

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ İNCELENMESİ:
MEVCUT DURUM VE GELECEĞİ

ZEYNEP ÖZEN

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

NİSAN 2025

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ İNCELENMESİ:
MEVCUT DURUM VE GELECEĞİ

ZEYNEP ÖZEN

DANIŞMAN
Doç. Dr. Harun ÖZBAY

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

NİSAN 2025

ONAY

Zeynep Özen tarafından hazırlanan “**Elektrikli Araçlar İçin Mobil Şarj İstasyonlarının İncelenmesi: Mevcut Durum ve Geleceği**” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Bandırma Onyedİ Eylül Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Doç. Dr. Harun ÖZBAY
(Danışman)

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ
(Üye)

Dr. Öğr. Üyesi Akif KARAFİL
(Üye)

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Ahmet AYDIN
Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Elektrikli Araçlar İçin Mobil Şarj İstasyonlarının İncelenmesi: Mevcut Durum ve Geleceği**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. .../.../...



ÖNSÖZ

Her geçen gün artan dünya nüfusuyla birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Enerjinin kullanıldığı birçok alanda fosil yakıtların kullanılıyor olması ve bu yakıtların tükenen kaynaklar olması nedeniyle enerjiyi kullanan birçok sektör alternatif enerji kaynakları arayışı içerisine girmiştir. Fosil yakıtların kullanıldığı ve alternatif enerji kaynakları ile yeni teknolojilerin üretildiği sektörlerden birisi de otomotiv sektörüdür. Bu sektörde halihazırda kullanılan içten yanmalı motor teknolojisine alternatif olarak elektrikli araç teknolojisinin tekrar gündeme gelmesi daha çevreci bir enerji türü olan elektrik enerjisinin kullanımını artırmıştır. Her geçen gün artan elektrikli araç sayısı, şarj istasyonlarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Sabit şarj istasyonu sayısının artırılmasına katkı da bulunması ve kullanıcıların menzil kaygısını azaltmaya yardımcı olması gibi faydaları ile mobil şarj istasyonları gelecek vadeden bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasını hazırladığım süre boyunca bana rehberlik eden, kendisine her danıştığım da bilgilerini ve tecrübelerini daima benimle paylaşıp bu çalışmayı bitirme hedefime ulaşmama yardımcı olan kıymetli hocam Doç. Dr. Harun ÖZBAY'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Yüksek lisans ders sürecinde bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan kıymetli Prof. Dr. Necla TEKTAŞ ve Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Tüm hayatım boyunca beni her kararında destekleyen ve bugünlere gelmeme vesile olan annem ve babama, motivasyonumun düştüğü her noktada beni tekrar motive eden kardeşlerim Leyla ve Yusuf Ziya'ya teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu hayatta her konuda bana maddi ve manevi destek olan, aldığım her kararda yanımda olan biricik hayat arkadaşım, sevgili eşim Oğuzhan'a sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ İNCELENMESİ: MEVCUT DURUM VE GELECEĞİ

Zeynep ÖZEN

Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Harun ÖZBAY

Nisan 2025, 108 sayfa

Dünya nüfusunun hızla artması ve teknolojinin ilerlemesiyle enerjiye duyulan ihtiyaç da her geçen gün artmaktadır. Otomotiv sektörü gibi birçok sektörde enerji talebinin karşılanmasında fosil kaynaklı yakıtlar olan petrol ve doğalgaz kullanılmaktadır. Fosil kaynaklı yakıtlar kendini yenileyemeyen kaynaklar olup çevreye verdikleri zarar neticesinde küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı otomotiv sektöründeki üreticiler temiz ve güvenilir kaynak arayışına girmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilen elektrik enerjisi umut vadeden bir enerji türü olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil kaynaklı yakıt tüketen içten yanmalı motor teknolojisinin aksine yapısında elektrik motoru ve batarya bulunduran elektrikli araç teknolojisi, çevreci olması ve yakıt maliyetinin düşük olması yönüyle son zamanlarda oldukça popüler hale gelmiştir. Her geçen gün artan elektrikli araç sayısı, elektrik enerjisine duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Artan enerji talebiyle birlikte elektrik şebekelerine gelen yük miktarı da artacaktır. Bu çalışmada, elektrikli araç teknolojisi, batarya teknolojileri ve elektrikli araç şarj istasyonları incelenmiş, elektrikli araç şarj istasyonlarına yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edilmesi durumu değerlendirilmiştir. Artan elektrikli araç sayısı ile artan enerji talebinin

karşılanmasında, elektrik şebeklerine destek olması amacıyla bir alternatif olarak düşünülen mobil şarj istasyonlarının temel fonksiyonlarıyla çeşitleri araştırılmış ve faydaları tartışılmıştır. Son olarak mobil şarj istasyonlarının dünyadaki ve ülkemizdeki durumu incelenmiş ve geleceği ile ilgili araştırma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli Araçlar, Elektrikli Araç Batarya Teknolojileri, Elektrikli Araç Şarj İstasyonları, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Mobil Şarj İstasyonları



ABSTRACT

M.Sc. THESIS

AN INVESTIGATION OF MOBILE CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES: CURRENT STATUS AND FUTURE

Zeynep ÖZEN

Bandırma Onyedi Eylül University

Institute of Graduate Studies

Department of Intelligent Transportation Systems and Technologies

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Harun ÖZBAY

April 2025, 108 pages

The need for energy keeps growing as a result of the world's population growth and technological advancements. To meet this energy need, industries like the automobile sector mostly rely on fossil fuels, specifically natural gas and petroleum. Fossil fuels are non-renewable resources and cause global warming because of the damage they cause to the environment. For these reasons, manufacturers in the automotive sector have started to search for clean and reliable sources. Electric energy that can be produced using renewable energy sources emerges as a promising type of energy. Unlike the internal combustion engine technology that consumes fossil fuels, electric vehicle technology, which includes an electric motor and a battery in its structure, has become quite popular recently due to its environmental friendliness and low fuel cost. The increasing number of electric vehicles increases the need for electric energy. With the increasing demand for energy, the amount of load on the electricity grid will also increase. In this study, electric vehicle technology, battery technologies and electric vehicle charging stations were examined and the situation of integrating renewable energy sources into electric vehicle charging stations was evaluated. The basic functions and types of mobile charging stations, which are

considered as an alternative to support the electricity grid in meeting the increasing energy demand with the increasing number of electric vehicles, have been researched and their benefits have been discussed. Finally, the situation of mobile charging stations in the world and in our country has been examined and research has been conducted on their future.

Keywords: Electric Vehicles, Electric Vehicle Battery Technologies, Electric Vehicle Charging Stations, Renewable Energy Sources, Mobile Charging Stations



İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
TABLO LİSTESİ.....	XI
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ	7
2.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ.....	8
2.2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN SINIFLANDIRILMASI	8
2.2.1. Hibrit Elektrikli Araçlar (HEA)	9
2.2.2. Hafif Hibrit Elektrikli Araçlar (HHEA)	10
2.2.3. Plug-In Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEA)	11
2.2.4. Tamamen Elektrikli Araçlar (TEA)	12
2.3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA TEKNOLOJİLERİ.....	13
2.4. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ŞARJ YÖNTEMLERİ	14
2.4.1. Kablolu Şarj Yöntemi	15
2.4.2. Kablosuz Şarj Yöntemi	16
2.4.3. Batarya Değiştirme Yöntemi	17
3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI.....	19
3.1. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ SEVİYELERİ.....	19
3.1.1. Seviye 1 (Ev Tipi) Şarj İstasyonu	19
3.1.2. Seviye 2 (Normal) Şarj İstasyonu.....	20
3.1.3. Seviye 3 (Hızlı) Şarj İstasyonu.....	21
3.1.4. DC Hızlı (Supercharger) Şarj İstasyonu	22
3.2. SABİT ŞARJ İSTASYONLARI	22

3.2.1.	Özel Tip Şarj İstasyonu.....	22
3.2.2.	Kamu Tipi Şarj İstasyonu.....	23
3.3.	YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ENTEGRELİ ŞARJ İSTASYONLARI	24
3.3.1.	Güneş Enerjisi Entegreli Şarj İstasyonları	26
3.3.2.	Rüzgâr Enerjisi Entegreli Şarj İstasyonları.....	27
3.3.3.	Hibrit Enerji Entegreli Şarj İstasyonları	28
4.	ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN MOBİL ŞARJ İSTASYONLARI	30
4.1.	MOBİL ŞARJ İSTASYONLARI	30
4.1.1.	Şebeke Bağlantılı Sisteme Sahip Mobil Şarj İstasyonları.....	31
4.1.2.	Bataryalı Sisteme Sahip Mobil Şarj İstasyonları	32
4.1.3.	Batarya Değişirme Sistemine Sahip Şarj İstasyonları.....	36
4.1.4.	Robotik Sisteme Sahip Mobil Şarj İstasyonları.....	37
4.2.	MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ FAYDALARI	41
4.2.1.	Elektrik Şebekesi Açısından Faydaları	42
4.2.2.	Elektrikli Araç Kullanıcıları Açısından Faydaları.....	43
4.2.3.	Yatırımcılar Açısından Faydaları	44
4.3.	MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ TEMEL FONKSİYONLARI	45
4.3.1.	Mobil Şarj İstasyonunda Kullanılan Şarj Soketleri.....	45
4.3.2.	Mobil Şarj İstasyonlarında Kullanılan Güç Dönüştürücüleri	47
4.3.3.	Mobil Şarj İstasyonlarında Güvenlik Önlemleri.....	51
4.4.	MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ TAŞINABİLİRLİK ÖZELLİKLERİ	52
5.	MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ MEVCUT DURUMU VE GELECEĞİ.....	55
5.1.	DÜNYA GENELİNDE MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ MEVCUT DURUMU	55
5.2.	TÜRKİYE’DE MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ MEVCUT DURUMU	79
5.3.	MOBİL ŞARJ İSTASYONLARINDA PAZAR OYUNCULARI VE REKABET ANALİZİ.....	83

5.4. MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ GELECEĞİ VE TEKNOLOJİK GELİŞMELER	88
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	91
7. KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ	108



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2-1: 2010 ve 2050 yılları arasında Dünya'daki EA dağılımı	7
Şekil 2-2: Elektrikli araçların sınıflandırılması.....	9
Şekil 2-3: Seri ve paralel HEA'ların bağlantı şemaları	9
Şekil 2-4: Hafif hibrit elektrikli araçlar	11
Şekil 2-5: Plug-In hibrit elektrikli araçlar	12
Şekil 2-6: Tamamen elektrikli araçlar.....	13
Şekil 2-7: EA bataryalarının teknoloji yol haritası	14
Şekil 2-8: Elektrikli araçlarda şarj yöntemleri.....	15
Şekil 2-9: Dahili ve harici şarj yöntemleri.....	16
Şekil 2-10: Kablosuz şarj yöntemi.....	17
Şekil 2-11: Batarya değiştirme yöntemi.....	18
Şekil 3-1: Seviye 1 için bağlantı aparatı	20
Şekil 3-2: Seviye 2 için bağlantı aparatı	20
Şekil 3-3: Seviye 3 için bağlantı aparatları.....	21
Şekil 3-4: Tesla DC hızlı (supercharger) şarj bağlantı aparatı	22
Şekil 3-5: Özel tip şarj istasyonu	23
Şekil 3-6: Trugo kamu tipi şarj istasyonu	24
Şekil 3-7: EA'nın şebeke entegrasyonunun elektrik şebekesi üzerindeki etkileri.....	26
Şekil 3-8: Güneş enerjisi entegreli şarj istasyonu	27
Şekil 3-9: Rüzgâr enerjisi entegreli şarj istasyonu	28
Şekil 3-10: Hibrit enerji (güneş-rüzgâr) entegreli şarj istasyonu.....	29
Şekil 4-1: Mobil şarj istasyonu çeşitleri.....	31
Şekil 4-2: Şebeke bağlantılı sisteme sahip mobil şarj istasyonu.....	32
Şekil 4-3: Bataryanın römorkta taşındığı sistem	32
Şekil 4-4: Bataryanın araca entegre olduğu sistem	33
Şekil 4-5: Tesla bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonu	34
Şekil 4-6: YEK destekli bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonu çalışma döngüsü	35
Şekil 4-7: Batarya değiştirme sistemine sahip mobil şarj istasyonu	36
Şekil 4-8: Robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonu	38
Şekil 4-9: Sistem modeli	39

Şekil 4-10: Otonom aracın şarj istasyonu ile etkileşimi	40
Şekil 4-11: Mobil şarj istasyonunun tipik mimarisi	45
Şekil 4-12: Çift yönlü mobil şarj istasyonu topolojisi.....	48
Şekil 4-13: Tek yönlü mobil şarj istasyonu topolojisi.....	48
Şekil 4-14: AC şarj yapılandırması örneği.....	50
Şekil 5-1: Angel Car mobil şarj istasyonu	56
Şekil 5-2: Anari elektrikli araç mobil şarj sistemi.....	56
Şekil 5-3: ORCA Inceptive araç üstü hızlı şarj istasyonu.....	57
Şekil 5-4: Autev otonom şarj robotu.....	58
Şekil 5-5: Thomas şarj robotu	59
Şekil 5-6: Beam EV ARC şarj istasyonu	59
Şekil 5-7: Beam ARC Mobility Trailer.....	60
Şekil 5-8: Car Charging Bot kablosuz şarj robotu.....	61
Şekil 5-9: Charger mobil şarj istasyonu	61
Şekil 5-10: ChargeWheel batarya entegreli ultra hızlı mobil DC şarj cihazı	62
Şekil 5-11: ClubAssist mobil şarj istasyonu	63
Şekil 5-12: RAC EV Boost mobil şarj sistemi.....	63
Şekil 5-13: Evar mobil EA şarj cihazı.....	64
Şekil 5-14: Evar MooveV mobil hızlı şarj cihazı	65
Şekil 5-15: Evar Parky otonom EA şarj robotu	66
Şekil 5-16: L-Charge ultra hızlı mobil şarj istasyonu	67
Şekil 5-17: Lightning Mobile mobil şarj istasyonu.....	67
Şekil 5-18: Mack MD Electric şebeke dışı mobil şarj sistemi.....	68
Şekil 5-19: Mobile EV Charging mobil şarj hizmeti	69
Şekil 5-20: Mullen PowerUP mobil şarj istasyonu	70
Şekil 5-21: NIO Power Mobile.....	70
Şekil 5-22: Portable Electric Voltstack 30k Seviye 2 mobil e-Şarj cihazı.....	71
Şekil 5-23: Power Up Tech mobil şarj istasyonu	72
Şekil 5-24: RAA elektrikli devriye minibüsü	73
Şekil 5-25: SparkCharge mobil şarj istasyonu	74
Şekil 5-26: Tesla Megapack Charger.....	75
Şekil 5-27: Volkswagen otonom mobil şarj robotu	76
Şekil 5-28: Xiaofu yol kurtarma enerjisi EA otonom şarj robotu	76
Şekil 5-29: Zapme mobil şarj istasyonu.....	77

Şekil 5-30: Ziggy otonom şarj robotu	78
Şekil 5-31: EVBee mobil ve hızlı şarj istasyonu.....	80
Şekil 5-32: OtoPriz mobil şarj istasyonu	80
Şekil 5-33: Otonom şarj robotu Niki.....	81



TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4-1: SAE J1772, IEC 62196 ve CHAdeMO standartlarıyla ilgili AC ve DC şarj konektörleri.....	47
Tablo 5-1: Mobil şarj istasyonlarında dünyadaki pazar oyuncuları.....	83
Tablo 5-2: Mobil şarj istasyonlarında Türkiye'deki pazar oyuncuları.....	87

KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
EA	: Elektrikli Araç
İYM	: İçten Yanmalı Motor
HEA	: Hibrit Elektrikli Araç
HHEA	: Hafif Hibrit Elektrikli Araç
PHEA	: Plug-In Hibrit Elektrikli Araç
TEA	: Tamamen Elektrikli Araç
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
TLI	: İki seviyeli darbe genişlik modülasyonu invertörleri
MLI	: Çok seviyeli darbe genişlik modülasyonu invertörleri

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ve dünya nüfusunun artmasıyla gündelik hayatta ve sanayi, otomotiv gibi birçok sektörde enerjiye duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Dünya genelinde fosil kaynaklı yakıtlar olan doğalgaz ve petrol ile karşılanan enerji ihtiyacı neticesinde çevresel sorunlar meydana gelmektedir. Fosil yakıtların hızla tükenmesi ve çevreye verdikleri zarar, başta otomotiv sektörü olmak üzere birçok sektörde alternatif enerji kaynağı arayışını tetiklemektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile de üretilen elektrik enerjisi, temiz ve çevreci bir enerji olması yönüyle son yıllarda otomotiv sektöründe tekrar tercih sebebi haline gelmiştir [1].

Günümüzde elektrik araç (EA) sayısının artmasıyla hızla artan şarj talebi, mevcut elektrik şebekelerine ilave yükler getirmektedir. Elektrik şebeke altyapılarının güçlendirilmesi işi, yüksek maliyetlere neden olmaktadır [2]. EA kullanımının benimsenmesinde, elektrik şebekelerinin daha az maliyetle desteklenebilmesi ve menzil kaygısı, şarj sırası beklerken oluşan bekleme kuyrukları gibi sorunların en aza indirilmesi konularında mobil şarj istasyonları uygulanabilir bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır [3].

Elektrikli araç teknolojisinin tarihsel gelişimi çok eskiye dayanmakla birlikte, içten yanmalı motor teknolojisinin geliştirilmesiyle bir dönem popülerliğini yitirmiş ancak sera gazı emisyonları neticesinde meydana gelen küresel ısınma nedeniyle günümüz dünyasında tekrar gündeme gelmiştir. Elektrikli araçlar, hibrit elektrikli araçlar, hafif hibrit elektrikli araçlar, Plug-In hibrit elektrikli araçlar ve tamamen elektrikli araçlar olmak üzere dört farklı şekilde sınıflandırılmaktadır [4].

Elektrikli araçlarda kullanılan batarya teknolojisi her geçen gün gelişim göstermektedir. Üreticisine bağlı olarak farklı miktarda metaller, organik kimyasallar ve plastikler içerebilen bataryalarda günümüzde en çok tercih edilen batarya türü, yüksek enerji ve güç yoğunluğuna sahip, maliyeti düşük, geri dönüştürülebilir ve uzun çevrim ömrü olan lityum-iyon bataryalardır [5], [6].

Elektrikli araçlarda şarj yöntemleri kablolu, kablosuz ve batarya değiştirme yöntemi olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Kablolu şarj yönteminde, EA'nın bir şarj kablosu yardımıyla elektrik şebekesine bağlantısı sağlanmaktadır. Kablosuz şarj yönteminde, elektromanyetik alan kullanılarak elektrik enerjisi EA bataryasına aktarılmaktadır. Batarya değiştirme yönteminde ise akaryakıt istasyonlarında beklenen süre kadar kısa bir sürede EA bataryasının tam dolu başka bir batarya ile değiştirilmesi sağlanmaktadır [7], [8].

Elektrikli araç şarj istasyonları, şarj seviyelerine göre Seviye 1, Seviye 2, Seviye 3 ve DC hızlı şarj istasyonları olarak sınıflandırılmaktadır. Seviye 1 şarj istasyonları ev tipi şarj istasyonları olup uzun şarj süreleri nedeniyle yavaş şarj istasyonları olarak da bilinmektedir. Seviye 2 şarj istasyonları normal şarj istasyonları olarak da adlandırılmakta ve Seviye 1 şarj istasyonlarına göre biraz daha hızlı olmakla birlikte orta hızlı şarj imkânı sunmaktadır [9].

Seviye 3 şarj istasyonları yüksek kapasitesi sayesinde hızlı şarj imkânı sunan şarj istasyonlarıdır ve EA kullanıcılarının vakitlerinin kısıtlı olduğu ve acil enerjiye ihtiyaç duydukları zamanlarda kullanılmaktadır. Genellikle süper hızlı şarj istasyonu olarak da adlandırılan DC hızlı şarj istasyonları ise, çok yüksek güçte şarj imkânı sunmakla beraber güçlü bir elektrik altyapısı gerektirdiğinden yaygın olarak kullanılmamaktadır [10], [11].

Özel tip ve kamu tipi şeklinde ikiye ayrılan sabit şarj istasyonları, dışa bağımlılığın azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması açısından yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile entegre edilebilmektedir. Sadece güneş veya sadece rüzgâr enerjileri ile entegre edilebilen şarj istasyonları birden fazla YEK çeşidi ile de (güneş-rüzgâr gibi) entegre edilerek hibrit enerji entegreli şarj istasyonları elde edilebilmektedir [12], [13], [14], [15], [16].

Mobil şarj istasyonları, EA kullanıcılarına ihtiyaç duydukları zaman ve konumda şarj hizmeti sunabilecek ve elektrik şebekelerine gelen şarj taleplerinin karşılanmasında şebekelere destek olabilecek bir şarj alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır. Şebeke bağlantılı sisteme sahip mobil şarj istasyonları, bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonları, batarya değiştirme sistemine sahip mobil şarj istasyonları ve robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonları olmak üzere dört farklı çeşidi bulunan bu istasyonların EA kullanıcılarına, elektrik şebekelerine ve şebekelere yatırım yapacak olan yatırımcılara çeşitli faydaları bulunmaktadır. Literatürde, elektrikli araçların tarihsel gelişimi, şarj istasyonları, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve mobil şarj istasyonları ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [17].

Kerem, yaptığı çalışmada, EA'ların tarihsel gelişimini, batarya şarj istasyonlarını ve elektrik motorlarını araştırmakta ve EA'ların sisteminin geleceği ile ilgili beklentilerden bahsetmektedir [18]. Özbay ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, fosil yakıtların kullanım durumu, çevreye etkileri ve gelecek projeksiyonunu özetlemiş ardından klasik tip içten yanmalı araç teknolojisinin gelişimini, özelliklerini ve verimlerini sunmuşlar ve elektrikli araç türleri, batarya teknolojileri ve motor çeşitlerini ayrıntılı olarak incelemişlerdir [19].

Özen ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, elektrikli araçlar için akıllı şarj sistemlerini incelemiş ve yenilenebilir enerji entegrasyonunu araştırmışlardır [20]. Afshar ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, mobil şarj istasyonu konusundaki makaleler ve teknik raporlar hakkında bilgi vererek, mobil şarj istasyonunun faydalarını tartışmayı, zorluklarını analiz etmeyi ve sabit şarj

istasyonlarına destek sağlaması için esnek bir şarj yöntemi olan mobil şarj istasyonu hakkında araştırma konuları önermeyi amaçlamışlardır [12].

Deng Y. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, elektrikli araç park ve şarj sisteminde (EVPCS) mobil şarj cihazlarının kullanımını araştırmışlardır ve mobil şarj cihazlarını sabit şarj cihazları ile maliyet açısından karşılaştırmışlardır. Bu iki tür şarj cihazının performanslarını değerlendirmek ve karşılaştırmak için, engelleme olasılığı, ortalama kuyruk uzunluğu, gecikme ve şarj cihazlarının kullanım oranı gibi çeşitli temel ölçütler oluşturmuş ve çeşitli şartları araştırdıkları kapsamlı deneyler elde etmişlerdir [21].

Sunghyun C. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, Güney Kore’de bir iş modelini doğrulamak amacıyla mobil şarj cihazı kullanan bir enerji tedarik sistemi tasarlanmışlardır. İlk olarak, tüm ülkeyi sekiz bölgeye ayırmışlardır ve her bölgenin nüfus yoğunluğunu merkezi olarak hesaplanmışlardır. İkinci olarak ise ana şarj istasyonu aday bölgelerini, her bir bölgedeki nüfus yoğunluk merkezini ve EA sayılarını temel alarak seçmişlerdir. Üçüncü olarak, bir iş modeli tasarlamışlardır ve toplam kârı maksimize etmek için optimizasyon gerçekleştirilmişlerdir. Çalışma sonucunda yerel elektrik talebinin karşılanması gibi kısıtları karşılayabilecek ve yıllık 224 milyon dolar kar elde edilebilecek şekilde bir hesaplama yapmışlardır. Bu sonuçlar, mobil şarj cihazı kullanımının bir işletmede yeterli kâr elde edebileceğini ve karbon emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabileceğini göstermektedir [22].

Hua L. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, kümeleme ve kullanıcı taleplerini karşılama, kullanıcılar için geçici şarj yeri belirleme, şarj ve deşarj için mobil şarj cihazlarını gönderme ve elektrikli araç şarjını planlama dahil olmak üzere kullanıcı taleplerini göz önünde bulundurarak mobil şarj cihazı operatörlerinin karını en üst düzeye çıkarmak için bir model geliştirmişlerdir. Önermiş oldukları modelin büyük bir ölçeğini çözmek için ise geliştirilmiş bir genetik algoritma oluşturmuşlardır. Bu geliştirilmiş algoritmanın performansını ve geçerliliğini değerlendirmek için Solomon'un kıyaslama örneği verileri kullanmışlardır [23].

Rafael C. N. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, mobil şarj cihazları elektrikli araçlar için menzil kaygısını, şarj işleminde yoğun saat maliyetlerini ve bekleme sürelerini azaltmaya yardımcı oldukları için EA sektöründe EA sahiplerinin kullanımlarının iyileştirilmesi için gerekli güvenilirliği sağlamak üzere bir çözüm önermişlerdir. Bu kapsamda çalışmalarında mobil şarj cihazı mimarileri, EA şarj standartları, EA batarya şarjında kullanılan dönüştürücü topolojileri gibi konuları kapsayan mobil şarj cihazları hakkında yapılan son araştırma ve çalışmaları incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, mobil şarj cihazı uygulamalarının sürdürülebilir ve ekonomik olarak uygulanabilir bir çözüm olabilmesi için hala teknolojik ve lojistik ilerlemelerin olması gerektiğini tespit etmişlerdir [24].

Lubos B. Ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, Nimbee adlı mobil şarj sisteminin pilot çalışması sırasında toplanan verilerden yararlanarak, elektrikli araçların yanı sıra mobil şarj istasyonlarının şarj süresi için tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Üç farklı tahmin durumu için çeşitli tahmin yöntemlerinin ve veri hazırlama tekniklerinin performanslarını değerlendirmişlerdir. Yapmış oldukları deneylerin sonuçlarına dayanarak tahminlerin doğruluğunun optimize edilmesine dair öneriler sunmuşlardır [25].

Zhang L. ve arkadaşları, paylaşılan elektrikli araçların şarj talebinin zaman ve mekân dengesizliğini ve elektrikli araç paylaşım sistemlerinin karmaşıklığını gidermek için mobil şarj cihazlarını elektrikli araç paylaşım sistemine entegre etmektedir. Paylaşımlı EA'ların rotalarının, şarj sürelerinin ve mobil şarj cihazlarının rotalarının eş zamanlı olarak optimize edildiği bir algoritma önermişlerdir. Çin'in Hefei şehrinde yapılan bir uygulama çalışması ile önerilen algoritmanın EA paylaşım sistemi üzerindeki işleyişinin etkilerini göstermişlerdir [26].

