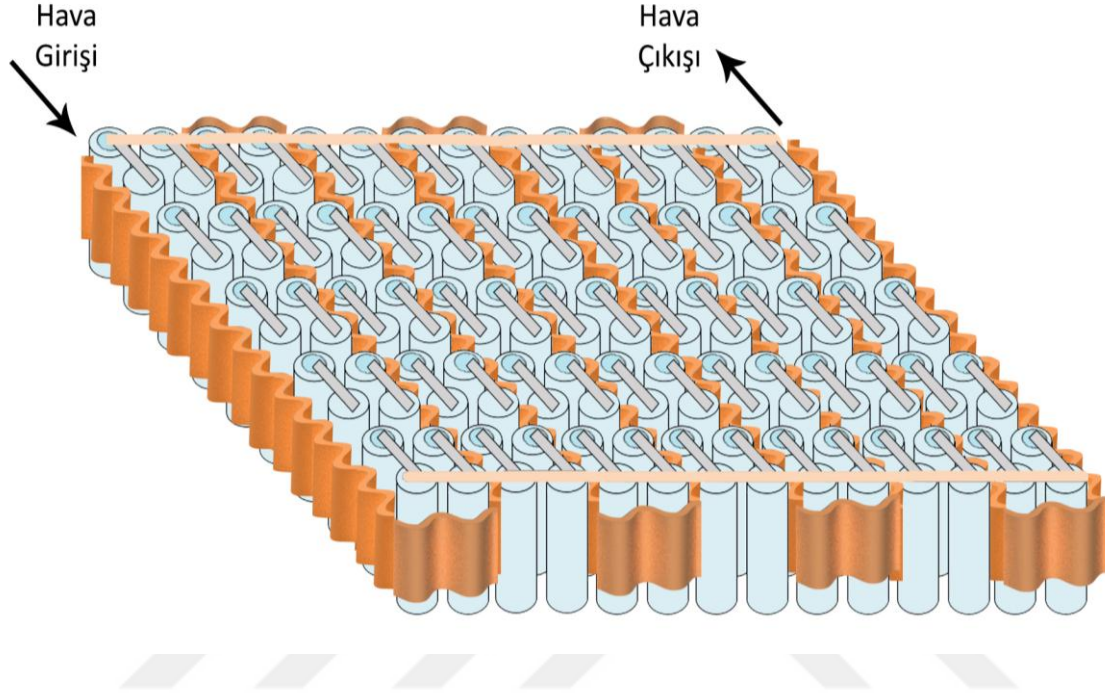
Aktif soğutma sistemleri, iki döngüden oluşmaktadır. İlk döngüde pasif soğutma sistemi ile benzer şekilde ısıyı taşımak amacıyla bir soğutma sıvısı kullanır. Diğer döngü ise bir klima döngüsüdür. Radyatör yerine bir evaporatör olarak görev alır ve iki döngüyü birbirine bağlar. Şekil 10.2’ de aktif sıvı soğutma sisteminin çalışma prensibi gösterilmiştir.



**Şekil 10.2.** Aktif Sıvı soğutma sistemi

Sıvı soğutma sistemi kullanan elektrikli araçlar için Audi R8 e-Tron, Ford Focus, GM Chevrolet Bolt, Chevrolet Volt, Tesla (Model X, Model S, Model 3), Toyota –iQ, Volvo XC90 T8, Porsche Taycan Turbo S örnek gösterilebilir. Tasarlanan elektrikli araç için

