KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA VE ARAÇTAN ŞEBEKEYE ENERJİ AKTARIM UYGULAMALARI

İLKER ÇELENK

KOCAELİ 2023

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA VE ARAÇTAN ŞEBEKEYE ENERJİ AKTARIM UYGULAMALARI

İLKER ÇELENK

Prof.Dr. Engin Özdemir
Danışman, Kocaeli Üniversitesi ……..

Prof.Dr. Murat Kale
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi ……..

Doç.Dr. Murat Ayaz
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi ……..

Tezin Savunulduğu Tarih: 30.05.2023

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede
- başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı, beyan ederim.

■ Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐ Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler.....tarafından .....kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....

İlker ÇELENK

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır. Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim. Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐ Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐ Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

■ Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

.....

İlker ÇELENK

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyadaki enerji talebinin halen çok büyük kısmı fosil kaynaklardan sağlanmaktadır ve sınırsız olmayan bu kaynaklar aynı zamanda çevreye zararlı etkileri çok fazladır. Her geçen gün artan enerji talebinin yenilenebilir kaynaklarından sağlanması hem çevre hem de sürdürülebilirlik açısından önemlidir fakat bu enerji kaynaklarının elektrik üretimi çok değişkendir. Bu yüzden, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji depolama sistemleri ile birlikte kullanılması şebeke ve kullanıcı talebini karşılamada en etkin çözümdür. Enerji üretim ve depolamanın yanında kullanıcı tarafında geleneksel içten yanmalı araçların yerini hızla elektrikli araçlar almaktadır. Daha çevreci ve sürdürülebilir bir bakış açısı için sadece elektrikli araçlara dönüşümün dışında enerji kaynağının da yenilenebilir enerjiden sağlanması ve bu enerji akışının çift yönlü akıllı şebekelere entegre olması gerekmektedir. Mevcut şebeke yapısında sadece şebekeden tüketicilere enerji aktarımı sağlanmaktadır. Çift yönlü şebekelerde araçtan şebekeye yük aktarımı ile birlikte hem kullanıcılar için bir gelir sağlayıcısı olmaktadır hem de şebeke tarafında yararlı etkileri olabileceği düşünülmektedir.

Hem uluslararası hem de ülkemizde yeni gelişmekte olan bir enerji depolama sistemleri ve elektrikli araçların şebekeye enerji aktarımı konusu üzerinde çalışmak için bana fırsat veren değerli hocam Prof.Dr. Engin Özdemir'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu süreçte beni hep destekleyen eşime ve aileme de sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Mayıs 2023 İlker ÇELENK

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
TABLOLAR DİZİNİ viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ix
ÖZET xi
ABSTRACT xii
1. GİRİŞ 1
2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ 4
2.1. Elektrikli Araçlar ve Tarihçesi 4
2.2. Tam Elektrikli Araç (BEV) 10
2.3. Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV) 11
2.1.1. Seri Hibrit 12
2.1.2. Paralel Hibrit 13
2.1.3. Seri-Paralel Hibrit 13
2.4. Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar 14
2.5. Pazar Tahmini ve Beklentiler 17
3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA 23
3.1. Volanlar 25
3.2. Bataryalar 28
3.2.1. Kurşun Asit Bataryalar 30
3.2.2. Nikel-Kadmiyum Bataryalar 32
3.2.3. Lityum-İyon Bataryalar 32
3.3. Süper kapasitörler 35
4. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ENERJİ YÖNETİMİ 38
4.1. AC Şarj 39
4.2. DC Şarj 40
4.3. Batarya ve Şarj Tanımları 40
4.4. Güç Kontrolü ve Enerji Yönetimi 42
5. ARAÇTAN ŞEBEKEYE ENERJİ AKTARIM UYGULAMALARI 44
5.1 Araçtan Şebekeye Güç Akışı 46
5.1.1. Tek Yönlü Şebeke Yapısı 46
5.1.2.Çift Yönlü Şebeke Yapısı 47
5.1.3. Aktif Yük Dengeleme 48
5.1.4. Reaktif Güç Kompanzasyonu 50
5.1.5. Şebeke Yük ve Frekans Yönetimi 51
5.1.6. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Destek 51
5.1.7. Döner Yedek (Spinning Reserve) 54
5.1.8. V2G Servisleri ve Avantajları 54
5.1.9. V2G Dezavantajları 55
5.2. Elektrikli Araçların Şebekeye Entegrasyonu 57
5.3. Araçtan Şebekeye Yapısının Geleceği 58
5.4. Araçtan Şebekeye Matlab Simulasyonu 59
5.4.1. Araçtan Şebekeye Çalışma Modu (V2G) 63

5.4.2. Şebekeden Araca Çalışma Modu (G2V) 64
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 66
KAYNAKLAR.....69
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....76
ÖZGEÇMİŞ.....77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Sera gazına etki eden sektörler 5
Şekil 2.1. Elektrikli araçlar geçmiş ve günümüz 5
Şekil 2.2. Elektrikli araç çeşitleri 6
Şekil 2.3. Kilometre başına yakıt türüne göre maliyet tasarrufu 8
Şekil 2.4. Dünyadaki elektrikli otomobil modelleri ve ortalama menzili 9
Şekil 2.5. Yıllara göre batarya üretim maliyeti 10
Şekil 2.6. Elektrik araç yapısı 11
Şekil 2.7. Hibrit elektrikli araç yapısı 11
Şekil 2.8. Seri hibrit elektrikli araç 12
Şekil 2.9. Paralel hibrit elektrikli araç 13
Şekil 2.10. Seri-paralel hibrit araçlar 13
Şekil 2.11. Yakıt hücresi reaksiyonu 15
Şekil 2.12. Yakıt hücreli araç çalışma prensibi 17
Şekil 2.13. Ülkelere göre elektrikli araç tescilleri ve pazar payı 18
Şekil 2.14. Küresel elektrikli araç satışlarının dağılımı 20
Şekil 2.15. Şarj ünitelerinin ve kapasitelerin gelişimi 20
Şekil 3.1. Enerji depolama çeşitleri 24
Şekil 3.2. Volanlı enerji depolama araç uygulaması 25
Şekil 3.3. Hibrit elektrikli araçlarda volan yapısı 27
Şekil 3.4. Batarya ve volanlı sistemler maliyet karşılaştırması 28
Şekil 3.5. Bataryaların sağlıklı çalışma aralığı SoH 29
Şekil 3.6. Batarya türlerine göre güç yoğunlukları 29
Şekil 3.7. Batarya kapasitesinin gelişimi 30
Şekil 3.8. İlk kurşun asit batarya 31
Şekil 3.9. Lityum iyon batarya şematiği 34
Şekil 3.10. Süper kapasitör resmi 34
Şekil 4.1. AC J1772 konektörü 39
Şekil 4.2. Sabit akım ve sabit gerilim şarj profili 42
Şekil 4.3. BMS yapısı 43
Şekil 5.1. V2H, V2V ve V2G çerçevesi 44
Şekil 5.2. V2G gösterimi 45
Şekil 5.3. V2G tek yönlü şebeke şarj gösterimi 46
Şekil 5.4. V2G yapısının detaylı gösterimi 47
Şekil 5.5. Yük dengeleme ve pik düzenlenmesi 49
Şekil 5.6. Enerji talebine göre fiyat değişimi 49
Şekil 5.7. EDS'lerin yük yönetimi 52
Şekil 5.8. 2021-2030 Türkiye net talep ördek eğrisi 53
Şekil 5.9. Farklı senaryolara göre döner rezerv tepkileri 53
Şekil 5.10 Elektrikli araçların küresel depolama kapasitesi 59
Şekil 5.11. Araçtan Şebekeye Matlab Simulink Modeli 60
Şekil 5.12. Üç fazlı IGBT köprü şeması 60
Şekil 5.13. Gerilim ve akım kontrol blokları 61
Şekil 5.14. Batarya akım kontrol blokları 62
Şekil 5.15. Akım ve gerilim dönüşüm blokları 62
Şekil 5.16. Evirici kontrol blokları 62
Şekil 5.17. Ölçüm blokları 62

Şekil 5.18. V2G dönüştürücü gerilim ve akım simülasyonu.....63
Şekil 5.19. V2G batarya SOC, akım ve gerilim simülasyonu.....64
Şekil 5.20. V2G DC gerilim simülasyonu.....64
Şekil 5.21. G2V dönüştürücü gerilim ve akım simülasyonu.....65
Şekil 5.22. G2V batarya SOC, akım ve gerilim simülasyonu.....65
Şekil 5.23. G2V DC gerilim simülasyonu.....65

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Depolama türüne göre araç çeşitlerinin özellikleri 7
Tablo 2.2. Yakıt pili türleri 16
Tablo 2.3. Yakıt hücreli araçların avantaj ve dezavantajları 16
Tablo 2.4. Türkiye otomobil pazarının motor türüne göre dağılımı 21
Tablo 3.1. Volanların avantaj ve dezavantajları 27
Tablo 3.2. Bataryaların türlerine göre özellikleri 28
Tablo 3.3. Lityum iyon bataryaların avantaj ve dezavantajları 35
Tablo 3.4. Süper kapasitörlerin avantaj ve dezavantajları 37
Tablo 3.5. Süper kapasitörlerin ve Lityum iyon karşılaştırması 37
Tablo 4.1. SAE tarafından tanımlanan AC Standartları 40
Tablo 4.2. SAE tarafından tanımlanan DC Standartları 40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A : Akım,
C : Karbon,
CC : Sabit Akım,
CO2 : Karbondioksit,
CV : Sabit Gerilim,
E : Enerji, (J, kWs)
f : Frekans, (Hz)
F : Farad,
H : Hidrojen,
H : Saat,
H_2O : Su,
H_2SO_4 : Sülfürik Asit,
GW : Gigawatt,
Ip : Eylemsizlik Momenti, (kg.m2)
kW : Kilowatt,
kWh : Kilowattsaat,
Li : Lityum,
Li-ion : Lityum İyon,
Ni-Cd : Nikel Kadminyum,
PbO_2 : Kurşun Dioksit,
Q : Yük,
s : Saniye,
t : Süre,
ω : Açısal Hız, (Rad/s)

Kısaltmalar

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AC : Alternative Current (Alternatif Akım)
BEV : Battery Electric Vehicle (Tamamen Elektrikli Araç)
BMS : Batary Management System (Batarya Yönetim Sistemi)
DC : Direct Current (Doğru Akım)
DOD : Depth of Discharge (Deşarj Derinliği)
EA : Elektrikli Araçlar
FCEV : Fuel Cell Electric Vehicle (Yakıt Hücreli Elektrikli Araç)
GHG : Green House Gases (Sera Gazları)
HEV : Hybrid Electric Vehicle (Hibrit Elektrikli Araç)
IEA : International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IEC : International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Kurulu)
IGBT : Insulated Gate Bipolar Transistor (Yalıtım Kapılı Bipolar Transistor)
IRENA : International Renewable Energy Agency (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı)
M/G : Motor-Generatör Ünitesi
N : Nötr

ÖTV : Özel Tüketim Vergisi
PEM : Proton Geçirgen Membranlı
PHEV : Plug-in Hybrid Electric Vehicle (Şarj Edilebilir Hibrit Araç)
PV : Fotovoltaik
SAE : Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
SOC : State-of-Charge (Batarya Şarj Durumu)
SOH : State-of-Health (Batarya Sağlık Durumu)
SSR : Elektronik Anahtar
TEHAD : Türkiye Elektrikli Hibrit Araçlar Derneği
TNO : Transmission Network Operator (İletişim Şebekesi Operatörü)
TOGG : Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
TUBİTAK : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
V2G : Vehicle-to-Grid (Araçtan Şebekeye)
V2H : Vehicle-to-Home (Araçtan Eve)
V2L : Vehicle-to-Load (Araçtan Yüke)
V2V : Vehicle-to-Vehicle (Araçtan Araca)
V2X : Vehicle-to-Anything (Araçtan Herşeye)
VEDS : Volanlı Enerji Depolama Sistemi
YEK : Yenilenebilir Enerji Kaynakları

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA VE ARAÇTAN ŞEBEKEYE ENERJİ AKTARIM UYGULAMALARI

ÖZET

Dünyada bulunan fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması, her geçen gün artan enerji talebi ve giderek hissedilen küresel ısınma ve sera gazı emisyonlarından dolayı elektrikli araçları önemli bir hale getirmiştir. Elektrikli araçların enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre edilmesi durumunda küresel sera gazı emisyonlarını azaltacak ve daha sürdürülebilir bir gelecek vadedecektir. Bu çalışmanın ilk bölümünde elektrikli araçların tarihçesi ve çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir. Elektrikli araçların güncel pazar durumu, beklentiler ve Türkiye'deki durum hakkında araştırmalar yapılmıştır. Elektrikli araçların mevcut yapıdaki en önemli ve çözülmesi gereken sorun depolama teknolojisi ve yöntemleridir. Enerjinin daha hızlı ve kolay depolanması elektrikli araçların menzil problemlerini ortadan kaldırabileceği gibi yenilebilir enerji kaynakları ile entegrasyonunu da artıracaktır. Gün geçtikçe artan elektrikli araç kapasitesi mevcut şebeke için de zorluklar ve enerji dağıtım problemleri ortaya çıkartmaktadır. Enerjinin etkin bir şekilde yönetilebilmesi için talep toplayıcı bir ara yüz sistem geliştirilmeli, araçlar hakkında bilgilerin alınarak şebekenin ihtiyaç duyduğu anda araçtan şebekeye enerji aktarımı sağlanarak şebekenin güvenirliğini ve kararlılığını artıracak aynı zamanda kullanıcılar için de bir gelir kapısı yaratacak imkanlar sunabilmektedir. Araçtan şebekeye enerji aktarabilen yapılar ile akıllı şebeke sistemlerinde araçlardaki enerji bir yedek jeneratör görevi görebilmektedir. Şebekeler için aktif yük depolama, mikro şebekeler için frekans desteği ve gerilim kontrolü, reaktif güç desteği, tepe güç düzenlenmesine olumlu etkileri bulunmaktadır. V2G sistemler enerji piyasasında kullanıcılar için daha uygun maliyetlerde enerji kullanımı ve kar elde etme olanağı da sunabilmektedir. V2G teknolojisi yeni bir kavram olmakla birlikte her geçen gün hızlı bir şekilde artan elektrikli araç sayılarıyla enerji depolama ve aktarımı konusunda etkili ve önemli bir fırsat sunmaktadır. Dünya'da ve Türkiye'de V2G deneme uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada ayrıca MATLAB programında bir şebekeye bağlı bataryalı araç ile V2G ve G2V çalışma modları simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araçtan Şebekeye, Elektrikli Araçlar, Enerji Depolama, V2G, Yenilenebilir Enerji.

ENERGY STORAGE IN ELECTRIC VEHICLES AND VEHICLE-TO-GRID ENERGY TRANSFER APPLICATIONS

ABSTRACT

Limited fossil fuel resources in the world, increasing energy demand every day, and the increasingly felt global warming and greenhouse gas emissions have made electric vehicles an important solution. Integrating the energy of electric vehicles with renewable energy sources will reduce global greenhouse gas emissions and promise a more sustainable future. The first part of this study provides information on the history and types of electric vehicles. Research has been conducted on the current market status, expectations, and situation in Turkey regarding electric vehicles. The most important problem to be solved in the current structure of electric vehicles is storage technology and methods. Faster and easier energy storage will eliminate the range problems of electric vehicles and increase their integration with renewable energy. The increasing capacity of electric vehicles is creating challenges and energy distribution problems for the current grid. To effectively manage energy, a demand collector interface system should be developed to collect information about vehicles and transfer energy from vehicles to the grid when needed, thereby increasing the reliability and stability of the grid and creating income opportunities for users. In smart grid systems, energy in vehicles can serve as a backup generator. Active load storage, frequency support and voltage control for micro-grid systems, reactive power support, and peak power regulation have positive effects on grids. V2G systems can also offer users the opportunity to use energy at lower costs and earn profits in the energy market. Although V2G technology is a new concept, it provides an effective and important opportunity for energy storage and transfer with the rapidly increasing number of electric vehicles. V2G demo applications are being carried out in the world and in Turkey. In this thesis, a MATLAB simulation of the system, including V2G and grid-to-vehicle (G2V) modes, has been realized.

Keywords: Vehicle-to-Grid, Electric Vehicles, Energy Storage, V2G, Renewable Energy.

1. GİRİŞ

Dünyadaki enerji arzının yaklaşık %85'lik kısmı fosil yakıt olan kömür, doğalgaz ve petrol gibi kaynaklardan sağlanmaktadır (Ritchie, Energy, 2014). Gelişen sanayi yapısı ve artan nüfus ile enerji arzına olan talep her geçen gün artmaktadır fakat bu fosil yakıtların sera gazi oluşturarak küresel ısınmaya negatif yönde etki etmesi ve sınırlı kaynakları sebebiyle birçok dezavantajı bulunmaktadır. Buna rağmen gelişen sanayi yapısı ve nüfus artışı, bu kaynaklara olan talebi devamlı olarak artırmaktadır.

Küresel ısınmaya sebep olan sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması gerektiği açıkça ortadadır. Ulaştırma sektörü ise bu konuda kilit bir rol oynayarak küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %24'üne katkıda bulunmaktadır. (Ritchie, Cars, planes, trains: where do CO_2 emissions from transport come from?, 2020). Ulaşım sektöründeki enerji tüketimindeki büyük artışın birçoğu, ekonomik büyüme ve nüfus artışıyla bağlantılıdır. Ancak bu hızlı artış, aşırı karbondioksit emisyonlarına ve enerji krizlerine neden olabilmektedir. Enerji talebindeki hızlı artış, aşırı karbondioksit emisyonlarına ve enerji krizine neden olacaktır. Pek çok ülkede, azaltılmış bir emisyon hedefine ulaşmak için azaltma planları yapabilmiştir ve ümit verici çözümlerden biri de elektrikli araçlardır (MiaoTan ve diğ., 2016).

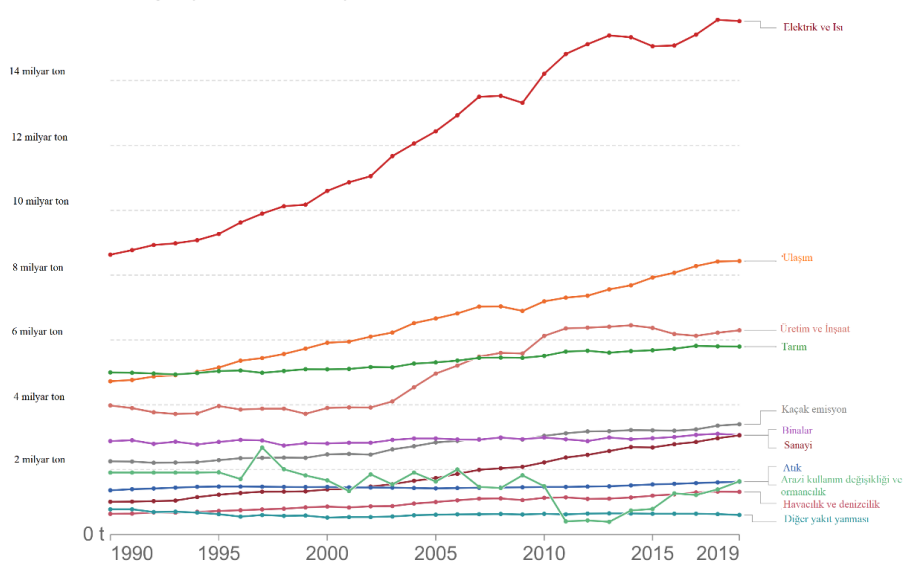
Elektrikli araçlar (EA), sıfır karbon gazı emisyonu, sessiz çalışma ve daha ekonomik olmaları gibi avantajları nedeniyle giderek yaygınlaşmaktadır. Elektrikli araç satışları 2021 yılında bir önceki yıla göre önemli bir artış göstermiş ve 6,6 milyon adet ile yeni bir satış rekoru kırmıştır. 2012 yılında Dünya çapında sadece 120.000 adet elektrikli otomobil satılmışken, 2021 yılında bu sayı her hafta aşılmaktadır. 2021 yılında küresel otomobil satışlarının yaklaşık %10'u elektrikli otomobillere aittir ve bu oran 2019 yılındaki pazar payının dört katıdır. Bu, yollarındaki toplam elektrikli otomobil sayısını yaklaşık 16,5 milyona çıkararak 2018 yılındaki miktarı üçe katlamıştır. Elektrikli otomobillerin küresel satışları 2022 yılında da güçlü bir şekilde artmaya devam etmiştir ve ilk çeyrekte 2021 yılının aynı dönemine göre %75 oranında bir artış göstermiştir (International Energy Outlook, 2023).

ABD'de, yolda olan otomobillerin yanı sıra, otomobillerin sadece %5'lik bir bölümü otoparklarda park halinde iken %90'ı kullanılmamaktadır. Bu nedenle, gelecekte EA

filosunun uygulanmasıyla birlikte kullanılmayan EA'lar, şebekeyi desteklemek için etkili bir kaynak olarak düşünülebilir. (Wang ve diğ., 2017).

Elektrikli araçların kullanımı gün geçtikte artmaktadır. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) ajansının 2019 yılında elektrik araçlar için akıllı şarj istasyonları başlıklı raporunda, 2030 yılında global çaptaki elektrikli araç sayısının 150 milyonu aşması, 2050 yılında ise dünyadaki sayısı 1 milyarı aşacağı ve dünyadaki elektrikli araçların %90'nın elektrik araç olacağı ön görülmektedir. Birçok Avrupa ülkesi, 2050 yılına kadar içten yanmalı motorlu araçların üretimini yasaklamayı ve elektrikli araçların kullanımını teşvik etmek için vergileri azaltmayı, teşvik programları düzenlemeyi, bedava park ve şarj imkanları sunmayı planlamaktadır. Ancak, elektrikli araçların şarj gereksinimleri elektrik şebekelerinde kısıtlamalara ve problemlere neden olabilmektedir. V2G teknolojisi, araçtan şebekeye güç akışı sağlayarak elektrikli araçların şebeke entegrasyonunu daha esnek hale getirebilir ve aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu konusunda önemli bir esneklik sağlayabilir. Bu nedenle, V2G teknolojisi, elektrikli araçların şebekedeki kısıtlamalarını ve problemlerini çözmek için önemli bir adım olarak görülmektedir.

Küresel ısınmaya neden olan Sera Gazı (GHG) emisyonlarının miktarını azaltma ihtiyacı vardır ve küresel GHG emisyonlarının yaklaşık%24'ünü oluşturan ulaştırma sektörü kilit bir role sahip olduğu Şekil 1.1'de açıkça gözükmektedir.



Şekil 1.1. Sera Gazına Etki Eden Sektörler (Ritchie ve diğ., 2020)

Paris anlaşması hedeflerine uygun olarak, gelecekte elektrikli araçların kullanımının yaygınlaşması ve karbon salımı azaltma hedeflerine ulaşabilmek için önemi çok büyüktür. Bu hususta bir diğer önemli nokta, elektrikli araçların şarjlarının sağlandığı elektrik şebekelerinde de yenilenebilir enerji entegrasyonu olmalıdır. Üretim yapan fabrikaların da gelecekte karbon emisyon hedeflerine uyacak alt yapılar da olmalı, temiz enerji kaynakları kullanmalı ve bozulan bataryaların tekrar dönüşümü sağlanmalıdır. Sadece elektrikli araçların kullanılmasıyla bu hedeflerin sağlanması çok mümkün değildir.

Elektrikli araçlar, günümüzde fosil yakıtların neden olduğu küresel ısınmanın etkilerinin hissedilebilir düzeyde olduğu noktada gelecek için önemli bir yer aldığı gözükmektedir. Elektrikli araçlarda tercih noktasındaki en önemli etkenlerden biri de menzil mesafesidir. Bu kapsamda enerji depolama teknolojilerindeki gelişmeler menzil mesafesini etkilemektedir, ayrıca yenilebilir enerji entegrasyonu ile daha kritik bir hale gelmektedir. Bu çalışmada elektrikli araçların depolama teknoloji çeşitleri ve enerji aktarım uygulamaları incelenecektir.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ

Tarih boyunca, yük taşımacılığı ve ulaşım için araçlar ihtiyaçlar arasında yer almıştır. Tekerleğin icadı ile başlayan süreç fosil yakıtların kullanımı ile içten yanmalı motor teknolojisi gelişmiş ve araçlar kullanılmaya başlanmıştır. Elektrikli araçlar modern bir teknoloji gibi görünse de aslında geçmişi fosil yakıtlı araçlara kadar uzanmaktadır.

2.1. Elektrikli Araçlar ve Tarihçesi

İlk elektrikli araç çalışmaları 1828-1835 yılları arasında Robert Anderson tarafından küçük ölçekli bir prototip olarak başlamıştır.

1889-1891 yıllarında ilk başarılı elektrikli araç Amerika'da William Morrison tarafından oluşturulmuştur. Sonraki yıllarda elektrikli araç popülerliği artmış ve Thomas Edison tarafından da bataryalı bir elektrikli araç denemeleri yapılmıştır. 1920-1935 yılları arasında petrol fiyatlarının çok ucuzlamasıyla ve altyapı olanaklarının gelişmesiyle daha iyi ve uzun yolların yapılmasıyla elektrikli araçlara olan ilgi azalmıştır. 1901 yılında Ferdinand Porsche tarafından ilk hibrit araç keşfedilmiştir. 1908-1912 yılları arasında Henry Ford tarafından Model T içten yanmalı aracın seri üretimine geçilmesiyle, fosil yakıtlı araçlara erişilebilirlik artmıştır. Elektrikli araçlar daha iyi ve uzun yollar, fosil yakıta erişilebilirlik ve seri üretimden dolayı karanlık bir çağa girmiş ve popülerliği azalmıştır.

1970'li yıllara doğru çıkan petrol krizi ile birlikte yakıtların fiyatları artmış ve elektrikli araçlar tekrar gündeme gelmiştir. 1973 yılında General Motors tarafından fosil yakıtlı araçlara muadil olabilecek çalışmalarda bulunmuş ve şehir içi kullanım için prototip geliştirmiştir. 1974-1977 yılları arasında Sebring-Vanguard's firması tarafından iki bin adetten fazla yaklaşık 80-100 km menzilli CitiCar modeli üretilmiştir. 1979'li yıllarda elektrikli araçların menzil ve hız limitlerinden dolayı kullanıcılarda çekincelere neden olması elektrikli araçlara olan ilgiyi azalmıştır. 1997 yılında Toyota tarafından Prius modeli hibrit aracın seri üretimine geçilmiştir. 2006 yılında Silikon Vadisinde start-up şirketi olan Tesla tarafından 320 km den fazla menzile sahip olacak bir spor elektrikli araç üretimi yapılacağı duyurulmuştur. 2010 yılında General Motors (GM) ilk ticari plug-in hibrit olan Chevy Volt modelini ticari olarak erişime sunmuştur. 2010 yılında Nissan,

tamamen elektrikli olan LEAF modelini sunmuştur. Sonraki yıllarda elektrik araçlardaki depolama çeşitliğinin artması, batarya teknolojisindeki gelişmeler ve yeni teknolojilerle birlikte modellerde çeşitlilik artmıştır. Şekil 2.1'de elektrikli araçların geçmişten günümüze kadar nasıl bir değişim ve gelişim gösterdiği gözükmektedir.



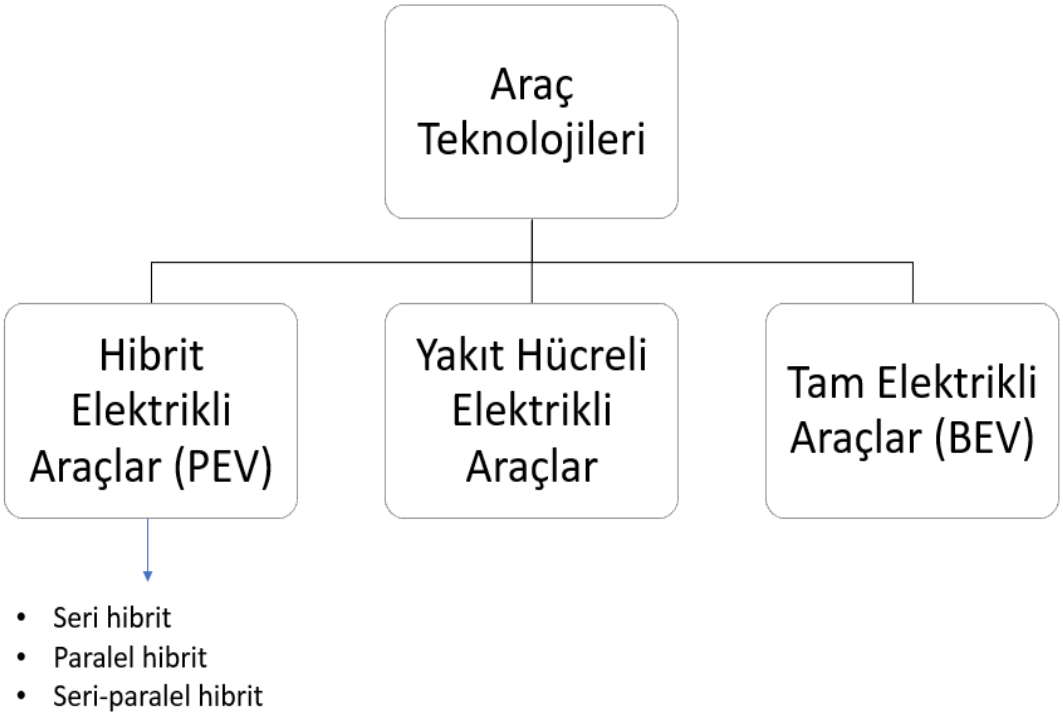
Şekil 2.1. Elektrikli araçlar geçmiş ve günümüz (URL-1)

Günümüzde elektrikli araçlar petrol fiyatlarındaki artış ve küresel iklim krizi gibi önemli konulardan dolayı tekrar popülerliği artmıştır. Üretici firmalar ve hükümetler tarafından içten yanmalı motorlu araçların üretimlerini sonlandıracak hedefler belirlenmiştir.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yapılan araştırmaya göre 2021 yılında elektrikli araç stok sayısının 16,5 milyon adete, plug-In hibrit (PHEV) elektrikli araç sayısı da 5,2 milyon adete ulaşmıştır. Elektrik talebi BEV'lerde 28.000 GWh, PHEV'lerde 3.400 GWh'e ulaşmıştır.

