

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA VE ŞARJ İSTASYONU
KONFIGÜRASYONLARININ İSTANBUL METROBÜS HATTI ÜZERİNDEN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Anıl SATAR

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet CANSIZ

ŞUBAT 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA VE ŞARJ İSTASYONU
KONFIGÜRASYONLARININ İSTANBUL METROBÜS HATTI ÜZERİNDEN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Anıl SATAR
(504191007)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet CANSIZ

ŞUBAT 2022

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504191007 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Anıl SATAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA VE ŞARJ İSTASYONU KONFIGÜRASYONLARININ İSTANBUL METROBÜS HATTI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ahmet CANSIZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Murat YILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ercan İZGİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 21 Ocak 2022
Savunma Tarihi : 07 Şubat 2022





Sevgili aileme,



ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans dönemlerinde yönlendirmeleri ve destekleriyle bana hep yardımcı olan ve bu tezin oluşumuna büyük bir katkıda bulunan danışman hocam Prof. Dr. Ahmet CANSIZ’a

Beni bugünlere getiren ve bana her konuda destek olup, hep yanımda olan aileme saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2022

Anıl Satar
(Elektrik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TİPLERİ VE KONFIGÜRASYONLARI.....	11
2.1 Batarya Elektrikli Araçlar	11
2.2 Hidrojen Yakıtlı Elektrikli Araçlar	12
2.3 Hibrit Araçlar	14
3. ELEKTRİKLİ ARAÇ BİLEŞENLERİ	17
3.1 Yüksek Gerilim Bataryaları	17
3.1.1 Lityum Metal Bataryalar	20
3.1.2 Katı Hal Bataryalar	21
3.1.3 Lityum Sülfür Bataryalar	22
3.1.4 Kurşun Asit Bataryalar.....	22
3.1.5 Nikel Kadmiyum Bataryalar	23
3.1.6 Nikel Metal Hidrit Bataryalar	23
3.1.7 Lityum İyon Bataryalar	23
3.1.8 Yüksek Gerilim Bataryalarının Değerlendirilmesi	28
3.2 Elektrik Motorları.....	33
3.3 Elektrikli Akslar	34
3.4 DC-DC Konvertörler.....	36
3.5 İnverterler	37
3.6 Yüksek Gerilim Sigorta Kutusu	40
3.7 Doğru Gerilim Kontrol Ünitesi	40
3.8 Araç Kontrol Ünitesi	40
3.9 Direksiyon Sistemi	41
3.10 Yardımcı Donanımlar.....	41
3.11 Yüksek Gerilim Kablo Demeti.....	41
3.12 Araç Üstü veya Harici Şarj Soketleri	43
3.12.1 Type 1-J1772.....	44
3.12.2 GB/T.....	45
3.12.3 CCS-Type 1 ve CCS-Type 2.....	45

3.12.4 CHAdeMO	46
4. ELEKTRİKLİ ARAÇ SİSTEMLERİ.....	47
4.1 Batarya Yönetim Sistemleri	47
4.2 Yüksek Gerilim Şarj İşletim Sistemleri.....	49
4.3 Enerji Yönetim Sistemleri	58
4.4 Güç Aktarım Sistemi	61
4.5 Klima Sistemi	62
4.6 Güvenlik Sistemleri ve Konseptleri.....	63
4.7 Elektrikli Araç Güç Sistemleri	66
5. VAKA ÇALIŞMASI	69
5.1 İstanbul	69
5.2 Elektrikli Otobüs ve Şarj İstasyonu Bilgileri.....	70
5.3 Hesaplamalar ve Formüller	73
5.4 Simulink Modellemesi.....	86
6. VAKA ANALİZİ	95
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	123

KISALTMALAR

BEV	: Batarya Elektrikli Araç
CAN	: Controller Area Network (Kontrol Alan Ağı Veri Yolu)
CCS	: Combined Charge System (Kombine Şarj Sistemi)
CHAdemo	: CHarge de Move
DoD	: Depth of Discharge (Deşarj Derinliği)
EMC	: Electromagnetic Compatibility (Elektromanyetik Uyumluluk)
HVAC	: Heating, Ventilation and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma ve Soğutma Sistemi)
IEC	: International Electrotechnic Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IP	: International Protection (Uluslararası Koruma, Koruma Derecesi)
ISO	: The International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
KP	: Control Pilot (Kontrol Pilot)
KT	: Koruyucu Topraklama
LIN	: Local Interconnect Network (Yerel Arabağlantı Ağı)
MOSFET	: Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör
N	: Nötr
NMC	: Nikel Manganez Kobalt Oksit
SAC	: Çin Toplum Hizmet Merkezi
SoH	: Batarya Sağlık Durumu
SoE	: Batarya Enerji Durumu
SoC	: Batarya Şarj Durumu
UN ECE-R	: Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu Regülasyonları
YP	: Yakınlık Pilot



SEMBOLLER

a	: Ön aksın merkezi ağırlık düzlemine normal projeksiyon noktasından olan mesafesi
A	: Aracın ön yüzey alanı
b	: Arka aksın merkezi ağırlık düzlemine normal projeksiyon noktasından olan mesafesi
β	: Eğim açısı
C	: Batarya deşarj kapasitesi hızı
C_d	: Aerodinamik sürtünme katsayısı
F_d	: Aerodinamik sürtünme kuvveti
F_{xf}	: Ön tekerlerin yere temas ettiği noktada ki boyuna kuvvetler
F_{xr}	: Arka tekerlerin yere temas ettiği noktada ki boyuna kuvvetler
F_{zf}	: Ön tekerlerin yere temas ettiği noktada ki normal yük kuvvetleri
F_{zr}	: Arka tekerlerin yere temas ettiği noktada ki normal yük kuvvetleri
g	: Yer çekimi ivmesi
h	: Araç ağırlık merkezinin yerden yüksekliği
I	: Kablo üzerinden akan akım
L1, L2, L3	: 3 faz
OCV	: Açık devre gerilimi
t	: Zaman
m	: Aracın kütlesi
n	: Her aks başına tekerlek sayısı
V_x	: Aracın hızı
V_w	: Rüzgar hızı
ρ	: Havanın kütle yoğunluğu



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Lityum iyon batarya özellikleri [32]. LMKO: Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit, LNKAO: Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit, LKAO: Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit, LDF: Lityum Demir Fosfat, LTO: Lityum Titanat Oksit, LKO: Lityum Kobalt Oksit, LMO: Lityum Manganez Oksit, EY: Enerji Yoğunluğu (Wh/L), HBNG: Hücre başına nominal gerilim (V), SE: Spesifik enerji (Wh/kg), ÇSA: Çalışma sıcaklık aralığı (°C), ŞAO: Şarj akım oranı (C), ÇÖ: Çevrim ömrü, IS: Isıl sürüklenme (°C), SG: Spesifik güç (W/kg), GY: Güç yoğunluğu (W/L).	26
Çizelge 4.1 : C Oranı ve şarj-deşarj ilişkisi.	58
Çizelge 4.2 : Araçtaki sistemlerin akım ve güç ihtiyaçları örneği.....	60
Çizelge 5.1 : İstanbul metrobüs hatlarına ilişkin bilgiler.....	69
Çizelge 5.2 : Elektrikli otobüslere ait veriler.	70
Çizelge 5.3 : Elektrikli Otobüs A ve Elektrikli Otobüs B’de kullanılabilecek batarya tiplerine ait veriler.	71
Çizelge 5.4 : SoE değerine bağlı gereken enerji değerleri (Elektrikli Otobüs A).	81
Çizelge 5.5 : SoE değerine bağlı gereken enerji değerleri (Elektrikli Otobüs B).....	81
Çizelge 5.6 : Otobüslere Ait Teknik Dizayn Spesifikasyonları.....	86
Çizelge 6.1 : Farklı SoE’lerde şarj süreleri (Elektrikli Otobüs A).	95
Çizelge 6.2 : Farklı SoE’lerde şarj süreleri (Elektrikli Otobüs B).....	97
Çizelge 6.3 : Şarj istasyonu başına (24 saat aktif) araç sayısı (Elektrikli Otobüs A).	99
Çizelge 6.4 : Şarj istasyonu başına (24 saat aktif) araç sayısı (Elektrikli Otobüs B).	99
Çizelge 6.5 : Şarj istasyonu başına (18 saat aktif) araç sayısı (Elektrikli Otobüs A).	101
Çizelge 6.6 : Şarj istasyonu başına (18 saat aktif) araç sayısı (Elektrikli Otobüs B).	101
Çizelge 6.7 : Filo için gerekli şarj istasyonu sayısı -24 saat çalışma (Elektrikli Otobüs A).	102
Çizelge 6.8 : Filo için gerekli şarj istasyonu sayısı -24 saat çalışma (Elektrikli Otobüs B).....	102
Çizelge 6.9 : Filo için gerekli şarj istasyonu sayısı -18 saat çalışma (Elektrikli Otobüs A).	105
Çizelge 6.10 : Filo için gerekli şarj istasyonu sayısı -18 saat çalışma (Elektrikli Otobüs B).....	106



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Batarya elektrikli araç konfigürasyonu	12
Şekil 2.2 : Hidrojen yakıtlı elektrikli araç konfigürasyonu	13
Şekil 2.3 : Batarya elektrikli araç ve Hidrojen yakıtlı elektrikli araç verim karşılaştırması	14
Şekil 2.4 : Seri hibrit araç konfigürasyonu	14
Şekil 2.5 : Paralel hibrit araç konfigürasyonu	15
Şekil 3.1 : Yüksek gerilim bataryalarının yapı taşları	17
Şekil 3.2 : Yüksek gerilim batarya hücre tipleri	18
Şekil 3.3 : Lityum metal batarya şarj vedeşarj tepkimesi	21
Şekil 3.4 : Lityum iyon batarya çalışma prensibi	25
Şekil 3.5 : Lityum iyon batarya çeşitleri.....	26
Şekil 3.6 : Enerji yoğunluklarının karşılaştırılması	27
Şekil 3.7 : Güç yoğunluklarının karşılaştırılması	27
Şekil 3.8 : Çevrim ömrü karşılaştırılması	28
Şekil 3.9 : Yüksek gerilim bataryalarının enerji yoğunluğu karşılaştırması	29
Şekil 3.10 : Yüksek gerilim bataryalarının güç yoğunluğu ve enerji yoğunluğu karşılaştırması	29
Şekil 3.11 : Elektrikli aks parçaları	35
Şekil 3.12 : DC/DC Konvertör gerilim indirgenmesi	37
Şekil 3.13 : İnverter blok diyagramı	39
Şekil 3.14 : Yüksek gerilim bileşen bağlantı elemanları	43
Şekil 3.15 : Şarj soketi çeşitleri	44
Şekil 3.16 : Combo2 şarj soketi	46
Şekil 3.17 : Combo2 şarj soketi pin yerleşimleri.....	46
Şekil 4.1 : Şarj işlemi.....	49
Şekil 4.2 : Şarj sisteminde aktif olan bileşenler.....	51
Şekil 4.3 : Şarj sisteminin diğer sistemlerle olan ilişki matrisi.....	51
Şekil 4.4 : AC ve DC şarj arasındaki farklar	53
Şekil 4.5 : AC ve DC şarj işleyişleri.....	53
Şekil 4.6 : AC ve DC şarj maksimum akım, gerilim ve güç değerleri	54
Şekil 4.7 : SoC belirlenmesinde kullanılan çevrimiçi yöntemler	55
Şekil 4.8 : 10kWh'lık bir bataryanın örnek SoC değerleri	57
Şekil 4.9 : SoC ve SoE'nin karşılaştırılması.....	57
Şekil 4.10 : Enerji yönetim sistemleri alt sistemler	59
Şekil 4.11 : Şarj sırasında diğer sistemlerde enerji yönetimi	60
Şekil 4.12 : Güç aktarım sisteminin basitleştirilmiş gösterimi	61
Şekil 4.13 : Klima sistemleri ana görevleri	62
Şekil 4.14 : Yüksek gerilim bileşenlerine uygulanması gereken testler.....	66
Şekil 5.1 : Avcılar-Söğütlüçeşme metrobüs hattı	70
Şekil 5.2 : Şarj istasyonları ve güç değerleri	72
Şekil 5.3 : Pantograf ile yüksek güçte şarj.....	73

Şekil 5.4 : Batarya grupları ve kümeleri	74
Şekil 5.5 : Bataryaların araç üzerindeki yerleşimleri.....	75
Şekil 5.6 : NMC SOC-OCV grafiği b) LFP SOC-OCV grafiği	82
Şekil 5.7 : 1kWh enerji üretimi için doğaya salınan CO ₂ emisyonun enerji santrallerine göre dağılımı.....	86
Şekil 5.8 : Araç dinamiği serbest cisim diyagramı	87
Şekil 5.9 : Araç dinamiği blok diyagramı.....	88
Şekil 5.10 : Avcılar-Söğütlüçeşme Sürüş Çevrimi Grafiği.....	89
Şekil 5.11 : Otobüslerin zamana bağlı aldıkları mesafe	89
Şekil 5.12 : Sürüş çevrimi hızı ve otobüs A'nın hız karşılaştırması.....	90
Şekil 5.13 : Sürüş çevrimi hızı ve otobüs B'nin hız karşılaştırması	91
Şekil 5.14 : SOC değerinin hesaplanması için kurulan model	91
Şekil 5.15 : Otobüs A SOC-Zaman grafiği.....	92
Şekil 5.16 : Otobüs B SOC-Zaman grafiği.....	92
Şekil 6.1 : Elektrikli Otobüs A'nın SoE değerine bağlı şarj süreleri (396kWh)	96
Şekil 6.2 : Elektrikli otobüs B'nin SoE değerine bağlı şarj süreleri (420kWh).....	98
Şekil 6.3 : Farklı şarj senaryolarıyla araçların şarj edilmesi (Elektrikli otobüs A) .	103
Şekil 6.4 : Farklı şarj senaryolarıyla araçların şarj edilmesi (Elektrikli otobüs B)..	104
Şekil 6.5 : Elektrikli otobüs A için şarj istasyonlarının örnek maliyet hesabı (24saat aktif çalışma)	104
Şekil 6.6 : Elektrikli otobüs B için şarj istasyonlarının örnek maliyet hesabı (24saat aktif çalışma)	105
Şekil 6.7 : Elektrikli otobüs A için şarj istasyonlarının örnek maliyet hesabı (18 saat aktif çalışma)	107
Şekil 6.8 : Elektrikli otobüs B için şarj istasyonlarının örnek maliyet hesabı (18saat aktif çalışma)	107

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA BATARYA VE ŞARJ İSTASYONU KONFIGÜRASYONLARININ İSTANBUL METROBÜS HATTI ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde kara taşıtları birçok alanda insanoğlu tarafından kullanılmaktadır. Öncelikle kişisel alanda kullanımı olan otomobiller dünyadaki en yüksek sayıdaki kara taşıtlarından bir tanesidir. Otomobillerin yanı sıra toplu taşımacılıkta otobüsler ve lojistik, taşımacılık gibi konularda ise tırlar kullanılmaktadır.

Dünyada çok sayıda aracın olması benzin, dizel ve mazot gibi fosil yakıtların kullanımını arttırmaktadır. Fosil yakıtların giderek artan kullanımıyla birlikte küresel ısınma, çevresel değişiklikler, hava kirlilikleri ve afetlerde paralel olarak artış olduğu görülmektedir. Bu noktada devletler yaşanan bu olaylar karşısında önlemler almaya çalışmaktadır.

Alınan önlemlerden bazıları otomotiv sektörünü de etkilemekte ve bu etkinin çok büyük olduğu görülmektedir. Otomotiv sektörünün sebep olduğu karbon ve zehirli gaz emisyonlarını sınırlamak adına yasa ve yönetmelikler çıkarılmaktadır. Otomotiv şirketleri de bu durum karşısında yeni aksiyonlar almakta ve elektrikli araç üretimlerini planlayarak gelecekte devlet yaptırımlarına maruz kalmamak için çalışmalar gerçekleştirmektedirler.

Elektrikli araç üretimi ve kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte araçların sebep olduğu hava kirliliğinin büyük ölçüde azalması beklenmektedir. Ancak yalnızca elektrikli araç kullanılarak hava kirliliğinin bitirilebileceği kanısına varılmamalıdır. Ayrıca elektrikli araçlarda kullanılan cihaz ve bileşenlerinde üretim aşamalarında çevresel ve geri dönüştürülebilir olması noktasında da adımlar atılmalıdır.

Elektrikli araçların artan kullanımı birçok yeni olanak ve teknolojik gelişmelere ortam hazırlayacaktır. Elektrikli araçların şarj edilmesi için şarj alt yapı sistemlerinin şehirlerde, otoyollarda giderek yaygınlaşması gerekmektedir. Bu noktada birçok otomotiv üreticisinin olduğu ülkelerde şarj sistemleri üzerine büyük yatırımlar devam etmekte ve yenileri planlanmaktadır.

Artan şarj istasyonları da elektrik şebekelerinin geliştirilmesine ve daha fazla enerji santrali ihtiyacının doğmasına sebep olacaktır. Özellikle elektrikli araçları şarj etmekte kullanılan enerjinin ne tür bir enerji santralinden sağlandığı elektrikli araçların sıfır emisyon olup olmayacağı noktasında önemli bir kriterdir.

Eğer şarj istasyonları yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjiyle beslenmezse bu noktada araçlarda kullanılan enerji yine fosil yakıtların kullanılmasıyla elde edilmiş olacaktır. İşte bu nedenle gelecekte üretilen enerjinin de yenilenebilir enerjiden sağlanması noktasında devletler planlar ve çalışmalar gerçekleştirmektedirler. Yenilenebilir enerji santrallerinin inşası için birçok teşvikte yine verilmektedir.

Farklı tiplerde elektrikli araçlar mevcut olup her birinin birbirinden ayrıldığı noktalar mevcuttur. Bu çalışmada özellikle batarya elektrikli araçlar üzerine araştırmalar yapılmıştır. Batarya elektrikli araçların diğer elektrikli araç tiplerinden ayıran en önemli özelliği yüksek gerilim bataryaları dışında başka bir enerji kaynağının olmamasıdır. Bu da batarya elektrikli araçların enerji tüketen sistem ve bileşenlerinin

var olan enerjiye bağılı olarak dengeli bir şekilde çalışma ihtiyacını zorunlu kılmaktadır.

Otomotiv sektöründe uzun yıllarca alçak gerilim bileşenleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilirken elektrikli araçlarla birlikte artık yüksek gerilim bileşenleride otomotiv sektörü için önemli bir hal almıştır.

Özellikle elektrikli araçlarda kullanılan yüksek gerilim bataryaları, elektrik motorları, konvertörler, inverterler ve koruma elemanları üzerine çok sayıda ArGe çalışmasının yanı sıra akademik makale ve tezler yazılmaktadır.

Yüksek geriliminde otomotiv sektöründe kullanımıyla birlikte elektrik mühendislerinin de farklı alanlarda bu konularda destek verme gerekliliğı doğmuştur. Örneğin yalıtım, koruma, güvenlik ve yapı konularında elektrik mühendisleri tarafından önemli araştırmalar yapılmaktadır.

Araçların sistem özellikleri de değişmiş olup yeni alt sistemler ortaya çıkmıştır. Önceden aracın hareket ve enerji mekanizması görevini içten yanmalı motor ve alçak gerilim bataryaları sağlarken. Elektrikli araçlarla birlikte bileşenler yerini elektrik motoru ve yüksek gerilim bataryalarına bırakmıştır. Bu bileşenlerinde kontrol edilmesini sağlayan sistemler geliştirilmiştir.

Elektrikli araçlarla birlikte enerji yönetim sistemleri daha da önem kazanmıştır. Çünkü bataryanın sağlayacağı sınırlı enerji karşısında araçta ki enerji tüketen sistemlerin belirli bir denge içerisinde yönetilmesi gerekmektedir. İşte bu noktada enerji yönetim sistemi adı verilen bir sistem sayesinde bu alt sistemlerin enerji ihtiyaçları belirlenerek sistem dengede tutulmaya çalışılmaktadır.

Elektrikli araçlar tüketiciler tarafından bazı noktalarda eleştirilmektedir. Araç üreticileri de tüketicilerden aldıkları geri bildirimler noktasında yeni yatırım ve araştırmalar yapmaktadırlar.

Elektrikli araçlar için şarj süreleri, alabilecekleri mesafe ve maliyet konuları önemli soru işareti barındıran konulardır. Ancak bu konularda zaman içerisinde hızla iyileştirmeler beklenmektedir.

Literatürde elektrikli araçlar üzerine farklı konularda yazılmış birçok makale bulunmaktadır. Bu çalışmadaysa literatürde yazılmış birçok konunun ana fikirleri bir araya getirilerek elektrikli araç teknolojisinin şuanda nerede olduğu, hangi konularda çalışmalar olduğu ve elektrikli araç kullanımının getireceğı ekonomik ve çevresel etkiler üzerine detaylı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte bir örnek üzerinden elektrikli araçlarla ilgili bazı hesaplamalar ve analizler gerçekleştirilmiştir. Bu örnekte elektrikli otobüsler tercih edilmiş olup bu noktada şarj sistemleri üzerine detaylı bir araştırma yapılmıştır.

Otomotiv sektöründe elektrikli araçlarla birlikte kullanımına başlanan bileşenler hakkında detaylı bilgi ve norm paylaşımları yapılmıştır. Yüksek gerilim bileşenlerinin kullanımıyla birlikte ne tür konularda geliştirmeye açık noktalar olabileceğı üzerine tahminler yapılmıştır. Bileşenlerin kendi aralarında ki ilişkiler yine bazı şematik gösterimlerle aktarılmıştır. Ayrıca yüksek gerilim bileşenlerinin fonksiyon ve çalışma prensipleri hakkında detaylı bir bilgi paylaşımı yapılmıştır.

Yüksek gerilim bileşenlerinin kullanımıyla birlikte bazı alt sistemler geliştirilmiştir. Bu alt sistemler sayesinde ilgili bileşenlerin kontrolleri ve çalışmaları güvence altına alınmıştır. Özellikle batarya elektrikli araçların tek enerji kaynağı olan yüksek gerilim bataryalarının izlenmesi ve kontrolüne ilişkin alt sistemler özelinde detaylı incelemeler

yapılmıştır. Alt sistemlerin birbiriyle olan iletişimlerini nasıl sağladıklarını ve hangi bilgilerin sistemler arasında paylaşıldığı anlatılmıştır.

Elektrikli otobüslerde batarya yerleşimleri, montaj alanları, şarj gereklilikleri ve şarj istasyonu boyutları derinlemesine araştırılmıştır. SOC ve SOE kavramlarının birbirinden farklı anlamlara sahip olduğu açıklanmış ve buna ilişkin örnek hesaplamalar yapılmıştır. Elektrikli otobüslerde ön plana çıkan pantograf şarj sistemlerinin fayda ve zararlarından bahsedilmiştir. Şarj istasyonu seçimi yapılırken ne tür parametrelerin dikkate alınması gerektiğiyle ilgili yine farklı bilgiler paylaşılmıştır. Ağır vasıta araçların şarj edilmesi noktasında farklı şarj sistemlerinden hangisinin daha avantajlı olabileceği ve bunun sebepleri anlatılmıştır. Şarj istasyonlarından depoda şarj veya durakta şarj opsiyonlarının hangi durumlar için uygun olup olmadığı anlatılmıştır.

Elektrikli otobüslerle ilgili olarak vaka çalışmasında İstanbul Metrobüs Hattı üzerinden SOE, SOC, yakıt maliyetleri, şarj istasyonları ve CO₂ salınımları ile ilgili bazı analizler yapılmış ve hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda şarj ihtiyaçları ve şarj istasyonlarıyla ilgili analizler yapılmıştır. Avcılar-Söğütlüçeşme metrobüs hattı ile ilgili bilgiler ışığında elektrikli otobüse ait verilerle birlikte bu hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca bir diesel otobüsün sürüş çevrimi verileri kullanılarak SOC değerlerini ve alınan mesafeleri otobüslerin spesifik parametrelerine bağlı olarak simülasyonu basitleştirilmiş bir şekilde Simulink'de gerçekleştirilmiştir. Araç modellemesi ve sürüş çevrimi modellenerek SOC, alınan mesafe, araç hızı, araç hızı ve sürüş çevrimi hız karşılaştırması grafikleri elde edilmiştir.

Tezin ilk bölümünde literatür çalışmaları detaylı olarak incelenmiş, karşılaştırılmış ve tezin yazılma amacı ortaya konmuştur. Tezin ikinci kısmında günümüzde üretilen elektrikli araç tipleri ve özellikleri anlatılmıştır. Tezin üçüncü kısmında elektrikli araçlarla birlikte otomotiv sektöründe önem kazanan bileşenlerin detaylı bir incelemesi yapılmış ve gelecekte hangi bileşenlerde değişikliklerin olacağıyla ilgili önemli bilgiler sunulmuştur. Tezin dördüncü kısmındaysa elektrikli araçlarla birlikte hangi sistemlerin oluşturulduğu ve hangilerinde yeni revizyonlar yapıldığı anlatılmıştır. Tezin beşinci kısmındaysa elektrikli otobüslerin şarj sistemlerine ilişkin bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Tezin altıncı kısmında vaka analizi yapılarak önceki bölümde bir örnek üzerinden aktarılan bilgiler daha geniş çizelge ve grafiklerle paylaşılmıştır. Tezin yedinci kısmında ise sonuç ve tartışma konuları ele alınmıştır.



INVESTIGATION OF BATTERY AND CHARGING STATION CONFIGURATIONS IN ELECTRIC VEHICLES OVER THE ISTANBUL METROBUS LINE

SUMMARY

Nowadays vehicles are used by mankind in numerous fields. Automobiles which are primarily used for personal need, are one of the highest numbers of vehicle in the world. In addition to automobiles, buses are widely used in public transportation and trucks are used in logistics, transportation etc.

The fact that there are many vehicles in the world increases the use of fossil fuels such as gasoline, diesel and diesel oil. Along with the increasing use of fossil fuels, it is seen that there is also an increase in the global warming, environmental changes, air pollution and disasters. At this point, states are trying to take measures against that kind of incidents.

Some of the taken measures are affecting the automotive industry and these effects are seen to be very large. Laws and regulations are enacted to limit carbon and toxic gas emissions caused by the automotive industry. Automotive companies take new actions against these new requirements and they are planning the future concept of electric vehicle production in this way to avoid being exposed to government acts in the future.

Along with the widespread use of electric vehicles, it is expected that the air pollution caused by vehicles will decrease to a great extent. However, it should not be concluded that air pollution will be eliminated by using only electric vehicles. In addition, that other steps should be taken to ensure that the devices and components used in electric vehicles are environmentally and recyclable in the production stages.

The increasing use of electric vehicles will pave the way for many opportunities and technological innovations. In order to charge electric vehicles, charging infrastructure systems should become increasingly common in cities and highways. At this point, in countries where there are many automotive manufacturers, massive investments on charging systems continue and new ones are planned.

Increasing charging stations will lead to the development of electric networks and the need for more power plants. In particular, the type of power plant used to supply energy to charge electric vehicles is an important criterion in terms of whether electric vehicles will be zero emission.

If the energy is not produced by renewable energy sources to supply energy to charging stations, the energy used in the vehicles will still be obtained by using fossil fuels. Therefore, states are planning new renewable power plants to provide clean energy. Many incentives are also given for the construction of renewable power plants.

There are different types of electric vehicles and there are points where each one differs from each other. In this study, researchs were carried out especially on battery electric vehicles. The most important feature that distinguishes battery electric vehicles from other electric vehicle types is that they don't have any other energy source other than high voltage batteries. That's why energy consuming systems and components of battery electric vehicles should work in balance according to available energy.

While studies have been carried out on low voltage components in the automotive sector for many years, high voltage components have now become important for the automotive sector, along with electric vehicles.

In addition to many R&D studies, academic articles and thesis are written, especially on high voltage batteries, electric motors, converters, inverters and protection elements used in electric vehicles.

The use of high voltage in the automotive industry conduce to need for electrical engineers to support these issues in different fields has arisen. For example, important researches are carried out on insulation, protection, safety and construction by electrical engineers.

The system features of the vehicles have also changed and new subsystems have emerged. Previously, the internal combustion engine and low voltage batteries ensure the vehicle's motion and energy mechanism. These components have been replaced by electric motors and high voltage batteries with the electric vehicles. Systems have been developed to control high voltage components.

Energy management systems have gained even more importance with electric vehicles. Because the energy consuming systems in the vehicle must be managed in a certain balance in the face of the limited energy provided by the battery. At this point, by help of a system called the energy management system, the energy needs of these subsystems are determined and the system is tried to be kept in balance.

Electric vehicles are criticized by consumers at some points. Vehicle manufacturers are making new investments and researches at the point of feedbacks from consumers.

Charging times, price and range topics are main issues of electric vehicles which should be improved. There are big expectations regarding with that issues from automobile manufacturers.

There are many articles about electric vehicles written on different topics in the literature. In this study, the main ideas of many topics written in the literature were brought together and it was written on where the electric vehicle technology is now and on which subjects there are studies and the economic and environmental effects of the use of electric vehicles. Also some calculations and analyzes are carried out related with electric vehicles on an example. In that particular example, electric buses have been preferred and detailed researches have been made about charging systems.

Detailed information and norms were shared about the components that started to use with electric vehicles in the automotive sector. Some estimations were made about the usage of high voltage component developments. The relations among the components are also explained with some schematic representations. Also further information was shared about the functions and working principles of high voltage components.

Some subsystems have been developed with the usage of high voltage components. The control and operations of the relevant components are secured with those subsystems. High voltage batteries are the only energy sources of battery electric vehicles that is why many researches were made on subsystems about the monitoring and controlling of high voltage batteries. It is also explained how the subsystems communicate with each other and what kind of information are sent between the subsystems.

Battery layouts, battery mounting areas, charging requirements and charging station power sizes have been investigated deeply in electric buses. Main differences of SOC

and SOE concepts are separated from each other and sample calculations were made about those concepts. Pantograph charging systems which are used for electric bus charging, are analyzed according to their cons and pros. What kind of parameters should be taken into account when choosing a charging station is also explained, and details are given. Charging concepts of heavy duty vehicles are explained with their advantages and disadvantages. It has been also explained in which situations depot charging or fast charging are suitable for the charging of buses.

In the case study of electric buses, some analyzes and calculations were made regarding with SOC, SOE, fuel costs, charging stations and CO₂ emissions over the Istanbul Metrobus Line. In this context, some analyzes have been made about charging needs and charging stations. Calculations were made together with the data of the electric bus in the light of information about the Avcilar-Sogutluceme Metrobus Line. In addition, that SOC values and driving cycle of buses were simulated simply in Simulink according to specific parameters of buses with the help of diesel bus drive cycle data. Vehicle modelling and drive cycles were taking into account to get SOC, distance, vehicle speed and comparison of vehicle speed and drive cycle speed graphics.

In the first part of the thesis, literature studies were examined and compared in detail and the purpose of writing the thesis was revealed. In the second part of the thesis, the types of electric vehicles produced today and their features are explained. In the third part of the thesis, a detailed examination of the components that have gained importance in the automotive sector along with electric vehicles has been made and important information about which components will change in the future is presented. In the fourth part of the thesis, it is explained which systems have been created with electric vehicles and which new revisions have been made. In the fifth part of the thesis, a case study was carried out about charging systems with electric buses. In the sixth part of the thesis, a case analysis was made and the information conveyed through an example in previous part was shared with extended charts and graphics. In the seventh part of the thesis, the conclusion and discussion sections are written.



1. GİRİŞ

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler birçok bilim alanında yeni buluşlara ve insanlığın yararına yönelik çalışmalara olanak tanımaktadır. Teknolojik gelişmeler gelecekte yaşanabilecek bazı sorunların azaltılmasında önemli bir faktöre sahip olacaktır. Dünya'daki bu gelişmelerin otomotiv gibi birçok endüstriyi etkilediği görülmektedir.

Otomobillerin insanla etkileşimi çok eski zamanlara dayanır. Bu tarihsel süreçte en önemli gelişme tekerleğin icadıyla başlamıştır. Böylece insan bir yükü bir yerden başka bir yere taşımak için tekerleğin gücünü kullanarak kas gücüne olan ihtiyacı ortadan kaldırmıştır. Tekerleğin icadıyla taşıma araçları zamanla teknolojik gelişmelerle birlikte günümüzde kullanmış olduğumuz duruma ulaşmıştır.

Fosil yakıtların kullanımının sanayi devrimiyle birlikte giderek artması küresel ısınmaya, iklim değişikliklerine ve hava kirliliğinin yaşanmasına neden olmuştur. Yaşanan bu olaylar insanlığın geleceğini tehdit etmekte ve yaşam kalitesini düşürmektedir. Nitekim fosil yakıtlardan örneğin benzin, mazot, motorin, LPG gibi yakıtların kullanıldığı içten yanmalı motora sahip trafik araçlarının artan kullanımı bu tür çevre olaylarının yaşanmasında büyük etkiye sahiptir. Araçlarda kullanılan bu fosil tabanlı yakıtlar egzoz gazı olarak atmosfere salınmaktadır. Salınan egzoz gazının içerisinde nitrojen (N_2), karbondioksit (CO_2), su buharı (H_2O), karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar, nitrojen oksitler (NO_x) gibi kısmen yanmamış yakıt ve bölekçikler (partiküller) içerisinde istenmeyen zararlı ve zehirli maddeler yer almaktadır.

Avrupa Birliği tarafından salınım (emisyon) değerlerini azaltmaya yönelik yönetmelikler çıkarılmaktadır. Bu standartlarla egzoz salınımlarının zamanla kademeli olarak azaltılması hedeflenmektedir. Bu kapsamda dizel salınımlarının azaltılması için hükümetlerden otomotiv üreticilerine baskı yapılmaktadır. Bu baskılar yönetmelik değişiklikleriyle gerçekleşir. Otomotiv sektöründeki tüzük ve yönetmeliklerin sürekli olarak çevresel faktörler gözetilerek düzenlenmesi otomotiv firmalarını araştırma ve

geliştirme (ArGe) üzerine yatırımlar yapmaya ve yeni çözümler geliştirmeye yöneltmiştir. Örneğin bu amaçla içten yanmalı motora sahip araçlarda egzoz gazı arındırma sistemleri (After Treatment System) geliştirilmiştir. Bu sistemler uzun yıllardır kullanılıyor olsa da hâlihazırda istenilen seviyelerde olmayıp bu sistemlerin daha da geliştirilmesi (daha az salınım) büyük bütçe ve harcamalar gerektirmektedir.

Günümüzde üretilen araçlar en az Euro 6 standartlarına uygun bir şekilde üretilmesi gerekmektedir. Avrupa Birliği'nde trafik taşıtlarının egzoz gazı salınım standartlarını belirleyen Euro 6'ya göre, dizel araçlarda benzinli araçlar kadar temiz hale getirilmesi gerekmektedir. 1 Eylül 2014 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren mevzuata göre, dizel araçların kilometre başına 80 mg'den fazla nitrojen oksit (NOx) salınımı yapmaması gerekmektedir. Kentlerdeki hava kalitesini iyileştirmek için 2025 yılından itibaren Euro 7 standardının uygulamaya konulması düşünülmekte olup mevcut salınım miktarlarının daha da düşürülmesi açısından otomotiv firmaları daha da baskı altında olacaklardır.

Karayolu taşımacılığındaki yukarıda ifade edilen standart ve yeni yönetmelikler otomotiv üreticilerinin daha farklı yakıt türlerine yönelmelerine yol açmıştır. Elektrikli ve hibrit araçlar bu noktada popülaritesini arttırmakta ve her geçen gün daha da benimsenmektedir. Elektrikli ve hibrit araçlarda enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar yerine elektrik enerjisi, hidrojen enerjisi veya geri dönüşümü yapılabilir besinsel yakıtlar kullanılmaktadır. Bu noktada performans ve verim açısından günümüzde en yaygın kullanım elektrikli araçlardır. Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı araç sayısı sınırlı olup bu teknoloji üzerine büyük yatırımlar ve araştırmalar yapılmaktadır. Bu sayede fosil yakıtlara olan bağımlılık azaltılacak ve yönetmeliklerin zorladığı emisyon oranları çok rahat uygulanabilir olacaktır.

Elektrikli araçlar herhangi bir egzoz salınımı yapmamakla birlikte elektrik enerjisinin elde edilme yöntemine bağlı olarak karbon salınımına katkıları vardır. Öte yandan bilindiği üzere elektrik enerjisi farklı yöntemlerle elde edilmektedir. Elektrikli araçlar için gerekli olan elektrik enerjisi rüzgâr, güneş, jeotermal, hidrolik veya biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilirse elektrikli araçların salınım değerleri sıfıra düşürülebilme potansiyeline sahiptir.

Elektrikli araçlar yüksek gerilim bataryaları kullanarak elektrik motorlarına enerji aktarımı sağlar. Elektrikli araçlardaki enerji dönüşümü içten yanmalı motora sahip araçlara göre çok daha verimli olabilmektedir.

Teknolojik gelişmeler elektrikli araçlardaki önemli bileşenlerin gün geçtikçe ucuzlamasına ve daha yüksek verime sahip olmalarına imkân tanımaktadır. Elektrikli araçların geliştirilmeye başlanmasıyla birlikte yüksek gerilim bataryaları, elektrik motorları, evirici (inverter) ve çevirici (konverter) gibi elektrik enerjisiyle çalışan bileşenlerin otomotiv sektöründe kullanımı da artırmıştır.

Geleneksel (konvansiyonel) olarak adlandırılan içten yanmalı motora sahip araçlarda standart olarak 12V, 24V veya 48V gerilim seviyesinde cihaz ve donanımlar (ekipmanlar) kullanılırken, elektrikli araçlarda 800 – 1000 volt gibi daha yüksek gerilimlere sahip bileşenlerin kullanımı artmıştır. Yüksek seviyeli gerilim ise ek güvenlik uygulamalarının ihtiyacını beraberinde getirmiştir.

Geleneksel araçların çevreye verdiği zararlar ve gelecekte çevreyi koruyan kanunların otomotiv üreticilerine getireceği zorluklarda göz önüne alınarak tezde elektrikli otobüs kullanımına ilişkin bir vaka analizi gerçekleştirilmiştir. Vaka analizi İstanbul’da kullanımın en yaygın olduğu toplu taşıma araç sistemlerinden biri olan İstanbul Metrobüs hattı ele alınarak gerçekleştirilmiştir. İlgili vaka analizini gerçekleştirmek için Avcılar-Söğütlüçeşme hattı seçilmiştir. Seçim yapılırken belirli bir nokta dikkate alınmadan örnek bir analiz yapmak amaçlanmıştır.

Vaka analizi yapmak içinde bazı varsayımlar da bulunulmuştur. İlgili metrobüs hattında yer alan tüm geleneksel araçların elektrikli otobüslerle yer değiştireceği varsayılmış ve bunun üzerinden bazı analizler gerçekleştirilmiştir. Elektrikli otobüslerin genel parametreleri ve batarya özellikleri verilerek şarj sistemleri, SOC, SOE değerleri, maliyet hesaplamaları ve karbon salınımları analiz edilmiştir. Ayrıca sürüş çevrimleri ve araç modellemesiyle ilgilide basit bir Simulink modellemesi yapılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Yapılan bu çalışmada elektrikli araçların otomotiv sektöründe yarattığı etkiler ve değişimlerin irdelenmesi hedeflenmiştir. Otomotiv dünyasında hangi sistemlerin ve

bileşenlerin değişime uğradığı veya yenilerinin sektöre kazandırıldığıyla ilgili çalışmalar ortaya koymak istenmiştir.

Elektrikli araçlarla ilgili olarak genel bilgi ve birikim seviyesine ulaşmak için hangi konularda araştırma yapılabileceği noktasında bu çalışma yine önemli bir kaynak olması hedeflenmiştir.

Otomotiv sektöründe ne tür zorlukların yaşandığı veya ileride yaşanabileceği noktasında bazı noktaları aydınlatmak ve daha iyi tahminler yapılabilmesi adına yine birçok bilgi paylaşımı gerçekleştirilmiştir.

Elektrik mühendislerinin otomotiv sektöründe hangi konularda katkı sağlayabileceği noktasında yine bu çalışmada yer verilmiştir.

Elektrikli araçların gerçekten CO₂ salınımlarını azaltıp azaltmayacağıyla ilgili İstanbul Metrobüs Hatlarında geleneksel otobüslerin elektrikli otobüslerle değiştirilmesiyle birlikte CO₂ salınım değerleri karşılaştırması yapılarak literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Ayrıca İstanbul Metrobüs hatlarıyla ilgili olarak bazı şarj istasyonları öngörülmüş ve şarj istasyonları özelinde maliyet hesaplamaları yapılarak vaka analizi yapılmıştır.

Vaka analizinin bir diğer amacı da elektrikli araçlarda kullanılan elektrik enerji maliyetleriyle geleneksel araçlarda kullanılan yakıtların maliyetleri karşılaştırılarak aradaki farklar ile ilgili literatüre bir katkı sağlanmak istenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Jiwon Lee tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçların yaygınlaşmasının uluslararası çevresel düzenlemelerin güçlendirilmesi ve petrol kaynaklarının tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olduğundan öneminin arttığı belirtilmiştir [1]. Danhua Ouyang tarafından yapılan çalışmada Çin'de son birkaç yıldır güçlü teşvik politikalarıyla elektrikli araç pazarının geliştirilmesinin petrol tüketiminin ve sera gazı salınımlarının azaltılmasında önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır [2]. Ângelo Casaleiro tarafından yapılan çalışmada ise ulaşımda elektrikli araç kullanımıyla birlikte enerji sistemlerinin karbondan arındırılması, iklim değişikliği endişelerinin giderilmesi ve uluslararası CO₂ azaltılmasında önemli bir rol oynaması

beklenirken bunun yanında artan pik yük, şebeke ekipmanlarının aşırı yüklenmesi ve güç kalitesinin düşmesi gibi elektrik şebekelerinin işletiminde çeşitli zorlukların ortaya çıkabileceği belirtilmiştir [3].