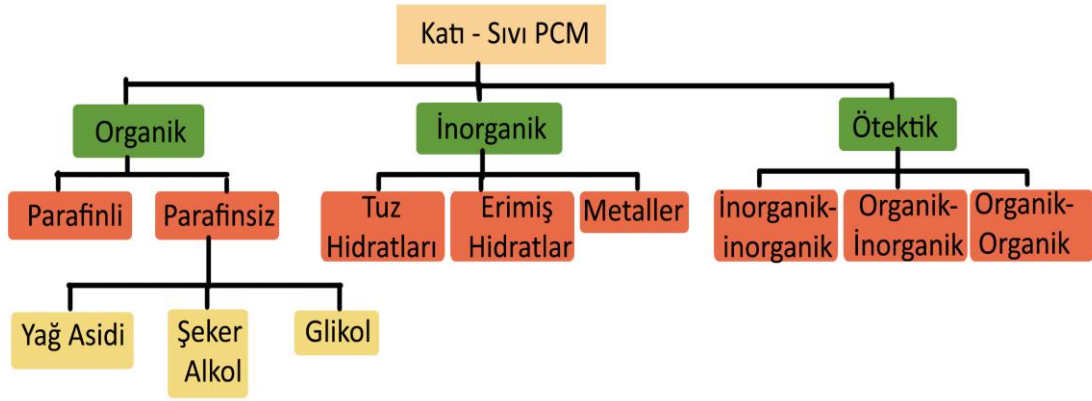
Sıvı soğutma sistemi uygun görülmüştür. Hücreler ve modüller tüm durumlar için yerleştirilirken soğutma sistemi boşlukları bırakılmıştır. Soğutma sistemi için bırakılan boşluk değerleri Tablo 8.4’te bahsedilmiştir. Şekil 10.3’te Durum 5 için planlanan soğutma sisteminin 3B çizimi verilmiştir.



**Şekil 10.3.** Durum 5 – Bir modül için soğutma sistemi tasarımı

### 10.3.PCM Soğutma Sistemleri

Faz değiştiren malzeme (Phase-change material -PCM), soğutma veya ısıtma etkisi sağlamak için faz geçişinde gerekli enerjiyi serbest bırakan veya emen bir maddedir. Buna gizli ısı denir. Maddenin bir fazdan farklı bir faza geçmesi için ihtiyaç duyduğu enerji gizli ısı olarak tanımlanır [77]. PCM’ler  $-50^{\circ}\text{C}$  ve  $160^{\circ}$  sıcaklıkları arasında çalışabilirler. Her sıcaklıkta sabit bir sıcaklık dağılımına sahip olduğu için PCM’ler elektrikli araçların batarya yönetim sistemleri için en uygun seçimlerdir. En yaygın kullanılan PCM maddeler, RT15, RT35 (Rubi Terma -15/35), EG5, EG26 (Genişletilmiş Grafit 5/26) [78]. Şekil 10.3’te PCM’nin sınıflandırılması gösterilmiştir. Tablo 10.4’te PCM sınıflarının avantajları Tablo 10.3’te PMC’nin dezavantajları gösterilmiştir [79].



**Şekil 10.4.** PCM'nin Sınıflandırılması [80]

**Tablo 10.2.** PCM sınıflarının avantajları

| Organik PMC                       | İnorganik PMC            | Ötektik PCM                    |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Yüksek gizli füzyon ısısı         | Yüksek füzyon ısısı      | Yüksek ısı depolama kapasitesi |
| Aşındırıcı ve toksik değildir     | Düşük hacimsel genişleme | Yüksek değer                   |
| Sıcaklık aralığı geniş            | En ucuz                  | Keskin erime noktası sıcaklığı |
| Düşük aşırı soğutma               | Yanıcı değildir          | Düşük aşırı soğutma            |
| Kimyasal ve termal olarak kararlı | Yüksek ısı iletkenliği   | Kimyasal olarak kararlı        |

**Tablo 10.3.** PCM sınıflarının dezavantajları

| Organik PMC                                       | İnorganik PMC       | Ötektik PCM                                     |
|---------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|
| Düşük ısı iletkenliği                             | Aşındırıcı          | Düşük ısı iletkenliği                           |
| Faz geçişi sırasında daha fazla hacim değişikliği | Alt soğutma         | Faz geçişi sırasında sızıntı                    |
| Düşük erime noktası sıcaklığı                     | Stabilite eksikliği | Termo-fiziksel özelliklerle ilgili sınırlı veri |

#### 10.4. Termoelektrik soğutma

Bir termoelektrik modül birkaç termokuplun seri ve paralel bağlanması ile oluşmuştur. Bir katı hal dönüştürücü olarak tanımlanırlar [81]. Batarya termal yönetim sistemiyle entegrasyon kolaylığı ve yüksek soğutma kapasiteleri en önemli avantajları arasındadır.