Elektrikli araçlarla gerekli olan tahrik enerjisinin tamamının veya bir kısmının enerji depolama sistemlerinden sağlandığı sistemlerdir. Genellikle kullanılan enerji depolama sistemleri bataryalar ve süper kapasitörlerdir. Araçların hareketi için gerekecek enerjiyi sağlamalarının yanı sıra frenleme esnasında tasarruf sağlamak için de enerji depolayabilmektedir. Elektrikli araçların çeşitleri Şekil 2.2'de verilmiştir. Elektrikli araçlarda tamamıyla batarya bulunanlar Bataryalı Elektrik Araçları (BEV), içten yanmalı motor ve buna destek olarak batarya bulunan araçlarda hibrit araçlar (HEV) olarak tanımlanmaktadır. Plug-in hibrit araçlar (PHEV), normal hibrit araçlarda batarya sürüş esnasında kendiliğinden şarj-deşarj olmaktadır fakat bu araçlarda dışarıdan şarj istasyonu aracılığıyla şarj edilebilen araçlardır. Yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV) hidrojenle

çalışmaktadır. Geleneksel içten yanmalı motorlu araçlardan daha verimlidirler ve hiçbir egzoz emisyonu üretmezler; yalnızca su buharı ve sıcak hava yaymaktadırlar.



Şekil 2.2. Elektrikli araç çeşitleri

Tam elektrikli araçlarda sadece tek bir enerji kaynağı olan batarya veya tamamen süper kapasitörlü araç denemeleri bulunmaktadır. Süper kapasitör denemeleri genellikle otobüs, iş makinesi gibi büyük ölçekli araçlarda yüksek ilk atalet momenti gereksiniminden dolayı daha etkin olabilmektedir. Hibrit araçlarda ise içten yanmalı bir motor ve bunu destekleyen bir elektrik motoru bulunmaktadır. Aracın frenleme aşamasında bataryaya enerji geri kazanımı olur ve enerji elektrik motoruna aktarılır. Elektrik motoru araçların kalkış anlarında yüksek dönme momenti (tork) sunarak daha az yakıt tüketimini sağlamış olur. Hibrit araçlarda şarj edilebilen plug-in hibrit çeşitleri ve fişli olmayan kendi kendine şarjı sağlayan tipleri bulunmaktadır. Yakıt hücreli araçlarda ise hidrojenden kimyasal reaksiyon yolu ile bir elektron akışı sağlanarak elektrik enerjisi üretilir, bir kontrol sistemi ve sürücü vasıtasıyla da elektrik motoruna tahrik sağlanmaktadır.

Tablo 2.1'de, depolama çeşitleri ile birlikte elektrikli araçların çeşitleri, tahrik yöntemleri, enerji kaynakları ve avantaj/dezavantaj özellikleri yer almaktadır. (Bayındır ve diğ., 2011).

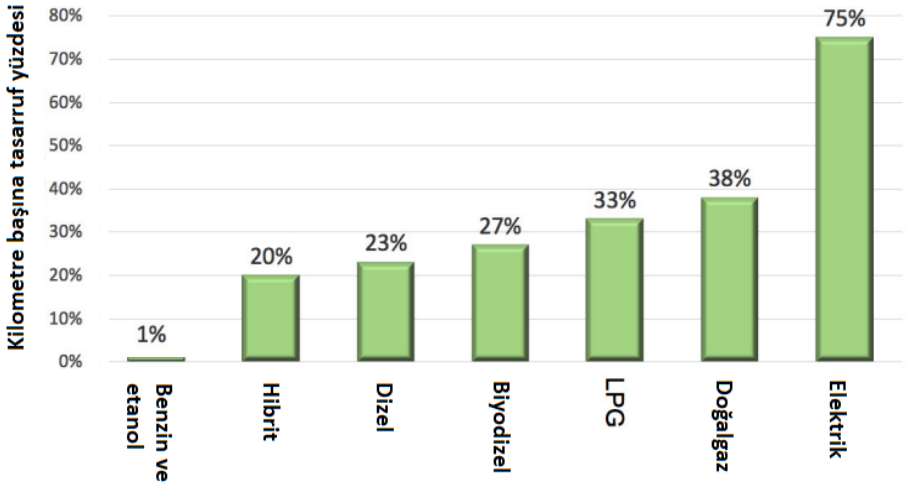
Tablo 2.1. Depolama türüne göre araç çeşitlerinin özellikleri

EA Tipi	Tam Elektrikli	Hibrit Araç	Yakıt Hücreli
Tahrik	Elektrik motoru sürücüleri	Elektrik motoru sürücüleri İçten yanmalı motor (ICE)	Elektrik motoru sürücüleri
Enerji Sistemi	Batarya	Batarya	Yakıt hücreleri Başlangıç için güç yoğunluğunu artırmak için batarya/ultra kapasitör gerekir.
	Süper kapasitör	Süper kapasitör	
		ICE üreten ünite Entegre marş jeneratörü	
Enerji kaynakları ve altyapı	Elektrik şebekesi şarj tesisleri	Yakıt istasyonları	Hidrojen
		Elektrik şebekesi şarj tesisleri (plug-in hibrit için)	Hidrojen üretimi ve ulaşım altyapısı
Özellikleri	Sıfır emisyon	Çok düşük emisyon	Sıfır veya çok düşük emisyon
	Fosil yakıtlara bağımlı değil	Uzun sürüş mesafesi	Yüksek enerji verimliliği
	Yüksek enerji verimliliği	ICE araçlarına kıyasla daha yüksek yakıt ekonomisi	Fosil yakıtlara bağımlı değil
	Yüksek başlangıç maliyeti	Fosil yakıta bağımlılık	İyi sürüş mesafesi
	Satışa sunulmuştur	Karmaşık	Yüksek maliyet
	Nispeten kısa menzil	Satışa sunulmuştur	Geliştirme aşamasında
Büyük sorunlar	Batarya ve batarya yönetimi	Birden fazla enerji kaynağını yönetme	Yakıt hücresi maliyeti
	Yüksek performanslı tahrik	Sürüş döngüsüne bağlı	Hidrojen altyapısı
	Şarj istasyonları altyapısı	Batarya boyutlandırma ve yönetimi	Yakıt sistemi

Elektrikli araçlar içten yanmalı fosil araçlara göre kıyaslandığında verimlilikleri yüksektir. EA'ların yaklaşık verimliliği %59-62 seviyelerindeyken, içten yanmalı araçların verimlilikleri %17-21 seviyelerinde olduğundan elektrikli araçlar verimlilik açısından daha elverişlidir (Shrestha ve diğ., 2016).

Elektrikli araçların geleneksel içten yanmalı araçlara göre avantajları (Sanguesa ve diğ., 2021):

- Sıfır emisyon: EA'lar egzoz gazı kirleticileri, CO2 veya nitrojen dioksit (NO2) salmaz. Batarya üreticileri karbon ayak izini azaltmak için geri dönüştürülmüş üretim teknolojileri geliştirmektedir.
- Basitlik: İçten yanmalı motorlara göre daha az mekanik aksam içerir, Motorları daha basit ve kompakttır, bir soğutma devresine ihtiyaç duymazlar. Bundan dolayı bakım maliyetleri daha ucuzdur.
- Güvenirlik: Daha az ve basit parçalara sahip olmasından dolayı daha az arızalanır. Geleneksel araçlardaki motorlarda titreşim, yakıt korozyonu ve yanma olayının gerçekleşmesi gibi durumlardan etkilenmezler.
- Maliyet: Aracın bakım maliyeti ve gereken elektrik maliyeti, geleneksel içten yanmalı araçların bakım ve yakıt maliyetlerine kıyasla çok daha düşüktür. Şekil 2.3'te gözüktüğü üzere EA'larda kilometre başına enerji maliyeti, geleneksel araçlara göre önemli ölçüde daha düşüktür.



Şekil 2.3. Kilometre başına yakıt türüne göre maliyet tasarrufu (Sanguesa ve diğ., 2021)

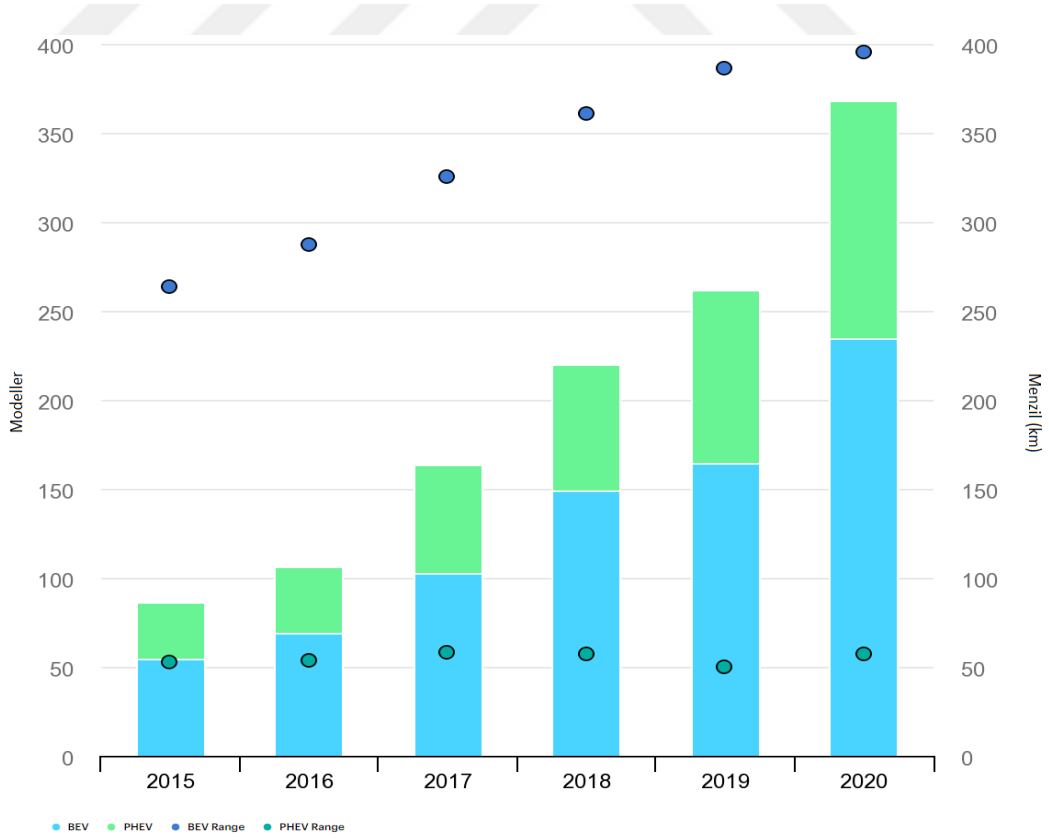
- Konfor: Titreşim ve motor gürültüsü olmadığından sessiz çalışırlar ve rahattırlar

- Verimlilik: Elektrikli araçlar içten yanmalı araçlara göre verimlilikleri çok yüksektir. Burada önemli olan husus, elektrikli araçların şarj edildiklerinde kullanılan enerji kaynağıdır. Doğalgaz santralinden beslenen EA'lar, %13 ila %31 arasında değişen verimliliği gösterirken, yenilenebilir enerji ile beslenen EA'lar, %70'e varan bir genel verimlilik göstermektedir.

Avantajların yanında elektrikli araçlar batarya ile ilgili önemli zorluklarla karşı karşıyadır (Sanguesa ve diğ., 2021):

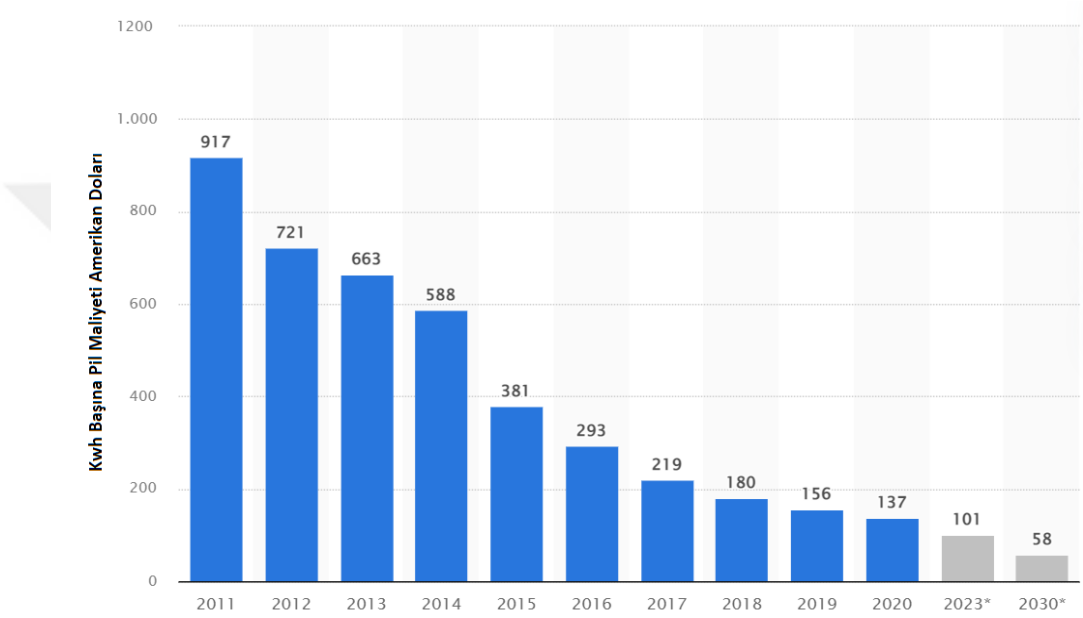
- Menzil: Bataryalı elektrikli araçlar ilk piyasaya çıktığında karşılaştığı en önemli problemlerden biri menzildir. Bu sorun gelişen batarya teknolojisi ile gün geçtikçe iyileştirilmektedir. Günümüzde Nissan Leaf modeli 149-226 mil (240-363 km) menzile sahiptir (URL-12). Piyasadaki şu ana kadar en uzun menzile sahip Tesla model-S ile 650 kilometreye kadar ulaşmaktadır.

Şekil 2.4'te 2015-2020 yılları arasındaki tam elektrikli ve hibrit model sayıları ve menzillerine ilişkin gelişimi paylaşılmaktadır. Görüldüğü üzere teknolojideki gelişim ile birlikte elektrikli araçlardaki menzil problemi çözülmekte ve gün geçtikçe artmaktadır.



Şekil 2.4. Dünyadaki elektrikli otomobil modelleri ve ortalama menzili (URL-6)

- Şarj Süresi: Bataryaların tam olarak şarj edilmesi yaklaşık olarak 4 ila 8 saat arası değişmektedir. Tesla'nın süper şarj özelliği ile 15 dakikada 200 kilometre 'ye kadar şarj edilmesini sağlayabilir (URL-16)
- Batarya maliyetleri: Elektrikli araçlar için en büyük maliyetlerden biri bataryalardır. Şekil 2.5'te görüleceği üzere gelişen batarya teknolojisi ile gün geçtikçe batarya üretim maliyetleri azalmaktadır (URL-19). Bu maliyetlerin azalması elektrikli araçlara erişilebilirliği gün geçtikçe kolaylaştıracaktır.



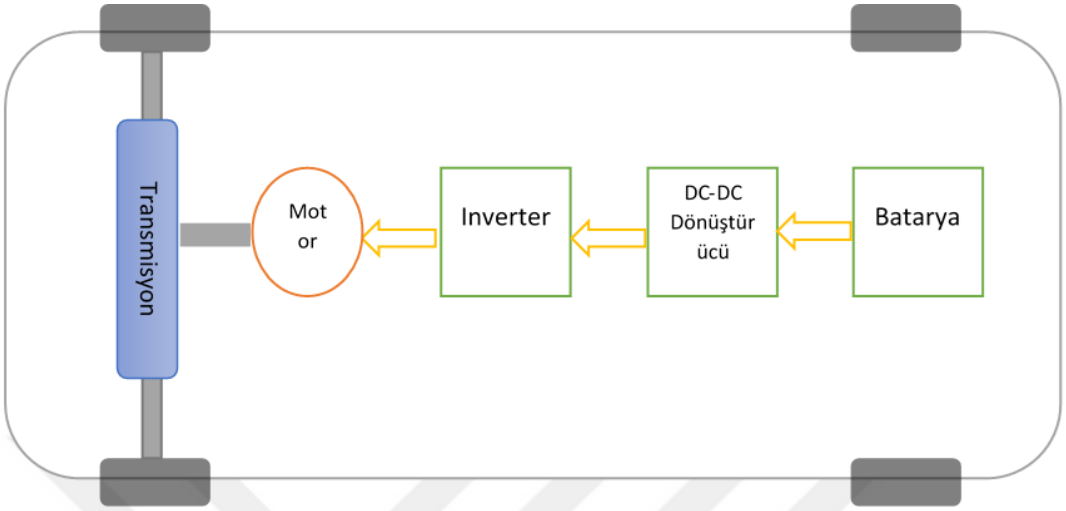
Şekil 2.5. Yıllara göre batarya üretim maliyeti (URL-19).

- Hacim ve Ağırlık: Bataryalar elektrikli araçlarda ağır olduklarından dolayı önemli ölçüde yer kaplarlar. Batarya kapasitesine göre yaklaşık ağırlıkları 200 kg civarıdır (Berjoza ve Jurgena, 2017)

2.2. Tam Elektrikli Araç (BEV)

Tam elektrikli araçlar, içten yanmalı motoru olmayan, tamamen batarya ile tahrik enerjisi elde edilen araçlardır. Şekil 2.6'da tam elektrikli bir aracın temel yapısı gösterilmektedir (Hannah ve diğ., 2017). Bu araçlar, dışarıdan bir şarj istasyonundan soket yardımıyla batarya şarj edilir ve temel enerji kaynağıdır. Şebekeden gelen alternatif akım (AC) bataryaların şarj edilebilmesi için önce doğru akıma (DC) çevrilir, sonrasında AC motorların sürülebilmesi için Evirici yardımıyla motorun hızı ve momenti kontrol edilir.

BEV araçlarda ayrıca mekanik diferansiyel olmadığı için her bir aracın tekerleğinde bulunan motorlar ile de doğrudan tahrik edilebilmektedir.

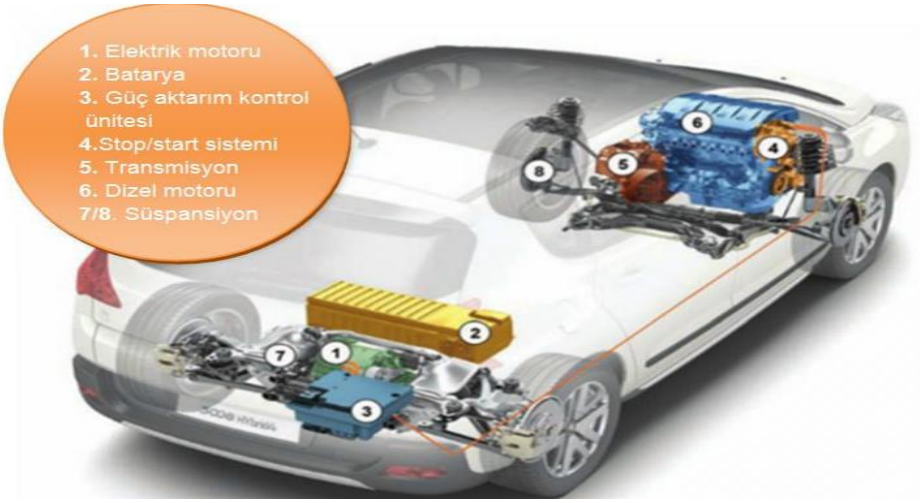


Şekil 2.6. Elektrik araç yapısı

Tamamen elektrikli olan araçlarda en önemli kısım bataryaların maliyeti, güç ve enerji yoğunluğu ve menzil parametreleridir (Sharma ve diğ., 2020)

2.3. Hibrit Elektrikli Araçlar (HEV)

Hibrit elektrikli araçlar birden fazla enerji kaynağı kullanan araçlardır. İçten yanmalı motor ile birlikte elektrik motorları bulunmaktadır. Şekil 2.7'de hibrit bir elektrikli aracı oluşturan kısımlar gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Hibrit elektrikli araç yapısı (Kerem, 2014)

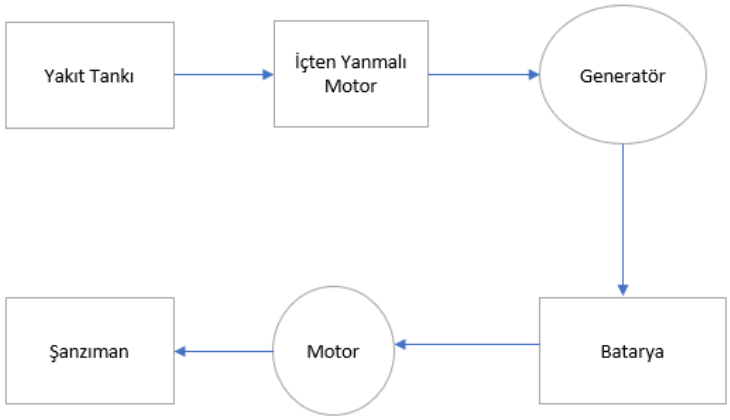
HEV'ler geleneksel içten yanmalı araçlara göre daha çevreci ve ekonomiktirler (Emadi ve diğ., 2008). Hibrit araçlarda kullanılan depolama türleri genellikle bataryalardan oluşmaktadır, bunun yanı sıra volan ve süper kapasitörlerde kullanılabilmektedir (Kerem, 2014).

Hibrit elektrikli araçlar, seri hibrit, paralel-hibrit ve seri-paralel hibrit olarak üç çeşitten oluşmaktadır. Hibrit elektrikli araçların şarj edilebilenleri de PHEV olarak adlandırılır ve bataryaları şarj istasyonlarında fiş-priz aracılığıyla bağlanarak şarj edilmektedir.

Şarj edilemeyen modellerde de gelişen teknolojiyle birlikte araçların hareket halindeyken frenleme yapmasıyla birlikte kinetik enerji elektrik enerjisi olarak bataryalara geri kazanılabilmektedir (Sanguesa ve diğ., 2021).

2.1.1. Seri Hibrit

Seri Hibrit Elektrikli araçlarda hareket enerjisi tekerleklere elektrik motorları ile şanzıman üzerinden verilir. Şekil 2.8'de seri hibrit elektrikli araçların genel şeması gösterilmektedir (Hannah ve diğ., 2017).

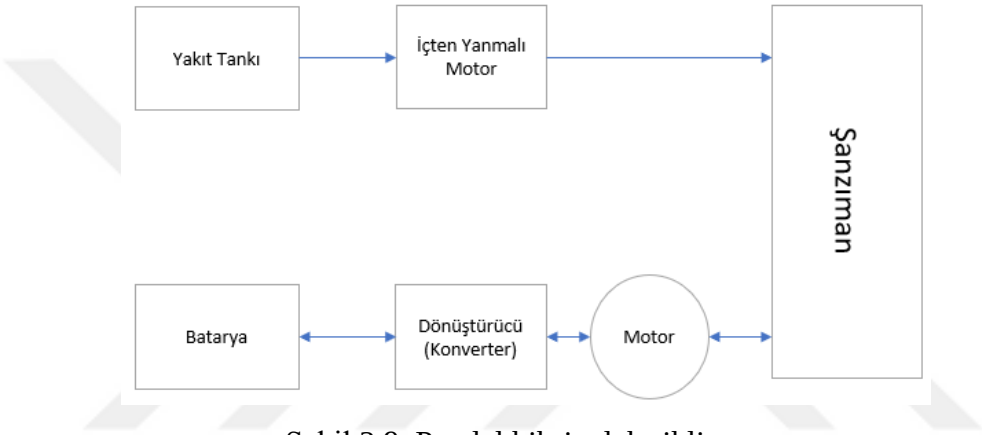


Şekil 2.8. Seri hibrit elektrikli araç

İçten yanmalı motor bir jeneratöre bağlıdır ve oluşturulan hareket enerjisi ile elektrik üretilerek bataryalarda depolanır. Bataryalarda depolanan enerji ile elektrik motoruna hareket verilir. Dolayısı ile içten yanmalı motor ve tekerlekler arasında herhangi bir güç iletimi mevcut değildir. İçten yanmalı motor, jeneratör ve elektrik motoru gibi tahrik sistemleri içerdiğinden güç sistemleri ağır ve maliyetleri daha yüksektir. Elektrik motoru genellikle maksimum güce ihtiyaç olduğunda kullanılmak üzere dizayn edilmiştir.

2.1.2. Paralel Hibrit

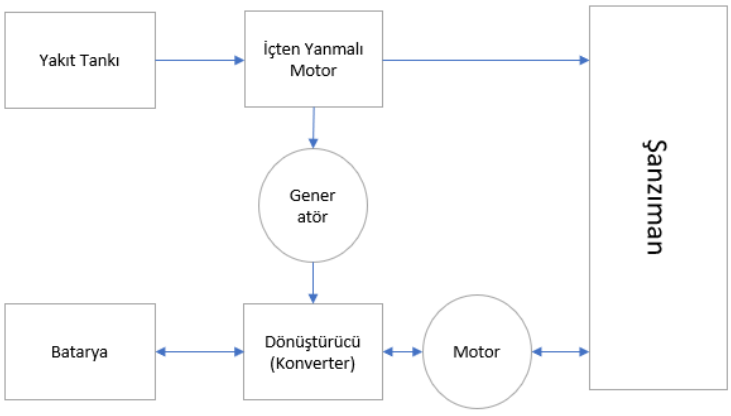
İçten yanmalı motor ve elektrik motoru araç tekerleklerini paralel olarak hareket ettirdiği birden fazla kaynaklı araçlardır. Hareket enerjisi iki farklı kaynak olan batarya veya fosil yakıt üzerinden sağlandığından daha karmaşık bir transmisyon sistemi mevcuttur ve enerjinin yönetimi önemlidir. Batarya grubundan gelen enerjinin tahriklediği makine hem motor hem de jeneratör olarak çalışabilir. Araç hareket halindeyken batarya grubu şarj edilebilir. Şekil 2.9'da seri-paralel hibrit araç yapısı genel şeması gözükmektedir (Hannah ve diğ., 2017).



Şekil 2.9. Paralel hibrit elektrikli araç

2.1.3. Seri-Paralel Hibrit

Seri ve paralel hibrit teknolojilerindeki verimli yanları kullanabilmek yani elektrik motoru ve içten yanmalı motordan maksimum faydalanabilmek için oluşturulmuş birleşik hibrit araç yapısıdır.



Şekil 2.10. Seri-paralel hibrit araçlar

Seri yapıdaki hibrit araçlardaki düşük hızlardaki verimlilik ve paralel hibrit araçtaki yüksek hızdaki verimliliği kullanabilir. Seri-paralel yapıdaki hibrit araçların maliyetleri seri veya paralel yapıdaki hibrit araçlara göre daha yüksektir (Aykaç, 2021) Şekil 2.10'de seri-paralel hibrit araç yapısına ait genel şeması gözükmektedir (Hannah ve diğ., 2017).

2.4. Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar

Yakıt pilleri ilk olarak 1839 yılında William Grove'un "gazlı voltaik pili icat etmesiyle başlamaktadır.

1889 yılında Mond ve Longer bu pillerin yeni bir formunu geliştirerek prototipini oluşturmuşlardır.

Yakıt pillerinin ilk pratik uygulaması, uzay araçlarında elektrik ve içme suyu üretmek amacıyla kullanılmaya başlanması olmuştur (Hoogers, 2002).

1959 yılında, araçlara güç sağlamak için yakıt pilleri üzerinde çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışmalar, yakıt pillerinin taşıt endüstrisinde kullanılmasının yolunu açmıştır (Franco, 2013).

Yakıt pillerinin işleyişi, temel olarak elektroliz işleminin tersine dayanmaktadır. Bu işlem sırasında hidrojen, oksijen ile reaksiyona girerek elektron hareketi yoluyla doğru yönlü (DC) bir elektrik akımı oluşturur ve su açığa çıkar. Bu özellik, yakıt pillerinin çevre dostu bir enerji kaynağı olmasını sağlar.

Yakıt pilleri, yüksek saflıktaki (%99,999) hidrojeni yakıt olarak kullanırlar. Ancak hidrojenin doğrudan kullanılmadığı yakıt hücresi sistemlerinde, hidrojenin ayrıştırılması için bir yakıt işlemcisi kullanılması gereklidir. Bir yakıt hücresi temel olarak elektrotlar, katalizör tabakaları ve elektrolitlerden oluşur. Hidrojen, anot elektrotuna gönderildiğinde, elektron ve protonlara ayrılmaktadır.

Elektrolit, protonların geçişine izin verirken elektronların geçişine izin vermez ve elektronlar dış devrede dolaşarak elektrik üretir. Öte yandan, elektrolit üzerinden geçen hidrojen iyonları (yani protonlar), katotta oksijenle birleşerek suyu oluşturur. Bu kimyasal reaksiyon, yakıt pillerinde elektrik enerjisi üretmek için kullanılır (Erjavec, 2012).

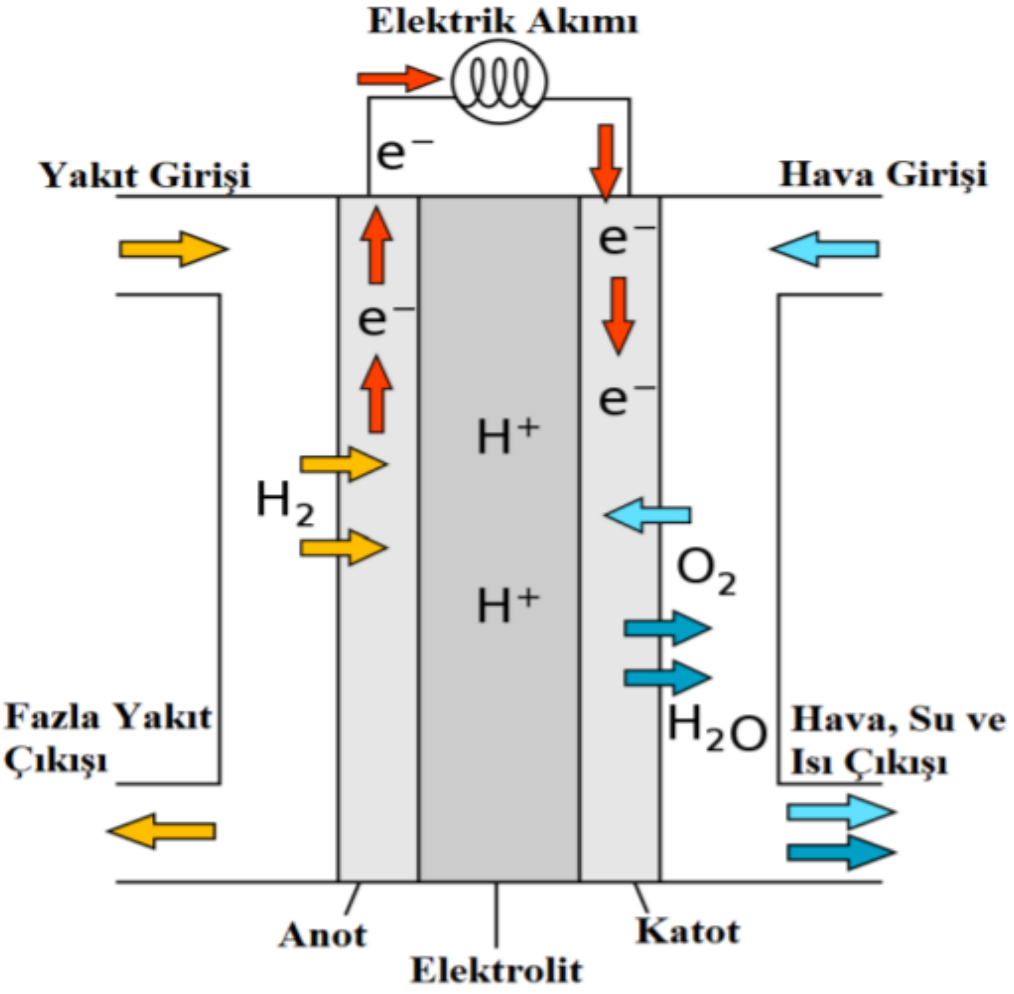
Yakıt hücreli elektrikli araçlardaki anot oksidasyonu Denklem (2.1)'de, Katot indirgenmesi Denklem (2.2)'de ve Genel reaksiyon Denklem (2.3)'de verilmiştir;

Anot Oksidasyonu: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ (2.1)

Katot İndirgemesi: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ (2.2)

Genel Reaksiyon: $H_2 + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O$ (2.3)

Yakıt hücresinin çalışma reaksiyonu Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Yakıt hücresi reaksiyonu (Aykaç, 2021)

Yakıt hücresinin gerilimi akım artışıyla azalmaktadır. Proton Geçirgen Membranlı (PEM) yakıt pillerinin en iyi performans gösterdiği koşullar; 70-80 ℃ sıcaklık, 3 ile 5 atm. arasında reaktant basınç ve yaklaşık %100 bir zar nemliliğidir (Kılıçoğlu & Altun, 2007).