Beyazıt M. A. ve Taşçıkaraoğlu A. yapmış oldukları çalışmada, sabit şarj istasyonlarının (FXCS) yükünün azaltılması amacıyla mobil şarj istasyonlarını ele almışlardır. Çalışmalarında hem sistem operatörü hem de elektrikli araç kullanıcılarının faydası açısından optimum işletimler için yeni bir enerji yönetim stratejisi önermişlerdir. Önermiş oldukları optimizasyon algoritmasında, şehir genelinde bulunan EA'lara hizmet veren mobil şarj istasyonlarının toplam işletme maliyeti en aza indirilirken, mobil şarj istasyonlarının batarya bozulma maliyeti de hesaba katılmaktadır. Bu optimizasyon algoritmasında kullanım süresi tarife fiyatları kullanılarak mobil şarj istasyonlarının ve sabit şarj istasyonlarının operasyonları arasında denge sağlanmaktadır. Çalışma sonuçlarını, operasyonel maliyetler, bekleme süresi ve güç sistemi etkilerine dayalı olacak şekilde ayrıntılı bir şekilde tartışmışlardır [27].

Beyazıt M. A. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, elektrikli araç kullanıcıları arasında denge sağlanırken, bir elektrikli araç şarj konsepti olan mobil şarj istasyonlarının (MCS) hizmet kalitesini optimize etmeyi amaçlayan yenilikçi bir gerçek zamanlı enerji tahsis modeli önermişleridir. Önerilen modelde değişen sayıda şarj talebi ve trafik sıklığı durumu dikkate alınarak uygulama çalışmaları aracılığıyla değerlendirme yapmışlardır. Alınan sonuçlar trafik sıklığı ve yüksek enerji talebi dönemlerinde bile önermiş oldukları modelin hizmet kalitesi ve adalet puanları açısından etkinliği göstermektedir [28].

Aktar A. K. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, sabit şarj istasyonlarına hem alternatif hem de tamamlayıcı olarak mobil şarj istasyonlarının dağıtımı için karma tamsayılı doğrusal programlamaya dayalı bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Çoğunlukla sınırlı şarj ünitesi kapasitesi ve uzun bekleme süreleri nedeniyle sabit şarj istasyonlarında eş zamanlı şarj edilemeyen EA'ların sayısının bir mobil şarj istasyonu kullanılarak azaltılmasını amaçlamışlardır.

Sonuç olarak mobil şarj istasyonu kullanımının hem ekonomik hem de operasyonel faydalar sağladığını gözlemlemiştir. Çeşitli fiyatlandırma mekanizmalarıyla yapmış oldukları karşılaştırma sonuçlarına göre belirlenen en iyi durumda mobil şarj istasyonu kullanımının ile mobil şarj istasyonunun olmadığı duruma kıyasla %64,3'lük bir operasyonel iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir [29].

Afshar S. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, sabit şarj istasyonlarına tamamlayıcı bir şarj istasyonu teknolojisi olarak mobil şarj istasyonlarını önermişlerdir. EA şarj yönetimi problemini çözmek için karma tamsayı doğrusal bir model geliştirilmiştir. Sabit şarj istasyonları şarj hizmetlerini almaya ek olarak, önermiş oldukları optimizasyon modeli ile mobil şarj istasyonlarının EA kullanıcılarına uygun zaman ve yerde hizmet vermesini hedeflemektedirler. Almış oldukları sonuçlara göre, EA kullanıcılarının zamanını göz önünde bulundurarak mobil şarj istasyonlarının birçok kullanıcı için sabit şarj istasyonlarından daha ekonomik olduğunu doğrulanmaktadır. Ayrıca, mobil şarj istasyonlarının enerji arbitraj kabiliyetleri göz önünde bulundurulduğunda kullanıcıların maliyetini ve yoğun saatlerde elektrik şebekesindeki yüklenmeyi azaltabileceği sonucuna varmışlardır [3].

Aktar A. K. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, geleceğin enerji sistemlerinde önemli bir bileşen olması beklenen mobil şarj istasyonlarının kullanımını, elektrikli araç kullanıcılarının memnuniyetini artırmak için düşünülmüş ve hizmet verilmeyen elektrikli araç sayısını en aza indirmek amacıyla mobil şarj istasyonunu kullanmak için bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Almış oldukları sonuçlarda, artan şarj talepleri için sabit şarj istasyonlarının genişletilmesine kıyasla mobil şarj istasyonlarının kullanımının hem operasyonel hem de ekonomik faydalar sağladığını gözlemlemiştir [30].

Beyazıt M. A. ve Taşcıkaraoğlu A. yapmış oldukları çalışmada, elektrikli araçların şarj işlemi sırasında uzun bekleme süreleri ve sabit şarj istasyonlarının yüksek yatırım ve işletme maliyetleri, EA'ların kullanımı üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğundan birden fazla mobil şarj istasyonu için hem EA'ların mekansal durumunu hem de şarj taleplerinin zamansal durumunu dikkate alan rotalama problemi tabanlı bir enerji yönetimi stratejisi önermişlerdir. Çalışmalarındaki amaç, EA'ların şarj talepleri karşılanırken günlük şarj fiyatı tarifesini de dikkate alarak şarj maliyetlerini en aza indirmektir. Almış oldukları sonuçları, farklı sayıda mobil şarj istasyonu ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgâr enerjisi içeren çeşitli uygulama çalışmaları ile doğrulamışlardır [31].

Chen H. ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, elektrikli araç kullanıcılarına ait eksik bilgileri göz önünde bulundurarak, nesnelerin internetinde (IoT) mobil şarj istasyonlarından güvenli şarj hizmeti sağlayabilmek için dinamik bir yöntem önermişlerdir. İlk olarak, birden fazla

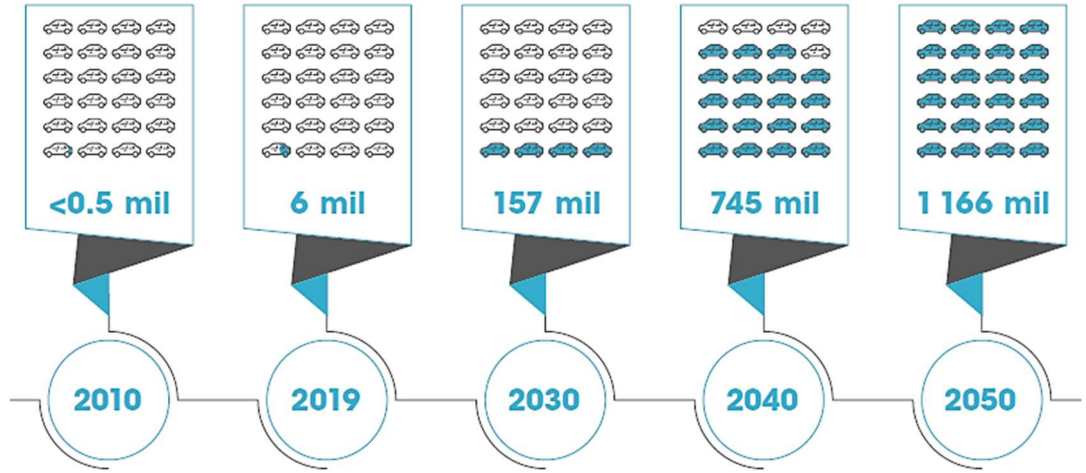
elektrikli araç kullanıcısı ve mobil şarj istasyonundan oluşan bu şarj sistemini göz önünde bulundurarak, nesnelerin internetindeki sözleşmede yer alan gücün yanı sıra EA kullanıcılarına sözleşme dışı gücün sağlandığı bir tasarım yapmışlardır. Daha sonra, mobil şarj istasyonlarının kârını yükseltmek amacıyla, EA kullanıcılarının güç talebini karşılayan en uygun sözleşme kalemelerini elde etmek için bir optimizasyon problemi ortaya koymuşlardır. Bu problemin optimum çözümünü, farklı sözleşme kalemlerine sahip farklı EA kullanıcı türlerini dikkate alarak algoritma aracılığıyla verimli bir şekilde elde etmişlerdir. Son olarak, yapmış oldukları simülasyon çalışmasının sonuçlarında önermiş oldukları algoritmanın etkinliğini doğrulamışlardır [32].

Bu tez çalışmasında, elektrikli araç teknolojisinin tarihsel gelişimi ve elektrikli araç türleri, şarj yöntemleri, şarj seviyeleri ve şarj istasyonu türleri gibi konular incelenmiş, şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyonu araştırılmıştır. Elektrikli araç şarj istasyonu teknolojileri konusunda her geçen gün gelişmekte olan mobil şarj istasyonları araştırılmış, türleri, faydaları, temel fonksiyonları ve mevcut durumu ile geleceği gibi konular incelenmiş ve tartışılmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde tezin geneli ile ilgili bilgiler verilmiş ve tez konusu ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar araştırılmıştır. İkinci bölümde, elektrikli araçların tarihsel gelişimine yer verilmiş, elektrikli araç türleri, batarya teknolojileri ve şarj yöntemleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde, elektrikli araç şarj istasyonları şarj seviyelerine göre incelenmiş ve sabit şarj istasyonlarının yenilenebilir enerji kaynakları ile entegrasyonu araştırılmıştır. Dördüncü bölümde, elektrikli araçlar için mobil şarj istasyonları araştırılmış, çeşitleri ve faydaları incelenmiş ve temel fonksiyonları ve taşınabilirlik özelliklerine yer verilmiştir. Beşinci bölümde, mobil şarj istasyonlarının dünya genelinde ve Türkiye’de mevcut durumları incelenmiş, pazar oyuncuları ve rekabet analizi bölümünde karşılaştırmalı tablolara yer verilmiş ve mobil şarj istasyonlarının geleceği ve bu alandaki teknolojik gelişmeler araştırılmıştır. Son bölümde ise, sonuçlara yer verilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİSİ

Günümüzde kentleşme ve nüfusun artmasıyla birlikte artan enerji ihtiyacı, fosil yakıtların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Bu tür yakıtların yenilenemeyen kaynaklar olması ve doğaya verdiği zarar nedeniyle, kullanıldığı sektörlerde alternatif bir kaynak arayışı gündeme gelmiştir. Fosil yakıtların kullanıldığı sektörlerden birisi de otomobil sektörüdür. Otomobil sektörü, bir fosil yakıt türü olarak kullandığı petrolün, hızla tükenmesi ve yenilenememesi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarıyla da üretilen elektrik enerjisini tercih etmeye başlamıştır [1]. Tarihsel gelişimi 19. yüzyıla dayanan elektrikli araç teknolojisi, içten yanmalı motorların havadaki karbon miktarını artırarak küresel ısınmaya neden olmasıyla Şekil 2-1’de gösterilen Dünya’daki EA dağılımında görüldüğü gibi günümüz dünyasında daha popüler hale gelmiştir [4].



Şekil 2-1: 2010 ve 2050 yılları arasında Dünya'daki EA dağılımı [33]

Benzinli ve dizel yakıt kullanan içten yanmalı motorlu (İYM) araçların aksine batarya ve pil setleri içeren elektrik motoruyla güç sağlayan araçlara elektrikli araçlar adı verilmektedir [34]. Teknolojinin ilerlemesiyle her geçen gün gelişen elektrikli araç teknolojisinde elektrikli araçlar, sahip oldukları donanım ve çalışma prensiplerindeki farklılıklar nedeniyle kendi içerisinde hibrit elektrikli araçlar, hafif hibrit elektrikli araçlar, Plug-In elektrikli araçlar ve tamamen elektrikli araçlar olarak sınıflandırılmaktadır [35].

2.1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN TARİHSEL GELİŞİMİ

İlk ortaya çıkma tarihi, içten yanmalı motorlu (İYM) araç teknolojisinden daha eskiye dayanan elektrikli araç teknolojisinde ilk elektrikli aracın icat edilmesi 19. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. İlk defa 1834 yılında Thomas Davenport tarafından icat edilen elektrikli aracın ilk modeli 1835 yılında Profesör Stratingh tarafından Hollanda'da geliştirilmiştir. 1859 yılında Gaston Plante tarafından şarj edilebilen bataryaların icat edilmesi, elektrikli araçların gündelik hayata uyum sağlayıp ticari olarak kullanılmasına zemin hazırlamıştır [36].

Elektrikli aracın ticari olarak ilk kez kullanılması 1897 yılında New York'da gerçekleştirilmiştir [37]. Bu yıllarda ülkemizde de elektrikli araç çalışmaları başlamıştır. Ülkemizdeki ilk elektrikli araç örneği, 1888 yılında II. Abdülhamid'in İngiltere'deki Messrs Immisch & Co Şirketinden sipariş ettiği araçtır [1], [18].

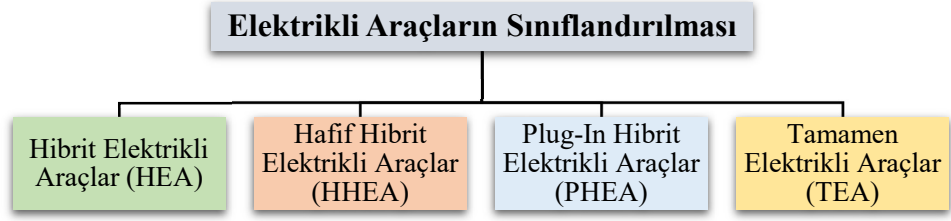
Elektrikli araçlarla ilgili çalışmalar 1800'lü yıllarda başlamış olsa da bu çalışmaların başarılı örnekleri 1900'lü yılların başında görülmeye başlanmış ve bu dönem elektrikli araçların en parlak dönemi olmuştur. Bu dönemde Amerika'da üretilen 4000'in üzerinde aracın %28'i, dünya genelinde de New York, Boston ve Chicago gibi büyük kentlerdeki araçların üçte ikisi elektrik enerjisini kullanmaktadır [1].

19. yüzyılın sonlarında İYM'li araçlar üzerine de çalışmalar yapılmış ve bu türdeki araçların kullanımı da yaygınlaşmıştır. 1930'lu yıllarda elektrikli araçlara olan ilgi azalmaya başlasa da 20. yüzyılın sonlarında, İYM'lerde kullanılan petrolün yenilenemeyen bir kaynak olması, piyasa fiyatlarındaki artış ve bu tür motorların çevreye verdiği zarar neticesinde elektrikli araç teknolojisi tekrar gündeme gelmiştir [36].

2.2. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN SINIFLANDIRILMASI

Elektrikli araçlar, elektrik enerjisini birincil güç kaynağı olarak kullanan, bataryalar veya yakıt hücreleri gibi enerji depolama sistemleri ile çalışan, sıfır emisyonlu veya düşük emisyonlu bir ulaşım çözümü sunan araçlardır. Elektrikli araçlar, hareket gücünü sağlamak için İYM yerine elektrik motorlarından yararlanır ve bu motorlar genellikle şarj edilebilir lityum iyon bataryalarla desteklenir [4].

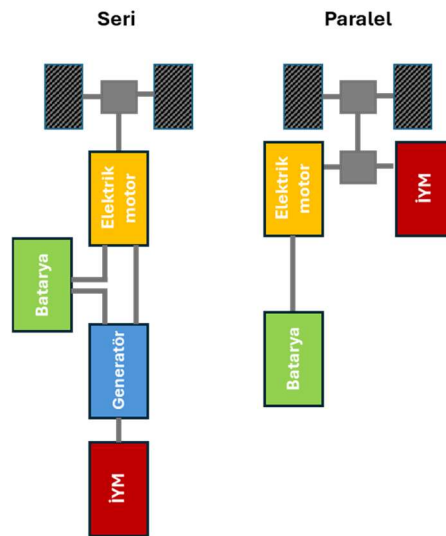
Enerji verimliliği, çevre dostu özellikleri ve fosil yakıt kullanımını azaltma potansiyeli, elektrikli araçların yaygınlaşmasının temel nedenlerindendir. Elektrikli araçlar Şekil 2-2'de gösterildiği gibi kendi içinde dört ana başlıkta incelenebilir [4].



Şekil 2-2: Elektirikli araçların sınıflandırılması

2.2.1. Hibrit Elektirikli Araçlar (HEA)

Hibrit elektirikli araçlar (HEA), geleneksel olarak bilinen İYM ile elektirik motorunun birleştigi ve daha iyi bir yakıt ekonomisiyle daha iyi bir performans elde etmek için tasarlanan araçlardır [38]. Çalışma yöntemine göre iki veya daha fazla güç kaynağına sahip farklı çeşitleri olabilen HEA'ların en yaygın kullanılan türü, bir içten yanmalı motor, bir batarya ve bir elektirik motoru bileşenlerinden oluşmaktadır [4]. Şekil 2-3'te gösterildiği gibi seri ve paralel olmak üzere iki sınıfa ayrılabilen HEA'larda kullanılan bataryanın şebekeyle bağlantısı bulunmamaktadır [4], [36]. Bu iki tür HEA'nın birbirinden farkı, hareket edebilmelerinde kullanılan itici güç için gereken enerjinin ne kadarının elektirik motoru tarafından üretildiğidir [18]. Seri HEA'da bu güç, İYM'nin generatörü çalıştırması sonucu üretilen elektirik enerjisinin batarya grubunu şarj etmesi ve bu enerjinin aynı zamanda elektirik motoruna aktarılmasıyla elde edilmektedir. Paralel HEA'da ise hem İYM'den hem de elektirik motorundan aynı anda elde edilmektedir. Elektirik motoruyla İYM'nin ortak bağlandığı bir güç aktarma sistemiyle araç hareket etmektedir [4], [19].



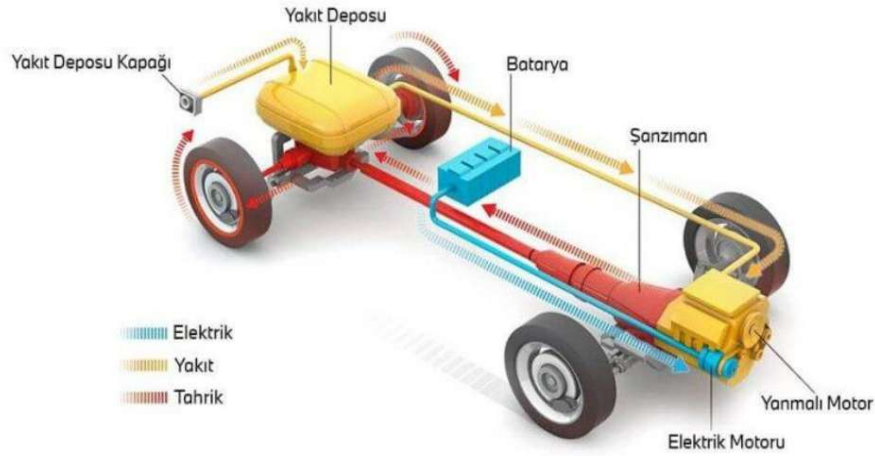
Şekil 2-3: Seri ve paralel HEA'ların bağlantı şemaları [38]

HEA’larda rejeneratif frenleme ile enerji kaybı en aza indirilmekte ve taşıt durduğunda veya yavaşladığında kullanılan enerji geri kazandırılarak bataryalar şarj edilmektedir [39]. Bu nedenle HEA’larda kullanılan bataryanın boyutları daha küçük olabilmektedir [4]. HEA’larda yakıt verimliliği artarken emisyonlar önemli ölçüde azalmaktadır. Fosil yakıtlara alternatif yakıtlarla çalışabilen HEA’lar, İYM’li araçlar gibi fosil yakıtlara çok bağımlı değildir. HEA’lar durduğunda İYM çalışmadığı için titreşim ve motor gürültüsü oluşmamaktadır ve HEA’ların boşta çalışma kayıpları yok denecek kadar azdır [39].

Seri ve paralel HEA’ların farklı dezavantajları bulunmaktadır. Seri HEA’larda İYM, elektrik motoru ve generatör olmak üzere üç farklı tahrik ekipmanına ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemde bulunan elektrik motoru, yüksek eğimlerde gereken maksimum gücü karşılamak üzere tasarlanmasına rağmen çoğunlukla daha az performansla çalışmaktadır. Tahrik ekipmanları, menzil ve performans için maksimum gücü karşılayacak şekilde boyutlandırılmaktadır. Güç sistemi ağırdır ve maliyetlidir. Paralel HEA’larda ise aracın hareket etmesi için gereken güç iki farklı kaynaktan (İYM ve elektrik motoru) sağlanmaktadır ve buradaki enerji yönetimi oldukça önemlidir. Bu iki güç kaynağından gelen gücün tahrik tekerlerine doğru şekilde iletilebilmesi için karmaşık mekanik elemanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Paralel HEA’lar sessiz çalışma modu sağlayamamaktadır [18], [39].

2.2.2. Hafif Hibrit Elektrikli Araçlar (HHEA)

Hafif hibrit elektrikli araçlar (HHEA), Şekil 2-4’te gösterildiği gibi genellikle aynı anda içten yanmalı motor ve bir elektrik motoru ile donatılmış araçlardır [40]. HHEA’larda yüksek hız gerektirmeyen durumlarda ve trafikteki dur-kalk sırasında İYM’ye yardımcı olması amacıyla, boyutu küçük olan bir elektrik motoru kullanılmaktadır [41]. HHEA’larda aracın hızı ve yükü sabit iken yapılan frenleme esnasında, tekerleklerde bulunan dinamolar sayesinde araçta bulunan batarya kendi kendini şarj edebilmektedir [1]. HHEA’ların sürüş sırasında sadece elektrik gücünü kullanma özelliği bulunmamaktadır [41]. Bu nedenle HHEA’lar, Plug-In hibrit elektrikli araçlar kadar yakıt tasarrufu sağlayamamaktadırlar ancak motorun çalışmadığı durumlarda klima kompresörü için güç sağlayabilmektedirler [42].

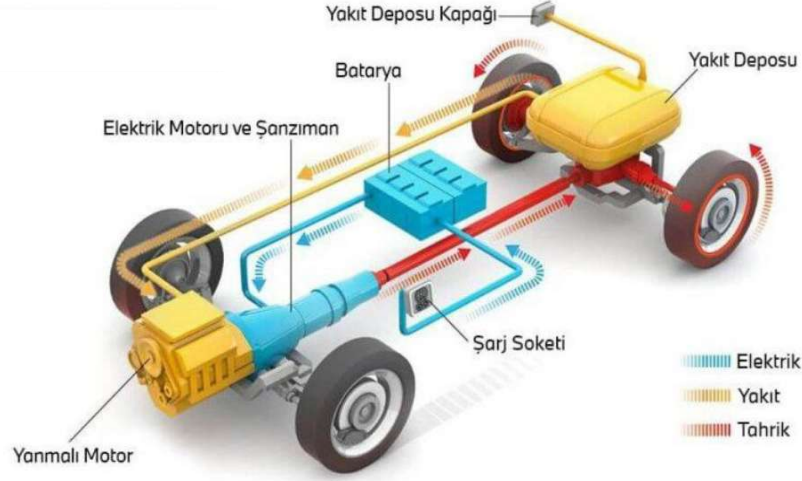


Şekil 2-4: Hafif hibrit elektrikli araçlar [1]

2.2.3. Plug-In Hibrit Elektrikli Araçlar (PHEA)

Plug-In hibrit elektrikli araçlar (PHEA), Şekil 2-5'te gösterildiği gibi yapısında hem elektrik motoru hem de İYM bulundurmalarıyla iki şekilde yakıt ikmali yapabilen araçlardır. Aracın yapısında bulunan bu motorların her biri HHEA'lerden farklı olarak aracı tek başına çalıştırabilmektedir [43], [44]. HEA'lerden farklı olarak da bu araçlar, seyir halindeyken genellikle elektrik motorunu kullanmaya yönelik tasarlanmışlardır. Sistemde yer alan bataryanın şarj durumuna bağlı olarak yüksek performans gerektiren durumlarda sürüş aralığının uzaması için İYM devreye girmektedir [36]. Faydalı frenleme ile yapısındaki bataryayı şarj edebilme yönüyle HHEA'lara benzeyen PHEA'lar, harici bir kaynaktan bir soket yardımıyla şarj olabilmeleri yönüyle HHEA'lerden ayrılmaktadır. PHEA'ların bu yönü, bu araçların fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmada etkili olmaktadır [35], [44].

PHEA'ların, şehir içi sürüşlerde elektrik motorunu kullanmaya yönelik tasarlanması, harici bir kaynaktan şarj edilebiliyor olması, menzil kaygısının olmaması, yakıt konusunda tasarruf sağlıyor olması ve fosil yakıtlara bağımlı olmaması sayesinde daha çevreci olması gibi önemli avantajlarının yanında şarj edilebilmeleri için güçlü bir şarj altyapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca uzun mesafeleri kat edecek şekilde tasarlanan batarya sistemlerinin ömrü, aracın ömrüyle aynı olmamakla birlikte boyutları itibarıyla araçta hatırı sayılır hacimlere ulaşabilmektedir [35], [43].



Şekil 2-5: Plug-In hibrit elektrikli araçlar [1]

2.2.4. Tamamen Elektrikli Araçlar (TEA)

Yapısında Şekil 2-6’da gösterildiği gibi, İYM olmadan sadece elektrik motoru bulunduran ve bu motorun çalışması için elektrik enerjisine ihtiyaç duyan araçlara tamamen elektrikli araçlar (TEA) adı verilmektedir [1], [44]. Sıfır emisyonlu araçlar olarak da adlandırılabilen bu araçlar, yapılarında elektrik motorunun haricinde güç dönüştürücüleri içeren kontrol ve batarya ünitesi de bulundurmaktadır [4], [35]. TEA’ların hareketi için gereken enerji, araç üzerindeki fiş girişiyle şarj edilebilen bataryalardan sağlanmaktadır. Aracın ileri veya geri gitme hareketlerini, hız ayarını ve rejeneratif frenleme ile enerjinin geri kazanılmasını kontrol etmek ise kontrol ünitesinin görevi olmaktadır [1], [4].

TEA’larda frenleme sırasında rejeneratif frenleme ile elektrik motoru bir generatör gibi kullanılarak kinetik enerji bataryalara elektrik enerjisi olarak aktarılmaktadır. Bu durum bataryalardaki enerjinin verimli kullanılmasına neden olmakta ve mekanik fren sisteminin daha uzun ömürlü olmasına destek olmaktadır [4]. Benzin veya dizel gibi hiçbir petrol türevi yakıtı tüketmeyen TEA’ların, bataryalarını şarj etmek için kullanılacak elektrik enerjinin üretilmesinde açığa çıkacak emisyon miktarı, İYM’li araçların emisyon miktarına göre çok daha az olduğundan TEA’lar, İYM’li araçlara alternatif olarak gösterilmektedir [4], [35].