Avrupa Birliği iklim üzerindeki etkiyi ve iklim değişikliklerini azaltmak için zararlı gaz salınımlarını (emisyonlarını) sınırlamayı ve azaltmayı planlamaktadır. Avrupa Birliğinin 2030 iklim ve enerjiyle ilgili hazırladıkları taslaktaki hedeflere göre salınımları 1990 yılına göre %55 oranında azaltmayı, enerji verimliliğini %32.5 ve yenilenebilir enerji payını %32 oranında arttırmayı amaçlamaktadır. Yine Avrupa birliğinin üyesi olan Almanya 2030 yılına kadar 10 milyon elektrikli araç ve 1 milyon şarj istasyonuna sahip olmayı planlamaktadır. Almanya bu kapsamda bazı adımlar atmış olup bu konuda Avrupa'daki en iyi elektrikli araç teşviklerini veren ülke konumundadır [4, 5].

Leou tarafından yapılan çalışmada toplu taşımada kullanılan elektrikli otobüslerin batarya kapasiteleri ve şarj güçlerinin otomobillere göre daha fazla olduğuna vurgu yapılmış ve elektrikli otobüsleri şarj etmek için elektrik şebekesinden daha yüksek enerji talebi olacağı çıkarımıyla birlikte şarj istasyonlarının kapasite ve şarj saatleriyle ilgili bir optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir [6].

Hjelkrem ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada batarya elektrikli otobüsler için bir enerji modellemesinin simülasyonu (benzetimi) yapılmış. Model oluşturulurken Çin ve Norveç'te kullanılan bazı elektrikli otobüs verilerinden yararlanılmıştır. Modelde ısıtma, soğutma ve havalandırmadan görevli klima sistemleri ve diğer yardımcı sistemlerinde modellemeleri yapılarak enerji tüketimiyle ilgili literatüre katkı yapılmıştır. Sonuç olarak da farklı güzergâhlarda ilgili modelin bir elektrikli otobüsün enerji tüketim tahminlerinin yapılması hedeflenmiştir [7].

Yi tarafından yazılan makalede batarya elektrikli otobüslerin çevreci ve ekonomik faydalarından dolayı birçok toplu taşıma şirketleri tarafından benimsendiğinden bahsedilmiş. Elektrikli otobüslerin sınırlı sürüş mesafeleri ve şarj için gerekli sürelerin uzunluğu gibi problemlerin nasıl aşılabileceğiyle ilgili bilgiler paylaşılmıştır. Uzun süren şarj sürelerinin önüne geçmek adına yüksek güçte hızlı şarj istasyonlarının kullanımıyla birlikte olabilecek kazanımlar ve yeni karşılaşılabilecek sorunlar üzerine detaylı bir çalışma gerçekleştirilmiştir [8].

Quiu ve Yu tarafından yapılan çalışmada batarya şarj durumu (SOC) ve şarj süreleri kısıtları dikkate alınarak elektrikli bir otobüsün tam şarjlı olarak tek bir rotada zaman planlaması yapılmış ve modelleme gerçekleştirilmiştir. Böylece bir elektrikli otobüsün işletmesiyle ilgili veri ve alan testleri üzerine literatüre bir katkı sağlanmıştır [9].

Elektrikli otobüsler için şarj istasyonlarıyla ilgili olarak karma şarj sistemleri, hızlı şarj sistemleri ve kablosuz şarj sistemleri de dahil olmak üzere dört farklı şarj sisteminin maliyet analizleri Lu ve arkadaşları tarafından matematiksel olarak modellenmiştir [10]. Matematiksel modelleme genetik algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda şehir içi elektrikli otobüslerin şarjında kablosuz şarj sistemlerinin faydalı olabileceği ifade edilirken şehir dışı uzun hatlarda daha yüksek güçte hızlı şarj sistemlerinin avantajlı olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Norveç'in Trondheim kentinde elektrikli ve hibrit otobüslerden oluşan bir şehir içi otobüs filosunun karbon ayak izleri üzerine Kristoffer ve arkadaşları tarafından bir durum analizi çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada otobüs üretiminde ve işletmesinde etkili olan parametrelerin ne olduğu ve bunların karbon ayak izini nasıl etkiledikleri araştırılmıştır [11].

Elektrikli araçlarda kullanılan bileşenler motor ve aktarım elemanlarından oluşan tahrik sistemi, elektrik motoruna giden batarya gücünün hız ve güç kontrol mekanizması, yüksek gerilim bataryaları, şarj bileşenleri, güç frenleri ve koruma sistemlerinden oluşur [12]. Örneğin Noor ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçların farklı alt sistemleri ve bileşenleri incelenmiştir [13]. Bu çalışmada bileşenler arasındaki etkileşim ve ilişkiler araştırılmıştır. Biczal ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada lityum demir fosfattan yapılmış hücrelere sahip bataryalardan hızla vazgeçilme eğilimi vardır [14]. Bu tür hücreler her ne kadar daha iyi elektriksel performansa ve güvenilirliğe sahip olsa da lityum nikel manganez kobalt oksit (NMC) hücrelere sahip bataryalar yavaş yavaş bu bataryaların yerini almaktadır. Bunun sebebi lityum demir fosfat bataryaların kütle büyüklüğüne göre daha az kapasiteye sahip olmasıdır.

Accardo ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada lityum nikel manganez kobalt oksit bataryalar, lityum nikel kobalt alüminyum oksit bataryalardan sonra en yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryalar olduğu belirtilmektedir [15]. Bu çalışmadan da

anlaşıldığı üzere günümüzde lityum nikel mangan kobalt oksit bataryalar elektrikli aletler, elektrikli bisikletler ve birçok elektrikli güç aktarma elemanı için tercih edilmektedir. Elektrikli araçlar piyasasına girdiğinden bu yana yayınlanan patentlerden de anlaşılabacağı üzere batarya araştırma ve yenilik arayışlarında lityum nikel mangan kobalt bataryalara olan eğilim son yıllarda artış göstermiştir.

Larminie ve Lowry tarafından yapılan çalışmada elektrikli araçların güç sistemlerinde kullanılan tüm bileşenlerin güvenlik açısından tamamen kapalı ve yalıtılmış olması gerekliliği vurgulanmıştır [16]. Yalıtım sistemi araçtaki teması karşı güvenliği sağlamaktadır. Bunun yanında elektrikli araç tasarımı aynı zamanda aracın ağırlık eniyilemesi (optimizasyonu) ve aerodinamik sürtünmeyi en aza indirmeyi içerecek şekilde planlanması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Santos ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada ele alınan elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye etkilerinin henüz çok endişe verici olmadığını ancak otomobil üreticilerinin orta vadede elektrikli araç hareketliliği konularında büyük yatırımlar yapması nedeniyle bu durumun değişeceğini ve elektrikli araç payında önemli bir artışa sebep olacağından bahsedilmiştir [17]. Ayrıca bu çalışmada Avrupa Komisyonu CO₂ salınımıyla ilgili kurallara uymayan otomotiv üreticilerine ağır cezaların uygulanmasının elektrikli araçların sayısında artışı hızlandıracağı belirtilmiştir.

Hirz ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada batarya değiştirme istasyonlarında şarjı bitmiş bataryaların araçtan alınıp tam şarjlı bir bataryayla değiştirilebileceğinin bir modeli ortaya konmuştur [18]. Bu çalışmada batarya değişiminin yalnızca birkaç dakika süreceği ve hemen ardından aracın sürüşe hazır olacağı ifade edilmiştir. Batarya değiştirme istasyonlarında boş batarya tekrar şarj edilebilir, kontrol edilebilir ve daha sonra bir başka araca yerleştirilmesinin mümkün olabileceği belirtilmiştir. Bu tür istasyonların kurulması zaman açısından çok çekici görünmektedir. Bu durumda bataryaların araca sabit olarak yerleştirilmesi fikrinin yanında diğer bir fikir olarak çıkarılabilir bataryaların olabileceği gösterilmiştir.

Longer Term Investments–Smart Mobility bildirisinde düzenlemelere ve yönetmeliklere ek olarak elektrikli araçların piyasaya hangi hızda sürüleceğine büyük ölçüde var olan batarya teknolojileri ve yeni batarya teknolojilerindeki gelişmelere

bağlı olacağı aktarılmıştır [19]. Yüksek gerilim bataryalarında enerji yoğunluğunu ve alınabilecek mesafe gibi konuların yanı sıra batarya fiyatları ve ağırlıklarının azalması tüketici taleplerinde önemli bir artış sağlaması için anahtar etken olduğu belirtilmiştir.

Traini ve diğerleri tarafından yapılan çalışma neticesinde batarya değişim istasyonlarının birincil faydasının yaygınlaşan elektrikli araç kullanımıyla birlikte artan elektrik enerjisi talebinin yönetilebilir olmasını sağladığı sonucuna varılmıştır [20]. Günümüzde birçok elektrik şebekesi enerji taleplerinin tepe yaptığı durumlarla ilgili yönetmekte zorluk yaşamaktadır. Örneğin yazın artan klima kullanımlarının sebep olduğu tepe enerji taleplerinin giderilmesi gibi durumlar bulunmaktadır. Buradan elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte şarj istasyonlarının sayısının artırılması durumunu ortaya çıkaracağı ve bu sebeple de elektrik şebekesinin gücünün artırılma ihtiyacı doğal olarak olacaktır.

Lian ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada güvenlik, enerji tasarrufu ve çevreyi koruma 21. yüzyılda otomotiv endüstrisi için üç ana gelişme konusu haline geldiği belirtilmiştir [21]. Bunun sonucunda artan salınım seviyeleri, azalan petrol kaynakları ve trafik kazalarındaki güvenlik kaygıları ana gündem konuları olduğu saptanmıştır. Yüksek güvenlik seviyeleri, düşük enerji tüketimleri ve sıfır salınım üstünlüğü ile elektrikli araçlar otomotiv üreticilerinin günümüz ve gelecekte araştırma ve geliştirme konuları olarak yer almasının beklendiği ifade edilmiştir.

Fischer tarafından yapılan çalışmada araçlarda kullanılan farklı gerilim seviyelerine sahip bileşenlerin birbirlerinden ayrı olarak bağımsız ve aynı anda çalışabilmeleri gerektiğine işaret edilmiştir [22]. Kablo ve kısa devre koruması sağlamak açısından farklı gerilim seviyeleri için standart sigortalama işlemleri kullanılmalıdır. Bu süreçler güvenlik sigortaları ve elektronik koruma cihazlarıyla sağlanabilir. Alçak ve yüksek gerilim arasında arıza oluşması durumunda koruma devrelerinin ve algılama sistemlerinin tasarımlarına dikkat edilmesi gerektiği ve gerekirse ek önlemler alınması gerektiği belirtilmiştir. Yine örneğin farklı alçak gerilim seviyeleri için galvanik olarak ayrılma tavsiye edilirken, yüksek ve alçak gerilimler arasında galvanik izalasyonun zorunlu olduğu belirtilmiştir. Kısa devre riskini yüksek oranda ortadan kaldırmak için az fiziksel temas noktası olması gerekir ve devrelerin konumsal olarak ayrılmasıyla maksimum koruma sağlanabilir.

Avrupa Komisyonunun yaptığı araştırmalara göre otomotiv sektörü sera gazları salınımının dörtte birinden sorumlu olup, 1990 yılından beri enerjiyle ilgili olan ve hala salınım oranlarının büyüdüğü tek sektördür [23]. Benzer şekilde otomotiv sektörünün çevreye yayd ğ  sera gazı salınımlarıyla ilgili vaka analizi yapılmış ve elektrikli araçların getireceğ  faydalar irdelenmiştir.





2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TİPLERİ VE KONFIGÜRASYONLARI

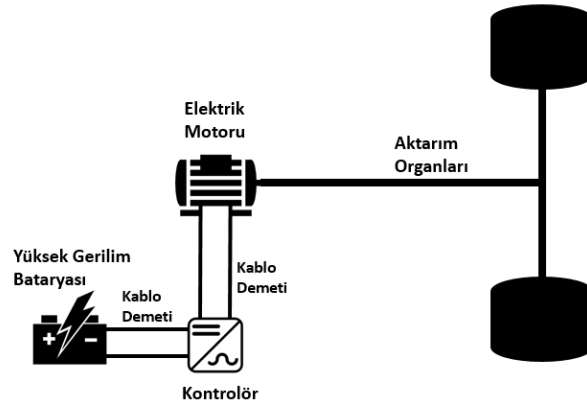
Elektrikli araçlar günümüzde henüz standart bir yapıya sahip değildir. Her bir otomotiv üreticisi birbirinden farklı teknolojik çalışmalara öncülük etmekte ve farklı tarzlarda araçlar üretmektedirler. Bu sebeple farklı müşteri isteklerine cevap verebilecek farklı elektrikli araç segmentleri ortaya çıkmaktadır. Günümüzde en yaygın olarak bataryalı elektrikli araçlar kullanılmaktadır. Bunun yanında hidrojenli elektrikli araçların da sürüş mesafesini artırma açısından gelecek vaat ettiği görülmektedir. Tüm bu elektrikli araç tiplerinde elektrik enerjisine olan talebin arttığı ve içten yanmalı araçlarda olduğu gibi bir fosil yakıtı ihtiyaç duyulmamaktadır.

2.1 Batarya Elektrikli Araçlar

Batarya elektrikli araçlarda (BEV) enerji yalnızca yüksek gerilim bataryalarından sağlanır. Enerji kaynağının yalnızca batarya olması sebebiyle, bu araçlarda ArGe yatırımı daha çok bataryalar üzerine yapılmaktadır. Geleneksel araçlarla alınan mesafelerin elektrikli araçlara oranla daha fazladır ancak son zamanlarda üretilen elektrikli araçlarda artık bu durum değişmeye başlamıştır.

Batarya elektrikli araçlarda bulunan ana bileşenler elektrik enerjisinin depolandığı yüksek gerilim bataryaları, elektrik motoru ve kontrol mekanizmasından oluşur. Şekil 2.1’de batarya elektrikli araç konfigürasyonu gösterilmiştir.

Araçtaki yüksek gerilim bataryaları araç üzerinde yer alan şarj enerji ünitesiyle birlikte elektrik şebekesine bir kablo ve soket aracılığıyla bağlanarak tekrar şarj edilebilir. Kontrolör normalde motora sağlanan gücü kontrol eder ve dolayısıyla aracın hızlanması ve yavaşlamasında görev alır. Ayrıca rejeneratif frenlemeyle birlikte enerji kazanımı gerçekleştirilir.



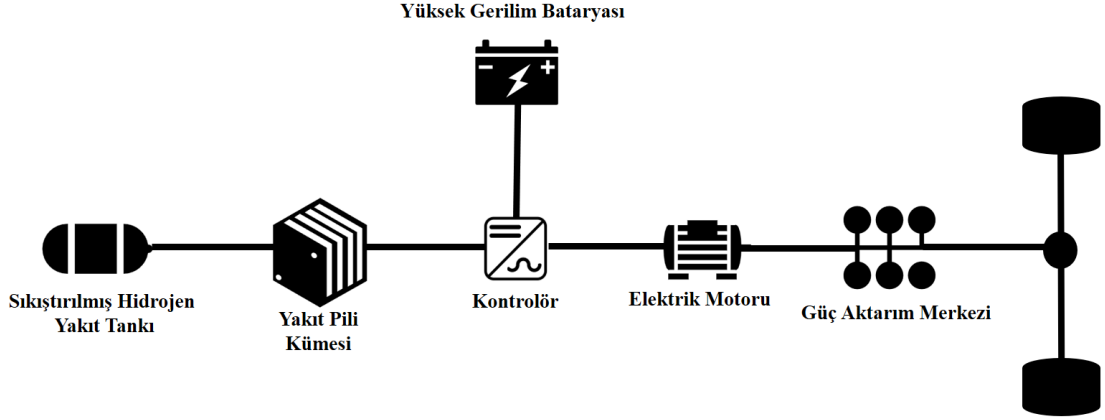
Şekil 2.1 : Batarya elektrikli araç konfigürasyonu.

Bu da araçta olan elektrik motorunun generatör olarak çalışmasıyla mümkündür. Elektrik motoru bataryadan aldığı elektrik enerjisiyle birlikte aktarma organlarına hareket enerjisini transfer eder ve araç harekete geçer. Kontrolör sayesinde moment, hız ve enerji gibi bileşenler doğru değerlerle elektrik motoruna aktarılır ve sürücü tarafından istenen karakteristikte çalışma gerçekleşir.

Elektrikli araçlarda bataryadan gelen enerjiyi farklı gerilim seviyelerine ve fazlara çeviren inverter ve konvertörlerde yer alır. Bu bileşenlerde batarya gerilimi elektrik motorlarında kullanılmak üzere 3 faza çevirebilirken, aynı zamanda bataryada depolanan yüksek gerilimi elektrik kontrol ünitelerinin gerilim seviyesi olan 12V, 24V veya 48V'a çevirebilmektedirler.

2.2 Hidrojen Yakıtlı Elektrikli Araçlar

Hidrojen yakıtlı elektrikli araçların temel çalışma prensibi bataryalı elektrikli araçlarla hemen hemen aynıdır. Hidrojen yakıtlı araçlar yüksek gerilim bataryalarının yerini alan yakıt hücreleri veya bataryalarla birlikte çalışan yakıt hücrelerinden oluşur. Yakıt hücreleri sıvı-gaz halde depolanmış hidrojenle çalışırlar. Şekil 2.2'de hidrojen yakıtlı elektrikli araç konfigürasyonu gösterilmiştir.

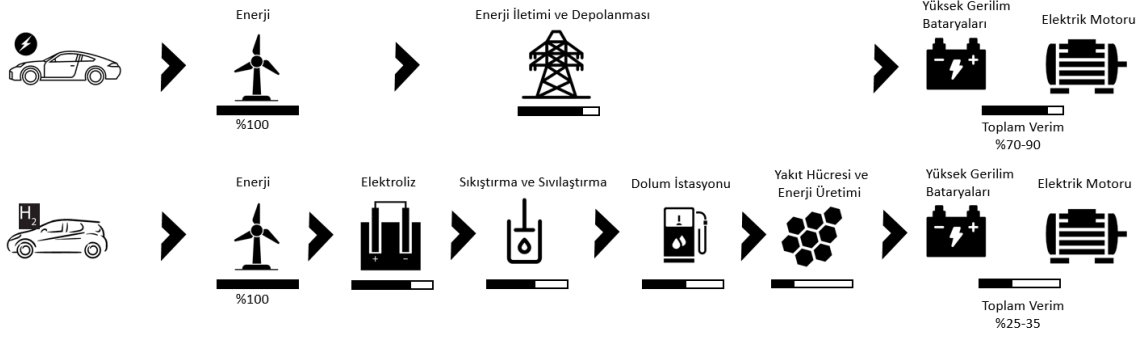


Şekil 2.2 : Hidrojen yakıtlı elektrikli araç konfigürasyonu

Hidrojen yakıtlı elektrikli araçların en önemli avantajı yakıt deposunun geleneksel (içten yanmalı) araçlarda olduğu gibi hızlı bir şekilde doldurulabilmesidir. Öte yandan hidrojen yakıtlı elektrikli araçların en büyük dezavantajı ise hidrojenin araçta depolanmasında yaşanan zorluklardır. Batarya ve hidrojen yakıtlı elektrikli araçların her ikisi de hareket için elektrik enerjisini kullanırlar. Batarya elektrikli araçlarda elektrik akımı doğrudan batarya grubundan sağlanırken, hidrojen yakıtlı araçlarda hidrojen sıvı-gaz halde depo edilir ve elektrik enerjisi yakıt hücrelerinde gerçekleşen kimyasal tepkimeler sonucunda elde edilir.

Bataryalı elektrik araçlarında enerji kayıpları aracın verimini etkileyen bir etkidir. Örneğin, bataryalı elektrik araçlarda aktarılan enerjinin bir bölümü iletim ve depolama işlemleri sırasında kaybolur. Bir diğer kayıp ise bataryadan aktarma organlarına ve elektrik motoruna aktarılan enerji sırasında gerçekleşir. Yapılan çalışmalar bu kayıplar sonucunda batarya elektrikli araçların veriminin %73-90 arasında olduğunu göstermektedir [24].

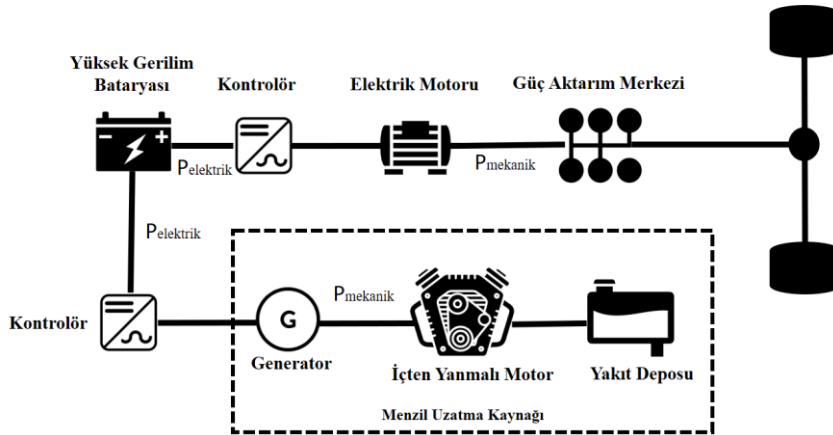
Hidrojen yakıtlı elektrikli araçlarda elektroliz yöntemleriyle üretilen hidrojenin yarısına yakınının kullanılabilir hidrojen olarak elde edildiği bilinmektedir [25]. Yakıt hücrelerinde hidrojenin elektrik enerjisine dönüşümü günümüz teknolojileriyle istenilen seviyede değildir. Bu nedenle hidrojen yakıtlı araçlarda verim % 25-35 arasında kabul edilir. Ancak çok hızlı yakıt ikmali yapılabildiğinden gelecekte özellikle taşımacılık ve lojistik gibi konularda kullanılan kamyon ve otobüslerde kullanılacağı ön görülmektedir. Şekil 2.3’de elektrik bataryalı araç ve hidrojen yakıtlı araçta gerçekleşen enerji transferleri ve verimlilik karşılaştırmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Batarya elektrikli araç ve Hidrojen yakıtlı elektrikli araç verim karşılaştırması [25]

2.3 Hibrit Araçlar

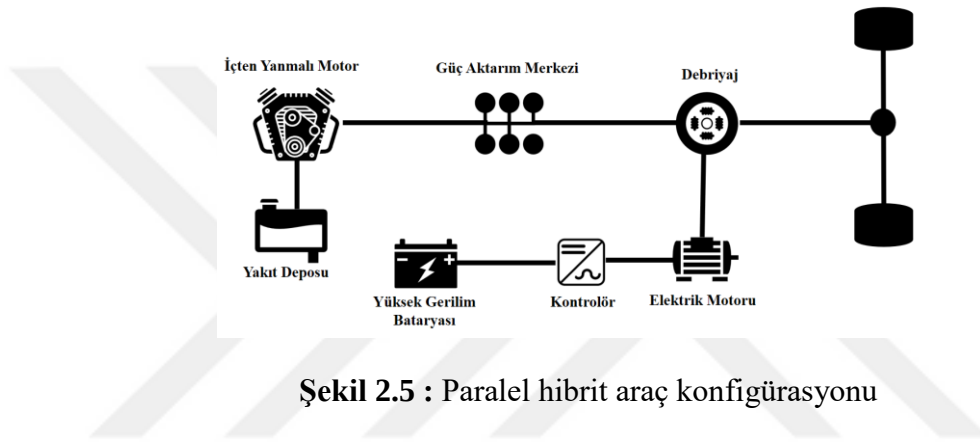
Hibrit araçlar ikiden daha fazla güç kaynağına sahiptir. Hem içten yanmalı motora ve hem de elektrik motoruna sahip olanlar en yaygın hibrit araç tipidir. Hibrit araçlar genel anlamda seri ve paralel hibrit araçlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Seri hibrit araç denmesinin sebebi motor ve enerji kaynaklarının gücü aktarmak için birbirlerine seri olarak bağlanmasına dayanır. Seri hibrit elektrikli araçlar genelde özel uygulamalarda kullanılır. Örneğin arazi araçlarında her bir tekerleği ayrı ayrı kontrol edilen elektrik motorlarına sahiptirler. Şekil 2.4’de seri hibrit araca ait örnek konfigürasyon gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Seri hibrit araç konfigürasyonu

Seri hibrit araçlarda yüksek gerilim bataryasından veya içten yanmalı motorun tahrik ettiği generatör tarafından beslenen bir veya birden fazla elektrik motoru vardır. Aracın hareket etmesinde yalnızca elektrik motoru görevli olup içten yanmalı motorun doğrudan aktarma organlarıyla bir bağlantısı yoktur. Seri hibrit araçlarda generatör, içten yanmalı motor ve elektrik motorunun bir arada bulunması araç üretim fiyatlarını yükselttiği için aleyhte (dezavantaj) bir durum oluşturur.

Paralel hibrit araçlarda tekerleklerle doğrudan giden bir şanzıman sistemi içten yanmalı motor ve bir veya birden fazla elektrik motoru tarafından tahrik edilir. Şekil 2.5’de paralel hibrit bir aracın örnek konfigürasyonu görülmektedir.



Şekil 2.5 : Paralel hibrit araç konfigürasyonu

Paralel hibrit araçların farklı kullanım modları vardır. Bu çalışma modlarından bir tanesi şehir içi salınımın azaltılması için yüksek gerilim bataryasının sağladığı enerjiyle seyahat edilebilirken, uzun yollarda (şehir dışı kullanımlarda) yalnızca içten yanmalı motorla seyahat etme imkanı tanınmaktadır. Paralel hibrit araçlar hem elektrik hem içten yanmalı motorun kullanımıyla birlikte verimliliğin eniyilemesine olanak sağlar. Paralel hibrit araçların bir diğer konfigürasyonundaysa araçta kullanılan gücün yarısının içten yanmalı motordan diğer yarısının da yüksek gerilim bataryasının sürdüğü elektrik motorundan sağlandığı türdür. Burada bataryaları içten yanmalı motorun generatöründen sağlanan enerjiyle şarj etmek mümkündür. Paralel hibrit araçları karakterize etmek amacıyla hibritleştirme derecesi olarak adlandırılan bir değişken tanımlanır. Hibritleştirme derecesi H_R , elektrik motorunun gücü P_E ve içten yanmalı motorun gücü P_I olmak üzere aşağıdaki formül yazılabilir.

$$H_R = \frac{P_E}{P_E + P_I} \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1'den de anlaşılacağı üzere hibritleştirme derecesi ne kadar büyük olursa o derece daha küçük bir içten yanmalı motora ihtiyaç duyulur. Ayrıca, hibritleştirme derecesinin büyük olması aracın kullanım süresi boyunca daha fazla eniyilenmiş verimlilikle çalışmasına olanak sağlanacağı anlamına gelir.

Hibrit elektrik araçların seri ve paralel tiplerinin her ikisinde de yüksek gerilim bataryaları motor tarafından şarj edilebilir. Yani elektrik motoru aynı zamanda generatör olarak da çalışır. Bu sebeple hibrit elektrikli araçlarda yüksek gerilim batarya gruplarının sadece bataryalı elektrikli araçlardaki kadar büyük kapasiteli olmaları gerekmez. Her iki hibrit araç tipinde de tahrik motorunun generatör olarak çalışması aracın yavaşlatılma anında yani frenleme esnasında şarj edilmesi rejeneratif frenlemeyle gerçekleşir.

Hibrit araçlarda yakıt eniyilemesi motor torku ve hızını ayarlayabilen modern kontrol teknikleri kullanılarak sağlanır. Yakıt eniyilemesi aynı zamanda salınım değerlerini geleneksel içten yanmalı motora sahip araçlara göre çok daha fazla miktarda düşürmüş olur. Hibrit araçlarında yer alan ek bileşenler bu araçların geleneksel içten yanmalı motora sahip araçlara göre fiyatlarını artırmaktadır.

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ BİLEŞENLERİ

Elektrikli araçlarda yüksek gerilim bataryaları, motor tahrik sistemi (elektrik motoru), güç ve hız kontrol mekanizması, şarj mekanizması, güç frenleri ve koruma sistemleri gibi bileşenler bulunur.

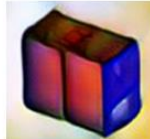
3.1 Yüksek Gerilim Bataryaları

Elektrik araçlarda yüksek gerilim bataryaları elektrik enerjisini kimyasal formda depolayan ana bileşendir. Bataryalar elektrik araçların tek enerji kaynağıdır. Otomotiv sektöründe farklı batarya tipi ve teknolojileri mevcuttur. Her batarya tipinin farklı üstün ve üstün olmayan özellikleri vardır. Elektrikli ve hibrit araçların tiplerine bağlı olarak farklı batarya karakteristikleri mevcuttur. Bataryaların karakteristiklerine göre ne kadar enerji depolanabileceği, depolanan enerjinin ne kadar hızlı aktarılabilceği ve araç için ne kadar enerjinin anlık güç olarak verilebileceği belirlenir.

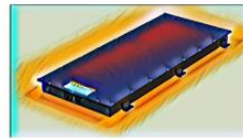
Bataryalarda gerilim seviyelerini istenilen düzeyde tutmak için bataryaların en küçük birimi olan hücreler bir araya getirilir. Batarya hücreleri seri ve paralel bağlanarak batarya kipleri (modüller) oluşturulur. Batarya kipleri birleştirilerek yüksek gerilim batarya toplulukları (grupları) oluşturulur. Batarya toplulukları da seri bağlanarak yüksek batarya kümelerini (cluster) oluştururlar. Bataryaları kontrol etmek için kontrol ünitelerine ihtiyaç duyulur. Şekil 3.1’de yüksek gerilim bataryalarının yapı taşları gösterilmiştir.



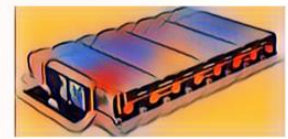
Hücre



Modül



Batarya Grubu



Batarya Kümesi

Şekil 3.1 : Yüksek gerilim bataryalarının yapı taşları.

Her batarya kipi (modül) yüksek gerilim batarya topluluğunun batarya yönetimiyle iletişim kuran bir hücre denetim devresi tarafından kontrol edilir. Batarya yönetim sistemi olarak (Battery management system – BMS) bilinen bu mekanizma üst bir sistem olup araç ve batarya arasındaki arayüz görevini üstlenir.

Elektrikli araçların bataryalarında yaygın olarak kullanılan üç farklı batarya hücresi mevcuttur. Batarya hücrelerinin elektrikli araçlarda kullanım kriterleri vardır. Şekil 3.2’de batarya silindirik, prizmatik ve paket hücre tipleri gösterilmiştir. En yaygın hücre türü silindirik hücrelerdir. Silindirik hücrelerin üretiminin ucuz olması, kararlı olması, kullanımının güvenli olması ve çeşitli endüstrilerde tek tip olarak uygulanabilir olması yaygın olmalarında etkindir. Ayrıca silindirik hücrelerin ısı (termal) yönetimleri kolaydır [26].



Şekil 3.2 : Yüksek gerilim batarya hücre tipleri.

Prizmatik hücreler silindirik hücrelere göre daha ince ve hafiftirler. Dikdörtgen alüminyum çelik kasaya sahip olmaları dış etkenlere karşı dirençli ve kararlı olmalarına olanak sağlar. Dış etkenlere fazla maruz kalmadıkları için daha uzun ömürlüdürler. Bu hücreler tek tip standart bir tasarımda üretilmedikleri için üretim maliyetleri yüksektir. Prizmatik hücrelerin değişken şekil ve boyutlarda olması oldukça fazla tasarım esnekliği sağlar. Ancak batarya paketinde bulunan herhangi bir hücrede sorun çıkması halinde bu sorunun tüm paketi etkilemesi söz konusudur. Prizmatik hücrelerin ısı yönetimini zorlaştıran bu durum silindirik hücrelerde daha az görülür. Paket hücreler prizmatik hücrelerin tersine yumuşak ve hafif bir polimer alüminyum plastik film veya kabuk içerisine yerleştirilmiştir. Bir paket hücrede sorun olduğunda pakette ısıyla birlikte yalnızca biraz genişleme olur. Bu durum sert alüminyum kasaya sahip prizmatik hücrelerde (bulundukları hacimlerinde esneme payı olmadığı için) meydana gelmesi halinde patlama olabilir. Paket hücreleri, hafif

bir şekilde paketlenabiliyor olmaları (ambalajlanması), güvenilirlikleri, küçük boyutlarda ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları sebebiyle otomotiv endüstrisi kullanımına uygundur.

Yüksek gerilim bataryalar farklı bileşen ve elementlerle bir araya getirilerek çeşitli kimyasal yapılarda üretilirler. Farklı yüksek gerilim batarya tiplerinin olması araç uygulamalarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu sebeple tezde farklı yapılarda yüksek gerilim bataryaları incelenmiş ve bunların avantaj ve dezavantajlı oldukları noktalar belirtilmiştir. Bu bataryaları daha iyi anlamak için bazı terim ve terminolojilerin bilinmesi önemlidir.

Batarya kimyasında redoks, atomların oksidasyon durumlarının değiştiği bir tür kimyasal reaksiyona verilen isimdir. Redoks reaksiyonları kimyasal türler arasında elektronların fiili veya biçimsel aktarımıyla ifade edilir. Oksidasyon tepkimesiyle birlikte bir atom veya molekülden elektronlar ayrılır. Elektronunu dışarıya veren atom veya molekül indirgen olarak adlandırılır. Elektronu alan atom veya molekül ise yükseltgen olarak adlandırılır. Kısacası oksidasyon dendiğinde bir maddenin elektron kaybettiği anlaşılırken redüksiyon tepkimesi dendiğinde elektron alındığı anlaşılır. Her iki tepkimenin gerçekleşmesine redoks tepkimeleri adı verilir. Redoks potansiyeli, indirgenmiş şekilde bulunan herhangi bir maddenin standart şartlarda hidrojene göre elektron çekimini ölçen bir elektrokimyasal ölçüye verilen addır.

Pozitif elektrotların anlamı negatif elektrotlardan daha yüksek redoks potansiyeline sahip bir elektrotu ifade eder ve elektronlar dış devreye deşarj sırasında giriş yaparlar. Deşarj işlemi sırasında indirgenme reaksiyonu gerçekleşmesi sebebiyle pozitif elektrotlara katot ismi de verilebilir. Şarj işlemi sırasında anot olarak adlandırılırlar ve bir oksidasyon reaksiyonu bu gerçekleşir. Negatif elektrotlar, pozitif elektrotlar daha düşük redoks potansiyeline sahip bir elektrotu ifade eder ve elektronlar dış bir devre yardımıyla deşarj işlemi sırasında ayrılırlar. Deşarj sırasında oksidasyon tepkimeleri gerçekleştiğinden negatif elektrotlara anotta denilebilir. Şarj sırasında redüksiyon tepkimesi meydana gelir ve katot ismini alırlar.

Elektrikli araçlarda bataryalar şarj olurken, bir dış devre yoluyla elektronların pozitif elektrottan negatif elektrota taşındığı süreç ifade edilir. Şarj sürecinde pozitif elektrot

yükseltgenir, negatif elektrot ise indirgenir ve elektrik enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülerek bataryalarda depo edilir.

Bataryaların deşarj sürecindeyse elektronlar negatif elektrot tarafından serbest bırakılır ve dış devre yoluyla pozitif elektrotta doğru hareket ederler. Negatif elektrot yükseltgenirken, pozitif elektrot indirgenir ve kimyasal enerji elektrik enerjisine dönüştürülür.

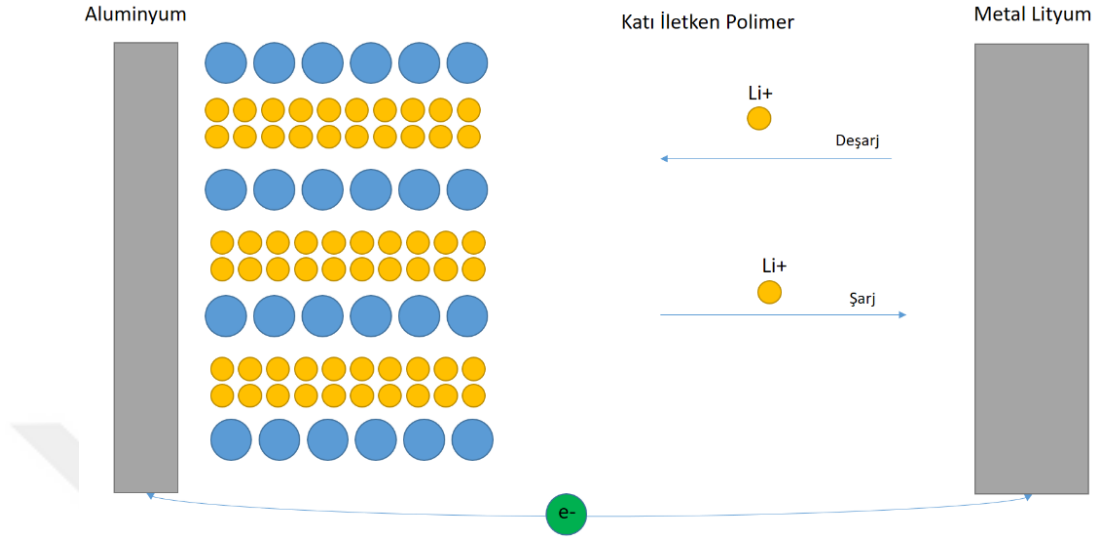
3.1.1 Lityum Metal Bataryalar

Bataryalarda kimyasal reaksiyon vasıtasıyla kimyasal formda olan enerji elektrik formuna dönüştürülür. Elektrokimyasal şarj ve deşarj reaksiyonları pozitif elektrot yani katot ile negatif elektrot olan anot arasında gerçekleşir. Elektrotlar katı bir polimer ile birbirlerinden fiziksel olarak ayrılırlar ve metalik lityum elementlerinin bir araya gelmesiyle hücre yapıları oluşturulur. Hücrelerin ve elementlerin bir araya getirilmesiyle de kipler (modüller) oluşturulur. Batarya sistemleri çok sayıda hücre veya kipin ısı yönetim ve kontrol sistemleriyle birleştirilmesi ile oluşturulur.

Lityum metal bataryalar diğer katı hal bataryalarında olduğu gibi jel veya sıvı malzeme içermezler bu nedenle sızıntı ve yanma gibi durumlar meydana gelmez. Bu da bataryaların güvenilir olmasını sağlar. Yüksek enerji yoğunluğu, ek bir soğutma gereksinimi olmaması, geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilme, yüksek geri dönüştürülebilir (recyclable) olması gibi özellikleri sebebiyle bu bataryalar günümüz otomotiv üreticileri tarafından tercih edilmektedir. Bataryalarda yüksek enerji yoğunluğu lityum metal teknolojisi sayesinde gerçekleştirilir [27]. Katı elektrolit kullanımıyla birlikte hem güvenlik hem yüksek sıcaklık aralıklarında bataryaların çalışmasına olanak sağlanır. Toksik malzemelerin yani nikel, kobalt gibi malzemelerin kullanılmamasından dolayı geri dönüşüme uygun bataryalardır. Bataryaların ömürleri kullanım alanlarına bağlı olarak değişse de yaklaşık 4000 kez şarj olabilme kapasitesine sahiptirler.

Anotsuz batarya hücrelerinde deşarj sırasında katotta lityum iyonlar toplanır ve hücrenin en sonunda yer alan bakır veya alüminyum kolektörlere doğru hareket ederler. Bu sırada akım oluşur. Şekil 3.3’de lityum metal bataryalarda şarj ve deşarj tepkimeleri gösterilmiştir. Anotsuz hücre kavramının en büyük faydalarından birisi batarya hücrelerinin kompakt boyutlarıdır. Bataryada lityum metal birikmesi olması

durumunda bataryanın yanma riski vardır. Lityum metal batarya hücrelerinin çevrim ömürlerini artıracak yöntemler geliştirilmeye devam etmektedir. Örneğin sıvı elektrolite flor atomları eklenmesiyle metal birikimini azaltmak hedeflenmiştir [28].



Şekil 3.3 : Lityum metal batarya şarj ve deşarj tepkimesi.

3.1.2 Katı Hal Bataryalar

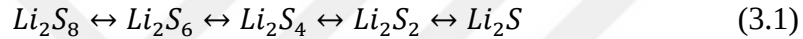
Otomotiv sektörünün temel hedeflerinden biri olan bu bataryalar kısa çevrim ömürleri ve yüksek sıcaklıkta şarj gereksinimleri hala üstesinden gelinmesi gereken önemli konulardır. Kükürt bazlı elektrolitler kullanılarak katı-hal bataryaları çalışmaları devam etmekte olup bu tür bataryaları üretmek için kuru ortam ihtiyacı vardır ve bu da yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Yapılan geliştirmelerde katı elektrolit ile anot arasındaki boşlukların oluşmasını engellemek ve çevrim ömrünü artırmak hedeflenmektedir. Elektrikli araçların geleneksel araçlarda olduğu gibi kısa sürede şarj olması istendiğinden katı hal bataryalarıyla 15 dakikadan kısa bir sürede %0'dan %80'e kadar araçların şarj olabilmesi hedeflenmektedir.

Katı hal bataryalarındaki batarya hücreleri derin şarj ve deşarja karşı dayanıklıdır. Bu durum bataryaların daha uzun bir çevrim ömrüne sahip olmalarına olanak sağlar. Katı iyon iletkenleri yanıcı değildir ve termal olarak kararlı yapıdadırlar. Performans kayıpları çok azdır ve hücre kimyasında kobalt kullanımına gereksinim yoktur. Katı elektrolitlerin neme karşı yüksek düzeyde reaktivitesi vardır ve bu da batarya performansını düşüren zararlı hidrojen sülfür gazının birikmesine sebep olur. Doğal

sodyum alüminyum silikattan yapılma nanopartiküller eklenerek hidrojen sülfür gazının oluşumu elektrolite maruz kalsa bile üçte bir oranında azalma gösterir.

3.1.3 Lityum Sülfür Bataryalar

Lityum sülfür batarya hücreleri güvenli, hafif ve bakım gerektirmeyen hücrelerdir. Lityum sülfür bataryaların termal kaçak olaylarına neden olan metalik oksitlerin oksijen içermemesi nedeniyle geleneksel lityum iyon bataryalara göre daha güvenli oldukları iddia edilmektedir [29]. Bir lityum sülfür batarya hücresinde pozitif elektrot sülfürken negatif elektrot olarak metalik lityum kullanılır. Sülfür elektronlar için kötü bir iletken olması sebebiyle pozitif elektrotu oluşturmak için bir karbon matrisi kullanılır. Hücre gerilimi lityum iyon bataryalara göre daha düşüktür. Lityum sülfür bataryaların şarj ve deşarj reaksiyonu aşağıdaki denklemle verilir [30].