Aktivasyon kayıpları, omik kayıplar ve konsantrasyon kayıpları şekilde gösterilmiştir. Hücreye yük uygulandığında, yüksüz gerilim (E) aktivasyon (Vakt), omik (Vomik) ve konsantrasyon (Vkon) aşırı gerilimleri tarafından azaltılarak gerilim düşümü oluşmaktadır. Tablo 2.2'de yakıt pilleri türlerine göre taşınan iyon tipi, elektrolit yapısı, çalışma sıcaklığı, çıkış gücü, verimi ve uygulama alanlarına göre özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Yakıt pili türleri

Yakıt pili tipi	**Taşınan iyon**	**Elektrolit**	**Çalışma sıcaklığı ©**	**Çıkış Gücü (kW)**	**Verim**	**Uygulama alanı**
PEM	H^+	Katı organik polimer	50-100	<1-250	25-58	Taşıtlar
Alkali	OH^-	Sulu çözeltili potasyum hidroksit	50-200	10-100	60	Uzay araçları
Fosforik asit	H^+	Sıvı fosforik asit	150-200	50-1000	>40	200kW kojenarasyon sistemi
Erimiş karbonat	CO_3^{-2}	Lityum, sodyum ve/veya potasyum karbonat	600-700	<1-1000	45-47	Orta ve büyük ölçekli kojenarasyon
Katı oksit	O^{-2}	İtriyum stabilize zirkon	600-1000	<1-3000	35-43	2kW ile multi-MW arasındaki kojenerasyon

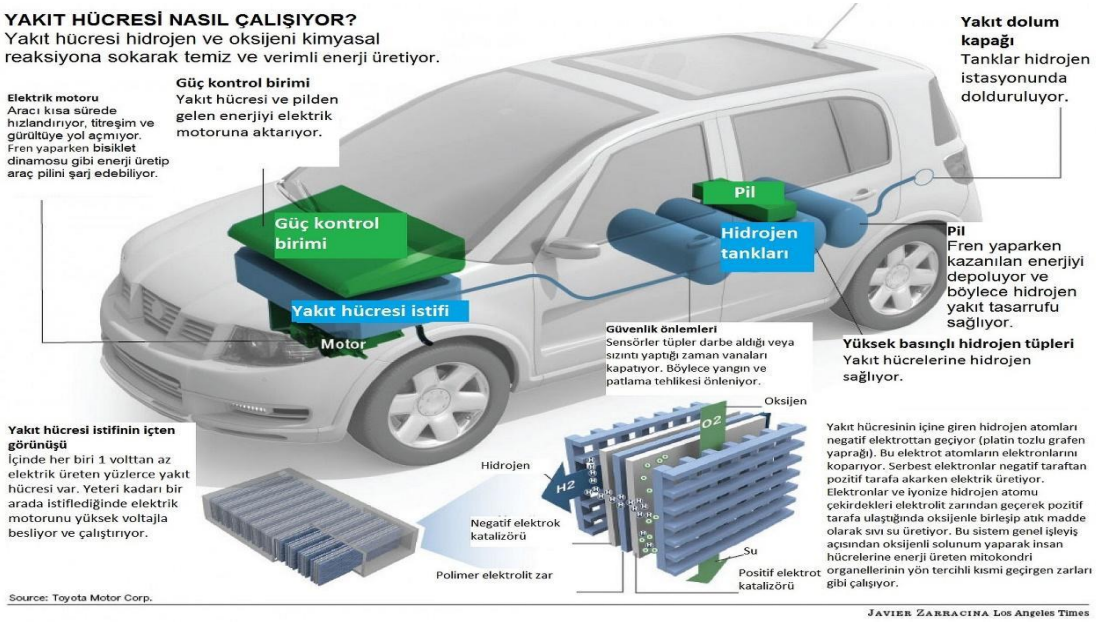
- EA uygulamalarında yakıt hücresi tiplerinin kullanılabilirliğinde ilk kriter, çalışma sıcaklıklarıdır.
- Otomobil uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan türlerden biri, Proton Geçirgen Membran (PEM) yakıt pilleridir. PEM yakıt pillerinin temel avantajları, yüksek güç yoğunluğu, düşük çalışma sıcaklığı ve nispeten daha düşük maliyetidir.

Yakıt hücreli araçların avantajları ve dezavantajları Tablo 2.3'te verilmiştir.

Tablo 2.3. Yakıt hücreli araçların avantaj ve dezavantajları

Avantajları	**Dezavantajlar**
Basit yapısı	Üretim maliyeti
Bakım maliyeti ve arıza sıklığı az	Hidrojen depolama zorluğu
Modüler, hücre sayısı artırılarak daha fazla güç	Hidrojen depolama üretim teknolojisi gelişim ihtiyacı
Sessiz	Güvenirlik ve dayanım
Çevreci	
Yüksek depolama verimi	

Şekil 2.12’de Toyota motor tarafından yakıt hücreli bir aracın çalışma prensibi ve ekipmanları örnek olarak şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Yakıt hücreli araç çalışma prensibi

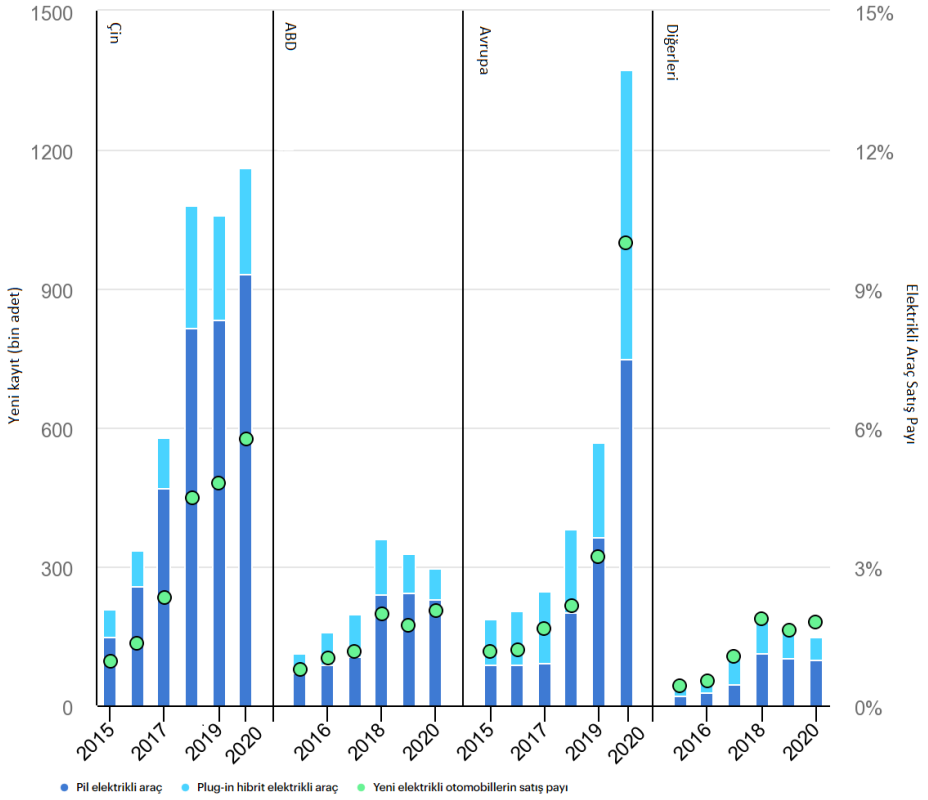
FCEV araçlarda yüksek enerji yoğunlukları sayesinde ve geleneksel araçlarda olduğu gibi hızlı yakıt ikmali kolaylığı ile uzun menzillere sahip olmasından dolayı önemli bir seçenek haline gelerek temiz enerji dönüşümüne katkı sağlaması beklenmektedir (Difiglio ve diğ., 2020). Hidrojenin araçlarda yakıt olarak kullanılmasının dezavantajlarından biri, verimli ve güvenilir bir şekilde depolanamamasıdır. Hidrojenin özgül enerjisi (kJ/kg) yüksek olsa da, özgül yoğunluğu (kJ/m3) oldukça düşüktür, bu nedenle yüksek basınçlarda depolanması gerekmektedir. Yüksek basınçlı çelik tanklarla depolama mümkündür, ancak bu depolama tanklarının ağırlıkları ve bir kaza durumunda güvenlik riski oluşturma gibi dezavantajları bulunmaktadır (Larminie ve diğ., 2003).

2.5. Pazar Tahmini ve Beklentiler

Ülke ve bölgelere göre bakıldığında Avrupa’da BEV ve PHEV tipi elektrikli araçlar Şekil 2.13’de gözüktüğü üzere 2020 yılında büyük bir gelişme ile yollara çıkmaktadır (iea.org, 2022). Çin’deki 2018 yılındaki hızlı gelişmeden sonra yeni kayıt olan araç sayılarında belirli bir seviyede yer edindiği gözükmektedir. Elektrikli otomobiller, 2020'de

Avrupa'nın Çin'i geçerek en büyük pazar olduğu rekor bir yıl olmuştur. Avrupa'da satılan toplam araçların %17'lik kısmını elektrikli araçlar oluşturmaktadır.

Elektrikli araçların büyümesinde önemli etkileri olan toplam 25 bölgeden oluşan "EA Başkentleri" bulunmaktadır. Bu başkentler EA'ların gelişimi için somut hedefler belirlemiş ve içten yanmalı araçların en geç 2050 yılına kadar piyasadan kalkması için hedefler ve teşvikler oluşturularak adımlar atılmaktadır. Bu hedefler, sıfır emisyon, devlet teşvikleri ve yerel yönetimlerin toplu ulaşımlarda elektrifikasyonu desteklemesinden oluşmaktadır (Güray ve Merdan, 2021)

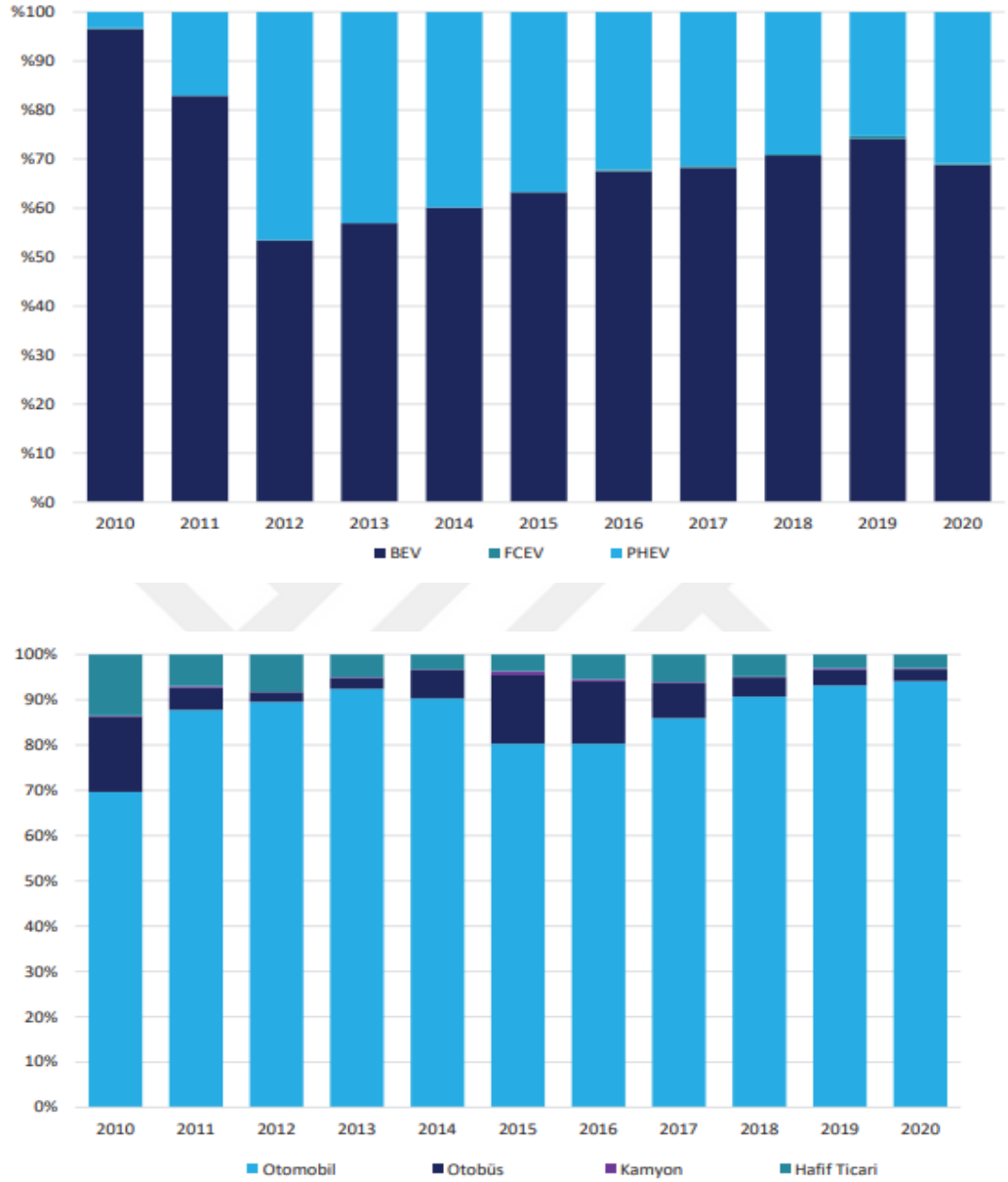


Şekil 2.13. Ülkelere göre elektrikli araç tescilleri ve pazar payı (URL-22)

IEA 2021b'deki rapora göre Dünya'da hibrit elektrikli araçlar hariç elektrikli araç parkı 11 milyonun üzerine çıkmıştır.

Elektrikli araçların küresel olarak kırınımları Şekil 2.14'te araç tipi ve elektrikli araç türlerine göre verilmiştir (Güray ve Merdan, 2021). Bu dönüşümün sadece kullanıcıların oluşturduğu bireysel otomobillerle sınırlı kalmayıp, otobüs, uçak, traktör gibi büyük araçları da kapsaması gerekmektedir. Yıllara göre bakıldığında tam elektrikli araçların

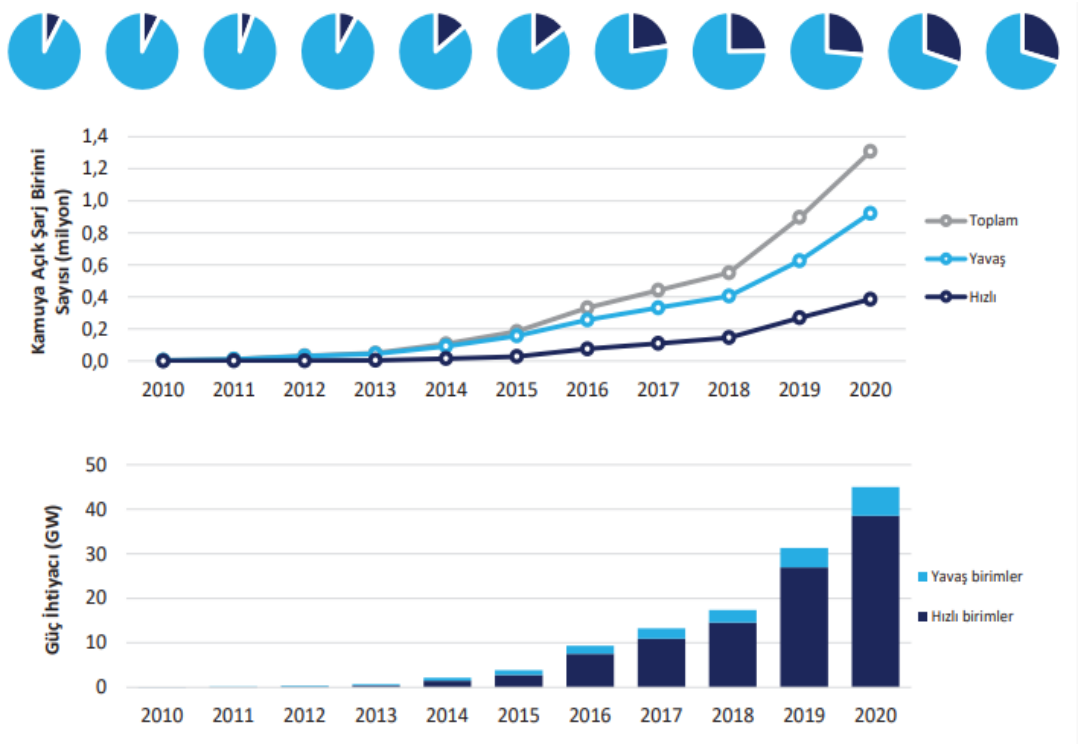
sayısının arttığı ve hibrit elektrikli araç türlerinin yerini gün geçtikçe aldığı gözükmektedir.



Şekil 2.14. Küresel elektrikli araç satışlarının dağılımı (Güray ve Merdan, 2021)

Son dönemlerde elektrikli araçların hızlı şarj olmasını sağlayabilen altyapılarda gelişmeler yaşanmıştır. 2020 yılında kamuya açık şarj istasyonu sayısı 1,3 milyona ulaşmıştır. 2016'dan 2020 yılına kadar şarj istasyonundaki artış 7 kata ulaşarak 2020 yılında 45 GW'a ulaşmıştır.

Şekil-2.15'de kamuya açık alanlardaki şarj ünitelerinin hızlı ve yavaş şarj tiplerine göre kapasite gelişimleri paylaşılmaktadır.



Şekil 2.15. Şarj ünitelerinin ve kapasitelerin gelişimi (Güray ve Merdan, 2021).

Yakıt hücreli elektrikli araçlarda (FCEV), hidrojenin tedarikinin zor olması, yakıt istasyonlarının azlığı ve maliyetlerinden dolayı çok gelişme gösterememiştir. 2020'de yakıt hücreli araçlarda yaklaşık 11.000 satış gerçekleşmiş ve küresel araç parkı sayısı 40.000 seviyesine ulaşmıştır. 2021'in ilk yarısı itibariyle piyasadaki FCEV araç modeli sayısı 9 adettir. Toplam yıllık satılan FCEV araç sayıları diğer tipteki EA'larla kıyaslandığında çok aşağılarda olduğu gözükmektedir.

Türkiye'deki Durum: Türkiye'de son dönemde elektrikli araçların satışları artsa da toplam otomotiv piyasasındaki payı %1'in altında seviyelerdedir. Türkiye'de EA'ların satışlarına ilişkin önemli teşvik politikaları bulunmamaktadır. Son vergi düzenlemesiyle birlikte EA'ların ÖTV'lerinde kW güç değerine göre artışlar gerçekleşmiştir. Bu düzenlemelerle gelecekte artışı beklenen satış rakamları aşağıya çekilmiştir (Güray ve Merdan, 2021).TEHAD'ın açıkladığı rapora göre 2021 yılında yaklaşık 2.800 adet EA satışı gerçekleşmiştir (URL-13).

Otomotiv Distribütörleri Derneği'nin raporuna göre Mart 2021 ile Mart 2022 yıllarındaki verilere göre Türkiye'deki otomobil pazarında motor türüne göre satışlarını pozitif

ayrıştıran tek motor grubu elektrikli araçlar olarak Tablo 2.4'de gözükmektedir (Erce, 2022).

Tablo 2.4. Türkiye otomobil pazarının motor türüne göre dağılımı

Motor Tipi	Mart 21		Mart 22		Değişim
	Adet	Pay	Adet	Pay	
Benzin	51.036	66,80%	35.001	69,80%	-31,40%
Dizel	15.780	20,70%	7.023	14,00%	-55,50%
Otogaz	3.131	4,10%	1.487	3,00%	-52,50%
Hibrit	6.236	8,20%	6.024	12,00%	-3,40%
Elektrik	174	0,20%	638	1,30%	266,70 %
TOPLAM	**76.357**	**100,00%**	**50.173**	**100,00%**	**-34,30%**

Türkiye'de 2018 yılında kurulan TOGG (Türkiye'nin Otomobili Giriş Grubu) ile yerli elektrikli araç üretimi için çalışmalara başlanmış ve 2023 yılı içerisinde piyasaya model sürülmesi hedeflenmektedir.

Ford Otosan firması 20,5 milyar TL yatırım ile 2022-2023 yılında yeni nesil araç üretimi ve Batarya Montaj Fabrikası projesini tamamlamayı hedeflemektedir (fordotosan.com.tr, 2022). Volkswagen AG ile 1,4 milyar Euro 'lük elektrikli ticari araç üretimi için anlaşma yaptığı açıklanmıştır.

Karsan ve Temsa firmaları tarafından da elektrikli otobüs üretimi çalışmaları devam etmekte ve Avrupa ile ABD piyasasında önemli yer teşkil etmektedirler (URL-10) (URL-14).

Türkiye'de lityum iyon batarya üretimi için Aspilsan Enerji tarafından 2 Ekim 2020 tarihinde tesisin temelleri atılmıştır. Aselsan, Havelsan, TUBİTAK ile iş birliği sözleşmeleri imzalanmıştır (URL-2).

Shura Enerji Dönüşümü Merkezi tarafından yüksek büyüme öngörüsüne göre yapılan çalışmada bataryalı ve plug-in hibrit elektrikli araç satışlarının 2030 yılında toplam binek araç satışlarının %55'ine ulaşacağı ve elektrikli araçların toplam araç stokunun %10'unu oluşturacağı tahmin edilmektedir.

Elektrikli araçların pazar beklentileri gelişen batarya teknolojileri, şarj istasyonu altyapı ağlarının genişlemesi, marka çeşitliliğinin artması, menzilin artması, maliyetlerin düşmesi ve şarj sürelerinin kısalmasıyla gün geçtikçe daha popüler hale gelmektedir (Demirok, ve diğerleri, 2021).

Türkiye'de elektrikli araç teknolojilerinin gelişmesini desteklemek için politik belgelerde de hedefler işlenmiştir.

Politik belgeler ve hedefler aşağıdaki gibidir;

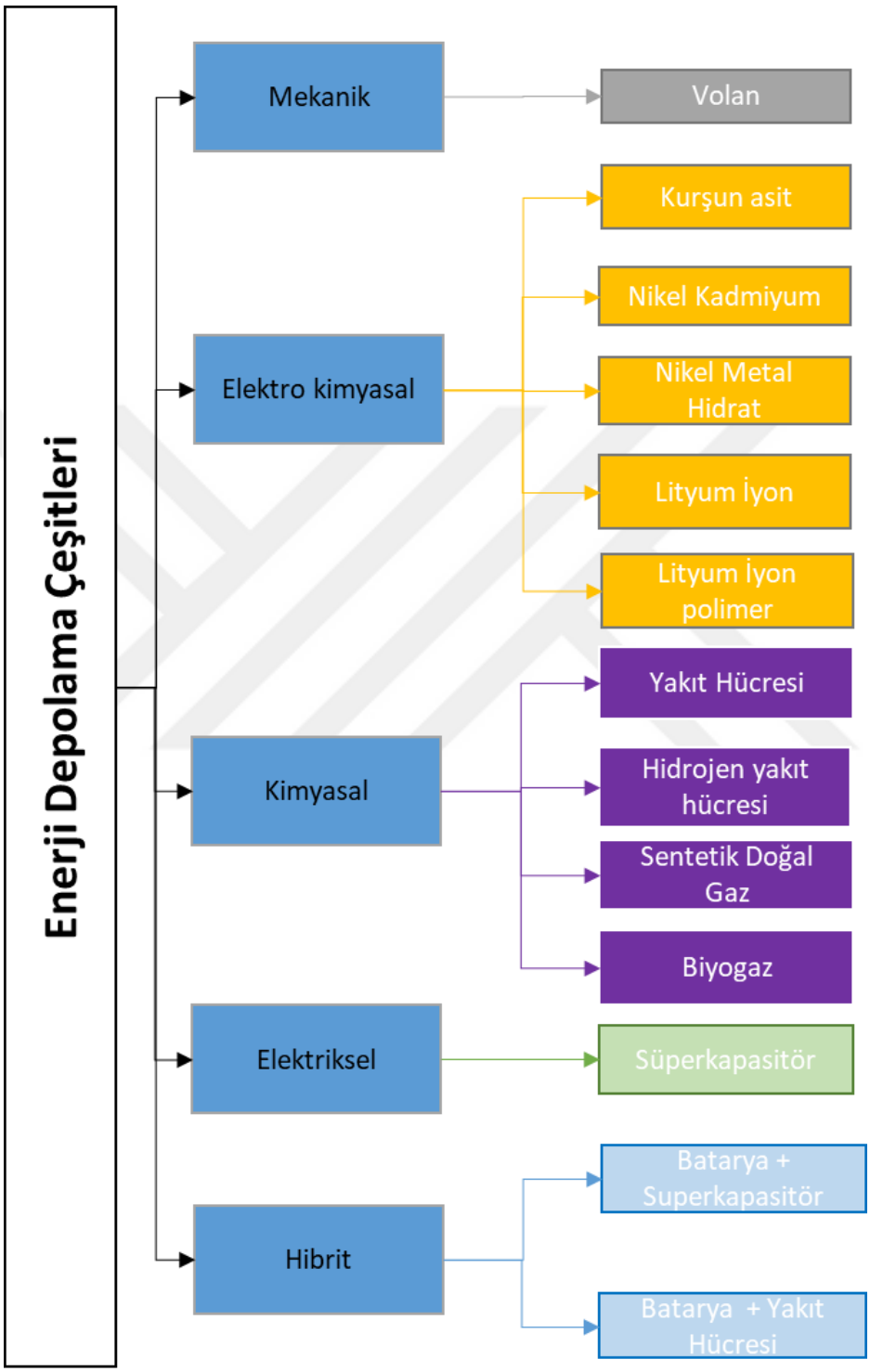
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından 2019-2023 yılları için On Birinci Kalkınma Planında; yeni nesil araçlar için uygun altyapının oluşturulması, EA'lar için batarya yatırımı, araçlardan veri toplama, kullanma ve katma değerli hizmetlere dönüştürülebilmesi, sensor, yakıt hücresi ve yazılım gibi teknolojik ve üretim yetkinliklerinin geliştirilmesi
- Ticaret bakanlığı Yeşil Mutabakat Eylem Planında; şarj istasyonları altyapısını geliştirme, bataryaların geri dönüşümü, yenilenebilir enerji kullanımı
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019-2023 yılları için Stratejik planında; EA'lara yönelik enerji sistemi planlaması yapılması, şarj istasyonu altyapısının geliştirilmesi ihtiyacı

3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ DEPOLAMA

Mevcut küresel petrol kaynaklarının 50 yıl içerisinde tükeneceği tahmin edilmektedir. Petrolün büyük bir kısmı çeşitli kara araçları tarafından tüketilmektedir ve bu araçların sayısının önümüzdeki 50 yıl içerisinde 700 milyondan 2,5 milyara çıkacağı düşünülmektedir. Bu sebeple bahsedilen kara araçlarının kullandığı yakıt üzerinde iyileştirmeler yapılması Dünya çapında büyük bir ilgi görmektedir (Efe ve Güngör, 2021; Petrucci ve diğ., 2010, 2021). Hibrit bir güç aktarma sisteminde ivmelenme ve frenleme sırasında içten yanmalı motoru desteklemek amacıyla elektrik motoru kullanılır. Dolayısıyla araç tek bir yakıt türüne bağlı olmadığından bu durum sisteme büyük bir fayda sağlamaktadır. Bu faydalardan bazıları emisyonun azaltılması, performans ve verimliliğin iyileştirilmesidir (Çengel ve Boles, 1996; Koç ve Kaya, 2015, 1996). Hibrit elektrikli araçların verimliliği enerji depolama sistemlerinin kapasitesine bağlıdır. Bunun yanında enerji depolama sistemlerinin güç yoğunluğu, enerji yoğunluğu, kullanım ömrü, bakımı ve maliyeti önem arz etmektedir. Şu an ki teknolojide volanlar, bataryalar ve süperkapasitorler enerji depolama sistemlerinde yaygın kullanılan çeşitlerdir. Bu kaynaklar genel olarak spesifik enerji ve spesifik güç olmak üzere iki temel özelliğe göre sınıflandırılır. Bu iki temel özellik genellikle birbiri ile çelişen değerler gösterir. Bataryalarda spesifik güç ve spesifik enerji, redoks reaksiyonlarının doğasına bağlıdır. Dolayısıyla yüksek güç elde etmek için ince elektrotlara ihtiyaç duyulmaktadır. İnce elektrot ise daha fazla akım toplayıcı fakat daha az aktif kütle anlamına gelmektedir. Kısacası, yüksek spesifik güç elde etmek için kullanılacak elektrotlar nispeten yüksek oranda reaktif olmayan parçalardan oluşmaktadır. Süper kapasitörlerde ise elektrostatik etkileşimler, elektrotların hacmi veya ağırlığı başına nispeten küçük miktarlarda yük değişimi içerse de elektrostatik etkileşimler çok hızlıdır. Bu nedenle, süper kapasitörler çok yüksek güç yoğunluğu, ancak nispeten düşük enerji yoğunluğu sergilemektedir (Olabi, 2017). Kısacası bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna sahipken süperkapasitorler yüksek güç yoğunluğuna, uzun çevrim ömrüne ve hızlı şarj/deşarj karakterine sahiptir. Yakıt hücreleri temiz enerji kaynaklarıdır fakat günümüz teknolojisinde bu kaynakların tek başına kullanımı söz konusu değildir (Yoo ve diğ., 2014; Olabi, 2017).