Gerilim-sıcaklık farkının dönüşümüne dayanmaktadır. Isıyı elektriğe veya tam tersine dönüştürebilen tüm mekanizmaları termoelektrik etki kapsamaktadır. Elektrik akımı üretmek için potansiyel fark korunmalıdır. Bu elektrik akımı iki iletkenin bağlantı noktalarından geçtiği takdirde ısı bir bağlantı noktasından uzaklaştırılır ve farklı bir bağlantı noktasına yerleşir. Yaygın olarak li-on pilleri soğutma işleminde kullanılırlar. Termoelektrik soğutucular için yapılan önemli bir çalışma referans [82] 'de değinilen, pasif bir sistemi yarı pasif bir sisteme çevirerek BMTS verimliliğini arttırmak için PCM'ler ile entegrasyondur. Avantajları;

- Az gürültülü olması,
- Kloroflorokarbon gibi tehlikeli gazlar açığa çıkmaması,
- Düşük bakım maliyeti,
- Uzun yaşam döngüsü,
- Ortam sıcaklığının çok altında bir sıcaklığın altına kadar soğutma kapasitesine sahip olması,

Dezavantajları;

- Düşük verimlilik,
- Ek güç gereksinimleri sebebiyle ticari uygulamaya uygun olmaması.

## 11. SONUÇ

Bu çalışmada şarj esnasında 400 V, sürüş esnasında 800 V olarak çalışabilen yeni nesil bir elektrikli araç bataryası tasarımı yapılmıştır. Tasarım esnasında tüm elektriksel bileşenler, motor ve soğutma sistemi hesaplanan değerlere göre seçilmiştir. Batarya paketi BT1 ve BT2 olmak üzere iki eş ana bölümden oluşmaktadır. Bu iki parçanın bağlantısı ile elektrikli aracın batarya paketi oluşturulmuştur. Bataryayı tasarlamak için 5 farklı durum oluşturulmuş ve durumlar aşağıdaki başlıklar altında değerlendirilmiş uygun görülen Durum 5 seçilmiştir. Seçilen durum için batarya bağlantı tasarımı yapılmıştır.

- Tasarlanan elektrikli araç için yüksek moment, boyutlarının diğer motorlara kıyasla daha küçük olması, yüksek devir, sessiz çalışma ve uzun ömürlü olması avantajlarından dolayı Fırçasız DC Motor seçilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda motor gücü 600 kW olarak hesaplanmıştır.
- Batarya paketi tasarımı yapılırken Panasonic 21700 marka silindirik hücre kullanılmıştır. Hücre 3,7 V nominal voltaja, 5,0 Ah kapasiteye sahiptir. Batarya paketi için toplam 6160 adet pile ihtiyaç duyulmuştur. Batarya paketi 109,4 kWh enerji kapasitesine sahiptir ancak SoC değeri %5-%95 aralığında seçildiğinden dolayı kullanılabilir enerji 98,46 kWh olarak hesaplanmıştır. Bir elektrikli araçta hücreler modülleri, modüller batarya paketini oluşturmaktadır. Hücrelerin farklı konfigürasyonlarda dizilimi farklı sayıda modüle ait beş farklı modül konfigürasyonunu oluşturmuştur. Bu 5 farklı durum için sırasıyla batarya paketindeki toplam modül sayısı 88,80,88,308 ve 44 adettir. Modül sayısı olarak en az olan durum 5'in seçilmesi kontrolü kolaylaştırmıştır.
- Batarya Kontrol yapısında her bir modül için bir 1 MCU seçildiğinden dolayı toplam MCU sayıları modül sayılarıyla eşittir. Kontrol yapısı için bir diğer önemli nokta ölçüm noktalarının sayısıdır. Kontrol hassasiyeti açısından 14 adet ile en fazla kontrol noktasına sahip olan Durum 5 avantajlıdır.
- Elektrikli araç 2 farklı modda çalıştığı için hesaplamalar hem şarj durumu hem deşarj durumu için yapılmıştır. Şarj durumunda aracımızın gücü 200 kW olarak hesaplanmış, Nominal gerilimi 407 V, nominal akımı 492 A olarak bulunmuştur. Deşarj durumunda aracın gücü 600 kW olarak hesaplanmış, nominal gerilimi

814 V, nominal akımı 738 A olarak hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak ilk olarak elektrikli aracın iletken kesitleri bulunmuş ve güç kayıpları hesaplanmıştır. Beş adet durum için güç kayıplarına bakıldığında en az güç kaybı 60,68 kW ile Durum 1'e, en fazla güç kaybı 65,61 kW ile Durum 4'e aittir. Tercih edilen Durum 5 62,8 kW güç kaybına sahip olarak ortalama bir değere sahiptir.