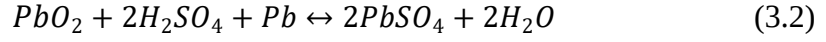


Lityum sülfür bataryaların katı hal bataryalar piyasaya gelmeden önce bir ara çözüm olarak otomotiv pazarına girebileceği düşünülmektedir. Ancak öncelikli olarak polisülfütten kaynaklı batarya kapasitesini düşüren soruna çözüm bulunmalıdır. Yüksek sıcaklıklara duyarlı bataryalardır. Eğer batarya birkez tamamen deşarj olursa tekrar şarj edilebilmesi mümkün olmamaktadır.

3.1.4 Kurşun Asit Bataryalar

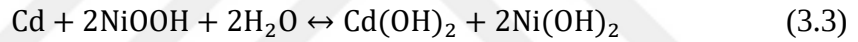
On dokuzuncu yüzyılın sonlarından itibaren kullanımda olan bu batarya çeşidi günümüzde belirli bir olgunluk seviyesine ulaşmış bir teknolojiye sahiptir. Yüksek performans vermelerine karşın fiyatları ucuzdur. Şarj etmek için karmaşık sistemlere ihtiyaç duyulmaz. Yüksek güçte deşarj oldukça bataryanın kullanılabilir kapasitesinin azalması en büyük dezavantajı olarak gösterilir. Bu nedenle bataryaların belirli bir deşarj derinlikleri (depth of discharge) vardır. Tipik kurşun asit bataryalar % 80 deşarj derinliğinde ortalama 1500 kez şarj edilebilirler. Çok sayıda kurşun asitli batarya çeşidi bulunmaktadır. Bazılarında soğutma sistemleri bile entegre edilmiştir. Geniş çevrelerde kullanım bulan bu bataryalar hem ucuz hem de uzun ömürlüdürler. Diğer bir dezavantajı ise kurşun elementinin tehlikeli olmasından kaynaklı sınırlı oranda kullanımındır. Günümüzde bu bataryalar aracın hareket etmesinde kullanılan elektrik motorların enerjilendirilmesinde kullanılmıyor olsa da marş motoru gibi içten yanmalı

motorlu taşıtlara özgü aksesuar ve bileşenlerin elektrik devrelerine güç sağlamak için kullanılmaktadır. Kurşun asit bataryaların şarj ve deşarj reaksiyonu aşağıdaki denklemle verilir [30].



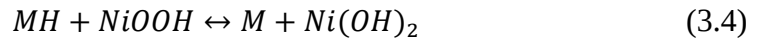
3.1.5 Nikel Kadmiyum Bataryalar

Yüksek enerji yoğunluğuna sahip olan bu bataryalar diğer batarya türleriyle karşılaştırıldığında kullanım ömürleri kısadır. Yaklaşık 1000 kez şarj edilebilirler. Kısmi şarj ve deşarja maruz kaldıklarında hafıza etkisi olarak bilinen fiziksel olay gerçekleşir. Hafıza etkisi bataryada depolanan tüm enerjinin kullanılmadan bataryanın tekrar şarj edilmesiyle ortaya çıkar. Batarya tekrar kullanılmaya başlandığında bataryanın kullanım ömrünün azaldığı fark edilir. Bu durum araç sürüşlerinde alınabilecek mesafeyi kısaltacaktır. Ayrıca, kadmiyumun zehirli etkisinden dolayı elektrikli araçlarda kullanımı yasaklanmıştır. Nikel kadmiyum bataryaların şarj ve deşarj reaksiyonu aşağıdaki denklemle verilir [30].



3.1.6 Nikel Metal Hidrit Bataryalar

Nikel kadmiyum bataryaların performans özellikleriyle benzerlik gösterirler. Ancak ağır metal içermedikleri için daha uzun süre otomotiv sektöründe kullanımda kalmışlardır. Özellikle hibrit araçlarda kullanımları yaygındır. Ekonomik olmalarına rağmen lityum iyon batarya teknolojisinin gelişmesiyle birlikte bu bataryalara olan ilgi de azalmıştır. Nikel metal hidrit bataryaların şarj ve deşarj reaksiyonu aşağıdaki denklemle verilir [31].



3.1.7 Lityum İyon Bataryalar

Lityum iyon günümüzde hem otomotiv hem elektronik sektöründe en çok kullanılan batarya çeşididir. Diğer batarya çeşitleriyle karşılaştırıldığında uzun kullanım ömürleri, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmaları ve hafıza etkisi denen fenomenin

gerçekleşmemesi gibi etkenlerden dolayı lider batarya teknolojisi olarak kendini ispatlamıştır. Uygun paketleme ve birleştirilme yöntemleriyle modüller ve paketler halinde bir araya getirilirler. Tekrar şarj edilebilir olduğundan özel elektronik devreler yardımıyla hassas bir şekilde şarj işlemleri gerçekleştirilir.

Lityum en hafif metallerden bir tanesidir. Bu nedenle batarya hücrelerinin hacimleri küçüktür. Bu durumda bataryaların paket boyutlarının küçük olabilmesine imkan tanır. Lityum iyon bataryalar birçok alternatifinden daha güvenilir olmasına rağmen elektrikli otomotiv üreticileri şarj esnasında meydana gelebilecek hata veya kazaların önüne geçmek adına birçok güvenlik önlemleri almaktadırlar.

Lityum iyon bataryaların genel çalışma prensibine göre anot ve katot bir miktarsın zıt kutupları gibi birlikte çalışırlar ve her seferinde akımı oluşturan elektronları serbest bırakarak lityum iyonlarını bu iki katman arasında ileri ve geri yönlü gönderirler. Hem metal elektrotta hem de elektrolitte bir yük tabakası vardır. Yük ayrımı elektrotlar arasında elektriksel çift tabakayı oluştururlar. Buradaki tabakalar küçük manyetik çekimler oluşturarak lityum iyonlarını ileri ve geri itiren kuvvetlerden yalnızca birini oluştururlar. Anot ve katotun temel işlevlerinden biri de lityum iyonlarının ileri ve geri yönde hareket ederken onları bir tür kafes çerçevesi içerisinde tutmaya yararlar.

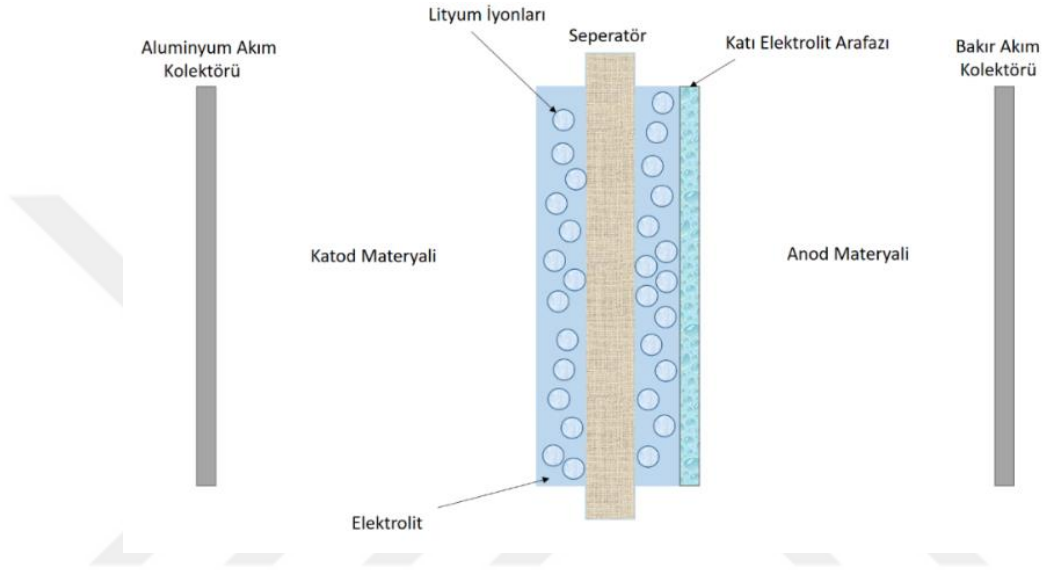
Lityum iyonlarının arasındaki boşluklar aktif maddelerle doldurulur. Lityum iyonları deşarj sırasında anottan katoda doğru hareket eder. Katoda ulaşan lityum iyonları katot yüzeyine tutunurlar. Anot ve katot malzemeleri genelde alüminyum ve bakırdan seçilir. Ayrıca anot ve katoda iyonların kolayca bağlanabilmesi için karbon formundaki iletken bir malzemeyle kaplanırlar.

Hücre tasarımında elektrotların yüzeyleri genelde geniş olarak tasarlanır. Bu sayede katı elektrolit arafazı tabakası oluşturulurken elektrot yüzeyinde meydana gelen aktivasyon ve konsantrasyon polarizasyonlarından kaynaklanan enerji kayıpları minimize edilebilir ve elektrotun verimli olarak kullanımı artar.

Elektrotlar genellikle gözenekli olacak şekilde tasarlanırlar. Gözenekli bir elektrot katı ve boşluk alanlardan oluşur. Elektrolitler gözenekli boşlukları doldurma eğilimindedirler. Gözenekli bir elektrot birim hacim başına düzlemsel bir elektrottan birkaç kat daha yüksek bir arayüz alanı sağlayabilir. Tüm bunların anlamı yüksek bir yüzey alanının daha fazla elektrolitin ona nüfuz etmesine izin verilmesi demektir. Bu

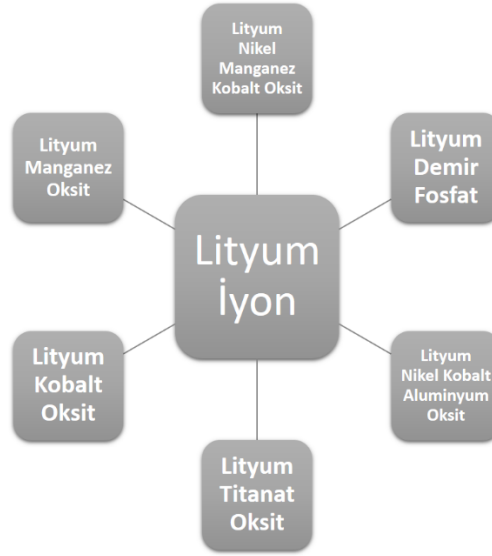
da lityum iyonların aktif malzemeye girebilmesi ve böylece daha fazla enerji depolayabilmesi anlamına gelir.

Bir elektrot arayüzündeki reaksiyonlar hem kimyasal hem elektriksel olarak karakterize edilir. Kimyasal reaksiyonlar indirgeme ve oksidasyon işlemlerini içerir. Arayüzlerde meydana gelen reaksiyonlar çok önemlidir. Arayüzde ki reaksiyonlar ne kadar verimli olursa batarya performansı o kadar iyi olur. Şekil 3.4’de lityum iyon bataryaların genel çalışma prensibi modellenmiştir.



Şekil 3.4 : Lityum iyon batarya çalışma prensibi.

Lityum iyon bataryalar kendi aralarında 6 farklı çeşide ayrılmaktadır. Şekil 3.5’de ilgili lityum batarya çeşitleri gösterilmiştir. Lityum iyon bataryaların isimleri katotta kullanılan malzemeden gelmektedir. Yalnızca bu durum Lityum titanat oksit için geçerli değildir. Çünkü bu lityum bataryanın ismi anotta kullanılan materyalden gelmektedir. Bataryaların kimyaları onu diğer bataryalardan ayıran bazı özelliklere ve uygulama alanlarına göre değişiklik gösterir. Lityum iyon bataryaların teknik özellikleri Çizelge 3.1’de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.5 : Lityum iyon batarya çeşitleri.

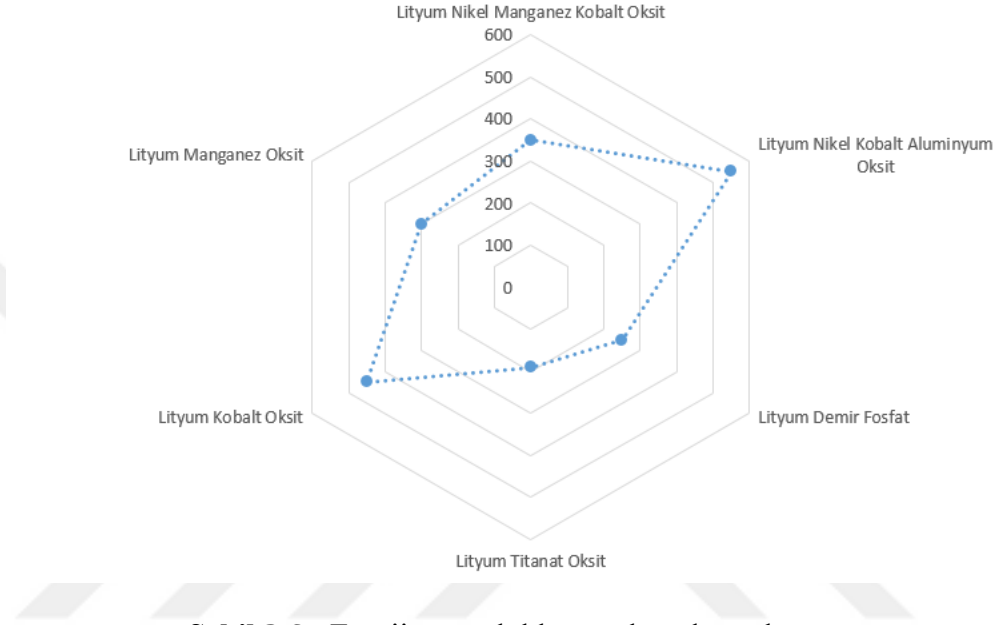
Çizelge 3.1 : Lityum iyon batarya özellikleri [32]. LMKO: Lityum Nikel Manganer Kobalt Oksit, LNKAO: Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit, LKAO: Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit, LDF: Lityum Demir Fosfat, LTO: Lityum Titanat Oksit, LKO: Lityum Kobalt Oksit, LMO: Lityum Manganer Oksit, EY: Enerji Yoğunluğu (Wh/L), HBNG: Hücre başına nominal gerilim (V), SE: Spesifik enerji (Wh/kg), ÇSA: Çalışma sıcaklık aralığı (°C), ŞAO: Şarj akım oranı (C), ÇÖ: Çevrim ömrü, IS: Isıl sürüklenme (°C), SG: Spesifik güç (W/kg), GY: Güç yoğunluğu (W/L).

	LNKAO	LKAO	LDF	LTO	LKO	LMO
EY	325-400	500-675	200-300	170-230	400-600	250-360
HBNG	3.0-4.2	3.0-4.2	2.5-3.6	1.8-2.8	3.0-4.2	3.0-4.2
SE	150-280	200-260	90-120	60-80	150-200	100-150
ÇSA	(-20; +55)	(-20; +60)	(-20; +60)	(-30; +75)	(-20; +60)	(-20; +60)
ŞAO	0.7-1.0	0.7	1	1	0.7-1.0	0.7-1.0
ÇÖ	3000-4000	500-1000	5000-6000	15000	500-1000	300-700
IS	210	150	270	300-400	150	250
SG	1000-4000	1000	4000	1000	1000	4000
GY	2000-10000	2000	10000	2000	2000	10000

Otomotiv sektöründe bataryalar arasındaki teknik özellikler karşılaştırılırken aşağıdaki gibi geometrik şekiller kullanılır. Buradaki görsel oluşumların amacı tablodaki tüm değerleri okumadan hangi bataryanın hangi teknik özellikte üstün olduğunu görsel

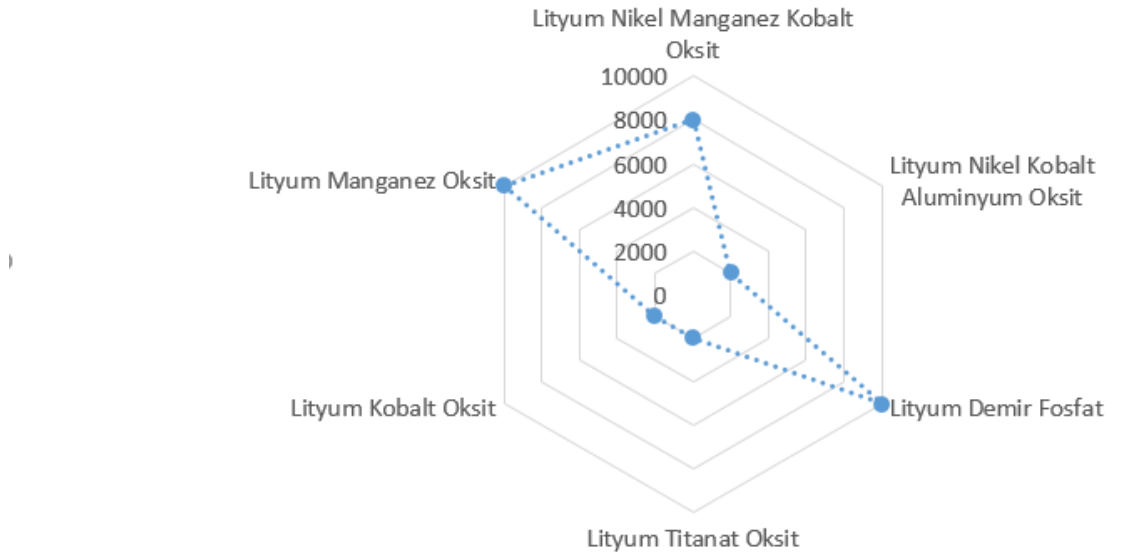
olarak hızlı bir şekilde tespitinin yapılabilmesidir. Lityum batarya tiplerinin enerji yoğunlukları karşılaştırması Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Lityum batarya tiplerinin güç yoğunluğu karşılaştırılması Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Lityum batarya tiplerinin çevrim ömürlerinin karşılaştırması Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

ENERJİ YOĞUNLUĞU (WH/L)



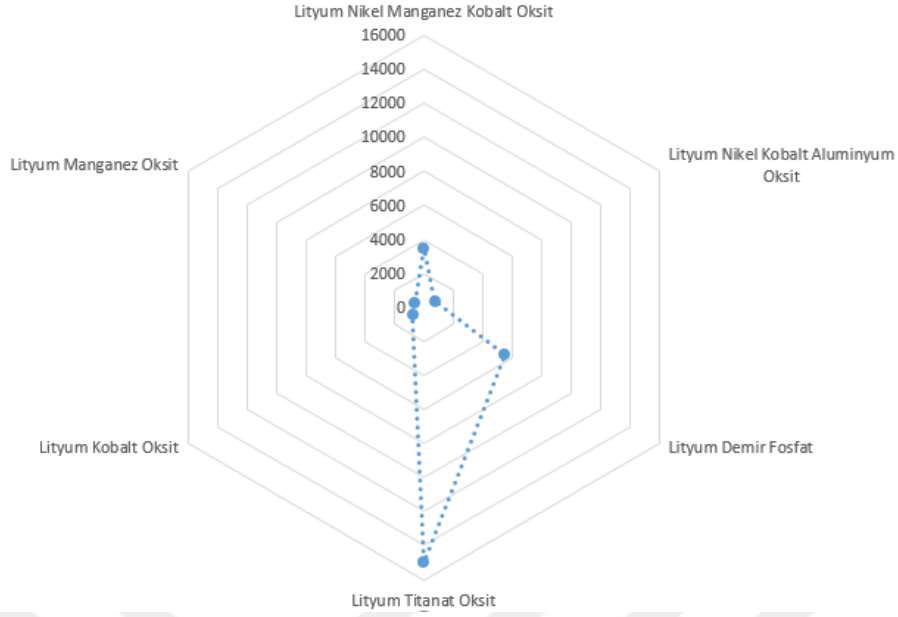
Şekil 3.6 : Enerji yoğunluklarının karşılaştırılması.

GÜÇ YOĞUNLUĞU (W/L)



Şekil 3.7 : Güç yoğunluklarının karşılaştırılması.

ÇEVİRİM ÖMRÜ

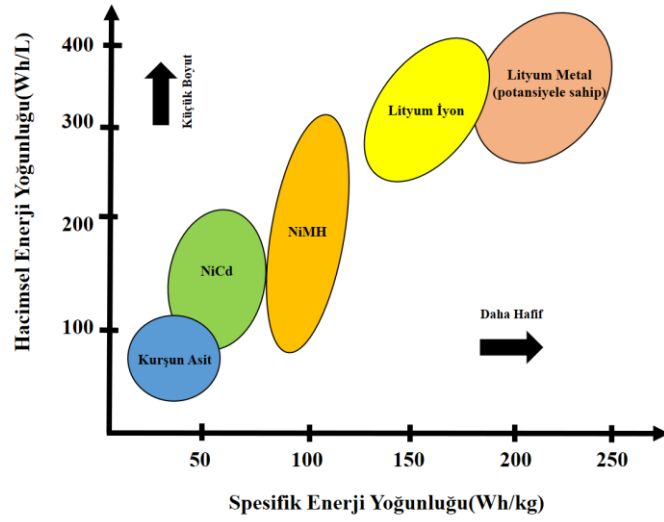


Şekil 3.8 : Çevrim ömrü karşılaştırılması.

3.1.8 Yüksek Gerilim Bataryalarının Değerlendirilmesi

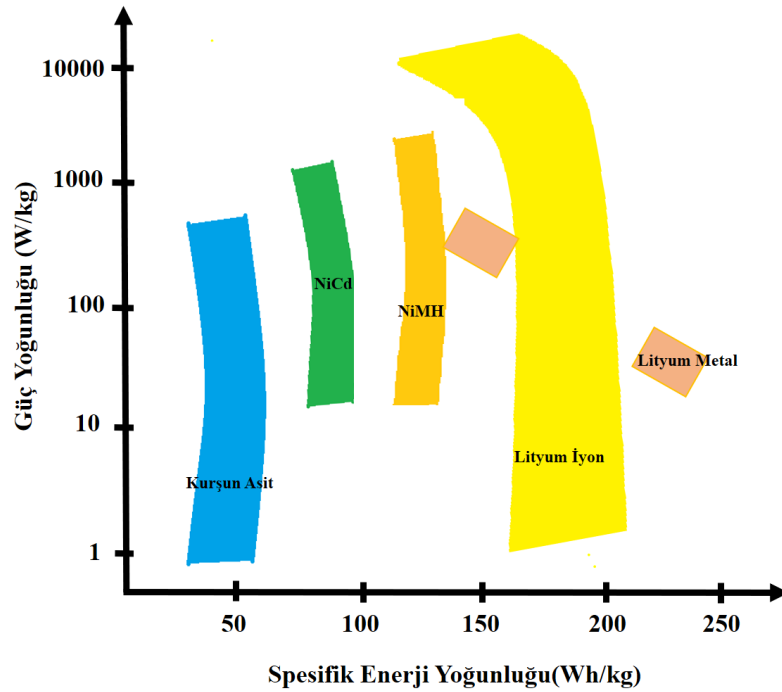
Yapılan inceleme ve araştırmalar lityum iyon bataryaların günümüzdeki elektrikli araç teknolojilerinde kullanımında liderliğini devam ettireceğini göstermektedir. Diğer batarya çeşitlerine göre çok daha güvenli olmaları, yüksek enerji kapasiteleri ve uzun çevrim ömürleri lityum iyon bataryaların ön plana çıkmasına katkı sağlamıştır.

Enerji yoğunluğu bataryaların önemli bir karakteristik göstergesidir. Elektrik enerjisinin ne kadarının birim hacimde depolandığını gösteren ölçüdür. Bu ölçü aynı zamanda aracın gidebileceği mesafeyle ilgilidir. Yüksek enerji yoğunluğuna sahip bataryaların kullanıldığı araçların daha uzun mesafelere ulaştığı bilinmektedir. Yüksek gerilim bataryaların basit bir şekilde enerji yoğunluğu bakımından karşılaştırılması Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Yüksek gerilim bataryalarının enerji yoğunluğu karşılaştırması.

Güç yoğunluğu birim hacimdeki gücün ölçüsüdür. Bu ölçü bataryaların ne kadar hızlı şarj ve deşarj olabileceğini gösterir. Güç yoğunluğu daha çok sürüş performansına etki eder. Yani aracın ivmelenmesi, sürüş hızı ve şarj sürelerine etki etmektedir. Yüksek gerilim bataryalarının güç yoğunluğu ve spesifik enerji yoğunluğuna bağlı grafiği Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Yüksek gerilim bataryalarının güç yoğunluğu ve enerji yoğunluğu karşılaştırması.

Çevrim süreleri bataryaların kaç kez şarj olabileceğini ifade eden bir özelliktir. Bataryalardaki çevrim sürelerinin az olması araçtaki bataryaların ne kadar hızlı deforme olduğunun bir göstergesidir.

Bataryaların ömrü iki farklı terimle ifade edilir. Bunlar bataryanın takvim ömrü ve çevrim ömrü olarak ifade edilir. Takvim ömrü bataryanın takvim yılı cinsinden ne kadar uzun süre kullanımda kalabileceğini gösterir. Çevrim ömrü ise bir batarya kapasitesinin başlangıç kapasitesinin %80'ine düşmeden önce geçirebileceği tam şarj-deşarj döngülerinin sayısıdır. Takvim ömrü ve çevrim ömrü birbirinden bağımsız değildir. Kullanılan bataryanın döngü sayısındaki artış, kalan takvim ömrünü kısaltır ve uzun süre saklanan batarya daha az sayıda şarj döngüsü gerçekleştirebilir. Bunun nedeni bataryanın ömrü hücre kimyasal bileşenlerine bağlıdır. Bataryadaki elektrotların ve elektrolitlerin kademeli olarak bozulması, bataryadaki aktif maddenin azalması veya aktif maddeye erişimin azalması bataryanın ömrünü etkiler. Batarya ister tam şarjda olsun ister şarj-deşarj döngüsünden geçiyor olsun, zamanla bozulmaya devam eder. Buradaki bozulma oranında mevcut takvim ömrünü veya çevrim ömrünü belirler [33]. Örneğin, lityum bataryalarda batarya hücrelerinde aktif şarj veyadeşarj olmazken bile yaşlanma etkisi devam eder. Burada ana sebeplerden bir tanesi de katı elektrolit arayüzünün zamanla büyümesidir. Bu arayüz sıcaklık artışıyla ve SoC artışından etkilenir ve zamanla bu tabaka büyür. Tabakanın büyümesiyle şarj vedeşarj döngülerinde azalma meydana gelir. Çünkü iyonlar artık bu tabakadan diğerine geçerken zorluk çekerler.

Bataryalar aktif olarak kullanılıyorken hücre bazında yaşlanma etkileri görülür. Hücreleri pasifize eden katmanlarda zamanla çatlaklar oluşur. Yüksekdeşarj akımları, anotta yapısal değişikliklere sebep olur. İşte hücre bazında yaşanan bu durumlar çevrim ömrünün azalmasına sebep olurlar. Bunun yanı sıra hücre sıcaklığı, DoD, SoC ve C oranı da yaşlanmanın hızlanmasında veya yavaşlamasında etkin faktörlerdir. Bu faktörlerin neler olduğu yine ileriki kısımlarda anlatılmıştır.

Hücre ve bataryalardaki yaşlanma etkisi kapasite kaybına ve iç direnç artışlarına sebep olur. Ayrıca takvim ömrü ve çevrim ömrünü belirleyen yaşlanma etkisi hücre kimyasına bağlıdır. Bataryaların sağlık durumu (SoH) bataryanın yaşlanma durumunu ifade etmede kullanılır. Örneğin %75 oranında SoH'a sahip bir bataryanın kapasite kaybının %25 olduğunu gösterir.

Daha önce de ifade edildiği gibi, lityum iyon bataryalar elektrikli araçlarda yaygın kullanım alanına sahiptirler. Diğer batarya tipleriyle lityum iyon bataryaları karşılaştırdığımızda lityum iyon bataryaların çok daha yüksek enerji yoğunluklarına sahip olduklarını Çizelge 3.1’de görebilmekteyiz. Ayrıca lityum iyon bataryaların kendi kendine deşarj olma oranları çok düşüktür. Kendi kendine deşarj olma durumu zamanla kaybolan enerjiyi ve sürüş için kullanılamayan enerjiyi temsil eder. Bu noktada lityum iyon bataryaların ömrü 15-20 yıl arasında değişiklik gösterirken, çevrim sayıları da ortalama 3000-4000 arasında değişmektedir.

Lityum iyon bataryaların aşırı sıcak ve soğuk ortamlardaki şartlarda her ne kadar verimlilikleri düşse de geniş sıcaklık aralıklarında çalışma koşullarına sahip bataryalardır. Çoğu lityum iyon batarya ortam sıcaklığı 0 ile 45 santigrat derecedeyken kolaylıkla şarj edilebilirler. Bataryaları korumak adına ısıtma ve soğutma sistemleri kullanılır ve bataryaların optimum sıcaklıklarda çalışması ve şarj olmasına olanak sağlanır.

Günümüzde elektrikli araçlarda ki en büyük maliyeti artıran bileşen yine bataryalardır. Araçlarda kullanılan bataryaya göre araçların fiyat aralıkları değişiklik göstermektedir. Lityum iyon bataryalar arasında bugün üretilen araçların birçoğunda Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit bataryaların kullanıldığı görülmektedir. Bu bataryaların kullanılmasında çevrim ömürlerinin ideal olması, güvenli olmaları ve hızlı şarj yöntemleriyle şarj edilebilir olmaları büyük etkindir.

Hızlı şarj tekniğiyle pantograf sistemleri büyük önem kazanmıştır. Normalde tren, tramvay ve trolleybüslerde kullanılan pantograflar artık otomotiv sektöründe de hızlı şarj için kullanılmaktadır. Bazı batarya çeşitleri ise pantograf ile şarj edilemezler. Günümüzde pantograflar en çok elektrikli otobüslerde kullanılmaktadır.

Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit bataryalar kendinden soğutmalı olmamaları sebebiyle ek soğutma ve ısıtma sistemlerine ihtiyaç duyarlar. İdeal ısı değerleri üreticiden üreticiye değişmektedir. Ayrı bir ısıtma ve soğutma sistemine ihtiyaç duyulması araç içi enerji kullanımını arttırmakta ve daha karmaşık sistemler gerektirir.

Lityum iyon bataryaların en büyük dezavantajı kısıtlı enerji yoğunlukları ve fazla olan üretim maliyetleridir. Ancak bu alanda yapılan ArGe çalışmaları günden güne batarya

fiyatlarının düşmesine katkı sağlamaktadır. Elektrikli araçların sürüş mesafelerinin artırmak adına da katı hal bataryalarında büyük gelişmeler yaşanmaktadır.

Her ne kadar yeni bataryalar geliştirilse de bunların araçlarda uzun süreli testleri olmadan güvenlik açıklarının olup olmadığı tam olarak bilinmemektedir. Bu da bir risk olarak otomotiv üreticileri tarafından dikkate alınmaktadır.

Her batarya tipinin kendi içinde avantaj ve dezavantajları olsa da ideal batarya arayışı tüm otomotiv üreticileri tarafından sürmektedir. Pazarda olan bu hareketlilik batarya şirketlerinin yaptığı yatırımlarla gün geçtikçe gelişmekte ve yeni teknolojilerle müşteri memnuniyetleri arttırılmaya çalışılmaktadır.

Elektrikli araçlarda bataryalar ağırlığa etki eden en etkili bileşenlerden biridir. Yüksek gerilim bataryalarının bir paketinin ortalama ağırlığı 250 ile 400 kg arasında değişiklik göstermektedir. O nedenle araçlardaki ağırlık merkezi ve devrilme hesaplamalarının yapılması büyük önem arz etmektedir. Özellikle ağır taşıt olarak nitelendirilen kamyon ve otobüslerde ağırlık hesaplamaları çok büyük titizlikle yapılmaktadır. Yeni geliştirilen teknolojilerle birlikte ağırlık ve hacim düşürülmeye çalışılırken enerji yoğunluğu arttırılmaya çalışılmaktadır. Bu sayede daha yüksek performansa sahip bataryalar üretilebilir olacaktır.

Yüksek gerilim bataryaların ağırlıkları dışında boyutlarında önem arz ettiğini belirtmekte fayda vardır. Araçlarda bilindiği üzere belirli bir montaj alanı ve hacmi mevcuttur. Kısıtlı montaj alanından dolayı tasarıma bağlı olarak boyutlandırılabilir prizmatik hücrelere sahip bataryaların kullanımı bu noktada yaygındır.

Bataryaların konumları otomobillerde genelde sürücünün altında veya motor odasında, otobüslerde bu aracın çatısında veya bagaj odalarında olabilmektedir. Ayrıca günümüzde artık kamyonlarında yavaş yavaş elektrikli olarak üretimine başlanmıştır. Bilindiği üzere kamyonlarda kendi içlerinde farklı kullanıma sahiptirler. Örneğin bir kamyon lojistik amaçlı ülkeler arasında yük taşıma için kullanılırken, bir diğer kamyon gün içinde farklı vardiyalarda çöp toplamak için kullanılabilmektedir. İşte bu noktada farklı sayıda batarya kullanımları ve pozisyonlanmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

3.2 Elektrik Motorları

Elektrik motorları batarya paketlerinde depolanmış elektrik enerjisini kullanırlar. Araçlarda kullanılan elektrik motorları araç fren yaptığında yani yavaşlarken generatör olarak çalışır ve bataryalara enerji sağlayabilirler.

Elektrikli motorların geleneksel içten yanmalı motorlara göre çok sayıda avantajı bulunmaktadır. Bunlar elektrikli motorların daha verimli olması, uzun ömürlü olması, düşük bakım maliyetleri ve çok düşük seviyelerde gürültü oluşturmalarıdır.

Elektrikli araçlarda çeşitli tiplerde elektrik motorları kullanılmaktadır. Bunları alternatif akımla çalışan endüksiyon motorları ve çeşitli türlerde doğru akım motorları olarak iki kategoriye ayırmak mümkündür. Elektrikli araçlarda ayrıca tekerlek içi (hub) elektrik motorları da kullanılabilir.

Elektrik motorlarının sürebilmek adına doğru gerilim sağlayan yüksek gerilim bataryalarındaki akım çeviren inverterler tarafından 3 faz akıma dönüştürülür.

Günümüzde bazı otomotiv firmaları tümüyle elektrikli araç üretimine geçiş yapmaya başlamıştır. Firmalar bunu yaparken kendi iş güçlerini korumak için elektrik motor üretimlerini firma içinde gerçekleştirmektedirler. Yalnızca elektrik motoru üretimi yapan firmalar ise üretim kapasitelerini arttırmakta ve farklı araç segmentlerine uygun elektrik motoru üretmektedirler.

Elektrik motorlarının üretiminde dünyada nadir bulunan element ve malzemelerden elektrik motoru üretimi azalarak endüksiyon motorlarına bir yönelim mevcuttur.

Elektrik motorlarında bugün en büyük zorluklardan bir tanesi de sürücünün güç pedalına bastığında istenen hassaslıkta tork değerlerinin elde edilememesidir. Bu noktada yazılım kontrol algoritmaları üzerine büyük ArGe yatırımları yapılmaktadır.

Yapılan yazılımsal geliştirmeler araç maliyetlerini ve yüksek güç batarya gereksinimlerini azaltması beklenmektedir.

Statorlardaki yeni sarım teknikleriyle motor güç yoğunlukları artırılmaya çalışılmaktadır. Elektrik motorlarındaki teknolojik gelişmelerin otomobil üreticilerinin batarya gereksinimlerindeki maliyetleri düşürebileceklerdir.

Güçlü MOSFET'lerle yüksek gerilimlerde yüksek akımlar saniyede 20000-30000 kez anahtarlama yapılabilmekte ve motorun sürüşünü istenen aralıklarda tutulmasına yardımcı olmaktadır.

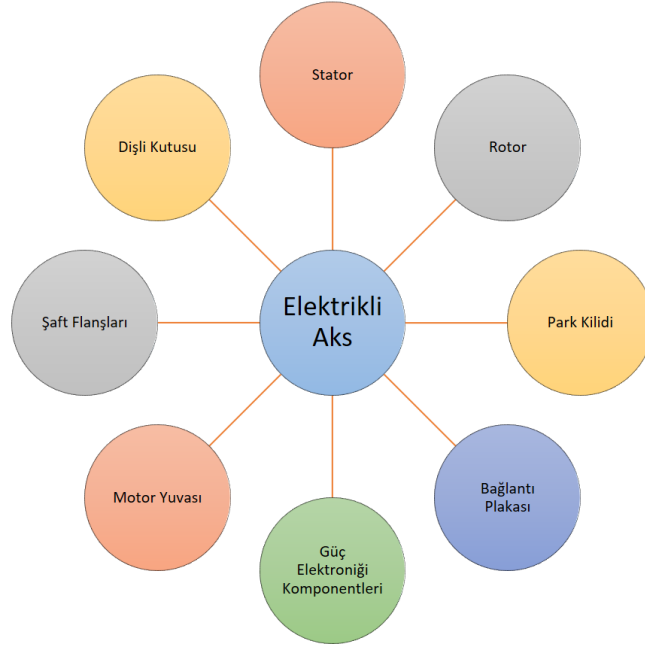
Elektromanyetik girişimler elektrik yalıtımlı rotor milinin etrafında aşırı gerilim birikimine sebep olmaktadır. Bu durumda rulmanlarda performans düşüşüne ve motorların kullanım ömürlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu noktada farklı önlemler alınmaktadır. Elektromanyetik girişimleri azaltacak farklı malzemelerin kullanım denemeleri devam etmektedir.

Elektrik motorları tarafından dağıtılan anlık enerji, içinden geçen akımın karesi ve bu akımın motor içerisinde dolaşmayı sürdürdüğü süre ile orantılıdır. Nominal akım bir motorun termik sınırlarını aşmadan motor içerisinde akmayı sürdürdüğü akımdır. Bu nedenle nominal değerin üzerindeki herhangi bir akım motorun çevresinde soğutma sistemlerinin dağıtması gereken bir termal enerji birikimi yaratır. Bu termal enerji birikirken soğutma sisteminin bu enerjiyi dağıtma yeteneğini aşarsa sistem termal sınırlarına belirli bir süre sonra ulaşır ve motorda veya çevresindeki elemanlarda kalıcı hasarlara yol açabilir. $I^2 \times t$ motor tarafından yayılan enerjiyle orantılı bir büyüklüktür ve $I^2 \times t$ koruması motor tarafından termal enerji şeklinde yayılan gücün integralinin termal enerjisini aşmamasını sağlamayı amaçlayan bir kontrol mekanizmasıdır.

3.3 Elektrikli Akslar

Elektrikli araçlarda genel olarak entegre akslar kullanılmaktadır. Entegre aksların içerisinde elektrik motoru, invertör ve kontrolör sistemleri yer almaktadır. Günümüzde birçok geliştirme akslar üzerine yapılmakta olup ve bunlardan bazılarını şu şekilde özetleyebiliriz. Elektrik motor ve hız oranının optimum yani en etkili olduğu alanda aksların çalışması için düzenlemeler yapılmaktadır.

Şekil 3.11'de elektrikli bir aksta yer alan cihaz ve bileşenler sıralanmıştır.



Şekil 3.11 : Elektrikli aks parçaları.

Elektrikli akslar sıvı soğutmalı elektrik motorlarıyla donatılmıştır. Motorlar farklı enerji kaynakları tarafından beslenebilir. Batarya elektrikli araçlarda, yakıt hücreli araçlarda veya havai kablolarla enerji sağlanabilir. Elektrik motorları sayesinde sıfır salınım ile bir sürüş deneyimi gerçekleştirmek mümkünken yüksek torka sahip elektrik motorları tam yüklü araçlarda hızla harekete geçebilirler. Frenleme yapılırken generatör moduna geçen elektrik motorları sayesinde frenlemeyle kaybedilen enerji tekrar geri kazandırılır. Mekanik bir bağlantı gereksinimi olmadan enerji kabloları sayesinde elektrik motorları ve akslar aracın hareket etmesini sağlar.

Artan motor hızında aksların sağlamlığını arttırmak için daha fazla büyük modüller kullanılmakta ve bu da kullanılan malzemelerin artmasına sebep olmaktadır. Kullanılan malzemelerin artması da maliyetlerde artışa sebep olacaktır. Maliyet artsa da daha verimli ve daha güçlü motorların kullanımı otomotiv sektöründe şu anda büyük önem taşımaktadır. Maliyetlerinde teknolojik gelişmelerle birlikte zamanla azalması beklenmektedir.

3.4 DC-DC Konvertörler

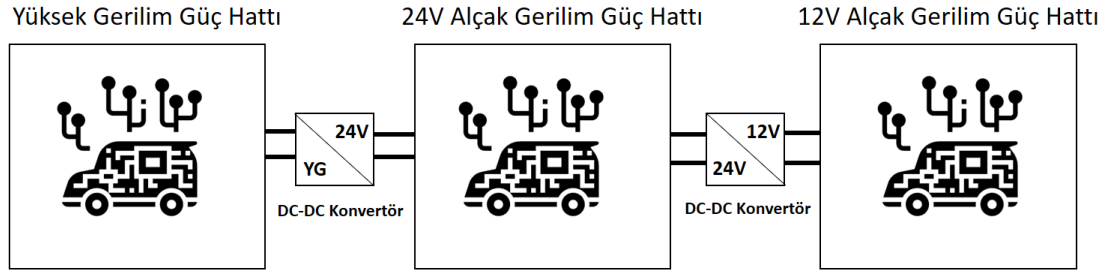
Geleneksel içten yanmalı motorlara sahip araçlardaki alternatörler elektrikli araçlarda yerini DC/DC konvertörlere bırakmıştır. Normalde alternatörler araçlardaki alçak gerilim bileşenlerine elektrik enerjisi sağlamakla görevlidir. Ancak elektrikli araçlarda bu görevi DC/DC konvertörler gerçekleştirir. Alçak gerilim bataryalarının ve alçak gerilim güç şebekesinin beslenmesi DC/DC konvertör sayesinde gerçekleştirilir. Geleneksel araçlarda alternatör tarafından üretilen gerilim değerleri çok yüksek olmadığı için elektrikli araçlarda olduğu gibi özel güvenlik önlemlerine gerek yoktur. DC/DC konvertörler CAN hatlarıyla kontrol edilen elektrik-elektronik bileşenlerken alternatörler ise elektromekanik bileşen olmaları sebebiyle birbirilerinden bu yönleriyle ayrılmaktadırlar.