Elektrikli araçlarda, enerji depolama çeşitleri Şekil 3.1'de gözüktüğü üzere mekanik, elektro-kimyasal, kimyasal, elektriksel ve hibrit olmak üzere 5 bölümde incelenmektedir

(Habib, ve diğerleri, 2021). Enerji depolama çeşitleri elektrikli araçların sürüş devamlılıklarını sağlamalarında önem arz etmektedir.



Şekil 3.1. Enerji depolama çeşitleri

3.1. Volanlar

Volan (flywheel) veya diğer adıyla manyeto-dinamik enerji depolama sistemi, bir kinetik enerji depolama ünitesidir. Volan, bir eksen etrafında dönen bir kütle olup, kinetik enerjiyi mekanik enerji olarak depolayan ünitedir. Volana enerji depolanırken döner kütle, yani sistemin rotor kısmı devir kazanır. Deşarj sırasında, döner kütlenin jeneratör çıkış uçlarından elektrik enerjisi alındığı gibi, volana enerji depolanırken de sistemin rotor kısmı devir kazanır. Devir sayısı yaklaşık 75.000 devir/dakikayı bulabilir. Şekil 3.2'de bir EA uygulaması için üretilmiş olan bir volan resmi gözükmektedir.



Şekil 3.2.Volanlı enerji depolama araç uygulaması (URL-17)

Volanlarda depolanan enerji Denklem (3.1)' de verilmiştir;

$$U = \frac{1}{2} J w^2 \tag{3.1}$$

Burada J atalet momenti, w ise açısal hızdır.

Depolanan enerji atalet momenti ile doğru, açısal hızın ise karesiyle doğru orantılı olarak artar. Dolayısıyla atalet momentini arttırmadan sadece yüksek hızlı dönüşlerde depolanan enerji artmaktadır. Buna bağlı olarak merkezkaç dayanımının döner malzemede oldukça

yüksek olması gerekmektedir. Döner kütle başına depolanan enerji ise Denklem (3.2)'deki gibidir;

$$\frac{U}{m} = k\frac{\sigma}{\rho} \tag{3.2}$$

Döner kütle olarak kullanılacak malzeme düşük yoğunluklu ve gerilme direnci yüksek bir malzeme seçilmelidir.

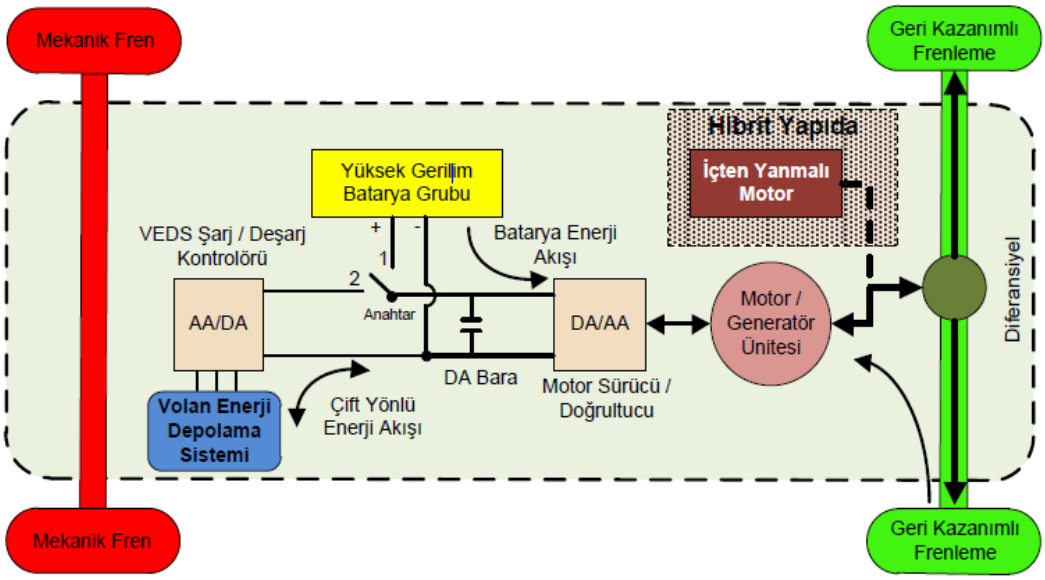
Dönme hızının (ω) ve rotorun birincil eylemsizlik momentinin (Ip) bir fonksiyonu olan dönme kinetik enerjisini (E) depolayan elektro-mekanik bir cihaz kullanır.

- Volanların özgül enerji yoğunlukları düşüktür, çünkü karmaşık, büyük ve ağır yapıları vardır.
- Çevrim ömrü, güç yoğunluğu, enerji depolama verimi doldukça yüksektir.
- Volanlarda kullanılan malzeme hafif yoğunluklu ve yüksek mukavemetli olmalıdır. Bu nedenle modern volanlar enerji yoğunluğunun artması için karbon fiber gibi kompozit malzemelerden üretilmektedir.
- Volanların teorik olarak özgül gücü 5-10 kW/kg civarındadır ve enerji depolama verimi %90'ın üzerindedir.
- Volanlar, saniyeler içinde tamamen şarj olabilirler. Ayrıca, zararlı emisyonlar ve atık malzemeler yaymadığından çevre dostudur.

Elektrikli araçlarda, yüksek gerilim bataryaları temel enerji kaynağıdır ve bu kaynaktan sağlanan enerji ile araç hareket ettirilir. Aracın hareket enerjisi Motor/Jeneratör (M/G) ünitesi ile elektrik enerjisine dönüştürülerek DA (Doğru Akım) baraya aktarılır. Sistemdeki bir elektronik anahtar (SSR) aracın hareketi için yüksek gerilim bataryasını veya geri kazanımla frenleme enerjisinin depolandığı Volanlı Enerji Depolama Sistemi'ni (VEDS) seçmek için kullanılır.

Araç durmak istediğinde ise Motor/Jeneratör ünitesi jeneratör olarak çalıştırılarak çift yönlü enerji akışı sağlanmaktadır. Geri kazanımla frenleme enerjisi, elektronik anahtar (SSR) yardımıyla, yüksek gerilim bataryası veya volanlı enerji depolama ünitesi arasında seçim yapılarak VEDS ünitesine yönlendirilmektedir.

EA ve Hibrit elektrikli araçlarda kullanılmak üzere önerilen volanlı enerji depolama ünitesinin araca entegrasyon şeması Şekil 3.3'te görülmektedir.



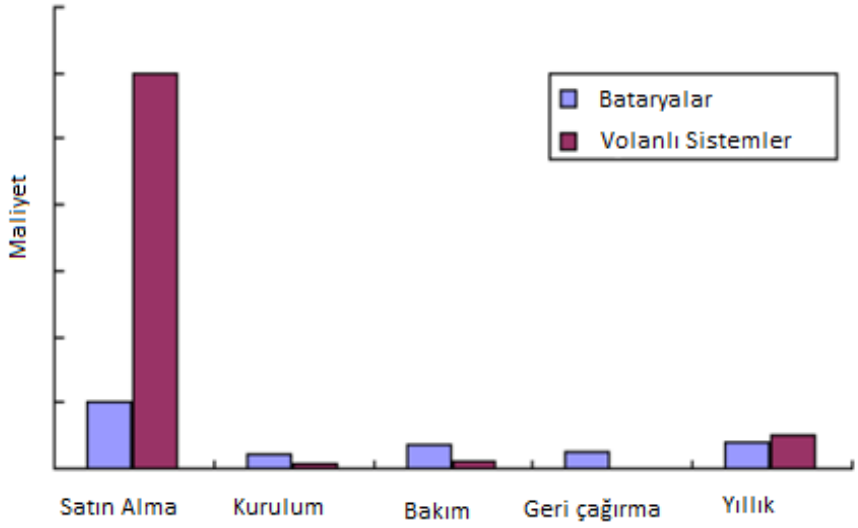
Şekil 3.3. Hibrit elektrikli araçlarda volan yapısı (Erhan, 2018)

Volanların avantaj ve dezavantajları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Volanların avantaj ve dezavantajları

Avantajları	**Dezavantajlar**
Yüksek çevrim ömrü	Ağırlık
Yüksek güç yoğunluğu	Düşük enerji yoğunluğu
Yüksek depolama verimi	Karmaşıklık
Çevreci	Maliyet
Verim	

Maliyeti süper kapasitörün yaklaşık 1,5 katıdır ve bataryanın yaklaşık 6 ~ 7 katıdır. Ancak volanların kullanım ömrü, bataryanın kullanım ömrünün yaklaşık 10 katı ve geri çağırmaya gerek yoktur. Kurulum ve bakım maliyeti de batarya ve süper kapasitörden çok daha düşüktür. Kullanım ömrü her araç on yıl olarak hesaplandığında, Volanda tüketilen yıllık harcama, batarya için tüketilenden biraz daha yüksek olmaktadır. Şekil 3.4'te volan ve bataryalı sistemlerin maliyetleri kıyaslanmaktadır. Şekilde de görüleceği üzerine volanlı sistemlerin ilk yatırım maliyetleri bataryalı sistemlere göre oldukça yüksektir, bunun yanında sistemin kurulum, bakım ve geri çağırma durumları bataryalı sistemlere göre daha düşüktür.



Şekil 3.4. Batarya ve volanlı sistemler maliyet karşılaştırması (He ve diğ., 2009)

3.2. Bataryalar

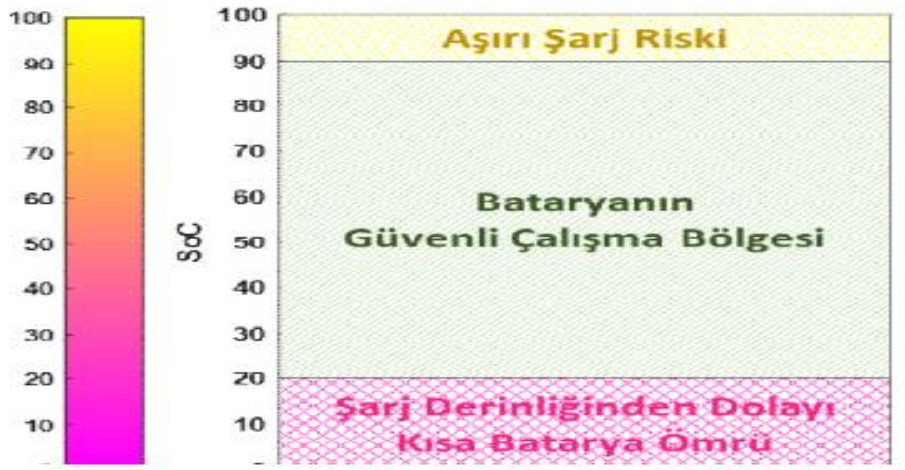
Bataryalar, enerjiyi kimyasal biçimde depolayan ve elektrik enerjisi sağlayan elektrokimyasal bir cihazdır. Birincil bataryalar ve ikincil bataryalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. EA'da temel olarak ikincil elektrokimyasal bataryalar kullanılmaktadır (Habib ve diğ., 2019). Günümüzde bataryalar elektrikli araçlarda en yaygın kullanılan depolama çeşitlerindendir. Tamamen bataryalı elektrikli araçlarla birlikte hibrit araçlarda da kullanılan uygulamalara sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bataryalar Tablo 3.2'de türlerine göre özellikleri, verimlilik değerleri ve kendi kendine deşarj (self-discharge) değerleri paylaşılmıştır.

Lityum iyon bataryalar yaşam döngüsü bakımından en uzun ömre sahip bataryalardır. Spesifik enerji, güç yoğunluğu ve şarj verimliliklerin yüksek olmasından dolayı uygulamalarda en çok tercih edilen batarya türlerindendir.

Tablo 3.2. Bataryaların türlerine göre özellikleri

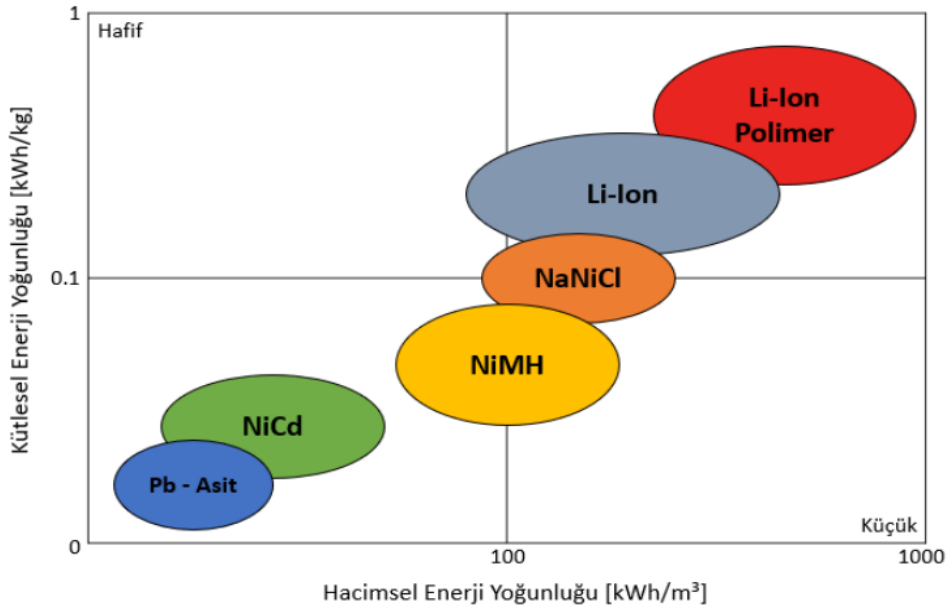
Batarya Tipi	**Yaşam Döngüsü**	**Nominal Gerilim (V)**	**Spesifik Enerji (Wh/kg)**	**Spesifik Güç (W/kg)**	**Şarj Verimliliği**
Lityum İyon	600-3000	3,2-3,7	100-270	250-680	80-90
Kurşun Asit	200-300	2	30-50	180	50-95
Nikel Kadmiyum	1000	1,2	50-80	150	70-90
Nikel MetalHidrit	300-600	1,2	60-120	250-1000	65

Bataryaların sağlığı (State of Health- SoH), bir bataryanın sağlıklı çalışabilmesi için tanımlanmış olan yüke enerji verebilme yeteneğidir. Bir ömrünü ifade eder. Bataryaların sağlıklı bir şekilde şarj-deşarj olabilmesi için belirli bir SOC (State of Charge) aralığında çalıştırılması gerekmektedir (Tezdel ve Okumuş, 2018). Şekil 3.5'te bir bataryanın SOC değerinin yüzde 20 ile 90 arasında çalıştığı gözükmektedir. Bunun dışındaki bölgeler güvensizdir.



Şekil 3.5. Bataryaların sağlıklı çalışma aralığı SoH (Tezdel ve Okumuş, 2018)

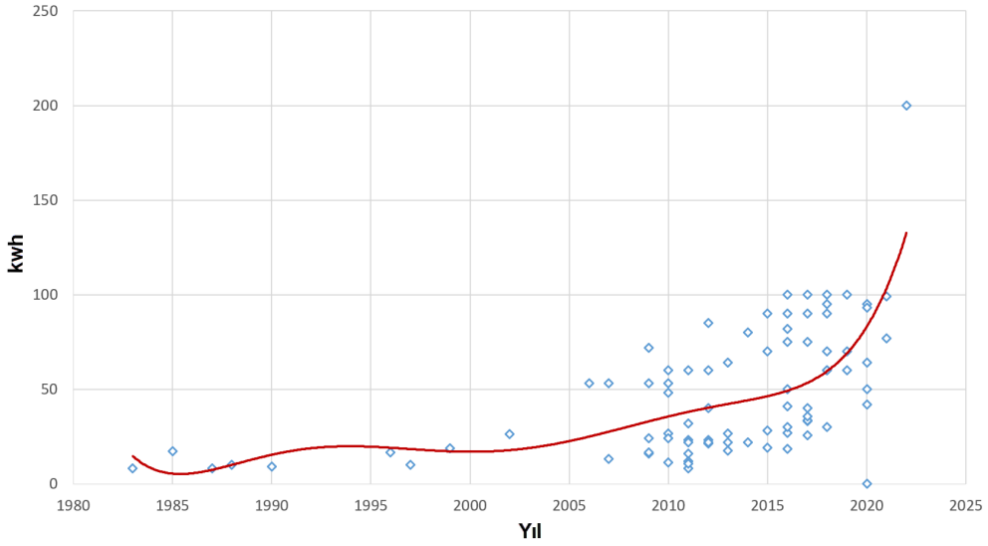
Bataryalar türlerine göre enerji yoğunlukları değişmektedir, Şekil 3.6'da batarya türlerine göre enerji yoğunlukları verilmiştir.



Şekil 3.6. Batarya türlerine göre güç yoğunlukları (Aykaç, 2021)

Kütlesel ve hacimsel enerji yoğunluğu en yüksek olan lityum iyon ve lityum polimer bataryalardır (Aykaç, 2021). Günümüzde de elektrikli araçlarda en çok kullanılan batarya tipleri lityum yapılardır.

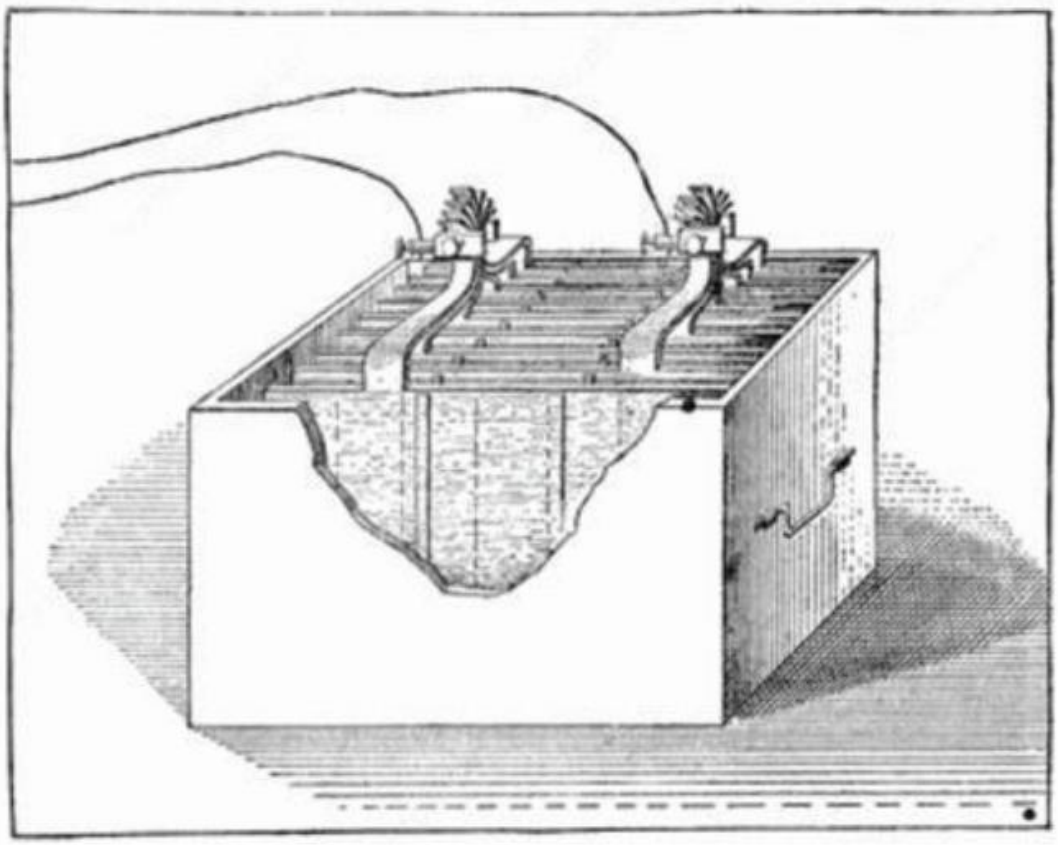
Elektrikli araçların batarya kapasitesinin 1980'lerin sonundan günümüze kadar hızlı bir şekilde arttığı Şekil 3.7'de açıkça gözükmektedir. Bu da açıkça bataryalı araçların kapasitesinin artması gün geçtikçe sadece elektrikli araç olmaktan ziyade ayrıca bir enerji depolama çeşidine dönüştüğünü göstermektedir.



Şekil 3.7. Batarya kapasitesinin gelişimi (Sanguesa ve diğ., 2021)

3.2.1. Kurşun Asit Bataryalar

Kurşun-asit bataryalar, 150 yılı aşkın süredir gelişmekte ve fayda sağlamaktadır. İlk kurşun asit batarya Gaston Planté tarafından 1859 yılında Şekil 3.8'deki gibi geliştirilmiştir. Planté lastik şeritlerle ayrılmış iki kurşun levhayı spiral şeklinde yuvarladıktan sonra sülfürik asit elektrolitine daldırmış ve doğru akım uygulamıştır. Bu işlem sırasında kurşun levhalar; kurşun oksitler, sülfürik asit ve sudan oluşan bir macunla kaplanmıştır ve daha sonra nemli bir atmosferde hafifçe ısıtılarak sertleştirilmiştir. Kürleme işlemi, macunun kurşun levhaya yapışan bir kurşun sülfat karışımına dönüşmesine neden olmuştur. 1881'de Camille Alphonse Fauré yapıştırılmış plakaları, 1890'da Donato Tomassi ve H. Woodward ilk boru biçimli plaka tasarımını üreterek kurşun-asit batarya teknolojisine katkı sağlamıştır.



Şekil 3.8. İlk kurşun asit batarya (Garche ve diğ., 2015)

Gladstone ve Tribe'ın (1882) çift sülfat teorisi ile açıklanan sistemin kimyası değişmeden kalırken, plaka ve hücre tasarımları sürekli olarak geliştirildi. Böylece mikro ve hafif hibrit otomobillerin piyasaya sürülmesiyle büyük pazar potansiyeline sahip yeni bir uygulama ortaya çıktı. Bu hakimiyet, hammaddelerin düşük özgül maliyetinden, olgun ve maliyeti optimize edilmiş üretim teknolojisinden, bataryanın sağlamlığından, düşük sıcaklıkta deşarj gücünden, ısı toleransından ve yerleşik bir geri dönüşüm teknolojisiyle birlikte düşük kendi kendine deşarjdan kaynaklanmaktadır. Fakat bu teknoloji kurşunun yüksek özgül ağırlığından kaynaklanan sistemin nispeten düşük özgül enerjisi ve gücü, çözelti-çökelme mekanizmalarının bir sonucu olarak düşük derin çevrim ömrü, şarj sırasında gaz oluşumuna yol açan sınırlı şarj kapasitesi, elektrolitin şarj ve deşarj reaksiyonlarında aktif bir bileşen olması nedeniyle meydana gelen tabaka ve sülfat oluşumu nedeniyle biraz sınırlıdır. Kurşun – asit bataryada, kurşun dioksit (PbO_2)'den oluşan katot ile kurşundan (Pb) oluşan anot elektrolitik sülfürik asit (H_2SO_4) içerisine daldırılmıştır. Katotta ve anotta oluşan kimyasal reaksiyonlar sırasıyla Denklem (3.3) ve (3.4)'teki gibidir;

$Pb_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow PbO_2 + H_2SO_4 + 2H_2 + 2e$ (3.3)

$Pb_2SO_4 + 2H_2 + 2e \rightarrow H_2SO_4 + Pb$ (3.4)

3.2.2. Nikel-Kadmiyum Bataryalar

Nikel kadmiyum bataryalar, kurşun-asit bataryalara bir alternatiftir. Fakat kursun-asit bataryalara kıyasla daha uzun çevrim ömrüne ve daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir. Nikel kadmiyum bataryalar güneş paneli uygulamalarda birçok avantaj sunmakta ve çevrim kabiliyetleri, dayanıklılıkları, uzun ömürleri ve güvenilirlikleri gibi faktörler onları olumsuz koşullar altında çalışmak için ideal hale getirmektedir. Nikel kadmiyum bataryalar düşük eşdeğer seri dirençleri (ESR) nedeniyle mükemmel güç sağlayabilir ancak zararlı ağır metaller içerir ve ciddi kendi kendine deşarjdan mustariptir. Buna rağmen nikel kadmiyum bataryalar uzun süre boyunca sürekli güç sağlama kabiliyetleri ve ayrıca anlık güç gerektiren uygulamalarda kullanılmaları nedeniyle kurşun-asit bataryaların yerine rekabetçi bir alternatiftir. Bir Ni-Cd bataryadaki genel şarj ve deşarj reaksiyonları, Denklem (3.5)'te gösterildiği gibi kümülatif bir reaksiyon olarak tanımlanabilir;

$Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2 \leftarrow \text{deşarj - şarj} \rightarrow Cd + 2NiOOH + 2H_2O$ (3.5)

Şarj edilebilir bataryalar arasında Ni-Cd bataryalar, Ni-MH (60-120 W-kg-1) ve Lityum-iyon (110-160 W-kg-1) bataryalara kıyasla oldukça düşük bir enerji yoğunluğuna (45-80 W-kg-1) sahiptir. Buna ek olarak, Ni-Cd bataryalar uzun bir raf ömrüne, düşük sıcaklıklarda (-40 °C'ye kadar) kararlı bir şekilde çalışma yeteneğine ve NiMH'ye kıyasla daha düşük bir iç dirence sahiptir, 6 V bataryalarda sırasıyla 100-200 mΩ ve 200-300 mΩ (Nair & Garimella, 2010). Ayrıca, Lityum-iyon bataryaların aksine, Ni-Cd bataryaların çalışması sırasında, basıncı ortadan kaldırma sırasında yangın çıkma olasılığı yoktur (Blumbergs ve diğ., 2021).

3.2.3. Lityum-İyon Bataryalar

1972 yılında Exxon, lityum metalinin anot olarak kullanıldığı ve lityum pillerinin üretildiği çalışmaları gerçekleştirmiştir. 1980 yılında, katmanlı yapıya sahip sülfür içeren katot malzemelerinin uzun dönem stabilizesinin zayıf olması sebebiyle, Goodenough ve

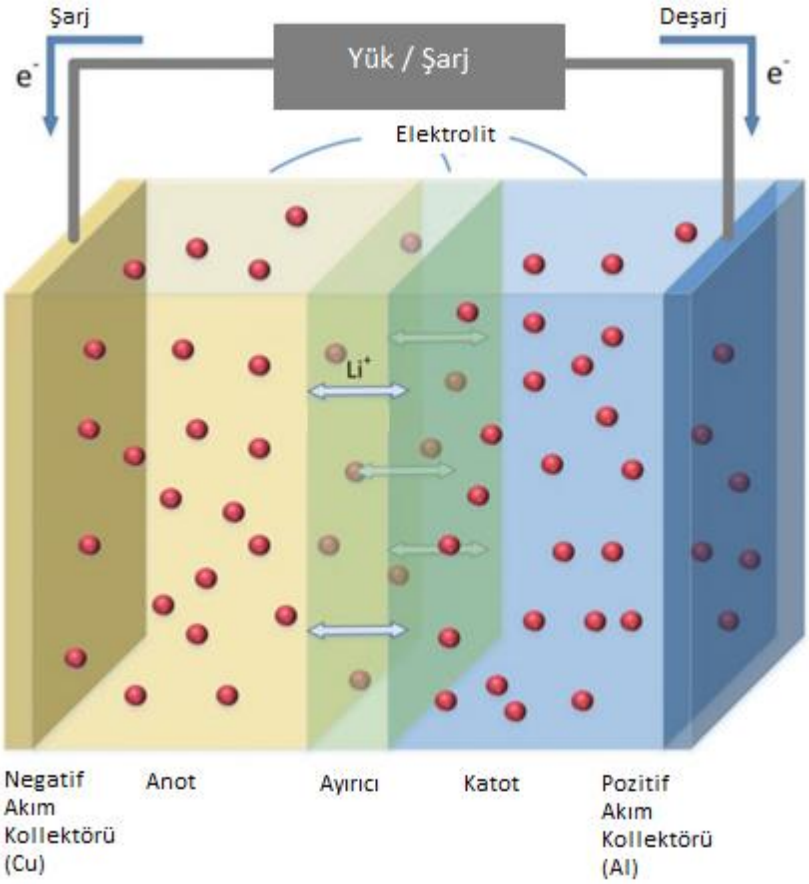
çalışma arkadaşları alternatif bir malzeme olarak metal oksitlerini katot malzemesi olarak önermişlerdir. Sony, 1991 yılında piyasaya sürdüğü ilk ticari lityum iyon pilinde LiCoO2 katot ve karbon anot kullanarak 3,6 V üzeri bir potansiyel elde etti ve böylece uzun ömürlü lityum iyon pillerinin üretimine öncülük etmiştir. Son yıllarda, batarya teknolojisi hızlı bir şekilde gelişerek özellikle şarj-deşarj döngüleri, güvenlik, hacimsel enerji yoğunluğu ve yüksek sıcaklıklarda kararlı yapılar gibi konularda araştırma ve geliştirme çalışmaları yoğunlaşmıştır.

Lityum iyon bataryalar; yüksek enerji yoğunluğu, hafıza etkisi olmaması, uzun kullanım ömrü ve tasarım esnekliği gibi kendilerine özgü avantajları nedeniyle elektrikli araçlar için ana güç kaynakları olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bataryalar üzerine çalışmalar gün geçtikçe artmakta ve değer kazanmaktadır.

Lityum-iyon bataryalar yüksek enerji yoğunluğu sergiler ve zararlı özellik göstermez. Bunun yani sıra düşük CO_2 gazi salimimi sebebiyle yeşil kimyaya uygundur. Kullanım alanları oldukça geniştir. Telefon, bilgisayarlar, küçük ev aletleri, televizyonlar, kameralar veya elektrikli araçlar gibi farklı teknolojilerde kullanılabilir. Taşınabilir elektronik cihazların uzun süreli ve etkin bir şekilde çalışabilmesi için, yüksek enerji yoğunluğuna sahip, güvenli, uzun ömürlü, kolay bakım yapılabilen, hızlı şarj edilebilen ve çevreye zarar vermeyen bir enerji kaynağına ihtiyaçları vardır. Bugünün taşınabilir elektronik ve elektrikli cihazlarında, tekrar şarj edilebilen lityum-iyon piller, sahip oldukları üstün özellikler sayesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Yapılan araştırmalar, petrol kaynaklarından sağlanan enerjiyle çalışan birçok araçta (arabalar, ısıtıcılar, vb.) enerjinin depolanmasında lityum iyon pillerin kullanılacağını ortaya koymaktadır ve bu nedenle bu pillerin önemi giderek artmaktadır. Özellikle son zamanda yeni geliştirilen lityum-polimer yapıdaki bataryalar lityum-iyonlara göre enerji ve güç yoğunlukları daha yüksektir.