TEA’ların, egzoz emisyonun sıfır olması, elektrik motoru sayesinde sessiz çalışması, şarj süresinin hızlı olabilmesi, frenleme sırasında enerjinin geri kazanılabilmesi ve düşük yakıt ve işletme maliyetleri gibi avantajlarının yanı sıra menzil kaygısı ve batarya maliyetlerinin fazla olması nedeniyle geliştirilmeye ihtiyaç duyulması ve şarj altyapılarının yetersiz olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Ancak teknolojinin her geçen gün ilerlemesi ve fosil yakıtların hem yenilenemiyor olması hem de çevreye zarar vermesi nedeniyle TEA'lar tercih sebebi olmaya devam etmektedir [4].



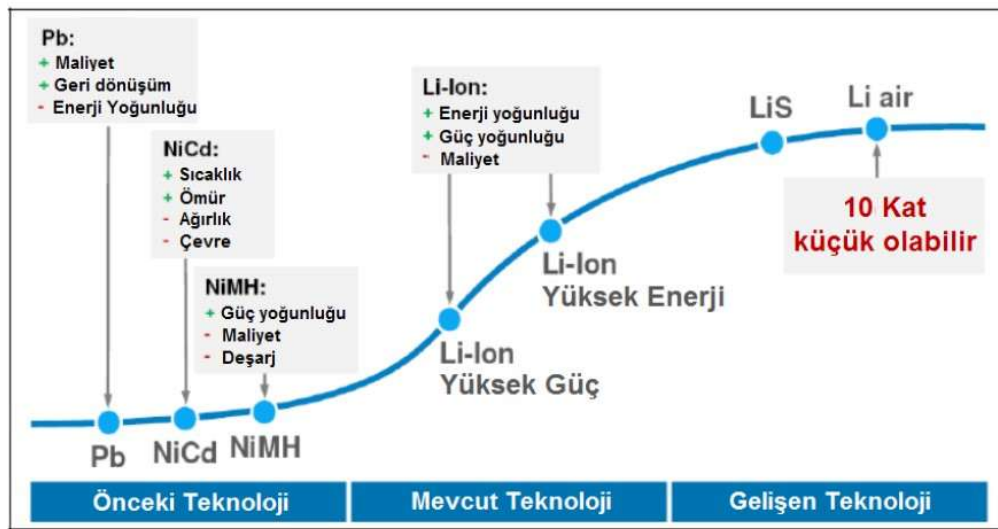
Şekil 2-6: Tamamen elektrikli araçlar [19]

2.3. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN BATARYA TEKNOLOJİLERİ

Günümüzde, elektrikli araçlarda kullanılan batarya teknolojileri her geçen gün gelişmektedir. Enerjinin kimyasal olarak depolanmasını sağlayan ve kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürebilen depolama birimlerine “pil” adı verilmektedir. Genellikle aynı kimyasal yapıya, aynı ölçülere ve aynı elektrik kapasitesine sahip pillerin bir araya getirilerek oluşturdukları pil grupları ise “batarya” olarak tanımlanmaktadır [5], [6]. Elektrikli araçlar, taşınabilir elektronik cihazlar, telekomünikasyon altyapıları ve yenilenebilir enerji sistemleri gibi birçok alanda bataryalara ihtiyaç duyulmaktadır [45].

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar, üreticilere bağlı olarak farklı miktarda metaller, organik kimyasallar ve plastikler içerebilmektedir. Elektrikli araç bataryalarının kimyasal yapılarına göre, kurşun-asit bataryalar (Pb), nikel-kadmiyum (NiCd) bataryalar, nikel-metal-hidrit (NiMH) bataryalar, Lityum-iyon (Li-ion) bataryalar, lityum-iyon polimer (Li-Po) bataryalar, sodyum nikel klorür (NaNiCl) bataryalar, lityum demir fosfat (LiFePO₄) bataryalar, çinko hava (Zn-air) bataryalar, lityum sülfür (LiS) bataryalar ve lityum hava (Li-air) bataryalar gibi çeşitleri bulunmaktadır [4], [6].

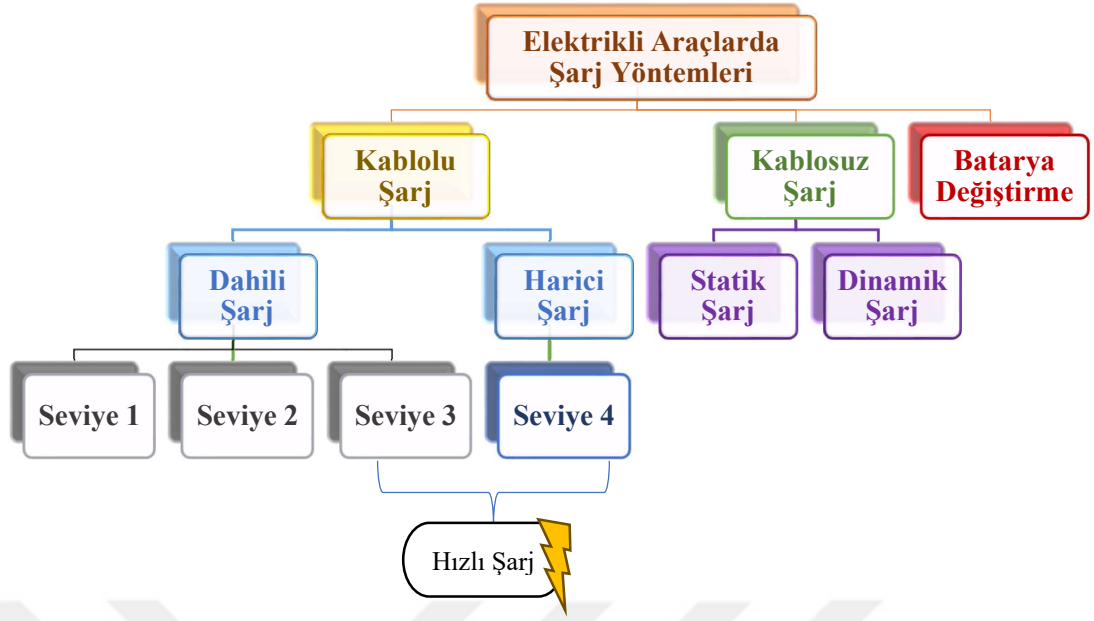
Elektrikli araçların elektrik ihtiyacının karşılanmasında yıllarca kullanılan kurşun-asit bataryalar, 1980’li yıllarda ilk modern elektrikli araçların devreye girmesiyle yerini daha güçlü bataryalar olan nikel-kadmiyum bataryalara bırakmıştır. Bu bataryalardan sonra da HEA’larda kullanılmak üzere nikel-metal-hidrit bataryalar geliştirilmiştir ancak bu batarya teknolojilerinin hiçbiri elektrikli araçların kısıtlı menzil sorununu çözmek için gereken enerji yoğunluğunu karşılayamamıştır. Son yıllarda geliştirilen lityum-iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu ve uzun çevrim ömrü nedeniyle menzil sorunun çözmede, elektrikli araçlar için en umut verici bataryalar olarak kabul edilmektedir [4], [46]. Elektrikli araç batarya teknolojisinin gelişimine ait yol haritası Şekil 2-7’de verilmiştir.



Şekil 2-7: EA bataryalarının teknoloji yol haritası [4]

2.4. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ŞARJ YÖNTEMLERİ

Elektrikli araçlarla ilgili en temel konulardan birisi, yapılarında bulundurdıkları bataryaların şarj edilmesi konusudur. Elektrikli araçların hareket edebilmesi bataryaların dolu olmasına bağlıdır. Elektrikli araçlar, yapısında bulunan rejeneratif frenleme yardımıyla bataryaları kısmen şarj edebilse de bu şarj yeterli olmamaktadır. Bataryaların ihtiyaç duyduğu asıl enerji, elektrikli araç şarj cihazları vasıtasıyla herhangi bir elektrik şebekesinden güvenli bir şekilde bataryalara aktarılan enerjidir. Bu enerji, kamuya açık veya özel olan elektrik şebekelerinden temin edilebilmektedir. Elektrikli araç bataryalarını şarj etmek için, Şekil 2-8’de gösterildiği gibi kablolu şarj, kablosuz şarj ve batarya değiştirme yöntemleri kullanılmaktadır [1], [36], [47].



Şekil 2-8: Elektrikli araçlarda şarj yöntemleri [36]

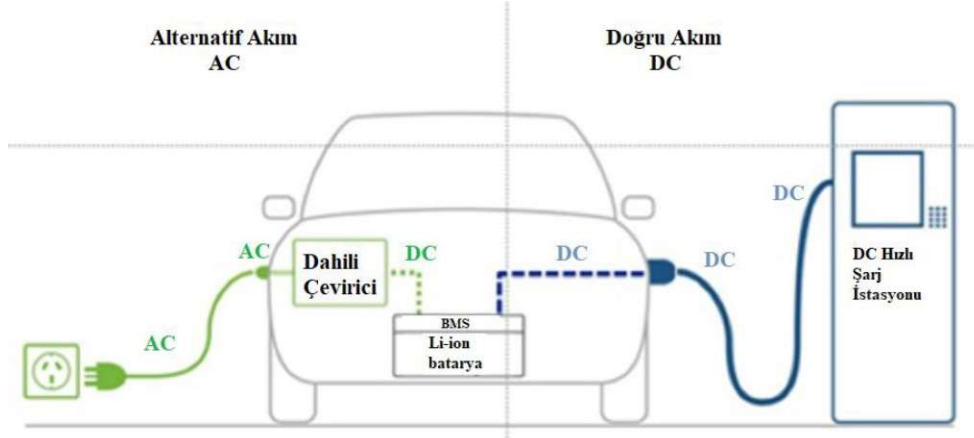
2.4.1. Kablolu Şarj Yöntemi

Elektrikli araçların bataryalarını şarj etmek için en çok kullanılan şarj yöntemi kablolu şarj yöntemidir. Kablolu şarj yönteminde, elektrikli araç konnektörü ile şarj girişi arasında doğrudan bir temas bulunmaktadır. Bir kablo vasıtasıyla aracın bir şarj istasyonuna veya şebekeye bağlanması sağlanmaktadır [7], [47].

Kablolu şarj yöntemi, elektrik enerjisi altyapısı ve tesisatını, araçlara enerji akışını sağlayan ve bunun kontrolünü gerçekleştiren üniteler ile bunların haberleşme altyapılarını içeren bir sistemdir. Kablolu şarj yöntemi, Şekil 2-9’da gösterildiği gibi dahili (araç üstü) ve harici (araç dışı) şarj yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Dahili şarj yönteminde, araç üzerinde doğrultma devresi bulunmaktadır ve AC-DC dönüşümü araç üzerinde gerçekleşmektedir. Harici şarj yönteminde de AC-DC dönüşümü dışarda bulunan bir şarj istasyonunda gerçekleştirilerek bataryalara aktarılmaktadır. Dahili (araç üstü) şarj yöntemi çoğunlukla düşük şarj kullanılırken harici şarj yöntemi ise hızlı şarj hizmeti sunmak üzere sabit yerlere kurularak kullanılmaktadır [7], [36], [43].

Kablolu şarj yöntemi, elektrikli araç bataryaları için gereken enerjiyi, insanların ve teknik altyapının güvenliği bakımından en güvenli şekilde araca aktaran yöntemdir. Kablolu şarj yöntemi, maliyet açısından uygun olması ve enerji bakımından daha verimli olmasından dolayı hem otomotiv sektörü hem de şarj istasyonu operatörleri tarafından tercih edilmektedir [43], [47].



Şekil 2-9: Dahili ve harici şarj yöntemleri [36]

2.4.2. Kablosuz Şarj Yöntemi

Son yıllarda, elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların geliştirilmesi, fosil yakıtların tükeniyor olması ve İYM'lerin çevreye verdiği zarar neticesinde elektrikli araç kullanımı giderek artmaktadır. EA sayısındaki artış, şarj talebindeki artışı da beraberinde getirmektedir. Kablolu şarj yönteminde, şarj süresinin uzun olması nedeniyle alternatif şarj yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Birçok elektronik cihazda hem hızlı hem de kablosuz şarj yöntemi mevcuttur [47]. Statik ve dinamik olarak ikiye ayrılan kablosuz şarj yönteminde statik şarj, enerji yönetim sistemine ek bir maliyet eklenmeden enerjinin eşit dağıtılarak şebeke kapasitesinin en üst düzeye çıkarıldığı şarj yönetimini ifade ederken, dinamik şarj ise, kapasite değişikliklerine anında tepki verebilen ve mevcut gücün dinamik değişimine izin vererek şarj altyapısını optimize eden şarj yönetimini ifade etmektedir [48]. Endüktif şarj olarak da adlandırılan ve elektrik enerjisini bir EA bataryasına aktarmak için elektromanyetik alan kullanan kablosuz şarj yönteminde, elektrikli araç şarj istasyonlarına Şekil 2-10'da gösterildiği gibi fiziksel bir bağlantıyla bağlanmaya gerek duyulmamaktadır. EA, zemine monte edilmiş şarj yuvasının üstüne park edildiğinde şarj işlemi otomatik olarak başlamaktadır. Her türlü hava koşullarında elektrik güvenliği sağlayan kablosuz şarj yönteminin düşük verimlilik, yüksek güç kaybı ve yüksek maliyet gibi dezavantajları bulunmaktadır [7], [36], [49], [50].



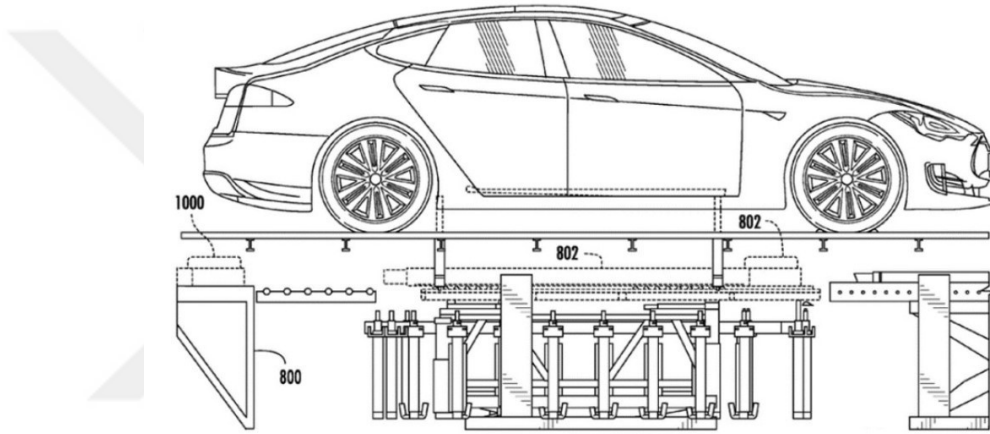
Şekil 2-10: Kablosuz şarj yöntemi [51]

2.4.3. Batarya Değişirme Yöntemi

EA'ların menzil kapasitesi, yapılarında bulunan bataryanın kapasitesiyle ilişkilidir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte batarya teknolojisi de gelişmektedir ancak EA'ların menzilleri İYM'li araçlara göre daha kısıtlı kalmaktadır. İYM'li araçlar yakıt ihtiyaçlarını çok kısa sürede temin edebilirken bir EA bataryasının şarj edilmesi daha uzun zaman almaktadır. Bu durum zaman konusunda sıkıntı yaşayan EA kullanıcıları için bir sorun olmaktadır. Bu sorunun önüne geçmek için Şekil 2-11'de gösterilen batarya değişirme yöntemi oldukça faydalı olabilmektedir. EA'daki bataryanın, tam dolu yeni bir bataryayla değiştirilmesini içeren bu yöntem, batarya değişim istasyonlarında 90 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleştirilmektedir ve uzun menzilli yolculuklar için avantaj sağlamaktadır [8], [50], [52].

Batarya değişirme yönteminde, değişim istasyonuna gelen EA'nın sistem tarafından öncelikle tanımlama bilgileri denetlenmektedir. Ardından araç bir platform üzerine alınarak boş olan bataryası hidrolik bir sistem tarafından çıkarılmaktadır. Bataryanın bulunduğu boş alan temizlenip kurulandıktan sonra tam dolu bir batarya yine aynı sistem ile araca yerleştirilmektedir. Tüm bu işlem yalnızca birkaç dakika sürmektedir. Araçtan çıkarılan boş batarya, robotik bir sistem vasıtasıyla öncelikle test edilmekte daha sonra soğutuculu şarj ünitesine gönderilmektedir. Şarj ünitesine gönderilen boş batarya, 3 fazla beslenen 50 kW'lık şarj edici tarafından 30 dakika gibi kısa bir sürede şarj edilebilmektedir [1], [8], [50], [52].

Kablolu ve kablosuz şarj yöntemlerinde olduğu gibi batarya değiştirme yönteminin de bazı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantajlara, batarya değiştirme istasyonlarında geçirilen sürenin akaryakıt istasyonlarında geçirilen süre gibi kısa olması ve akaryakıt fiyatlarının değişken olmasının aksine batarya değiştirme istasyonlarına yapılan aylık üyelikle batarya fiyatlarının sabit olması örnek verilebilmektedir [8]. Dezavantajlarına ise, şarj istasyonu yatırım maliyetlerinin fazla olması, batarya üreticilerinin ürettikleri bataryaların farklı olması ve araç sayısına bağlı olarak çok daha fazla batarya üretimine ihtiyaç duyulmasıyla çevreye verilecek zarar örnek verilebilmektedir [36], [50].



Şekil 2-11: Batarya değiştirme yöntemi [53]

3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI

EA teknolojisinin yaygınlaşabilmesi ve kullanım kolaylığının artabilmesi için yapısında bulunan bataryaların kolay şarj edilebiliyor olması gerekmektedir. Bataryaları şarj etmek için kullanılacak enerji, elektrik enerjisi olduğu için altyapının uygun ve elverişli olduğu her ortamda EA bataryaları şarj edilebilmektedir [54]. EA kullanıcıları kamuya açık olan otoparklarda, alışveriş merkezlerinde veya kendi evlerinde kendilerine ait şarj ünitelerinde araçlarını şarj edebilmektedir [35]. Yenilenebilir enerji kaynakları ile de desteklenebilen EA şarj istasyonları, çıkış gücüne göre sınıflandırılabilmekte ve EA'lar alternatif veya doğru akım ile şarj edilebilmektedir [4], [55].

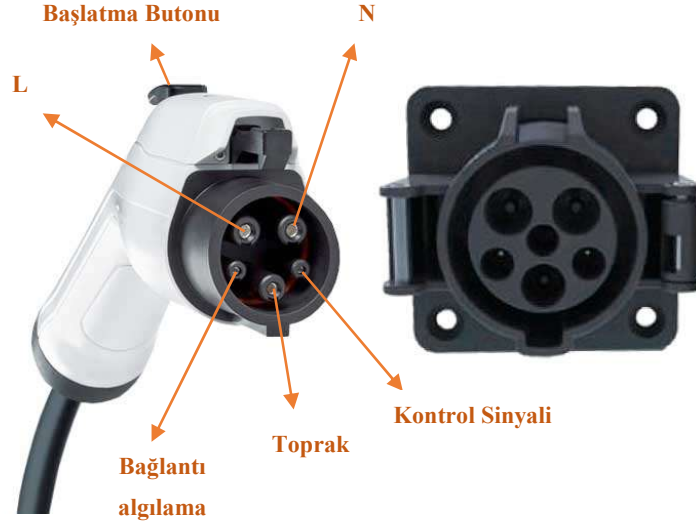
3.1. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ SEVİYELERİ

EA şarj istasyonlarında şarj seviyesi, bir şarj çıkışının “güç seviyesini” tanımlamaktadır. EA şarj istasyonları güç seviyesine göre, seviye 1 (ev tipi), seviye 2 (normal), seviye 3 (hızlı) ve DC hızlı (supercharger) şarj istasyonları olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır [7].

3.1.1. Seviye 1 (Ev Tipi) Şarj İstasyonu

Seviye 1 (ev tipi) şarj istasyonları, EA'ların uzun süre kullanılmadan park halinde beklediği ev ve ticari bina gibi alanlarda bulunan ve şarj sürelerinin uzun olması nedeniyle yavaş şarj istasyonu olarak da bilinen şarj istasyonlarıdır. Şarj süresi uzun olduğu için bu şarj istasyonları şebekeye çok yük getirmemektedir [9]. Seviye 1 (ev tipi) şarj istasyonlarında, şarj işlemi herhangi bir güvenlik önlemi alınmadan basit bir uzatma kablosu ve standart bir priz ile gerçekleştirilmektedir [10].

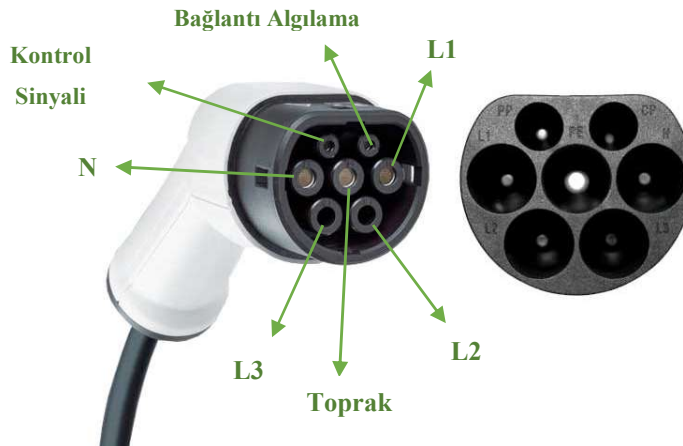
Tek faz enerjiden beslenen ve Şekil 3-1'de gösterilen bağlantı aparatının kullanıldığı bu şarj istasyonlarında, giriş gerilimi 120-220 VAC, çıkış gücü 1,2-3,8 kW olup ortalama şarj süresi 5-12 saattir [9]. Seviye 1 (ev tipi) şarj istasyonlarında güç dönüştürücüsü bulunmayıp şebeke gerilimi olduğu gibi EA'ya aktarıldığından EA, gerekli gücü kendi üzerindeki dönüştürücüler ile sağlamaktadır. Şarj istasyonu sadece EA ile haberleşerek ücretlendirme işlemini yapmaktadır [4].



Şekil 3-1: Seviye 1 için bağlantı aparatı [56]

3.1.2. Seviye 2 (Normal) Şarj İstasyonu

Seviye 2 (normal) şarj istasyonları, Seviye 1 (ev tipi) şarj istasyonlarından farklı olarak daha kısa süreli vakit geçirilen park, bahçe, piknik alanları, alışveriş merkezleri, üniversiteler, istasyonlar, havaalanları gibi halka açık veya özel olan yerlerde kullanılabilen şarj istasyonlarıdır. Genellikle 3 fazlı şebeke sisteminden beslenen ve Şekil 3-2’de gösterilen bağlantı aparatının kullanıldığı bu istasyonlar, 208-240 VAC ve 3,8-15 kW güç değerine sahiptir ve şarj süresi 1-4 saattir. Şarj süresi Seviye 1 şarj istasyonlarından daha kısa olan bu istasyonlar orta hızlı şarj imkânı sunmaktadır. Voltaj değerinin daha yüksek olması nedeniyle de daha fazla güvenlik önlemine ihtiyaç duyulmaktadır [9].



Şekil 3-2: Seviye 2 için bağlantı aparatı [57]

3.1.3. Seviye 3 (Hızlı) Şarj İstasyonu

Yüksek şarj kapasitesine sahip olup hızlı şarj imkânı sunan seviye 3 (hızlı) şarj istasyonları, EA kullanıcılarının vakitlerinin kısıtlı olduğu ve EA için acil enerji ihtiyacının gerektiği, trafiğin yoğun olduğu yerler, ticari dolum istasyonları veya otoyollarda bulunan tesisler gibi noktalarda konumlandırılmaktadır. Kısa süreli parklanma yapılan bu alanlarda bulunan seviye 3 şarj istasyonlarında, EA'nın batarya boyutuna bağlı olarak şarj süresi 20-30 dakika sürmektedir. Seviye 3 (hızlı) şarj istasyonları, üç faz ile beslenen 380 V gerilime sahip AC sınıfı ve 600 V gerilim değerine ulaşabilen DC sınıfı olarak ikiye ayrılmaktadır ve Şekil 3-3'te gösterilen bağlantı aparatları kullanılmaktadır. AC sınıfında dönüştürücü araç üzerinde, DC sınıfında ise şarj istasyonu üzerinde yer almaktadır. DC sınıfında, EA'ya doğru akım aktarılarak güç akışı sağlanmaktadır [4], [9].

ABD		CCS Combo 1 Konektörü ve Giriş Soketi
Avrupa		CCS Combo 2 Konektörü ve Giriş Soketi
Japonya		CHAdeMO Konektörü ve Giriş Soketi
Çin		GB/T DC Konektörü ve Giriş Soketi

Şekil 3-3: Seviye 3 için bağlantı aparatları [58]

3.1.4. DC Hızlı (Supercharger) Şarj İstasyonu

Genellikle süper hızlı şarj istasyonu olarak adlandırılan ve Şekil 3-4'te bağlantı aparatı gösterilen DC hızlı şarj istasyonu, 120-350 kW'lık bir güç aralığına sahiptir. Bu şarj istasyonunda EA bataryasının türü ve şarj durum bilgilerinin gönderilmesi için iletişim bağlantısı bulunmaktadır. 350 kW'lık maksimum güç çıkışı ve 24 kWh'lik bir batarya ile EA şarjını 15 dakikada %80 tamamlayabilmektedir. Bu şarj istasyonlarında kullanılacak enerji için güçlü bir altyapı gerektiğinden henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır [10], [11].



Şekil 3-4: Tesla DC hızlı (supercharger) şarj bağlantı aparatı [58]

3.2. SABİT ŞARJ İSTASYONLARI

Sabit şarj istasyonları, normal bir elektrik fişi veya bir veya birkaç şarj prizi ile donatılmış bir bina şeklindeki sabit tesislerdir. Güç, elektrik şebekesinden veya yerel enerji jeneratöründen sağlanmaktadır. Erişilebilirliklerine göre sabit şarj istasyonları, özel tip şarj istasyonu ve kamu tipi şarj istasyonu olarak kategorize edilmektedir [12].

3.2.1. Özel Tip Şarj İstasyonu

Sabit şarj istasyonlarının çoğu, genellikle özel tip şarj istasyonları olarak adlandırılan ve Şekil 3-5'te bir örneği gösterildiği gibi konut ve işyerlerindeki yavaş şarj cihazlarıdır. Özel tip şarj istasyonları, yalnızca yetkili sakinler, çalışanlar veya müşteriler tarafından erişilebilen özel konut ve işyeri park tesisleri dahil olmak üzere özel erişim gerektiren yerlere kurulmaktadır. Özel tip şarj istasyonları, baskın şarj teknolojisi türüdür.