Esnek bir akupleman bağlantıyla yüksek gerilim bataryaları ve inverterlerle birlikte görev alırlar. Elektrik motoru motor çalışmadayken konvertör gerilim artırmak için kullanılır. Bu sayede bataryadan daha yüksek ara devre gerilimi elde edilir. Enerji geri kazanımı durumunda yani motorlar generator olarak çalışırken DC/DC konvertör buck konvertör olarak çalışır.

Yüksek gerilim ve alçak gerilim güç ağlarının birbirinden ayrılmasında farklı teknikler mevcuttur. Ancak bugün otomotiv endüstrisinde galvanik ayırıcılar kullanılarak bu iki güç şebekesi birbirinden ayrılır. DC/DC konvertörler aynı zamanda sistemin akım ve gerilim değerlerinin ölçümünü de gerçekleştiren bileşenlerdir. Elektrikli araçlarda DC/DC konvertörlerden yüksek gerilimden alçak gerilime düşürülmesi için önemli güvenlik önlemleri alınmaktadır. Elektrikli araçlarda farklı gerilim seviyelerine ihtiyaç duyan bileşenler vardır. Alçak gerilimle çalışan pompalar, fanlar ve hava kompresörleri vardır. Bu bileşenler sayesinde araçta soğutma ve ısıtma fonksiyonları gerçekleştirilir.

Bilindiği üzere yüksek gerilim bataryaları yüksek gerilime sahiptir. Ancak araçlarda yer alan tüm bileşenler yüksek gerilimle çalışmamaktadır. Bu nedenle yüksek gerilimlerin araçtaki alçak gerilimle çalışan bileşenlerin gerilim seviyelerine indirgenme ihtiyacı vardır. Konvertörler yüksek gerilimden alçak gerilime düşürmede kullanılabilirken aynı zamanda alçak gerilimden alçak gerilime düşürmede de kullanılabilirler.

Yüksek gerilim bataryalarının gerilim değerleri günümüzde 500V-800V arasında değişiklik göstermektedir. Bu noktada otomotivde kullanılan birçok elektronik kontrol ünitesi 48V, 24V veya 12V ile çalışmaktadır. Araçlarda gerilim seviyelerine göre güç hattı topolojilerinin DC/DC konvertör yardımıyla nasıl indirgiendiği basitleştirilmiş bir örnek şekliyle Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : DC/DC Konvertör gerilim indirgenmesi.

3.5 İnverterler

Sürücü inverterler aynı zamanda tahrik invertörleri olarak da bilinirler. Demiryolu ve karayolu taşımacılığında elektrikli araçlar da kullanılır. Bir yüksek gerilim bataryasından veya generatörden bir kontak kablosu yardımıyla iletilen doğru gerilimi alternatif gerilime dönüştürürler. Elektrikli karayolu taşıtlarının harekete geçirilmesini ve tüm aracın hareketini sağlamada elektrikli aks ve elektrik motorlarına yardımcı olurlar.

Elektrikli aks motorlarının hem generator hem de motor olarak çalışabilmesi için invertörler çift yönlü dönüştürücüler olarak tasarlanırlar. Talep edilen torka veya motor akımına bağlı olarak ara devreden enerji alır (motor çalışma) veya ara devreyi beslerler (generator çalışma).

İnverterlerin ana görevleri üç fazlı akımın algılanması, konum ve hız sensör bilgilerinin işlenmesi, gerilim kontrolü, motorun sıcaklık değerlerinin izlenmesi ve kısa devre dirençlerinin kontrolü olarak sayılabilir. İnverterler elektronik kontrol üniteleri tarafından kontrol edilirler.

İnverter için belirlenen sınır değerlerin örneğin maksimum akım, gerilim veya sıcaklık değerlerinin aşılması durumunda cihaz kendisini sınırlandırabilir ve hatta kapatabilir.

Herhangi bir yüksek gerilim bileşeniyle toprak arasında bir ızalasyon hatası meydana gelmesi durumunda invertere yüksek gerilim sağlayan güç sistemi saniiyeler içerisinde kapanacak şekilde tasarlanmalıdır.

Eğer bağlantı doğru gerilim çalışma alanlarının dışındaysa inverterin çıkış akımı limitlendirilebilir. Bu durumda doğru gerilim girişı çok düşükse motor torku azaltılır. Eğer doğru gerilim girişı çok yüksek değerlerdeyse rejenerasyon torku azaltılır. Yüksek gerilim durumunda da tork azaltımı yapılır ancak bu sefer motorda değil rejenerasyon torkunda bir azaltma yapılır.

Eğer inverter yüksek hızlı endüksiyon motorunu sürüyorsa yüksek gerilimlerden koruma amacıyla çeşitli detektörler kullanılır. Detektör aşırı gerilim tespit ettiğinde AC gücü devre dışı bırakır. Bu tür mekanizmalar yazılımlarla kontrol edilmez. Doğrudan bileşen içerisinde yer alır ve gerekli durumlarda kendi kendilerine aktif olurlar.

Eğer inverter yüksek hızlı sürekli mıknatıslı motoru sürüyorsa, burada yüksek gerilim koruması yerine aşırı gerilim koruması gerçekleştirilir. Aşırı gerilim koruması aktif olduğunda elektrik motorunun tüm 3 fazı da kısa devre edilir ve tehlikeli durumların meydana gelmesi önlenmiş olur.

Herhangi bir sebepten ötürü sürekli mıknatıslı motorlarda akım kontrolü gerçekleşmese, motor kendi baz hızının üstünde dönmeye başlar ve burada AC tarafta yüksek gerilim üretimi olur. Yükselen gerilim inverter tarafından pasif olarak DC gerilime dönüştürülür. DC gerilime dönüştürme sonucunda fazladan üretilen enerji alçak gerilim bataryaların beslenmesinde kullanılabilir.

Elektromanyetik uyumluluk testlerini ve gerekliliklerini sağlayan inverterler elektrikli araçlarda kullanılabilir. Bu noktada UN ECE R-10 normuna uygun tasarlanmalıdır [34]. Norma göre aracın, sürücünün, yolunun ve diğer trafikte yolu kullananların aracın doğrudan kontrollerini kaybetmelerini önlemek adına sistem ve bileşenlerin elektromanyetik uyumlu olması gerekmektedir. Geçmişte çokça yaşanan otobüslerde telefon kullanmayın fren sistemleri etkileniyor gibi sözlerin söylenme sebebi işte telefonlardan yayılan elektromanyetik dalga ve enerjilerden otobüste yer alan bileşenlerin etkilenmesi sonucu işlevini yerine getirememesiydi. İnverterlerde DC-EMC filtreler kullanılır. Ayrıca elektromanyetik uyumluluk için invertere bağlanan

yüksek gerilim kablo ve kablo rakoru gibi bağlantılarında tamamen elektromanyetik uygulamaya sahip olmalıdırlar. İnverterlerde düşük empedansa sahip koruyucu ekranlamalı kablolar kullanılmalıdır.

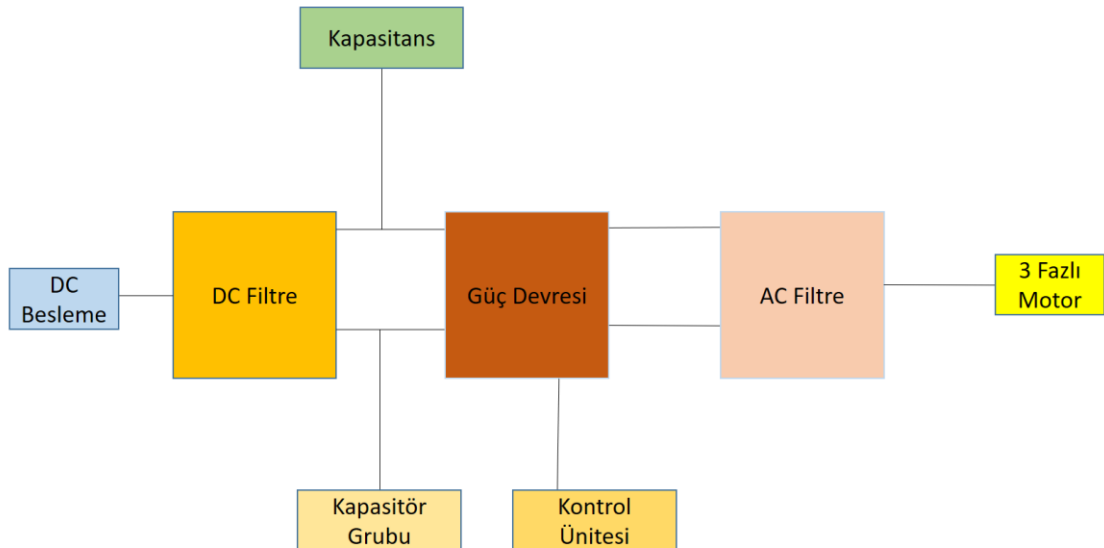
I^2R koruması aşırı akım değerlerine ulaşılan çalışma döngülerinin neden olduğu aşırı ısınmadan korumak için inverterlerdeki termal enerji birikimlerini takip eder ve müdahalede bulunur.

Elektrik motorları döndüğü sürece motorların bağlı olduğu inverter grupları aktif bir şekilde soğutulmalıdır. Aktif soğutma ihtiyacını karşılamak için farklı soğutucu malzemeler kullanılabilir. Örnek vermek gerekirse bugün üretilen inverterlerin çoğunda soğutucu olarak su ve glikol maddeleri kullanılmaktadır.

İnverterler tüm çalışma koşullarında yani farklı ısı, nem, titreşim, sıcaklık, ortam, akım ve gerilim gibi değerlerinde çalışabilir olmalıdırlar.

Üretilen inverterlerin ISO16750, ISO20653, ISO10605 ve ISO7637 normlarına uygun olması gerekmektedir. Aksi takdirde yeni üretilen araçların testinden sorumlu kurum ve kuruluşlar tarafından aracın trafiğe çıkmasına izin verilmez.

Çok çeşitli özelliklere sahip inverterler olsa da örnek olması açısından elektrik araçlarda kullanılan bir inverterin blok diyagramını basite indirgersek Şekil 3.13'deki diyagramı elde ederiz.



Şekil 3.13 : İnverter blok diyagramı.

3.6 Yüksek Gerilim Sigorta Kutusu

Elektrikli araçlarda doğru gerilim devrelerinin korunmasında sigorta kutusu veya kutuları görev alır. Hem sigorta kutusu hem bağlantı kutusu olarak görev alırlar. Güç dağıtımını bu kutudan gerçekleştirilir ve tüm ilgili yüksek gerilim sigortaları da yine bu kutuda yer alır. Hem yerleşik sistemlerin hem şarj altyapısı sistemlerinin korunması için yüksek değerlerde sigortalara ihtiyaç duyulmaktadır. Sigorta değerleri 300 den 1000 Amper'e kadar çıkabilmektedir.

Sigortalar sayesinde yüksek doğru gerilim devreleri aşırı akımlara ve kısa devrelere karşı korunmaktadır. Sigorta kutusu sadece sistemin yüksek akımlara karşı korumaz aynı zamanda güvenilir bir şekilde yüksek gerilimde çalışma imkanı tanır. Koruma cihazlarından sigorta kutusunun arızalanması durumunda sürücünün yaralanmasına ve aracın büyük oranda zarar görmesine neden olabilir.

Bunlara ek olarak sigorta kutuları yüksek gerilim bataryaları şarj edilirken batarya ve şarj soketinin korunmasında görev alırlar. Örneğin yüksek bir akım çekildiğinde sigorta kutusu içerisinde yer alan sigortanın patlamasına ve bataryaların yüksek gerilimle olan bağlantısının kesilmesine yardımcı olurlar.

Yüksek gerilim sigortalarıyla ilgili konularda ISO 8820-1, ISO 8820-8 ve ISO 16750-3 standartlarına uygun sertifikalandırmalar mevcuttur.

3.7 Doğru Gerilim Kontrol Ünitesi

Elektrikli araçlarda yer alan şarj soketiyle batarya grupları arasında yer alan bu yüksek gerilim bileşenlerinin görevi araç şarj edilirken bataryalara aktarılan gerilim ve akım değerlerinin belirlenen aralıklarda olmasını sağlar.

3.8 Araç Kontrol Ünitesi

Elektrikli araçlarda güç aktarma organları için tork koordinasyonu, şarj kontrolü, termal yönetim, aracın çalışması ve vites değişimlerinin kontrolü, yüksek gerilim ve alçak gerilim koordinasyonlarında görevli elektronik kontrol ünitesidir.

3.9 Direksiyon Sistemi

İçten yanmalı motorlardan bağımsız olarak direksiyon desteği sağlamak için elektrikle çalışan bir hidrolik direksiyon pompası kullanılabilir. Bugün dizel motorlu araçlarda kullanılan hidrolik direksiyon pompasının yerini elektrikle çalışan hidrolik direksiyon pompaları yer almaya başlamıştır. Elektrikle çalışan hidrolik direksiyon pompası alçak gerilimle yani 48V, 24V veya 12V ile çalıştırılabilir bir elektrik motoruyla sürülür. Elektrikle çalışan hidrolik direksiyon pompaları enerji tasarrufu sağlar.

3.10 Yardımcı Donanımlar

Konvansiyonel araçlarda olduğu gibi elektrikli araçlarda da yardımcı donanımlar mevcuttur. Bunlardan bazıları güç sistemleri, fren sistemleri, aydınlatma, yolcu ısıtma ve soğutma sistemleri ve batarya ısıtma-soğutma sistemleridir. Özellikle soğuk dönemlerde batarya ve yolcu ısıtma sistemleri batarya kapasitelerinin çoğunu kullanmaktadır. Bu durumda sürüş mesafesinin kısılmasına neden olmaktadır. Elektrik araçlarda tek enerji kaynağının yüksek gerilim bataryaları olduğunu biliyoruz. Bu nedenle araçtaki donanımlar ne kadar fazla enerji tüketimi gerçekleştirirse elektrikli aracın alabileceği mesafe o denli azalacaktır. O nedenle elektrikli araç projelerinde enerji tüketen tüm bileşenler için güç, akım ve gerilim değerleri de dikkate alınarak enerji dengesi hesaplamaları gerçekleştirilir.

3.11 Yüksek Gerilim Kablo Demeti

Elektrikli araçlarla birlikte yüksek gerilim ve yüksek akımlar da otomotiv sektöründe kullanılmaya başlamıştır. Geleneksel araçlarda yalnızca alçak gerilimle çalışan bileşen ve cihazlar yer aldığı için 12V, 24V veya 48V gerilim ve düşük akımlara sahip alçak gerilim kablo demetleri kullanılmaktadır. Kablo demetleri tüm araç boyunca uzanan sinyal ve enerji taşıyan kablolar ve kablolarla bağlı soketlerden oluşan yapıdır.

Alçak gerilim kablo demetleri genel olarak sensör, ventil, motor, pompa, kompresör, elektrik kontrol ünitesi gibi bileşenlere bağlantı yapar. Yüksek gerilimle birlikte inverter, 3 faz elektrik motoru, yüksek gerilim bataryaları, yüksek gerilim sigorta

kutuları arasında yüksek akım ve gerilimlerin taşınmasında görev almaya başlamışlardır.

Elektrik araçlarda 400V ve 800V aralığında değişen gerilime sahip akımlar taşınmaktadır. Yüksek gerilim kabloları elektrikli araçlarda turuncu renkte üretilmesi normlar gereğince kararlaştırılmıştır. Yüksek gerilim kabloları elektrikli araçlarda turuncu renkte üretilmesi gerekliliği vardır. Turuncu renk kablolarla yüksek sıcaklık ve tehlike riski olduğu bilgisini dışarıdan bakan bir kişiye gösterilmeye çalışılmıştır. Alçak gerilim kablolarının renkleri siyah, sarı, kırmızı, mavi, yeşil gibi renklerde olabilmektedir.

Yüksek gerilim kablolarıyla aynı çaptaki endüstriyel bir kablodan daha az enerji kaybıyla elektrik enerjisini taşımak mümkündür. Farklı teknik ve üretim metotlarıyla otomotiv kabloları üretilmektedir. Otomotivde kullanılan yüksek gerilim kablolarının çapı genel olarak 16mm^2 'den 120mm^2 'e kadar uzanan bir aralıkta yer almaktadır. Yüksek gerilimin avantajları olduğu gibi dezavantajları da vardır. Örneğin alçak gerilim bileşenlerinde veya kablo demetinde yaşanan arızalar çok büyük çaplı olmamaktadır. Ancak yüksek gerilimle birlikte güvenlik, izalasyon ve yalıtım konularında önlemler alınmalıdır.

Otomotiv sektöründe geleneksel araçlarda da önemli bir yere sahip olan elektromanyetik uyumluluk elektrikli araçlarda daha da büyük bir önem kazanmıştır. Araçlarda yer alan tüm elektronik ve elektromanyetik cihaz ve bileşenler çevreye belirli bir oranda elektromanyetik enerji yayarlar. İşte bu enerjinin diğer cihaz ve bileşenleri etkilemesine elektromanyetik girişim adı verilir.

Kablolarında elektromanyetik girişimi oluşturduğu ve diğer bileşen ve kabloları etkilediği bilinmektedir. Özellikle taşınan akım değeri arttıkça elektromanyetik enerji daha da artmaktadır. Bu nedenle elektromanyetik girişimi sıfırlayamasak da belirli sınırlarda tutmak adına yüksek gerilim kablolarında ekranlama yapılır. Bu sayede elektromanyetik girişim bir diğer kablonun taşıdığı akım ve gerilim üzerinde bir değişiklik etkisi yaratmaz.

Yüksek gerilim kabloları ve veri kabloları birbirlerinden ayrı bir şekilde rotalandırılmalıdır. Kablolar korumalı alanlara döşenmeli, bu mümkün değilse izalasyon malzemeleri veya koruyucu borular yardımıyla döşenmelidirler. Tutucuya

sabitlenen ve hareketli parçalar arasındaki geçişlerde yeteri kadar alan boş bırakılmalıdır. Kablolar fazla gergin yani olması gerektiğinden kısa rotalandırılmamalıdır. Ayrıca yüksek gerilim kablolarında kesitlerin yüksek olmasından dolayı bükme yarıçapları kablo çapının 4 katından fazla olmamalıdır. Aksi takdirde kablolarda gerilim çektirme kuvvetleri oluşur ve araç hareket halindeyken oluşan titreşimlerle birlikte kablo içerisinde zedelenmeler gerçekleşir. Zamanla kablo istenen düzeyde akımı taşıyamaz ve görevini yerine getiremez duruma gelir.

Kablo demetlerini ilgili bileşenlere bağlamak için özel üretilmiş yüksek gerilim soketleri veya kablo rakoru olarak adlandırılan elektromanyetik girişime karşı muhafazalı malzemeler kullanılır. Yüksek gerilim bileşenleri arasında kullanılan bu bağlantı elemanlarının iki örneği Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Yüksek gerilim bileşen bağlantı elemanları.

3.12 Araç Üstü veya Harici Şarj Soketleri

Enerjiyi istenen forma dönüştürmede kullanılan elektronik konvertör görevi görürler. Harici bir elektrik güç sağlayıcısı tarafından yüksek gerilim bataryalarının şarj edilmesine olanak sağlarlar.

Günümüzde ülkeler arasında tam olarak standart bir şarj soketi yoktur. Bu nedenle kıtalar ve ülkeler arasında farklı şarj soketi kullanımları mevcuttur. Bu noktada otomotiv üreticilerinin bir araya gelerek bazı standartlar üzerinde anlaşma sağlayacakları gelecekte kaçınılmaz olarak görülmektedir. Hatta bazı otomotiv üreticileri bir araya gelerek ortak şarj istasyonları üzerine anlaşmalar imzalamaktadırlar. Günümüzde yaygın olarak kullanılan şarj soketleri Şekil 3.15’de gösterilmiştir.

Akım çeşidi ve şarj soket isimleri	Ülke/Kıta			
	Avrupa	Amerika	Çin	Japonya
AC Alternatif Akım				
Şarj Soket İsmi	Type 2	Type 1-J1772	GB/T Standard	Type 1-J1772
DC Doğru Akım				
Şarj Soket İsmi	CCS-Type 2	CCS-Type 1	GB/T	CHAdeMO

Şekil 3.15 : Şarj soketi çeşitleri.

Şarj istasyonlarının dünya genelinde en yaygın olanı CHAdeMO'nun ardından Combo2 şarj istasyonları gelmektedir. CHAdeMO şarj istasyonları genel olarak uzak doğu menşeli Japonya ve Kore gibi otomotiv üreticileri tarafından kurulmaktadır. Combo2 şarj istasyonlarıysa Avrupa otomotiv üreticileri tarafından yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca bunun yanı sıra Tesla firmasının da kendi şarj istasyonları da yine belirli bir oranda mevcuttur.

3.12.1 Type 1-J1772

J soketi olarak da bilinen Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE) tarafından sürdürülebilirliği korunan bu şarj soketi tipi genel olarak Kuzey Amerika'da yaygındır. IEC 62196 norm standartlarına uygun bir şekilde bu soketlerin üretimi gerçekleştirilmektedir. 5 pine sahip şarj soketinde tek fazlı alternatif akım taşınır. Şarj hızı 1.44kW (12A/120V) ile 19.2kW (80A/240V) arasında geniş bir aralıkta hizmet vermektedir. Type1 şarj soketlerinin en büyük dezavantajı yalnızca bir fazının kullanılabilir olması ve otomatik kilit sistemine sahip olmamalarıdır.

3.12.2 GB/T

Guobiao Standardizasyon İdaresi'nin gözetiminde GB/T şarj soketleri geliştirilmiştir. Guobiao standartları veya GB standartları Çin Standardizasyon İdaresi (SAC) tarafından yayınlanan Çin Ulusal standartlarıdır. Çin otomotiv üreticileri tarafından yalnızca bu soket kullanılmaktadır. Ülke genelinde başka tipte şarj soketi olmamasından dolayı şarj altyapısının gelişimi kolaylaşmaktadır. Ayrıca Çin'in en yoğun şarj istasyonu ağına sahip ülke olduğu ve dünyadaki en büyük elektrikli otomobil payına sahip olduğunu belirtmek gerekir. İlk bakışta soketin Type 2 ile aynı gibi olduğu görünse de soket içerisindeki kablolama birbirilerinden farklıdır.

3.12.3 CCS-Type 1 ve CCS-Type 2

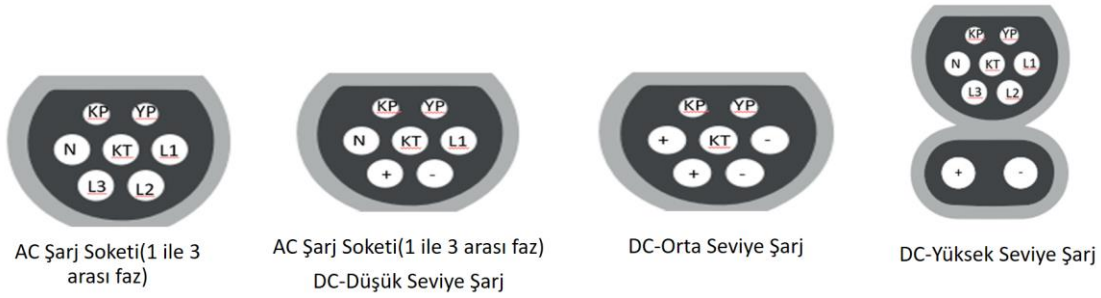
Birleşik (kombine) şarj sistemleri elektrikli araçların şarj edilmesinde standard olarak kullanılır. Bu sistemler doğru akım ile araçların şarj edilmesi istendiği durumda Type 1 ve Type 2 şarj soketlerinin alt kısmına iki adet daha pin eklenerek elde edilirler. Bu tür şarj soketlerinde aşağıda yer alan iki pin şarj yani enerji aktarımını gerçekleştirirken soketin üst kısmında yer alan pinler iletişim (haberleşme) ve bir referans noktası sağlayan toprak iletkenlerinden oluşur. CCS soketleri 350kW'a kadar enerji aktarımı yapabilir. Soketler otomotiv pazarında yaygın olarak Combo1 ve Combo2 olarak bilinirler. Piyasada DC şarj için kullanılan en popüler soketlerdir. CCS Type-1 soketleri Kuzey Amerika'da yaygınken CCS Type-2 soketleri Avrupa'da yaygındır. CCS şarj soketleri CHAdeMO ve GB/T şarj istasyonlarına uyumlu değildirler. Çünkü birbirinden farklı haberleşme protokollerine sahiptirler. Şarj soketlerini bu tür şarj istasyonlarında kullanabilmek için özel adaptör kablolara ihtiyaç duyulur.

Avrupa'da yaygın olarak kullanılan Combo2 şarj soketi Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : Combo2 şarj soketi.

Combo 2 soketlerinin pin yerleşimi kendi içerisinde değişiklik göstermektedir. Şekil 3.17’de farklı yapılardaki Combo2 soketlerine ait pin yerleşimleri gösterilmiştir.



Şekil 3.17 : Combo2 şarj soketi pin yerleşimleri.

3.12.4 CHAdeMO

DC soketin orjinal geliştirmesi 5 Japon otomobil üreticisi tarafından gerçekleştirilmiştir. Japonya bu soketi küresel standard haline getirmek istese de şuanda bu noktada fazla ilerleme kaydedilememiştir. Avrupa parlamentosu şarj istasyonlarında CCS soketlere uygun olmasını zorunlu kıldığından Japon otomotiv üreticilerinden bazıları da CCS şarj soketlerine geçiş yapmaktadır. Şarj soketiyle 400kW’a kadar güç aktarımı yapılabilmektedir.

4. ELEKTRİKLİ ARAÇ SİSTEMLERİ

4.1 Batarya Yönetim Sistemleri

Batarya yönetim sistemi bir batarya paketi içerisindeki hücrelerin izlenmesine olanak sağlayan sistemdir. Hücreler birlikte çalıştıklarından batarya paketlerindeki stabiliteyi korumak çok önemlidir. Stabiliteyle anlatılmak istenen durum hücrelerde dengeli bir ısı ve sıcaklık içerisinde istenen akım ve gerilim değerlerinde bulunma durumu ifade edilmek istenmiştir. Bu bağlamda batarya yönetim sistemleri bataryaların çalışma alanları dışına çıkmamasını, hücre durumlarının izlenmesi, ortam şartlarına bağlı olarak bataryaların ısıtılıp soğutulması gibi komutları veren sistemdir. Batarya içerisinde yer alan tüm hücrelerin gerilim değerleri elektronik kontrol ünitesi tarafından izlenerek bataryanın genel çalışma durumuyla ilgili bilgileri hafızasına kaydeder.

Bataryanın belirlenen gerilim değerlerinde çalışabilmesi çok önemlidir. Bataryaların gerilim aralıkları kimyasal yapılarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bataryalar eğer belirlenen aralıkların dışında çok sık çalışırsa batarya hücrelerinin ömürleri önemli ölçülerde azalır ve bir süre sonra hiçbir işe yaramaz hale gelebilirler. İşte bu noktada batarya yönetim sisteminden görevli bileşenler aktif olarak görev alırlar.

Bataryalarda yer alan sensörler sayesinde her bir hücre için akım, gerilim, basınç, sıcaklık gibi veriler toplanır. Bu değerler batarya yönetim sistemi tarafından önceden belirlenmiş limitler içerisinde yer alıp almadığını belirli bir yazılım sayesinde kontrol edilmesini sağlar.

Batarya yönetim sistemi bataryaların düzgün bir şekilde şarj olup olmadığını kontrol eder. Bataryalarda yüksek gerilim veya yüksek akım gibi bataryaların çalışmasını durdurabilecek işlemlerin tespiti ve önceden önlenmesine yönelik bir dizi işlemlerin başlatılmasında görev alır.

Batarya yönetim sistemleri batarya sağlık durumu, batarya ömürleri, bataryalarda yer alan enerjiyle alınabilecek mesafe tahmini, batarya şarj durumu ve hücrelerin belirli bir dengede çalışmasına olanak sağlar. Bataryaların detaylı olarak incelemesi otomotiv firmasının satış sonrası görevli kurumları tarafından gerçekleştirilebilir. Sürücü aracı kullanırken yalnızca bataryanın SoC değerine bağlı olarak araçtaki bir ekrandan şarj durumunu kontrol edebilir.

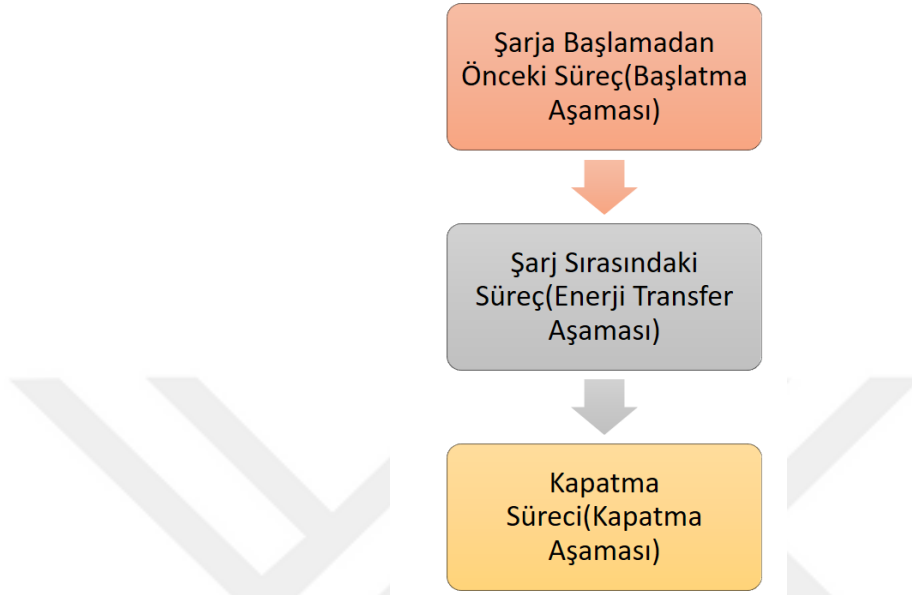
Diğer sistemlerle veri alış verişi gerçekleştirirler. Örneğin şarj sistemiyle bataryalardaki konektörlere ne zaman enerji verilmesi gerektiğiyle ilgili veri ve bilgi aktarımı gerçekleştirilir. Diğer bir veri alışverişide klima sistemleriyle olur. Klima sistemine bataryalardaki sıcaklık artışıyla ilgili bilgi giderek klima sistemindeki kompresörlerin çalışması sağlanır ve bataryalara soğuk sıvı veya gaz pompalanarak soğutma işlemi gerçekleştirilir. Burada farklı iletişim hatları kullanılabilmektedir. Haberleşmede otomotiv sektöründe genelde CAN hatları tercih edilir [35].

Batarya yönetim sistemlerindeki en büyük adımlardan bir tanesi kablosuz sistemler sayesinde batarya paketlerinin enerji yoğunluğunu artırması ve ölçeklendirilebilir olmasını sağlaması hedeflenmektedir. Diğer gelişmeler arasında yazılım ve bulut sistemlerinin kullanımının artırılması üzerine çalışmalar yapılıyor. Ayrıca kuantum sensörleri ve diğer sensörlerin kullanımıyla batarya arızalarının tespit edilmeside çalışmalar arasında yer alıyor. Batarya yönetim sistemlerinin kablosuz kontrolü dışardan gerçekleştirilecek hack saldırılarını mümkün kılıyor. Bu nedenle güvenlik protokollerinin çok iyi şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca elektromanyetik uyumluluk konularıda yine önemli bir yer tutmaktadır [36].

Farklı algoritmalar geliştirilerek bataryaların çalışma durumları ve güç durumlarını tespit etmek istenmektedir. Daha güçlü hücreler daha yüksek akımlara ve daha zayıf olanlarsa daha düşük akımlara maruz kalır. Geliştirilen algoritmalar sayesinde her bir hücreden elde edilmesi gereken enerjinin dengeli bir şekilde olmasını ve deşarjın yüksek verimlilikle gerçekleşmesi sağlanır. Sonuç olarak hiçbir hücre enerji depolama kapasitesini, güç kapasitesini ve bataryanın ömrünü kısıtlamaz.

4.2 Yüksek Gerilim Şarj İşletim Sistemleri

Elektrikli araçlarda şarj işleminin kontrolü doğru akım veya alternatif akım şarj istasyonlarındaki aşamalar Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Şarj işlemi.

Bu işlem sırasında araç ve şarj istasyonu arasında şarj kontrolü için çalışma limitleri ve parametre bilgileri ilgili elektronik kontrol ünitesine transfer edilir. Transfer edilen bilgi içerisinde bataryaların gerilim değerleri ve maksimum şarj akımı yer alır. Çıkış geriliminin ölçülmesi elektrikli aracın hala şarj istasyonuna bağlı olup olmadığının tespiti için gereklidir. Elektrikli aracın bağlı olduğu şarj istasyonu ile aracın uyumlu olup olmadığı elektronik kontrol ünitesi tarafından onaylanana dek şarj işleminin bir sonraki aşamasına geçilmemelidir. Uyumluluk kontrolünün ardından elektrikli araç ile şarj istasyonunun yalıtım testi başlar.

Bu işlem sırasında araçtan şarj istasyonuna şarj akımı ve şarj gerilim bilgileri iletilir. Ayrıca aracın şarj esnasında hareket etmesini engelleyecek olan mekanizmalar devrededir. Örnek vermek gerekirse elektrik motorlarına enerji veren inverterin elektronik kontrol ünitesine sinyal gönderilir ve bu veri sinyaliyle inverterin elektrik motoruna aktaracağı gücün sınırlandırılması sağlanır. Bu sayede araç çok düşük hızlarda veya hiç hareket edemeyecek şekilde şarj için bekler.

Normal kapatma süreci araç bataryalarının belirli bir kapasite değerine ulaşması veya şarj istasyonuna bağlı kablonun sürücü tarafından çıkarılmasıyla şarj işlemi sonlandırılır. Acil kapatma işlemiyse bir hata meydana gelmesiyle gerçekleşir. Şarj tamamlandığında araç şarj istasyonuna şarj akımını sıfıra indirmesi için bir mesaj gönderecektir. Araç ile şarj istasyonu arasındaki kablodan geçen akım sıfır değerine yaklaştığında araç üzerinde yer alan şarj kontaktörleri açılır. Araç konektöründeki gerilim güvenli duruma ulaştıktan sonra araç ile şarj istasyonu arasındaki bağlantı kilidi açılabilir ve sürücü araç konektöründen şarj bağlantısını çekebilir.

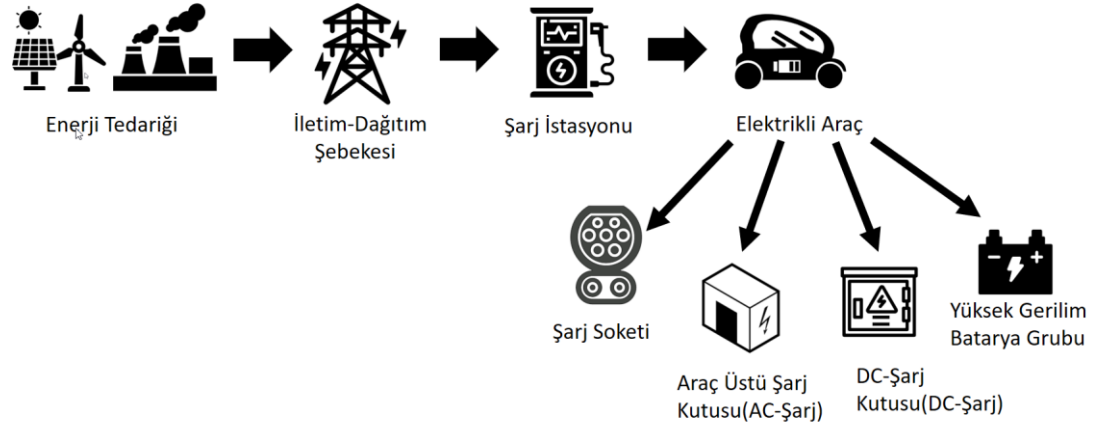
Yüksek gerilim bataryalarının şarj işlemi elektrik şebekesinden kablolar ve soketler yardımıyla gerçekleştirilir. Şarj sistemi aracın bir harici DC veya AC şarj cihazıyla yüksek gerilim bataryalarının şarj edilmesinde görev alır. Farklı çeşitlerde şarj seçenekleri vardır. Bunlardan bazıları hızlı şarj yani mümkün olan maksimum güçle şarj veya optimize bir şarj bireysel planlamayla standart şarj olarak gerçekleştirilebilir. Şarj durumları şebeke durumuna ve lokasyondaki maksimum şebeke gücüne bağlıdır.

Yüksek gerilim bataryaları şarj edilirken aynı zamanda DC-DC Konvertör yardımıyla alçak gerilim bataryaları da şarj edilebilir. Şarj arabirimi şarj soketi ve şarj kablosundan oluşur.

Şarj sistemleriyle ilgili olarak IEC 60664 ve ISO 15118 standartları incelenmelidir [37].

Şarj sistemlerinde yüksek gerilime karşı temel korumalar ve elektrik çarpmasına karşı yani temas korumaları sağlanmış olmalıdır. Örneğin yalıtım, muhafaza ve IP korumalarıyla bu korumalar gerçekleştirilir. Şarj sistemindeki aşırı akımlar nedeniyle aşırı ısınma gibi durumlar ortaya çıkabilir. Bu tür hatalar çeşitli mekanizmalar tarafından algılanır ve uygun önlemler başlatılır. Burada şarj işlemi kontrol eden doğru akım kontrol bileşeni akımı azaltacak yönde veya şarj işlemi sonlandıracak olan adımları başlatır. Şarj soketi araca takıldığında ayrıca aracın hareket etmesini engelleyen mekanizmalarda aktif olur. Ayrıca yüksek gerilim topraklamaları da norm gerekliliğini sağlayacak şekilde düzenlenmiş olmalıdır.

Şarj sistemlerinde aktif olan bileşenler veya cihazlar şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Şarj sisteminde aktif olan bileşenler.

Şarj sisteminin diğer sistemlerle olan ilişki matrisi şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Şarj sisteminin diğer sistemlerle olan ilişki matrisi.

Şarj sistemi birçok sistemle bağlantılı bir sistemdir. Diğer sistemlerle aralarında CAN ve LIN bağlantılarıyla haberleşirler. CAN ve LIN bağlantıları aracın veri taşıyan alt sistemleridir. Bu bağlantılar farklı kesit ve renklerde kablolarla gerçekleştirilir. Otomotivde merkezi ağ sistemiyle yani CAN ve LIN hatlarıyla araçtaki bileşenler arasında haberleşme sağlanır.

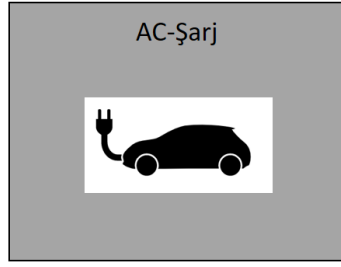
Şekil 4.3'deki ilişki matrisi anlatılacak olursa burada güç aktarım sistemiyle arasında şarj kuplörünün tespiti gerçekleştirilir. Termal yönetim sistemiyle şarj sırasında soğutma ihtiyacının karşılanması talebi iletilir. Enerji yönetim sistemleriyle şarj limitleri örneğin maksimum akım değerinin belirlenmesi, aracın ne zaman harekete hazır olabileceğinin bilgisi ve şarj durumuyla ilgili bilgiler iletilir. Alçak gerilim ağındaki enerji talebi bilgisi iletilir. Yüksek gerilim ağındaysa sistemin harekete geçmeye hazır olduğu bilgisi iletilir. Klima sistemindeyse eğer sürücü aracı ısıtıp soğutmak istiyorsa enerji talebi iletilir.

Elektrikli şarj sistemlerinin etkin bileşen ve sistemlerinde şarj soketi, sisteme takılı bir soketin varlığının kontrolünü gerçekleştiren ve kilitleyen mekanizmalar, çalışma ekranıyla haberleşme sağlanması, acil durumlarda şarj soketinin sistemden mekaniksel veya elektriksel olarak ayrılması, şarj soketinin konumunun tespiti ve farklı şarj sistemleriyle bataryaların şarj edilmesidir. Farklı şarj sistemlerinden kasıt bir soket aracılığıyla değil de örneğin bir pantograf yardımıyla aracın yüksek güçlerde şarj edilmesi örnek gösterilebilir.

Şarj sistem çeşitlerini iki farklı başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar araç üstü şarj ve harici şarj sistemleri olarak ayrılmaktadır.

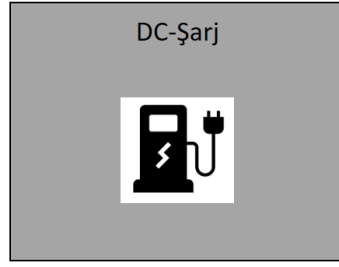
Araç üstü şarj sistemleri aracın üzerinde bulunan batarya yönetim sistemi yardımıyla akımın kontrol edildiği sistemlerdir. AC şarj için bu sistem kullanılmaktadır.