Bir lityum-iyon batarya hücresi pozitif bir elektrot ve negatif bir elektrot ile aralarında bir ayırıcıdan oluşur. Lityum iyonları şarj/deşarj sırasında iki elektrot arasında hareket ederken elektronlar harici devre üzerinden ilerler. Bu mekanizma Şekil 3.9'da görülmektedir (Polat ve Keleş, 2012).



Şekil 3.9. Lityum iyon batarya şematiği (Zhang ve diğ., 2018)

Lityum iyon hücresindeki reaksiyonda, aktif malzemeler anot ve katottur ve lityum bir elektrottan diğerine yer değiştirir. Lityum iyon hücresinin şematik gösterimi ve negatif ile pozitif elektrotlarda gerçekleşen reaksiyonlar verilmiştir.

Katot reaksiyonu Denklem (3.6)'daki gibi olacaktır;

$$LiMO_2 \leftarrow \text{deşarj - şarj} \rightarrow Li_{1-x}MO_2 + xLi^+ + xe^- \quad (3.6)$$

Anot reaksiyonu Denklem (3.7)'deki gibi olacaktır;

$$C + xLi^+ + xe^- \leftarrow \text{deşarj – şarj} \rightarrow CLi_x \quad (3.7)$$

Hücrede bu reaksiyonların oluşması için elektrot malzemelerinin elektrik iletkenliği sağlanmalıdır. Elektrot malzemeleri yüksek iletken metal folyolar üzerinde biriktirilir ve folyoların üzerindeki elektrotlar arasında gerçekleşmesi muhtemel kısa devreyi önlemek için mikro gözenekli seperatörler ve iletkenliği sağlamak için sıvı/jel/ katı elektrolitler

kullanılarak hücre içerisinde lityum iyonlarının yer değiştirmesi sağlanır. Rafine malzeme seçimi ve hassas batarya tasarımından kaynaklanan yüksek hücre gerilimi sayesinde, yüksek hacimsel yoğunluk ve gravimetrik enerji yoğunluğu aynı anda elde edilir. Lityum iyon pillerin diğer ikincil pillerle (gümüş-çinko, nikel-çinko, nikel-hidrojen) karşılaştırıldıklarında sergiledikleri avantaj ve dezavantajlar Tablo 3.3'te belirtilmiştir (Zhang ve diğ., 2018; Polat ve Keleş, 2012).

Tablo 3.3. Lityum iyon bataryaların avantaj ve dezavantajları

Avantajları	**Dezavantajlar**
Kapalı hücre, bakım gerektirmemesi,	Maliyet,
Uzun ömürlü	Çok yüksek sıcaklıklardan etkilenip bozulabilmesi,
Geniş çalışma sıcaklık aralıkları,	Koruyucu devre ihtiyacı,
Çabuk şarj olabilme,	Aşırı şarj sonunda kapasite kaybı veya termal bozulma
Yüksek güçlü deşarj kapasitesi,	
Enerji verimi	
Yüksek spesifik enerji ve enerji yoğunluğu	
Uzun raf ömrü,	

3.3. Süper kapasitörler

Kondansatör teknolojisinin başlangıcı, metal folyolar içeren cam bir kaptan oluşan Leyden Kavanozunun (1745-1746) icadına dayanmaktadır. Leyden kavanozunda metal folyolar elektrot, kavanoz ise dielektrik görevi görmektedir. Bahsedilen cihazın şarj işleminde, bir elektrotta pozitif (+) yükler, diğerinde ise negatif (-) yükler birikmekteydi. Bu iki yük metal bir tel kullanılarak birleştirildiğinde bir deşarj işlemi gerçekleşirdi. İlk elektrolitik kondansatör 1920'lerde ortaya çıktı. 1957'de ilk süper kapasitör (elektrikli çift katmanlı kapasitörler - EDLC'ler) General Electric tarafından plakalar olarak aktif kömür kullanılarak patentlendi. EDLC'lerde yük depolama elektrostatik olarak (Faradaik olmayan) gerçekleşir, yani elektrot ve elektrolit arasında yük kayması olmaz. Bu da onları yüksek döngü kararlılığının yanı sıra yüksek oranda tersine çevrilebilir hale getirir. Karbon aerojeller, aktif karbonlar, karbon nanotüpler, grafen, karbür türevli karbon vb. gibi karbon nanomalzemeler, büyük spesifik yüzey alanı, mükemmel mekanik ve kimyasal kararlılık ve iyi elektriksel iletkenlik ile EDLC'ler için benzersiz yapılardır.

Süper kapasitörler (SC'ler) aynı zamanda ultra kapasitör olarak da adlandırılmaktadır. SC'leri normal kapasitörlerden ayıran başlıca özellik hacimsel ve kütlesel enerji yoğunluklarıdır ve daha fazla enerji depolayabilmektedirler. Süper kapasitörler, yüksek özgül kapasitans, uzun yaşam döngüsü, yüksek güç yoğunluğu, neredeyse bakım gerektirmemesi, hafıza etkisi olmaması, güvenli olması ve kapasitör ile yakıt hücreleri/piller (büyük enerji depolama) arasında var olan güç-enerji farklılığı için bir köprü işlevi görmesi nedeniyle büyük ilgi görmüştür (Zhang ve Zhao, 2019; Balducci ve diğ., 2007; Largeot ve diğ., 2008; Kandalkar ve diğ., 2010).

Endüstriyel süper kapasitör örnekleri Şekil 3.10'da gözükmektedir.



Şekil 3.10. Süper kapasitör resmi (URL-11)

Uygulamalarda süper kapasitörlerin bataryalara göre birim enerji başına maliyetinin çok olması, kontrolünün zor olması ve enerji yoğunluğunun az olmasından dolayı daha az kullanılmaktadır.

Süper kapasitörler genellikle birincil enerji kaynağı olan içten yanmalı motorlar, yakıt hücreli ve bataryalı araçlar ile birlikte hibrit bir yapıda tercih edilmektedir. Araçların durduğu andan harekete geçmesi için gereken yüksek güç süper kapasitörler aracılığı ile karşılanır ve bu sayede birincil enerji kaynağının zayıf olduğu yüksek güç potansiyeli süper kapasitör aracılığı ile sağlanıp hem yakıt tasarrufu hem de birincil kaynakların ömrüne olumlu etkileri olmaktadır. Özellikle, hızlı şarj ve deşarj özellikleri sayesinde, süper kapasitörler, frenleme enerjisi geri kazanımı sırasında depolanan enerjinin tekrar kullanılmasına olanak tanımaktadırlar.

Süper kapasitörlerin avantaj ve dezavantajları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Süper kapasitörlerin avantaj ve dezavantajları

Avantajları	**Dezavantajlar**
Anlık yüksek güç	Self-Deşarjları bataryalara kıyasla fazla
Şarj süreleri oldukça kısadır (1-10 sn.)	Bataryalara kıyasla daha düşük enerji yoğunluğuna sahip
Bataryalara göre çalışma sıcaklık aralıkları geniş,	Hücre başına gerilimleri düşüktür (2.5-2.8V), gerilim seviyesi hızlı değişir
Çok yüksek çevrim ömrü	Enerji başına yüksek maliyet
Yüksek özgül güç; düşük direnç, yüksek yük akımlarını mümkün kılar	Kontrolünün zor olması

Süper kapasitörler, bataryaların kapasitesini tamamlamak için de kullanılabilmektedir. Örneğin, hızlı şarj istasyonlarında, bataryaların tamamen şarj olması zaman alırken, süper kapasitörler kullanılarak araçların hızlı bir şekilde şarj edilmesi mümkün olabilmektedir. Süper kapasitörler lityum iyon bataryalar ile karşılaştırılması Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Süper kapasitörlerin ve Lityum iyon karşılaştırması

Özellik	Süper kapasitörler	Lityum iyon Bataryalar
Şarj süresi	1-10 saniye	10-60 dakika
Döngü ömrü	1 milyon veya 30.000 saat	500 ve daha fazla
Hücre gerilimi	2.3 den 2.7 V kadar	3.6V nominal
Spesifik enerji (Wh/kg)	5 (tipik)	120-240
Spesifik güç (W/kg)	10.000'e kadar	1.000-3.000
Servis ömrü	10-15 yıl	5-10 yıl
Şarj sıcaklığı	-40 ile 65 C	0 ile 45 C
Deşarj sıcaklığı	-40 ile 65 C	-20 ile 60 C
Kendi kendine deşarj (30 gün)	Yüksek (%5-40)	%5 veya daha az

4. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ENERJİ YÖNETİMİ

Kullanıcıların araçlarını hızlı ve kolay şekilde şarj edebilmeleri, EA'nın başarılı olması için gereklidir. Bu amaçla, evde ve uzun yolculuklar sırasında hızlı şarj sağlayan elektrik şarj istasyonlarının oluşturulması ve bu şarj için bir altyapı dağıtımının bulunması esastır. Elektrikli araçların şarj teknolojisi için oluşturulan farklı standartlar ve kurallar bu bölümde sunulmaktadır. Özellikle, mevcut standartlarda tanımlanmış farklı şarj çeşitleri ve bağlayıcılar detaylı olarak incelenmektedir. Farklı bölgelerde kullanılan standartlar elektrikli araçların şarj sürecini belirler. Örneğin, Kuzey Amerika ve Pasifik bölgesinde SAE-J1772 standarttı kullanılmaktadır, Çin'de GB/T 20234 standardı kullanılmaktadır ve Avrupa'da ise IEC-62196 standardı kabul edilmiştir. Bu üç standart arasındaki temel fark, ilk ikisinin şarj çeşitlerini güç tipine (DC veya AC güç) göre sınıflandırırken, sonuncusunun şarj gücüne göre sınıflandırmasıdır (Sanguesa ve diğ., 2021).

IEC-62196 standardı, 2001 yılında Uluslararası Elektroteknik Komisyonu tarafından Avrupa ve Çin'deki elektrikli araçların şarj etme işlemleri için oluşturulan uluslararası bir standarttır. Bu standart, şarj sürecinin özelliklerini ve enerji verme şeklini belirlemektedir. IEC-62196, IEC-61851 standardından türetilmiştir ve şarj tipini nominal güce göre sınıflandırmaktadır. Bu sayede, şarj süresi belirlenmektedir (Sbordone, ve diğerleri, 2015).

Kullanıcılar, araçları şarj etmek için dört farklı çeşit sunulmaktadır:

• Mod-1 (Yavaş şarj): Bu mod, evsel şarj için 16 A maksimum yoğunlukta tanımlanmıştır ve standart bir tek fazlı veya üç fazlı güç prizi kullanır. Fazlar, nötr ve koruyucu toprak iletkenleri ile birlikte bulunur. Bu mod evlerimizde en çok kullanılan moddur.
• Mod-2 (Yarı hızlı şarj): Bu mod evde veya kamusal alanlarda kullanılabilir ve maksimum yoğunluğu 32 A olarak tanımlanmıştır. Aynı şekilde, standart güç prizleri kullanılır. Fazlar, nötr ve koruyucu toprak iletkenleri ile birlikte bulunur.
• Mod-3 (Hızlı şarj): 32 ve 250 A arası bir yoğunluk sunar. Bu mod, elektrikli araçların şarj işlemini gerçekleştirmek için özel bir güç kaynağı olan EA Tedarik Ekipmanı kullanımını gerektirir. Bu cihaz (EVSE), araçlarla iletişim kurar, şarj sürecini takip eder, koruma sistemlerini içerir ve araçla bağlantı algılanmadığında enerji akışını durdurur.

• Mod-4 (Çok hızlı şarj): IEC-62196-3 standardında tanımlanmıştır ve EV' nin doğrudan DC güç ağına bağlantısını tanımlar. Güç yoğunluğu 400 A'ya kadar ve maksimum gerilim 1000 V' a kadar olabilir, böylece maksimum şarj gücü 400 kW' dır.

4.1. AC Şarj

Elektrikli araçların şarj işlemlerinde kullanılan bir yöntem AC (alternatif akım) şarjıdır. AC şarjı, elektrik şebekesi üzerinden elektrikli araca enerji sağlamak için kullanılır. AC şarj yöntemine ait pin konnektörü bağlantı çeşitleri aşağıdaki gibidir:

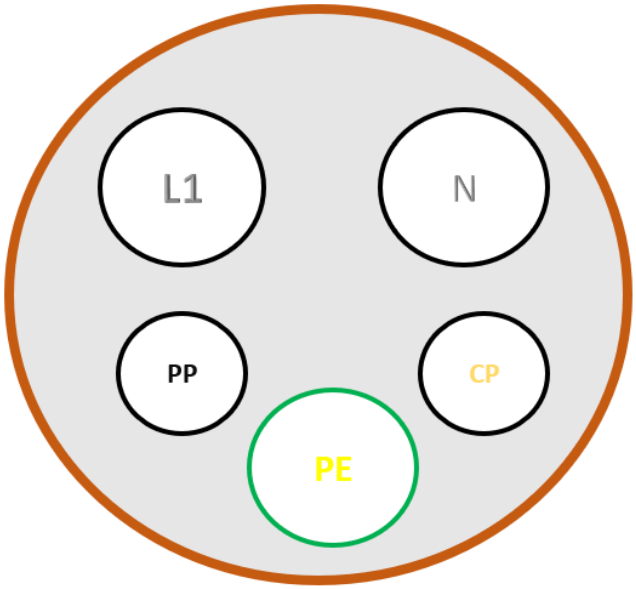
L1: AC fazı

N: 120 V Seviye 1 şarj için "AC Nötr" veya 208-240 V Seviye 2 şarj için "AC Hat 2"

PP: Elektrikli araç şarj istasyonuna bağlıyken hareketi önleyebilmesi için aracın kontrol sistemine bir sinyal sağlayan kontak

CP: Kontrol pilotu (Control Pilot), araç ile şarj istasyonu arasında şarj seviyesini bildirmek için kullanılan bir iletişim hattıdır ve diğer bilgilerin yanı sıra şarjı başlatmak için araç tarafından manipüle edilebilir.

AC şarj konektörüne ait pinlerin yapıları Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. AC J1772 konektörü (Theodore ve Chaudhry, 2012)

Elektrikli araçların alternatif akım şarj seviyeleri 2017 yılında SAE standartları çerçevesinde Tablo 4.1'de gözüktüğü üzere özelliklerine göre belirlenmiştir.

Tablo 4.1. SAE tarafından tanımlanan AC Standartları

Şarj Metodu	Gerilim (V)	Faz	Maksimum akım (A)	Devre kesicisi değeri (A)	Maksimum Güç (kW)
AC Seviye 1	120	1 faz	12 - 16	15 - 20	1.44 - 1.92
AC Seviye 2	208 - 240	1 faz	24 - 80	30 - 100	5.0 - 19.2
AC Seviye 3	208 - 600	3 faz	63 - 160	80 - 200	22.7 - 166

4.2. DC Şarj

Doğru akım şarj sistemleri 2017 yılında SAE tarafından Tablo 4.2'de görüldüğü üzere Seviye 1 ve Seviye 2 olmak üzere iki grupta incelenmektedir. DC şarj sistemleri AC şarj sistemlerine göre daha fazla gücü daha kısa sürede sağlayabilmektedir.

Tablo 4.2. SAE tarafından tanımlanan DC Standartları

Şarj Metodu	DC Gerilim değeri (V)	Maksimum akım (A)	Maksimum Güç (kW)
DC Seviye 1	50 - 1000	80	80
DC Seviye 2	50 - 1000	400	400

4.3. Batarya ve Şarj Tanımları

Bu bölümde önemli batarya, şarj cihazı ve şarj terminolojileri tanımlanmıştır.

Şarj durumu (State of Charge - SOC): Elektrikli araçların kalan sürüş mil sayısını tahmin etmek için, pilin yakıt göstergesini yorumlamak gerekir. SOC, araçların sadece elektrik gücüyle hareket etmesine olanak tanıyan enerjinin miktarına orantılı olarak şarj miktarını anlamak için kullanılan göstergedir. Bu, benzinli bir araçta yakıt tankındaki benzin miktarını göstermek için kullanılan yakıt göstergesi ile analojiktir. bataryanın giriş ve çıkışındaki, yani Coulomb sayımı olarak adlandırılan, akımı ölçerek şarj miktarını bulmaktır. Bu yönteme dayanarak, SOC şarj durumu Denklem (4.1) ile bulunabilir:

$$SOC = \frac{Q_0 \pm \int i_{bt}\, dt}{Qn} x100 \qquad (4.1)$$

Q_o: batarya şarj/deşarj edilmeden önce mevcut olan ilk elektrik yüküdür, birimi Coulomb'dur.

Q_n: bataryanın nominal elektrik şarj kapasitesidir, birimi Coulomb'dur.

i_{bt}: batarya akımıdır, birimi Amper'dir. Bu değer akım yönüne göre pozitif veya negatif olabilir.

Eğer akım bataryaya giriyorsa SOC değeri yükselir, akım bataryadan çıkıyorsa SOC değeri azalır. SOC değeri yüzde olarak gösterilmektedir.

Deşarj Durumu (State of discharge - SOD): Bataryanın deşarj durumunu ölçmek için kullanılır (SOD). SOC'nin tamamlayıcısı anlamına gelir, yani bataryadan ne kadar elektrik alındığını gösterir ve Denklem(4.2)'deki gibi ifade edilir;

$$SOD = SOC - 1 \tag{4.2}$$

SOD terimi aynı zamanda deşarj derinliği anlamına gelen depth of discharge (DOD) olarak da ifade edilir.

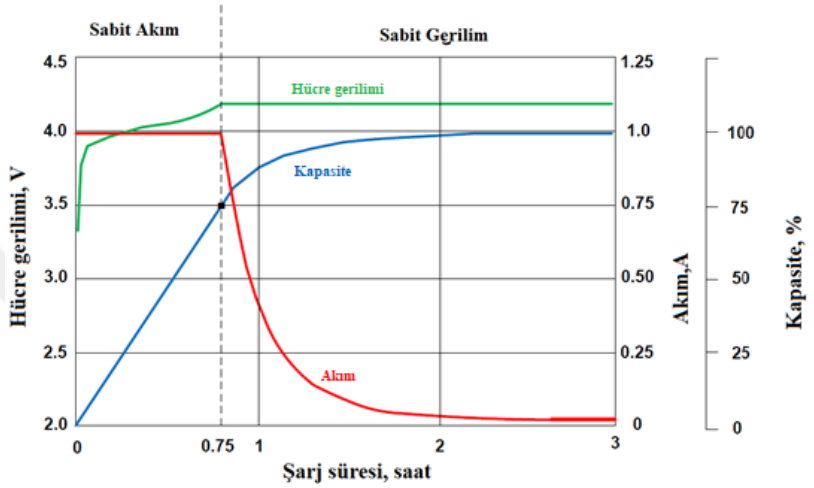
Sağlık Durumu (State of health - SOH): Batarya hücresinin durumunun belirlenmesi için bir yöntem olan Batarya sağlık durumu (SOH), bataryanın üretim garantisi altındaki çalışma koşullarının üstünde çalışıp çalışmadığını belirlemek için kullanılır. Batarya yönetim sistemi (BMS) tarafından kaydedilen kullanım tarihi, SOH'un temsil edilmesini sağlar.

Şarj oranı: Her pil hücresi bir saatte tamamen şarj olması için üretici tarafından belirlenmiş bir şarj akımına sahiptir. Bu, C-rate olarak adlandırılır ve C, pil hücresinin derecelendirilmiş şarj akımını ifade eder. Tüm şarj akımları, C oranı kullanılarak derecelendirilmiş akıma referans gösterilir.

Şarj profili: Lityum-iyon bataryalar için kullanılan yaygın şarj yöntemleri sabit akım (CC) ve sabit gerilim (CV) şarjıdır. Şekil 4.2'de örnek olarak görüleceği üzere; Sabit akım şarjı sırasında akım, batarya hücresi gerilimi belirli bir seviyeye ulaşana kadar sabit bir değerde uygulanır. Ardından şarj sabit gerilim-CV şarjına geçirilir ve batarya sabit bir gerilimle uygulanan bir tricker akımıyla şarj edilir. CV şarjında gerilim sabit tutulur ve batarya

tamamen şarj olana kadar akım azaltılır. Bir elektrikli araç bataryasının şarj süresi, bataryanın boyutuna ve şarj oranına bağlı olarak değişebilir. Ancak genel olarak CV şarjı CC şarjından daha yavaştır ancak bataryaya zarar verme olasılığı daha düşüktür.

Hem CC hem de CV şarjı, bataryanın güvenli ve verimli bir şekilde şarj edilmesini ve batarya ömrünün mümkün olduğunca uzun süre korunmasını sağlamak için kullanılır.



Şekil 4.2. Sabit akım ve sabit gerilim şarj profili

4.4. Güç Kontrolü ve Enerji Yönetimi

Araçlar için enerji yönetimi, Elektrikli Arabalar ve Hibrit Elektrikli Arabalar (PHEV) için kritik bir faktördür. Bu nedenle, batarya yönetim sistemi (BMS) bu tür araçlardaki batarya birimini yönetmek ve kontrol etmek için tasarlandı. BMS, batarya tarafından sağlanan enerjiyi yönetmeye ve güvenliği ve güvenilirliğini garanti etmeyi amaçlayan anahtarlı sistemdir. Şu andaki BMS'ler, güç teslimat birimi, sensörler ve haberleşme kanalları gibi çok sayıda bloktan oluşur.

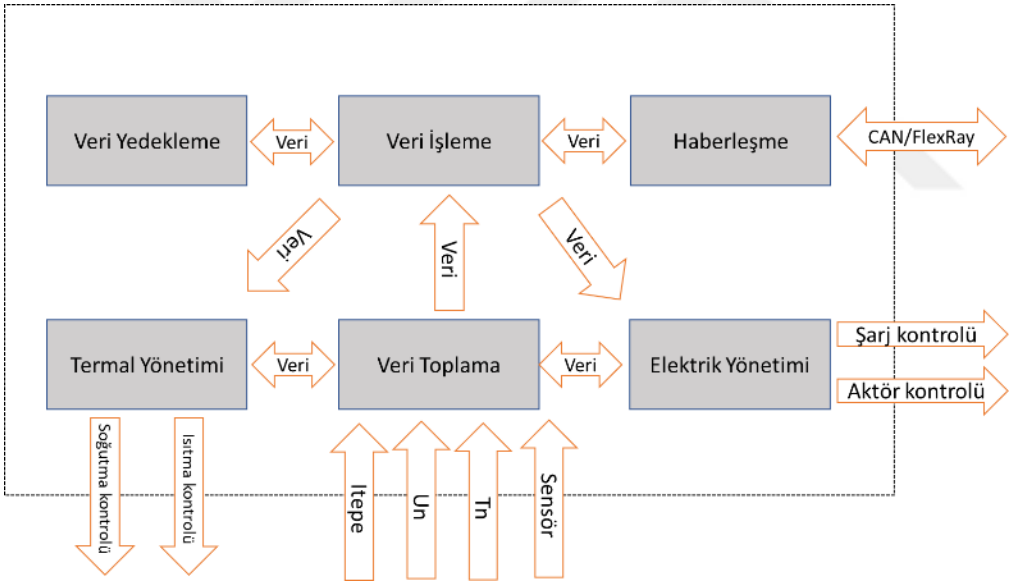
BMS'nin ana görevi, şarj ve deşarj süreçlerine bağlı batarya stresini azaltmaya çalışarak güç teslimatını yönetmektir. BMS, ani akım kesilmelerini önleyen merkezi bir denetleyicidir ve böylece yüksek deşarj oranlarını önler.

Ayrıca, EA'ların yüksek güçlü batarya paketleri için hücre dengeleme de kritik önem taşır, çünkü uzun bir seri tek tek hücre sadece en zayıf hücreye güvenilir. Buna göre, BMS,

zayıf hücrenin yükünü dengelemek suretiyle hücre dengeleme yapar. Özellikle, zincirdeki tüm hücrelerin şarjını eşit hale getirir ve batarya paketinin genel ömrünü uzatır. Böylece, BMS, tek tek hücrelerin aşırı stres altına girmesini önler.

BMS'nin başka bir önemli görevi, şarj durumunu ölçmek ve sürüş mesafesini hesaplamaktır. Farlar, gösterge paneli ve soğutma / ısıtma birimi gibi yardımcı cihazlar da batarya paketinden enerji çeker. Ancak, bu cihazlar akıllı değildir ve BMS ile iletişim kurmazlar. Bu enerji ihtiyaçlarının daha akıllı bir şekilde yönetilmesi, aktarma oranlarının verimliliğini azaltmadan daha iyi güç teslimatına neden olacaktır.

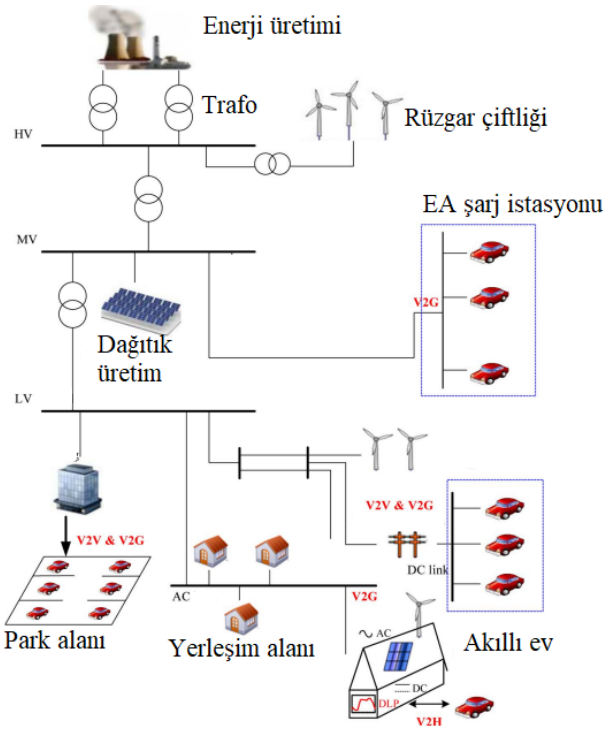
BMS'nin (i) veri toplama, (ii) veri işleme ve depolama, (iii) elektrik yönetimi, (iv) termal yönetimi, (v) güvenlik yönetimi ve (vi) iletişimi kapsaması gereken gereksinimlerini sunarlar. Bu özellikleri de dikkate alarak, BMS'nin şematik bir görseli Şekil 4.3'teki gibidir (Sanguesa ve diğ., 2021).



Şekil 4.3. BMS yapısı

5. ARAÇTAN ŞEBEKEYE ENERJİ AKTARIM UYGULAMALARI

Araçtan şebekeye (Vehicle-to-grid V2G) fikri ilk olarak Kempton ve Letendre tarafından tanımlanmış ve bataryalı elektrikli aracın sadece bir yük olmasından ziyade aynı zamanda araçtan şebekeye bir enerji kaynağı olabileceği olabileceğini belirtilmişlerdir (Kempton & Letendre, 1997). V2G, temelde elektrikli araçlar ile şebeke arasındaki iletişimin bir kontrol mekanizması olan talep toplayıcı (aggregator) ile sağlandığı yüklerin kontrol edilmesi ve yönetilmesini ifade eder. Araçtan Eve (V2H), Araçtan Araca (V2V), Araçtan Şebekeye (V2G) ve Araçtan herhangi bir sisteme (V2X) olmak üzere, şebekeye bağlı EV teknolojilerinde ortaya çıkan çeşitli konseptler bulunmaktadır. V2H, elektrikli araç ile ev arasındaki güç değişimini ifade etmektedir. Araçtaki batarya, elektrikli ev aletlerine ve evdeki yenilenebilir enerji kaynaklarına yedek enerji sağlayan enerji depolaması olarak çalışabilir. V2V, elektrikli araçların birbiriyle bağlı olduğu bir topluluktur. Araçtan her şeye (Vehicle to Everything - V2X), bir araç ile aracı etkileyebilecek veya araçtan etkilenebilecek herhangi bir varlık arasındaki bütün iletişimi kapsayan sistemlere denmektedir. V2G, yerel elektrikli araç topluluğunun enerjisini kullanır ve bunları yerel talep toplayıcının kontrolü ve yönetimi yoluyla elektrik şebekesine satar (MiaoTan ve diğ., 2016). Şekil 5.1'de elektrikli araçların sisteme bağlandığı yapılar gösterilmiştir.



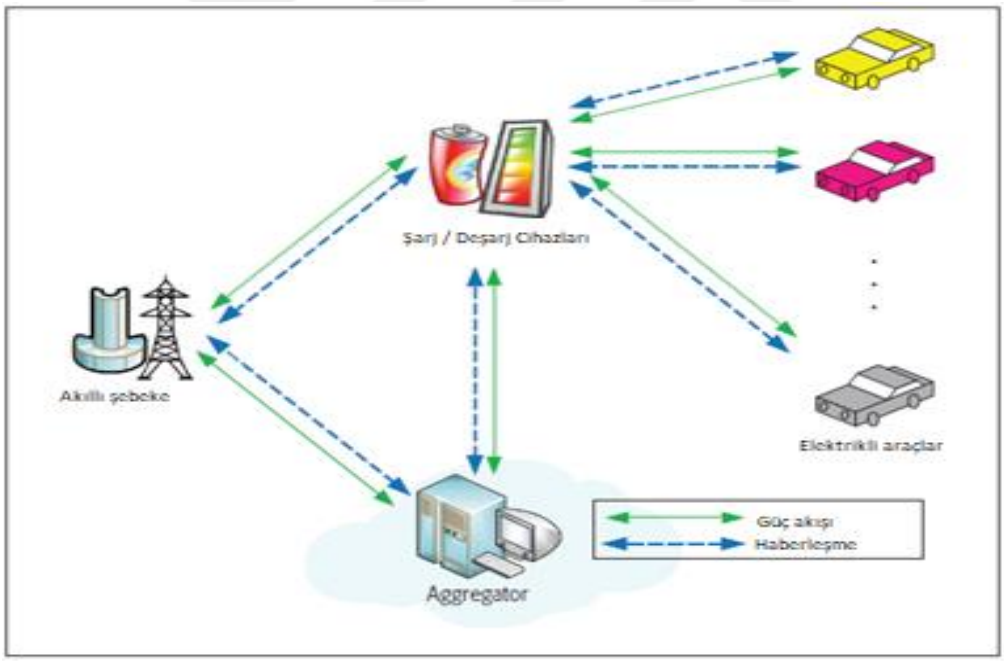
Şekil 5.1. V2H, V2V ve V2G çerçevesi (Liu ve diğ., 2013)

V2G sistemi genel olarak 4 kısımdan oluşmaktadır:

- Elektrikli Araçlar
- Toplayıcı ve Düzenleyici Veri Merkezi
- Şarj/Deşarj Cihazları
- Çift yönlü şebeke yapısı

Şekil 5.2'de görüldüğü üzere elektrikli araçların şarj-deşarj cihazları üzerinden belirli bir kontrol haberleşme sistemi ile akıllı şebekede enerji yönetimi sağlanmaktadır.