- Elektrikli araçların ağırlıkları, performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Modül sayısının az olmasından kaynaklı olarak modüller arası bağlantı için kullanılan iletken ağırlığı en hafif 2,338 kg ile Durum 5'e aittir. Bataryanın tasarlanan 5 farklı konfigürasyonu için eşit sayıda hücre kullanıldığından dolayı modül ağırlıkları arasında ciddi bir fark oluşmamıştır. Toplam iletken ağırlıklarında en hafif durum 1 37,696 kg, en ağır 86,268 kg ile durum 4'e aittir. Durum 5 47,192 kg toplam iletken ağırlığıyla ortalama bir değere sahiptir.
- İletken uzunlukları sistemin EMC'sini önemli ölçüde etkilemektedir. İletkenlerin uzunlukları modüllerin ve hücrelerin dizilimi ile değişiklik göstermektedir. Toplam iletken uzunluğu en fazla olan 29,421 m ile durum 4'e, en kısa olan 5,67 m ile durum 5'e aittir. Durum 5 en avantajlı durum olarak seçilmiştir.
- Yüksek gerilim ve yüksek akım geçen elektrikli araçlarda soğutma sistemi aracın performansını etkileyen en önemli konulardan biridir. Soğutma sistemi pasif sıvı soğutma sistemi olarak tercih edilmiştir. Glikolün özgül ısısı ve birçok avantajından dolayı soğutma sıvısı karışımı glikol-su karışımı olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada düşük maliyet ile esnek bir batarya tasarımı yapılmıştır. Geleneksel yapıda kullanılan 2 kontaktöre 1 kontaktör daha ilave edilerek 800V/400V arasında geçiş sağlanmıştır. Bu sayede her DC şarj istasyonu ile uyumlu bir araç bataryası elde edilmiştir. Önerilen sistemde elektrikli aracın herhangi bir hücresindeki arıza durumunda araç servis moduna geçerek sadece şarj esnasında değil servis modu esnasında da 400 V topolojisiyle çalışmaya devam etmesine olanak sağlanmıştır. Önerilen elektriksel sisteme ilave olarak yukarıda belirtilen pek çok farklı konudaki maddelerin analizi yapılmış ve esnek bataryaya sahip elektrikli araç için en uygun batarya tasarımı yapılmıştır.

## KAYNAKÇA

- [1] «tehad.org.» [Çevrimiçi]. Available: [www.tehad.org](http://www.tehad.org). [Erişildi: 26 10 2023].
- [2] L. Situ, «Electric Vehicle development: The past, present & future,» %1 içinde *3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*, Hong Kong, China, 2009.
- [3] A. Kerem, «Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri,» *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, cilt 1, no. 5, pp. 1-13, 2014.
- [4] Y. Bora, *Elektrikli Araç Sistemlerinin İncelenmesi*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [5] K. Erhan, *HİBRİT VE ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA VOLAN VE ULTRAKAPASİTÖR TEKNOLOJİLERİNİN KULLANIMININ İNCELENMESİ VE VOLAN ENERJİ DEPOLAMA ÜNİTESİNİN PROTOTİP ÜRETİMİ*, Kocaeli: KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, 2018, p. 114s.
- [6] H. Hamut, I. Dinçer ve Naterer GF., «Analysis and Optimazition of Hybrid Electric Vehicle Theröal Management Systems,» *J. Power Sources*, no. 247, pp. 643-654, 2014.
- [7] «Alternatif Enerji Kaynakları Yakıt Pili,» [Çevrimiçi]. Available: [https://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/cetincakanyildirim-hititedutr\\_36598\\_14112019\\_5L2W.pdf](https://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/cetincakanyildirim-hititedutr_36598_14112019_5L2W.pdf). [Erişildi: 01 08 2021].
- [8] «Porsche,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.porsche.com.tr/modeller/taycan-turbo-s-sport-turismo>. [Erişildi: 13 08 2023].
- [9] «Newsroom,» [Çevrimiçi]. Available: <https://newsroom.porsche.com/en/products/taycan/battery-18557.html> . [Erişildi: 27 09 2023].
- [10] [Çevrimiçi]. Available: <https://blog.phoenixcontact.com/wp-content/uploads/sites/14/2014/01/pic24221.gif>. [Erişildi: 08 09 2020].
- [11] H. Kaymaz ve F. S. Durmuş, «Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri,» *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, cilt 3, no. 2, pp. 123-139, 2020.
- [12] A. Birleştirici, M. S. Şalcı ve A. Dikkulak, «Elektrikli Araç Şarj İstasyonları,» EMO, İstanbul, 2020.
- [13] W. Waag, C. Fleischer ve D. U. Sauer, «Critical review of the methods for monitoring of lithium-ion batteries in electric and hybrid vehicles,» *Journal of Power Sources*, no.