Harici şarj sistemleri ise araç üzerinde herhangi bir akım kontrol sistemi yer almadan enerjinin doğrudan bataryalara aktarıldığı sistemlerdir. İki sistemin birbirileri arasındaki farklar Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Araç Üstü Şarj Aygıtı(On-Board)

- Daha az enerji transferi
- Düşük güç seviyelerinde şarj imkanı
- Yavaş şarj durumu
- Araçta ağırlık ve hacimsel artış
- Bataryanın ısınma durumu önemsizdir
- Kompleks batarya yönetim sistemi
- Yavaş şarj serbebiyle bataryaların eskime durumu daha yavaştır

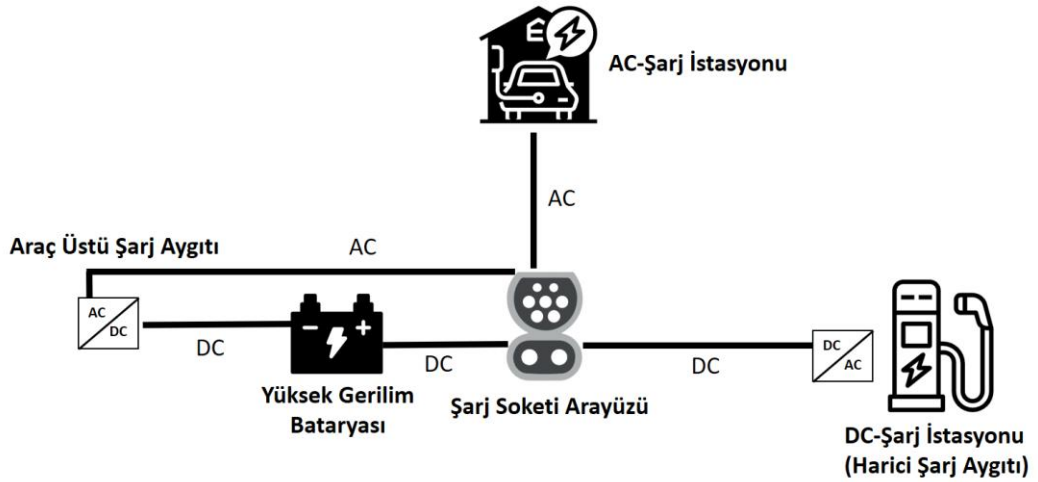


Harici Şarj Aygıtı(Off-Board)

- Daha yüksek enerji transferi
- Yüksek güç seviyelerinde şarj imkanı
- Hızlı şarj imkanı
- Araçtaki ağırlık azalmasına imkan sağlar
- Bataryanın ısınma durumu adreslenmelidir
- Daha az kompleks batarya yönetim sistemi
- Hızlı şarj sebebiyle bataryaların eskime durumu daha hızlıdır

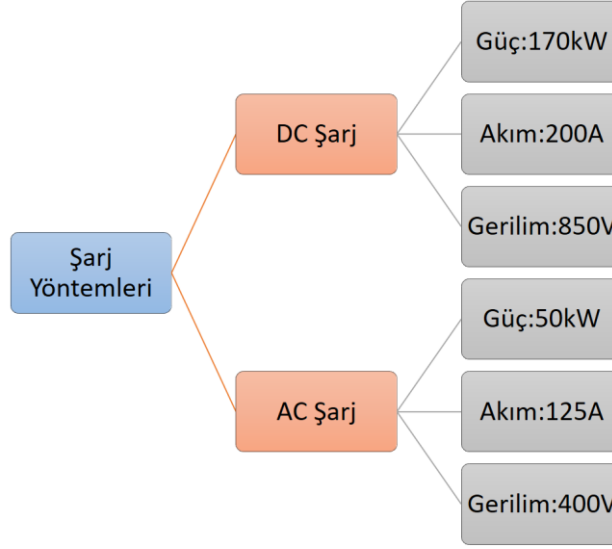
Şekil 4.4 : AC ve DC şarj arasındaki farklar.

İki sistemin çalışma işleyişi yine Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : AC ve DC şarj işleyişleri.

Avrupa Birliği standartlarına göre DC ve AC şarjın maksimum gerilim, akım ve güç değerleri Şekil 4.6’de gösterilmiştir.

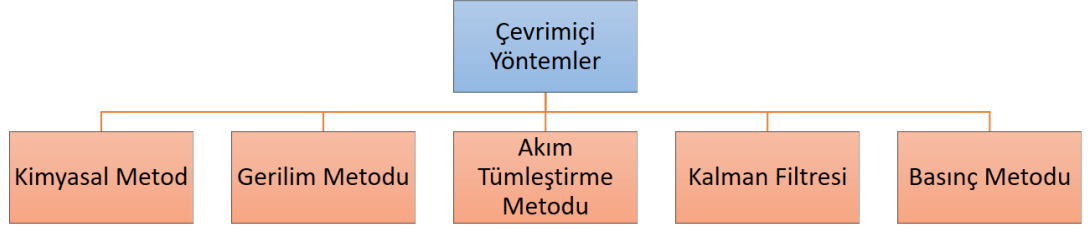


Şekil 4.6 : AC ve DC şarj maksimum akım, gerilim ve güç değerleri.

Bataryaların şarj ve deşarj durumlarını ifade etmede kullanılan şarj durumu (SoC) ve deşarj derinliği (DoD) terimlerini açıklamak gerekir.

Şarj durumu (SoC) bir elektrik bataryasının kapasitesine göre şarj seviyesidir. SoC'nin %0 olma durumunda bataryanın şarjının olmadığı %100 olma durumundaysa tam şarj olma durumu ifade edilmektedir. Burada verilen yüzdesel ifadeler teorik olarak açıklamada kullanılırlar. Gerçekte hiçbir bataryanın %0'a kadar deşarj olma durumu yoktur. Araçta SOC değeri doğrudan ölçülebilir bir birim değildir. Ancak doğrudan ölçüm değişkenleriyle iki farklı şekilde tahmin edilebilir. Tahmin yöntemleri çevrimiçi ve çevrimdışı diye ikiye ayrılır. Çevrimdışı tekniklerden bir tanesi bataryaların şarj ve deşarjlarının sabit bir oranda olması varsayımıyla hesaplanan Coloumb sayımıyla gerçekleştirilir. Coloumb sayımıyla bataryaya giriş ve çıkış yapan akım değerleri ölçülür ve bu bilgide bataryada kalan kapasite değerini belirlemede kullanılır. Bu yöntem ile bataryanın SOC değeri neredeyse tam doğrulukta ölçülebilir. Coloumb yönteminin bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlar uzun süreli bir ölçüm olması sebebiyle maliyetlidir ve batarya performansının kesintiye uğramasına yol açar. Bu nedenle bilim insanları çevrimiçi yöntemlerle bu tür dezavantajları ortadan kaldırmak adına yeni yöntemler geliştirmeye çalışmaktadırlar.

SOC belirlenmesinde dolaylı yani çevrimiçi yöntemler şekilde 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : SoC belirlenmesinde kullanılan çevrimiçi yöntemler.

Deşarj derinliği (DoD) bataryanın toplam kapasitesine göre deşarj olmuş bataryanın yüzdesini verir. Deşarj derinliği tam olarak şarj olmuş bir bataryadan deşarj olan kapasiteninin, bataryanın nominal kapasitesine bölümü olarak tanımlanır.

Deşarj derinliğini basit bir örnek ile açıklayacak olursak 200 A.h kapasiteye sahip bir bataryanın 30 dakika boyunca sabit 25 amper ile deşarj edilmesi durumunda deşarj derinliği hesaplanması,

$$\frac{25A \times \frac{30\text{dakika}}{60\text{dakika}} \text{saat}}{200\text{amper.saat}} \times 100 = 6.25\% \quad (4.1)$$

Deşarj derinliğinin %6.25 çıktığı görülmüştür. DoD ile belirli bir batarya kapasitesine sahip bataryanın belirlenen deşarj akımı ile belirli bir süre boyunca deşaj olması durumu anlatılır. Burada SoC'ye benzer şekilde bataryaların yüzde kaç oranında deşarj olduklarını ifade ederken DoD terimi kullanılabilir. Ancak SoC'nin kullanımı DoD'ye göre çok daha yaygındır.

Bataryaların çevrim ömürlerini artırmak için deşarj derinliği mümkün olduğunca düşük tutulurken, şarj akımı limitinde bir o kadar yüksek olması gerekir. Ancak şarj akımındaki artış şarj sisteminin boyutunda ve ağırlığında artışa sebep olacaktır. Bu nedenle bir denge yakalanması gerekmektedir.

Şarj durumu (SoC) ve Enerji Durumu (SoE) terimleri de bazı durumlarda birbiriyle karıştırılmaktadır. Bunu söylemek yerine aradaki farkı açıklayalım. İki terimin neyi ifade ettiği bir örnek üzerinden daha iyi anlaşılabilir. Bu örnekleme ayrıca bir bataryanın %80'den %90'a şarj edilirken geçen sürenin %30'dan %40'a şarj edilirken geçen süreden neden daha fazla sürdüğünü açıklamaya yardımcı olur. Bataryaların

düşük yüzde seviyelerindeki şarjlarda neden daha hızlı tükendiğini de yine bu örnek üzerinden açıklamak mümkündür.

Örneğin 10kWh'lık bir bataryanın çalıştıktan sonra SOC değerinin %10'a düştüğü varsayıldığında bataryada kalan enerjinin 1kWh olmadığı görülür. Yani kalan enerjinin 1kWh'dan azdır.

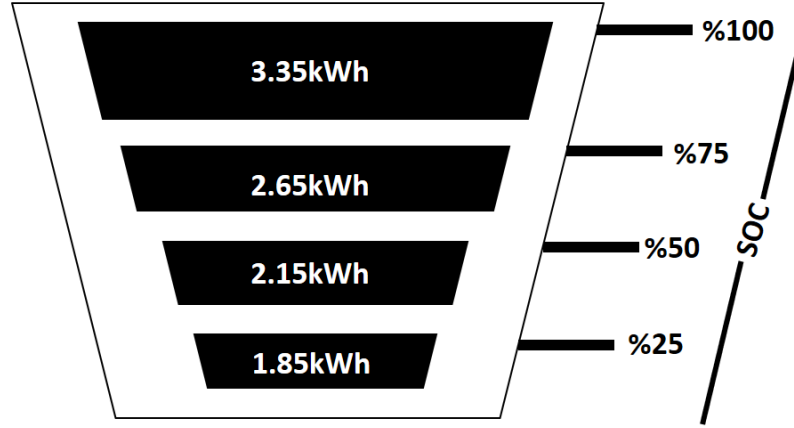
SoC literatürde bataryadaki şarjın miktarının coloumb olarak ifadesidir. Akım ise yük veya elektronun akış oranını gösterir ve bu nedenle batarya kapasitesi Ampersaat (A.h) olarak ifade edilir.

Bu durumda 400V'luk ve 100Ah kapasiteye sahip bir bataryanın tam şarj olması durumunda kapasitesi 40 kWh olarak belirlenir. Normal koşullarda SoC'nin %50 olduğu durumda ilgili bataryanın enerjisi 20kWh olması gerekir. Ancak görülen değer bu değildir. Çünkü batarya tüm çalışma aralığında aynı gerilim değerinde olmayacaktır.

Her bataryanın kendine özgün SoC ve gerilim değerini gösterdiği grafikler mevcuttur. Bu noktada bir lityum iyon bataryanın grafiğinden SoC'nin %50 olduğu durumda gerilim değerinin 353V [38] olarak okunduğu varsayımıyla enerji değeri 17.6 kWh olarak belirlenir. Dikkat edilirse burada 400V değeri alınmış olsaydı okunan değer 20 kWh olacaktı. Grafikten %10 SoC'deki enerji değeri 340V olduğu varsayımına göre 3.4 kWh olarak bulunur. Buradan görüldüğü üzere bataryadaki enerji miktarı üzerinden yüzdesel SoC değeriyle geriye kalan enerji hesabı gerilime bağlı olarak yapılması gerekmektedir.

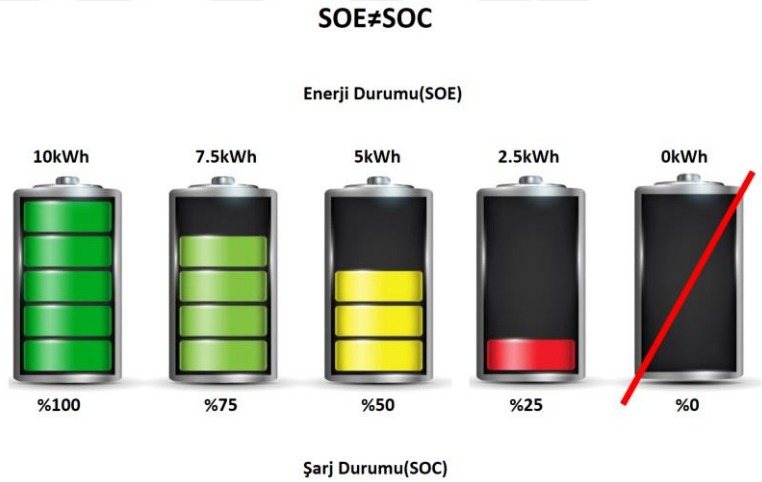
SoC değerinin hesaplanmasını alt kısmında üst kısmına göre daha fazla hacmin olduğu bir yamuk geometrik şekline sahip olduğunu söylemek doğru olacaktır. Buradan çıkarılacak bir sonuçta elektrikli araçların % SoC'de şu kadar mesafe alabilir gibi bir cümle kurmak doğru olmayacaktır.

Şekil 4.8'de örnek bir hesaplamadan yola çıkarak 10kWh'lık bir bataryanın SoC değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : 10kWh'lik bir bataryanın örnek SoC değerleri.

Şekil 4.8'deki ters piramitten bataryanın toplam kapasitesinin 10 kWh olduğu görülür. Enerji durumu ve şarj durumu terimlerini basit bir şekilde karşılaştırmak için Şekil 4.9 incelenebilir.



Şekil 4.9 : SoC ve SoE'nin karşılaştırılması .

Bir elektrikli araçta batarya şarj durumuna bağlı olarak ne kadar süre şarj olması gerektiğini örnek bir hesaplama ile açıklamak mümkündür.

Bataryanın ne kadar sürede şarj edilmesi gerektiği batarya enerjisinin şarj istasyonunun gücüne oranının istenilen SoC değeriyle çarpımına eşit olur. Örneğin, 15kW'lık güce sahip bir şarj istasyonu 150kWh'lık yüksek gerilim bataryasına sahip bir aracı %80 SOC ve %100 SoC'e kadar şarj etmek için teorik olarak ne kadar sürede şarj edilmesi gerektiği sırasıyla 8 ve 10 saat olarak elde edilir.

Bu hesaplama, çevre faktörleri gibi etkenler yok sayılarak yapıldığı için teorik olarak kabul edilir. Gerçekte bu süreler birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik gösterir. Örneğin araç şarj oluyorken yalnızca bataryalar şarj olmamakta aynı zamanda başka sistemlerde enerji tüketmektedir. O nedenle bataryaların tam şarj olması biraz daha fazla zaman almaktadır.

C Oranı (C-Rate) bataryanın maksimum kapasitesine göre deşarj hızının bir ölçüsüdür. C Oranı bataryanın akım değerinin kapasiteye bölünmesiyle elde edilir. Akım ise kapasitenin saate bölünmesiyle elde edilir. Yani C Oranı'nı 1/h olarak ifade etmek mümkündür. Örneğin 1C Oranına sahip bir bataryanın tüm bataryayı 1 saat içerisinde deşarj edeceği anlamı çıkar. Sayısal olarak 100 A.h kapasiteye sahip bir batarya 100A'lık deşarj akımıyla deşarj edilmesiyle 1 saat içerisinde deşarj olacağını hesaplayabiliriz. Bir başka şekilde ifade etmek gerekirse C/20 Oranına sahip bir bataryanın 20 saat boyunca tamamen şarj edilebileceği anlamı çıkar. Sayısal olarak 500 A.h kapasiteye sahip bir bataryanın 25A'de şarj veya deşarj edilme durumunda C Oranı C/20'eşit olacaktır.

C Oranı'nın değişken değerlerine karşı şarj/deşarj zamanları aşağıdaki çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : C Oranı ve şarj-deşarj ilişkisi.

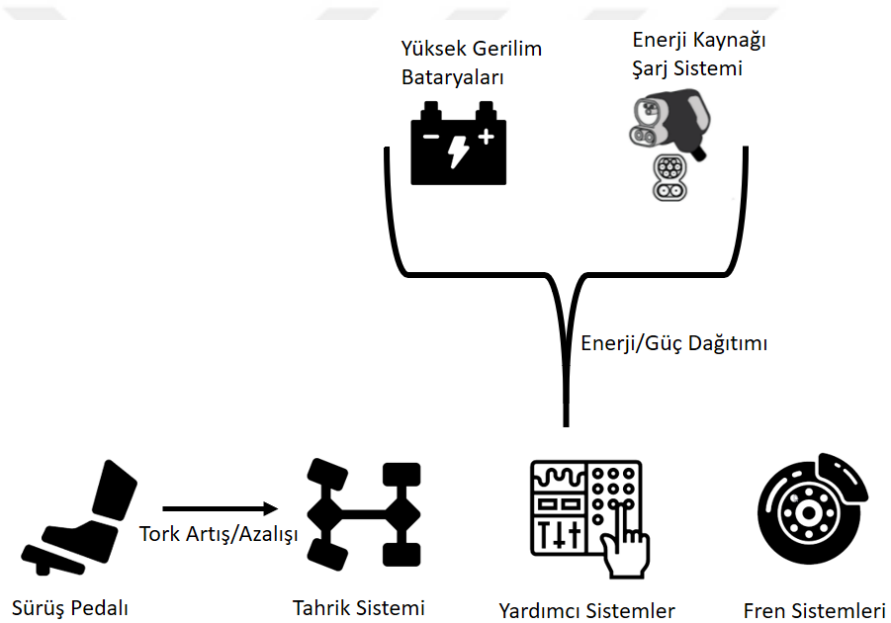
C-Oranı	Şarj/Deşarj Süresi
4C	15 dakika
2C	30 dakika
1C	1 saat
0.5C	2 saat

4.3 Enerji Yönetim Sistemleri

Elektrik kontrol üniteleri tarafından kontrol edilen güç enerji yönetim sistemi sayesinde dağıtılır. Bu sistem güç sınırlarını sürüş için belirler. Enerji verimliliği, bileşenlerin çalışma ömürleri, konfor ve sürüş performansı yüksek gerilim ara devreleriyle yani elektrik enerjisi yönetim sistemi sayesinde gerçekleştirilir. Sürüş modlarına bağlı olarak enerji dağıtım seviyeleri değişiklik gösterir.

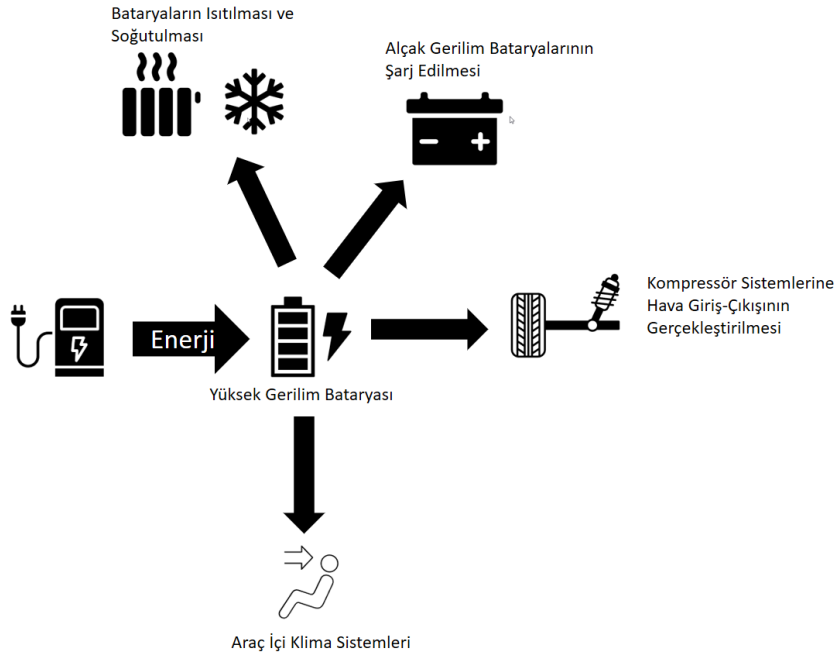
Enerji yönetimi yüksek gerilimin araç içerisindeki dağıtımından sorumlu sistemdir. Yüksek gerilim bataryalarının çalışma sınırları dikkate alınarak sürüş sistemleri ve

yardımcı ünitelere enerji sağlanır. Enerji yönetim sistemi bunların yanında, bataryalarda var olan enerjiye bağlı olarak sürüş dinamikleri ve yardımcı sistemlere sağlanan enerjinin düzenlenmesi, frenleme sistemlerinin performansının dengeli olmasını sağlamak, bataryaların şarj durumuna bağlı olarak eşik değerlerin belirlenmesi ve uyarı eşik değerlerinin belirlenmesi, bataryalardaki şarj duruma bağlı olarak aracın ne kadar süre daha mesafe alabileceğinin hesaplanması gibi fonksiyonları yerine getirir. Bu sistemler aynı zamanda, kontrol edilebilir enerji kaynaklarının kontrol edilmesinden, aracın seyahat ve enerji geri kazanımlarının belirlenmesinden ve soğutma sistemlerinin ısıtma elemanlarına harcanacak olan maksimum enerjinin belirlenmesinden sorumlu sistemdir. Enerji sistemleri yönetiminde etkin olan alt sistemler şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Enerji yönetim sistemleri alt sistemler.

Enerji yönetimin sisteminin bir önemli görevi de araç şarj olurken devrede olan sistemler aktif olarak çalışmaya devam eder ve enerji tüketimi gerçekleştirir. Diğer sistemlerin düzenlenmesinde yardımcı olur. Şekil 4.11’de ilgili sistemlerin ilişkileri gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Şarj sırasında diğer sistemlerde enerji yönetimi.

Elektrikli araçlarda çok sayıda enerji talebine sahip elektrikli bileşenler bulunmaktadır. Enerji taleplerinin düzgün bir şekilde dağılımı için enerji yönetim sistemleri aktif olarak görev alırlar. Bir elektrikli araçta harcanan enerji ve akımlarının dağılımları Çizelge 4.2 örneğinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Araçtaki sistemlerin akım ve güç ihtiyaçları örneği [39].

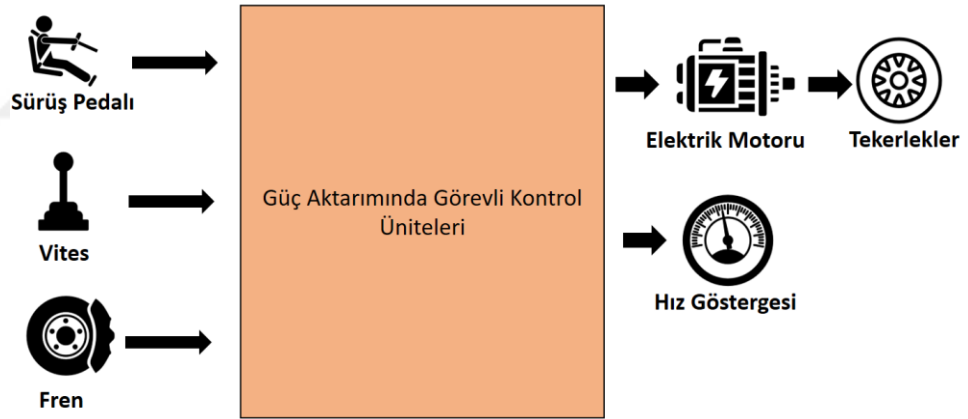
Enerji Talebi	Akım Değeri (A)	Güç (W)
Aydınlatma,Havalandırma, Elektrik-Elektronik Kontrol Üniteleri	15	400
Yüksek Gerilim Motoru ve Aktarma Organlarının Soğutulması	32	1200
Fan Sistemi	75	1800
Pomplar (E-Sürüş)	15	500
Araç İçi Klimalandırma	8	100
Batarya Soğutması	35	1100
Toplam	180	5100

İlgili örnekte ortalama gerilim değeri yaklaşık olarak 28V olarak görülmektedir. Ancak burada hesaplanan gerilim tüm sistemlerin aynı anda aktif olarak çalışması durumunda gereklidir.

Enerji yönetim sistemlerini kontrol eden kontrol üniteleri mevcuttur. Kontrol üniteleri ve onların yazılımları için büyük yatırımlar yapılmaktadır. Çünkü enerji sistemlerinin özellikle yüksek gerilim bataryalarındaki sınırlı enerjinin kontrolünü sağladığından bu noktada çok önemli bir sistemdir.

4.4 Güç Aktarım Sistemi

Elektrikli güç aktarım elemanlarına sahip elektrikli araçlarda sürücünün isteğine bağlı ivmelenme veya frenleme gerçekleşir. Elektrikli araçlardaki sürüş modlarına bağlı olarak elektrik motorlarının torkları izlenir ve kontrol edilir. Geleneksel araçlarda olduğu gibi sınırlamalar ve fonksiyonlar dikkate alınır. Güç aktarım sistemleriyle ilgili olarak basitleştirilmiş sistem görünümü Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



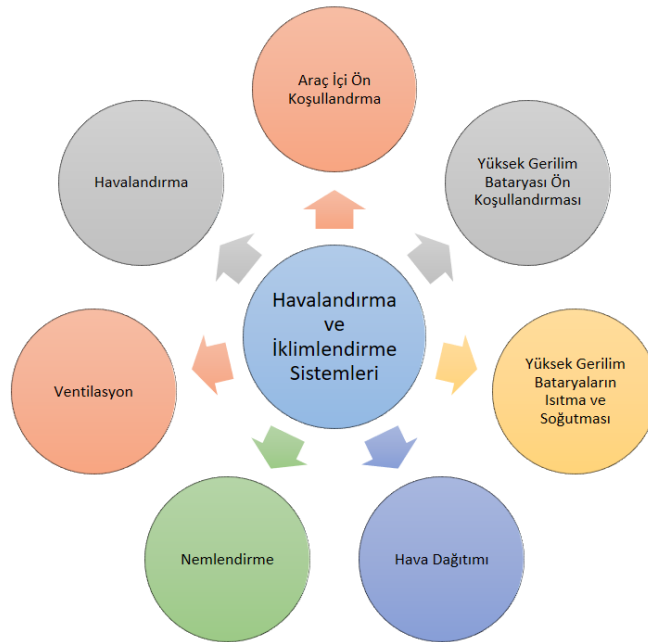
Şekil 4.12 : Güç aktarım sisteminin basitleştirilmiş gösterimi

Şekil 4.12’de resmedilen gösterimde sürücünün aracı ivmelendirmek istediğinde sürüş pedalına basması gerektiğini ve ilgili kontrol ünitelerine pedalın üzerinde yer alan sensörlerden pedalın hangi açıda olduğuna bağlı olarak belirli bir ivmelenmenin yapılması gerektiği sinyali gönderilir. Ardından bu bilgiyi işleyen kontrol ünitesi inverterde yer alan kontrol ünitesine bu bilgiyi aktarır ve inverterden elektrik motorlarına daha yüksek akımlar iletilerek elektrik motorunun daha hızlı devirlere çıkması sağlanır. Artan devirle birlikte tekerleklerde o denli hızlı dönmeye başlar.

Elektrik motoru ve tekerlek akslarında yer alan hız sensörleride aracın hız göstergesinde sürücüye aracın hangi hıza çıktığı bilgisini iletir. Vites sistemi elektrikli araçlarda otomatik olup yalnızca ileri ve geri yönde hareketi belirlemek adına ihtiyaç duyulur. Fren sistemleride yine benzer şekilde fren pedalına basıldığında oradaki hareket sensörleriyle ilgili sinyaller aynı elektronik kontrol ünitesine sinyal gönderir ve bu sefer inverterde yer alan kontrol ünitesine akımı azaltma sinyali giderken aynı zamanda elektrikli araçlarda yer alan fren direnç sistemleri devreye girer ve araç yavaşlamaya başlar. Fren direnç sistemlerinde rejeneratif bir enerji üretimi mümkün olup buradaki enerji ısı veya elektrik enerjisi olarak araçta kullanılabilir.

4.5 Klima Sistemi

Araç klima sistemi araç içerisindeki uygun iklim koşullarını yaratmak için gerekli olan tüm fonksiyonel bileşenlerden oluşur. Klimanın ana görevleri arasında ek ısıtma, ısı pompası veya frenleme sisteminden kazanılan enerji ile ısıtma, havalandırma örneğin hava nemi ve araç içi oksijen seviyelerini artırma ve düzenlenmesi, klima araç içi sıcaklığı düşürme ve hava dağılımının düzenlenmesi vardır. Ayrıca yüksek gerilim bataryalarının uygun koşullarda çalışabilmesi için ısıtma ve soğutma görevlerini gerçekleştirir. Şekil 4.13’de klima sistemlerinin ana görevleri verilmiştir.



Şekil 4.13 : Klima sistemleri ana görevleri

Elektrikli araçlarda klima sistemlerinin düzenlenmesi dendiğinde, ısı kaynaklarının önceliklendirilmesi gerekir. Aracın mümkün olduğu kadar uzun bir menzile sahip olmasını sağlamak adına hangi ısıtma kaynağının kullanılacağına elektronik kontrol bileşenleri karar verir. Burada farklı sürüş seçenekleri ve çevre durumları etken faktörlerdir.

Araçtaki yüke bağlı temiz havanın araç içerisine pompalanması da yine elektrikli araçlarda büyük ölçüde enerji harcayan fonksiyonlardan bir tanesidir. Özellikle toplu taşıma araçlarında yolcu sayısına bağlı araç içerisindeki temiz hava oranı değişkenlik gösterir. Devir daim için gerekli kontroller yine farklı bir elektronik kontrol bileşeni tarafından gerçekleşir. Devir daim kontrol birimi temiz havanın çok aşamalı ayarını %0 ile maksimum değerler arasında ayarlar. Toplu taşıma araçlarında araç içindeki yolcu sayısını aks yükü sensörü, yolcu sayma sistemi ve CO₂ sensörleri yardımıyla saptamak mümkündür.

Dış ortam sıcaklığına bağlı karakteristik eğrilerinin düzenlenmesi gerekir. Dış sıcaklığa bağlı olarak iklimlendirme (HVAC) sistemi değişken bir iç ayar referansına göre düzenlemeler yapar. Kısmi şartlandırma denen durumda enerji tasarrufu yapmak ve tüketimi azaltmak için araçta aktif olmayan durumlarda klima kullanımı olmayabilir veya azaltılabilir.

4.6 Güvenlik Sistemleri ve Konseptleri

Yüksek gerilim bileşenlerinin otomotiv sektöründe kullanılmaya başlanmasıyla birlikte birçok konuda yeni güvenlik sistemlerinin gerekliliği ortaya çıkmış ve bu yönde yetkili kurum ve kuruluşlar yönetmelik çalışmaları yapmıştır. Bu noktada genel anlamda ISO 6469 Elektriksel Güvenlik Normu, ECE R 100 Yüksek Gerilim Güvenliği ve Yüksek Gerilim Batarya Yönetmeliği, ECE R 10 Elektromanyetik Girişim Yönetmeliği, ISO 60664 Şarj Yönetmeliği, ISO 16760 Bileşen Test Yönetmeliği ve ISO 12450 Yüksek Gerilim Batarya Test Yönetmelikleri gibi güvenlik normları mevcuttur.

Yüksek Gerilim Güvenliği: Yüksek gerilim güvenlik cihazları tüm fonksiyonların güvenli bir şekilde açılıp kapatılabilmesi için gereklidir. Yüksek gerilimin serbest

bırakılması 60V üstü doğru akımın yüksek gerilim araç içi elektrik sisteminden akmasıyla gerçekleşir. Eğer serbest bırakılma gerçekleştirilemiyorsa tüm yüksek gerilim bileşenleri güvenli bir şekilde kapatılmalıdır. Bu sayede yüksek gerilim devrelerinden akım akması engellenmiş olur. Kontak koruma yüksek gerilim ağırları için gereklidir. Bu koruma yalıtım direnciyle ve eş potansiyellerin bağlanmasıyla gerçekleşir. Eş potansiyel bağlantılar her bir yüksek gerilim bileşeniyle aracın şasisine galvanik olarak bağlanmasıyla gerçekleştirilir. Bağlantılar arasındaki direnç ölçümleri araçtan araca farklılık gösterebilir. Pasif deşarjla aracın yüksek gerilim ara devresi 60V DC'nin altına belirli bir sürede yüksek gerilim bileşenlerinin deşarj dirençleriyle düşürülür. Pasif deşarj araç büyük ölçüde hasar aldıysa gerçekleşir. Bu sayede yolcuların ve sürücünün elektrik akımına kapılmaları önlenmiş olunur.

Yüksek gerilim ihtiva eden bileşenlerin üzerine normlarda yer alan tehlikeli, yaklaşmayın veya dokunmayın gibi ibarelerin yer aldığı etiketler yapıştırılır. Yüksek gerilim bileşenlerine dokunulması durumunda kişinin ve bileşenin minimum hasar göreceği şekilde düzenlenmesi gerekir. Yüksek gerilim bileşenleri üzerinde kullanılan soket, kablo rakoru gibi ürünlerin dış ortam etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Bu koruma çeşidine IP koruması adı verilir.

Tüm elektrik elektronik cihazlarda olduğu gibi topraklama gereklidir. Bu topraklamaya eş potansiyel topraklama adı verilir.

Yüksek gerilim bileşenleri aşırı yük ve kısa devre akımlarına karşı koruma cihazlarıyla donatılmalıdır. Aşırı akım koruması yüksek akım sigortalarıyla sağlanır. Ayrıca yüksek gerilim röleleriyle de yine yüksek gerilim koruması sağlanır.

Yüksek gerilim ağırları alçak gerilim ağırlarından izole edilmelidir. Burada farklı yöntemler mevcuttur. Ancak en etkili ayırma galvanik ızalasyonla sağlanır. Galvanik ızalasyon sayesinde farklı gerilim seviyelerindeki cihaz ve bileşenler arasındaki akım akışı engellenir. Galvanik ızalasyon kaçak akımları ortadan kaldırmak için elektrik devrelerini ayıran bir tasarım tekniği olarak bilinir.

İzalasyon malzemeleri normlarda yer alan spesifikasyonlar ışığında seçilmelidir. İzalasyon hataları; yüksek gerilim pozitif bağlantısıyla araç toprağı arasında, yüksek gerilim negatif bağlantısıyla araç toprağı arasında, hem pozitif hem negatif

bağlantısıyla araç toprağı arasında veya alternatif akım Faz1 ya da Faz2 ya da Faz3 ile araç toprağı arasında meydana gelir.

Aktif ve pasif deşarj olma durumları yine güvenlik için gereklidir. Yüksek gerilim sistemleri kapatıldıktan sonra belirli bir süre sonra normlarda yer alan gerilim değerine düşmelidir.

Yüksek gerilim bileşenleri ve bunlara bağlanan soket gibi bağlantı öğelerinde yüksek gerilim kilitleme mekanizmaları olmalıdır.

Yüksek gerilim kablolarının ve bağlantı elemanlarının ekranlamaya sahip olması gerekir. Aksi takdirde elektromanyetik girişime maruz kalırlar. Bu da sistemde istenmeyen akımların endüklenmesine sebep olur ve kısa devre meydana gelebilir.

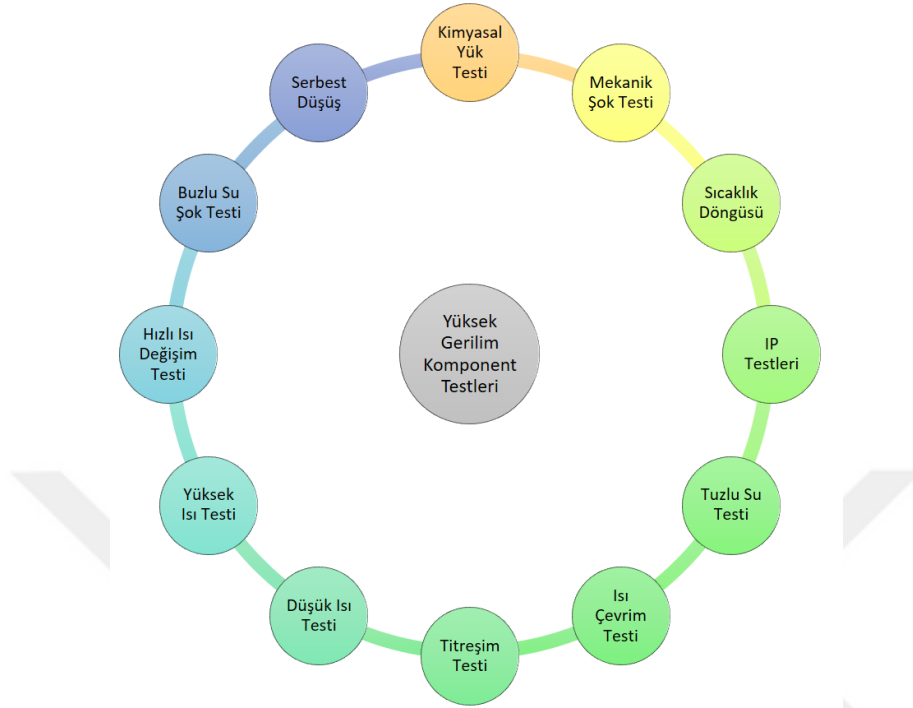
Kablo demetiyle ilgili olan bölümde de belirtildiği üzere otomotiv sektöründe kullanılan kabloların yüksek gerilim taşıdığını belirtmek için renkleri turuncu olmalıdır. Turuncu olmasıyla birlikte tehlikeli ve sıcak olabileceğine dair dış ortamdan bakan bir kişiye uyarı mahiyetinde kullanılan bir renktir.

Acil Durdurma Konsepti: Bu kavram acil durdurma şalteri ve onun aktifleştirilmesi için gerekli cihazlardan oluşur. Farklı türde normlar bu konu özelinde mevcuttur. Örneğin norm ISO 16750'ye göre uygun bir acil durdurma şalteri seçilebilir. Acil durdurma butonları-şalterleri aracın farklı yerlerine konumlandırılabilirler. Şalter konumu seçilirken acil durumlarda sürücünün en kolay ulaşabileceği yerlere konumlandırılmalıdır. Acil durdurma şalteri gerilim devrelerinin açılmasıyla ilgili norm ECE-R 107'a göre çalıştırıldığında yüksek gerilim serbest bırakma sinyali kapatılır ve tüm elektrik enerji kaynakları kapatılır. Yüksek gerilim ara devresi hızla 60V DC'nin altına düşürülür.

Şarj durumunda olan bir aracın bazı sebeplerden ötürü acil olarak yüksek gerilim bağlantısının kapatılmasına ilişkin sistemlerin gerekliliği ve acil kapatma butonlarının kullanılması bu kavram altında ele alınır.

Yüksek Gerilim Bileşenlerinin Test Edilmesi: Yüksek gerilim bileşenlerinin bir araçta kullanılmadan önce bazı normlar gereğince testlere tabi tutulurlar. Gerekli testler başarıyla tamamlanıp ardından akredite bir laboratuvarından onay alındıktan

sonra araçta kullanımına ilişkin yazılım ve fonksiyon testleri adımına geçilebilir. Yüksek gerilim bileşenlerine uygulanması gereken testler Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14 : Yüksek gerilim bileşenlerine uygulanması gereken testler.

4.7 Elektrikli Araç Güç Sistemleri

Geleneksel araçlarda kullanılan elektrik-elektronik bileşen ve cihazlar alçak gerilim güç sistemlerinden beslenirken, elektrikli araçlarla birlikte yüksek gerilim güç sistemleriyle beslenmesi gereken bileşenler ortaya çıkmıştır. Bu noktada güç sistemlerinin sayısı birden ikiye çıkmıştır.

Yüksek Gerilim Güç Sistemi: $60V < V_{dc} < 1500V$ DC gerilim seviyesine sahip elektrik tahrikli sistemleri, kablo demetleri, yüksek gerilim bileşenleri ve elektrik motorunu içeren bir alt sistemdir. Ayrıca yüksek gerilim güvenlik cihazları (örneğin acil durdurma mekanizması) ve ayrıca güvenli çalıştırma ve kapama için gerekli olan tüm fonksiyonların yanı sıra yüksek gerilim sisteminin güvenli işletimi ve teşhisi için bu alt sistem görevlidir.

Acil kapatma fonksiyonu sayesinde farklı sayıda açma kapama şalteri yardımıyla yüksek gerilim güç şebekesiyle araç arasındaki bağlantı kesilebilir. Bağlantı ilgili yüksek gerilim mekanizmalarıyla ayrı hatlar üzerinden kesilir. Acil kapama şalterleri

aktif edildiğinde batarya bağlantıları açılır ve tüm yüksek gerilim bileşenlerinin aktif deşarjı başlatılır.

Yüksek gerilim ara devresinin şarjı yine bu sistem sayesinde gerçekleştirilir. Yüksek gerilim ara devresi araçta yer alan bataryalarla ön şarjı gerçekleştirir. Ön şarj gerçekleşir gerçekleşmez yüksek gerilim bataryalarına ait kontaktörler kapanır. Depolanan tüm enerji kullanılabilir duruma gelir.

Araç kapama şalteri aktif edildiğinde de operasyonel olarak yüksek gerilim güç ağı kapatılmış olur. Yüksek gerilim güç ağının normal şekilde kapatılması enerji yönetim sistemi tarafından gerçekleştirilir. Tüm yüksek gerilim bileşenlerine aktif ve pasif deşarj durum komutu gönderilir. Ardından batarya bağlantıları açılır.

Yüksek gerilim ara devresinin aktif deşarjı araçta yer alan direnç bileşenleri tarafından gerçekleştirilir. Aktif deşarj saniyeler içerisinde gerçekleşir. Bu işlem acil kapama durumlarında, çeşitli hata durumlarında ve normal kapatma sırasında gerçekleşir.

Yalıtım kontrol sistemi hem araç çalışır durumdayken hem de şarj sırasında aktif olan bir sistemdir. Yalıtım kontrol sistemiyle birlikte, yalıtım ölçümleri aktif yapılır. Yalıtım ölçümü sırasında yüksek gerilim kablolarında bir hasar olup olmadığı, eskime seviyeleri, nemin etkisi ve yalıtım içindeki artı veya eksi hatlar ile toprak arasındaki kısa devreye yol açan arızaların kontrolü gerçekleştirilir. Yalıtım kontrolü batarya kontrol sistemi tarafından gerçekleştirilir. Yalıtım hataları seçilen bataryanın kontrolüyle tespit edilir. Batarya kontrol sistemine hata bildirimi yapılır ve sürücüye hata göstergesi olarak gösterge panelinde belirtilir. Yalıtım denetimi şarj sırasında takılan şarj kablosunda aktardığı gerilim ve akım gibi değerlere göre kontrol eder. Şarj kablosu araçtan çıkarıldığı andan itibaren batarya kontrol sistemi bataryaların yalıtım denetimini kontrol etmeye devam eder.

Yüksek gerilim güç ağının doğru çalışması için gerekli temel algoritmalar enerji kontrol sisteminde uygulanmaktadır. Yüksek gerilim bataryaları enerji kontrol sistemi ve batarya kontrol sistemleriyle özel CAN ve LIN hatları yardımıyla iletişim kurar. Diğer yüksek gerilim bileşenleri de enerji kontrol sistemiyle yine farklı bir CAN ve LIN hatları üzerinden iletişim kurar.

Elektrikli Araç Test Standardına uygun bir sistem geliştirmesi farklı ülke normlarınca yapılabilir. Normlar kıtalar arasında bazen farklılık gösterebilmektedir. Tüm yüksek gerilim bileşenlerinin dielektrik dayanımları sistem normlarına uygun olmalıdır.