- EA'lar, şarj durumuna (state-of-charge: SOC) göre şebekeye bağlanır.
- Talep toplayıcı, güç talebini enerji talebine ve şebeke durumuna göre tayin eden güç hizmetidir.
- EA'lara bağlanan şarj / deşarj cihazı, şebekeden araca (G2V) ve V2G erişim noktası olarak işlev görür.



Şekil 5.2. V2G gösterimi (Guille ve Gross, 2009)

Toplayıcı, elektrik şebeke operatöründen (TNO) bir sinyali alır ve bu sinyali elektrikli araçlara haberleşme aracılığıyla iletir. Toplayıcı aynı zamanda elektrikli araçların fiziksel olarak bağlı olmasa bile mevcut gücünü koordine ve tahmin edebilmelidir. Toplayıcıların elektrikli araçların fiziksel olarak direkt bağlanmasından ziyade tercih edilmesinde birkaç

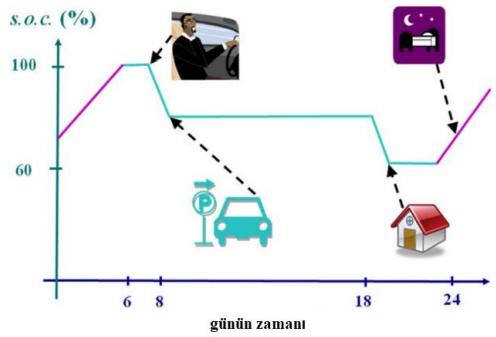
neden vardır. Bunlardan en önemlisi, V2G'nin verimli bir değer sunabileceği birçok piyasa, sisteme katılmak için minimum bir güç kapasitesi istemektedir, buna örnek olarak frekans düzenlemesi verilebilir.

5.1 Araçtan Şebekeye Güç Akışı

V2G sistemi elektrikli araçlar ile şebeke arasında güç akışına göre ikiye ayrılır. Geleneksel ve günümüzde kullandığımız tek yönlü şebeke ve akıllı şebeke olarak adlandırılan çift yönlü şebekeden oluşur (MiaoTan ve diğ., 2016).

5.1.1. Tek Yönlü Şebeke Yapısı

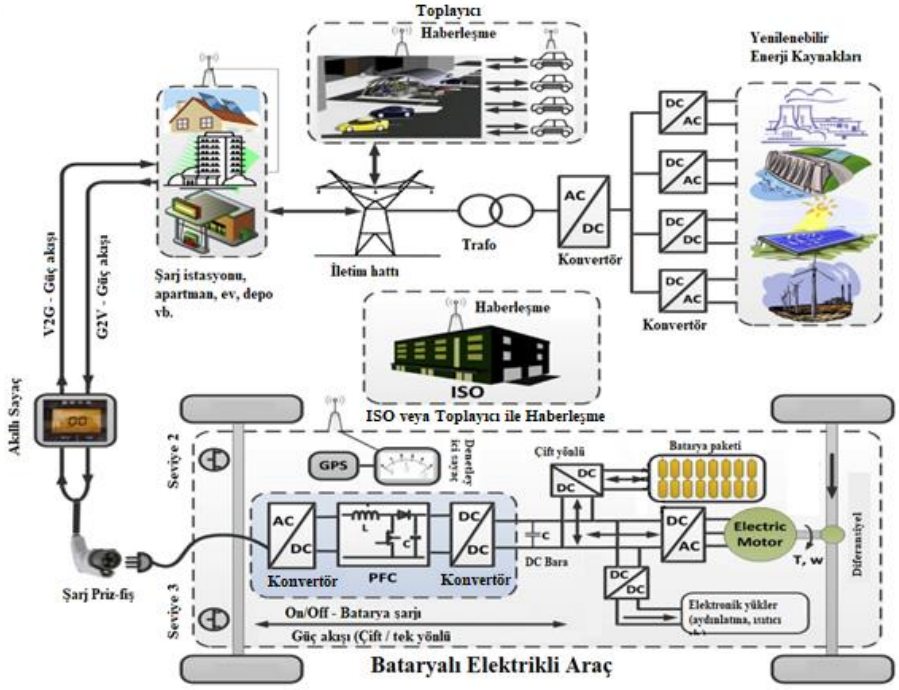
Geleneksel yöntem olarak adlandırılan V1G, tek yönlü şarj yoluyla araç bataryasının şarj oranını araç ile şebeke arasındaki tek bir güç akışı yönünde kontrol etmektedir (MiaoTan ve diğ., 2016). Tek yönlü şarj durumunda, tüketiciler elektrikli araçlarını enerji dağıtım şirketleriyle yaptıkları ticaret anlaşmaları veya elektrik puant değerinin düşük olduğu gece saatlerinde şarj ederek maliyet açısından tasarruf sağlayabilirler. Şekil 5.3'te, tek yönlü bir şebekede zaman dilimlerine göre elektrikli aracın kullanımı gösterilmiştir. Bu şekilde, gece saatlerinde elektrikli araçların şarj edilmesiyle elektrik maliyeti azaltılırken, şebeke tarafında gün içinde yoğun talep dönemlerinde talepler düzenlenir. Anlık yoğun talepler, elektrik sisteminin kararlılığını etkileyebilir, aşırı yüklenmelere neden olabilir ve hatta bazı tüketicilerin servis dışı kalmasına yol açabilir. Bu nedenle, hükümetler veya elektrik dağıtım kuruluşları tek yönlü şebekelerde kullanıcıları maliyet açısından düzenlemelerle puant değerinin düşük olduğu zaman dilimlerinde kullanmaları konusunda teşvik etmektedir.



Şekil 5.3. V2G tek yönlü şebeke şarj gösterimi (Guille ve Gross, 2009)

5.1.2.Çift Yönlü Şebeke Yapısı

V2G sistemi, çift yönlü enerji transferi sağlayan bir sistemdir. Bu sistemde, araçtan şebekeye ve şebekeden araca enerji akışı gerçekleşir. Çift yönlü şarj işlemi, Şekil 5.4'te gösterildiği gibi AC/DC ve DC/DC dönüştürücülerden oluşur. AC güç, şarj işlemi sırasında çevirici (convertor) aracılığıyla doğrultulurken, deşarj işlemi sırasında ise DC güç evirici (inverter) aracılığıyla şebekede kullanılır. Çift yönlü güç akışı, akım kontrol tekniği ile DC/DC dönüştürücü tarafından kontrol edilir. DC/DC dönüştürücü ise, şarj etme veya deşarj modu sırasında yükseltici bir dönüştürücü olarak işlev görür ve enerji akışını yönetir (Habib ve diğ., 2015).



Şekil 5.4. V2G yapısının detaylı gösterimi (Habib ve diğ., 2015)

Halihazırda, V2G sistemi için çift yönlü akış şarj yapıları için çalışmalar devam etmektedir. Bu amaçla kullanılan AC/DC dönüştürücüler tipik olarak tek fazlı yarım köprü, tek fazlı tam köprü ve üç fazlı tam köprü dönüştürücüler gibi H-köprü tabanlı dönüştürücülerdir. Yüksek güç sistemleri genellikle çok seviyeli topolojiler gerektirir ve son araştırmalar, Silisyum Karbür (SiC) ve Galyum Nitrür (GaN) yarı iletken cihazların silikon cihazlardan daha yüksek engelleme gerilimleri, daha yüksek anahtarlama frekansları ve daha yüksek bağlantı sıcaklıkları sağladığını ortaya koymuştur. Bu özellikler, yüksek verimlilik, yüksek güç yoğunluğu ve daha düşük elektronik

dönüştürücü tasarımları sağlamaktadır. AC/DC dönüştürücüdeki SiC cihazlarıyla %97-99 verim elde edilebilmektedir (Altın ve Sarp, 2020).

Çift yönlü DC/DC aşamasının, sistemin genel verimliliği ve boyutu üzerinde doğrudan bir etkisi olduğu bilinmektedir. Çift yönlü şebekede, aktif güç desteği, reaktif güç desteği, güç faktörü düzenlemesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunun sağlanabilmesi geleneksel şebekeye kıyasla ana faydalarıdır. Tablo 5.1'de tek ve çift yönlü şebekeler özelliklerine göre karşılaştırılmıştır (Shariff ve diğ., 2019).

Tablo 5.1. Tek ve çift yönlü şebeke karşılaştırması

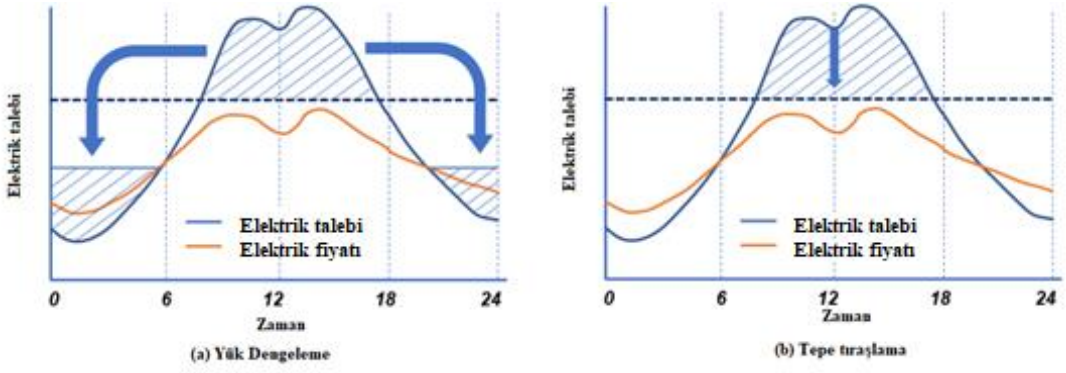
V2G Yöntemi	**Tek Yönlü**	**Çift Yönlü**
Donanım ihtiyacı	Haberleşme sistemi	Haberleşme sistemi ve çift yönlü batarya şarj altyapısı
Şarj seviyesi	1,2 ve 3	1 ve 2
Ekonomi	Az	Çok
Avantaj	Elektrik şebekesinin Aşırı Yüklenmesini Önlemek	Elektrik Şebekesi Kayıplarında Azalma
Dezavantaj	Sınırlı servis	Karmaşık donanım

5.1.3. Aktif Yük Dengeleme

Elektrikli araçlar yoğun saatlerde şebekeye güç akışı sağlayarak, talebin az olduğu zamanlarda araçların şarj edilmesiyle aktif güç desteği sağlanabilir. Ancak, talep yükü arttığında, genel şebeke sistemi üzerindeki stres artar ve kötü senaryolarda elektrik kesintilerine yol açabilir. Pik tıraş teknikleri, verimli bir yük talep profili oluşturarak maliyetleri düşürürken güç kalitesini iyileştirebilir (Ravi ve Aziz, 2022).

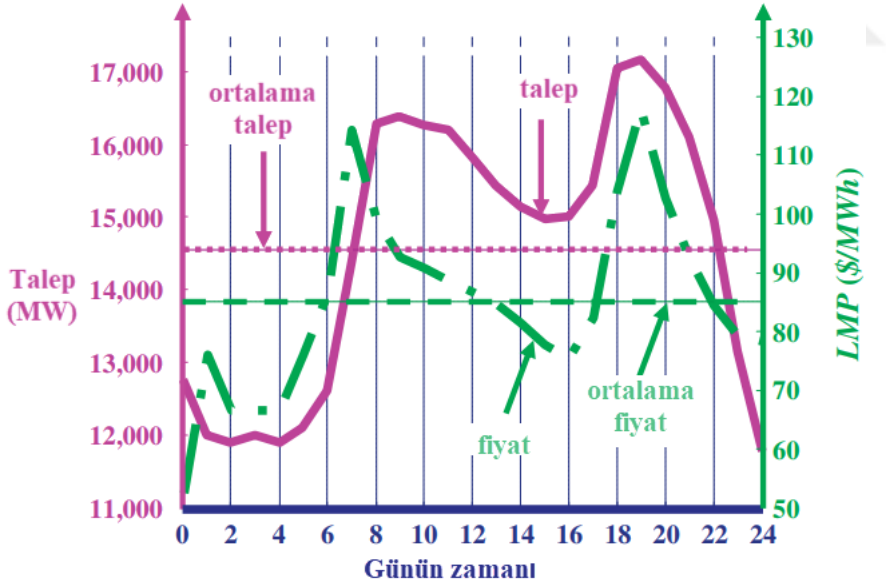
Üretilen yük talep profili sürdürülebilir olduğu için iletim ve dağıtım sistemi üzerindeki toplam yük de azalır ve bu sayede sistemin verimliliğinin artmasına yardımcı olmaktadır.

V2G'ye katılan son kullanıcı için, elektrik maliyetinin düşürülmesi açısından teşvikler ve mali tazminat, katılımlarını teşvik etmek için çok önemli kabul edilir. Yük dengelemesi sonrasında aşağıdaki Şekil 5.5'teki gibi yönetilmiş olmaktadır.



Şekil 5.5. Yük dengeleme ve pik düzenlenmesi (Ravi ve Aziz, 2022)

Güç talebi genellikle gün içerisinde zirve yaptığı noktalarda enerji maliyeti kullanıcılar için artmaktadır. Şekil 5.6'da enerji talebine göre fiyat değişimi gösterilmiştir (Guille & Gross , 2009).



Şekil 5.6. Enerji talebine göre fiyat değişimi (Garcés ve diğ., 2018)

Elektrikli araçlar bataryaları, gereken zamanlarda şebekeye yardımcı servis olarak da kullanılabilmektedir. Bu sayede EA'lar sistem esnekliğini artırmaktadır. Bu durum EA'ların şebekeye entegrasyonunun planlanmasını daha önemli hale getirmiştir. Araçtan

eve (vehicle-to-home, V2H), araçtan şebekeye (vehicle-to-grid, V2G), araçtan araca (vehicle-to-vehicle, V2V), araçtan her şeye (vehicle-to-anything, V2A) farklı biçimde incelenmektedir. V2H, V2G ve V2V işlemlerinin maliyet azaltması, güç kaybını minimize etme, pik yük azaltma, reaktif güç desteği gibi amaçlara hizmet edebilmektedir. V2G hizmetlerini kullanarak şebekeyi desteklemekle birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili doğasından kaynaklanan PV değişimlerinin olumsuz etkisinin EA' lar tarafından azaltılabileceği görülmektedir. V2G konseptinin gerçekleştirilebilmesi için şarj cihazları kritik öneme sahiptir. V2G fonksiyonu araç üstü (onboard) şarj cihazı veya şarj istasyonu vasıtasıyla gerçekleştirilebilir. Fakat araç üstü şarj cihazının güç kapasitesi boyut, ağırlık gibi etkenlerden dolayı sınırlı olacağı için V2G konseptinin sağlayabileceği şebeke katkılarının etkin bir şekilde sağlanabilmesi için daha yüksek güç aktarımına sahip şarj istasyonları kullanılmalıdır. Şarj cihazlarının araçtan şebekeye ve şebekeden araca güç aktarımını sağlayabilmesi için iki yönlü güç akışı sağlayabilen bir güç dönüştürücü devresine ve güç akışını yönetebilecek bir ihtiyacı bulunmaktadır.

Yük dengeleme düzenlenmesi ile mevcut sistemlerin tasarım esnasındaki trafo ve kablo kapasiteleri için daha düşük boyut ve kapasitedeki ekipmanların kullanımıyla yatırım maliyetleri azaltılabilir, ekipmanın ömrünü uzatabilir ve aynı zamanda sistemdeki kayıplar da azaltılabilmektedir.

5.1.4. Reaktif Güç Kompanzasyonu

Reaktif güç kompanzasyonu, elektrik şebekesinde gerilim regülasyonu sağlayan bir tekniktir. Reaktif güç ayrıca, elektrik üretimden kaynaklanan akım akışlarını ve elektrik hattındaki güç kayıplarını azaltan güç faktörü düzeltmesi sağlar. Bu ayrıca, ekipmanların yüklenmesini azaltarak verimliliği artırır (MiaoTan ve diğ., 2016).

Reaktif güç kompanzasyonu için geleneksel yöntem, dağıtım jeneratöründen veya statik Volt-Amper Reaktif (VAR) kompansatörden reaktif güç çekilerek kompanzasyon yapılır. Çoğu durumda, güç şebekesi kompanzasyonu için kapasitif bir reaktif güce ihtiyaç vardır. Bu nedenle, şebekeye bağlı elektrikli araçlar, çift yönlü batarya şarj cihazının DC-link kapasitöründe ayrılan kapasitif reaktif güç nedeniyle reaktif güç kompanzasyon hizmetini sağlayabilir. Reaktif güç kompanzasyonu, EA çift yönlü batarya şarj cihazının DC-link kapasitörüyle sağlandığından, bu servis batarya ömründe herhangi bir azalmaya neden

olmayacaktır. Reaktif güç kompanzasyonu, AC / DC dönüştürücünün anahtarını çeşitli kontrol stratejileri ile kontrol ederek yapılır (MiaoTan ve diğ., 2016).

5.1.5. Şebeke Yük ve Frekans Yönetimi

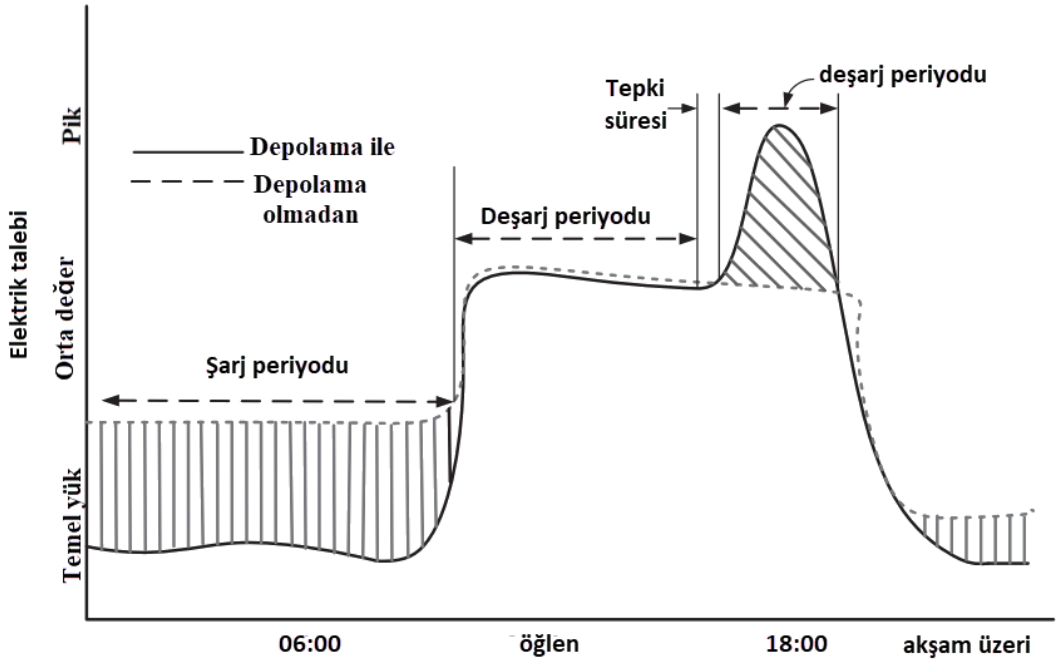
Frekans, sistem talebi ve üretimi dengelenerek kontrol edilir. Sistemde önemli bir güç dengesizliği olduğunda, frekans büyük bir sapma gösterecektir. Ulusal enterkonnekte sistemde şebekenin frekansı belirli bir seviyede tutulması gerekmektedir. Herhangi bir enerji besleme kaynağında oluşacak büyük bir arıza neticesinde oluşabilecek frekans düşümlerini minimize edebilmek için ve sistemin kalanının kararlılık ve sürekliliği sağlamak için yük atma işlemi gerçekleştirilir. Enterkonnekte sistemin büyüklüğü göz önüne alındığında elektrikli araçların birincil frekans kontrolünde etkisi sisteme bağlı olan elektrikli araç sayısı ve deşarj durumuna göre değişebilmektedir. Frekans dalgalanmalarının daha fazla olduğu, ada modundaki izole şebekelerde veya dağıtık şebekelerde elektrikli araçlar üretime katılarak güç sisteminin kararlılığını sağlamakta önemli rol oynayabilir. Yapılan çalışmada elektrikli araçların şebekeye entegrasyonunun, frekans sapmalarını önemli ölçüde azaltarak şebekeyi stabilize edebileceğini göstermektedir (Mu ve diğ., 2012). V2G şarj istasyonları için ortaya konulan diğer bir önemli konu ise şebekeye bağlı durumda olan bu istasyonların reaktif güç desteği ve harmonik filtreleme gibi fonksiyonları gerçekleştirerek elektrik şebekesine destek sağlayabilmesidir.

EN50160 standardı 49.0 Hz ve daha azı için şebekelerde yük atma sistemini zorunlu tutar. Tüketici yüklerinin yük-atma sistemi, dağıtım fiderlerinin kontrolündedir. Şarj İstasyonu Kontrol Merkezlerine frekans ölçücü sistemler ilave edilerek şebekedeki ani yük atmaların önüne geçilebilir (ur Rehman ve Riaz, 2017).

5.1.6. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Destek

Gücünü doğadan alan, sürdürülebilir, çevreye zararı çok az olan, kaynağı tükenmeyen enerji çeşitlerine yenilenebilir enerji denir. Rüzgâr, güneş, dalga gibi yenilenebilir enerji kaynakları kesintili olmakla birlikte doğası gereği değişkendir. Örneğin, güneş enerjisinden yazın öğlen vakti etkin bir şekilde faydalanabilirken, akşamları ise güneş enerjisinden elektrik üretimi çok düşüktür. Bu kapsamda enerji depolama sistemleri

enerjinin sürekliliği ve kesintisiz olması için önem taşımaktadır. Gündüz üretilen elektriğin çoğu bu sistemlerle depolanır ve ihtiyaç duyulduğu anlarda şebekeye veya tüketiciye aktarılabilir. Elektrik enerjisinin kalitesi, gücü destekleme ve enerji yönetimine katkıda bulunma faydaları vardır. Elektrikli araçlarda, yenilenebilir enerjinin duyduğu bu depolama ihtiyacını akıllı şebekelerin olduğu sistemlerde sağlaması için entegre edilebilir. Bu sayede şebeke tarafında etkin bir yük yönetimi aşağıdaki Şekil 5.7'deki gibi sağlanabilir.

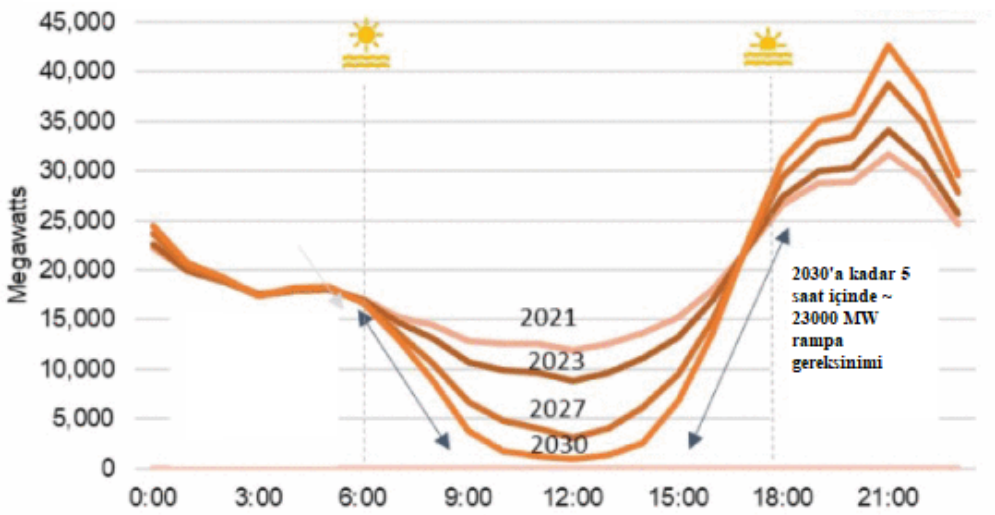


Şekil 5.7. EDS'lerin yük yönetimi (Chauhan ve Saini, 2014)

2012 yılında Kaliforniya Bağımsız Sistem Operatörü Karen ve Edson tarafından Şebeke Ölçekli Elektrik Üretiminde kullanılan ördek eğrisi terimi kullanılmıştır. Şekil 5.8'de görüleceği üzere ördeğe olan benzerliğinden dolayı Elektrik Talebi ile gün boyunca mevcut Yenilenebilir Enerji kaynakları miktarı arasındaki farkı gösterir. Rüzgâr ve güneş enerjisinin her geçen gün artan üretim kapasitesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken doğasından dolayı gün içerisinde azalıp artarken sabah ve akşam saatlerinde konvansiyonel üretim için zorlu "rampa" sorunları yarattığından, elektrik sektörü yeni ortaya çıkan kamu hizmeti gereksinimlerinin yük şekline karşı çok hassas hale gelmiştir. Enerji sağlayıcıları tarafından bu sorun, enerji arzını değişen tüketici talebine uyacak şekilde uyarlanmasını gerektirir. YEK (Yenilenebilir Enerji Kaynakları) alanındaki son gelişmeler, insanların şebeke sistemindeki YEK kullanımına daha fazla ilgi duymasına

sebep olmuştur. Üretilen temiz ve yenilenebilir enerji çok değerlidir ve israf edilmemelidir. Ancak, YEK'lerin özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi gibi öngörülemeyen güç çıkışı kullanımını sınırlamaktadır. Bu durum, şebeke güvenliğinden sorumlu olan TNO'lar (İletim Şebekesi Operatörleri) tarafından üretilen YE'nin israfını göz ardı etmek zorunda kalınmasına neden olabilir. Ördek Eğrisi, bu durumun en iyi örneklerinden biridir ve Kaliforniya'nın net enerji talep eğrisinin modelidir. YEK'lerin payının artması, Kaliforniya şebekesinde enerji talebinde aşağı yönlü bir rampa oluşmasına neden olmuş ve üç saat içinde hızlı bir şekilde kapatılması gereken dik bir yukarı yönlü rampanın oluşmasına sebep olmuştur. Bu, YE kesintisi olarak bilinen bir durumu ortaya çıkarmıştır. Günümüzde, YE kesintisi sorunu, güneş PV enerjisinin payını artıran ve YEK kullanımını sınırlamayan herhangi bir ülkede karşılaşılabilir (Dik ve Boukhanouf, 2022).

Enerji depolama sistemleri ördek eğrisinin önlenmesini ve daha doğru bir üretim/tüketim dengesinin sağlanmasında önemli bir rol oynayabilir. V2G sistemleri ile birçok elektrikli aracın bir enerji depolama veya yük olarak sisteme entegre edilmesi olası bu tarz sorunların önüne geçilmesinde önemli bir rol oynayabilir. Şekil 5.8'de Türkiye için öngörülen rampalama gereksinimleri ördek eğrisi şeklinde gösterilmektedir.



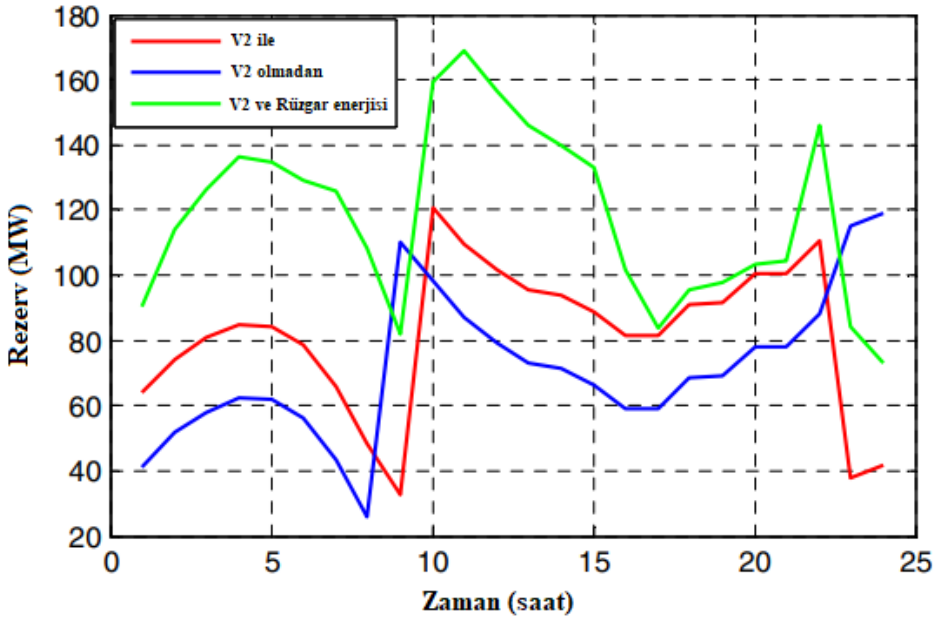
Şekil 5.8. 2021-2030 Türkiye net talep ördek eğrisi (Çetin ve diğ., 2022)

Yenilenebilir enerji kaynağı ve EA arasında uygun enerji yönetimi ile gelecekteki elektrik şebekesi daha temiz ve sürdürülebilir olacaktır.

5.1.7. Döner Yedek (Spinning Reserve)

Araçtan Şebekeye (V2G) sistemindeki döndürme rezervi, elektrik şebekesinin talebindeki beklenmedik ani talep artışından dolayı oluşan dalgalanmaları karşılamak için bir elektrikli araç tarafından hızlı bir şekilde kullanılabilir hale getirilebilen elektrik gücü miktarını ifade etmektedir. Geleneksel sistemde online olarak jeneratörlerin şebeke iletim sisteminin talebine çıkış gücüne göre talep vermesiyle sağlanır (Ravi ve Aziz, 2022).

Dönen rezerv, ani bir talep artışı durumunda şebeke istikrarını ve güvenilirliğini sağlamak için kullanılabilecek bir görünmez yedek güç biçimi olarak ifade edilir. Şekil 5.9'da elektrik şebekesinde üç farklı senaryoya göre çalışma yapılmış ve döner rezerv olarak en olumlu etkiyi V2G sisteminin yenilenebilir enerji ile entegre olduğu gözükmektedir.



Şekil 5.9. Farklı senaryolara göre döner rezerv tepkileri (Imani ve diğ., 2018)

5.1.8. V2G Servisleri ve Avantajları

Elektrikli araçlar yük olarak veya dağıtılmış depolama aygıtları olarak kullanılabilir. V2G, kesinti sırasında güç sistemine frekans düzenleme, harmonik filtreleme, enerji kalitesi ve hatta arıza kurtarma sağlayabilir. Şebekede gerilim düşümlerini azaltabilir, güç kalitesinde iyileştirme sağlayabilir ve şebeke gerilimini dengeleyebilir. Tüketici tarafından maliyet açısından avantajları bulunup ayrıca şebekeye enerji satışı ile ek gelir sağlayabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları için enerji depolama sistemi görevi

görebilmektedir. Şebekede aktif güç desteği ve reaktif güç kompanzasyonu sağlayabilmektedir. Elektrikli araçlar CO_2 ve diğer sera gazlarının etkilerini önemli ölçüde azaltmayı da sağlayabilir. Ekonomik olarak da kullanıcılara düşük çalışma faaliyet sağlayabilir (Kuşdoğan, 2017).