258, pp. 321-339, 2014.

- [14] Ö. Polat, K. Yumak, M. S. Sezgin, G. Yumurtacı ve Ö. Gül, «ELEKTRİKLİ ARAÇ VE ŞARJ İSTASYONLARININ TÜRKİYE’DEKİ,» EMO, İstanbul, 2015.
- [15] «Eşarj,» [Çevrimiçi]. Available: <https://esarj.com/en/charge-modes>. [Erişildi: 27 11 2022].
- [16] M. Dubarry, B. Y. Liaw, M.-S. Chen, S.-S. Chyan, K.-C. Han, W.-T. Sie ve S.-. H. Wu, «Identifying battery aging mechanisms in large format Li ion cells,» *Journal of Power Sources*, cilt 7, no. 196, pp. 3420-3425, 2011.
- [17] M. R. R. E. M. P. G. B. D. A. H. Christoph R. Birkel, «Degradation diagnostics for lithium ion cells,» *Journal of Power Sources*, no. 341, pp. 373-386, 2017.
- [18] «Chademo,» [Çevrimiçi]. Available: [https://chademo.com/products/products\\_type/connectors](https://chademo.com/products/products_type/connectors). [Erişildi: 04 05 2023].
- [19] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.monolithicpower.com/en/power-electronics/special-topics/power-electronic-for-electric-vehicles#:~:text=EV%20drive%20systems%20typically%20comprise,suitable%20for%20the%20electric%20motor..> [Erişildi: 07 2022].
- [20] «Hedef Filo,» [Çevrimiçi]. Available: [https://ev.hedef filo.com/ev-gundem/blog/elektrikli-arac-parcalari-ve-gorevleri-nelerdir#:~:text=Elektrikli%20ara%C3%A7larda%20AC%20\(Alternatif%20Ak%C4%B1m,sa%C4%9Flayan%20bir%20%C3%BCniteye%20ihtiya%C3%A7%20duyuluyor..](https://ev.hedef filo.com/ev-gundem/blog/elektrikli-arac-parcalari-ve-gorevleri-nelerdir#:~:text=Elektrikli%20ara%C3%A7larda%20AC%20(Alternatif%20Ak%C4%B1m,sa%C4%9Flayan%20bir%20%C3%BCniteye%20ihtiya%C3%A7%20duyuluyor..) [Erişildi: 01 10 2023].
- [21] T. Finken, M. Felden ve K. Hameyer, «Comparison and design of different electrical machine types regarding their applicability in hybrid electrical vehicles,» %1 içinde *18th International Conference on Electrical Machines*, Vilamoura, Portugal, 2018.
- [22] «Mugul Elektronik,» [Çevrimiçi]. Available: <https://mugul.com/elektrik-motoru/>. [Erişildi: 07 08 2023].
- [23] A. Emadi, Y. J. Lee ve K. Rajashekara, «Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles,» *IEEE Transactions on Industrial Electronics* , cilt 55, no. 6, pp. 2237 - 2245, 2008.
- [24] [Çevrimiçi]. Available: <https://insideevs.com.tr/news/617967/elektrikli-arac-pil-degisim-maliyeti/>. [Erişildi: 07 08 2023].
- [25] [Çevrimiçi]. Available: <https://auto.economictimes.indiatimes.com/news/auto-technology/mursix-invests-in-polycharge-for-ev-technology-development/70643273>. [Erişildi: 05 03 2022].