Alçak Gerilim Güç Sistemi: Alçak gerilim güç sistemi elektrik enerjisinin 12V, 24V, 48V geriliminde üretilmesi, dağıtılması ve yönetilmesinden sorumlu g ağıdır. Alçak gerilim güç kaynağı aracın en önemli fonksiyonlarından bir tanesine sahiptir. Güvenilir bir alçak gerilim sağlanamaması durumunda aracın hiçbir fonksiyonu düzgün bir şekilde çalışmayacaktır. Hatta yüksek gerilim sisteminin bile çalışması için alçak gerilime ihtiyaç duyulmaktadır. Alçak gerilim güç ağıyla birlikte hedeflenen ağ için gerilim kararlılığı sağlanır. Tüm alçak gerilim tüketicileri için dengeli bir enerji kararlılığı sağlarken ihtiyaca bağlı enerji tedarikinin düzenlenmesinde de görevlidir. Alçak gerilim g ağı için g retimi DC-DC konvertörler ve alçak gerilim bataryaları tarafından gerçekleştirilir.

5. VAKA ÇALIŞMASI

5.1 İstanbul

İstanbul ilinde birçok toplu taşıma aracıyla bir noktadan diğer bir noktaya gidebilmek mümkündür. Özellikle metrobüs taşımacılıkta çok önemli bir yere sahiptir. Günde milyonlarca yolcu metrobüs araçlarını kullandığı 2019 İEET verilerinde de görülmektedir [40]. Bu tezde elektrikli araçların kullanımının İstanbul'da yolcu taşımacılığına getireceği faydalar üzerine bir vaka analizi gerçekleştirilmiştir. İstanbul'da gerçekleşen metrobüs hatlarıyla ilgili mesafe, istasyon sayısı ve gidiş-geliş süreleriyle ilgili bilgiler Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : İstanbul metrobüs hatlarına ilişkin bilgiler [41].

Hat İsimleri	Hat Uzunlukları	İstasyon Sayısı	Sefer Süreleri(Gidiş-Dönüş)
Avcılar-Zincirlikuyu	30 km	26	120 dakika
Avcılar-Söğütlüçeşme	42 km	33	163 dakika
Beylikdüzü-Zincirlikuyu	40 km	37	160 dakika
Beylikdüzü-Cevizlibağ	29 km	26	120 dakika
Beylikdüzü- Söğütlüçeşme	52 km	44	200 dakika
Zincirlikuyu- Söğütlüçeşme	11.5 km	8	52 dakika

Vaka analizi için Avcılar-Söğütlüçeşme hattı seçilmiş ve bu hat için hesaplamalar ve analizler gerçekleştirilmiştir. Avcılar-Söğütlüçeşme hattı 42 km bir hat olmakla beraber günde 315 araçla hizmet veren bir metrobüs hattıdır. Günlük ortalama 3750

sefer gerçekleşmektedir [42]. İstanbul'un Avrupa kıtasında yer alan Avcılar ilçesinden başlayıp Asya kıtasında Kadıköy ilçesine uzanan bu hattın harita görüntüsü Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 : Avcılar-Söğütlüçeşme metrobüs hattı

Avcılar-Söğütlüçeşme arasındaki bir sefer yaklaşık 82 dakika sürmektedir. Bu hat üzerindeki tüm araçlar içten yanmalı motora sahip otobüslerdir. 315 araçlık bu filoda çok farklı marka ve model araçlar mevcuttur. Otobüslerin alabileceği maksimum yolcu sayıları körüklü otobüslerde ortalama 120 ile 140 arasında değişmektedir.

5.2 Elektrikli Otobüs ve Şarj İstasyonu Bilgileri

Vaka çalışması ve analizinde bu hat üzerindeki tüm otobüslerin batarya elektrikli otobüslerle değiştirilmesi amaçlanmıştır ve bu bağlamda bazı tespit ve hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Hatta yer alan tüm araçlar iki farklı türdeki 18m'lik körüklü otobüslerle değiştirileceği üzerine bir vaka analizi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.2'de ilgili metrobüs hattında kullanılabilecek iki farklı elektrikli otobüse ait teknik veriler paylaşılmıştır.

Çizelge 5.2 : Elektrikli otobüslere ait veriler.

	Elektrikli Otobüs A	Elektrikli Otobüs B
Batarya Teknolojisi	Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (NMC)	Lityum Demir Fosfat (LFP)
Batarya Grubu Enerjisi	33 kWh	35 kWh
Menzil (Range)	200 km	250 km
Batarya Kümesi	396 kWh	420 kWh

Vaka analizinde kullanılacak olan iki elektrikli otobüste farklı batarya teknolojilerine ve batarya enerji değerlerine sahiptirler. Farklı enerji değerine sahip bataryalardan kaynaklı olarak farklı menziller aldıkları da görülmektedir.

Elektrikli araç kullanımıyla birlikte ilgili hatta sefer yapan araçların sayısı yine 315 olacak şekilde analizler gerçekleştirilmiştir. Günde 3750 sefer gerçekleştirildiği bilinmektedir. Buradan araç başına ortalama 12 sefer yapıldığı belirlenir.

Vaka analizinde örnek olması açısından elektrikli otobüs grubu A için NMC batarya tipine ve elektrikli otobüs grubu B için ise LFP batarya tipine yönelik hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu gruplara ait elektrikli otobüslerin verileri literatürden alınmıştır [43]. Çizelge 5.3’de iki farklı elektrikli otobüste kullanılan batarya tipleri ve teknik verileri paylaşılmıştır.

Çizelge 5.3 : Elektrikli Otobüs A ve Elektrikli Otobüs B’de kullanılabilecek batarya tiplerine ait veriler [44].

	Elektrikli Otobüs A	Elektrikli Otobüs B
Batarya Teknolojisi	NMC	LFP
Enerji	33 kWh	35 kWh
Nominal Voltage	655 V	700 V
Kapasite	50 Ah	50 Ah

Elektrikli araçları şarj etmek için farklı şarj istasyonları tipleri mevcuttur. Vaka analizi için farklı güç değerlerine sahip şarj istasyonları kullanılarak şarj süreçleriyle ilgili bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Elektrikli otobüs filolarını şarj etmek için farklı şarj senaryoları kullanılmaktadır. Bunlar genel anlamda iki başlık altında incelemek mümkündür. Birincisi hat üzerinde yer alan şarj istasyonlarında şarj işlemi gerçekleştirilebilirken bir diğer seçenekse depoda şarj işlemiyle araçların şarj edilebilmesidir. Hat üzerinde yer alan şarj istasyonlarının genelde hızlı bir şarja yönelik olması gerekir. Çünkü istasyonlarda araçların durma süresi kısadır. Ancak araçlar depoda şarj edilmek isteniyorsa, daha uzun sürelerde şarja olanak tanınmış olur.

Şarj istasyonlarını AC, DC ve indüktif şarj olarak üçe ayırmak mümkündür. AC ve indüktif şarj ile aktarılabilen güçler günümüzde sınırlıdır. Bu nedenle AC ve indüktif şarj istasyonları genelde otomobiller için uygunken ağır vasıta olarak nitelendirilebilecek olan tır, kamyon veya otobüslerde DC şarj istasyonları tercih

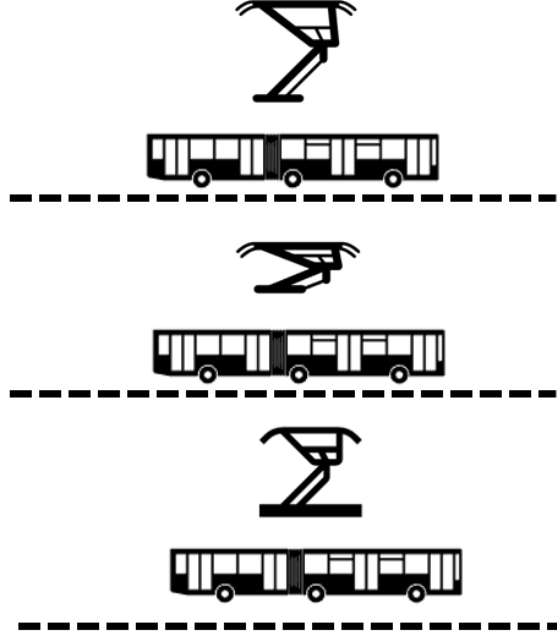
edilir. İşte bu noktada şarj süreleriyle ilgili bir vaka analizinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.2’de günümüzde Avrupa’da kullanılan şarj istasyonlarının güç değerlerine ve istasyon tiplerine bağlı olarak dağılımı gösterilmiştir.

	 AC Şarj	 DC Şarj	 İndüktif Şarj
Normal Şarj	3,7 kW 7,4 kW 11 kW 22 kW	10 kW 20 kW	3,7 kW 7,4 kW 11 kW 22 kW
Hızlı Şarj	44 kW	50 kW	
Yüksek Güçte Şarj		150 kW 350 kW	

Şekil 5.2 : Şarj istasyonları ve güç değerleri

Elektrikli otobüslerin batarya kapasitelerinin büyük olması sebebiyle otobüs üreticileri uygun durum şarj istasyonu (Opportunity Charging) ile müşterilerine daha hızlı bir şarj imkanı tanımaktadırlar. 150 kW ve üstü güce sahip yüksek güçteki şarj cihazlarıyla örneğin pantograflarla çok hızlı şarj gerçekleştirilebilmektedir. Pantograf sisteminin diğer şarj istasyonlarından en büyük farkı otomatik olmalarıdır. Diğer normal şarj istasyonlarında ise manuel olarak sürücü veya başka bir kişi şarj istasyonundaki şarj soketini araç üzerinde yer alan şarj soketine takmalıdır. Elektrikli bir otobüs pantograf şarj istasyonuna geldiğinde doğru konumda araç sabitlenir ve ardından araçta yer alan bir fonksiyon tuşuna basılarak şarj işleminin başlatılmasına olanak tanınır. Pantograf ile şarj iki farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Birincisi araç üzerinde yer alan pantograf ve araçta yer alan kaldırma sistemiyle şarj noktasına doğru hareket eder ve kenetlenir. Bir diğer çeşidi olan evirici pantograf ise şarj istasyonunda yer alan enerji veren raylar araç üzerinde sabit olan enerji aktarım elemanlarına kenetlenir ve şarj işlemi başlar. Yüksek güçte şarj sistemleriyle ilgili bir görsel Şekil 5.3’de verilmiştir.

Yüksek Güçte Şarj



Şekil 5.3 : Pantograf ile yüksek güçte şarj.

Günümüzde pantograf ile otobüs şarj işlemleri depoda şarj için değil, daha çok istasyon veya hat üzerindeki yerlerde hızlı bir şekilde şarj gerçekleştirebilmek için kullanılmaktadır [45]. Ayrıca bu sistemlerin maliyeti normal şarj istasyonlarına göre çok daha pahalı olup bulunduğu bölgedeki şebekeye elektriksel etkileri çok daha büyüktür [46]. Bölgede yer alan trafo merkezlerinin kapasitelerinin çok yüksek değerlerde çalışmasına sebep olurlar. Bu da trafoların ömürlerinin kısalmasına sebep olur. Pantograf türü şarj istasyonları kurulurken ek trafo ihtiyaçları doğabilir ve maliyet artışları olabilir. Eğer bölgedeki alt yapı yetersiz ise elektrik kesintileri meydana getirirler. Bu nedenle araçların hangi sıklıkla ve saatlerde şarj edeceği önem kazanır. MW mertebesinde güce sahip pantograflar için pilot projeler gerçekleştirilmektedir [47].

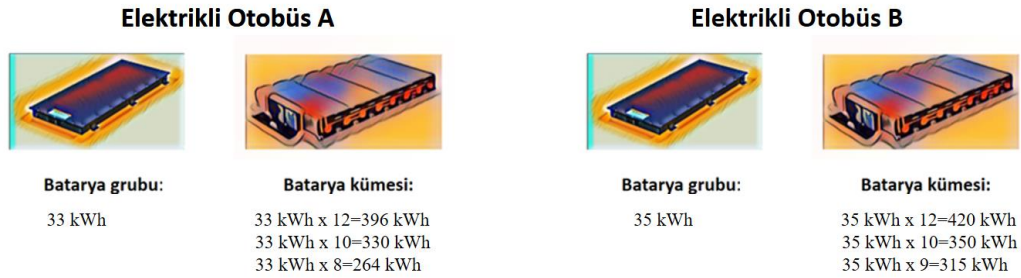
5.3 Hesaplamalar ve Formüller

Seçilen elektrikli otobüs tiplerinden A'ya ait yüksek gerilim batarya enerjisi 396 kWh'ken aracın menzilin en kötü koşullarda 200 km olduğu belirtilmiştir. Elektrikli otobüs tipi B ise 420 kWh enerjiye sahip bataryalarla donatılmış olup en kötü

koşullarda alabileceği mesafe 250 km olarak belirtilmiştir. Öncelikli olarak batarya gruplarından batarya kümelerinin hesabı gerçekleştirilir.

Batarya grupları bir araya getirilerek araçtaki batarya kümelerinin toplam enerji değerleri hesaplanmış olur. Her iki elektrikli otobüs içinde 12 adet batarya grubu bir araya gelerek farklı enerji değerine sahip batarya kümelerini oluşturdukları görülebilir. Elektrikli otobüs A grubu için batarya grubunun enerjisi (E_{ABG}) 33 kWh ise 12 bataryadan oluşan batarya kümesi enerjisi (E_{ABK}) 396 kWh olarak belirlenir. Benzer şekilde elektrikli otobüs B grubu için batarya grubunun enerjisi (E_{BBG}) 35 kWh ise 12 bataryadan oluşan batarya kümesi enerjisi (E_{BBK}) 396 kWh olarak belirlenir.

Batarya gruplarının sayısına bağlı olarak aracın enerji ve alabileceği menzil değerlerini konfigüre etmek mümkündür. Vaka analizinde her 2 elektrikli otobüsün de en yüksek enerji değerine sahip batarya grupları seçilmiş olup bu sayede alacakları menzillerin yüksek olması hedeflenmiştir. Örneğin elektrikli otobüs tipi A ve B'ye ait aynı araç tipinde farklı sayıda batarya grubu bir araya getirilerek farklı batarya kümeleri elde edilebilmektedir. Şekil 5.4'de her iki elektrikli otobüs için farklı batarya gruplarının bir araya getirilerek elde edilen batarya kümeleri gösterilmiştir.

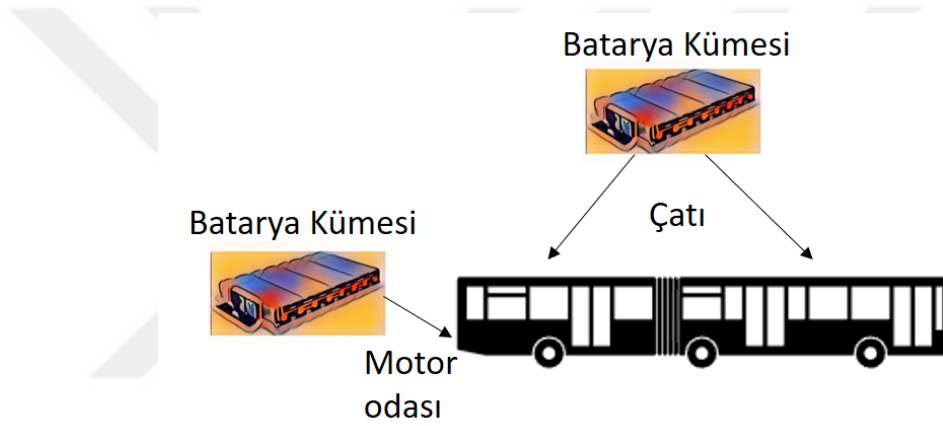


Şekil 5.4 : Batarya grupları ve kümeleri

Görüleceği üzere elektrikli otobüs A için 12, 10, 8'li batarya grupları bir araya gelerek batarya kümeleri oluşturulurken elektrikli otobüs B için 12, 10 ve 9'lu batarya grupları bir araya gelerek batarya kümeleri oluşturulmuştur. Burada farklı sayıdaki batarya gruplarının bir araya getirilmesinde çeşitli faktörler mevcuttur. Bunlardan en önemlileri araçtaki kurulum alanlarının kısıtlı oluşu ve aracın ağırlık merkezine uygun batarya gruplarının araç üzerindeki yerleşimleridir. Örneğin elektrikli otobüs A'da

batarya grupları ikişerli olarak üst üste konumlandırılmıştır ve araçta kaplayacakları alandan tasarruf sağlanması mümkün hale gelmiştir.

Otobüslerde ayrıca önceden motor odası olarak kullanılan aracın arka kısmındaki bölgeyede yine batarya yerleştirmek mümkündür. Bu sayede araçtaki ağırlık merkezinin ayarlanmasına katkı sağlanmıştır. Eğer motor odasında batarya grupları yer almasaydı aracın tavanında yer alacak batarya sayılarında bir azalma meydana gelebilirdi. Çünkü aracın ağırlık merkezi bu bağlamda çatıdaki bataryalara bağlı olarak değişecekti. Bataryaların araçtaki en büyük ağırlık getiren bileşenlerden biri olduğu unutulmamalıdır. Batarya kümelerinin elektrikli otobüs A’da yerleşim yerleri Şekil 5.5’de resmedilmiştir.



Şekil 5.5 : Bataryaların araç üzerindeki yerleşimleri.

Elektrikli otobüslerin kilometre başına tükettikleri enerjinin hesabı aracın batarya depolama kapasitesinin aracın alabileceği mesafeye bölünerek bulunur;

$$TE = \frac{BDK}{M} \quad (5.1)$$

$$TE = \text{Kilometre başına tüketilen enerji}(kWh / km) \quad (5.2)$$

$$BDK = \text{Batarya Enerji Depolama Kapasitesi}(kWh) \quad (5.3)$$

$$M = \text{Menzil}(km) \quad (5.4)$$

$$TE = \frac{396}{250} = 1.98 \frac{kWh}{km} \text{ (Otobüs A)} \quad (5.5)$$

$$TE = \frac{420}{250} = 1.68 \frac{kWh}{km} \text{ (Otobüs B)} \quad (5.6)$$

İki elektrikli otobüsün de km başına harcadıkları enerjinin farklı olduğu görülmektedir. Bu farkın oluşmasında yalnızca batarya teknolojilerinin farklı olması tek başına bir faktör değildir. Elektrikli otobüslerde enerji harcayan çok sayıda bileşen mevcuttur. Eğer bir araçta müşteriye sunulan kapsam diğer araçta yoksa daha az bir enerji harcanacağı bilinmelidir. Bu bağlamda enerji tüketen her bileşenin araçtaki menzile etki ettiği bilinmelidir. Genelde elektrikli araçların menzilini etkileyen 2 önemli faktör kullanılan elektrik motorları ve klima sistemleridir.

Elektrikli otobüs A'da kullanılan elektrik motoru asenkron motor olup pik gücü 250 kW'iken [48], elektrikli otobüs B'de kullanılan elektrik motoru sürekli mıknatıslı senkron motor olup pik gücü 275 kW'dır [49]. Elektrik motorlarının güç değerlerine bakıldığında çok yakın oldukları görülmektedir. Buradan elektrik motorundan kaynaklı bir güç tüketim farkının 25 kW gibi bir değer olduğu görülmüş olup bu değer in fazla veya az olduğuna ilişkin yorum yapabilmek için aracın toplam enerji dengesi hesabının bilinmesi gerekir.

Elektrikli otobüs A ve B için bataryaların bir şarj istasyonuna geldiklerindeki enerji durumlarına bağlı bir hesaplama gerçekleştirilerek analiz için veri oluşturulmuştur. Burada yalnızca bir hesaplama örneği verilmiş olup diğer hesaplamalar çizelgelerde gösterilmiştir. 396 kWh ve 420 kWh batarya depolama enerjisine sahip bu elektrikli otobüslerin şarj istasyonuna %25 enerji durumuyla gelip %100 enerji durumuyla (SoE) istasyondan ayrılacak olursa araçlar için gerekli enerjinin hesaplanması;

$$AGE = x \times BDK - y \times BDK \quad (5.7)$$

$$AGE = \text{Araç İçin Gerekli Enerji}(kWh) \quad (5.8)$$

$$x = \text{Aracın istasyondan çıktıktan sonra enerji durumu} \quad (5.9)$$

$$y = \text{Aracın istasyona geldiğindeki enerji durumu} \quad (5.10)$$

$$AGE = 1.0 \times 396 - 0.25 \times 396 = 0.75 \times BDK \quad (5.11)$$

$$AGE = 297 \text{ kWh (Otobüs A)} \quad (5.12)$$

$$AGE = 1.0 \times 420 - 0.25 \times 420 = 0.75 \times BDK \quad (5.13)$$

$$AGE = 315 \text{ kWh (Otobüs B)} \quad (5.14)$$

Elektrikli otobüs A ve B'nin %25 enerji durumundan %100 enerji durumuna getirmek için gereken enerjilerin sırasıyla 297 kWh ve 315 kWh olduğu hesaplanır. Farklı güçteki şarj istasyonlarında araçların şarj edilmesiyle ilgili kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiş olup burada yalnızca örnek hesaplama için 150 kW gücündeki bir şarj istasyonu ile elektrikli otobüslerin şarj olabilmesi için gerekli sürelerin hesabı gerçekleştirilmiştir;

$$\text{\textit{ŞS}} = \frac{BDK}{\text{\textit{İŞG}} \times 0.9} \quad (5.15)$$

$$\text{\textit{ŞS}} = \text{Şarj Süresi (saat)} \quad (5.16)$$

$$\text{\textit{İŞG}} = \text{İstasyon Şarj Gücü (kW)} \quad (5.17)$$

$$\text{İstasyon Verimi} = \%90 \quad (5.18)$$

$$\text{\textit{ŞS}} = \frac{297}{150 \times 0.9} = 2.20 \text{ saat} = 132 \text{ dakika (Otobüs A)} \quad (5.19)$$

$$\text{\textit{ŞS}} = \frac{315}{150 \times 0.9} = 2.33 \text{ saat} = 140 \text{ dakika (Otobüs B)} \quad (5.20)$$

Elektrikli otobüsün %25 enerji durumundan %100 enerji durumuna 150 kW gücündeki bir şarj istasyonunda şarj edilmesi durumunda gerekli sürelerin elektrikli otobüs A ve B için sırasıyla 132 dakika ve 140 dakika olarak belirlenir.

Elektrikli araçlar şarj edilirken belirli bir verim aralığında çalışan şarj istasyonlarıyla şarj edilirler. Şarj istasyonlarının verimi markadan markaya değişiklik gösterse de piyasada olan şarj istasyonlarının verimliliği %89 ile %95 aralığında değişim göstermektedir [50]. Bu noktada şarj süresi hesaplanmasında yer alan 0,9 katsayısı %90 verimle çalışan bir istasyon için hesabın gerçekleştirildiğini göstermektedir. Şarj istasyonlarının verimine etki eden faktörlerden bazıları şarj kablolarından kaynaklı ısı kayıpları, şarj istasyonunun olduğu bölgedeki elektrik kesintilerine bağlı olarak yılda aktarabildiği güç oranları ve elektrikli araçların bataryalarındaki SoC değerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Daha önce ifade edildiği gibi Avcılar-Söğütluçeşme hattında 315 araçla günde 3750 sefer yapılmaktadır. Bu durumda bir otobüsün günde en az 12 sefer yapması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu hattın bir seferi için toplamda 42 km yol katedilmesi gerektiği bilgiside mevcuttur. Buradan;

$$OKY = SS \times HU \quad (5.21)$$

$$OKY = \text{Otobüsün bir günde kat edeceği yol}(km) \quad (5.22)$$

$$SS = \text{Sefer Sayısı} \quad (5.23)$$

$$HU = \text{Hat uzunluğu}(km) \quad (5.24)$$

$$OKY = 12 \times 42 = 504km \quad (5.25)$$

Elektrikli otobüs A ve B'nin günde 504km yol kat etmesi gerektiği hesaplanmıştır. Elektrikli otobüs A 396 kWh batarya kapasitesiyle 200km yol alınabildiği bilgisiyle 504km yol alabilmesi için günde en az 3 kez şarj olması gerektiği tespit edilir. Elektrikli otobüs B ise 420 kWh'lik batarya kapasitesiyle 250 km yol aldığına göre günde en az 2 kez şarj olması gerektiğini tespit ederiz.

$$TŞS = FB \times GŞS \quad (5.26)$$

$$TŞS = \text{Toplam Şarj Sayısı} \quad (5.27)$$

$$FB = \text{Filo Boyutu} \quad (5.28)$$

$$G\SS = \text{Günlük Gerekli Şarj Sayısı} \quad (5.29)$$

$$T\SS = 315 \times 3 = 945 (\text{Otobüs A}) \quad (5.30)$$

$$T\SS = 315 \times 2 = 630 (\text{Otobüs B}) \quad (5.31)$$

Elektrikli otobüs A ve B için tüm filonun ya A ya B tipi elektrikli otobüsle donatılacağı farz edilerek gerekli şarj sayıları tespiti yapılmıştır.

150 kW güce sahip şarj istasyonları tam verimle yani günde 24 saat çalışacak şekilde kullanılacak olsa, bir günde bir şarj istasyonunun kaç aracı şarj edebileceğinin hesaplanması;

$$\SS AS = \frac{24}{\SS S} \quad (5.32)$$

$$\SS AS = \text{Bir günde bir istasyonda şarj edilebilecek araç sayısı} \quad (5.33)$$

$$\SS AS = \frac{24}{2.2} \cong 10 (\text{Otobüs A}) \quad (5.34)$$

$$\SS AS = \frac{24}{2.33} \cong 10 (\text{Otobüs B}) \quad (5.35)$$

Eğer 150 kW güce sahip şarj istasyonu 24 saat boyunca hizmet verebilirse günde 10 aracı %25 enerji durumundan %100 şarj durumuna her iki elektrikli otobüs içinde getirebilir. Bununla ilgili farklı durum ve farklı güç istasyonlarıyla ilgili hesaplamalar yine sonuç kısmında çizelgelerde hesaplanmıştır.

150 kW güce sahip bir şarj istasyonundan tüm filonun yani 315 elektrikli otobüsün gün içinde farklı saatlerde şarj edilebilmesi için gerekli şarj istasyonu sayısının hesaplanması;

$$G\dot{S}i = \frac{T\dot{S}S}{\dot{S}AS} \quad (5.36)$$

$$G\dot{S}i = \text{Gerekli \textit{Ş}arj İstasyonu Sayısı} \quad (5.37)$$

$$G\dot{S}i = \frac{945}{10} \cong 95(\text{Otobüs } A) \quad (5.38)$$

$$G\dot{S}i = \frac{630}{10} \cong 63(\text{Otobüs } B) \quad (5.39)$$

Gerekli şarj istasyonu sayısının elektrikli otobüs A ve B’de farklı sayılarda çıktığı görülmüştür. Her iki aracında 150 kW güce sahip şarj istasyonu ile şarjında bu tür bir fark çıkmasında en önemli etken araçların km başına harcadıkları enerji ve batarya kapasiteleridir. Elektrikli otobüs A günde en az 3 kez şarj olması gerekirken elektrikli otobüs B günde en az 2 kez şarj olması gerekmektedir. İşte bu azalan günlük şarj sayısı gerekli şarj istasyonu sayısında elektrikli otobüs B’nin daha avantajlı olmasını sağlamıştır.

Elektrikli otobüs A ve B’nin bir günde 12 sefer yaparak 504km yol alabilmesi için günde sırasıyla en az 3 ve 2 kez şarj edilmesi gerektiğini buradan 150 kW güce sahip bir şarj istasyonu ile %25 enerji şarj durumundan %100 enerji durumuna 132 dakika ve 140 dakika şarj edilerek getirildiği hesaplanmıştır. Ardından tüm filodaki 315 aracın bir günde farklı zaman aralıklarında 150 kW’lık şarj istasyonlarıyla şarj edilebilmesi için 95 ve 63 adet şarj istasyonuna ihtiyaç duyulacağı tespit edilmiştir. Hesaplamalar şarj istasyonunun 24 saat boyunca hizmet vereceği kabulüyle yapılmıştır. Ayrıca şarj istasyonunun günde 18 saat hizmet verdiği varsayımı yapılarak sonuç bölümünde ilgili diğer hesaplamalar belirtilmiştir. Burada yalnızca örnek bir hesaplama gerçekleştirilmiş olup aşağıdaki çizelgelerde farklı batarya kapasitesine sahip araçlarla ve şarj istasyonlarıyla şarj edilmesi durumları hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4’de batarya enerji durumlarına (SoE) bağlı olarak farklı batarya kapasitesine sahip Elektrikli otobüs A türlerinin şarj için gerek duyduğu enerji değerleri paylaşılmıştır.

Çizelge 5.4 : SoE değerine bağlı gereken enerji değerleri (Elektrikli Otobüs A).

Batarya Kümesi Enerji Değerleri	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
396 kWh	396 kWh	297 kWh	198 kWh	237.6 kWh	198 kWh
330 kWh	330 kWh	247.5 kWh	165 kWh	198 kWh	165 kWh
264 kWh	264 kWh	198 kWh	132 kWh	158.4 kWh	132 kWh

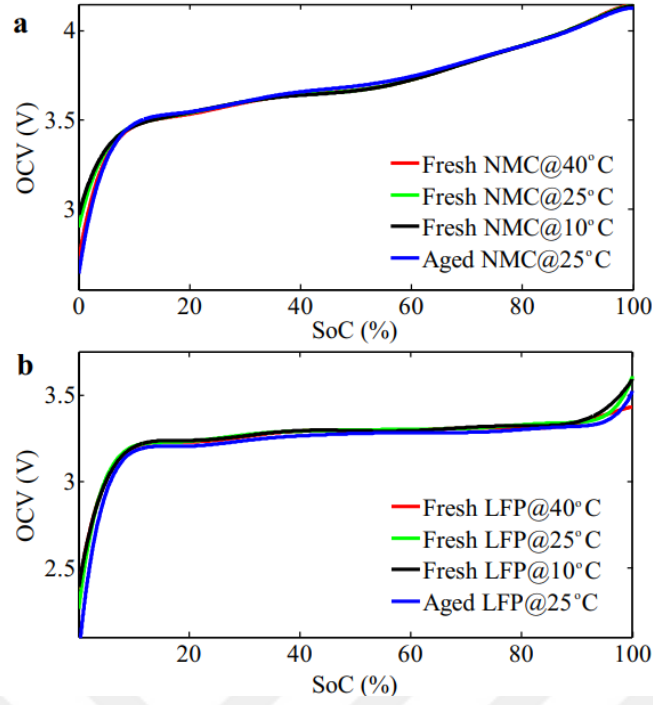
Çizelge 5.5’de batarya enerji durumlarına (SoE) bağlı olarak farklı batarya kapasitesine sahip Elektrikli Otobüs B türlerinin şarj için gerek duyduğu enerji değerleri paylaşılmıştır.

Çizelge 5.5 : SoE değerine bağlı gereken enerji değerleri (Elektrikli Otobüs B).

Batarya Kümesi Enerji Değerleri	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
420 kWh	420 kWh	315 kWh	210 kWh	252 kWh	210 kWh
350 kWh	350 kWh	262.5 kWh	175 kWh	210 kWh	175 kWh
315 kWh	315 kWh	236.2 kWh	157.5 kWh	189 kWh	157.5 kWh

Burada verilen enerji değerleri bataryanın istenen seviyede şarj olabilmesi için gerekli enerji miktarlarını göstermektedir. Eğer şarj durumlarıyla ilgili bir hesaplama yapmak istenmiş olsa hücre düzeyinde açık devre gerilimleri ve şarj durumları (SoC) oranlarından bataryalarda kalan enerji miktarları hesap edilmelidir. Batarya şarj durumuyla (SoC), batarya enerji durumu arasındaki (SoE) farkın gösterilmesi amacıyla da yine bir örnek hesaplama gerçekleştirilmiştir. Elektrik otobüs A ve B’de hangi türde bir lityum iyon hücresi kullanıldığı bilinmiyor olsa da batarya teknolojileri bilindiği için burada yine karşılaştırma yapılabilir.

Şekil 5.6’da bir NMC ve LFP bataryaya ait hücre bazında açık devre gerilimi (Open Circuit Voltage) ve şarj durumu (State of Charge) verilen grafikler gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : NMC SOC-OCV grafiği b) LFP SOC-OCV grafiği [51].

Şekil 5.6’da verilen grafikten %100 şarj durumunda (SoC) hücre bazında gerilim değerleri NMC için 4.15V’iken LFP için bu değer 3.50V olduğu görülür. Öte yandan %50 şarj durumunda NMC batarya 3.68V’iken LFP için bu değer 3.26V olarak okunmaktadır. Buradan batarya geriliminin elektrikli otobüs A’da 655V olduğu bilinirken elektrikli otobüs B için 700V olarak kabul edilmiştir. Ayrıca 655V gerilim için NMC batarya için toplam 158 batarya hücresine ve LFP batarya için ise 200 adet hücreye ihtiyaç duyulmaktadır. SoC’nin %50 ve %100 olduğu durumda batarya geriliminin hesaplanması;

$$\%50 \text{ SOC} \rightarrow 3.68V \times 158 \cong 581.5V (\text{Otobüs A}) \quad (5.40)$$

$$\%100 \text{ SOC} \rightarrow 4.15V \times 158 \cong 655V (\text{Otobüs A}) \quad (5.41)$$

$$\%50 \text{ SOC} \rightarrow 3.26V \times 200 \cong 652V (\text{Otobüs B}) \quad (5.42)$$

$$\%100 \text{ SOC} \rightarrow 3.50V \times 200 \cong 700V (\text{Otobüs B}) \quad (5.43)$$

Bataryaların %50 ve %100 şarj durumlarında bataryalarda depolanmış olan enerjinin hesaplanması;

$$\text{Enerji} = \text{SOC} \times \text{Gerilim}_{\text{SOC}} \times \text{Batarya Kapasitesi} \quad (5.44)$$

$$\%100 \text{ SOC} \rightarrow \text{Enerji} : 1 \times 655\text{V} \times 50\text{Ah} \cong 33\text{kWh}(\text{Otobüs A}) \quad (5.45)$$

$$\%50 \text{ SOC} \rightarrow \text{Enerji} : 0.5 \times 581.5\text{V} \times 50\text{Ah} \cong 14.5\text{kWh}(\text{Otobüs A}) \quad (5.46)$$

$$\%100 \text{ SOC} \rightarrow \text{Enerji} : 1 \times 700\text{V} \times 50\text{Ah} \cong 35\text{kWh}(\text{Otobüs B}) \quad (5.47)$$

$$\%50 \text{ SOC} \rightarrow \text{Enerji} : 0.5 \times 652\text{V} \times 50\text{Ah} \cong 16.3\text{kWh}(\text{Otobüs B}) \quad (5.48)$$

Hesaplamalardan görüleceği üzere batarya şarj durumu SoC %50 iken NMC batarya grubunda depolanan enerjinin 14.5kWh olduğu hesaplanmıştır. Aynı SoC değerinde LFP batarya grubunda 16.3 kWh enerji depolandığı hesaplanmıştır. İlgili bataryaların enerji durumunun SoE %50 olması durumundaysa NMC’de bu değer 16.5kWh’iken LFP bataryada bu değer 17.5 kWh enerjinin bataryalarda depolandığı görülür. Burada yapılan SoC ve SoE karşılaştırmasıyla yapılan vaka analizinde enerji durumu (SoE) yani bataryaların içerisinde depolanan enerjinin durumu dikkate alındığı vurgulanmak istenmiştir. Ayrıca şarj durumu (SoC) bataryadaki yüzdesel olarak kalan amper.saat (Ah) değerini ifade ederken, enerji durumu (SoE) bataryada yüzdesel olarak kalan watt.saat (Wh) değerini gösterir.

Yapılan analizde elektrikli bir otobüsle içten yanmalı motora sahip bir otobüsün yakıt ve enerji masraflarının karşılaştırılması da gerçekleştirilmiştir. 504 km mesafeyi elektrikli otobüs A’nın alabilmesi için gerekli enerji miktarı 998 kWh olduğu hesaplanır. Buradan günlük elektrik enerjisi için ödenecek tutar;

$$EET = GTE \times EF \times 1.1 \quad (5.49)$$

$$EET = \text{Elektrik Enerjisi Tutarı} \quad (5.50)$$

$$EF = \text{Elektrik Fiyatı} = 1\text{kWh} = 1.89\text{TL} [52] \quad (5.51)$$

$$998 \times 1.89 \times 1.1 = 2074.8\text{TL}(\text{Otobüs A}) \quad (5.52)$$

$$\text{Filo için günlük tutar} = 315 \times 2074.8\text{TL} = 653575.2\text{TL} \quad (5.53)$$

Elektrikli otobüs B'nin 504 km mesafeyi alabilmesi için 846.72 kWh'lik bir enerjiye ihtiyaç duyduğu hesaplanır. Buradan;

$$846.72 \times 1.89 \times 1.1 = 1760.3TL (\text{Otobüs B}) \quad (5.54)$$

$$\text{Filo için günlük tutar} : 315 \times 1760.3TL = 554494.2TL \quad (5.55)$$

Elektrik enerjisine ödenecek parayla ilgili formülde yer alan 1.1 katsayısı şarj istasyonları veriminin %90 olduğu kabulüyle gelen bir katsayıdır. Bu katsayı şarj istasyonu verimi arttıkça azalırken verim düştükçe artacaktır.

Günümüzde ortalama bir şehir hatları otobüsünün 100km'de 32.6L diesel yakıt kullandığı varsayımıyla 504km günlük 12 sefer için yaklaşık 164L diesel tüketimi olduğu hesaplanır [53]. Buradan bugünkü diesel yakıt fiyatlarıyla hesaplama gerçekleştirilirse;

$$1 \text{ Litre Diesel Fiyatı} = 13.72TL [54] \quad (5.56)$$

$$164 \times 13.72TL = 2250TL \quad (5.57)$$

$$\text{Filo için günlük tutar} = 315 \times 2250TL = 708750TL \quad (5.58)$$

Ayrıca elektrikli bir otobüs ile diesel yakıtlı bir otobüsün çevreye yaydıkları CO₂ salınımları da incelenerek elektrikli otobüslerin daha çevreci olup olmadığı analiz edilmiştir.

Ortalama bir diesel yakıtlı otobüs kilometre başına 1.3kg CO₂ salınımı gerçekleştirmektedir [55]. Buradan hareketle bir diesel aracın CO₂ salınımı hesap edilirse;

$$1km = 1.3kg \text{ CO}_2 \text{ salınımı gerçekleştirilirse} \quad (5.59)$$

$$504km = 655.2kg \text{ CO}_2 \text{ salınımı gerçekleşir} \quad (5.60)$$

$$\text{Filonun toplam CO}_2 \text{ salınımı} = 315 \times 655.2 \cong 206.4ton \quad (5.61)$$

Buradan diesel yakıtlı bir otobüsün günlük CO₂ salınımı ve tüm filonun salınım değerleri hesaplanmış olur.

Elektrikli bir otobüsün doğaya ne kadar CO₂ salınımı gerçekleştirdiğini hesaplanması için öncelikle 1 kWh enerjinin üretimi için ne kadar CO₂ salınımının yapıldığının bilinmesi gerekir. Yapılan araştırmalarda 1 kWh enerji üretebilmek için doğaya 478g CO₂ salınımı gerçekleştirildiği bilinmektedir [56]. Buradan 396 kWh ve 420 kWh bataryalara sahip bir elektrikli otobüslerin günlük 12 sefer yapması sonucunda doğaya salacağı CO₂ miktarı hesaplanırsa;

$$1kWh = 478g \text{ CO}_2 \text{ salınımı} \quad (5.62)$$

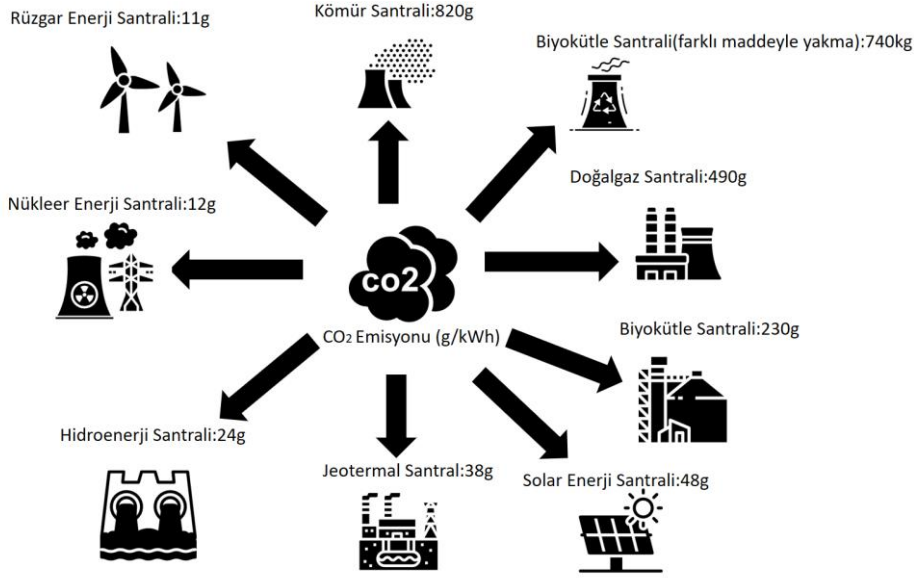
$$396 \times \frac{504}{200} \times 478 = 477kg \text{ CO}_2 \text{ salınımı (Otobüs A)} \quad (5.63)$$

$$\text{Filonun toplam CO}_2 \text{ salınımı} = 315 \times 477 = 150.2ton \quad (5.64)$$

$$420 \times \frac{504}{250} \times 478 = 404.7kg \text{ CO}_2 \text{ salınımı (Otobüs B)} \quad (5.65)$$

$$\text{Filonun toplam CO}_2 \text{ salınımı} : 315 \times 404.7 \cong 127.5ton \quad (5.66)$$

Elektrikli araçların CO₂ salınımlarının da yine diesel yakıtlı bir araca göre çok daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca gelecekte eğer enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji elde edilirse kWh başına oluşan CO₂ miktarlarında da büyük bir düşüş olacaktır. Örneğin rüzgar enerjisinden 1 kWh enerji üretmek için çevreye salınan CO₂ salınımı yaklaşık 11g-12g'dır. Bu örnekten de görüldüğü üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji kullanılması durumunda elektrikli araçların da çevreye vereceği CO₂ salınımları çok az seviyelere inecek yani 0 salınım hedefine yaklaştırmaya imkan tanıyacaktır. Şekil 5.7'de 1kWh enerji üretmek için farklı tipteki santrallerin doğaya saldığı CO₂ miktarları gösterilmiştir [57].