Birleşik Krallık 'ta yapılan bir V2G vaka analizi çalışmasına göre elektrikli araç sahiplerinin yılda yaklaşık 725 sterlin kar edebileceği, elektrik taleplerinin arttığı dönemlerde şebekeyi desteklemesiyle güçlendirebileceği ve 3,5 milyar sterlin tasarruf etme potansiyelinin olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada 2030 yılına kadar yaklaşık 11 milyon elektrikli aracın yollarda olabileceği tahmin edilmiş ve bu araçların yarısının V2G özelliğine sahip olursa yılda 22 TWh esnek kapasiteye sahip olabileceği belirtilmiştir (URL-20).

Ayrıca 2023 yılında Türkiye'nin birçok yerinde yaşanan deprem ile araçtan yüke (V2L) sistemlerinin ulusal bir afet durumunda elektrik enerjisinin sağlanması mümkün olmadığı koşullarda etkin bir çözüm olabileceği gözükmektedir. Araçlardan 220V enerji sağlanması ile telefon, aydınlatma cihazları, ısıtıcı vb. cihazlara enerji sağlanabilir.

5.1.9. V2G Dezavantajları

V2G uygulaması, elektrik şebekesine birçok avantaj ve esneklik getirecektir. Bununla birlikte, V2G henüz olgunlaşmamış yeni bir teknolojidir. V2G teknolojisini benimsemek için birçok ekonomik, teknik ve sosyal zorluğun üstesinden gelinmesi gerekmektedir.

Bataryalarda Bozulmalar: Batarya hücrelerinde, şarj etme ve deşarj döngüleri altında zamanla bozulmalar ve yıpranmalar meydana gelecektir. Batarya içerisindeki sıklıkla meydana gelen kimyasal reaksiyon, bataryanın iç direncinin artması ve kapasitesinin azalmasına neden olacaktır. Bataryaların yaşlanma oranı; şarj – deşarj oranı, gerilim, bataryanın deşarj derinliği (DoD) ve sıcaklık faktörlerine bağlıdır. Elektrikli araçların V2G teknolojisine katılımı, daha fazla batarya şarj etme ve boşaltma döngüsü gerektirir, bu da bataryanın daha hızlı bozulmasına neden olur. Ayrıca hızlı batarya şarj ve deşarj döngüleri de bataryaların daha hızlı bozulmasına neden olmaktadır. Bataryaların her geçen gün gelişen teknoloji ile uzun yaşam döngülerine sahip olmasıyla V2G sisteminde daha etkin yer alabileceği düşünülmektedir (MiaoTan ve diğ., 2016).

Yüksek Yatırım Maliyeti: Geleneksel tek yönlü güç sisteminin daha karmaşık olan çift yönlü güç sistemine, akıllı şebekelere dönüşmesi yüksek yatırım maliyeti gerektirir. Bu sistem ayrıca yazılımsal ve haberleşme yapısı için ilave maliyetlere yol açmaktadır. EA'ların çift yönlü şarj-deşarjına uygun alt yapı istasyonları kurulmalıdır. Bu sistemler karmaşık olmasıyla birlikte sıkı güvenlik gereksinimleri olan yüksek gerilim kabloları gerektirir. V2G sistemleri enerji kaybını artırabilir. V2G uygulaması, sık şarj ve deşarj döngüleri gerektirir ve bu süreçler, daha fazla dönüşüm kaybına katkıda bulunacak enerji dönüşümlerini içerir (MiaoTan ve diğ., 2016). Artan elektrikli araç kapasiteleri ile enerji sağlayıcıları mevcut şebekenin bu yük kapasitesini sağlayabilecek altyapılara hazırlıklı olmaları gerekmektedir.

Sosyal Engeller: V2G uygulamasında sistemde bulunan araç sayısının çokluğu şebekeye etkisi yönünde önemli bir yeri bulunur. Çoğu durumda elektrikli araç sahipleri tarafından beklenmedik olaylara veya acil durumlara karşı araçlarını şarjsız bırakmak istememektedirler. Bunun önlenebilmesi için de şarj istasyonlarının yaygınlığının artırılması önem arz etmektedir. Ayrıca kullanıcılar tarafından belirlenebilecek seviyeye kadar şebekeye deşarj limitinin sağlanabileceği bir yapı oluşturulabilir. Örneğin batarya şarj durumunun (SOC) %20 sine kadar belirlenen bir seviyeye kadar gerektiği durumda deşarj limitleri belirlenebilir.

V2G sisteminin kullanıcılar arasında nasıl bir görüş belirtileceği hakkında 17 kişinin katıldığı bir çalışma yapılmıştır. Kullanıcılar ile yapılan görüşmeler sonucunda sırasıyla aşağıdaki kaygılar belirtilmiştir; menzil kaygısı, kullanıcılar için oluşturulacak ara yüz, finansal olarak karşılama, bataryalarda bozulma, yeni bir teknoloji olması, kullanıcı dostu olması. Yapılan araştırma açıkça gösteriyor ki elektrikli araçların menzili kullanıcıların bu sisteme katılması önündeki en büyük engellerden biri ve kullanıcılar bunun finansal olarak deyip değmeyeceğinden emin olunmamaktadır. Fakat birçok kullanıcı bu sistemin emisyonları veya aşırı yüklenmiş şebekeleri azaltması katılımcılar tarafından cazip bulunmuştur (Ghotge ve diğ., 2022).

EA'ların Değişken Doğası: Elektrikli araçların şarj merkezlerine kalkış / varış zamanları, günlük sürüş mesafeleri, batarya boyutları, şarj cihazı / deşarj türleri vb. gibi değişken ve belirsiz doğası, elektrik şebekesinin güvenilirliğini azaltabilecek etkili parametrelerdir. Ayrıca, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji sistemleri tarafından

üretilen elektrikteki değişkenlik, şebekeyi olumsuz etkileyebilecek bir başka parametredir (Guille ve Gross, 2009).

5.2. Elektrikli Araçların Şebekeye Entegrasyonu

Çok sayıda elektrikli aracı, akıllı şebekeye entegre etmek için, araçlar arasında pillerinin şarj / deşarjı için optimum kontrol ve koordinasyon için aşağıdaki konular elektrikli araç toplayıcı tarafından dikkate alınmalıdır.

Enerji Dağıtımı: Elektrikli araçların fiziksel yapıları düşünüldüğünde araçların şebekeye bağlantısı, alçak gerilim dağıtım seviyesinden yapılmalıdır. Önceden belirlenmiş seyahat planları için daima araçların minimum enerji gereksinimlerinin karşılanabilir olması gerekmektedir.

Altyapı kurulurken, YG ve AG hatlarındaki yüzde aşırı yüklenmeler, YG ve AG yük noktalarında yüzde gerilim düşümleri, YG fiderleri ve YG/AG trafolarının yüzde kapasite kullanım faktörleri parametreleri dikkate alınmalıdır (URL-3).

Enerji dağıtımının yönetimi için hangi fider'den ne kadarlık bir güç ile bağlandığı belirlenebilmeli, Veriye dayalı bir şebeke dağıtım yönetimi merkezi oluşturulmalı, yeni mevzuatlara göre standartlaştırılmış bir yöntem geliştirilmelidir. Birden fazla kullanıcının şebekenin gücünü eşit ve adil paylaşabilmesi için mikro şebeke altyapısı hazırlanmalı, nesnelerin interneti gibi unsurların kullanılması, gerekirse gün içerisindeki dağıtım bedelinin zaman aralıklarında ölçülmesi gerekebilir. Aksi takdirde birçok şarj istasyonu altyapısı yönetimi ve dağıtımında zorluklar meydana gelecektir (URL-18).

Maliyet Minimazsyonu: Enerji kaynaklarındaki değişiklik ve dalgalanmalar neticesinde elektrik fiyatları önümüzdeki yıllarda değişken olabilir. Fakat kontrol merkezleri araç sahiplerinin bir sonraki planlanmış seyahatleri için gerekli şarjı alınırken, ücretlerin optimum olması ile ilgilenmelidir (MiaoTan ve diğ., 2016).

Kısıtlamadan Kaçınma: Elektrikli araçlar şebekeye bağlı ve şarj olmayı beklerken dağıtım şebekesinde büyük bir yük uzun bir süre sistemde bağlı olabilir. Şebekenin mevcut altyapısı düşünülerek araç şarj durumlarının belirlenmesi önemlidir (MiaoTan ve diğ., 2016).

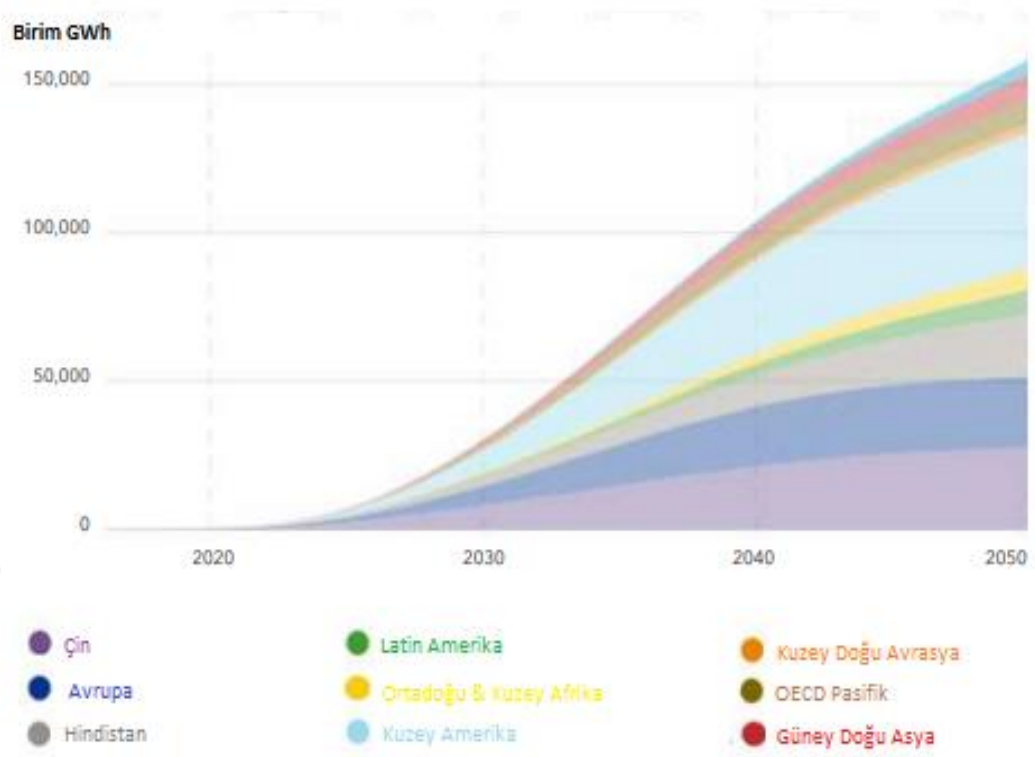
5.3. Araçtan Şebekeye Yapısının Geleceği

Gelecekte mevcutta kullanılan ulaşım araçlarına kıyasla elektrikli araçların birçok avantaj ve fayda getireceği aşikardır. Elektrikli araçlar ile V2G sistemi, yük dengeleme, yedek güç kaynağı, yük düzenleme ve yenilenebilir enerji ile entegre depolama sistemi görevi görebileceği birçok hizmet sunmaktadır. Bu faydaları sağlayabilmek için öncelikle altyapını sorunları, maliyet ve akıllı şebekeler için geçiş altyapılarının oluşturulması gerekmektedir.

Japonya'da yaşanan son deprem felaketinin ardından pek çok yer enerjisiz kalmıştır. Bu olay, Nissan'a, ev enerji tüketiminin EA'lar tarafından karşılanabileceği bir araçtan eve (V2H) enerji depolama sistemi yaratması için ilham vermiş ve Nissan Leaf'in 24 kWh pilinin bir eve 2 güne yakın bir süre güç sağlayabildiği görülmüştür. Bu tür faydalar ile şebeke düzenleme rejimlerinin iyileştirilmesi ve ek gelir yaratma potansiyeli elektrikli araç sahipliğini giderek daha çekici hale getirmektedir (Altın ve Sarp, 2020).

EA teknolojisi için gelecekteki önemli konulardan biri, şarj sürelerinin iyileştirilmesidir. Şu anda hızlı şarj EA'ların pilinin toplam şarj kapasitesinin%80'ine ulaşmak için 15-30 dakikalık şarj süresi içerir. İçten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslandığında EA'lar için şarj sürelerinin gelecekte 5 dakika gibi daha kısa sürelere indirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Daha hızlı şarj süreleri V2G ile şebekedeki frekans düzenlemelere etkisi olacağı düşünülmektedir. Frekans düzenlemenin sağlanmasıyla elde edilecek gelirin 2022'ye kadar 190 milyon dolar olabileceği tahmin edilmektedir (Altın ve Sarp, 2020). Şarj sürelerinin iyileştirilmesi aynı zamanda kullanıcılar için V2G sistemlerini kullanmaktaki sosyal çekincelerin önüne geçmesi için de önemli bir çözüm yöntemi olacaktır.

Gün geçtikçe sayıca artan EA'lardaki enerji kapasitesini kullanmak için büyük bir potansiyel bulunmaktadır. Şekil 5.10'da, 150.000 GWh'nin üzerinde depolama kapasitesini gösteren bölgelere göre tüm EA'ların beklenen depolama kapasitesini gelecek tahminine göre göstermektedir. Bu 2050 yılına kadar pompalanan hidro dahil olmak üzere tüm sabit enerji depolamalarından 5 kat daha fazla enerji kapasitesini temsil etmektedir.



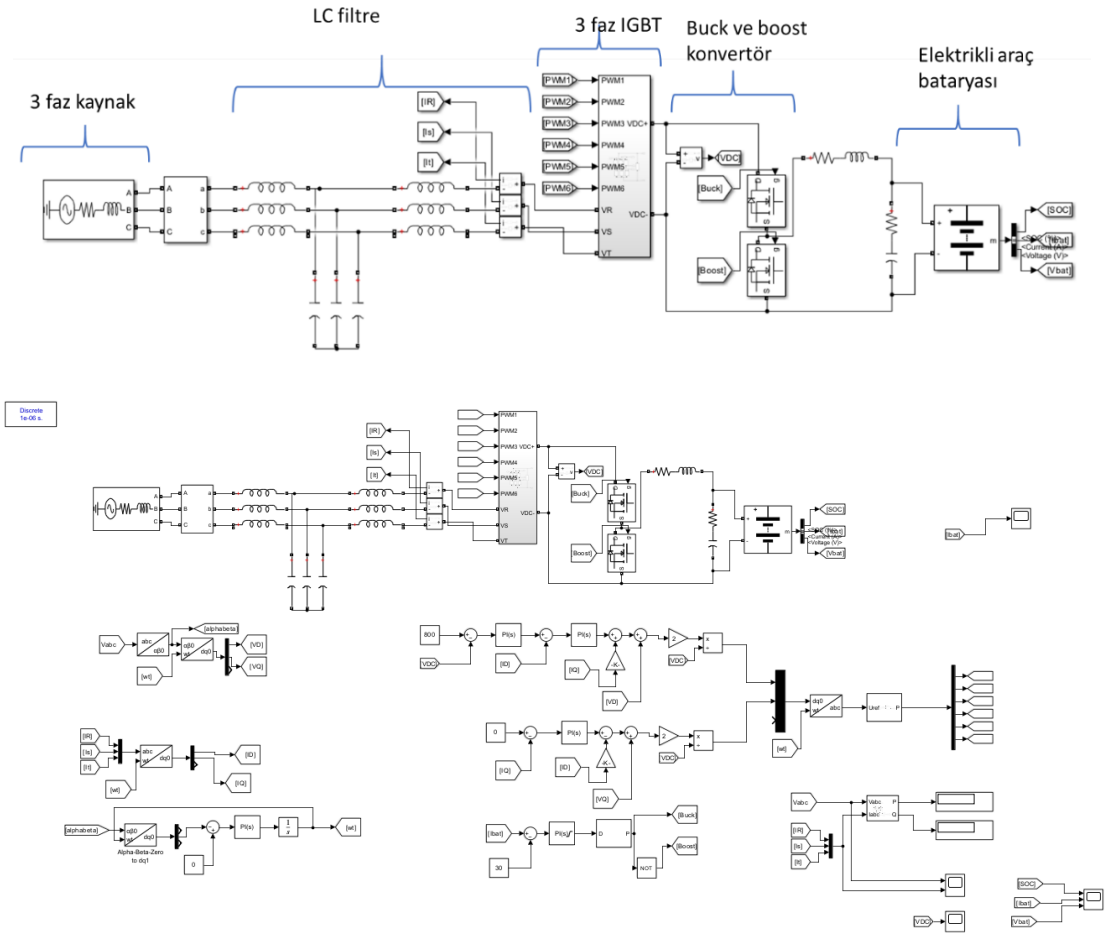
Şekil 5.10. Elektrikli araçların küresel depolama kapasitesi (URL-21)

Türkiye'de FlexiGrid ve Oedaş tarafından Eskişehir'deki Tepebaşı Yaşam Köyü'ne araçtan şebekeye enerji transferi sağlayan V2G uyumlu şarj istasyonu ile deneme çalışmaları yapılmaktadır Bu proje aynı zamanda Avrupa Birliği Horizon 2020 araştırma ve inovasyon tarafından desteklenmektedir (URL-5).

Yakın gelecekte daha akıllı bir altyapıya ihtiyaç duyulması, bataryaların aşınması ve haberleşme güvenliği ile ilgili çekinceler bulunmaktadır. V2G sistemlerinin çift yönlü güç akışı kapasitesinden yararlanmak için, bu alanlarda uygulanabilir çözümlerin yanı sıra daha fazla araştırma ve geliştirmenin tamamlanması gerekmektedir.

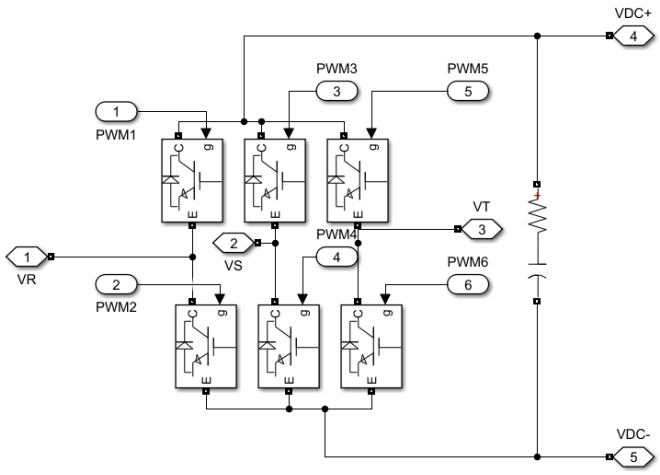
5.4. Araçtan Şebekeye Matlab Simulasyonu

Matlab Simulink programında 3 fazlı bir şebeke, LC filtre, evirici, çevirici, DC/DC buck ve boost konvertör, elektrikli araç bataryası modeli, kontrol blokları, dönüşüm blokları ve ölçüm blokları üç fazlı bir sistem için tasarlanarak araçtan şebekeye - V2G ve şebekeden araca – G2V olarak enerji aktarımına ait simülasyon Şekil 5.11'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 5.11. Araçtan Şebekeye Matlab Simulink Modeli

Şebeke gerilimi 415V AC ve frekans 50 Hz olarak seçilmiştir. Şekil 5.12'de Üç fazlı IGBT evirici köprü şeması gözükmektedir. Çevirici sayesinde DC gerilim AC'ye dönüştürülür ve sinüzoidal bir dalga elde edebilmek için de filtreler kullanılmaktadır.

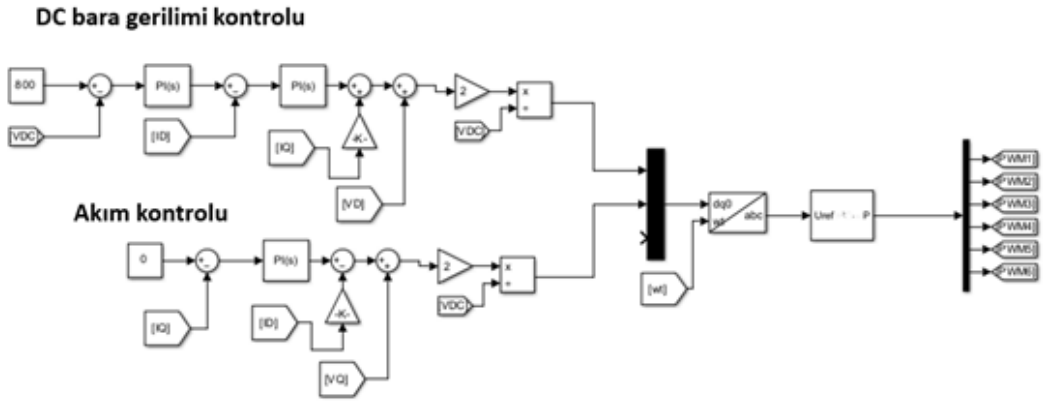


Şekil 5.12. Üç fazlı IGBT köprü şeması

Batarya modeli elektrik şebekesine bağlı bir elektrikli aracın eşdeğeri olan DC bir kaynak olarak düşünülmüştür. Batarya nominal gerilimi 360 V olup ilk Şarj Durumu (SOC) %50 olarak ayarlanmıştır, batarya kapasitesi 300 Ah'ye ve batarya tepki süresi 1 Saniye'ye eşit olarak ayarlanmıştır.

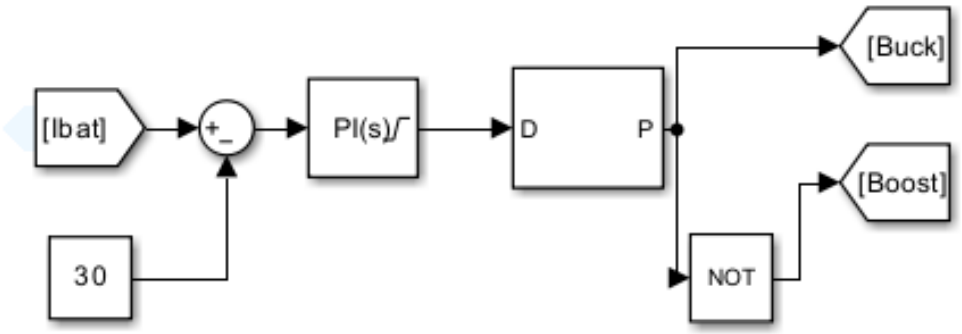
V2G veya G2V enerji aktarımı esnasında gerilimi kontrol etmek için çift yönlü bir buck-boost dönüştürücüsü kullanılmıştır. G2V operasyon modunda şebeke gerilimi batarya geriliminden yüksek olduğundan buck dönüştürücü aktif olur, boost dönüştürücü devre dışı olmaktadır. V2G modunda da bu durumun tam tersi gerçekleşmektedir.

Şekil 5.13'te gerilim ve akım kontrol blokları ile PWM anahtarlaması yapılarak Evirici kontrolü sağlanmaktadır.



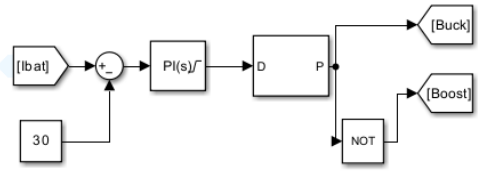
Şekil 5.13. Gerilim ve akım kontrol blokları

Şekil 5.14'te batarya akım kontrol blokları gösterilmiştir. Batarya akımına göre PI kontrolüyle buck veya boost dönüştürücüler kontrol edilir.



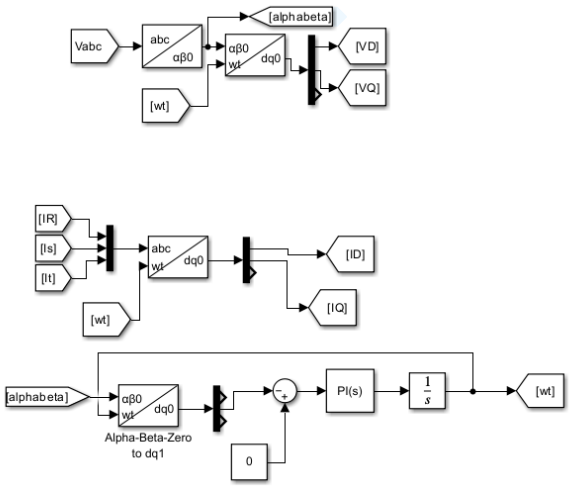
Şekil 5.14. Batarya akım kontrol blokları

V2G çalışma durumunda akım kontrol referans değeri 30 olarak seçilir, G2V çalışma esnasında referans değeri -30 olarak seçilmiştir. Anahtarlama frekansı 10 kHz'e eşit olan bir DC-DC PWM darbe üretici kullanılmıştır. Kontrolör PI tipindedir; P (oransal) = 0.005 ve I (İntegral) = 10. Çıkış doygunluk parametreleri için çıkış 0 (alt limit) ve 0,95 (üst limit) arasında sınırlandırılmıştır. Buck-boost dönüştürücü için MOSFET kullanılmıştır. Filtre endüktansı 20 mH'ye, Çıkış kapasitansı 0,625 µF'ye eşittir.



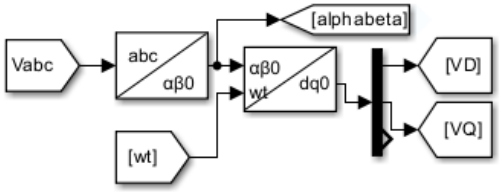
Şekil 5.14. Batarya akım kontrol blokları

Akım ve gerilim kontrol blokları Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5.15. Akım ve gerilim kontrol blokları

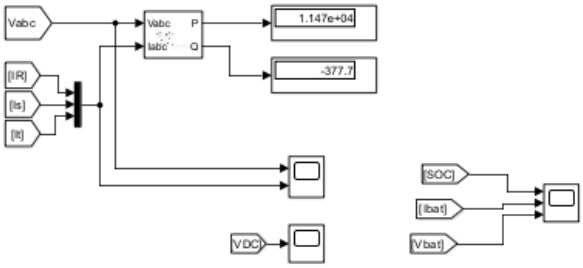
Evirici kontrol blokları Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. Evirici kontrol blokları

"abc to αβ0" bloğu üç fazlı (abc) sinyalden αβ0 sabit referans çerçevesine bir Clarke dönüşümü gerçekleştirir.

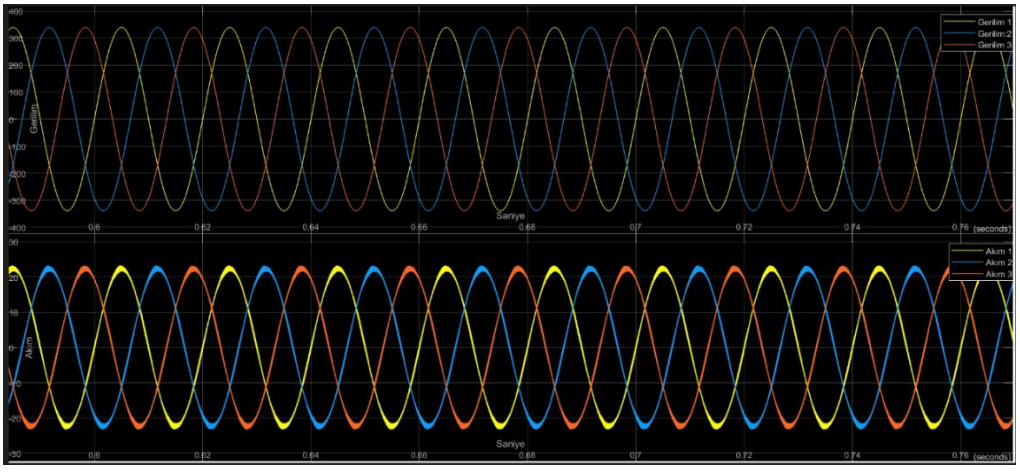
Şekil 5.17'de akım, gerilim, SOC, batarya akımı ve gerilimi ölçümlerine ait bloklar verilmiştir.



Şekil 5.17. Ölçüm blokları

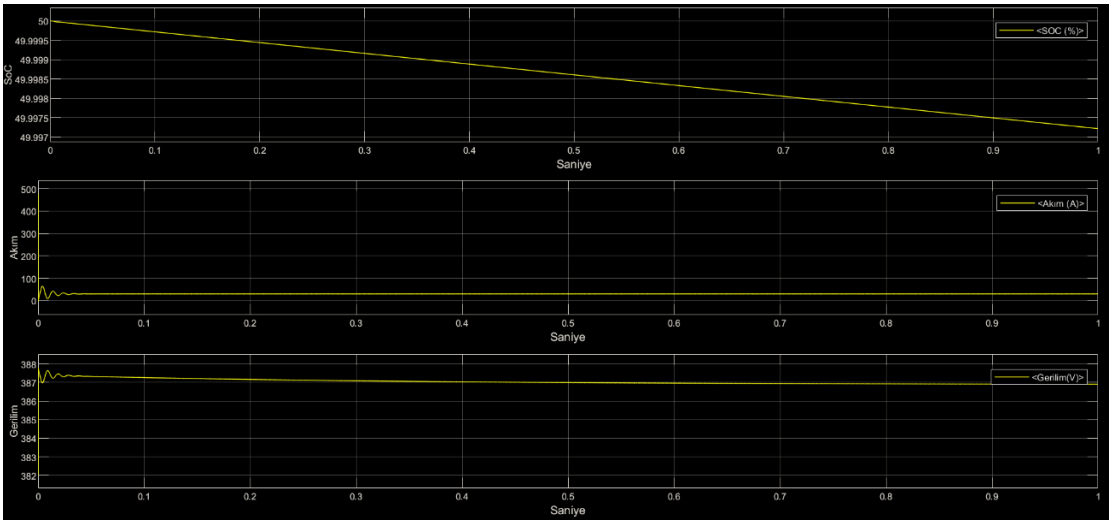
5.4.1. Araçtan Şebekeye Çalışma Modu (V2G)

Araçtan şebekeye çalışma modunda batarya tarafından şebekeye bir güç akışı olmaktadır. Şekil 5.18'de araçtan şebekeye enerji akışındaki akım ve gerilim grafikleri verilmiştir. Araçtan şebekeye enerji aktarımı esnasında gerilim ve akım aynı fazda hizalanmaktadır.