- [26] «Hedef Filo,» [Çevrimiçi]. Available: <https://ev.hedef filo.com/ev-gundem/blog/elektrikli-arac-sarj-istasyonu-nedir-sarj-istasyonu-turleri-nelerdir>. [Erişildi: 05 07 2022].
- [27] [Çevrimiçi]. Available: [https://tr.made-in-china.com/co\\_gtakeinverter/product\\_AC-Drive-Motor-Controller-etc-for-Electric-Vehicle\\_rgiossgug.html](https://tr.made-in-china.com/co_gtakeinverter/product_AC-Drive-Motor-Controller-etc-for-Electric-Vehicle_rgiossgug.html). [Erişildi: 05 07 2022].
- [28] M. Avgın, *Batarya Şarj doluluk durumu model parametresinin G.E.P ile tahmin edilmesi*, Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [29] Ü. Batmaz, «ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA TEKNOLOJİLERİ,» *MÜHENDİS ve MAKİNA güncel*, pp. 25-34, 04 2023.
- [30] A. Albanese, «TRUMPF,» [Çevrimiçi]. Available: <https://headland.au/laser-welding-is-a-key-process-in-lithium-ion-battery-manufacturing/>. [Erişildi: 08 08 2023].
- [31] «Femko,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.femko.com.tr/ce-belgesi/piller-ce-belgesi>.
- [32] M. H. Lipu, M. Hannan, T. F. Karim, A. Hussain, M. H. M. Saad, A. Ayob, M. S. Miah ve T. I. Mahlia, «Intelligent algorithms and control strategies for battery management system in electric vehicles: Progress, challenges and future outlook,» *Journal of Cleaner Production*, p. 292, 2021.
- [33] J. Yong, V. Ramachandaramurthy, K. Tan ve N. Mithulananthan, «A Review on the State-of-the-Art Technologies of Electric Vehicle, Its Impacts and Prospects,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 49, pp. 365-385, 2015.
- [34] A. Kılıç, *Batarya yönetim sistemlerinde ana ve uydu denetleyici modül*, Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [35] «Poeron,» [Çevrimiçi]. Available: <https://poweron.com.tr/blog/kursun-asit-bataryalar-nedir>. [Erişildi: 20 08 2022].
- [36] «Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği,» [Çevrimiçi]. Available: <https://tap.org.tr/pil-atik-pil/ss/pil-nedir/>. [Erişildi: 20 08 2022].
- [37] N. W. F. L. J. Y. G. Nitta, «Li-Ion Battery Materials: Present,» *Materials Today*, cilt 18, no. 5, pp. 252-264, 2015.
- [38] [Çevrimiçi]. Available: <https://nordkyndesign.com/lithium-battery-banks-fundamentals/>. [Erişildi: 2023 11 12].
- [39] M. Avgın, «Batarya şarj doluluk durumu model parametresinin G.E.P ile tahmin

edilmesi,» Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2012.

- [40] B. B., «Elektrikli araçlarda batarya yönetim sistemi,» Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2019.
- [41] X. Chen, W. Shen, T. T. Vo, Z. Cao ve A. Kapoor, «An overview of lithium-ion batteries for electric vehicles,» %1 içinde *10th International Power & Energy Conference (IPEC)*, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2012.
- [42] H. Gül, «Elektrikli araçlar için batarya yönetim sistemi tasarımı,» Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2018.
- [43] D. Andrea, *Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs*, Boston: Artech House, 2010.
- [44] [Çevrimiçi]. Available: <https://medium.com/ieee-trsb-pes/batarya-y%C3%B6netim-sistemi-bms-battery-management-system-nedir-aaf933452045>. [Erişildi: 12 10 2022].
- [45] H. Rahimi-Eichi, U. Ojha, F. Baronti ve M. Chow, «Battery Management Systems,» *IEEE Industrial Electronics Magazine*, cilt 7, no. 2, pp. 4-16, 2013.
- [46] S. Yang, C. Zhang, J. Jiang, W. Zhang, L. Zhang ve Y. Wang, «Review on state-of-health of lithium-ion batteries: Characterizations, estimations and applications,» *Journal of Cleaner Production*, cilt 314, 2021.
- [47] P. Shen, M. Ouyang, L. Lu, J. Li ve X. Feng, «The Co-estimation of State of Charge, State of Health, and State of Function for Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, cilt 61, pp. 92-103, 2018.
- [48] S. M. Lukic ve A. Emadi, «Charging ahead,» *IEEE Industrial Electronics Magazine*, cilt 2, pp. 22-31, 2008.
- [49] S. , M. K. A. A. K. S. T. Porselvi, «Selection of Power Rating of an Electric Motor for Electric,» *Proceedings of the IJESC*, cilt 7, p. Issue No. 4, 2017.
- [50] [Çevrimiçi]. Available: [https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mustafa.aktas/137354/PMSM\\_2.pdf](https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mustafa.aktas/137354/PMSM_2.pdf). [Erişildi: 10 10 2022].
- [51] X. D. Xue, K. W. E. Cheng ve N. C. Cheung, «Selection of Electric Motor Drives for Electric Vehicles,» %1 içinde *2008 Australasian Universities Power Engineering Conference*, Sydney, NSW, Australia, 2008.
- [52] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.quora.com/Do-AC-and-DC-motors-both-create-electricity>. [Erişildi: 17 10 2022].