Şekil 5.7 : 1kWh enerji üretimi için doğaya salınan CO₂ emisyonunun enerji santrallerine göre dağılımı.

5.4 Simulink Modellemesi

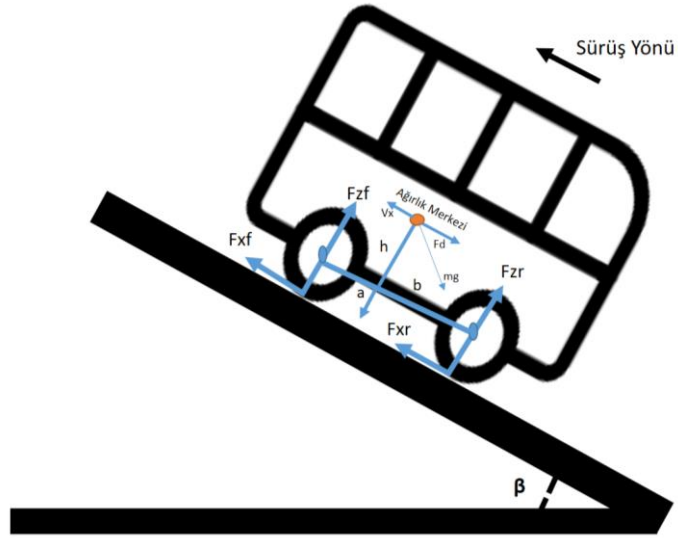
SOC değerleriyle ilgili olarak Otobüs A ve Otobüs B'nin boylamsal olarak modellemesi Simulink ile gerçekleştirilmiştir. Modellemede SOC batarya değerlerine odaklanılmış olup diğer parametreler aracın fiziksel parametrelere uygun verilmeye çalışılmıştır.

Araç dinamiği 2 akslı bir otobüs olarak modellenmiştir. Bu bağlamda araçlar için öncelikle bazı parametrelerin tanımlanması veya bir kaynaktan alınması gerekir. Araç dinamiği modellenirken en önemli parametreler aracın ağırlığı, araç ön yüzey alanı, hava sürtünme katsayısı, yuvarlanma direnci katsayısı, hava yoğunluğu ve araçların maksimum hız değerleri sayılabilir. Bu değerler Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 : Otobüslere Ait Teknik Dizayn Spesifikasyonları

Araç	Otobüs A	Otobüs B
Hava Sürtünme Katsayısı	0.79	0.79
Yuvarlanma Direnci Katsayısı	0.015	0.015
Araç Ön Yüzey Alanı (m ²)	8.67	8,46
Otobüs Ağırlığı (ton)	20	19.5
Hava Yoğunluğu (kg/m ³)	1.3	1.3
Maksimum Hız (km/sa)	120	125

İlgili parametrelerden sonra modellemede kullanılacak olan serbest cisim diyagramıyla araç dinamiği Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 : Araç dinamiği serbest cisim diyagramı

Aracın hareket etmesi araca etki eden tüm kuvvetlerin ve torkların sonucunda meydana gelir. Tekerleklerle etki eden boyuna kuvvetler aracı ileri veya geri yönde iter. Aracın ağırlığı olan mg , ağırlık merkezi üzerinde hareket eder. Eğim açısına bağlı olarak aracın ağırlığı aracı yere doğru çekerken, eğime bağlı olarak ileri ya da geri yönde etki eder. Buradan Simulink modellemesinde yer alan blok diyagrama gömülü olan bu denklemler şu şekilde yazılabilir;

$$m \times \dot{V}_x = F_x - F_d - mg \sin \beta \quad (5.67)$$

$$F_x = n \times (F_{xf} + F_{xr}) \quad (5.68)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \times C_d \times \rho \times A \times (V_x + V_w)^2 \times \text{sgn}(V_x + V_w) \quad (5.69)$$

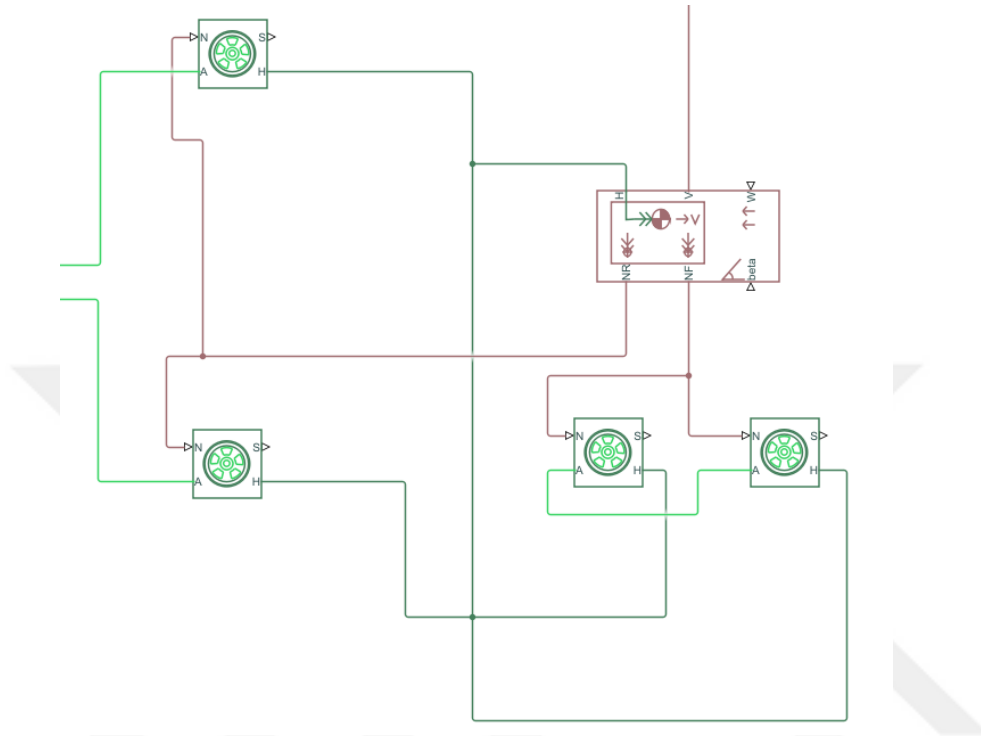
İvmelenmenin ve eğim torkunun sıfır olduğu durumda ön ve arka tekerlekler üzerindeki normal kuvvetler belirlenir;

$$F_{zf} = \frac{-h(F_d + mg \sin \beta + mV_x) + b \times mg \cos \beta}{n(a + b)} \quad (5.70)$$

$$F_{zr} = \frac{+h(F_d + mg \sin \beta + mV_x) + a \times mg \cos \beta}{n(a + b)} \quad (5.71)$$

$$F_{zf} + F_{zr} = mg \times \frac{\cos \beta}{n} \quad (5.72)$$

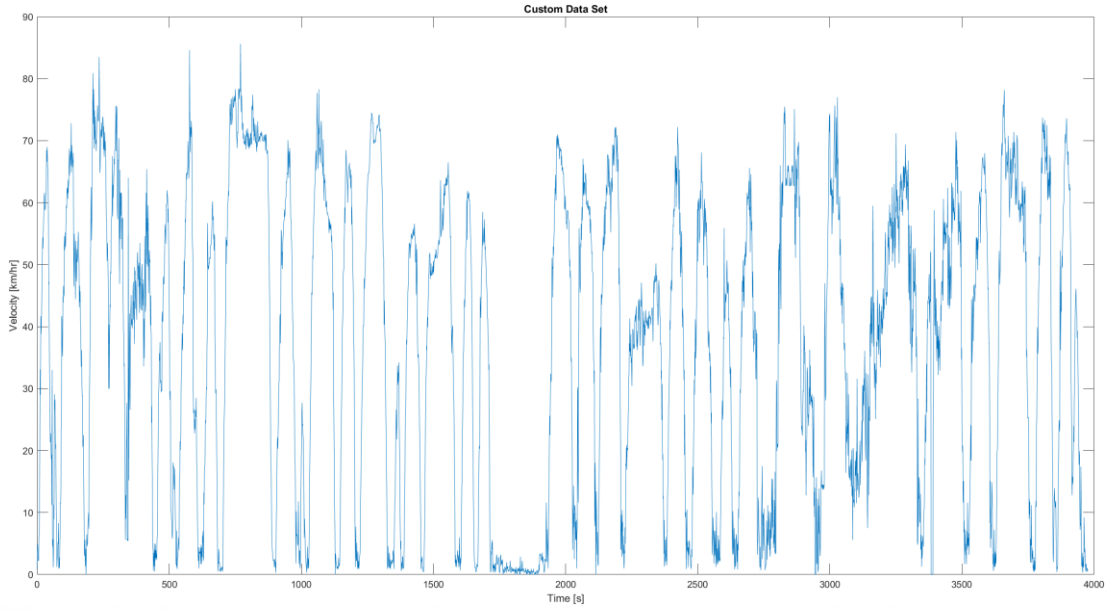
Araç dinamiğinin blok diyagram modellenmesi Şekil 5.9’da gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : Araç dinamiği blok diyagramı.

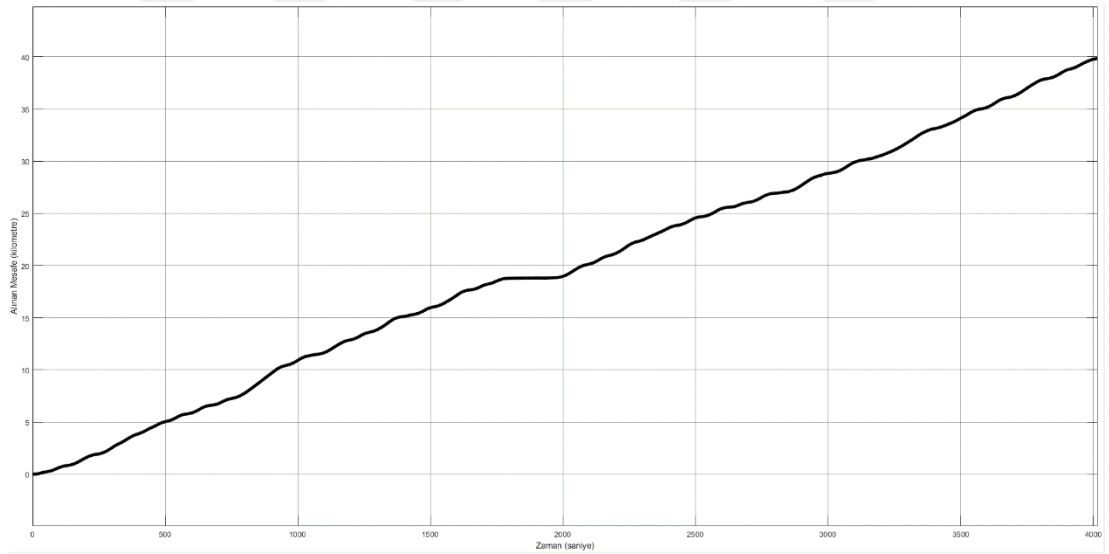
Modellemede pruva rüzgar hızı ve yol eğimi dikkate alınmamıştır. Avcılar-Söğütlüçeşme hattında ortalama yol eğiminin $\%-0.03$ olduğu hesaplanmıştır. Sürüş çevrimine eğimin zaten kısmen bir etkisi vardır. Tekrar modellemeye alınmamasının sebebide hem ortalama değerin etki edecek bir büyüklükte olmaması hem de sürüş çevriminde araç hızına bu durumun yansımasıdır.

Modelleme yapılırken Avcılar-Söğütlüçeşme hattının sürüş çevrimi (drive cycle) verisi gerçek bir otobüsün gittiği hız ve zaman bilgilerinden yararlanılarak elde edilmiş ve Şekil 5.10’da gösterilmiştir [58].



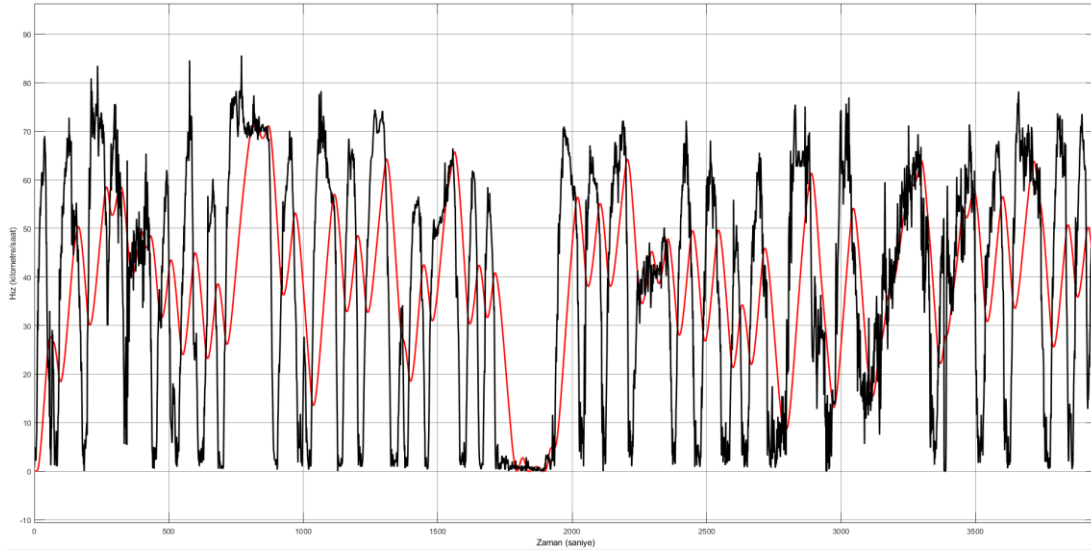
Şekil 5.10 : Avcılar-Söğütluçeşme Sürüş Çevrimi Grafiği

Yapılan ölçümlerde aracın ortalama hızının 37.5 km/sa ve yaklaşık 42km’lik mesafenin 3976 saniyede yani 67 dakikada alındığı görülmüştür. Otobüs A ve B’nin zamana bağlı olarak aldığı mesafe zaman grafiği Şekil 5.11’de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Otobüslerin zamana bağlı aldıkları mesafe

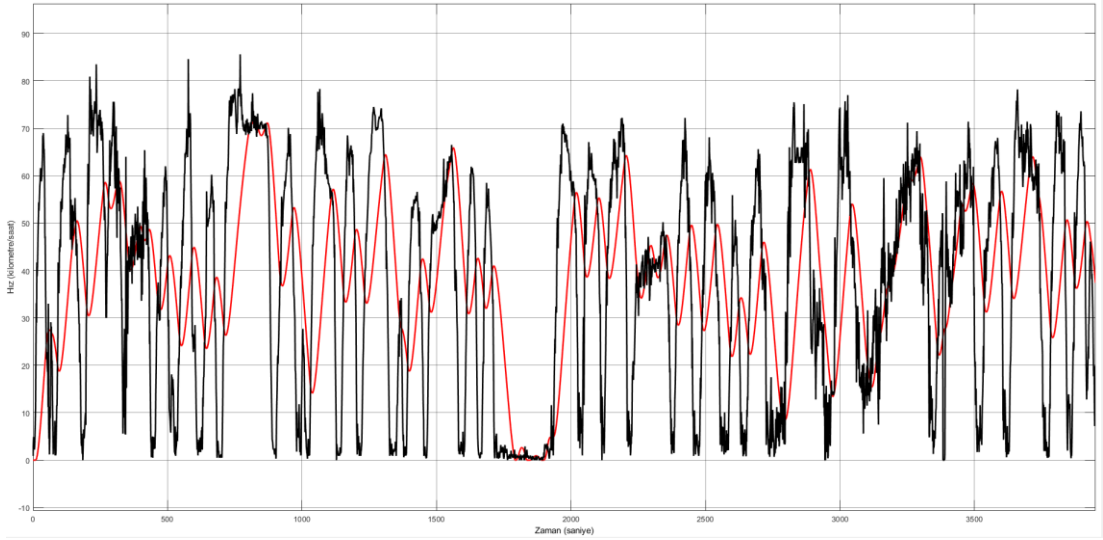
Modellemede sürüş çevrimiyle Simulink’de oluşturulan otobüslerin hızları karşılaştırılmış olup Şekil 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : Sürüş çevrimi hızı ve otobüs A'nın hız karşılaştırması

Yukarıdaki grafikte siyah ile gösterilen eğriler sürüş çevriminden gelen hız bilgisiyken, kırmızı eğriler ise Simulink'de modellenen Otobüs A'ya aittir. Grafikte normalde iki hız bilgisi üst üste gelmesi gerekir. Ancak modellemede farklı elektrik motoru kullanımı, tüketicilerinin modellenmemesi ve sürüş çevriminde kullanılan aracın bir geleneksel araca ait olması grafiğin böyle çıkmasına sebep olmuştur. Ancak modellenen araçta ortalama hızının Otobüs A için 37.2 km/sa çıkması modellemenin doğruluğunun yüksek olduğunun bir göstergesidir.

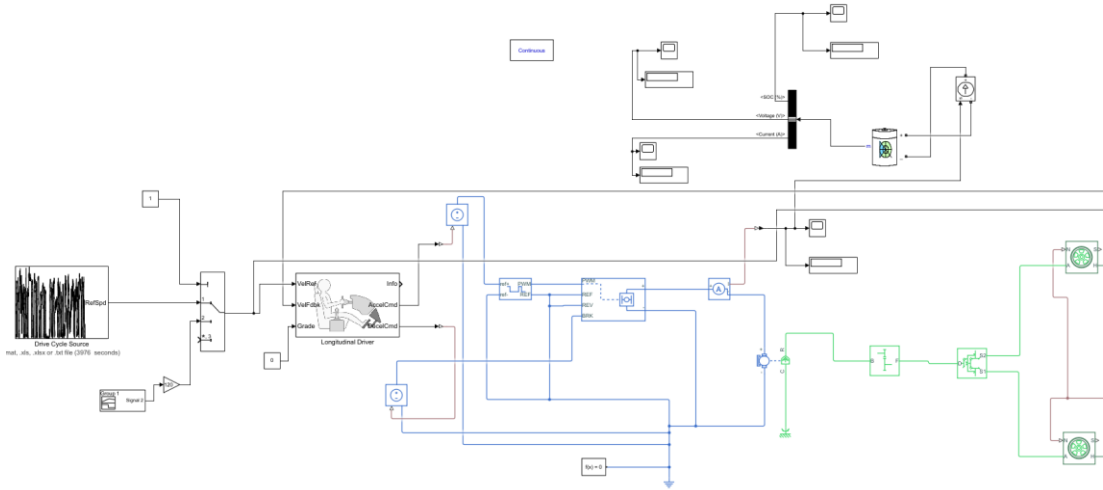
Otobüs B'de benzer şekilde modellenmiştir. Ancak araç ağırlığı ve motor gücü farklılıklarından dolayı elde edilen grafik biraz daha farklı görünmektedir. Şekil 5.13'de sürüş çevrimi ve Otobüs B'nin modellenmesine ilişkin hız değerleri grafiği verilmiştir.



Şekil 5.13 : Sürüş çevrimi hızı ve otobüs B'nin hız karşılaştırması

Yukarıdaki grafikte Otobüs B'nin ortalama hız değerinin 37.4 km/sa olarak çıktığı görülmüştür. Bu hız değeri de sürüş çevriminin ortalama hız değeriyle aynı sayılabilir.

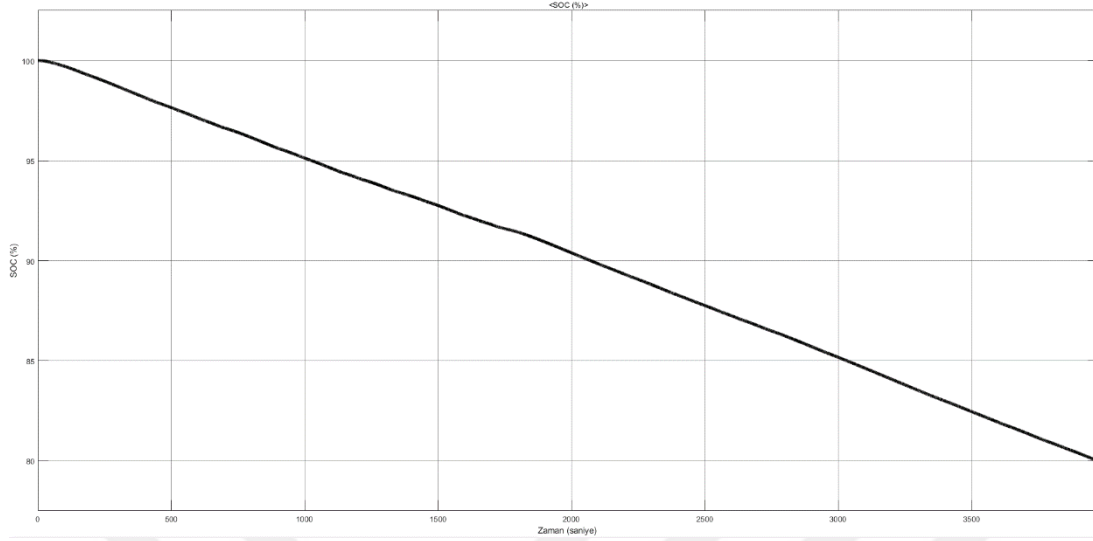
SOC değerinin ölçümüne odaklanılan bu modelde geriye kalan blok modeller Şekil 5.14'de gösterilmiştir.



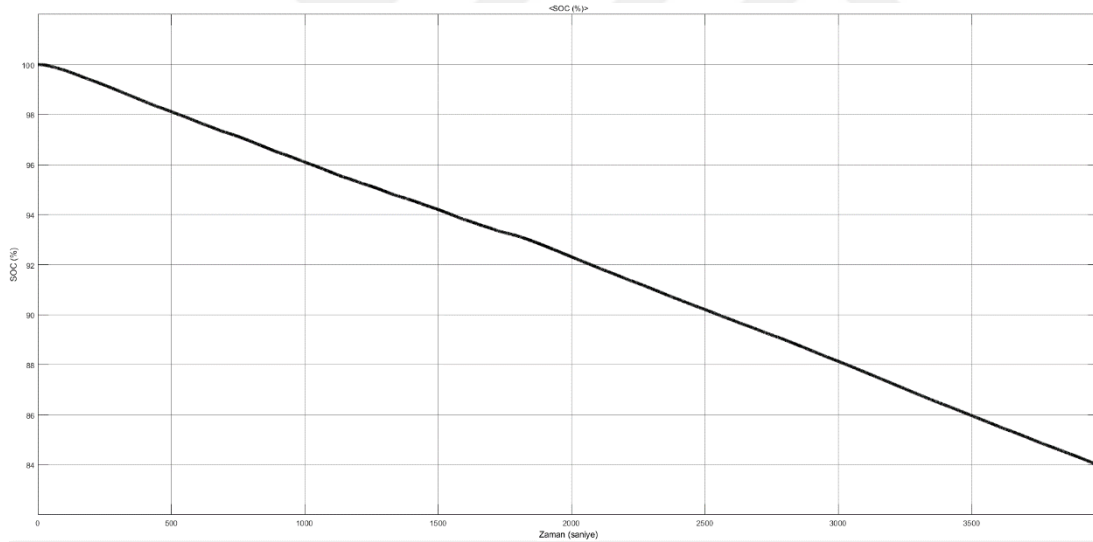
Şekil 5.14 : SOC değerinin hesaplanması için kurulan model

Sürüş çevriminde Avcılar-Söğütluçeşme hattı bir kez olacak şekilde seyahat tamamlanmıştır. Bu nedenle 42 km sonunda tam şarjlı olan Otobüs A ve Otobüs B'nin

SOC değerleri sırasıyla Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da gösterilmiştir.



Şekil 5.15 : Otobüs A SOC-Zaman grafiği.



Şekil 5.16 : Otobüs B SOC-Zaman grafiği.

SOC grafiklerinden Otobüs A’nın düştüğü SOC değerinin %80 civarlarında olduğu ve Otobüs B’nin ise %84 gibi bir değerde şarj durumuna sahip olduğu görölmektedir. Gerçek verilerle yapılan bu modellemede SOC değerleri aracın duraklarda durma süresine ve yolcu sayısına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Yapılan tüm hesaplamalar araçta yolcu olmadığı durum için gerçekleştirilmiştir. Normalde hiç bir bataryanın SOC değeri %0 veya %100 olamaz. Burada %0 aracın artık hareket

edebilecek şarja sahip olmadığını gösterirken %100 SOC ise araçtaki bataryaların tam şarj durumunda olduğunu ifade etmek için kullanılmıştır. SOC değerine etki eden çok sayıda faktör vardır. Aracın ağırlığı, motor gücü ve enerji tüketen diğer bileşenler SOC değerine etki eder. SOC değeri Otobüs B’de biraz daha fazla çıkmasının sebebi bataryalarının enerji değerinin Otobüs A’ya göre daha büyük olmasıdır. Çünkü modellemede enerji tüketen bileşenler ayrıca modellenmediğinden burada belirleyici faktör bataryaların enerji değerleridir.





6. VAKA ANALİZİ

Tezin bu bölümünde 315 araçlık filonun elektrikli araçlarla değiştirilmesi sonucunda araçların günlük ne kadar şarj sürelerinin olacağı hangi güce sahip şarj istasyonlarının kullanılmasının doğru olacağıyla ilgili çıkarımlar yapılmış ve tartışılmıştır.

Çizelge 6.1’de 396kWh’lık batarya kümesine sahip Elektrikli otobüs A’nın farklı güçteki şarj istasyonları tarafından farklı SoE’ler için ne kadar saat süre şarj edilmesi gerektiğiyle ilgili tablo verilmiştir.

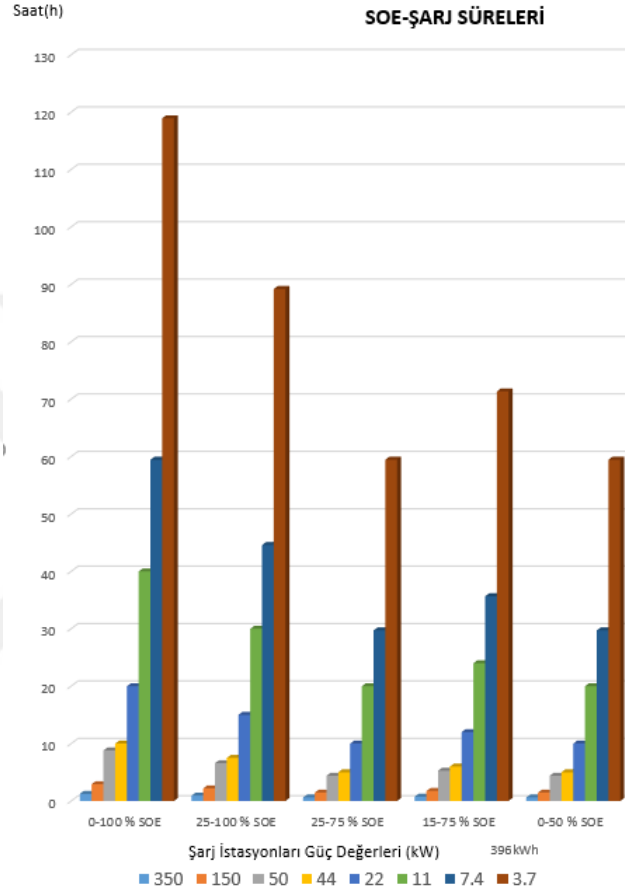
Çizelge 6.1 : Farklı SoE’lerde şarj süreleri (Elektrikli Otobüs A).

Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	1.2h	0.9h	0.6h	0.7h	0.6h
150 kW	2.9h	2.2h	1.5h	1.8h	1.5h
50 kW	8.8h	6.6h	4.4h	5.3h	4.4h
44 kW	10h	7.5h	5h	6h	5h
22 kW	20h	15h	10h	12h	10h
11 kW	40h	30h	20h	24h	20h
7,4 kW	59.5h	44.6h	29.8h	35.7h	29.8h
3,7 kW	118.9h	89.2h	59.4h	71.3h	59.4h

396 kWh’lık batarya enerjisine sahip elektrikli otobüs A kullanıldığında, 42km Avcılar-Söğütluçeşme hattında 16.3 saat kadar çalışarak 12 sefer yapabildiğini Çizelge 5.1’den yola çıkarak hesaplarız. Buradan bir aracın şarj olabilmesi için bir gün içinde 7.7 saat gibi bir süre kaldığını hesaplayabiliriz. Bu bağlamda 44 kW ve altında şarj gücüne sahip şarj istasyonlarının elektrikli bir otobüsü istenen saatlerde şarj edemeyeceği ve kullanımda olamayacağı tespiti yapılır. Bu bağlamda elektrikli otobüsler için en az 50 kW’lık güce sahip DC şarj istasyonları araçları şarj etmek için

kullanılması gerekecektir. Bu aşamada, daha düşük güçte şarj istasyonları da kullanılabilir ancak bu noktada farklı analiz metodları geliştirilmeli ve araçların şarj yüzdelerine bağlı olarak seferler ayarlanmalıdır.

396 kWh batarya kapasitesine sahip elektrikli otobüs A'nın farklı enerji durumu yüzdelerindeki şarj süreleri Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



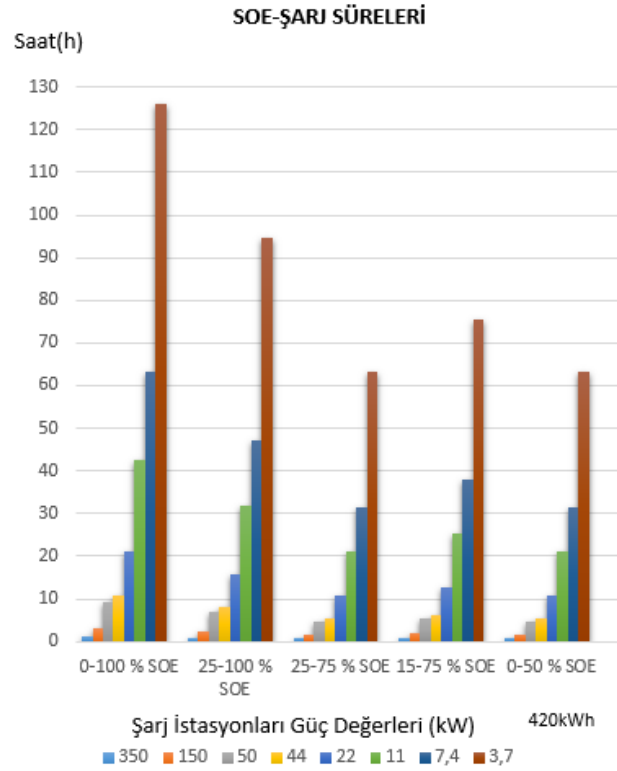
Şekil 6.1 : Elektrikli Otobüs A'nın SoE değerine bağlı şarj süreleri (396kWh).

Çizelge 6.2'de 420kWh'lık batarya kümesine sahip Elektrikli Otobüs B'nin farklı güçteki şarj istasyonları tarafından farklı SoE'ler için ne kadar saat süre şarj edilmesi gerektiğiyle ilgili tablo verilmiştir

Çizelge 6.2 : Farklı SoE’lerde şarj süreleri (Elektrikli Otobüs B).

Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	1.3h	1h	0.7h	0.8h	0.7h
150 kW	3.1h	2.3h	1.6h	1.9h	1.6h
50 kW	9.3h	7h	4.7h	5.6h	4.7h
44 kW	10.6h	7.9h	5.3h	6.4h	5.3h
22 kW	21.2h	15.9h	10.6h	12,7h	10.6h
11 kW	42.4h	31.8h	21.2h	25.5h	21.2h
7,4 kW	63.1h	47.3h	31.5h	37.8h	31.5h
3,7 kW	126.1h	94.6h	63.1h	75.7h	63.1h

420 kWh batarya kapasitesine sahip elektrikli otobüs B’nin farklı enerji durumu yüzdelerindeki şarj süreleri Şekil 6.2’de gösterilmiştir



Şekil 6.2 : Elektrikli otobüs B'nin SoE değerine bağlı şarj süreleri (420kWh).

396 kWh ve 420 kWh batarya kapasitelerine sahip iki farklı elektrikli otobüs karşılaştırıldığında düşük batarya kapasitesine sahip olan otobüs A'nın daha hızlı şarj olduğu çıkarımını yapmak mümkündür. Ancak düşük batarya kapasitesine sahip araçların da alacağı mesafenin belirli bir oranda azalacağı bilinmelidir. Örneğin 396 kWh kapasiteli olan araçta menzil 200 km iken 420 kWh batarya kapasitesine bağlı olan araçta tam şarjla alabileceği mesafe yaklaşık 250 km kadardır. Daha az batarya kapasitesine sahip olan araçların günde 504 km mesafeyi katedebilmesi için daha fazla sayıda şarj olması gerekir.

Elektrikli otobüslerin batarya SoE değerlerine bağlı şarj sürelerini Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de tespit etmiştik. Buradan hareketle eğer her bir şarj istasyonu 24 saat boyunca hizmet vermesi durumunda günde toplam kaç adet Elektrikli otobüs A'nın şarj edebileceğini Çizelge 6.3'de görmek mümkündür.

Çizelge 6.3 : Şarj istasyonu başına (24 saat aktif) araç sayısı (Elektrikli Otobüs A).

Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	19 araç	25 araç	38 araç	31 araç	38 araç
150 kW	8 araç	10 araç	16 araç	13 araç	16 araç
50 kW	2 araç	3 araç	5 araç	4 araç	5 araç
44 kW	2 araç	3 araç	4 araç	4 araç	4 araç
22 kW	1 araç	1 araç	2 araç	2 araç	2 araç
11 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araç	1 araç	1 araç
7,4 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az
3,7 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az

Aynı şekilde bir şarj istasyonunun 24 saat boyunca hizmet vermesi durumunda şarj edebileceği Elektrikli otobüs B sayısı Çizelge 6.4’de verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Şarj istasyonu başına (24 saat aktif) araç sayısı (Elektrikli Otobüs B).

Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	18 araç	24 araç	36 araç	30 araç	36 araç
150 kW	7 araç	10 araç	15 araç	12 araç	15 araç
50 kW	2 araç	3 araç	5 araç	4 araç	5 araç
44 kW	2 araç	3 araç	4 araç	3 araç	4 araç
22 kW	1 araç	1 araç	2 araç	1 araç	2 araç
11 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araç	1 araçtan az	1 araç
7,4 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az
3,7 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az

Elektrikli otobüslerin farklı güçteki şarj istasyonlarında şarj edilmesine bağlı şarj sürelerinde değişiklik olduğunu görmüştük. Bu noktada şarj istasyonlarının 24 saat hizmet vermesi durumunda yüksek güçlü örneğin pantograf sistemiyle şarj edilmesi

durumunda çok daha fazla sayıda aracın şarj edilebileceği hesap edilmiştir. Şarj senaryoları arasında farklı tipteki şarj istasyonları kullanılarak karma bir sistem elde etmekte mümkündür. Bunun için farklı uygulamalar günümüzde firmalar tarafından filo sahiplerine sunulmaktadır. Bu sayede eniyileme için uygun adet şarj istasyonuna ve saatlerde şarj imkanları tanınabilmektedir.

Yüksek güçte şarj etmenin hızlı şarj ve çok daha fazla sayıda aracın aynı gün içerisinde imkan tanıdığı bilinse de hızlı şarjın bataryalar üzerindeki yaşlandırma etkilerinin fazla olduğu bilinmektedir. Hızlı şarj yöntemiyle şarj edilmiş bataryaların çevrim sayılarında azalma olduğu görülür.

Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4’de verilen sonuçlardan yola çıkılarak 1 araçtan daha az şarja imkan sağlayan şarj istasyonlarının fizibil olmadığı sonucunu çıkarmak doğru olacaktır. Gün boyunca yalnızca bir aracı şarj edebilecek şarj istasyonlarının filo şarjı gerektiğinde sayılarının ne kadar fazla olması gerektiğini de yine bu vaka sonuçları arasında görürüz.

Elektrikli otobüs A ve elektrikli otobüs B’nin şarj istasyonları tarafından farklı sayılarda şarj edilebildiği yukarıdaki analizde görülmüştü. Bu noktada elektrikli araçlardaki batarya kapasitesi arttıkça daha uzun süre şarj olmaları gerekir. Bu da şarj istasyonlarını daha fazla kullanmalarına sebep olur. Bu noktada eğer filodaki otobüsler Elektrikli otobüs B’den seçilirse bir şarj istasyonunun şarj edebileceği araç sayısında azalma olur.

Bir şarj istasyonu tarafından ne kadar çok araç gün içinde şarj edilebilirse o kadar az sayıda şarj istasyonuna ihtiyaç duyulur ve maliyetlerde buna bağlı olarak azalır.

Eğer şarj istasyonlarının da belirli bir düzeyde ve stabilitede çalışması isteniyorsa şarj istasyonlarını 24 saat boyunca kullanmayıp yaklaşık 6 saatlik bir süre hiçbir aracın şarj edilmeyeceğini varsayıp şarj istasyonunun soğumasına ve stabil bir şekilde çalışabilmesine yönelik bir vakit ayrılarak kaç adet aracın bir istasyon tarafından şarj edilebileceği Elektrikli otobüs A ve otobüs B için Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 : Şarj istasyonu başına (18 saat aktif) araç sayısı (Elektrikli Otobüs A).

Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	14 araç	19 araç	28 araç	23 araç	28 araç
150 kW	6 araç	8 araç	12 araç	10 araç	12 araç
50 kW	2 araç	2 araç	4 araç	3 araç	4 araç
44 kW	1 araç	2 araç	3 araç	3 araç	3 araç
22 kW	1 araçtan az	1 araç	1 araç	1 araç	1 araç
11 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az
7,4 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az
3,7 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az

Çizelge 6.6 : Şarj istasyonu başına (18 saat aktif) araç sayısı (Elektrikli Otobüs B).

Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	13 araç	18 araç	27 araç	22 araç	27 araç
150 kW	5 araç	7 araç	11 araç	9 araç	11 araç
50 kW	1 araç	2 araç	3 araç	2 araç	3 araç
44 kW	1 araç	2 araç	3 araç	2 araç	3 araç
22 kW	1 araçtan az	1 araç	1 araç	1 araç	1 araç
11 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az
7,4 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az
3,7 kW	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az	1 araçtan az

Bir elektrik şarj istasyonunun hizmet verebileceği saat sayısı ve özellikleri firmadan firmaya değişiklik gösterse de burada örnek amacıyla yapılan bu vaka analizinde hizmet süresinin kısılması durumunda filo sahibinin araçları şarj etmek için daha fazla sayıda şarj istasyonu satın almasına sebep olacağı görülmektedir. Bu aşamada metrobüs hattındaki araçların günde 12 sefer yapabilmesi için Elektrikli otobüs A için en az 3 kez şarj olması ve Elektrikli otobüs B için ise günde en az 2 kez şarj olması

gerektiği tespit edilmişti. Buradan hareketle, 315 aracın günde Elektrikli otobüs A için en az 945 kez ve Elektrikli otobüs B içinse 630 kez şarj edilmesi gerektiği yine hesaplanmıştır. Ardından farklı güçteki şarj istasyonlarından kaç adet olursa araçların istenen şarj düzeylerinde şarj edilebileceğini Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 : Filo için gerekli şarj istasyonu sayısı -24 saat çalışma (Elektrikli Otobüs A).

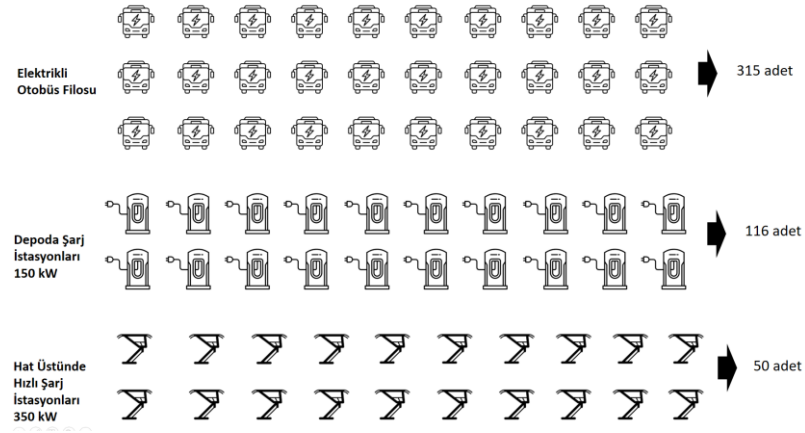
Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	50 adet	38 adet	25 adet	30 adet	25 adet
150 kW	116 adet	87 adet	58 adet	70 adet	58 adet
50 kW	347 adet	260 adet	174 adet	208 adet	174 adet
44 kW	394 adet	296 adet	197 adet	237 adet	197 adet
22 kW	788 adet	591 adet	394 adet	473 adet	394 adet
11 kW	1575 adet	1182 adet	788 adet	945 adet	788 adet
7,4 kW	2342 adet	1756 adet	1171 adet	1405 adet	1171 adet
3,7 kW	4683 adet	3512 adet	2342 adet	2810 adet	2342 adet

Çizelge 6.8 : Filo için gerekli şarj istasyonu sayısı -24 saat çalışma (Elektrikli Otobüs B).

Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	35 adet	27 adet	18 adet	21 adet	18 adet
150 kW	82 adet	62 adet	41 adet	49 adet	41 adet
50 kW	245 adet	184 adet	123 adet	147 adet	123 adet
44 kW	279 adet	209 adet	140 adet	168 adet	140 adet
22 kW	557 adet	418 adet	279 adet	335 adet	279 adet
11 kW	1114 adet	836 adet	557 adet	669 adet	557 adet
7,4 kW	1656 adet	1242 adet	828 adet	994 adet	828 adet
3,7 kW	3311 adet	2484 adet	1656 adet	1987 adet	1656 adet

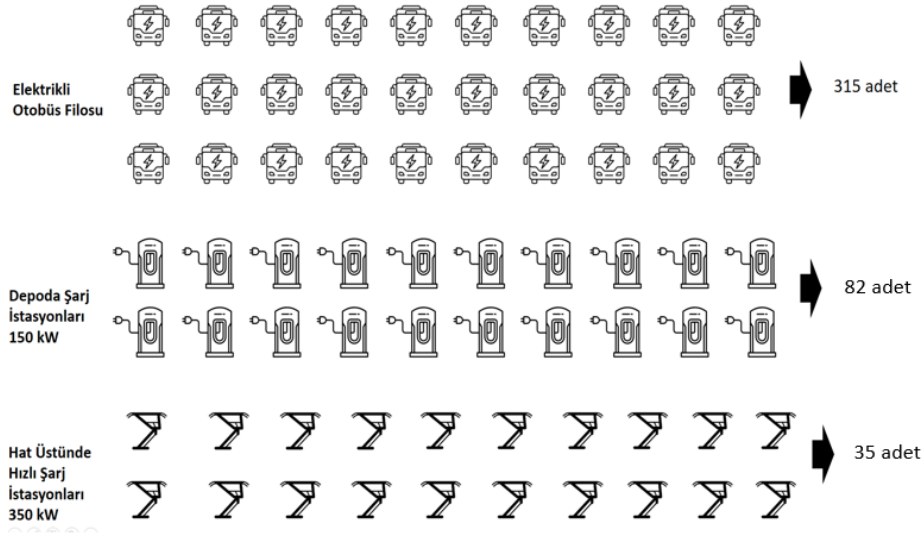
Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8’de görüleceği üzere yüksek güçte şarj istasyonlarına sahip olunması durumunda az sayıda istasyonla büyük filoların şarjının gerçekleştirilebildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca şarj için istasyona gelen aracın bataryalardaki enerji oranına bağlı olarak gerekli şarj istasyonu sayısının da değiştiği görülmüştür. Bu noktada SOE değeri araç istasyona geldiğinde ne kadar büyükse o kadar sık istasyona uğraması gerektiği tespit edilmiştir. Çünkü bataryalarda depolanan enerji belirli bir sefer yapabilecek miktarda olmasına rağmen araç şarj olmak için istasyona geliyorsa bu noktada daha sık gelmesi gerektiği ve bataryaların çok sık şarj olmasıyla bataryalarda yaşlanma etkisinin yine fazla olacağı görülmüştür. Ayrıca yüksek batarya kapasitesine sahip Elektrikli otobüs B’nin gün içerisinde daha az şarj olması gerekliliğinden dolayı daha az sayıda şarj istasyonu ile filoyu şarj etmek mümkündür. Elektrikli otobüs A’da ise şarj sayısının günlük en az 3 kez olması sebebiyle daha fazla sayıda şarj istasyonuna ihtiyaç duyulmuştur.

Bu noktada 315 adet Elektrikli otobüs A için farklı şarj gücüne sahip şarj istasyonlarıyla şarj edilmesi noktasında depoda şarj ve hat üzerinde şarj olarak 2 farklı şarj modeliyle SOE değerinin %0’da %100’e çıkarabilmek için gerekli şarj istasyonları Şekil 6.3’de gösterilmiştir.



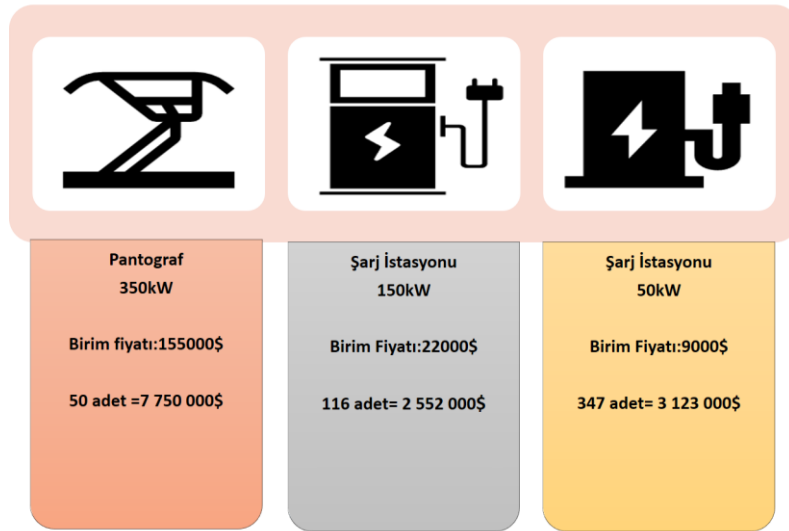
Şekil 6.3 : Farklı şarj senaryolarıyla araçların şarj edilmesi (Elektrikli otobüs A).

Eğer hatta yer alan tüm araçlar Elektrikli otobüs B ile değiştirilseydi ve araçlar %0 SoE’den %100 SoE’ye şarj edilseydi gerekli şarj istasyon sayıları Şekil 6.4’de gösterilmiştir.

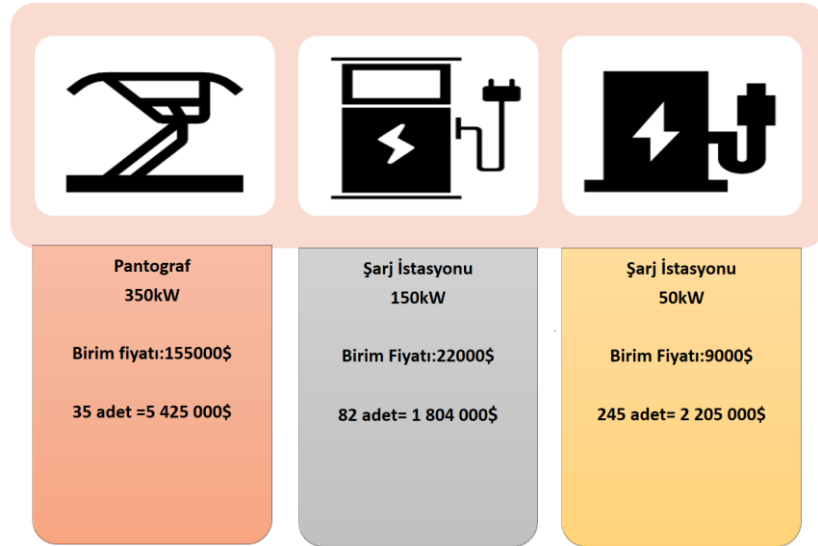


Şekil 6.4 : Farklı şarj senaryolarıyla araçların şarj edilmesi (Elektrikli otobüs B)

Piyasada yer alan bazı şarj istasyonlarıyla maliyet hesapları gerçekleştirilmiştir. Pantograf 350 kW [59], şarj istasyonu 150 kW [60] ve şarj istasyonu 50 kW [61] için yalnızca şarj istasyonları maliyet hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8’den yola çıkılarak Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da maliyet hesapları gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : Elektrikli otobüs A için şarj istasyonlarının örnek maliyet hesabı (24saat aktif çalışma)



Şekil 6.6 : Elektrikli otobüs B için şarj istasyonlarının örnek maliyet hesabı (24saat aktif çalışma)

İstasyon maliyetleri karşılaştırdığında daha az şarj istasyonu aynı sayıda aracın şarj edilebildiği Elektrikli otobüs B'nin avantajlı olduğu görülmüştür. Maliyet ve şarj süresi optimizasyonu için pantograf ve şarj istasyonları farklı sayı ve tipte kurulabilirler. Burada yer alan maliyetler yalnızca şarj istasyonunun fiyatını göstermekte olup kurulum maliyetlerinin dahil edilmediği bilinmelidir.

Şarj istasyonlarının günde 18 saat aktif olarak çalışması durumunda kaç adet şarj istasyonuna ihtiyaç duyulacağı Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 : Filo için gerekli şarj istasyonu sayısı -18 saat çalışma (Elektrikli Otobüs A).

Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	66 adet	50 adet	33 adet	40 adet	33 adet
150 kW	154 adet	116 adet	77 adet	93 adet	77 adet
50 kW	462 adet	347 adet	231 adet	278 adet	231 adet
44 kW	525 adet	394 adet	263 adet	315 adet	263 adet
22 kW	1050 adet	788 adet	525 adet	630 adet	525 adet
11 kW	2100 adet	1575 adet	1050 adet	1260 adet	1050 adet

Çizelge 6.9 (devam) : Filo için gerekli şarj istasyonu sayısı- 18 saat çalışma (Elektrikli Otobüs A)

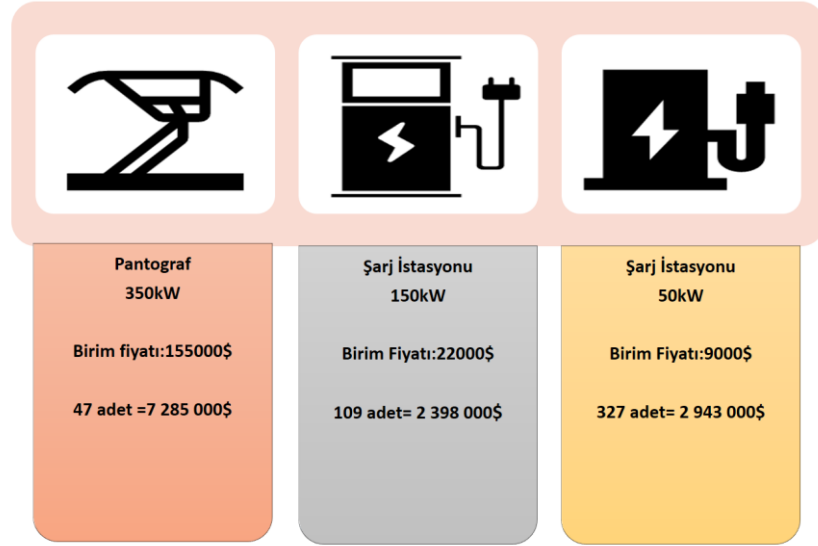
Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
7.4 kW	3122 adet	2342 adet	1561 adet	1873 adet	1561 adet
3,7 kW	6244 adet	4683 adet	3122 adet	3746 adet	3122 adet

Çizelge 6.10 : Filo için gerekli şarj istasyonu sayısı -18 saat çalışma (Elektrikli Otobüs B).

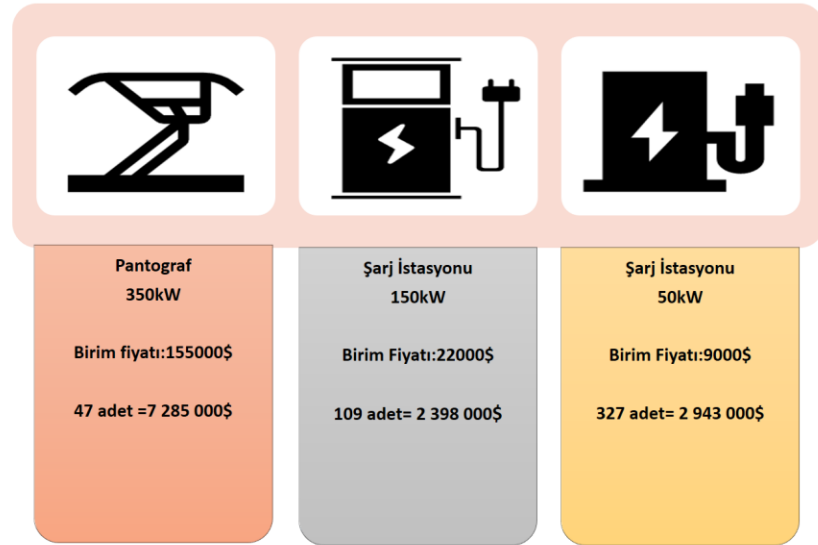
Şarj İstasyon Gücü	%0 - %100 SoE	%25-%100 SoE	%25 - %75 SoE	%15 - %75 SoE	%0 - %50 SoE
350 kW	47 adet	35 adet	24 adet	28 adet	24 adet
150 kW	109 adet	82 adet	55 adet	66 adet	55 adet
50 kW	327 adet	245 adet	164 adet	196 adet	164 adet
44 kW	372 adet	279 adet	186 adet	223 adet	186 adet
22 kW	743 adet	557 adet	372 adet	446 adet	372 adet
11 kW	1485 adet	1114 adet	743 adet	891 adet	743 adet
7,4 kW	2208 adet	1656 adet	1104 adet	1325 adet	1104 adet
3,7 kW	4415 adet	3311 adet	2208 adet	2649 adet	2208 adet

Şarj istasyonunun aktif şarj süresine bağlı olarak istasyon ihtiyaçlarının değiştiği Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.10’da görülmektedir. Her iki elektrikli otobüs için de şarj istasyonu 24 saat değil de 18 saat çalışması durumunda istasyon sayılarında belirli bir artış olduğu görülür. Artan şarj istasyonu sayısı ile birlikte maliyet hesapları tekrar yapılmıştır.

Çizelge 6.9’ ve Çizelge 6.10’dan yola çıkarak %0’da %100 SoE’ye şarj etmek için 3 farklı güçteki istasyonların maliyetini Şekil 6.7’ ve Şekil 6.8 de görülmektedir.



Şekil 6.7 : Elektrikli otobüs A için şarj istasyonlarının örnek maliyet hesabı (18 saat aktif çalışma)



Şekil 6.8 : Elektrikli otobüs B için şarj istasyonlarının örnek maliyet hesabı (18saat aktif çalışma)



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrikli araçların günümüzde önem kazanması sebebiyle bu alanda yapılan yatırımların da giderek arttığı görülmektedir. Bu durumun otomotiv endüstrisinde ki değişimin kolay olmayacağı bazı zorlukları da yanında getireceği aşîkârdır. Ancak her değişim bir hedef doğrultusunda gerçekleştiğinde başarıya ulaşması da bir o kadar kolay olacaktır. Elektrikli araçlarla birlikte mekanik gelişmelerin elektrik alanında olan gelişmelerin arkasında kaldığı da görülmektedir. Gelecekte artık mekanik aksamaların azaldığı ve elektrik-elektronik cihazların öneminin arttığı bir döneme girilmektedir. Bu noktada elektrikli otonom araçların da artık bir sonraki adım olacağı anlaşılmaktadır. Ancak otonom elektrikli araçlarla birlikte güvenlik önlemlerinin donanım kapsamının yanı sıra yazılımsal alanlarda da gerçekleşeceğini belirtmekte fayda vardır.

Çevremizde yaşanan iklim değişimlerinin azalmasında elektrikli araçların katkı sağlayacağı açıktır. Yalnızca araçların elektrikli olması değil aynı zamanda üretilen elektrik enerjisinin de nasıl elde edileceği büyük önem kazanmaktadır. Yenilebilir enerji kaynakları her ne kadar teşvik edilse de hedefler doğrultusunda istenen büyüme dünya çapında henüz yakalanamamıştır. Bu nedenle elektrikli araç üreticilerinin de bu alanda yatırımlar yaptığı ve yapacağı dönemler olacaktır.

Elektrikli araçlarla birlikte şarj istasyonlarının alt yapısının geliştirilmesi içinde devlet desteklerinin önemi büyüktür. Otomotiv üreticileri her ne kadar bazı konularda anlaşp aksiyonlar alsalar da günün sonunda elektrikli şarj istasyonlarının yaygınlaşması için daha farklı konsept ve çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

Henüz ülkemizde elektrikli araç üretiminin çok küçük yüzdelerde yapıldığı bilinmekte olup bu alanda ArGe çalışmalarına ve yatırımlara yeterli teşvik verilmesi gerekliliği ortadadır.

Batarya teknolojilerinin geliştirilmesi noktasında kimya sanayinde de büyük atılımlar yapılmakta ve teknolojiler geliştirilmektedir. Batarya üretimlerinin elektrikli araçlarda kullanılmak üzere daha da genişletilmesi ve batarya geri dönüşüm sistemlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmadan şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Elektrikli otobüslerin büyük batarya kapasiteleri sebebiyle küçük şarj sistemleriyle yani AC ve İnduktif şarja şuanki teknolojilerle uygun olmadığı görülmüştür. Bu nedenle elektrikli otobüsler gibi büyük batarya kapasitesine sahip elektrikli araçların günümüzde daha çok DC şarj sistemlerince şarj edilmesi gerekliliği hesaplamalarla kanıtlanmıştır.
- Elektrikli araçların şarjında kullanılan AC ve İnduktif şarj istasyonlarının güç değerlerinin büyük kapasiteli araçları şarj etmek için yeterli olmadığı görülmüştür. Çünkü bu tür şarj istasyonlarında büyük enerji kapasitesine sahip bir elektrikli otobüsün bir günden daha fazla süre boyunca şarj olması gerektiği hesaplamalarla görülmüştür. Bu nedenle bu tür şarj istasyonlarının otomobil, motorsiklet veya küçük kapasiteli minübüsler için uygun olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise bu tür şarj istasyonlarının güç değerlerinin belirli bir değere sistemsel kısıtlar sebebiyle çıkamamasıdır.
- Hızlı şarj sistemlerinin büyük güçlerde bataryaları kısa sürelerde şarj edebileceği yine matematiksel olarak kanıtlanmış ve diğer şarj sistemleriyle karşılaştırmalı olarak çizelgelerde sonuçlar paylaşılmıştır. Hızlı şarj sistemlerinin bataryaların yaşlanmasına ve çevrim sürelerine olan etkileride yine tez içerisinde tartışılmıştır.
- Elektrikli araçların modellemesi yapılırken farklı parametrelerin olduğu ve bu parametrelerin nasıl bir matematiksel modellemeyle geliştirilip gerçeğe yakın değerler elde edilebileceği Simulink modeliyle gösterilmiştir.
- Simulink modelinde araç ağırlığının SOC değerine etkisi gözlemlenmiştir. Daha ağır araçların hareket etmesi ve ivmelenmesi için daha büyük enerjilerin harcandığı sonucuna ulaşılmıştır.

- Modelleme yapısından sürüş çevriminin SOC değerine etki ettiği de gözlemlenmiştir. Çünkü otobüslerin hangi zaman aralıklarında durduğu hangi zaman aralıklarında hareket ettiğine bağlı olarak tüketilen enerji miktarının değiştiği görülmüştür.
- Şarj istasyonlarının verimlerine bağlı olarak şebekeden çekilen elektrik enerjisinin değişeceği hesaplamalarla kanıtlanmış ve verim düştükçe enerji maliyetlerinin artacağı görülmüştür.
- Şarj istasyonlarının 24 saat çalışabilir sistemler olmaması sebebiyle bazı saatlerde boşa durması gerekliliği aksi takdirde şarj istasyonlarının normal ömürlerinde kısalma olabileceği yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur.
- Geleneksel araçların yakıt maliyetlerinin elektrik maliyetlerine göre daha pahalı olduğu yapılan hesaplamalarla görülmüştür.
- Otomotiv sektöründe belirli bir olgunluğa ulaşmış olan alçak gerilim bileşenlerinin yanı sıra hangi yüksek gerilim bileşenlerinin otomotiv sektörüne kazandırıldığı ve hangi zorlukların üstesinden gelinmesi gerektiğiyle ilgili detaylı bir araştırma mevcuttur. Örneğin tezde batarya teknolojilerinin kimyasal tepkimelerinde sınırlandırıcı olan yapıların analizi, inverterlerin çalışma prensibine dayalı etkenler, koruma sistemleriyle ilgili yapılan analizler sonucu böyle bir tespit gerçekleştirilmiştir.
- Elektrikli araç kullanımıyla birlikte CO₂, NO_x ve parçacık maddelerin çevreye salınımlarında azalmalar olup daha temiz şehirler toplumlara kazandırılmış olacaktır. Elektrikli araçların her ne kadar egsoz sistemleriyle doğaya zararlı bir gaz salımları olmasada elektrikli araçlarda kullanılan enerjinin hangi yollarla elde edildiğinin önemi vurgulanmış ve bu doğrultuda dolaylıda olsa elektrikli araçların CO₂ salınımları hesaplanmıştır. Böylece elektrikli araç ve içten yanmalı motora sahip araçların çevreye verdiği CO₂ emisyonlarının hesaplanması ve farkları ortaya konmuştur. Elektrikli araçların doğaya yaptığı CO₂ salınımının geleneksel araçlara oranla daha az olduğu gözlemlenmiştir.
- Artan elektrikli araç kullanımıyla birlikte fosil yakıtların kullanımı ciddi oranlarda düşecek ve bu da küresel ısınma, iklim değişiklikleri ve hava

kirliliğini bir nebze olsada azaltacağı yapılan hesaplamalarla ortaya konmuştur.

- Geleneksel araçlar çok daha gürültülü bir motora sahip olduklarından şehirlerde yaşanan gürültüde büyük bir payları vardır. Ancak elektrikli araçlarda kullanılan elektrik motorları çok sessiz bir şekilde çalışmakta ve çevreye yok denecek kadar az bir gürültü kirliliği oluşturmaktadır. Hatta araçların bu kadar az gürültü yapması sebebiyle yeni teknolojiler geliştirilip araçların normalden daha fazla ses yapması için ürünler geliştirilmektedir. Bu sayede engelli veya yaşlı insanların yoldan geçerken bir aracın geldiğini kolayca fark etmesini sağlamak amaçlanmıştır. Elektrikli araçların şehirlerde ki gürültü kirliliğinde bir azalma meydana getireceği sonucuna ulaşılabilir.
- Elektrikli araçların en önemli bileşenleri olan yüksek gerilim bataryaları, elektrik motorları ve inverter/konvertörlerin çalışma prensipleri, birbiriyle olan ilişkileri anlatılmış ve hangi teknolojilerin ön plana çıktığı vurgulanmıştır. Böylece otomotiv endüstrisinin hangi bileşenlere ve teknolojilere yönelebileceği üzerine çıkarımlar yapılmıştır.
- Batarya tiplerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi kısımlarında çok sayıda lityum iyon batarya çeşidi incelenmiş ve teknik bilgileri üzerine tablo paylaşımı yapılmıştı. İşte bu tablodaki sayısal değerlerden ve piyasada bugün satılan elektrikli araçlar incelenerek Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit bataryaların belirli bir süre otomotiv üreticileri tarafından yeni teknolojilerin güvenilirliği ve performansları ispatlanana kadar en çok tercih edeceği batarya olacağı üzerine bir tespit gerçekleştirilmiştir.
- Batarya teknolojilerinden katı hal bataryaların gelecekte daha da yaygınlaşacağı ön görüşü pazardaki yatırımlardan da görülmekte olup bu noktada elektrikli araç üretiminde kullanılacak batarya çeşitleri arasında katı hal bataryaların önem kazanacağı sonucuna ulaşılmıştır.
- Elektrik motorlarında kullanılan materyallerin pahalı olması sebebiyle endüksiyon motorlarına yönelimin olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemde yine otomotiv üreticilerinin araçlarda kullandığı ve bu konular üzerine yazılan makalelerden yola çıkılarak yapılmıştır.

- Otomotivde kullanılan yüksek gerilim bileşenlerinin tabi olması gereken normlar tezin üçüncü bölümünde farklı standartlara göre değerlendirilmiş ve bu noktada elektrikli bir araç üretiminde dikkate alınması gereken norm ve standartlar üzerine literatüre katkı yapılmıştır.
- Elektrikli araçlarda kullanılan gerilim seviyelerinin arttırılması ve daha hızlı şarj faaliyetlerinin gerçekleşebilmesi için bazı adımların atılması gerektiği bu adımların özellikle güvenlik ve materyallerin geliştirilmesiyle gerçekleşebileceği gözlemlenmiştir.
- Tezin üç ve dördüncü bölümlerinde geleneksel araçlarda olan ancak elektrikli araçlarla değişen bileşen ve sistemlerle birlikte yalnızca elektrikli araçlara özel bileşen ve sistemler bir araya getirilmiş ve elektrikli araç dinamikleri bir araya toplanmıştır. Böylece elektrikli araçlarda değişen veya yeni gelen sistem ve bileşenler incelenmiş olup geleneksel araçlardakinden ne tür farklılıklar olduğu ortaya konmuştur.
- Elektrikli araçlarla birlikte yeni sistemler ve bileşenlerin otomotive kazandırıldığını söylemiştik ancak bu yeni sistem ve bileşenlerde henüz tam olarak aşılamayan bazı sıkıntı ve sınırlamaların olduğu ve bunların neler olduğu ve piyasada bu yönelik atılan adımlar özet şeklinde paylaşılmıştır.
- Araçlarda kısıtlı olan hacim ve alanların elektrikli araçlarda nasıl kullanıldığına ilişkin görsel ve anlatımlarla açıklanmış olup bu bağlamda yüksek gerilim bataryalarının araç üzerindeki yerleşimlerine ilişkin farklı araç sınıfları için yorumlar yapılmıştır.
- Vaka analizinde ki örnekten de anlaşılacağı üzere elektrikli araç teknolojileri yalnızca otomobiller üzerine değil aynı zamanda ağır vasıta olarak adlandırdığımız kamyon ve otobüslerde de yakın gelecekte giderek artacaktır. Farklı araç segmentlerinde yüksek gerilim sistem ve bileşenleri kullanmaya başladıkça farklı ihtiyaçlar çıkacağı aşıkardır. Örneğin elektrikli kamyonlarda bataryaların yerleştirilebileceği alanların kısıtlı olması ve uzun menziller alması gerekmektedir. Buradan daha az enerji tüketen elektrik motorlarının ve yüksek enerji ve yoğunluğa sahip bataryaların piyasaya girme ihtiyacı

doğacaktır. Bu da elektrikli araç teknolojilerinin henüz gelişme aşamasında olduğu ve gelecekte daha iyi bir düzeye geleceği sonucuna ulaşılmıştır.

- Yüksek gerilim bileşenlerinin otomotivde kullanımıyla birlikte ne tür güvenlik önlemlerinin alınması gerektiği ve dikkat edilmesi gereken noktalar özetlenmiştir. Buradan yüksek gerilimin otomotiv sektöründe kullanılmasına ilişkin bazı gerekliliklerin olduğu ve bu noktada yeni güvenlik önlemlerinin alındığı gözlemlenmiştir.
- Avrupa Birliğinin çevreyi koruyan yasa ve yönetmelikleri sebebiyle 2030-2040 yıllarına kadar Avrupa otomotiv sektöründe büyük değişimler olacağı sonucuna varılmıştır. Yaşanan bu değişimlerin ülkemizde de bir süre sonra etkin olacağı bu anlamda önemli yatırımların gerekliliği vurgulanmıştır.
- Elektrikli araçların sıfır emisyon mottosuyla yola çıkılarak üretimi yapılıyor olsada elektrikli araçlarda kullanılan bileşenlerin üretimi ve kullanılacak enerjinin yenilenebilir enerjiden mi elde edileceği gibi konuların önemi vurgulanmıştır. Araçların yalnızca elektrikli olmasının tamamiyle sıfır emisyon yapacağı anlamına gelmediği sonucuna ulaşılmıştır.
- Elektrikli araçların tüketici odaklı üretimi noktasında yapıldığı ve dezavantaj olarak görülen uzun şarj süreleri ve yüksek gerilim bataryalarla alınabilecek mesafelerin farklı teknolojik konseptlerle elimine edilebileceği görülmüştür. Bu noktada bataryaların istasyonlarda şarj edilmesi değilde bataryaların tam dolu bataryalarla değiştirilebileceği gibi konseptler olduğuna ilişkin çalışmalar incelenmiştir. Ancak günümüzde her otomotiv üreticisinin farklı batarya teknolojilerinin tercih etme sebebiyle bu önermenin daha ileri yıllarda gerçekleşebileceği sonucuna varılmıştır.
- Elektrikli araçların artan sayıları ile beraber ülkelerde var olan enerji şebekelerinin yetersiz geleceği ve bu noktada enerji santrallerine de yatırım gereksinimi olduğu vurgulanmıştır.
- Elektrikli araçların şarj edilmesi için doğru şarj istasyonu seçiminin yapılmasıyla ilgilide yine vaka analizinde hesaplamalar yapılmış ve gerekli şarj istasyonu seçimleri üzerine yorumlarda ve analizlerde bulunulmuştur.

- Devletler tarafından çıkarılan yeni regülasyonlar diesel ve benzinli araç üreten firmaları çok fazla etkilemektedir. Çünkü azaltılması istenen emisyon seviyeleri var olan sistemlerle gerçekleştirilebilir değildir. Bu nedenle de içten yanmalı motora sahip araçlarda yer alan egzoz gazı arındırma sistemleriyle ilgili yeni ArGe çalışmaları ihtiyacı doğmaktadır. Hatta bazı firmalar bu sistemlere yapacağı yatırım yerine elektrikli araç teknolojisi üzerine yatırımlar yaparak halka duyurular yapmakta ve belirli tarihten itibaren sadece elektrikli araç üreteceğini duyurmaktadırlar. Ancak bazı otomotiv firmalarında uzun yıllardır ürettikleri güçlü içten yanmalı motor teknolojilerini bu sınırlamalar karşısında hemen kaybetmek yerine kademeli olarak elektrik ve hidrojen yakıtlı elektrikli araç üretimine geçmeyi planlamaktadır.
- Yüksek gerilim bataryalarının şarj durumu (SoC) ve enerji durumu (SoE) terimlerinin farkı yapılan hesaplamalarla gösterilmiştir.

Çalışma ile elektrikli araç teknolojileri ve gelecekte otomotiv sektöründe ne tür değişikliklerin olabileceği noktasında bilgiler verilsede her geçen gün yeni çalışmalar yapılmakta ve yeni teknolojiler keşfedilmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın genişletilmesi açısından farklı otomotiv üreticilerinin piyasaya sürdüğü araçlar ve teknolojiler incelenebilir ve bu yönde yeni çalışmalar gerçekleştirilebilir. Batarya teknolojileriyle ilgili olarak daha detaylı kimyasal iç yapı analizleri gerçekleştirilip elektrik enerjisinin daha verimli ve güvenli elde edilmesi yönündeki çalışmalar farklı bakış açısıyla değerlendirilebilir. Yüksek gerilim bileşenleriyle ilgili olarak piyasada yer alan ürünler incelenerek otomotiv endüstrisinde ne tür parçaların kullanıldığı daha iyi öğrenilebilir. Elektrikli araçların şebekeye ne tür etkileri olduğu üzerine kapsamlı analizler gerçekleştirilebilir. Modelleme yapılırken tüm enerji tüketen bileşenler modellenerek aracın enerji dengesi (energy balance) üzerine bir çalışma yapılabilir. Ayrıca modellemede her bir yüksek gerilim bileşeni ayrı ayrı modellenerek ayrıntılı bir araç tasarımı yapılarak model geliştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Lee, J., An, M., Kim, Y., and Seo, J. I.** (2021). Optimal Allocation for Electric Vehicle Charging Stations. *Energies* 2021, 14, 5781. <http://doi.org/10.3390/en141858781>
- [2] **Ouyang, D., Ou X., Zhang Q., and Dong, C.** (2019). Factors influencing purchase of electric vehicles in China, *Mitigation and Adaption Strategies for Global Change*, March 2020.
- [3] **Casaleiro, A., Silva, R.A., and Serra, J.** (2020). Plug-In Electric Vehicles for Grid Services Provision: Proposing an Operational Characterization Procedure for V2G Systems
- [4] **Url-1** <https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en>, erişim tarihi 04.01.2022.
- [5] **Url-2** <<https://blog.wallbox.com/ev-incentives-europe-guide>>, erişim tarihi 27.12.2021
- [6] **Leou, R. C., and Hung, J. J.** (2017). Optimal Charging Schedule Planning and Economic Analysis for Electric Bus Charging Stations, *Energies*, 10(4), 483
- [7] **Hjelkrem, O. A., Lervag, K. Y., Babri, S., Lu, C., and Södersten C. J.** (2021). A battery electric bus energy consumption model for strategic purposes: Validation of a proposed model structure with data from bus fleets in China and Norway, *Transport and Environment*, Volume 94,
- [8] **He, Y., Liu, Z., and Song Z.** (2020). Optimal charging scheduling and management for a fast-charging battery electric bus system, *Logistics and Transportation Review*, Volume 142,
- [9] **Quiu, Q., Li, J., and Yu, H.** (2013). Operational Planning of Electric Bus Considering Battery State of Charge, LTLGB 2012 Conference. 243-249.
- [10] **Liang, X., Lu, E., Wang, Y., Yao, B., and Lin, S.** (2021). A Cost Analysis of Electric Bus Operation Under Mixed Configuration of Charging Infrastructures, Proceedings of the Fifteenth International Conference on Management Science and Engineering Management. 604-612.
- [11] **Lie, K. W., Synnevag, T., and Lamb, J. J., and Lien, K. M.** (2021). The Carbon Footprint of Electrified City Buses: A Case Study in Trondheim Norway. *Energies*, 14(3), 770.
- [12] **Gringmuth, A.** (1994). Electric Vehicle Component Proceedings of NORTCON,

Seattle, WA, USA: October 13

- [13] **Noor, F. U., Padmanaban, S., Popa, L.M., Mollah, M. N., and Hossain, E.** (2017). A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development. *Energies, Volume 10, Issue 8*
- [14] **Biczal, P. J., and Kwiatkowski, M.** (2018). Batteries in a vehicle- conditions, capabilities and limitations, *13th International Conference Modern Electrified Transport (MED 2017)*, 1-7, doi.org/10.1051/matecon/201818003001
- [15] **Accardo, A., Dotelli, G., Musa, M.L., and Spessa, E.** (2021). Life cycle assesment of an NMC battery for application to electric light-duty commercial vehicles and comparision with a sodium-nickel-chloride battery. *Appl. Sci.* 11 (3), 1-32.
- [16] **Larminie, J., and Lowry, J.,** (2011) *Eletric vehicle technology explained* Second Edition, A John Wiley & Sons, Ltd, Publication
- [17] **Santos, P. J., Pires, A.J., and Castro R.** (2021). The impact of charging electric vehicle in electrical public substations. *2021 IEEE 15th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, July 14-16. IEEE.
- [18] **Hirz, M., Walzel, B., and Brunner, H.** (2021). Autonomous Charging of Electric Vehicles in Industrial Environment, *Technical Journal* 15, 2(2021), 220-225.
- [19] **Url-3** <<https://www.ubs.com/content/dam/WealthManagementAmericas/documents/smart-mobility.pdf>>, erişim tarihi 21.12.2021.
- [20] **Traini, E., Alberto, F., Bruno, G., and Lobardi, F.** (2020). Design and Simulation of a Battery Swapping System for Electric Vehicles, *25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (EFTA)*, September 8-11. IEEE.
- [21] **Lian, Y., Zeng, D., Ye, S., Zhao, B., and Wei, H.** (2018). High-Voltage Safety Improvement Design for Electric Vehicle in Rear Impact, *Automotive Innovation* (2018), 211-225.
- [22] **Url-4** < https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2014/april/Voltage_Classes_for_Electric_Mobility/Voltage_Classes_for_Electric_Mobility.pdf>, erişim tarihi 12.11.2021
- [23] **Url-5** < https://ec.europa.eu/transport/facts-fundings/statistics/pocketbook-2017_en > , erişim tarihi 10.11.2021
- [24] **Weiss, Martin., Cloos, K.C., and Helmers, E.** (2020). Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles. *Environmental Sciences Europe*, 32(46).
- [25] **Url-6** <<https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/battery-or-fuel-cell-that-is-the-question-5868>>, erişim tarihi 15.11.2021.

- [26] **Schröder, R., Aydemir, M., and Seliger, G.** (2016). Comparatively assesing different shapes of lithium-ion battery cells. *14th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, 8(2017), 104-111.
- [27] **Cheng, XB., Zhang, R., Zhao, CZ., Wei, F., Zhang, J.G., and Zhang, Q.** (2016). A Review of Solid Electrolyte Interphases on Lithium Metal Anode. *Advanced Science*, 3(3) p1-20
- [28] **Fan, X., Chen, L., Ji, X., Deng, T., Hou, S., Chen, J., Zheng, J., Wang, F., Jiang, J., Xu, J. Xu, K., and Wang C.** (2018). Highly Fluoriated Interphase Enable High-Voltage Li-Metal Batteries, *ScienceDirect*, 4(1), pp 174-1853) p1-20
- [29] **Lin, Z., und Liang, C.** Lithium-Sulfur Batterie:from Liquid to Solid Cells? Oak Ridge, TN 37831, USA
- [30] **Dhundhara, S., and Verma, Y. (2021).** Energy Storage for Modern Power Systems Operations. Wiley.
- [31] **Ash, B., Nalajala, V.S., Popuri, A.K., Subbaiah, T., and Minakshi, M.** (2020). Perspectives on Nickel Hydroxide Electrodes Suitable for Rechargeable Batteries:Electrolytic vs. Chemical Synthesis Routes, *Nanomaterials (Basel)*, 10(9) 1878.
- [32] **Url-7** < <https://www.ionenergy.co/resources/blogs/lithium-ion-battery-types/>>, erişim tarihi 15.10.2021
- [33] **Url-8** <<https://www.osti.gov/pages/servlets/purl/1465507/>>, erişim tarihi 15.10.2021
- [34] **Url-9** <<https://www.tuvsud.com/en-us/industries/mobility-and-automotive/automotive-and-oem/automotive-testing-solutions/emc/ece-regulation->>, erişim tarihi 25.12.2021
- [35] **Navet. N.** (1998). Controller area network [automotive applications, *IEEE Potentials*, 17(4): 12-14 Jan, 1998. *IEEE*
- [36] **Url-10** < https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/electromagnetic-compatibility-emc_ena>, erişim tarihi 19.12.2021
- [37] **Url-11** <<https://www.iso.org/standard/69113.html>>, erişim tarihi 05.01.2022
- [38] **Tran, M.K.** (2020). Sensor Fault Detection and Isolation for Degrading Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles. Master Thesis Master of Applied Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada,

- [39] **Persic, A., Hrvoje, K., Vladimir, P., and Vrazic, M.** (2021). ICE Vehicle Energy Consumption Measurement and Calculation Methodology for the Purpose of EV Battery Pack Design. *2021 International Conference on Electrical Drives & Power Electronics (EDPE) Electrical Drives & Power Electronics (EDPE), 2021 International Conference on. :164-168 Sep, 2021*
- [40] **Url-12** <[uhttps://www.iett.istanbul/tr/main/pages/istanbulda-toplu-ulasim/95](https://www.iett.istanbul/tr/main/pages/istanbulda-toplu-ulasim/95)>, erişim tarihi 12.12.2021
- [41] **Url-13** <<https://iett.istanbul/tr/main/pages/metrobus-hatlari/90>>, erişim tarihi 12.12.2021.
- [42] **Url-14** <<https://iett.istanbul/tr/main/news/metrobusle-dunya-turu/855>>, erişim tarihi 12.12.2021.
- [43] **Sapet, K.** (2020). Futuristic Electric Buses,
- [44] **Url-15** <https://www.akasol.com/library/Downloads/Datenbl%C3%A4tter/10-11-2021/AK_Datenblatt_AKASystem_15-OEM-50-PRC_2021_EN.pdf>, erişim tarihi 12.12.2021
- [45] **Saadi, M.A., Patkowski, B., Zaremba, M., Karwat, A., Pol, M., Chelchowski, L., Mierlo V.J., and Berecibar, M.,** (2021). Slow and Fast Charging Solutions for Li-Ion Batteries of Electric Heavy-Duty Vehicles with Fleet Management Strategies, *Sustainability 2021, 13, 10639.*
- [46] **Verbrugge, B., Hasan, M.M., Rasool, H., Geury, T., Baghdadi, M.E., and Hegazy, O.** (2021). Smart Integration of Electric Buses in Cities: A Technological Review, *Sustainability 2021, 13(21), 12189*
- [47] **Url-16** <<https://www.sustainable-bus.com/news/ecitaro-testing-infrastructure-in-mannheim-1-2-mw-via-three-charging-technologies/>>, erişim tarihi 12.09.2021
- [48] **Url-17** <https://www.zf.com/products/media/product_media/buses_1/product_overview_1/product_overview_axle_transmission_systems.pdf>, erişim tarihi 20.12.2021.
- [49] **Url-18** <<https://new.siemens.com/global/en/markets/transportation-logistics/electromobility/drive-systems-for-commercial-vehicles.html>>, erişim tarihi 20.12.2021.
- [50] **Trentadue, G., Lucas, A., Otura, M., Pliakostathis, K., Zanni, M., and Scholz, H.** (2018). Evaluation of Fast Charging Efficiency under Extreme Temperatures. *Energies 2018, 11(8), 1937.*
- [51] **Yu, Q.Q., Xiong, R., Wang, L.Y., and Lin, C.** (2018). A Comparative Study on Open Circuit Voltage Models for Lithium-ion Batteries. *Chinese Journal of Mechanical Engineering, 31-65.*

- [52] **Url-19** <<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>>, erişim tarihi 05.01.2022
- [53] **Zhang, S., Wu, Y., Liu, H., Huang, R., Yang, L., Li, Z., Fu, L., and Hao, J.** (2014). Real-World fuel consumption and CO₂ emissions of urban public buses in Beijing, *Applied*
- [54] **Url-20** <<https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/21-48-1008/akaryakit-fiyatlari>>, erişim tarihi 09.01.2022
- [55] **Edward, H.** (2007). How to live a low-carbon life: the individual's guide to stopping climate change by Chris Goodall, *Earthscan*. Wiley, 62(12), 348-348.
- [56] **Fournier, A.** (2019). How to prevent the worldwide development of Information and Communication Technologies from undermining climate targets?, December 2019.
- [57] **Url-21** <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf>, erişim tarihi 15.12.2021.
- [58] **Kaymaz, H., Korkmaz, H., and Erdal, H.** (2019). Development of a driving cycle for Istanbul bus rapid transit based on real-world data using stratified sampling method, *ScienceDirect Transport and Environment*, Volume 75, 125-135.
- [59] **Url-22** <<https://hiconics-zn.en.made-in-china.com/product/UOSTBNsrSRIC/China-30-300kw-600kw-800A-1000V-High-Power-Pantograph-Ultra-Fast-Charger-EV-Bus-Charging-Station-for-Roof-Charging.html>>, erişim tarihi 17.12.2021.
- [60] **Url-23** <<https://grasen.com/dc-fast-chargers/150kW-CCS-2PLUGS-EV-DC-Fast-Charger-with-TUV-CE.Certificates.html>>, erişim tarihi 17.12.2021.
- [61] **Url-24** <<https://www.blueskyelectricco.com/renewable-and-alternative-energy-1>>, erişim tarihi 17.12.2021



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Anıl SATAR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Mayıs 2018- Kasım 2021 tarihleri arasında Mercedes Benz Türk A.Ş’de- Elektrikli ve Diesel Otobüsler için Kablo Demeti Proje Sorumlusu olarak çalıştı.
- Aralık 2021’den beri Mercedes Benz Türk A.Ş’de Tırlar için global Sigorta ve Röle Sorumlusu olarak çalışmaktadır.