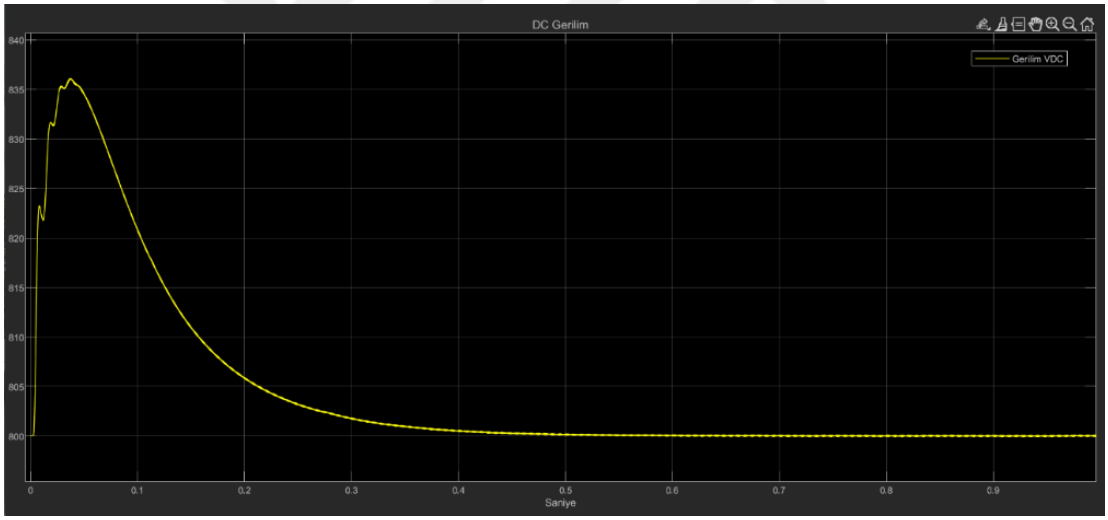
Şekil 5.18. V2G dönüştürücü gerilim ve akım simülasyonu

V2G esnasında bataryadan şebekeye enerji aktarımı olduğundan SOC değeri Şekil 5.19'de görüldüğü üzere azalmaktadır. SoC başlangıç değeri yüzde 50 olarak belirlendiği için deşarj bu değerden itibaren başlamaktadır. Diğer iki grafikte de bataryanın akım ve gerilimine ait değerler gözükmektedir.



Şekil 5.19. V2G batarya SOC, akım ve gerilim simülasyonu

Şekil 5.20'de görüldüğü üzere V2G esnasında DC bara gerilim değeri çok ani olarak dalgalanıp artarak 800VDC normal değerine geri dönmektedir.

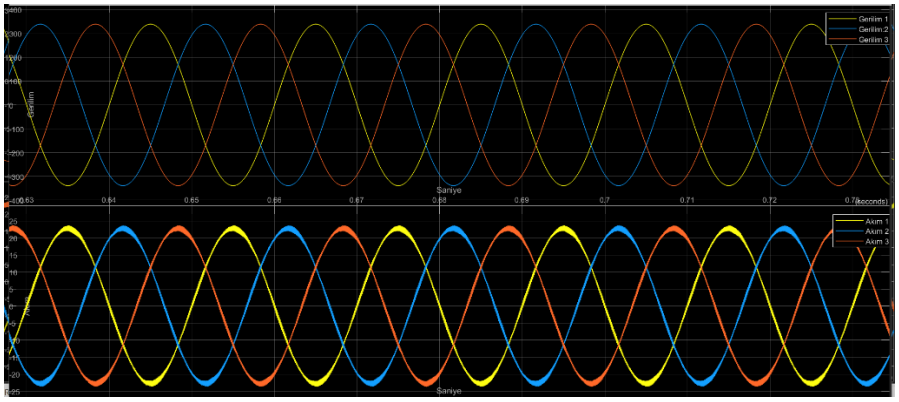


Şekil 5.20. V2G DC gerilim simülasyonu

5.4.2. Şebekeden Araca Çalışma Modu (G2V)

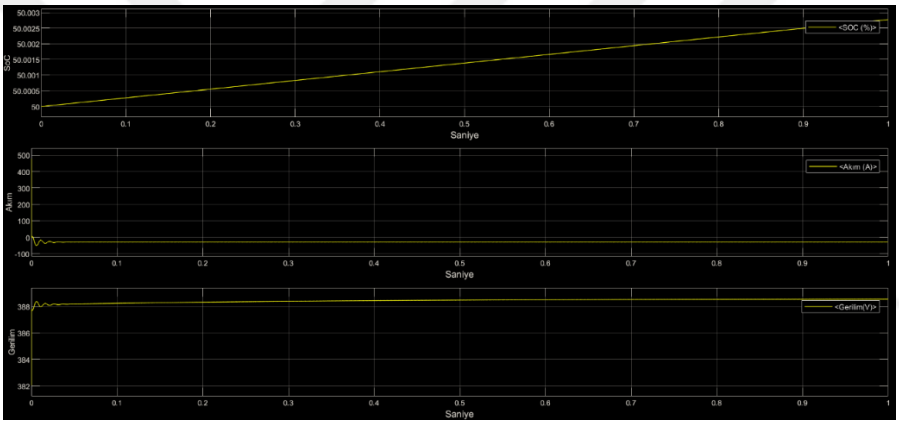
Şebekeden araca çalışma modunda enerji akışı şebekeden araca doğru bataryanın şarj olacağı yönde olmaktadır.

Şebekeden araca enerji aktarımı esnasında gerilim ve akım değerleri Şekil 5.21'deki gibidir. G2V çalışma modunda akım ve gerilim farklı fazlarda hizalanmaktadır.



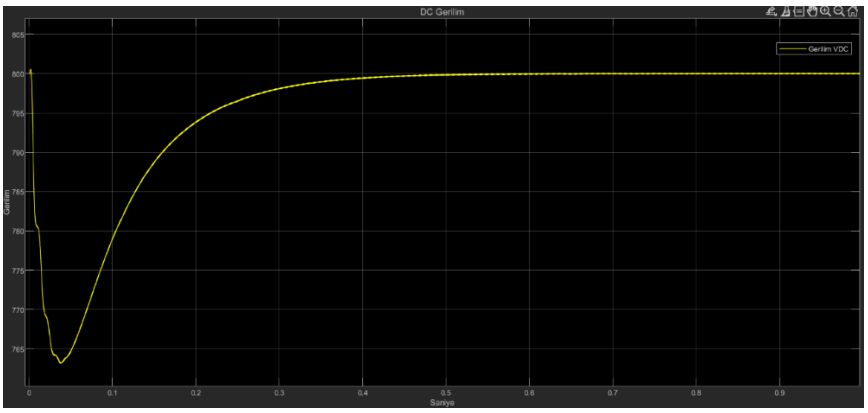
Şekil 5.21. G2V dönüştürücü gerilim ve akım simülasyonu

G2V esnasında şebekeden bataryaya enerji aktarımı olduğundan SOC değeri Şekil 5.22'de görüldüğü üzere artmaktadır ve batarya şarj olmaktadır.



Şekil 5.22. G2V batarya SOC, akım ve gerilim simülasyonu

Şekil 5.23'te görüldüğü üzere G2V esnasında DC bara gerilim değeri çok ani olarak dalgalanıp azalarak 800VDC normal değerine geri dönmektedir.



Şekil 5.23. G2V DC gerilim simülasyonu

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Elektrikli araçlar, çevre dostu ve sürdürülebilir ulaşım seçenekleri olarak gün geçtikçe daha popüler hale gelmektedir. Bu çalışmada, elektrikli araçların çeşitleri, yapısı, pazardaki gelişim durumuna ait somut rakamlar, enerji depolama çeşitleri ve bunların avantaj dezavantajları, enerji aktarımı ve araçtan şebekeye (V2G) sistemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Ulaşım sektörü sera gazına etki eden ikinci en büyük faktörlerden biridir. Bu nedenle, elektrikli araçlar fosil yakıtların neden olduğu çevresel sorunlara karşı önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Elektrikli araçlar, düşük emisyonlu ve sessiz olmaları nedeniyle çevre dostudur. Ayrıca, enerji verimlilikleri daha yüksek olduğundan, uzun vadede daha ekonomiktirler. Ancak, elektrikli araçların tercih edilmesindeki en önemli etkenlerden biri menzil mesafesidir. Elektrikli araçların menzil kapasiteleri gün geçtikçe artmaktadır. Gelişmiş batarya teknolojileri, daha yüksek kapasiteli bataryaların üretilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, hızlı şarj istasyonları ve şarj altyapısının genişlemesi, elektrikli araçların kullanımını daha da kolaylaştırmaktadır. Araçların artan güç kapasite elektrikli araçları sadece bir araç olmasının dışında aynı zamanda bir enerji depolama olanağı haline getirmektedir. Enerji depolama sistemleri, elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların yanı sıra volanlar ve yakıt hücreli depolama sistemlerini de içermektedir. Bu sistemlerin performansı, enerji yoğunluğu, güvenilirlik, ömür ve maliyet açısından değerlendirilmelidir. Yapılan çalışmalar şuana kadar bataryaların enerji depolama için en uygun seçenek olduğunu göstermektedir. Enerji aktarımı, elektrikli araçların enerji kaynağından tekerleklere enerjinin aktarımını sağlamaktadır. Bu sistemler, AC ve DC şarj sistemlerini içermekte olup, performans açısından karşılaştırılmalıdır. Yapılan çalışmalar, DC şarj sistemlerinin AC şarj sistemlerine göre daha hızlı ve verimli olduğunu göstermektedir.

Gün geçtikçe çok hızlı bir şekilde artan elektrikli araç sayıları, altyapıları ve kapasiteleri elektrikli araçların akıllı şebekelerde bir enerji kaynağı haline gelmesi fikrini ortaya çıkarmıştır. Araçtan şebekeye (V2G) sistemleri, elektrikli araçların şebekeye enerji iletmesini sağlamaktadır. Bu sistemler, araçlar park halindeyken şebekeye enerji sağlayarak şebekenin istikrarını sağlayabilir ve elektrik tedarikinde esneklik sağlayabilir. V2G sistemleri, elektrikli araç kullanıcılarına ek gelir kaynağı da sağlayabilir ve

yenilenebilir enerjiler ile entegrasyonu sağlanarak daha etkin kullanılabilir. Elektrikli araçlar, dağıtılmış depolama aygıtları veya yük olarak kullanılarak, V2G teknolojisi sayesinde kesinti sırasında güç sistemine frekans düzenlemesini, harmonik filtreleme, enerji kalitesi ve arıza kurtarma imkanları sağlayabilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları için enerji depolama sistemi görevi görebilir, şebekede aktif güç desteği ve reaktif güç kompanzasyonu sağlayabilir ve bunların sayesinde CO2 emisyonlarını azaltabilir. Sonuç olarak, elektrikli araçların enerji depolama, enerji aktarımı ve V2G sistemleri, performans, güvenilirlik, ömür ve maliyet açısından değerlendirilmelidir. Bu sistemlerin geliştirilmesi, elektrikli araçların daha geniş çapta kullanımını sağlayacak ve sürdürülebilir bir ulaşım seçeneği olacaktır.

Bu tez çalışmasında ayrıca Matlab programında elektrikli araç batarya modeliyle araçtan-şebekeye ve şebekeden-araca çalışma modları simülasyonları modellenmiştir. Daha ileri çalışmalarda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla da birleştirilerek bir mikro şebeke tasarımıyla birden çok aracın devreye girmesi ve devreden çıkması daha detaylı çalışmalarla incelenebilir. Bir şebekedeki arıza anında elektrikli araçların aktif güç veya frekans desteğinin hangi ölçülerde katkıda olabileceği değerlendirilebilir. Birden çok aracın şebekeye farklı şarj yüzdelerinde ve kapasitelere göre devreye girmesi, devreden çıkması, yenilenebilir enerjinin oluşturduğu ördek eğrisindeki rampa sorunlarına sağlayabileceği faydalar incelenebilir.

Öneriler: V2G teknolojisi henüz olgunlaşmamış bir teknolojidir ve benimsenmesi için ekonomik, teknik ve sosyal zorlukların üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, V2G sistemleri geliştirilirken, batarya yaşlanması ve yüksek yatırım maliyetleri, mevcut şebeke altyapısının uygun hale getirilmesi gerekliliği gibi zorluklar da dikkate alınmalıdır. Kullanıcılar için bataryaların yaşlanması ve yenisi ile değişmesi gibi teknik çekinceler, V2G sistemi kullanıcıları için amortisma süresi uygun olacak teşvik koşulları düzenlenmeli ve sağlanmalıdır. Elektrikli araçlara V2L ve V2H özelliği ile, ulusal afet durumlarında elektrik enerjisi sağlanabilir. V2G teknolojisinin daha yaygın olarak benimsenmesi ve uygulanması, elektrikli araçların kullanımının artması ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanılması için önemlidir. Enerji depolama sistemleri için daha verimli ve güvenilir batarya teknolojilerinin geliştirilmesi önemlidir. V2G sistemlerinin daha yaygın kullanımı için mevcut enerji sağlayıcıları tarafından altyapılar

gerek kapasite gerekse teknoloji olarak hazırlanmalı, etkin bir toplayıcı ara yüzü oluşturulmalı, devlet teşvikleri sağlanmalı, araç kullanıcılarının bu sisteme kolay ve daha istekli katılımları sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Altın, N., & Sarp, M. (2020). Review on vehicle-to-grid systems: The most recent trends and smart grid interaction technologies. *Gazi University Journal of Science, 33*(2), 394-411. DOI:10.35378/gujs.554206

Aykaç, C, B. (2021). Elektrikli Taşıtlardaki Enerji Depolama ve Dağıtım Sistemleri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 683656.

Balducci, A., Dugas, R., Taberna, P., Simon, P., Plee, D., Mastragostino, M., & Passerini, S. (2007). High temperature carbon-carbon supercapacitor using ionic liquid as electrolyte. *J. Power Sources*, *165*(2), 922–927. DOI:10.1016/j.jpowsour.2006.12.048

Bayındır, K. Ç., Gözüküçük, M. A., & Teke, A. A. (2011). A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: Powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units. *Energy Conversion and Management, 52*(2), 1305-1313. DOI:10.1016/j.enconman.2010.09.028

Berjoza, D., & Jurgena, I. (2017). Effects of change in the weight of electric vehicles on their performance characteristics. *Agronomy Research, 15,* 952-963.

Bibak, B., & Tekiner-Moğulkoç, H. (2021). A comprehensive analysis of Vehicle to Grid (V2G) systems and scholarly literature on the application of such systems. *Renewable Energy Focus, 36,* 1-20. DOI:10.1016/j.ref.2020.10.001

Blumbergs, E., Serga, V., Platacis, E., Maiorov, M., & Shishkin, A. (2021). Cadmium recovery from spent Ni-Cd batteries: a brief review. *Metals, 11*(11), 1714. DOI:10.3390/met11111714

Çengel, Y., & Boles, M. (1996). *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*.(T. Derbentli, Çev.). İstanbul: Literatür Yayıncılık.

Çetin, A., Sancar, S., Bayatmakoo, A., Kaya, K., Ozen, C., & Poyrazoglu, G. (2022). Reassessment of Bill Management by Batteries with Various TOU Tariffs: A Pilot Project from Turkey. *3rd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)*, 1-6. DOI: 10.3390/en14102860

Chauhan, A., Saini, R. P. (2014). A review on Integrated Renewable Energy System based power generation for stand-alone applications: Configurations, storage options, sizing methodologies and control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38,* 99-120. DOI:10.1016/j.rser.2014.05.079

Demirok, Ç., Özçelik Yanık, D., Yeşil, D., Özer, F., Yıldızca, O., & Şentürk, Z. (2021). *Elektrikli Araçlar ve Depolama Teknolojileri Bilgilendirme Notu*. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası,

https://www.tskb.com.tr/uploads/file/2069293aa9ac7bbf7dbb8f23e348ed4d-1639465268525.pdf, (Ziyaret tarihi: 13 Mayıs 2022)

Dik, A., Omer, S., & Boukhanouf, R. (2022). Electric Vehicles: V2G for Rapid, Safe, and Green EV Penetration. *Energies, 15*(3), 803. DOI: 10.3390/en15030803

Efe, Ş., & Güngör, Z. (2021). Geçmişten Günümüze Batarya Teknolojisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 32*, 947-955.

Emadi, A., Lee, Y., & Rajashekara, K. (2008). Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on industrial electronics*, *55*(6), 2237-2245. DOI:10.1109/TIE.2008.922768

Erce, H. (2021). *Otomobil ve Hafif Ticari Araç Pazarı Basın Bülteni 02 Mart 2021*. Otomotiv Distributörleri Derneği, http://www.odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/2871/ODD%20Bas%C4%B1n%20Bulteni%202%20Mart%202021.pdf, (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2022)

Erhan, K. (2018). Hibrit ve elektrikli araçlarda volan ve ultrakapasitör teknolojilerinin kullanımının incelenmesi ve volan enerji depolama ünitesinin prototip üretimi, Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 521171.

Erjavec, J. (2012). *Hybrid, Electric, and Fuel-cell Vehicles* (3rd ed.). Cengage Learning.

Franco, A. (2013). *Polymer Electrolyte Fuel Cells: Science, Applications, and Challenges*, New York: Jenny Standford Publishing.

Garcés Quílez, M., Abdel-Monem, M., El Baghdadi, M., Yang , Y., Van Mierlo, J., & Omar , H. (2018). Modelling, analysis and performance evaluation of power conversion unit in g2v/v2g application—A review. *Energies*, *11*(5), 1082. DOI:10.3390/en11051082

Garche, J., Moseley, P., & Karden, E. (2015). Lead–acid batteries for hybrid electric vehicles and battery electric vehicles. *In Advances in battery technologies for electric vehicles*, 75-101. Woodhead Publishing. DOI:10.1016/B978-1-78242-377-5.00005-4

Ghotge, R., Nijssen, K., Annema, J., & Lukszo, Z. (2022). Use before You Choose: What Do EV Drivers Think about V2G after Experiencing It?. *Energies, 15*(3), 4907. DOI: 10.3390/en15134907

Guille, C., & Gross , G. (2009). A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation. *Energy policy*, *37*(11), 4379-4390. DOI:10.1016/j.enpol.2009.05.053

Güray B,Ş., Merdan, E. (2022). *Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü 2021*, Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi, https://iicec.sabanciuniv.edu/tr/tevo, (Ziyaret tarihi: 01 Temmuz 2022).

Habib, A., Hasan, M., Motakabber, S., Motakabber, S., Ibrahimya, M., & Islam, S. (2021). A review: Energy storage system and balancing circuits for electric vehicle application. *IET Power Electronics*, *14*(1), 1-13. DOI:10.1049/pel2.12013

Habib, A., Motakabber, S., & Ibrahimy, M. (2019). A comparative study of electrochemical battery for electric vehicles applications. *IEEE International Conference on Power, Electrical, and Electronics and Industrial Applications (PEEIACON)* (pp. 43-47). IEEE. DOI:10.1109/PEEIACON48840.2019.9071955

Habib, S., Kamran, M., & Rashid, U. (2015). Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks–a review. *Journal of Power Sources*, *277*, 205-214. DOI:10.1016/j.jpowsour.2014.12.020

Hannah, M., Hoque, M., Mohamed, A., & Ayob, A. (2017). Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *69*, 771-789. DOI:10.1016/j.rser.2016.11.171

He, J., Ao, G., Guo, J., Chen, Z., Yang, L. (2009). Hybrid electric vehicle with flywheel energy storage system. *WSEAS Transactions on Systems*, *9*(15), 638-648.

Hoogers, G. (2002). *Fuel Cell Technology Handbook*, Boca Raton: CRC press.

Imani, M., Yousefpour, K., Ghadi, M., & Andani, M. (2018). Simultaneous presence of wind farm and V2G in security constrained unit commitment problem considering uncertainty of wind generation. *2018 IEEE Texas power and energy conference (TPEC)*, 1-6. DOI:10.1109/TPEC.2018.8312082

Kandalkar, S., Dhawale, D., Kim, C., & Lokhande, C. (2010). Chemical synthesis of cobalt oxide thin film electrode for supercapacitor application. *Synthetic Metals*, *160*(11-12), 1299–1302. DOI:10.1016/j.synthmet.2010.04.003

Kempton, W., & Letendre, S. (1997). Electric vehicles as a new power source for electric utilities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *2*(3), 157-175. DOI: 10.1016/S1361-9209(97)00001-1

Kerem, A. (2014). Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *5*(1), 1-13.

Koç, E., & Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, *56*(668), 36-47.

Kuşdoğan, Ş. (2017). *Akıllı Şebekelere Elektrikli Araçların Entregrasyonu ve Taşıttan Şebekeye V2G Uygulamaları*, EMO, https://www.emo.org.tr/ekler/f13bc4c93579242_ek.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Temmuz 2022).

Largeot, C., Portet, C., Chmiola, J., Taberna, P., Gogotsi, Y., & Simon, P. (2008). Relation be- tween the ion size and pore size for an electric double-layer capacitor. *Journal of the American Chemical Society*, *130*(9), 2730–2731. DOI:10.1021/ja7106178

Larminie, J., Dicks, A., & McDonald, M. (2003). *Fuel cell systems explained*. (2nd ed.). Chichester, UK: J. Wiley.

Liu, C., Chau, K. T., Wu, D., & Gao, S. (2013). Opportunities and challenges of vehicle-to-home, vehicle-to-vehicle, and vehicle-to-grid technologies. *Proceedings of the IEEE, 101*(11), 2409-2427. DOI:10.1109/JPROC.2013.2271951

MiaoTan, K., Ramachandaramurthy, V., & YingYong, J. (2016). Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 53*, 720-732. DOI:10.1016/j.rser.2015.09.012

Mu, Y., Wu, J., Ekanayake, J., Jenkins, N., & Jia, H. (2012). Primary frequency response from electric vehicles in the Great Britain power system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *4*(2), 1142-1150. DOI:10.1109/TSG.2012.2220867

Nair, N., & Garimella, N. (2010). Battery energy storage systems: Assessment for small-scale renewable energy integration. *Energy and Buildings*, *42*(11), 2124-2130. DOI:10.1109/TENCON.2009.5395831

Olabi, A. (2017). Renewable energy and energy storage systems. *Energy, 136*, 1-6. DOI:10.1016/j.energy.2017.07.054

Petrucci, R., Herring, G., & Madura, J. (2010). *General chemistry: principles and modern applications.* (11rd ed.). Pearson Prentice Hall.

Pillot,, C. (2011). HEV, P-HEV and EC market 2010–2020 - Impact on the battery business. *In 4th International congress on automotive battery technology, Wiesbaden*, 1-3.

Polat, B., & Keleş, Ö. (2012). Lityum iyon pil teknolojisi. *Metalurji Dergisi*, *162*, 42-48.

Ravi, S., & Aziz, M. (2022). Utilization of electric vehicles for vehicle-to-grid services: progress and perspectives. *Energies*, *15*(2), 589. DOI: 10.3390/en15020589

Ritchie, H., Roser , M., & Rosado , P. (2022), *Energy*, Our world in data, https://ourworldindata.org/energy, (Ziyaret tarihi: 25 Nisan 2022).

Ritchie, H. (2020). *Cars, planes, trains: where do CO2 emissions from transport come from?*, Our world in data, https://ourworldindata.org/co2-emissions-from/, (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2022).

Ritchie, H., Roser , M., & Rosado , P. (2020). *CO_2 and Greenhouse Gas Emissions*, Our world in data, https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions, (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2022).

Sanguesa, J., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F., & Marquez-Barja, J. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, *4*(1), 372-404. DOI: 10.3390/smartcities4010022

Sbordone, D., Bertini, I., Di Pietra, B., Falvo, M., Genovese, A., & Martirano, L. (2015). EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm. *Electric Power System Research*, 120, 96–108. DOI:10.1016/j.epsr.2014.07.033

Shariff, S., Danish , I., Alam, M., & Ahmad, F. (2019). A state of the art review of electric vehicle to grid (V2G) Technology. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *561*(1), 12103. DOI:10.1088/1757-899X/561/1/012103

Sharma, S., Panwar, A., & Tripathi, M. (2020). Storage technologies for electric vehicles. *Journal of traffic and transportation engineering (english edition)*, *7*(3), 340-361. DOI:10.1016/j.jtte.2020.04.004

Shrestha, S., & Timothy, M. (2016). Spatial-temporal stochasticity of electric vehicles in an integrated traffic and power system. *IEEE International Conference on Electro Information Technology*, (pp. 0227-0232). IEEE. DOI:10.1109/EIT.2016.7535245

Suberu, M., Mustafa, M., & Bashir, N. (2014). Energy storage systems for renewable energy power sector integration and mitigation of intermittency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *35*, 499-514. DOI:10.1016/j.rser.2014.04.009

Şefkat, G. & Özel, M. A. (2018). PEM Yakıt Pilinin Simulink Modeli ve Analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* , *23*(2) , 351-366 .

Tezdel, E., & Okumuş, H. (2018). Batarya Modelleri ve Şarj Durumu (SoC) Belirleme. *EMO Bilimsel Dergi*, *8*(1), 21 – 25.

Theodore, B., & Chaudhry, H. (2012). Overview of SAE standards for plug-in electric vehicle. *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, (pp. 1-7). IEEE. DOI:10.1109/ISGT.2012.6175597

Tuncay, R., & Üstün, Ö. (2004). Otomotiv elektroniğindeki gelişmeler. *IX. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu Bursa*, *5*, 27-28.

ur Rehman, U., & Muhammad , R. (2017). Vehicle to grid system for load and frequency management in smart grid. *International Conference on Open Source Systems & Technologies (ICOSST)*, (pp. 73-78). IEEE. DOI:10.1109/ICOSST.2017.8279008

URL-1:https://www.energy.gov/timeline/timeline-history-electric-car, (Ziyaret tarihi: 25 Kasım 2022).

URL-2:https://www.aspilsan.com/idef21i-buyuk-bir-gurur-ile-tamamladik, (Ziyaret tarihi: 31 Ağustos 2021).

URL-3:https://enerji360.com/e-mobility/elektrik-sebekemiz-elektrikli-araclara-hazir-mi, (Ziyaret tarihi: 4 Nisan 2021).

URL-4:https://www.fordotosan.com.tr, (Ziyaret tarihi: 04 Mayıs 2022).

URL-5:https://flexigrid.org/vehicle-2-grid-at-flexigrids-turkish-pilot/, (Ziyaret tarihi: 29 Aralık 2022).

URL-6:https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-models-available-globally-and-average-range-2015-2020-2, (Ziyaret tarihi: 27 Ekim 2022).

URL-7:https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer, (Ziyaret tarihi: 26 Kasım 2022).

URL-8:https://www.iea.org/reports/electric-vehicles, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2022).

URL-9:https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2022, (Ziyaret tarihi: 4 Şubat 2022).

URL-10:https://karsan.com.tr, (Ziyaret tarihi: 12 Nisan 2022).

URL-11:https://maxwell.com/products/ultracapacitors/, (Ziyaret tarihi: 15 Nisan 2023).

URL-12:https://www.nissanusa.com/vehicles/electric-cars/leaf/features/range-charging-battery.html, (Ziyaret tarihi: 19 Mart 2022).

URL-13:https://www.tehad.org/2022/01/16/2021-yili-elektrikli-ve-hibrid-satis-rakamlari-belli-oldu/, (Ziyaret tarihi: 15 Aralık 2021).

URL-14:https://temsa.com.tr, (Ziyaret tarihi: 12 Nisan 2022).

URL-15:https://www.tesla.com/blog/model-s-long-range-plus-building-first-400-mile-electric-vehicle, (Ziyaret tarihi: 19 Mart 2022).

URL-16: https://shorturl.at/evEUW, (Ziyaret tarihi: 19 Mart 2022)

URL-17:https://www.transportengineer.org.uk/article-images/83807/Spinning_wheel.pdf, (Ziyaret tarihi: 21 Haziran 2022).

URL-18:https://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/TAS%20TR.pdf, (Ziyaret tarihi: 26 Haziran 2022).

URL-19:https://www.statista.com/statistics/883118/global-lithium-ion-battery-pack-costs/, (Ziyaret tarihi: 20 Aralık 2022)

URL-20:https://www.ofgem.gov.uk/publications/case-study-uk-electric-vehicle-grid-v2g-charging, (Ziyaret tarihi: 01.02.2023)

URL-21:https://www.dnv.com/Publications/v2g-a-market-overview-165866, (Ziyaret tarihi: 07.03.2023)

URL-22:https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-registrations-and-market-share-in-selected-countries-and-regions-2015-2020, (Ziyaret tarihi: 07.03.2022)

Wang, K., Gu, L., He, X., Guo, S., Sun, Y., Vinel, A., & Shen, J. (2017). Distributed Energy Management for Vehicle-to-Grid Networks. *IEEE Network, 31*(2), 22 - 28. DOI:10.1109/MNET.2017.1600205NM

Yoo, H., Markevich, E., Salitra, G., Sharon, D., & Aurbach, D. (2014). On the challenge of developing advanced technologies for electrochemical energy storage and conversion. *Materials Today*, *17*(3), 110-121. DOI:10.1016/j.mattod.2014.02.014

Zhang, J., Zhang, L., Sun, F., & Wang, Z. (2018). An overview on thermal safety issues of lithium-ion batteries for electric vehicle application. *IEEE Access*, *6*, 23848-23863. DOI:10.1109/ACCESS.2018.2824838

Zhang, L. L., & Zhao, X. S. (2009). Carbon-based materials as supercapacitor electrodes. *Chemical Society Reviews*, *38*(9), 2520–2531. DOI:10.1039/b813846j

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Çelenk İ., Özdemir E. (2022). Vehicle to Grid (V2G) Energy Transfer Applications in Electric Vehicles, *Imascon Uluslararası Marmara Fen Sosyal Bilimler Kongresi,* Online, Kocaeli, Türkiye, 09-10 Aralık 2022.

Küçük C., Aksoy T., **Çelenk İ.**, Yüce M., Kılıç F.M. (2021). Electricity generation from waste gases with organic rankine cycle. *Imascon Uluslararası Marmara Fen Sosyal Bilimler Kongresi,* Kocaeli, Türkiye, 21-22 Mayıs 2021.

ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise eğitimlerini Yalova'da tamamladı. 2012 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2014 yılında DowAksa'da Elektrik ve Otomasyon Proje Mühendisi olarak görev yaptı. 2015 yılında TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi Elektrik Bakım Mühendisi olarak göreve başladı. TÜPRAŞ İzmit Rafinerisinde Elektrik Bakım Şefi ve Elektrik Proje Başmühendisi görevlerinde çalıştı. 2022 yılında TÜPRAŞ'taki görevinden ayrılarak Nutreco B.V. firmasında Global Elektrik Mühendisi Proje Müdürü olarak çalışmaya başladı. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.