Özel tip şarj istasyonlarının 2020'deki tahmini sayısı 9,5 milyondur ve bunların 2,5 milyonu işyerlerinde, geri kalanı ise konutlarda bulunmaktadır. Bunlar 2030 yılında tüm elektrikli araç şarj cihazlarının %90'ını oluşturacaktır. Ayrıca bu özel tip şarj istasyonları, kamuya açık hızlı şarj cihazlarına kıyasla daha düşük güç oranını yansıtarak enerji talebinin yaklaşık %70'ini karşılamaktadır [12].



Şekil 3-5: Özel tip şarj istasyonu [59]

3.2.2. Kamu Tipi Şarj İstasyonu

Kamu tipi şarj istasyonları, Şekil 3-6'da bir örneği gösterildiği gibi genellikle halka açık otoparklar, alışveriş merkezleri, dinlenme tesisleri, tiyatrolar, restoranlar ve oteller gibi halka açık yerlere kurulan Seviye 2 veya Seviye 3 şarj cihazlarıdır. Bununla birlikte, doğru akım hızlı şarj cihazları, ticari ve kamusal uygulamalar için tasarlanmıştır; yavaş şarj ise tipik olarak özel ve kamusal şarj tesisleri için birincil yöntem olarak tanımlanmaktadır. EV sahipleri araçlarını evde düşük şarj maliyetiyle şarj edebilirken, büyük şehirlerdeki özel otoparkların yetersizliği ve uzun EV şarj süresi, kamu tipi şarj istasyonlarına olan ihtiyacı artıran iki ana neden olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya çapında hükümetler tarafından açıklanan mevcut elektrikli araç geliştirme politikalarına dayanarak, 2030 yılına kadar 14 milyon yavaş ve 2,3 milyon hızlı kamu tipi şarj istasyonu olması beklenmektedir. Bununla birlikte, Paris anlaşmasının iklim hedeflerine dayanan daha iddialı bir senaryo da ise, 4 milyondan fazla hızlı şarj cihazı ile yaklaşık 24 milyon kamu tipi şarj istasyonu olması tahmin edilmektedir [12].

Kamu tipi şarj istasyonlarının yaygınlaştırılması, elektrikli araç pazarının beslenmesinde ve elektrikli araçların benimsenmesinin geliştirilmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Doğru akım hızlı şarj cihazları için yeni bir altyapı tasarlanırsa, uzun şarj süresi tam bir şarj döngüsü için yarım saatin altına düşebilir. Bunu gerçekleştirmek için, gelecekteki doğru akım hızlı şarj altyapıları 350 kW ila 1 MW arasında güç sağlayacaktır. Avantajlarına rağmen, doğru akım hızlı şarj cihazlarının büyük güç yoğunluğu nedeniyle mevcut elektrik şebekesi için benzeri görülmemiş zorluklar oluşturması beklenmektedir. Bu nedenle, bir güç dağıtım sisteminin, geleceğin hızlı şarjlı elektrikli araç istasyonlarıyla ilişkili yeni yük sınıfını idare etmesi gerekmektedir [12].



Şekil 3-6: Trugo kamu tipi şarj istasyonu [60]

3.3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAĞI ENTEGRELİ ŞARJ İSTASYONLARI

Enerji kavramı, ülkelerin sosyal ve ekonomik açıdan gelişmişlik seviyesinin bir göstergesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir fizik terimi olarak enerji, iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Ülkelerin gelişmesinde etkili olan sanayileşmenin ve günlük hayatta toplumun temel ihtiyaçlarının giderilmesinin önemli bir unsuru olan enerji, uluslararası gündemde önemli bir yer tutmaktadır. Artan dünya nüfusuyla birlikte artan tüketim talebi, enerjinin verimli kullanılmasını gerekli hale getirmektedir [14], [61], [62], [63].

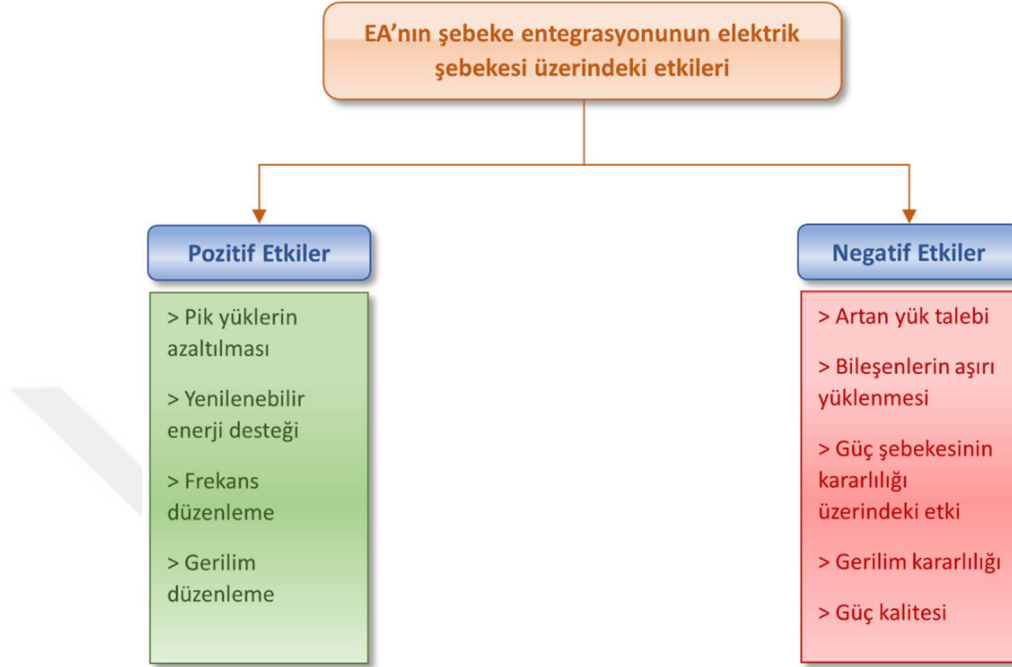
Enerji, bir değişim ya da dönüşüm geçirip geçirmeme durumuna göre birincil (primer) ve ikincil (sekonder) enerji olarak iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Kömür, linyit, petrol, doğalgaz, hidrolik enerji, nükleer enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji gibi enerji çeşitleri birincil enerji kaynaklarıdır. Birincil enerjinin dönüştürülmesiyle elde edilen enerji, ikincil enerji olarak tanımlanmaktadır. Başta elektrik enerjisi olmak üzere, benzin, mazot, motorin, kok kömürü, ikincil kömür, petrokok, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) gibi enerji çeşitleri ikincil enerji kaynaklarıdır [64].

Birincil enerji kaynakları, kaynak rezervinin tükenip tükenmeme durumuna göre, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır [65]. Tüketildiğı miktar veya ondan daha fazla miktarda ve tüketilme hızından çok daha hızlı sürede kendini yenileyip tükenmeyen enerji kaynaklarına yenilenebilir enerji kaynakları adı verilmektedir [13]. Güneş ışığı, rüzgâr, hidrolik, biokütle, jeotermal, dalga ve hidrojen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [66]. Belirli bir rezerv düzeyine sahip olan ve kendini yenileyemeyip gelecekte tükeneceğı öngörülen enerji kaynaklarına yenilenemeyen enerji kaynakları adı verilmektedir [67]. Fosil kaynaklı ve çekirdek kaynaklı olarak ikiye ayrılan yenilenemeyen enerji kaynaklarında, kömür, petrol ve doğalgaz fosil kaynaklı enerjilere örnek gösterilirken uranyum ve toryum çekirdek kaynaklı enerjilere örnek gösterilmektedir [64].

Dünya nüfusunun her geçen gün arttığı ve teknolojinin hızla geliştiğı günümüzde, her sektör için vazgeçilmez bir güç olan enerjiye duyulan ihtiyaç da artmaktadır. Enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan fosil kaynaklı yakıtlar (petrol ve doğalgaz), günümüz dünyasındaki toplam enerji kaynaklarının %80'inden fazlasını temsil etmektedir [14]. Fosil kaynaklı yakıtların en çok kullanıldığı sektörlerden biri olan otomotiv sektörü, bu yakıtların hızla tükenmesi ve çevreye verdiği zarar neticesinde elektrik enerjisini tercih etmeye başlamış ve tarihsel gelişimi çok eskiye dayanan EA'lar günümüz dünyasında tekrar popüler hale gelmiştir. Birkaç yıl öncesine ait istatistiklere bakıldığında, küresel çaptaki EA satışları önemli ölçüde artış göstermiş ve 2021 yılında, bir önceki yılın satışlarına göre iki katına çıkarak önemli bir dönüm noktasına ulaşmıştır [68].

EA kullanımının artması, elektrik enerjisi kullanımı da artırmaktadır. EA'ların şebekeye entegrasyonu Şekil 3-7'de gösterildiğı gibi çeşitli etkilere neden olmaktadır. EA bataryalarının şarj edilmesinde kullanılan şarj istasyonları mevcut elektrik şebekelerine ekstra yükler getirmektedir. Mevcut şebekelerin artan enerji talebini karşılayabilmesi için şebeke altyapılarının güçlendirilmesine yönelik yatırımlar yapılmalı veya mevcut şebekeler yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenmelidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenmemesi, çevreye zarar vermemesi ve maliyet üzerindeki etkisi bu kaynakları daha cazip hale getirmektedir [33].

Yenilenebilir enerji kaynağı entegreli şarj istasyonlarında kullanılabilecek rüzgâr ve güneş enerjileri ayrı ayrı kullanılabileceği gibi güneş-rüzgâr şeklinde hibrit olarak da kullanılabilmektedir [15].



Şekil 3-7: EA'nın şebeke entegrasyonunun elektrik şebekesi üzerindeki etkileri [20]

3.3.1. Güneş Enerjisi Entegreli Şarj İstasyonları

Güneş enerjisi, güneşin kütlesinde bulunan hidrojenlerin birleşerek helyuma dönüşmesiyle yaşanan kütle kaybı olarak tanımlanmaktadır. Gezegenimiz için bitmeyen bir enerji kaynağı olan güneş, elektrik enerjisinin üretilmesinde önemli bir paya sahiptir. Güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, çevre dostu olması, yerel kullanımlar için uygun olması, potansiyel ekonomik krizlerden etkilenmemesi, operasyon maliyetlerinin düşük olması ve EA şarj istasyonlarına entegre edilebilme gibi avantajları sayesinde tercih sebebi olmaktadır [13]. EA kullanımının her geçen gün arttığı günümüzde, mevcut elektrik şebekelerine gelen yükün azaltılması ve enerjinin daha verimli kullanılabilmesi konusunda erişilebilir ve sürdürülebilir olan ve Şekil 3-8'de gösterilen güneş enerjisi entegreli şarj istasyonları bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Güneş enerjisi entegreli şarj istasyonları, güneş panelleri kullanarak EA bataryasını şarj eden istasyonlardır. Bu şarj istasyonlarında, sistemde bulunan güneş panelleri fotovoltaik hücrelerden oluşur ve bu hücreler güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmektedir [69], [70].



Şekil 3-8: Güneş enerjisi entegreli şarj istasyonu [71]

Enerji tüketimini sürdürülebilir ve çevre dostu hale getiren güneş enerjisi entegreli şarj istasyonları, güneş panelleri aracılığıyla üretilen enerji ile şebekeye bağlı şarj istasyonlarının enerji talebini desteklemektedir. EA'ların enerji talebinin desteklenmesi mevcut elektrik şebekelerine gelen yükleri hafifletmekle birlikte enerji verimliliğini de artırmaktadır. Dışa bağımlılığı azaltan ve EA şarj sürecini ekolojik olarak daha uyumlu hale getiren güneş enerjisi entegreli şarj istasyonlarında, güneş enerjisine bağlı olarak enerji üretildiği için güneşli günlerde ekstra avantaj sağlanmaktadır [72]. Güneş enerjisi entegreli şarj istasyonlarının enerji üretebilmesi için sistemin bulunduğu ortamın açık olması ve gölgelenmemesi gerekmektedir [13].

3.3.2. Rüzgâr Enerjisi Entegreli Şarj İstasyonları

Rüzgâr, yeryüzünün eşit şekilde ısınıp soğumaması sonucunda meydana gelen kuvvetlerin etkisiyle oluşan hava hareketi olarak tanımlanmaktadır [73] Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisinin yeryüzüne dolaylı bir etki şekli olarak ifade edilmektedir [74]. Güneşin yeryüzüne gönderdiği enerjinin yalnızca %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir. Temiz ve güvenli olması, çevre dostu olması, erişilebilir olması, işletme maliyetinin düşük olması ve dışa bağımlılığı azaltması gibi özellikleriyle rüzgâr enerjisi, enerji üretiminde güneş enerjisi kadar önemli bir yer tutmaktadır [14].

Rüzgârın kinetik enerjisini önce dönme kinetik enerjisine daha sonra elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan rüzgâr türbinleri, hızlı bir şekilde monte ve demonte edilebilme özellikleri sayesinde hızlı bir gelişim göstermiş ve bu türbinler ile üretilen enerji günümüzde önemli bir kaynak haline gelmiştir ve Şekil 3-9’da gösterildiği gibi EA şarj istasyonlarında kullanılmaktadır. [14], [73].

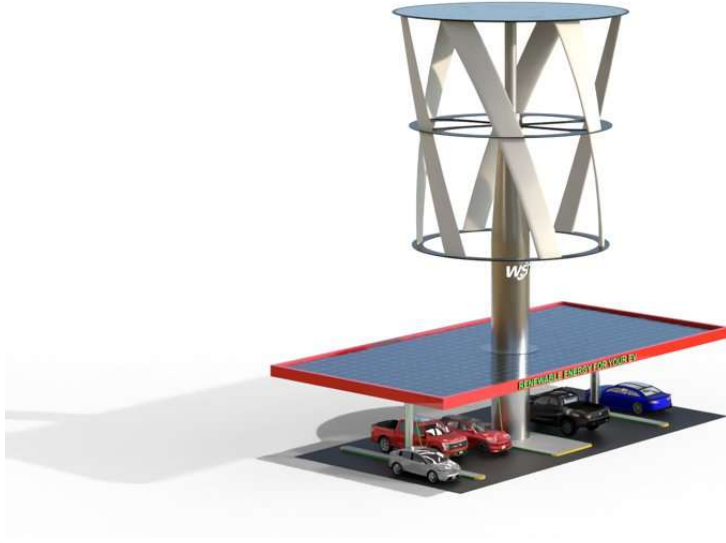


Şekil 3-9: Rüzgâr enerjisi entegreli şarj istasyonu [75]

3.3.3. Hibrit Enerji Entegreli Şarj İstasyonları

Birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının (rüzgâr, güneş vb.) entegre edilmesiyle oluşturulan EA şarj istasyonlarına hibrit enerji entegreli şarj istasyonları adı verilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım çeşitliliğini artırmak ve yenilenebilir enerji kaynakları ile gün içerisinde üretilen enerjinin süreksizliğini azaltmak için hibrit enerji entegreli şarj istasyonları oldukça verimli bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin gün boyunca devamlı üretilmemesinden dolayı hibrit güç sistemi düşüncesi ortaya çıkmıştır. Hibrit sistemlerde en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynakları güneş ve rüzgâr enerjileridir [15], [16].

Şekil 3-10’da gösterilen hibrit enerji (güneş-rüzgâr) entegreli şarj istasyonu, rüzgâr türbinleri ile güneş panellerinin avantajlarını birleştirerek enerji üreten kompakt bir sistemdir. Rüzgârın yönüne bakılmaksızın dönen dikey eksenli bir türbin ile üstte kendini temizleme özelliğine sahip güneş panelleri ile bu şarj istasyonu, rüzgârın az olduğu zamanlarda da enerji üretebilmekte ve aynı anda birden fazla aracı şarj edebilmektedir [76].



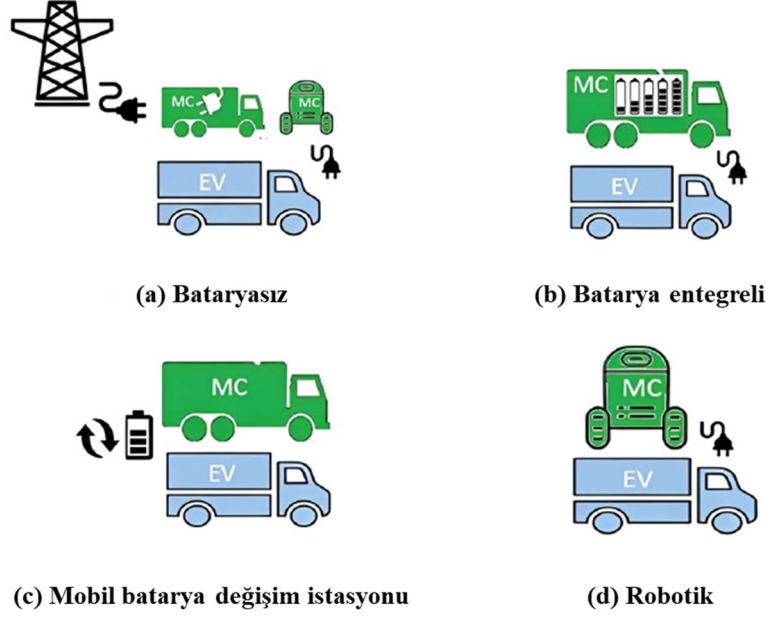
Şekil 3-10: Hibrit enerji (güneş-rüzgâr) entegreli şarj istasyonu [77]

4. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR İÇİN MOBİL ŞARJ İSTASYONLARI

Günümüzde, fosil yakıtların hızla tükenmesi ve çevre sorunlarının giderek artması nedeniyle elektrikli araç kullanımı her geçen gün artmaktadır. EA'ların şarj talebinin karşılanması için gereken enerji, mevcut elektrik şebekelerine ekstra yükler getirmektedir. Hızla gelişen teknolojiyle birlikte elektrik şebekesi altyapılarının güçlendirilmesi için maliyeti yüksek yatırımlar yapmak yerine farklı alternatif fikirleri ortaya çıkmıştır. Mevcut elektrik şebekelerinin yerini almayacak ama şebekelere gelen yükü hafifletecek bir çözüm olarak mobil şarj istasyonları bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Bu bölümde mobil şarj istasyonlarının yapısı ve özellikleriyle ilgili bilgi verilecek, temel fonksiyonları ve çeşitleri incelenecek ve faydaları ile taşınabilirlik özellikleri anlatılacaktır.

4.1. MOBİL ŞARJ İSTASYONLARI

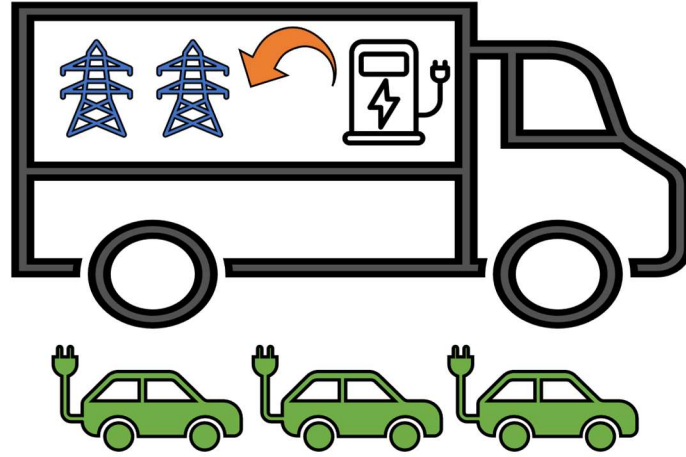
EA şarj istasyonu, bir veya birkaç şarj direğinden ve bunların dağıtım şebekesine bağlantısından oluşan şarj altyapısı olarak tanımlanmaktadır. Taşınabilirlik durumuna göre EA şarj istasyonları, sabit şarj istasyonları ve mobil şarj istasyonları olarak ikiye ayrılmaktadır [78]. Mobil şarj istasyonu, EA kullanıcılarının uygun zaman ve konumlarında elektrikli araç şarj hizmetleri sunabilen, bir veya birkaç şarj çıkışına sahip yeni bir elektrikli araç şarj ekipmanı türü olarak karşımıza çıkmaktadır [12]. Sıfır emisyonlu bir geleceğe geçiş hızlanırken, mobil şarj istasyonları, EA'ların şarj taleplerini karşılamada elektrik şebekelerini destelemek için giderek daha fazla umut vadeden bir çözüm olarak kabul edilmektedir [79]. Mobil şarj istasyonları, Şekil 4-1'de gösterildiği gibi şebeke bağlantılı sisteme sahip mobil şarj istasyonları, bataryalı sisteme mobil şarj istasyonları, batarya değiştirme sistemine sahip mobil şarj istasyonları ve robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonları olmak üzere dörde ayrılmaktadır.



Şekil 4-1: Mobil şarj istasyonu çeşitleri [79]

4.1.1. Şebeke Bağlantılı Sisteme Sahip Mobil Şarj İstasyonları

Belirli bir aralıkta mesafe kat edebilen bir veya birden fazla şarj prizi ile donatılmış bir kamyon veya minibüs aracılığıyla EA bataryalarını şarj etmek üzere kullanılan sistemlere şebeke bağlantılı sisteme sahip mobil şarj istasyonları adı verilmektedir. Şekil 4-2’de gösterilen şebeke bağlantılı sisteme sahip mobil şarj istasyonlarında, herhangi bir enerji depolama sistemi bulunmamaktadır ancak EA ile elektrik şebekesi arasında çeşitli şarj direkleri aracılığıyla arayüz oluşturmak için gerekli güç elektroniği cihazları bulunmaktadır. Bu tür mobil şarj istasyonları, herhangi bir elektrik şebekesinde EA sayısının fazla olduğu ve daha fazla şarj çıkışına ihtiyaç duyulduğu zamanlarda yani elektrik şebekelerine gelen talep, şebeke kapasitesini aştığında şebekenin yükünü hafifletmek amacıyla şebekenin bulunduğu yerde konumlandırılarak kullanılmaktadır [12], [80]. EA bataryalarının elektrik şebekesinden şarj talebinin karşılanmasında önemli olan bir diğer konu, şarj kablolarının kullanımı sırasında kullanıcıların güvenliği konusudur. EA’ların şarj talebinin İYM içeren araçlar gibi kısa sürede karşılanabilmesi için hızlı şarj olarak adlandırılan Seviye 3 şarj istasyonları geliştirilmiştir.



Şekil 4-2: Şebeke bağlantılı sisteme sahip mobil şarj istasyonu [12], [81]

4.1.2. Bataryalı Sisteme Sahip Mobil Şarj İstasyonları

Bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonları, yapısında elektrik şebekesi aracılığıyla şarj edilen enerji depolama sistemi ile donatılmış batarya entegreli mobil şarj istasyonlarını ifade etmektedir. Minibüs veya kamyon şeklinde olabilen bu istasyonlar, acil şarj hizmeti olarak hareket etmek veya uzak yerlerdeki sürücülere hizmet etmek için dikkate değer bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Bu istasyonlar batarya entegrasyonu açısından iki farklı kategoriye ayrılmaktadır. Birincisi, Şekil 4-3'te gösterildiği gibi bir römorktaki bataryanın başka bir araç tarafından çekildiği mafsallı araçları tanımlarken, ikincisi, Şekil 4-4'te gösterildiği gibi bataryaların doğrudan yerleştirildiği servis araçlarını tasvir etmektedir [12], [79].



Şekil 4-3: Bataryanın römorkta taşındığı sistem [82]



Şekil 4-4: Bataryanın araca entegre olduğu sistem [83]

Bataryaların doğrudan yerleştirildiği sistemde araç, EA'ları talep edilen yerde ziyaret ederek şarj edebilirken, bataryasının boşaldığı durumlarda sonraki görevleri için bataryasını elektrik şebekesi veya başka bir enerji depolama sistemi aracılığıyla şarj etmek zorundadır. Bu sistemler kapasitelerine bağlı olarak EA yol yardımı veya birincil EA şarj yöntemi olarak kullanılabilir. Bir römorkta yer alan bataryanın başka bir araç tarafından çekildiği sistemde ise diğer sistemin aksine daha bağımsız çalışma olanağı bulunmaktadır. Yüksek kapasiteye sahip olabilen bu sistemler, yüksek EA şarj talebi olan yerlerde (açık hava konserleri, spor etkinlikleri vb.) geçici sabit şarj istasyonu olarak çalışabilmekte ve basitçe başka yerlere taşınabilmektedir [12].

Yüksek kapasiteli bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonları, bölüm 4.1.3.'te anlatılan batarya değiştirme sistemine sahip mobil şarj istasyonlarıyla kıyaslandığında, özellikle lojistik sektöründe kullanılan ve boyutu daha büyük daha ağır bataryalar içeren elektrikli kamyon veya kamyonetler için daha pratik bir çözüm üretmektedir. Boyutu bir römork kadar büyük olabilen bu sistemler, şarj talebini şebekeden ayırabilen büyük ölçekli şarj alternatiflerine bir örnek teşkil etmektedir. Ekipman için ayrılan paketleme alanı nispeten daha büyük olduğundan, bu tür sistemlerde büyük kapasiteli bataryalar ve yüksek güçlü yerleşik şarj cihazları kullanmak mümkündür. Tesla, Şekil 4-5'te gösterildiği gibi uzak yerlerdeki EA'lara hizmet verebilmek için aynı anda birden fazla EA'yı şarj edebileceği büyük ölçekli bir batarya entegre sisteminde 125 kW şarj cihazlarıyla 3 MWh batarya depolama sistemini uygulamayı başarmıştır [79].



Şekil 4-5: Tesla bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonu [84]

Yüksek kapasiteli bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonlarının büyük boyutları ve fazla ağırlıkları nedeniyle hareket kabiliyetleri sınırlıdır. Bundan dolayı da manevra alanı kısıtlı olan dar sokakların bulunduğu kentsel alanlarda yönlendirilmeleri ve konuşlandırılmaları zor olmaktadır. Nispeten daha maliyetli ve yeterli servis alanına ihtiyaç duymaları yönüyle daha uzak konumlar veya acil servisler için daha uygun bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır [79].

Bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonlarında kullanılan bataryaların yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile desteklenmesi de mümkündür. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında meydana gelen kısıtlamaların önlenmesi ve bu kaynaklardan üretilen enerjinin EA'lar için daha verimli kullanılabilmesi için Şekil 4-6'da gösterildiği gibi YEK ile şarj edilebilen bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonları önerilmiştir [85].