- [53] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.duganenerji.com/kutuphane/asenkron-motor>. [Erişildi: 17 10 2022].
- [54] J.B.Gupta, Theory & Performance of Electrical machines, Katson Books, 2020.
- [55] [Çevrimiçi]. Available: [https://4.bp.blogspot.com/-xYwhydB7wFg/UAEstxYkCzI/AAAAAAAAAFMU/Nl4SoaK7d\\_I/s1600/DC+motor,+field+structure,+and+armature+assembly,+%28Courtesy+Reliance+Electric+Co.%29.jpg](https://4.bp.blogspot.com/-xYwhydB7wFg/UAEstxYkCzI/AAAAAAAAAFMU/Nl4SoaK7d_I/s1600/DC+motor,+field+structure,+and+armature+assembly,+%28Courtesy+Reliance+Electric+Co.%29.jpg). [Erişildi: 20 10 2022].
- [56] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.vsdmotor.com/brushless-dc-motor/24v-electric-brushless-dc-motor.html>. [Erişildi: 20 10 2022].
- [57] M. K. Eren, E. İpek, K. Aras, T. Gücükoğlu ve K. Erhan, «Effects of Cell and Module Configuration on Battery System in Electric Vehicles,» *International Journal of Engineering Technologies IJET*, cilt 4, no. 4, pp. 143-152, 2019.
- [58] E. Apostolaki-Iosifidou, P. Codani ve W. Kempton, «Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging,» *Energy*, cilt 127, pp. 730-742, 2017.
- [59] J. Hu, X. Xu, D. Cao ve G. Liu, «Analysis and optimization of electromagnetic compability for electric vehicles,» *IEEE Electromagnetic Compatibility* , cilt 8, no. 4, pp. 50-55, 2019.
- [60] P. A. S. M. F. Z. A. J. M. J. Brand, «Welding techniques for battery cells and resulting electrical contact resistances,» *Journal of Energy Storage*, cilt 1, pp. 7-14, 2015.
- [61] J. Hu, X. Xu, D. Cao ve G. Liu, «Analysis and optimization of electromagnetic compatibility for electric vehicles,» *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*, cilt 8, no. 4, pp. 50-55, 2019.
- [62] T. J. C. Sousa, D. Pedrosa, V. Monteria ve J. L. Alfanzo, «A Review on Integrated Battery Chargers for Electric Vehicles,» *Journal Of Energies*, cilt 15, no. 8, 2022.
- [63] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.dc-contactors.com/dhc500-800-high-voltage-dc-contactor>. [Erişildi: 10 08 2023].
- [64] «RMC,» [Çevrimiçi]. Available: <https://rmc.com.tr/akim-sensorleri-ve-donusturuculeri-kullanarak-akim-nasil-olculur/>. [Erişildi: 10 15 2023].
- [65] V. Shah ve S. Payami, «An Integrated Driving/Charging Four-Phase Switched Reluctance Motor Drive With Reduced Current Sensors for Electric Vehicle Application,» *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, cilt 10, no. 6, pp. 6880-6890, 2021.
- [66] «google görseller,» [Çevrimiçi].