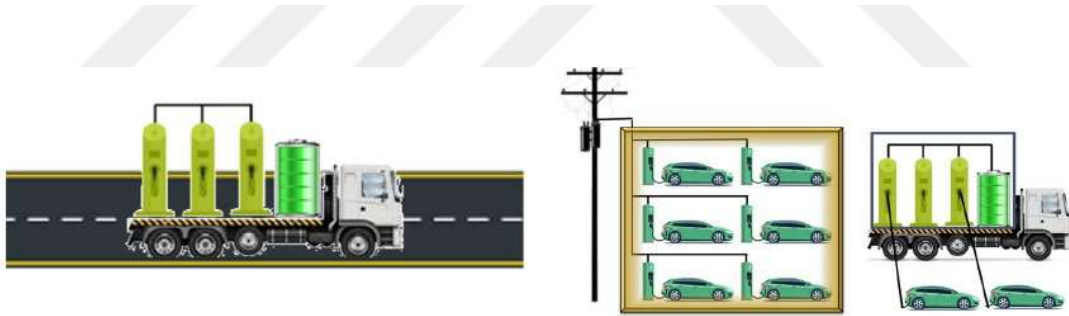
Önerilen bu sistemde, mobil şarj istasyonu batarya depolamasıyla entegre edilmiştir ve sabit bir şarj istasyonu ile donatılmış bir güç dağıtım şebekesinde çalıştırılmaktadır. Sistemdeki batarya, yenilenebilir enerji penetrasyonunu da artırmak için, güneş ve rüzgâr olmak üzere iki farklı yenilenebilir enerji kaynağı ile beslenen elektrik şebekelerinde üretilen ve kesintiye maruz kalan fazla enerji ile şarj edilmektedir [85].

Bataryaları dolu olan bu mobil şarj istasyonları, yalnızca sabit şarj istasyonlarına yakın yerlerde konumlandırılmak ve EA'ları şarj etmek üzere kullanılacaktır. Bu sistem sayesinde, elektriğin maliyeti önemli ölçüde azalacak, şebeke enerjisinin daha az kullanılmasıyla da enerji üretimi sırasında oluşan hava kirliliği azalacak, şebekeye gelen fazla yükler ile şebekede oluşan stres azalacak ve şebekeye gelen fazla talebin dağıtılmasıyla da şarj kuyrukları azalacaktır [85].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından şarj edilerek başlatılan ve EV şarjı için deşarj edilerek sonlandırılan tam bir mobil şarj istasyonu batarya çalışma döngüsü, elektrik şebekesine ve mobil şarj istasyonu gereksinimlerine bağlı olarak günde birkaç defa tekrarlanabilmektedir. Önerilen bu sistemde, fazla yenilenebilir enerjinin kesilmek yerine EA bataryalarını şarj etmek için nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir. Sistem için oluşturulan simülasyonların sayısal sonuçları, mobil şarj istasyonu istihdamı ve optimum planlama ile toplam günlük işletme maliyetlerinin %9,63 azaldığını ve EA şarjı için kullanılan güneş ve rüzgâr enerji kısıtlamasının yaklaşık %20 oranında azaldığını göstermiştir [85].



1) Mobil şarj istasyonu bataryasının YEK destekli elektrik şebekesi ile şarj edilmesi



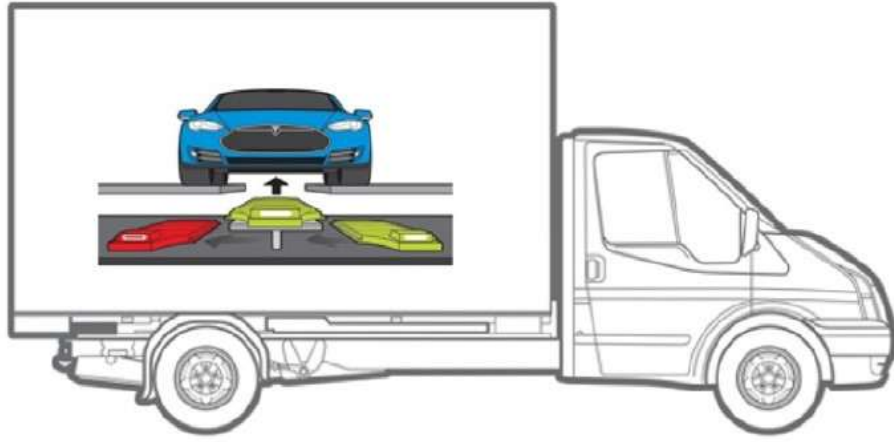
2) Mobil şarj istasyonunun taşınması

3) Mobil şarj istasyonunun sabit şarj istasyonun yakınında EA'ları şarj etmesi

Şekil 4-6: YEK destekli bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonu çalışma döngüsü [85]

4.1.3. Batarya Değiştirme Sistemine Sahip şarj İstasyonları

EA'ların etkili bir şekilde çalışması için temel sorun enerji yenilemesidir. EA kullanıcıları, kalan batarya enerjisi, şarj istasyonlarının konum dağılımı ve seyahat planları arasında bir denge kurmak zorunda kalmakta ve bu durum menzil kaygısına yol açmaktadır. EA bataryasının şarj edilmesi konusunda geleneksel İYM içeren araçların akaryakıt istasyonlarından yakıt almaları gibi kısa bir sürede, EA'larda boşalan bataryayı tam dolu bir batarya ile değiştirebilmek, batarya değişim istasyonlarında mümkün olmaktadır. Ancak bu yöntemde EA kullanıcıları batarya değiştirme işlemi için herhangi bir batarya değiştirme istasyonuna gitmek zorundadır. Bu istasyonların sayısının az olması nedeniyle de talebin yoğunluğuna göre bekleme kuyrukları oluşabilmektedir [86]. Bu sorunu çözmek için mevcut pasif batarya değiştirme modundan aktif batarya değiştirme moduna geçmek faydalı bir fikir olarak görülmektedir. şekil 4-7'de gösterildiği gibi batarya değiştirme sisteminin bir minibüse monte edilmesiyle elde edilecek bir mobil batarya değiştirme istasyonu bu fikri gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir [86].



şekil 4-7: Batarya değiştirme sistemine sahip mobil şarj istasyonu [12]

Batarya değiştirme sistemine sahip mobil şarj istasyonları, sabit batarya değiştirme istasyonlarından farklı olarak, batarya değiştirme sistemine sahip olan ve talep edilen noktaya ulaşabilen minibüsleri içerdiğinden talep edilen noktada boşalan EA bataryasını tam dolu bir batarya ile kısa bir sürede değiştirebilmektedir. Kablosuz iletişim teknolojisi aracılığıyla batarya değiştirme hizmeti yönetim sistemi ve EA kullanıcılarıyla iletişim kurabilen otomatik konumlandırma sistemi ve bir iletişim sistemiyle donatılmış olan bu istasyonlarda, bataryası boşalan EA katlanabilen ve eğimli bir elik plaka yardımıyla minibüsün içine alınır ve batarya

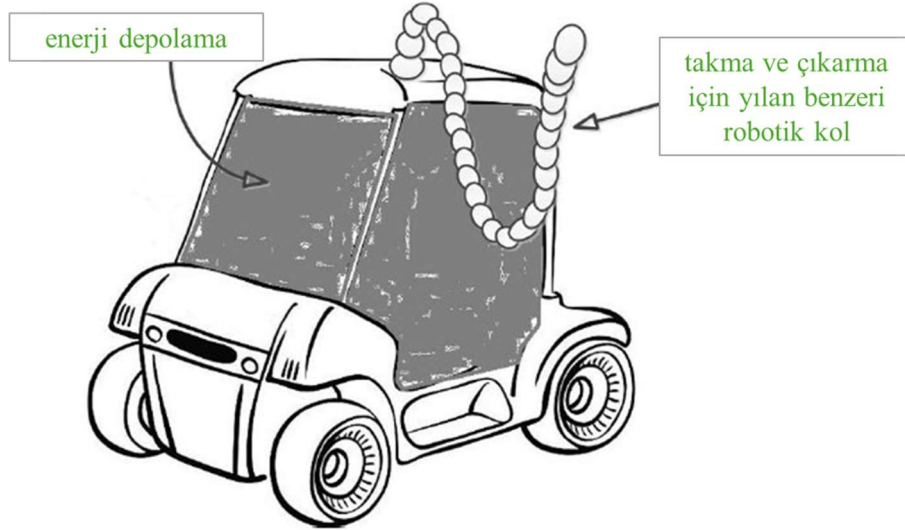
takma ve çıkarma işlemi minibüsün içinde aynı anda kısa bir sürede gerçekleştirilir. Konumlandırma pimi, konumlandırma deliği, konumlandırma rayı, konumlandırma yuvası ve PLC kontrol sistemi gibi bileşenlere sahip olan bu istasyonların doğru konumlandırma ve kolay değiştirme avantajları bulunmaktadır. Batarya değiştirme sistemine sahip mobil şarj istasyonlarının hareketliliği, EA batarya değiştirme istasyonlarının konumu ve miktarı kısıtlamalarını ortadan kaldırmaktadır [86].

Sürüş süresini azaltmak ve batarya değiştirme aracının servis verimliliğini artırmak için, bir batarya değiştirme aracının servis alanı çok fazla yolu kapsamamalıdır. Tüm bölge, farklı nüfus ve yol yoğunluklarına göre bazı küçük servis alanlarına bölünmeli ve araç, çalışma saatleri boyunca devriye gezdiği bir servis alanına hizmet etmelidir. Batarya değiştirme sistemine sahip mobil şarj istasyonlarının bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Her EA modelindeki bataryaların boyutları, kapasite ve derecelendirmeleri gibi değişen fiziksel özellikleri kolayca entegre edilebilir çözümler sunan bir işletme geliştirmeyi zorlaştırmaktadır [79].

Teorik olarak, batarya değiştirme sistemine sahip mobil şarj istasyonlarının EA'ların batarya değiştirme taleplerini herhangi bir noktada tamamlayabileceği varsayılsa da günümüzün EA uygulama ortamında, özellikle iş bölgelerindeki park veya alan kısıtlamaları nedeniyle bu aslında çok uygulanabilir olamayabilir. Bu sorunu çözmek için hizmet veren operatörlerin kendi park alanlarını inşa etmesinin yanında maliyetli ve yavaş bir yöntem olsa da fon ve politika desteğiyle, birçok park alanı inşa edilebilir ve yolların önceden belirlenmiş bazı konumları batarya değiştirme aracının park edilmesi için kullanılabilir [86].

4.1.4. Robotik Sisteme Sahip Mobil Şarj İstasyonları

Kamuya açık otoparklarda EA'ların şarj edilmesi için konumlandırılmış sabit şarj istasyonlarının verimli bir şekilde kullanılmasının önünde, EA park yerlerine İYM'li araçların park etmiş olması ve aracının şarj işlemi bitmiş olmasına rağmen park yerini terk etmemiş EA kullanıcıları olması gibi engeller bulunmaktadır. Bu tür sorunların çözülebilmesi için, araç şarj gereksinimini park gereksiniminden ayırabilecek ve EA'ları şarj etmek için farklı park alanlarını serbestçe hareket ederek ziyaret edebilecek otonom robot benzeri bir mobil şarj istasyonu fikri ortaya çıkmaktadır. Robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonları olarak adlandırılan bu istasyonlar, Şekil 4-8'de gösterildiği gibi yapısında şebekeden bağımsız bir enerji deposu bulunduran, kendi kendine hareket ederek bataryası boşalmış olan bir EA'yı bulunduğu yerde şarj edebilen otonom araçlar olarak tanımlanmaktadır [87] .

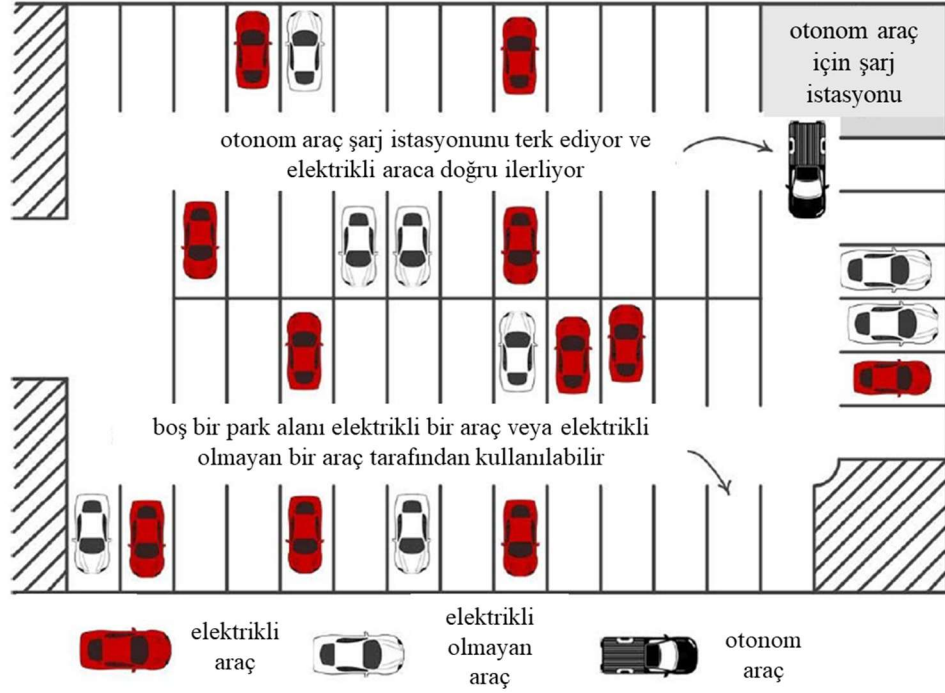


Şekil 4-8: Robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonu [87]

Bir otoparka veya garaja yerleştirilebilen robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonları, park halindeki EA'lara giderek sürücü uzaktayken de aracı şarj edebilmektedir. Bu istasyonda kullanılan araç, otonom olarak EA'ya ulaşmakta ve şarj kablosunu otonom olarak araca takarak yapısında bulunan enerji deposu ile hızlı şarj sistemi kullanarak EA'yı şarj etmektedir. Şarj işlemi tamamlandığında yine otonom olarak şarj kablosunu çıkararak başka bir EA'yı şarj etmek üzere hareket ederek görevine devam etmektedir [87], [88].

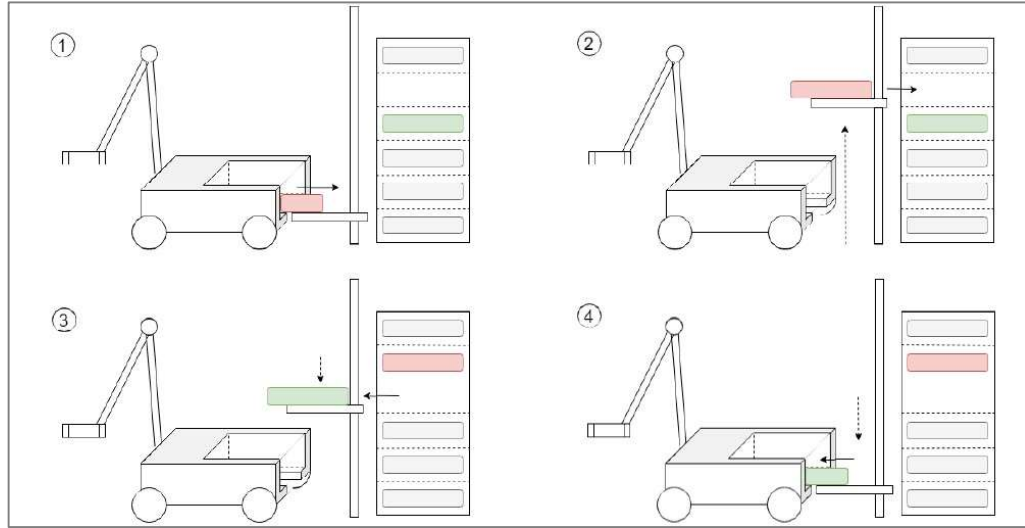
Bu istasyonlarda kullanılan otonom araçların yapısında bulunan enerji deposunun şarj edilmesi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Şarj işlemi iki farklı şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Birincisinde, sistem sadece talebi karşılamak için kendini şarj edebilen dahili bir batarya ile donatılabilmekte, ikincisinde ise, bir serbestlik derecesi daha hesaba katılarak sistemin bataryayı değiştirmesine izin verilmekte ve sistemin genel esnekliği artırılmaktadır [79].

Behl ve arkadaşları verimliliği en üst düzeye çıkarmak amacıyla ikinci yöntemi inceleyen bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, Şekil 4-9'da ifade edilmeye çalışıldığı gibi otonom araç park halindeki EA'ları şarj ederken, otopark içerisine yerleştirilmiş bir şarj istasyonunun yedek bataryaları şarj etmesi ve otonom aracın bataryası boşaldığında bu şarj istasyonuna gelerek şarj istasyonunda şarj edilmiş bir batarya ile kendi bataryasını değiştirmesi durumu incelenmiştir [88].



Şekil 4-9: Sistem modeli [87]

Bu çalışmada, şarj işlemi için kullanılan otonom araç, çeşitli şarj portu konumlarına sahip çeşitli EA marka ve modellerine uyumludur ve park yerlerinde sorunsuz şekilde gezebilmektedir. Bu duruma ek olarak, otonom aracın bataryasının bitmesi halinde konumsal veriler, şarj istasyonuna kolayca dönmesini sağlamalıdır. Birden fazla EA'nın şarj edilmesi durumunda otonom araç üzerindeki batarya değiştirilmeli veya şarj edilmelidir. Bataryaları şarj etmek, depolamak ve batarya değişimi için robotla arayüz oluşturmak üzere minimum boyutlarda bir şarj istasyonu kullanılmalıdır. Platformlu bir asansör tasarımı ile boş olan batarya çıkarılıp şarj istasyonunun şarj bölmesine aktarılmalı ve dolu bir batarya ile değişim sağlanmalıdır. Şekil 4-10'da otonom aracın şarj istasyonu ile etkileşimi gösterilmiştir. 1'den 4'e kadar olan adımlar, otonom aracın pilinin çıkarılması, depolanması ve değiştirilmesinin ardındaki prosedürü göstermektedir [88].



Şekil 4-10: Otonom aracın şarj istasyonu ile etkileşimi [88]

Robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonunun önerilip incelendiği başka bir çalışmada Kong, bu tür şarj istasyonlarının maliyetine değinmiştir. Otonom aracın depolama kapasitesinin 225 kWh olmasının öngörüldüğü bu çalışmada, şarj istasyonundan tek bir sevkியatta yaklaşık 10 adet EA'nın şarj edilebileceği bildirilmektedir. Otonom aracın fiziksel boyutunun bir golf arabasına yakın olduğunun ifade edildiği çalışmada batarya teknolojisinin ilerlemesiyle bu araçların boyutunun küçültülebileceği tahmin edilmektedir [87].

Fiziksel boyutun yanı sıra, enerji depolama bir otonom aracın maliyetine önemli bir katkıda bulunabilmektedir. Son zamanlarda lityum-iyon batarya maliyetindeki düşüş, bu tür istasyonlarda kullanılacak otonom araç maliyetine olumlu yönde etki etmektedir. Robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonlarında kullanılan otonom araç, şebeke dışı bir elektrikli araç şarj cihazı olarak hizmet vermektedir. Bu nedenle, herhangi bir özel güç şebekesi mimarisi ile sınırlı olmamaktadır [87].

Ulaşımda otonom araçların artan popülaritesi göz önüne alındığında, otonom bir yolcu elektrikli aracının aynı zamanda robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonu olarak işlev görmesi imkânsız gözükmemektedir. Böyle bir durumda, daha iyi şarj hizmeti sağlayan daha büyük bir robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonu filosu oluşturulabilmektedir. Ancak, robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonlarında kullanılan otonom araç gibi amaca yönelik üretilmiş bir golf arabasına kıyasla, otonom bir binek aracın fiziksel boyutu çok daha büyük olabilmektedir. Daha büyük boyut, park tesisindeki trafik şeritlerini engelleyebilmektedir [87].

DC türünde 600V gerilim değerine ulaşabilen bu istasyonlarda kullanılan kablolar, birkaç on amperden yüzlerce ampere kadar değişen önemli akımları kaldıracak şekilde tasarlanmaktadır. Yüksek akımlardan kaynaklanan ısı üretimi ve hızlandırılmış yaşlanmadan kaynaklanan güvenlik

hususları, daha kalın kabloların üretilmesini gerekli kılmakta ve bu da kabloların daha sert ve daha ağır olmalarına yol açmaktadır. EA'nın şarja takılma işleminin EA kullanıcıları tarafından manuel olarak yapılması şarj kablolarının tasarımına önemli ergonomik sınırlar getirmektedir. Örneğin, günümüzde kullanılan bir şarj sistemi olan CCS-Tip 2 şarj sisteminde (Kombine Şarj Sistemi) kullanılan şarj kablosu $1,7 \text{ kg/m}^3$ ağırlığındadır ve 28,2 mm'lik bir dış çapa sahiptir [79], [89], [90], [91].

Kalın ve ağır olacak boyutlarda tasarlanan şarj kablolarının taşınması sorununu çözmede, batarya içermeyen, bu görevi kullanıcıların yapmasına kıyasla daha gelişmiş bir güvenlikle gerçekleştirebilecek ve bağlantı sürecini devralabilecek robotik bir kolun kullanılması bir alternatif olarak görülmektedir. Bu tarz bir sistemde, kolu destekleyen platform sabittir ve elektrik şebekesine bağlıdır. Bu sistemler, araç boyutlarını tanımak, şarj girişini ve koruyucu kapağı yerleştirmek ve EA'da uygulanan girişin türünü ve kesin konumunu belirlemek için yapay zekâ destekli kameralardan, sensörlerden ve ışık algılama ve mesafe belirleme (LiDAR) sistemlerinden yararlanmaktadır [79].

4.2. MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ FAYDALARI

Elektrikli araçların kullanıcılar tarafından benimsenmesinin önünde çeşitli nedenler bulunmaktadır. Bu nedenler kendi içinde, elektrik şebekesi açısından, EA kullanıcıları açısından ve yatırımcılar açısından olmak üzere üç farklı şekilde değerlendirilmektedir. Bu nedenlere, elektrik şebekesi açısından, talebin fazla olduğu durumlarda şebeke stresinin artması ve sistemin kararlılığının azalması, EA kullanıcıları açısından menzil kaygısı ve bekleme süresi, yatırımcılar açısından ise yatırım maliyeti ve kullanım oranı gibi örnekler verilebilmektedir. EA'ların toplum tarafından benimsenmesini artırmanın hayati faktörlerinden biri, EA kullanıcılarının mevcut zorluklarını ortadan kaldırmak veya azaltmaktır [92]. Bu bağlamda, mobil şarj istasyonları umut vadeden bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Mobil şarj istasyonlarının elektrik şebekesi, EA kullanıcıları ve yatırımcılar açısından çeşitli faydaları bulunmaktadır. Bu faydalara, elektrik şebekesine güvenli erişim sağlayan daha fazla yeni sabit şarj istasyonu veya yeni maliyetli altyapı inşa etmeyi gerektirmemesi ve sistemin şebeke için faydalı olan zamanlarda şarj edilebilmesi örnek verilebilir. Genel olarak, mobil şarj istasyonları, bir tamamlayıcı olabilir, esnek şarjı mümkün kılabilir, trafik sıkışıklığını azaltabilir ve yüksek taleplerin olduğu zamanlarda sabit şarj istasyonlarına destek olabilmektedir [93].

4.2.1. Elektrik Şebekesi Açısından Faydaları

Günümüzde EA sayısının artmasıyla şarj talebi de aynı oranda artmaktadır. Buna bağlı olarak her aracın eşzamanlı ve kontrolsüz olarak şarj edilmesiyle şarj talebinin mevcut yük zirveleriyle çakışması ihtimali ortaya çıkmakta ve bu durum mevcut elektrik şebekelerinde aşırı yüklenmeye neden olabilmektedir [20], [94], [95]. Artan talebi karşılamak ve şebekeye gelen yükleri hafifletmek için mobil şarj istasyonları bir alternatif oluşturmaktadır. Mobil şarj istasyonlarının mevcut elektrik şebekelerini destekleyecek birçok avantajı bulunmaktadır.

Her bir EA'nın şarj işleminin ne kadar hızlı olduğuna bağlı olarak elektrik şebekesine getirdiği yük miktarı değişkenlik göstermektedir [96]. Yerleşim alanlarında en yaygın kullanılan şarj istasyonu türlerinin Seviye 1 ve Seviye 2 şarj istasyonları olması ve EA'ların şarj edilmesi için 3 ila 140 müstakil aile evi ile aynı miktarda güce ihtiyaç duyulması nedeniyle, elektrik şebekesini ciddi hasarlardan korumak için önlemler alınması gerekmektedir.

Elektrik şebekesine bağımlı olmaması ve istenilen konuma taşınabilir olmasıyla mobil şarj istasyonları, elektrik şebekelerine gelen talebin yoğun olduğu saatlerde, elektrik şebekesinin bulunduğu noktada konumlandırılarak şebekenin kapasitesini geçici olarak artırabilir ve böylece aşırı yüklenme ile oluşacak stresi azaltabilir. Bu operasyonel esneklik, yüksek talep dönemlerini yönetmeye ve EA kullanıcıları için bekleme sürelerini azaltmaya yardımcı olabilir [97].

Sabit şarj istasyonları çok az miktarda şarj esnekliği sunabilirken mobil şarj istasyonları, enerji talebi yoğunluğunun daha az olduğu saatlerde enerjiyi depolayabilmekte ve gerçek zamanlı şarj talebine göre EA'lar için şarj hizmeti sağlayabilmektedir. Bu yetenek, şebeke için daha düz bir talep profili sağlayabilir ve altyapı yükseltmelerine yönelik önemli yatırımların ihtiyacını azaltabilir [97].

Mobil şarj istasyonlarının, EA şarj talebinin yoğun olmadığı saatlerde enerji depolayabilmesi özelliği, temiz enerji kaynaklarından yararlanılmasını mümkün kılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının mobil şarj istasyonlarına entegre edilebilmesi, talebin yoğun olmadığı saatler dışında enerji depolayabilmesinin yanında YEK ile üretilen enerjinin fazlasının depolanmasına da olanak sunmaktadır [97].

Ayrıca, acil durumlarda veya elektrik kesintilerinde, mobil şarj istasyonları değerli bir kaynak haline gelecektir ve EA'ların şarj edilip yola devam etmelerini sağlayabilir. Temel cihazları çalıştırmak veya elektriğin kolayca bulunamadığı durumlarda da enerji sağlamak için yararlı olan yedek güç kaynağı görevi görebilir [98].

4.2.2. Elektrikli Araç Kullanıcıları Açısından Faydaları

Menzil kaygısı, şarj imkânı ve şarj süresi gibi olumsuz etkenler elektrikli araç kullanımının yaygınlaşmasında engel teşkil etmektedir. Mobil şarj istasyonları, EA kullanıcılarının sürüş deneyimini etkileyerek endişeye sebep olabilecek bu engelleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için dikkate değer bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır [79].

EA'ların kısıtlı menzili, uzun mesafeli yolculuklar yapan sürücüleri zor durumda bırakabilmektedir. Olası çözümlerden biri, EA'lar için şarj istasyonlarının imkanını iyileştirmek amacıyla şarj ağını güçlendirmektir. Ancak bu yöntem finansal yatırım gerektirmektedir. Bu bağlamda, mobil şarj istasyonları kolayca dağıtılabilen ek şarj alternatifleri sağlayarak EA kullanıcılarının menzil kaygısını azaltma da umut verici bir çözüm olabilmekte ve böylece sabit şarj istasyonlarına olan bağımlılığı azaltabilmektedir [79].

EA kullanıcılarının araçlarını şarj edebilmeleri konusunda zorluk teşkil eden bir diğer konu şarj imkânı veya şarj erişilebilirliği konusudur. Sınırlı sayıda şarj çıkışına sahip olan sabit şarj istasyonları, şarj talebindeki ani artışları karşılamakta güçlük çekebilmektedir. Ayrıca, erişilebilir alanlardaki halka açık şarj istasyonları, gerekli araç şarj süresinin ötesinde uzun süreli istasyon doluluğu gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Madison Gas and Electric'e göre, halka açık şarj istasyonu kullanıcıları, şarj istasyonlarını araçlarını şarj etmek için gereken zamandan ortalama 45 dakika daha uzun süre işgal etmektedir [79], [99].

Ek olarak, halka açık otoparklarda EA kullanıcılarının araçlarını şarj etmelerine imkân sağlayan park alanlarının İYM'li araç kullanıcıları tarafından işgal edilmesi, EA kullanıcılarının araçlarını şarj edebilmelerine engel olabilmektedir. EA kullanıcıları araçlarını çoğunlukla evlerinde bulunan garajlarda şarj etmektedir ancak garaj imkanının daha az olduğu büyük şehirlerde şarj işleminin açık havada yapılması gerekmektedir. Bu noktada, mobil şarj istasyonları daha az saha sınırlaması ve değişen talebe uyum sağlama esnekliği ile EA kullanıcıları için uygun zamanlarda ve yerlerde şarj hizmeti sunarak uygulanabilir bir çözüm sağlayabilmektedir [12], [79].

Bir EA'nın şarj süresi, bir şarj istasyonuna ulaşmak için gereken süreye, tercih edilen şarj seçeneği için kuyrukta beklerken harcanan süreye, yeniden şarj etme süresine ve varış noktasına ulaşmak için gereken süreye bağlıdır [100]. Ev tipi şarj istasyonu olarak da adlandırılan Seviye 1 şarj istasyonları şarj süresinin önemli bir sorun olmadığı vakitlerde birçok EA kullanıcısı tarafından tercih ediliyor olsa da büyüyen EA pazarına uyum sağlayabilmek için kamusal şarjın genişletilmesi gerekmektedir [101].

Genel olarak, EA'ların şarj edilmesi, İYM'li araçlara yakıt doldurmaya kıyasla daha yavaş bir işlemdir ancak Seviye 3 yani hızlı şarj istasyonları bir istisna olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, hızlı şarj teknolojisiyle donatılmış halka açık şarj istasyonlarının oranı düşük kalmaktadır. Bu bağlamda, mobil şarj istasyonları, özellikle DC şarj desteklediklerinde daha hızlı şarj seçenekleri sunarak ve uygun şarj yerleri aracılığıyla potansiyel olarak zaman kazandırarak ve kuyrukları ortadan kaldırarak EA kullanıcıları için genel şarj sürecini kolaylaştıracak bir çözüm sunmaktadır [79].

4.2.3. Yatırımcılar Açısından Faydaları

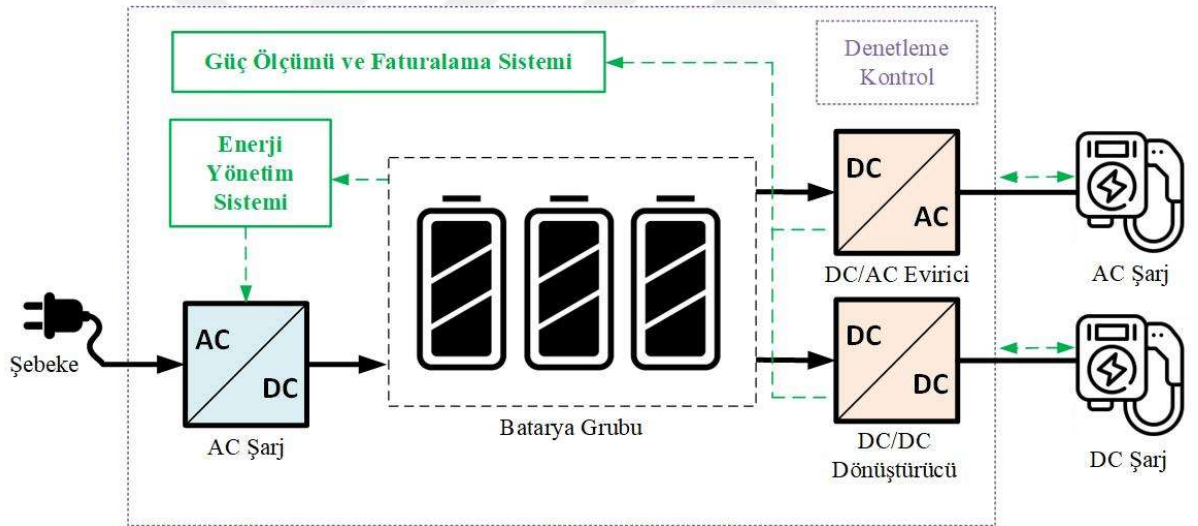
Sabit şarj tesislerine yatırım yapacak yatırımcılar açısından elektrikli araç benimsenmesini teşvik etmek için geniş bir şarj tesisi ağı kurmak mı yoksa şarj tesisleri oluşturmadan önce elektrikli araç benimsenme oranını iyileştirmeyi beklemek mi gerektiğine karar vermek zor bir durumdur [102]. Bu bağlamda, mobil şarj sistemleri, şarj hizmetlerinin kullanım oranını artırma potansiyeline sahiptir ve bu nedenle yatırımcıların şarj istasyonları kurmaları için dikkate değer bir yatırım seçeneği olarak ortaya çıkmaktadır [79].

Yatırımcı sahasında karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, şarj istasyonlarının kullanım oranlarıdır [79]. EA'ların yoğun olduğu bir şehirde bile sabit şarj istasyonlarının düşük kullanım oranı, sabit şarj istasyonlarına yapılan yatırımın geri dönüş oranını yavaşlatan ciddi bir engel olmaktadır [103]. Bir çözüm olarak mobil şarj istasyonları, bu zorluğu çözmede önemli bir rol oynamaktadır. Mobil şarj istasyonlarının en uygun şekilde yerleştirilmesi ve boyutlandırılmasıyla kullanılması sabit şarj istasyonlarının yaygınlaşmasında bir düşüşe yol açsa da bu istasyonların kullanımını ve geri dönüş oranlarını artırarak sonunda daha fazla şirketi sabit şarj istasyonlarına yatırım yapmaya teşvik edebilecektir [12], [79].

EA'ların yaygın olarak benimsenmesine karşı şarj altyapısına yatırım yapma ikilemi önemli bir zorluk teşkil etmektedir [79]. İYM'li araçlara kıyasla EA'ların benimsenme oranının düşük olması nedeniyle her yere hızlı sabit şarj istasyonları kurmak ekonomik olarak uygulanabilir değildir [104]. Mobil şarj istasyonlarının kullanılması, yatırımcıların sabit şarj istasyonlarını kuracakları en iyi noktaları belirlemelerine ve bu süreçte ihtiyaç duyulan yerde ve zamanda mobil şarj istasyonlarını kullanarak sabit şarj istasyonu ağlarını genişletmek için daha fazla zamana sahip olmalarına yardımcı olacaktır [97].

4.3. MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ TEMEL FONKSİYONLARI

Mobil şarj istasyonunun temel mimarisi, güç dağıtım sistemi ve gömülü hesaplama sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Güç dağıtım sistemi, (i) mobil şarj istasyonuna bağlı EA'ları şarj etmek için kullanılacak enerjiyi depolamaktan sorumlu bir enerji depolama sistemi; (ii) şebekeden enerji depolama sistemine güç sağlamak üzere tasarlanmış bir AC şarj cihazı; (iii) enerji depolama sisteminden EA'lara güç sağlamak için kullanılan güç dönüştürücülerinden oluşmaktadır. Gömülü hesaplama sistemi ise, mobil şarj istasyonunun çalışması için gerekli tüm kontrol algoritmalarını, koruma algoritmalarını, güç ölçümünü, faturalama sistemini ve iletişim protokollerini içermektedir. İşlevleri arasında, (i) AC şarj cihazını kontrol etmek için enerji depolama sisteminin elektriksel parametrelerini ve şarj durumunu kullanan enerji yönetim sistemi; (ii) kullanıcı tarafından ödenecek tutarı belirlemekten sorumlu güç ölçüm ve faturalama sistemi ön plana çıkmaktadır. Şekil 4-11'de bir mobil şarj istasyonunun tipik mimarisi gösterilmektedir [24].



Şekil 4-11: Mobil şarj istasyonunun tipik mimarisi [24]

4.3.1. Mobil Şarj İstasyonunda Kullanılan Şarj Soketleri

Mobil şarj istasyonları için verimli ve güvenilir şarj soketlerinin geliştirilmesi, menzil kaygısı ve genişleyen EA altyapısı zorluklarını ele almak için kritik bir öneme sahiptir. Mobil şarj istasyonlarında kullanılacak şarj soketleri, verimli ve esnek şarj çözümlerini kolaylaştıracak nitelikte olan önemli bileşenlerdir. Bu şarj soketleri, elektrikli araç kullanıcılarının farklı ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tasarım ve işlevsellik açısından çeşitlilik gösterebilmektedir. Bu şarj soketlerine gelişmiş teknolojilerin entegre edilmesi, kullanılabilirliklerini ve güvenilirliklerini

artırarak onları mobil şarj uygulamaları için uygun hale getirmektedir. Mobil şarj istasyonları önemli avantajlar sunarken, şarj soketlerinde standardizasyon ihtiyacı ve çeşitli teknolojilerin entegrasyonu gibi zorluklar devam etmektedir. Mobil şarj istasyonu çözümlerinin yaygın bir şekilde benimsenmesi için bu sorunların ele alınması zorunlu bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrik ve elektronik ile ilgili teknolojiler konusunda uluslararası standartları hazırlayan ve yayımlayan uluslararası standart organizasyonu olan Uluslararası Elektronik Komisyonu (IEC), elektrikli araçların iletken şarjına yönelik evrensel olarak kabul edilen standartları oluşturmak amacıyla IEC 62196 standart serisini yayımlamıştır. IEC 62196 standart serisi, elektrikli karayolu araçları arasında uluslararası olarak kullanılan fişler, prizler, araç konektörleri ve araç girişleri gibi çeşitli özellikleri tanımlamaktadır ve EA şarj üreticileri küresel pazarda yer alan EA'larla uyumluluğu sağlayabilmek için şarj ürünlerini bu standarda uygun olarak tasarlayıp üretmeleri gerekmektedir [105], [106].

IEC 62196 standardı şarj konektörlerini standartlaştırmak amacıyla oluşturulmuş olsa da çeşitli EA şarj üreticileri kendi konektörlerini geliştirmek için bu standardı bir temel olarak kullanmışlardır. Dünyanın her bölgesi kendi elektrik şebekesinin ihtiyaçlarına göre kendi şarj konektörünü üretmektedir. Piyasada ağırlıklı olarak kullanılan dokuz tip şarj konektörü bulunmaktadır. Tablo 4-1'de bazı şarj konektörlerine ait bilgiler yer almaktadır [107], [108].

Tablo 4-1'de verilen ilk konektör, SAE tarafından sürdürülen bir Kuzey Amerika şarj standardı olan SAE J1772 Tip 1 şarj konektörüdür. Bu fiş yalnızca tek fazlı AC şarj cihazları için kullanılır çünkü bu tür dağıtım ağı ABD'de daha yaygın kullanılmaktadır. İkinci konektör, Mennekes olarak da bilinen IEC 62196-2 Tip 2 şarj konektörüdür. Bu şarj konektörü, Avrupa Otomobil Üreticileri Birliği (ACEA) tarafından kabul edilen tek fazlı ve üç fazlı bağlantılar için uygun bir Avrupa standardıdır. Üçüncü ve dördüncü şarj konektörleri, kombine şarj sistemini veya CCS'yi temsil etmektedir. bu modeller Tip 1 (CCS-1) ve Tip 2 (CCS-2) konektörlerin ek bir DC bağlantısı ile birleşimidir. Bu şarj konektörleri, DC şarj sisteminin AC şarj fişindeki iletişim ve topraklama pinlerini kullanmasına olanak tanır. Bu durum da elektrikli aracın yüzeyindeki konektörler için gereken alanı azaltır, kablolama ve devreyi en aza indirir ve iki ayrı konektör gerektiren araçlara kıyasla şarj bağlantı noktalarını uygulama maliyetini düşürür. Yukarıda açıklanan şarj konektörlerine ek olarak, Çin ve Hindistan hükümetleri tarafından benimsenen ve Tip 2 konektörden esinlenen GB/T standardı, Japonya Elektrikli Araç Standardı (JEVS) tarafından belirtilen CHAdeMO DC şarj standardı ve Tesla'nın tescilli konektörleri yaygın olarak kullanılmaktadır [109].

Tablo 4-1: SAE J1772, IEC 62196 ve CHAdeMO standartlarıyla ilgili AC ve DC şarj konektörleri [24], [110]

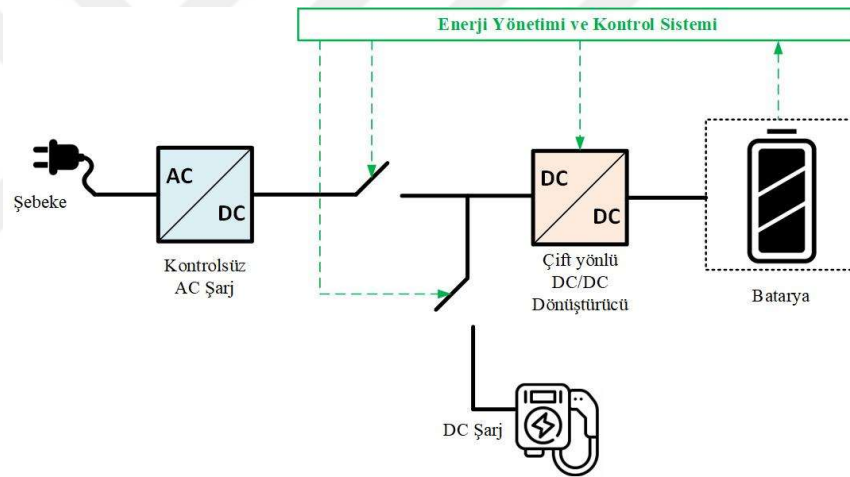
Şarj Yöntemi	Standart	Konektör	Ülke
AC şarj	SAE J1772 Tip 1		ABD Japonya Güney Kore
AC şarj	IEC 62196-2 Tip 2		Avrupa Avustralya
DC hızlı şarj / AC şarj	SAE J1772 CCS-1		ABD Güney Kore
DC hızlı şarj / AC şarj	IEC 62196-2 CCS-2		Avrupa Avustralya
DC hızlı şarj	IEEE CHAdeMO		Küresel çapta

4.3.2. Mobil Şarj İstasyonlarında Kullanılan Güç Dönüştürücüleri

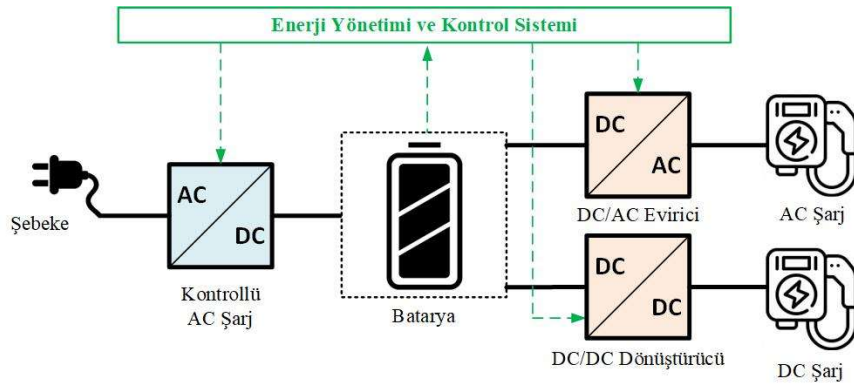
Bilgisayarlar, akıllı telefonlar, batarya şarj sistemleri, batarya depolama sistemleri, güneş panelleri, rüzgâr türbinleri ve elektrikli araçlar gibi pek çok alanda kullanılan güç dönüştürücüleri, sistemdeki farklı güç gereksinimlerini karşılamak ve verimliliği artırmak için kritik bir bileşen olarak karşımıza çıkmaktadır [111].

Mobil şarj istasyonlarında, enerji depolama sistemleri ile bağlı elektrikli araç arasında verimli enerji aktarımı sağlayabilmek için güç dönüştürücülerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu güç dönüştürücülerini ilgili standartlara uygun olarak çalıştırılmalarının ve enerji yönetimi ve kontrol sistemleri aracılığıyla kontrol edilmelerinin yanı sıra, gerilim ve akımın şarj için gerekli seviyelere ayarlanmasında temel rol oynamaktadır [24].

Bu bağlamda, bu işlev için yaygın olarak iki sistem topolojisi benimsenmektedir. Birincisi, bataryanın tek bir güç dönüştürücüsü aracılığıyla şarj ve deşarj edildiği ve “çift yönlü mobil şarj istasyonu” olarak adlandırılan sistem, ikincisi ise bataryanın ayrı güç dönüştürücülerini aracılığıyla şarj ve deşarj edildiği ve “tek yönlü mobil şarj istasyonu” olarak adlandırılan sistemdir. Şekil 4-12 ve Şekil 4-13’te gösterilen her iki topoloji de mobil şarj istasyonları ile ilişkili güç dönüştürücülerinin karmaşıklığını, maliyetini ve verimliliğini doğrudan etkileyen farklı mimarilere sahiptir [24].



Şekil 4-12: Çift yönlü mobil şarj istasyonu topolojisi [24]



Şekil 4-13: Tek yönlü mobil şarj istasyonu topolojisi [24]

Çift yönlü mobil şarj istasyonu topolojisi, genellikle pasif bir filtre ve pasif bir doğrultucudan oluşan kontrolsüz bir AC şarj cihazı ile karakterize edilmektedir [112]. Bu aşamanın kontrolsüz olmasının bir sonucu olarak, mobil şarj istasyonunda, şarj işlemi sırasında bataryada depolanan enerjiyi yönetmek için ikinci (anlık kontrol edilen) bir dönüştürücüye ihtiyaç duyulmaktadır [24]. Bu işlemdeki dönüşüm aşamalarının sayısını azaltmak için bu dönüştürücünün çift yönlü olması gerekmektedir. Burada, güç akışı mobil şarj istasyonunun şebeke tarafından mı şarj edildiğini yoksa istasyona bağlı bir EA'yı mı şarj ettiğini göstermektedir. Sistemin doğası gereği, mobil şarj istasyonuna bağlı EA'ya iletilen gücün ve bataryada depolanan enerjinin tam ve ayırık kontrolünü sağlamak için bu topoloji yalnızca şebeke dışı çalışmayı desteklemektedir [24].

Tek yönlü mobil şarj istasyonu topolojisi, kontrollü bir AC şarj cihazına sahiptir ve bu nedenle bataryada depolanan enerjiyi kontrol etmek için ikinci bir güç dönüştürücüsüne gerek kalmamaktadır. Sonuç olarak sistem bataryanın doğrudan bağlandığı ortak bir DC veri yolu sunmaktadır [24]. Bu tür topolojide, AC şarj çıkışları (DC/AC dönüştürücülerle arayüzlenir) DC şarj çıkışları (DC/DC dönüştürücülerle arayüzlenir) veya her ikisinin bir kombinasyonu bulunabilir. Bu çok yönlülük göz önüne alındığında bu topoloji hem şebekede hem de şebekeden bağımsız olarak çalışabilmektedir [24].

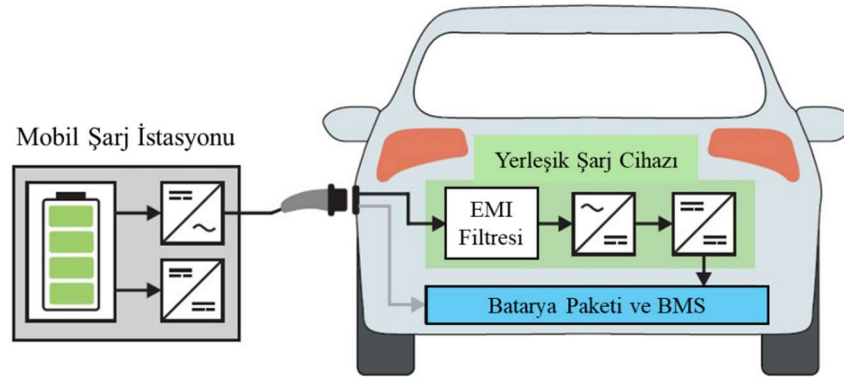
Yukarıda açıklanan iki mobil şarj istasyonu topolojisine dayanarak EA'ları mobil şarj istasyonlarına entegre etmek için kullanılabilecek üç ayrı ana dönüştürücü ailesi tanımlamak mümkündür. Bu dönüştürücüler standartlarda tanımlanan tek yönlülük/çift yönlülük, kontrol gereksinimleri ve özelliklerdeki farklılıkları yansıtmaktadır [24].

İzole olmayan DC/DC dönüştürücüler, IEC 61851-23 standardına göre çıkış tarafındaki DC devresinin güç kaynağı tarafındaki AC devresinden temel yalıtım yoluyla elektriksel olarak ayrılmadığı devreler olarak tanımlanmaktadır. İzole olmayan DC/DC dönüştürücüler, EA şarj istasyonu uygulamalarında izole muadillerine göre daha basit ve genellikle daha verimli bir alternatif sunmaktadır. Bu dönüştürücüler, genellikle galvanik izolasyon gerekmediğinde kullanılır, bileşen sayısını azaltır, dönüşüm kayıplarını en aza indirir ve genel güç yoğunluğunu iyileştirir. Tipik olarak karmaşıklık açısından bu uygulama için izole edilmemiş DC/DC dönüştürücüler, temel topolojiler ve türetilmiş topolojiler olarak sınıflandırılmaktadır [24], [113].

İzole DC/DC dönüştürücüler, IEC 61851-23 standardına göre çıkış tarafındaki DC devresinin güç kaynağı tarafındaki AC devresinden elektriksel olarak izole edildiği devreler olarak tanımlanmaktadır. Şebeke dışı çalışmaları göz önüne alındığında, mobil şarj istasyonları doğal olarak elektrik şebekesinden izole edilmiştir. Ancak şebeke içi uygulamalarda bu izolasyon, AC şarj cihazlarıyla ilişkili düşük frekanslı bir transformatör veya mobil şarj istasyonunun DC/DC

dönüştürücüsündeki yüksek frekanslı bir transformatör tarafından sağlanabilir. Bununla birlikte, elektrikli araç şarj istasyonunun eşzamanlı kullanım için tasarlanmış birden fazla DC çıkışı varsa, her çıkış devresi temel veya güçlendirilmiş yalıtımla birbirinden izole edilmelidir. Bu uygulamanın mobil şarj istasyonunun DC/DC dönüştürücülerinde uygulanması gerekmektedir. Bu güç dönüştürücülerinde bulunan galvanik izolasyon, aynı şarj istasyonuna bağlı elektrikli araçlar arasındaki kaçak akımları önlemek için güvenlik nedenleriyle de önemlidir [24], [113], [114].

DC/AC dönüştürücüler, doğru akımı (DC), genliği ve yönü periyodik olarak değişen alternatif akıma (AC) çeviren devrelerdir [115]. Daha az yaygın bir çözüm olmasına rağmen mobil şarj istasyonlarının asıl amacının hızlı ve acil EA şarjı olduğu düşünüldüğünde, mobil şarj istasyonlarının AC çıkışları aracılığıyla EA şarjı sunması mümkündür. Bunun için, mobil şarj istasyonunun enerji depolama sistemi bir DC veri yolu oluşturduğundan DC/AC dönüştürücülerin kullanılması gereklidir. Böylece elektrikli araç, Şekil 4-15'te gösterildiği gibi yerleşik şarj cihazı kullanılarak şarj edilebilir [24].



Şekil 4-14: AC şarj yapılandırması örneği [24]

Bu dönüştürme aşamasının düzgün çalışabilmesi için AC şarj gereksinimleriyle uyumlu, uluslararası standartlar tarafından belirtilen büyüklük ve frekansta sinüzoidal gerilimler üretmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu senaryoda kullanılan DC/AC dönüştürücüler, iki seviyeli darbe genişlik modülasyonu invertörleri (TLI) ve çok seviyeli darbe genişlik modülasyonu invertörleri (MLI) olarak sınıflandırılabilir [116], [117].

Düşük gerilimli uygulamalar için TLI çözümleri iyi performans gösterebilir. Bununla birlikte MLI çözümleri TLI çözümlerine göre açık avantajlar sunmaktadır. MLI çözümlerinde, çıkış gerilimini sentezlemek için daha fazla seviye kullanıldığından, daha düşük akım ve gerilim harmonik bozulmaları beklenir. Sonuç olarak çıkış filtreleri daha küçük olabilir. Öte yandan MLI

çözümlerinin TLI çözümlerine kıyasla ana dezavantajı, sistem maliyetlerini artıran ve daha karmaşık kontrol sistemleri gerektiren artan anahtar sayısıdır [116].

Her iki dönüştürücü sınıfı da hala bahsetmeye değer bir sorunu paylaşmaktadır. Tipik olarak izole edilmemişlerdir ve bu özellik istenmeyen bir durumdur çünkü elektrikli aracın çok çıkışlı bir şarj istasyonunda aynı anda şarj olan diğer elektrikli araçlardan elektriksel olarak izole kalması ve şebekeden izole olması (şebeke üzerinde çalışma düşünüldüğünde) önemlidir [24].

Bu sorunu ele almak için iki farklı çözüm uygulanabilir:

- Elektrikli araç şarj istasyonunun girişinde AC şarj cihazından önce düşük frekanslı bir transformatör kullanılabilir.
- Yüksek frekanslı bir transformatör birden fazla güç dönüştürme aşamasına sahip bir DC/AC dönüştürücüde kullanılabilir.