- [67] «Hudson,» [Çevrimiçi]. Available: <https://dc-components.com/wp-content/uploads/HUDSON-ESU10-DC-Fuses.pdf>. [Erişildi: 30 08 2023].
- [68] R. Morrison, «LIZCOLLINS HISTORY CLASSES,» [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.lizcollinshistoryclasses.com/capacitor-8730751>. [Erişildi: 17 10 2023].
- [69] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.ttelectronics.com/news/new-pola-power-connectors-series-05-19/>. [Erişildi: 05 09 2023].
- [70] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.elecpeek.com/product-category/hvil/>. [Erişildi: 15 10 2023].
- [71] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/what-hvil-electric-vehicles-shenzhen-renhotec-technology-elect/>. [Erişildi: 2023 11 11].
- [72] P. Tirkey, J. N. Mahto, R. K. Pandey ve S. Kumar, «A Detailed Review on Battery Cooling Systems for Electric Vehicles,» %1 içinde *1st IEEE International Conference on Industrial Electronics: Developments & Applications*, 2022.
- [73] A. Gayathri, V. Manimegalai ve P. Krishnakumar, «Challenging Issues and Solutions on Battery Thermal Management for Electric Vehicles,» %1 içinde *Electrical and Electronic Devices, Circuits, and Materials*, 2021, pp. 535-553.
- [74] [Çevrimiçi]. Available: <https://cfdfloengineering.com/battery-cooling-techniques-in-electric-vehicle/>. [Erişildi: 05 11 2023].
- [75] M. Yenigün ve Z. Utlu, «Elektrikli Araçlarda Kullanılan Batarya Soğutma Sistemlerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi,» *Mühendis ve Makina*, cilt 59, no. 592, pp. 35-47, 2018.
- [76] A. Jarret ve . I. Y. Kim, «Influence of operating conditions on the optimum design of electric vehicle battery cooling plates,» *Journal of Power Sources*, no. 245, pp. 644-655, 2014.
- [77] «Coral Innovative solutions,» 2022. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.coralinnovative.com/pcm>. [Erişildi: 09 09 2023].
- [78] S. Al-Hallaj ve J. Selman, «Thermal modeling of secondary lithium batteries for electric vehicle/hybrid electric vehicle applications,» *Journal of Power Sources*, cilt 110, no. 2, pp. 341-348, 2002.
- [79] M. Khaled, K. M. Khair Faraj, F. Hackem ve J. Faraj, «Use of phase change materials thermal energy storage systems for cooling applications in buildings: A review,» %1 içinde *The 6th International Conference on Emerging and Renewable Energy Generation and Automation ICEREGA'18*, Sousse, Tunissia, 2018.

- [80] M. Khaled, K. M. Khair Faraj, F. Hackem ve J. Faraj, «Phase change material thermal energy storage systems for cooling applications in buildings: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 119, 2020.
- [81] I. Skalic ve I. Marinović, «Analysis of Thermoelectric Generators Thermally Connected in Serial and Parallel Combinations,» %1 içinde *5th International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science*, 2020.
- [82] . A. R. M. Siddique, M. Shonel ve B. J. V. Heyst, «A comprehensive review on a passive (phase change materials) and an active (thermoelectric cooler) battery thermal management system and their limitations,» *Journal of Power Sources*, no. 401, pp. 224-237, 2018.
- [83] «X ve Y kapasitörleri Nelerdir ?,» 11 10 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://tr.lizcollinshistoryclasses.com/capacitor-8730751>.
- [84] P. C. W. K. Elpiniki Apostolaki-Iosifidou, «Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging,» no. 127, pp. 730-742, 2017.
- [85] W. G. H. M. Coleman, C. B. Zhu ve C. K. Lee, «SOC Estimation Method Under Varied Ambient Temperature for a Lead-Acid Battery,» %1 içinde *Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Austin, ABD, 2005.
- [86] A. Jossen, V. Spath ve H. Doring, «Reliable battery operation — a challenge,» *J. Power Sources*, cilt 4, no. 12, pp. 283-286, 1999.
- [87] R. Kaiser, «Optimized battery-management system to improve storage lifetime,» *J. Power Sources*, cilt 168, no. 1, pp. 58-65, 2017.
- [88] Y. Muratoğlu ve A. Alkaya, «ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ ve PİL YÖNETİM SİSTEMİ-İNCELEME,» %1 içinde *VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, adana, 2015.
- [89] «Sharz,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.sharz.net/elektrikli-araclar-nasil-calisir.html>. [Erişildi: 18 08 2022].