Dolayısıyla, bu senaryoda AC seviye 1 ve AC seviye 2 sabit şarj istasyonları için kullanılan aynı dönüştürücüler mobil şarj istasyonunda kullanılabilir [24].

4.3.3. Mobil Şarj İstasyonlarında Güvenlik Önlemleri

Mobil şarj istasyonları, dinamik çalışma ortamları nedeniyle sabit şarj istasyonlarına kıyasla farklı zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu sistemlerde güvenliğin sağlanması, elektriksel, fiziksel, siber, çevresel ve operasyonel boyutları kapsayan çok katmanlı bir yaklaşım gerektirmektedir [118].

Elektriksel güvenlik açısından bakıldığında mobil şarj istasyonlarının IEC tarafından tanımlanan uluslararası elektrik standartlarına uygun olması gerekmektedir [119]. Anormal durumlar veya arıza meydana geldiğinde güvenliğin sağlanabilmesi için sistemin otomatik güvenlik kapatma mekanizmasına sahip olması gerekmektedir [118]. Mobil kurulumların doğasında olan hareket ve titreşimler göz önüne alındığında, konektörler ve kablolar aşınmaya, kazara bağlantı kesilmelerine veya hasara karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmalı veya sabitlenmelidir. Bu elektriksel güvenlik önlemleri, mobil şarj istasyonları harekete ve değişken kurulum koşullarına maruz kaldığında özellikle elektrik çarpmaları ve yangın riskleri gibi yaygın tehlikelerin önlenmesine yardımcı olmaktadır [119].

Mobil şarj istasyonlarında, darbelere, titreşimlere ve hava koşullarına bağlı streslere dayanabilecek dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. Bu tür malzemelerin kullanımı, çevresel faktörlerden kaynaklanabilecek hasarı en aza indirmeye yardımcı olacaktır [119]. Hırsızlık ve yetkisiz erişimle ilgili riskleri azaltabilmek için sistemde güvenli kilit mekanizmaları ve GPS

takibi kullanılabilir. Bu yapısal ve fiziksel güvenlik önlemleri, mobil şarj istasyonunun zorlu koşullar altında bile sağlam ve güvenli kalmasını sağlayarak hem kullanıcıları hem de ekipmanı korumaya yardımcı olmaktadır [118].

Mobil şarj istasyonları genellikle bir IoT ağının parçası olarak çalışmaktadır. Şifreli veri iletişimi, güvenlik duvarları ve düzenli ürün yazılımı güncellemeleri, sistemi korsan girişimlere karşı savunmaya yardımcı olmaktadır. Mobil şarj istasyonunun performansını gerçek zamanlı olarak izleyen bir merkezi yönetimin olması düzensizliklerin tespit edilmesini ve gerekirse cihazın uzaktan kapatılmasını sağlamaktadır. Bu siber güvenlik uygulamaları, özellikle uzaktan ve otonom işlevlerle entegre olan mobil şarj istasyonlarında, gizliliğin ve operasyonel bütünlüğün sağlanmasında önemli rol oynamaktadır [118].

Mobil şarj istasyonlarının açık havada kullanılması ihtimaline karşı nem ve toz gibi çevresel etkilere karşı korumalı olması gerekmektedir. Sıcaklık ve nem kontrolü yapan sensörler kullanılarak ortam sıcaklığının güvenli olmayan seviyelere ulaşması halinde sistemin kapatılması sağlanmalıdır. Etkili havalandırma veya aktif soğutma mekanizmaları ile özellikle kapalı veya kısmen kapalı ortamlardaki mobil şarj istasyonlarında çalışma sırasında oluşan ısıнын dağıtılması önemli olmaktadır. Bu çevresel tasarım hususları, aşırı hava koşulları veya beklenmedik çevresel maruziyetler nedeniyle ekipman arızalarının önlenmesine yardımcı olmaktadır [119].

Mobil şarj istasyonlarında kullanılacak coğrafi sınırlama özelliği sistemin yalnızca önceden yetkilendirilmiş bölgelerde çalışmasını sağlayarak güvenli olmayan veya yetkisiz alanlarda kullanılma riskini azaltmaktadır. Aşınma, hasar veya anormalliklere yönelik yapılacak rutin kontroller, potansiyel tehlikelerin güvenlik sorunlarına dönüşmeden önce tahmin edilerek önlenbilmesine olanak tanımaktadır. Mobil şarj istasyonları ile ilgili verilecek kapsamlı bir eğitim, sistem ile ilgili herkesin güvenlik protokolleri ve acil durum prosedürlerini anlamasına katkı sağlayacaktır. Bu operasyonel önlemler, mobil şarj istasyonunun yapısında var olabilecek karmaşıklıklara rağmen proaktif izleme ve hızlı müdahale mekanizmaları sayesinde risklerin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlamaktadır [118].

4.4. MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ TAŞINABİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

Bölüm 4.1’de dört farklı çeşidi anlatılan mobil şarj istasyonları, bu tür şarj istasyonlarını tercih edecek kullanıcı veya yatırımcıların ihtiyaçları doğrultusunda taşınabilirlik özellikleri açısından farklılık göstermektedir. Mobil şarj istasyonlarında taşınabilirlik özellikleri fiziksel boyutlar ve ağırlık, tasarım özellikleri, enerji kaynağı bağımsızlığı, kurulum ve devreye alma

süreci, çevresel dayanıklılık, lojistik ve nakliye kolaylığı gibi konuları içermektedir. Bu bölümde mobil şarj istasyonlarının taşınabilirlik özellikleri ile ilgili bilgi verilecektir.

Fiziksel Boyutlar ve Ağırlık:

Mobil şarj istasyonlarının çeşitlerine göre fiziksel boyutları ve ağırlıkları değişkenlik göstermektedir. Şebeke bağlantılı sisteme sahip mobil şarj istasyonlarında herhangi bir enerji depolama sistemi bulunmadığından bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonlarına göre ağırlıkları değişkenlik gösterebilmektedir. Bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonları ile de robotik sisteme sahip mobil şarj istasyonlarında kullanıcının enerji talebinin büyüklüğüne ve şarj hızının miktarına göre batarya boyutları değişkenlik gösterebilmektedir. Bu bağlamda, mobil şarj istasyonunun türü taşınabilirlik üzerinde etkili olurken, bu istasyonların üretiminde kullanılacak malzemenin hafif olması ve bu istasyonların kompakt bir tasarıma sahip olması da son derece önem arz etmektedir [79].

Tasarım Özellikleri:

Mobil şarj istasyonlarında taşımayı kolaylaştıracak yapısal özellikler, tercih edilmeleri ve kullanıcılara kolaylık sağlaması açısından önemlidir. Örneğin, Volkswagen'in otonom mobil şarj robotunun hem otonom olup kendi kendine hareket edebilmesi hem de birden fazla sayıda batarya sistemini aynı anda taşıyarak EA kullanıcılarına hizmet edebilmesi mobil şarj istasyonları için dikkate değer özelliklerdir. Ek olarak, EA kullanıcılarını zorlayabilen bir diğer husus şarj kablolarının ağırlığı konusu olabilir. Mobil şarj istasyonlarında şarj kablolarının EA'lara takılması için kullanılabilecek robotik bir kol EA kullanıcılarına bu hususta bir kolaylık sağlayabilir. Yapısında enerji depolama sistemi bulunduran mobil şarj istasyonları, EA kullanıcıları ve elektrik şarj altyapısına yatırım yapacak yatırımcılara montaj ve kurulum kolaylığı sayesinde faydalı olmaktadır [120], [121].

Enerji Kaynağı Bağımsızlığı:

Yapısında enerji depolama sistemi bulunduran mobil şarj istasyonları, elektrik şebekesine bağımlı olmadığından EA'lar için enerji kaynağı olmasının yanı sıra, doğal afetler gibi acil durumlarda gereken enerjiyi karşılayabilecek bir güç kaynağı olarak da kullanılabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre olabilen mobil şarj istasyonları, üretilen enerjinin fazla

kısmını depolayabileceği için üretilen enerjinin verimliliği konusunda avantaj sağlamaktadır [85], [98].

Kurulum ve Devreye Alma Süreci:

Mobil şarj istasyonlarının en önemli avantajlarından birisi de kurulum sırasında herhangi bir inşaat durumuna ihtiyaç duyulmamasıdır. Kolay bir şekilde kurulup kısa sürede devreye alınabilen mobil şarj istasyonlarına örnek olarak Beam Global tarafından üretilen EV ARC şarj istasyonu, yine aynı firma tarafından üretilen bir römork ile kolayca taşınabilmekte ve firmanın dağıtım uzmanı tarafından dört dakika gibi kısa bir sürede kurulup faaliyete alınabilmektedir [122].

Çevresel Etkilere Dayanıklılık:

Mobil şarj istasyonlarının çevresel etkilere karşı dayanıklı olması sistemin işlevselliğini korurken aynı zamanda çeşitli koşullara dayanabilmesini sağlamaktadır. Güçlendirilmiş plastik veya paslanmaz çelik gibi dayanıklı malzemelerin kullanılmasıyla fiziksel hasarlara ve korozyona karşı korunabilen mobil şarj istasyonları, yağmur, kar ve aşırı sıcaklık gibi hava değişimlerinden etkilenmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Taşımacılıkla ilgili darbelere dayanacak şekilde üretilen bu istasyonlar, sık sık taşındıktan sonra bile çalışmaya devam edebilmelidir [123].

Lojistik ve Nakliye Kolaylığı:

Mobil şarj istasyonları, lojistik ve nakliyei kolaylaştırmak üzere tasarlanmalıdır. Boyutları itibariyle nakliye araçlarına uygun olabilen bu istasyonlar, tekerlekler veya römorklar ile donatıldıklarında farklı yerlere zahmetsizce taşınabilmektedirler. Sabit şarj istasyonlarına göre depolanmaları daha kolay olan mobil şarj istasyonları, nakliye sırasında zarar görmeyecek şekilde tasarlanmalıdır [124].

5. MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ MEVCUT DURUMU VE GELECEĞİ

Elektrikli araçların benimsenmesinde, elektrik şebekesi, EA kullanıcıları ve elektrik şebekesi yatırımcıları için pek çok faydası bulunan mobil şarj sistemlerine ait teknolojiler her geçen gün ilerlemektedir. Bu bölümde, mobil şarj istasyonlarının dünya ve ülkemiz genelindeki durumu incelenecek, pazar oyuncuları araştırılacak, bu tür istasyonların kullanım alanları standartları ile verilecek ve gelecekte olması beklenen teknolojiler değerlendirilecektir.

5.1. DÜNYA GENELİNDE MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ MEVCUT DURUMU

Dünya genelinde artan EA sayısı ile birlikte enerji ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. EA'ların şarj edilmesi konusunda elektrik şebekesi, EA kullanıcıları ve bu alanda yatırım yapacak yatırımcılar için çeşitli zorluklarla karşılaşilmektedir. Bu zorlukların azaltılması veya ortadan kaldırılması için dünya genelinde birçok şirket mobil şarj istasyonları ile ilgili çalışmalar yapmaktadır.

Dünyada EA şarjı için ilk defa 2010 yılında İsviçreli şirket olan Nation-E tarafından bir mobil şarj istasyonu geliştirilmiştir. Şekil 5-1'de gösterilen ve "Angel Car" adını verdikleri bu sistem, yolda mahsur kalmış EA kullanıcılarının bulunduğu noktaya özel bir Angel Car ünitesine veya herhangi bir standart servis aracına takılarak taşınabilmektedir. EA kullanıcılarının saatlerce beklemesine gerek kalmadan standart bir EA'yı yaklaşık 15 dakikada 2-3 kWh güçle şarj edebilen bu sistem yerleşik bir 230 V şarj cihazıyla donatılmıştır. Bu, yaklaşık 30 km'lik bir yolculuk için yeterli bir enerji olduğundan EA kullanıcılarının standart bir EA şarj noktasına veya evlerine geri dönmelerine olanak sağlamaktadır. Mahsur kalan EA ile Angel Car arasındaki iletişim, Nation-E'nin üst düzey "Batarya Yönetim Sistemi" aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu sistem, araç aküsünün parametrelerini ve doğrulama izinlerini konuşup inceleyebilmekte ve yolda kalan aracın hızlı şarj edilmesi gereken enerji miktarını ve yoğunluğunu belirleyebilmektedir. Bu hiper akıllı ünite, kontrollü enerji akışını sağlayan dokunmatik bir ekranla donatılmıştır [125].



Şekil 5-1: Angel Car mobil şarj istasyonu [125]

Shenzhen Anari Energy Co. (kısaca Anari), yenilenebilir enerjili araç şarj ve enerji depolama sistemi alanına odaklanan yenilikçi bir yüksek teknoloji kuruluşudur. Şirketin merkezi Çin'in bilim ve teknoloji başkenti Shenzhen'dedir. Anari, elektrikli araç şarj cihazı ve enerji depolama sistemleri geliştirip üretirken çeşitli senaryolara dayalı akıllı şarj sistemi çözümleri de sunmaktadır. Ürün grubu, AC şarj üniteleri, DC şarj üniteleri, şarj operasyon yönetim sistemleri, enerji depolama sistemleri ve elektrikli araç mobil şarj sistemlerini kapsamaktadır. Anari, ticari veya genel mobil şarj talebine uygun, aynı anda 2 aracı şarj edebilme kapasitesine sahip ve elektrikli araç altyapı mobil operatörleri ile servis sağlayıcılarının tercih edebileceği bir mobil şarj istasyonu geliştirmiştir. Giriş gerilimi 260 V AC – 530 V AC arasında, giriş akımı maksimum 350 A olan sistem Şekil 5-2'de gösterilmiştir. DC şarj çıkış gücü 60 kWh olan bu istasyon CCS1 ve CCS2 konnektörleriyle uyumludur [126].



Şekil 5-2: Anari elektrikli araç mobil şarj sistemi [126]

Andromeda Power tarafından İtalya’da tasarlanan ve tamamen ABD’de üretilen bir araç üstü hızlı şarj ve deşarj istasyonu olan Orca Inceptive, kompakt bir yapıya sahiptir ve Şekil 5-3’te gösterildiği gibi EA’ların bagajına kolayca monte edilebilmektedir. Batarya kapasitesi 25 kWh olan mobil şarj istasyonu, yolda mahsur kalmış bir EA’yı maksimum performansta 5 dakikada %0’dan %80’e şarj edebilmektedir. Araçtan araca (V2V) ve araçtan binaya (V2B) hızlı şarj ve deşarj yeteneğine sahip olan Orca Inceptive, bir EA bataryasını 25 dakikada %80 dolu hale getirebilmektedir. EA’lar için iki adet CHAdeMO şarj konektörü ile donatılmıştır ve 50 kW DC çıkış gücüne sahiptir [127].



Şekil 5-3: ORCA Inceptive araç üstü hızlı şarj istasyonu [127]

Autev, sürdürülebilirlik, yenilikçilik ve erişilebilirlik hedefleriyle elektrikli araç şarjı için hizmet veren bir şirkettir. EA kullanıcıları için araçlarını daha kolay şarj edebilmeleri, sabit şarj altyapısına bağımlılıklarını azaltabilmeleri ve tesis sahiplerinin EA şarjına yönelik artan talepleri karşılayabilmelerine yardımcı olma misyonuyla hizmet vermek üzere Şekil 5-4’te gösterilen otonom şarj robotunu geliştirmiştir. Autev, ek sabit altyapıya ihtiyaç duymadan artan elektrikli araç şarj talebini karşılamak için hızla devreye alınabilen, daha uygun maliyetli ve ölçeklenebilir bir mobil şarj istasyonudur. Robotun hareket kabiliyeti, ihtiyaç duyulan her yerde anında şarj imkânı sunmasını sağlayarak sabit bir şarj altyapısına olan ihtiyacı azaltmakta ve EV kullanıcıları için şarj işlemini daha kolay hale getirmektedir. Şarj altyapısının bulunmadığı veya kurulumunun zor olduğu bölgelere ulaşarak elektrikli araçları daha geniş bir tüketici kitlesine ulaştırabilmektedir [128], [129].



Şekil 5-4: Autev otonom şarj robotu [128]

Elektrikli araç sektöründe yenilikçi bir şirket olan Batteri, özel şarj istasyonlarına olan ihtiyacı ortadan kaldırarak geleneksel şarj altyapısının zorluklarını ele alacak ve park alanı kullanımını optimize edecek esnek ve sıfır altyapılı bir alternatif sunmaktadır. Şekil 5-5'te gösterilen ve Thomas adını verdikleri şarj robotu ile yenilikçi bir şarj alternatifi sunan Batteri, 60 kW DC hızlı şarj cihazı olma özelliğine sahip bu şarj robotu sayesinde standart Seviye 1 ve Seviye 2 şarj cihazlarından 7 ila 10 kat daha hızlı şarj imkânı sunmaktadır [130], [131]. L şeklindeki tasarımı sayesinde otoparklarda mevcut düzeni bozmadan sorunsuz bir şekilde entegre olabilen Thomas şarj robotu, talebin düşük olduğu saatlerde enerji depolayabilmesi özelliği ile enerji kullanımını optimize ederek elektrik şebekesine gelen yükü azaltabilmektedir. Batteri sistemi, Thomas'ın, şarj edilmesi gereken araçları belirlemesine veya alternatif olarak uygulama üzerinden veya otoparktaki sabit bir kioskta talepte bulunulması yoluyla plaka tanıma veya coğrafi sınırlama teknolojilerini kullanarak otomatik şarj taleplerine yanıt vermesine olanak tanımaktadır. Sistem, her aracın şarj durumuna ve sürücünün planlanan kalkış saatine göre şarjı önceliklendirmekte ve kaynakların verimli kullanılmasını sağlamaktadır [131]. Thomas'ın ilk pilot projesinde, 7 saatlik çalışma için ortalama şarj hızının 12,5 kWh ve enerji verimliliği seviyesinin yaklaşık %70 olması projenin iyileştirmeye ihtiyacının olduğunu gösteriyor olsa da çalışma saati boyunca 2-3 aracı maksimum kapasitelerine kadar şarj etmesi, benzer senaryolarda geleneksel şarj altyapısının üstünde bir performansı olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, Thomas'ın gerçek dünya ortamında uygulanabilirliğini ve etkinliğini ortaya koymaktadır. Thomas şarj robotu, EA şarjını daha hızlı ve daha verimli hale getirmesinin yanında mevcut kentsel ortamlara sorunsuz bir şekilde entegre olabileceği bir gelecek vadeden yenilikçi bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır [131].



Şekil 5-5: Thomas şarj robotu [131]

Beam Global, ulaşımın elektrifikasyonu ve enerji dayanıklılığı için yenilikçi, sürdürülebilir ürünler ve teknolojiler sağlayan bir teknoloji şirkettir. Sektörde, %100 yenilenebilir enerji ile şebekeden bağımsız çalışan ve taşınabilen EV ARC isimli şarj istasyonunun üretimini yapan Beam Global, kendi enerjisini üretip depolayabilme özelliği ve standart bir park alanına sığacak büyüklükteki tasarımı ile ön plana çıkan bu şarj istasyonlarında 6 adet aracı aynı anda şarj edebilme imkânı sunmaktadır. Şekil 5-6’da gösterilen ve birçok EA ile uyumlu olan EV ARC, şık ve estetik tasarıma sahip çok yönlü bir enerji altyapı ürünüdür. Şirketin ürettiği bir diğer ürün olan ve Şekil 5-7’de gösterilen ARC Mobility Trailer isimli römork ile taşınabilen ve bir dağıtım uzmanı aracılığıyla 4 dakika gibi kısa bir sürede kurulup faaliyete alınabilen EV ARC şarj istasyonu, rüzgâr ve sel gibi afetlere dayanabilme özelliğine sahiptir. Elektrik kesintilerinden etkilenmeyen bu istasyonlar, acil durumlarda müdahale ekipleri için acil durum gücü sağlamaktadır [122].



Şekil 5-6: Beam EV ARC şarj istasyonu [122]



Şekil 5-7: Beam ARC Mobility Trailer [132]

Car Charging Bot, elektrikli araçlar için kablosuz şarj robotu geliştiren bir şirkettir. EA kullanıcılarının araçlarının tampon içine, kapı panellerinin içine veya kapı panellerinin altına takacağı bir şarj bobini ile kullanabileceği Şekil 5-8’de gösterilen bu kablosuz şarj robotu, havaalanı, alışveriş merkezi veya otoparklar gibi pek çok alanda şarj hizmeti almaya olanak tanımaktadır. Park halindeki EA’ya en yakında bulunan kablosuz şarj robotu AI yardımıyla aracı bulup araç üzerindeki şarj bobinlerine hızlı ve kolay bir şekilde bağlanmaktadır. Bağlanma işleminden sonra EA kullanıcısının istediği şarj yüzdesini belirlemesi ile şarj işlemi başlamakta ve işlem tamamlandığında robot otomatik olarak bağlantıyı kesip araçtan ayrılmaktadır. Şarj yüzdesinin EA kullanıcıları tarafından belirlenebiliyor olması EA bataryasının aşırı şarj olmasını önlemektedir [133].

Kablosuz şarj robotu aynı anda yalnızca 1 aracı şarj edebilir ve kendisini yeniden şarj etmesi gerekmeden toplamda 3 aracı şarj edebilmektedir. Robotların şarj edilmesinden ana süper şarj istasyonu sorumludur. İstasyonda robotları 1,5 saatte şarj edebilen yüksek hızlı şarj cihazları bulunmaktadır. Sistem, talep edilen her zamanda bir robotun hazır bulunmasını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece sahadaki robotlardan daha fazla sayıda robot her zaman şarj edilmiş olacaktır. Bu sayede talebin yüksek olduğu zamanlarda bile bir şarj robotu her zaman hazır bulunacaktır [133].



Şekil 5-8: Car Charging Bot kablosuz şarj robotu [133]

Charger, esnek ve erişilebilir EA şarj çözümlerine yönelik artan talebi karşılamak için Birleşik Arap Emirlikleri'nde EA'lar için mobil şarj hizmeti veren bir şirkettir. EA'ların şarj edilmesi sırasında hem şarj süresinin hem de şarj kuyruğunda bekleme süresinin azaltılabilmesi için Şekil 5-9'da gösterildiği gibi bir mobil şarj istasyonu geliştiren Charger, bölgedeki ilk lisanslı mobil şarj istasyonu olma özelliğini taşımaktadır. 250 kWh'lık kapasitesiyle hızlı şarj imkânı sunan bu istasyonda Tesla marka bir EA, 20-30 dakika içinde şarj edilebilmektedir. Uygulama üzerinden planlı şarj veya anında şarj talebinde bulunulabilen istasyonda şarj ücreti 1,20 dirhem/kWh olarak belirtilmiştir [134].



Şekil 5-9: Charger mobil şarj istasyonu [135]

ChargeWheel, 2021 yılında kurulan, Amerika Birleşik Devletleri'nin Kaliforniya eyaletinde hizmet veren ve yenilenebilir enerji sektöründeki akıllı hızlı şarj cihazlarına odaklanarak elektrikli araç şarj çözümlerinde uzmanlaşan bir şirkettir. Şirket hem mobil hem de sabit şarj üniteleri sağlayan, pil depolamayı DC hızlı şarj teknolojisiyle birleştiren patentli şarj cihazları sunmaktadır. ChargeWheel'in platformu ayrıca, bir şarj cihazı yönetim panosu ve ölçeklenebilir pil depolaması içeren, filo operatörleri için optimize edilmiş bir yazılım ve donanım çözümü içermektedir. Şekil 5-10'da gösterilen batarya entegreli ultra hızlı mobil DC şarj cihazı 300 kWh batarya kapasitesine sahiptir ve şarj hızı 200 kW'a kadar ulaşabilir. 240-480 V AC giriş gerilimine sahip bu mobil şarj istasyonu EA şarjı, acil şarj ve filo şarjı olanağı sağlamaktadır [136], [137].



Şekil 5-10: ChargeWheel batarya entegreli ultra hızlı mobil DC şarj cihazı [136]

ClubAssist, uzun yıllardır enerji depolama alanında hizmet veren Avustralya menşeli bir şirkettir. Ürün yelpazesi otomotiv, denizcilik, ticari ve endüstriyel uygulamaları kapsayan ClubAssist, yol kenar yardımını ve mobilitenin geleceğini desteklemek için son teknoloji çözümler geliştirmede ön saflarda yer almaktadır. EA'lar için Şekil 5-11'de gösterildiği gibi mobil şarj istasyonu geliştiren ClubAssist, EA sürücülerinin varış yerlerine veya yerel şarj istasyonuna ulaşmalarına yardımcı olmaktadır [138]. ClubAssist'in mobil şarj istasyonunda yüksek performanslı lityum-fosfat bataryalar ve sağlam elektrik donanımı kullanılmaktadır. Tipik bir EA'ya 15 dakikada yaklaşık 10-15 km menzil kazandırabilen bu mobil şarj istasyonu, yerleşik lityum bataryalar ve hareket halindeyken şarj etme yeteneği ile bir gün içinde birden fazla kurtarmanın gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Gün sonunda gerektiğinde elektrik prizine takılabilen bu şarj çözümü, aracın çatısındaki güneş panellerinden de şarj edilerek bir sonraki kurtarma işlemi için hazır hale getirilebilir. Esnek ve kompakt tasarımı ile çeşitli yol kenarı araçlarına monte edilebilen ClubAssist, daha kırsal alanların veya sık kullanım senaryolarının değişen ihtiyaçlarını karşılamada kullanılabilir. Çok katmanlı elektriksel güvenlik sistemlerinin

yanı sıra isteğe bağı renkli dokunmatik ekrana sahip olabilen istasyon, kullanımı kolay bir tasarıma sahiptir. Ayrıca, bu şarj çözümünün tasarımı ve bileşenleri Avustralya'nın zorlu ve değişken hava koşullarına uygundur [138].



Şekil 5-11: ClubAssist mobil şarj istasyonu [138]

Otomotiv hizmetlerinin geliştirilmesiyle ilgili çalışmalar yapan RAC isimli firma tarafından İngiltere’de beklenen elektrikli araç patlamasına hazırlık olarak 2019 yılında geliştirilen ve Şekil 5-12’de gösterilen EV Boost mobil şarj sistemi, yolda mahsur kalan EA kullanıcılarının yakındaki bir sabit şarj istasyonuna ulaşmaları için yeterli gücü sağlayabilen bir hafif mobil elektrikli araç şarj cihazıdır. Gücü 5 kW olan ve ortalama 30 dakikada yaklaşık 15 km menzil kazandırabilen RAC EV Boost mobil şarj sistemi, tüm Tip 1 ve Tip 2 konnektörleriyle uyumludur [139], [140], [141].



Şekil 5-12: RAC EV Boost mobil şarj sistemi [140]

Evar Corp, 2021 yılında kurulan ve tak-çalıştır ve otomatik şarj çözümleri sağlayıcısı olarak faaliyet gösteren Güney Kore merkezli bir şirkettir. Evar, sürdürülebilir bir gelecek için çevreyi ve dünya ekosistemini korurken elektrikli araç şarjını çevreleyen sosyal sorunları ele almayı hedeflemektedir. Evar ürünleri ve hizmetleri aracılığıyla, karbon emisyonlarını azaltan ancak enerji verimliliğini artıran çözümler geliştirerek toplumdaki çatışmaları çözmeyi amaçlamaktadır [142], [143].

Evar'ın, sırasıyla Şekil 5-13, Şekil 5-14 ve Şekil 5-15'te gösterildiği gibi, mobil EA şarj cihazı, MooveV mobil hızlı şarj cihazı ve Parky otonom EA şarj robotu gibi ürünleri bulunmaktadır. Mobil EA şarj cihazı, elektriği sistemindeki bataryada depolayıp gerektiğinde hızlı bir şekilde şarj için EA'ların bulunduğu noktaya taşınabilmektedir. Şarj cihazının ağırlığı 700 kg'dan fazla olmasına rağmen kullanıcılar tarafından zahmetsizce hareket ettirilebilecek bir hareket teknolojisine sahiptir. Yapısında bulunan ultrasonik sensörler ve LiDAR teknolojisi sayesinde kat edeceği yol üzerindeki engelleri kolayca algılayıp güvenliği sağlayabilmektedir. Mobil EA şarj cihazının en büyük avantajı mekânsal verimliliğidir. EA'lar için ayrı park yerleri oluşturma ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Bu şarj cihazı tam dolu bir şarjla genellikle bir EA'yı iki kez şarj edebilmektedir. Bu özellik, mobil EA şarj cihazını apartmanlar veya elektrik kesintisiyle karşı karşıya kalınan yerler için uygun hale getirmektedir [144], [145].



Şekil 5-13: Evar mobil EA şarj cihazı [144]

MooveV mobil hızlı şarj cihazı, çeşitli tipte bataryaları kullanan araç üstü hızlı şarj cihazıdır. EA'ların yolda veya hızlı şarj tesislerinin olmadığı bir alanda mahsur kalması gibi tüm senaryolarda çözüm üretebilen MooveV, acil şarj yardımı ve planlı şarj konusunda EA'lara hizmet verebilmektedir. Batarya kapasitesi 52 kWh olan MooveV, 7 kW AC (Seviye 2) ve 30 kW DC (Seviye 3) giriş gücü ile 50 kW DC çıkış gücüne sahiptir. EA kullanıcılarının uygulama üzerinden rezervasyon yapmasıyla zaman ve konum kısıtlamasına uğramadan talep edilen noktaya ulaşabilen MooveV, CCS 1, CCS 2 ve CHAdeMO konektörleriyle uyumludur [145], [146].



Şekil 5-14: Evar MooveV mobil hızlı şarj cihazı [146]

Parky, EA bataryalarının şarj edilmesinde kullanılan otonom şarj robotudur. Yüksek kapasiteli bir batarya ile donatılan ve 3 km yarıçapa sahip alanda otonom olarak gezinebilen Parky, yapısında bulunan ultrasonik sensörler, tamponlar ve LiDAR teknolojisi ile otoparklarda güvenli bir hızda gezinebilir ve potansiyel engelleri tespit ederek durması gereken zamanı algılayabilmektedir. Aracını otoparka park eden EA kullanıcısı, Parky'ye bir şarj isteği gönderdikten sonra robot görüntü işaretleyici referanslarını kullanarak aracın yanına ulaşmaktadır. Robotun konektörünün araca takılmasıyla robot aracın önüne geçerek şarj işlemi başlatmaktadır. Şarj işlemi tamamlandıktan sonra Parky, bataryasını şarj etmek üzere orijinal konumuna geri dönmektedir [145], [147].



Şekil 5-15: Evar Parky otonom EA şarj robotu [145]

L-Charge, Kaliforniya’da bulunan ve geleneksel güç altyapısına bağımlılığı ortadan kaldıran ultra hızlı, şebeke dışı şarj çözümleri sunarak küresel elektrikli mobilite geçişini hızlandırmayı amaçlayan bir şirkettir. Şekil 5-16’da gösterilen L-Charge, araç filolarının elektrik şebeke altyapısı için maliyet ödemelerine ve kurulum için beklemlerine gerek kalmadan kolayca erişebilecekleri bir mobil şarj istasyonu geliştirmiştir. Bu mobil şarj istasyonu, filo sahiplerinin araçlarını elektrikli araçlarla değiştirmesine destek olmaktadır [148].

Ultra hızlı bu mobil şarj istasyonu, geleneksel şebekeye bağlı kalmadan elektrikli araçlar için hızlı şarj sağlamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama sistemleri ve yüksek güçlü şarj altyapısının bir kombinasyonunu kullanarak çalışmaktadır. Sistemin ana bileşenleri arasında enerjiyi hızlı üretmek için genellikle gaz yakıt sistemi, batarya gibi enerji depolama sistemleri ve yüksek güçlü DC hızlı şarj cihazları ile akıllı şarj kontrolörleri bulunmaktadır [148].

Ultra hızlı mobil şarj istasyonunda şarj süreleri EA bataryasının kapasitesi ve şarj sisteminin güç çıkışına bağlı olarak değişir ancak standart şebekeye bağlı şarj cihazlarına kıyasla şarj sürelerini önemli ölçüde azaltmakta ve genellikle bir saatten kısa sürede tam şarj sağlayabilmektedir. Kullanılan enerji için kWh başına 0,35 dolar ödeme yapılan bu istasyon, CCS gibi DC hızlı şarj standartlarını destekleyen çok çeşitli elektrikli araçlarla uyumlu olacak şekilde tasarlanmıştır böylece piyasadaki çeşitli EV modelleriyle birlikte çalışabilirlik ve sorunsuz entegrasyonu garanti altına almaktadır [148].



Şekil 5-16: L-Charge ultra hızlı mobil şarj istasyonu [148]

Lightning Energy, kolayca bulunabilen, mobil ve esnek DC hızlı şarj için artan ihtiyacı karşılamak üzere Şekil 5-17’de gösterildiği gibi yeni nesil Lightning Mobile şarj çözümünü geliştirmiştir. Bu çözüm, mobil afet yardımı ve kurtarmadan spor stadyumları gibi çeşitli yerlerde EA şarj ve güç çözümüne ihtiyaç duyan tesislerdeki aralıklı şarj noktalarına kadar her şey için çok ihtiyaç duyulan bir şarj çözümü sunmakta ve filoların kalıcı altyapının kurulmasını beklerken EA’ları hızla konuşlandırması için kısa veya orta vadeli bir şarj çözümü olarak da hizmet verebilmektedir [149]. Lightning Mobile’ın operasyonel ihtiyaçlara uygun çeşitli konfigürasyonları mevcuttur. Enerji depolama kapasitesi 120 kWh ile 420 kWh arasında değişmekle beraber şarj soketi sayısı seçenekleri de bulunmaktadır. Giriş gücü 19,2 kW AC Seviye 2 veya 80 kW DC hızlı şarj, çıkış gücü ise şarj soketi başına 80 kW’a kadar DC hızlı şarjdır. Maksimum beş şarj çıkışı olabilen sistem, CCS 1 konektörü ile uyumludur [150].



Şekil 5-17: Lightning Mobile mobil şarj istasyonu [150]

Mack Trucks, e-mobilityyi araştıran müşterilere ve filoları için uygulanabilirliğine yardımcı olmak amacıyla, Şekil 5-18’de gösterildiğı gibi bir Mack MD Electric kamyonunun gövdesine entegre edilecek mobil bir şebeke dışı şarj sistemi geliştirmiştir. Şebeke dışı şarj sistemi yenilenebilir propan ile çalışan bir jeneratör ve 120 kW şarj cihazından oluşmaktadır. Sistem, onu taşıyan MD Electric kamyonunun arkasına monte edilmektedir. Mack MD Electric 80 kW’a kadar şarj oranına sahip bir şarj sistemi içermektedir. Donanım çözümleri kamyon sayısına, bekleme süresine ve rota gereksinimlerine göre belirlenmektedir [151], [152].



Şekil 5-18: Mack MD Electric şebeke dışı mobil şarj sistemi [151]

Mobile EV Charging, Şekil 5-19’da gösterildiğı gibi isteğe bağı şarjın rahatlığı ile acil enerji desteğinin güvencesine kadar EA kullanıcılarının yaşam tarzına sorunsuz şekilde entegre olabilecek şekilde tasarlanmış bir mobil şarj hizmetidir. Sadece zamandan tasarruf etmenin yanında esnekliği artıran bu mobil şarj hizmeti, EA bataryalarının uzun ömürlü olmasına katkıda bulunur ve daha yeşil bir çevreyi destekler. Melbourne ve Victoria genelinde Seviye 3 DC hızlı şarj hizmeti sunan bu sistemde araçlar 60 kW çift portlu DC hızlı şarj cihazlarıyla donatılmıştır. Tek bir araca 60 kW’a kadar güç sağlayabilen sistem, aynı anda her biri 30 kW’da iki aracı da şarj edebilmektedir. Genellikle, 60 kW’da çoğı EA yaklaşık 40 dakika veya daha kısa sürede neredeyse %0’dan %80’e kadar şarj edilebilmektedir ancak, şarj süreleri batarya kapasitesi, bataryada kalan şarj seviyesi ve EA’nın maksimum şarj kapasitesi gibi çeşitli araç özelliklerine bağı olarak değışebilmektedir. CCS 2 konektörü ile uyumlu tüm EA’ları şarj edebilen Mobile EV Charging sisteminde yıllık abonelik ücreti 360 dolar olarak belirtilmiştir [153].



Şekil 5-19: Mobile EV Charging mobil şarj hizmeti [153]

Mullen, temiz ve ölçeklenebilir elektrikli araçlar ve enerji çözümleri oluşturma hedefi doğrultusunda çalışan çeşitli sinerjik işletmelere sahip olan ve onlarla ortaklık yapan Güney Kaliforniya merkezli bir şirkettir. Verimli, ekonomik ve kolay ulaşılabilir temiz enerji alternatifleri üreten Mullen, EA kullanıcıları için sürdürülebilir mobil EA şarj çözümlerindeki en son yeniliği olan tamamen elektrikli ve sıfır emisyonlu PowerUP'ı üretmiştir. Bu gelişmiş kamyon, Seviye 3 DC hızlı şarj, şebeke dışı AC gücü ve mikro şebeke bağlantısı sağlamak üzere tasarlanmıştır ve bu sayede güce sınırlı erişimin olduğu durumlarda birden fazla uygulama için kullanıma uygundur. İster yol kenarı yardımı veya acil müdahale ister geçici sahalarda güç üretimi olsun, PowerUP elektrikli araçların anında şarj edilmesini sağlamak ve güvenilir bir yedek güç kaynağı görevi görmektedir. Emisyonları tamamen ortadan kaldırmanın yanı sıra batarya ile çalışan PowerUP'ın önemli bir avantajı, geleneksel fosil yakıtla çalışan jeneratörlerin aksine, minimum gürültü kirliliği ile sessiz çalışmasıdır. Bu avantaj onu şehir merkezleri, hastaneler, otopark garajları, kampüsler ve hatta yerleşim alanları gibi gürültüye duyarlı ortamlarda kullanım için ideal hale getirmektedir [154]. Mullen Three Sınıf 3 kabin şasi kamyonu da dahil olmak üzere birden fazla platform entegrasyonu ve ölçekleme seçeneğiyle sunulan bu gelişmiş mobil şarj çözümü, 10 kW'tan 1MW'a kadar değişen çeşitli pazar ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde yapılandırılabilen ve yeni veya yeniden işlevlendirilmiş batarya hücrelerini kullanabilen ölçeklenebilir bir batarya platformu olarak tasarlanmıştır. Şekil 5-20'de gösterilen PowerUP'ın tepe kapasitesi 160 kWh olup, 60 kW gücünde iki adet Seviye 3 hızlı şarj cihazına sahiptir ve 20 kW 120-480 V AC çıkışı mevcuttur. Güneş ve rüzgârdan şebeke dışı enerji üretimi ve çift yönlü 480 V şebeke bağlantısı gibi ek şarj seçenekleri bulunan bu şarj çözümünde belirtilen özellikler hedeflenen sayılardır ve sürüş koşulları, batarya yaşı ve diğer değişkenler gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir [154].



Şekil 5-20: Mullen PowerUP mobil şarj istasyonu [154]

NIO, sürdürülebilir ve daha parlak bir gelecek şekillendirme hedefiyle 2014 yılında kurulan ve küresel akıllı elektrikli araç pazarında faaliyet gösteren bir şirkettir. EA kullanıcılarına hizmet vermek üzere geliştirdikleri Şekil 5-21’de gösterilen Power Mobile, elektrikli araçlar için esnek ve kullanışlı bir taşınabilir güç bankası görevi görmektedir. İki adet 70 kWh’lik batarya paketiyle donatılmış bir Maxus EV80 elektrikli minibüs ile hizmet veren Power Mobile, 10 dakika gibi kısa bir sürede 100 km menzil sağlayabilmektedir. NIO uygulaması aracılığıyla talep edilebilen bu mobil şarj istasyonu ile yolda mahsur kalma ve şarj için kuyrukta bekleme gibi durumlar ortadan kalkmaktadır [155], [156] .



Şekil 5-21: NIO Power Mobile [155]

Portable Electric, çeşitli sektörlerde temiz ve sürdürülebilir mobil güç çözümleri sağlamak amacıyla e-jeneratörler ve taşınabilir güç istasyonları üreten bir şirkettir. Elektrikli inşaat ekipmanlarını şarj etmek için Voltstack 30k Seviye 2 Mobil e-Şarj Cihazı'nı, elektrikli araçları şarj etmek için ise Voltstack 30k Seviye 3 Mobil e-Şarj cihazını üretmektedir. Şekil 5-22'de gösterilen Voltstack 30k Seviye 2 Mobil e-Şarj Cihazı, sessiz ve emisyonsuz olma özelliği ile elektrikli inşaat ekipmanlarının şebekeden bağımsız şarj edilmesi ve temiz bir güç sağlaması için çözüm sunmaktadır. Bu şarj cihazı, yenilikçi "akıllı hibrit" teknolojisine sahiptir ve bu özellik geleneksel gaz veya dizel jeneratörlerle akıllıca hibritleşerek verimliliği optimize etmekte ve karbon emisyonlarını azaltmaktadır. Batarya kapasitesi 80 kWh olup çıkış gücü 27 kW'tır. Üç fazlı şebekeden beslenen cihazın çıkış voltajı 120-208 V AC, şarj süresi 3,5 saattir. SAE J1772 konektörleriyle uyumlu olan cihazda 3 adet şarj soketi bulunmaktadır [157].

Şarj boşluğunu kapatmak ve sabit şarj cihazları olmayan yerlere güç sağlamak için tasarlanan Voltstack 30k Seviye 3 Mobil e-Şarj Cihazı, hızlı yol kenarı şarjı ile mobil, esnek ve filo tabanlı EA'lar için hazır bir hizmettir. Bu şarj cihazı ile birden fazla EA aynı anda şarj edilebilir, e-bisikletler gibi alternatif güç taşımacılığı yapılabilir, topluluk etkinliklerinde yemek kamyonlarına enerji verilebilir, konserler için ses ve ışık ekipmanları güçlendirilebilir ve acil durumlar veya orman yangını müdahaleleri sırasında yedek güç sağlanabilir. Bu emisyonsuz ve sessiz şarj cihazı, EA istasyonları veya güneş enerjisi üretimi dahil olmak üzere çeşitli yöntemlerle şarj edilebilmektedir. Batarya kapasitesi 80 kWh olup çıkış gücü 27 kW'tır. Üç fazlı şebekeden beslenen cihazın çıkış voltajı 120-208 V AC, şarj süresi 3,5 saattir. SAE Combo ve CHAdeMO konektörleriyle uyumlu olan cihazda 1 adet Seviye 3 şarj soketi bulunmaktadır [158].



Şekil 5-22: Portable Electric Voltstack 30k Seviye 2 mobil e-Şarj cihazı [157]

Power Up Tech, sabit şarj istasyonlarına kolay erişimden yoksun olan EA kullanıcılarının karşılaştığı bu sorunu çözmek üzere bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonlarını hizmete sunup Singapur, Malezya ve Filipinler’de faaliyet gösteren Singapur merkezli bir şirkettir. Şekil 5-23’te gösterilen ve 60 kW DC şarj cihazı ile 64-81 kWh dahili bataryalarla donatılmış minibüsler, CCS 1, CCS 2 ve CHAdeMO konektörleriyle uyum sağlamaktadır. Şarj edilecek EA’nın bataryasına uygun kapasitede minibüsün gönderildiği sistemde EA kullanıcılarına maksimum %80’e kadar şarj hizmeti verilmektedir. Aracın modeline bağlı olarak şarj işlemi ortalama bir saat sürmektedir. 20 veya 25 dolarlık servis ve ortalama 2 dolarlık park ücretine ek olarak kWh başına 70 sent ödenen sistemde aylık abonelikler mevcuttur ve şarj hizmeti dışında araç yıkama gibi hizmetler de bulunmaktadır [159], [160], [161], [162].



Şekil 5-23: Power Up Tech mobil şarj istasyonu [160]

Güney Avustralya Kraliyet Otomobil Derneği (RAA), aracının şarjı bitip yolda kalan EA kullanıcılarının en yakın şarj noktasına ulaşmalarını sağlamak amacıyla Şekil 5-24’te gösterildiği gibi elektrikli bir devriye minibüsü ile mobil şarj hizmeti sağlamaktadır. Araçta yer alan 7 kW’lık Tip 2 mobil şarj cihazı, EA’lara 15 dakikadan kısa bir sürede 10 km sürüş menzili kazandırmaktadır. RAA’nın devriye filosu, kuruluşun Kapsam 1 emisyonlarının (RAA’ya doğrudan ait kaynaklardan gelen) yaklaşık %80’ini ve tüm RAA emisyonlarının yaklaşık %7’sini oluşturmaktadır. RAA, karbon ayak izini azaltmaya ve yeşil kimlik bilgilerini iyileştirmeye kararlıdır ve emisyonlarını azaltmak için devriye filosunu tamamen elektrikli bir filoya dönüştürme yolunda adımlar atmaktadır [163], [164].



Şekil 5-24: RAA elektrikli devriye minibüsü [163]

SparkCharge, yenilikçi teknoloji ve mobil çözümlerle EA şarjını daha hızlı, daha erişilebilir ve daha sürdürülebilir hale getirerek her zaman her yerde şarj hizmeti sağlamayı ve bununla birlikte EA kullanımının benimsenmesinin önündeki engelleri kaldırarak dünyayı daha temiz daha elektrikli bir geleceğe taşımayı hedefleyen ve bu alanda hizmet veren bir şirkettir. Şekil 5-25'te gösterilen bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonlarıyla EA kullanıcılarına hizmet veren SparkCharge'ın geliştirdiği “Hizmet Olarak Şarj (CaaS)” modeli, ön yatırım, inşaat ve şebeke bağlantıları için uzun bekleme süreleri olmadan anında şarj yetenekleri sağlayan esnek ve kullandıkça öde tabanlı bir modeldir [165], [166].

125-250 kW gücünde EA şarj cihazıyla bir saatten kısa sürede %20 oranından %80 oranına şarj hizmeti veren SparkCharge, CCS ve NACS konektörleriyle uyumlu %100 mobil bir şarj istasyonudur. SparkCharge Mobile uygulaması aracılığıyla tek bir uygulama üzerinden hızlı, rahat ve güvenilir bir şekilde bu hizmete ulaşabilecek olan EA kullanıcıları, mobil uygulamaya gerek kalmadan SparkCharge'ın API bağlantılarını aktif olarak desteklemesi sayesinde QR kod yardımıyla bu hizmetten yararlanabilmektedir [166], [167].



Şekil 5-25: SparkCharge mobil şarj istasyonu [166]

Tesla, elektrikli araç, EA şarjı ve enerji depolama sistemleri üzerinde dünya genelinde faaliyet gösteren ABD menşeli bir şirkettir. Ölçeklenebilen sürdürülebilir sistemler tasarlayarak en yüksek çevresel faydayı sağlamayı hedefleyen Tesla, ABD’de tatil sezonlarında artan talebi karşılamak üzere yenilikçi bir şarj çözümü olarak Megapack ve birden fazla süper şarj cihazı ile donatılmış bir römork olan ve Şekil 5-26’da gösterilen Megapack Charger’ı hizmete sunmuştur. Dört farklı noktaya konumlandırılan bu römorklardan ikisi mevcut süper şarj istasyonlarıyla entegre edilirken diğer ikisi sekiz ve on duraklı bağımsız kurulumlara sahiptir [168], [169].

Megapack Charger, geçici şarj sıklığını gidermek için esneklik sağlayan, hemen hemen her yere konuşlandırılabilen taşınabilir bir süper şarj istasyonudur. Megapack Charger, yaklaşık 75 aracı 250 kW’lık 8 adet V3 süper şarj ünitesiyle şarj edebilen 3 MWh’lik bir enerji depolama kapasitesine sahiptir ve Starlink uydusuna bağlıdır. Acil durumlar veya enerji kesintilerinde kullanılabilecek güçlü bir araçtır. Kullanımın düşük olduğu zamanlarda yakındaki bir süper şarj kabinini devre dışı bırakarak saatler içinde kendini şarj edebilmektedir [170].

EA kullanımı benimsenmeye devam ettikçe en yüksek şarj talebini yönetmeye yönelik bu yenilikçi yaklaşım, esnek şarj altyapısı için yeni bir standart belirleyebilir. Tesla’nın mobil şarj çözümlerine yaptığı yatırım, şirketin özellikle güvenilir şarj erişiminin önemli hale geldiği yoğun trafiğin yaşandığı tatil dönemlerinde EA kullanıcılarının ihtiyaçlarını karşılama yaklaşımını göstermektedir [169].



Şekil 5-26: Tesla Megapack Charger [170]

Volkswagen, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren Almanya menşeli bir şirkettir. EA kullanımının benimsenmesinin önündeki en büyük engellerden birisi olan menzil kaygısını gidermeye yönelik olarak şarj altyapısında kapsamlı bir yaklaşım sunan Volkswagen, mobil şarj robotundan faydalanan bir otonom şarj konsepti geliştirmiştir. Daha önce 360 kWh batarya takımıyla donatılmış mobil şarj üniteleri geliştiren firma, benzer şekilde kompakt mobil batarya ünitelerini otoparklarda taşımak veya bunları şarj talebinde bulunan EA'lara bağlamak ve şarj bitiminde bağlantısını kesmek için kullanılabilecek otonom bir robot tasarlamıştır [171], [172].

Şekil 5-27'de gösterilen ve batarya kapasitesi 25 kWh olan bu mobil şarj cihazı, 50 kW DC çıkış gücüne sahiptir ve CCS Combo konektörüyle uyumludur. Sisteme ait mobil uygulama veya V2X iletişimi aracılığıyla şarj talebi oluşturulduktan sonra otonom robot mobil şarj ünitesini talebi oluşturan aracın yanına getirmekte ve şarj soketi kapağını açıp şarj işlemini başlatma ve şarj işlemi bitiminde şarj soketini ayırıp işlemi sonlandırmaya kadar tüm aşamaları otonom olarak gerçekleştirmektedir [171], [172].

Birden fazla mobil şarj istasyonunu birlikte taşıyabilen otonom robot, şarj işlemi devam ederken araçtan ayrılarak diğer araçlara başka mobil şarj üniteleri taşıyabilmektedir. Robotun otonom faaliyetleri, sisteminde yer alan kameralar, lazer tarayıcılar ve ultrasonik sensörler tarafından sağlanmaktadır. Bu sayede robot otoparklarda serbestçe hareket edebilmekte ve engelleri tanıyıp tepki verebilmektedir. Otopark kapasitesine göre birden fazla robot aynı anda mobil şarj ünitelerinin dağıtımını üstlenebilmektedir [171], [172].



Şekil 5-27: Volkswagen otonom mobil şarj robotu [172]

Xiaofu, mobil şarj istasyonu ve enerji depolama sistemleri üzerinde faaliyet gösteren Çin'in ilk mobil EA şarj üreticisidir. EA'lar için acil durum şarjı, enerji depolama sistemi, yol kenarı kullanımı için mobil EA şarj cihazı ve EA filo şarj çözümleri için çeşitli ürünleri bulunan Xiaofu, mobil EA şarj işletmesi için geliştirdiği otonom şarj robotları ile hizmet vermektedir. Şekil 5-28'de gösterilen ve batarya kapasitesi 65 kWh, çıkış gücü 60 kW olan otonom şarj robotu ile yol kurtarma enerjisi hizmeti ve batarya kapasitesi 90 kWh, çıkış gücü 80 kW olan otonom şarj robotu ile de mobil enerji depolama hizmeti verebilmektedir [173].



Şekil 5-28: Xiaofu yol kurtarma enerjisi EA otonom şarj robotu [173]

Zapme, İngiltere'nin en hızlı büyüyen yol kenarı ve filo şarj sistemleri sağlayıcılarından biri olan ZPN Energy'nin bir parçasıdır. ZPN Energy, gelişmiş batarya enerji depolama çözümleri, sabit hızlı ve ultra EA şarj cihazları, mikro şebeke teknolojisi ve ev enerji depolama sistemleri geliştirme ve dağıtma konusunda faaliyet gösteren bir firmadır. Şekil 5-29'da gösterilen Zapme, modern enerji ve EA şarj taleplerinin ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmış bir mobil şarj istasyonudur. Araba, minibüs ve kamyon montajı için uygun olan Zapme, 50, 75 ve 100 kWh olarak değişebilen batarya kapasitesi ve 50 kW Seviye 3 hızlı şarj cihazına sahiptir. Tüm şarj konektör türleriyle uyumlu olan bu mobil şarj istasyonunda şark soketi sayısı bir adettir. Şarj ünitesi Tip 2 CCS bağlantısı kullanılarak herhangi bir büyük şarj şebekesinden şarj edilerek bir saatten kısa bir sürede tekrar kullanıma hazır hale getirilebilmektedir [174].



Şekil 5-29: Zapme mobil şarj istasyonu [174]

Ziggy, tüm park alanlarına hizmet verebilecek esnek ve uygun maliyetli robotik bir mobil EA şarj çözümüdür. Güvenli, güvenilir ve sağlam konut ve ticari EA şarj çözümleri sunan EV Safe Charge tarafından üretilen ve Şekil 5-30'da gösterilen Ziggy otonom şarj robotu, her geçen gün artan EA sayısının artan şarj talebine yapılması gereken altyapı yatırımı maliyetlerini azaltmaya veya ortadan kaldırmaya yardımcı olabilecek bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Ziggy otonom şarj robotu, mobil uygulama veya araç içi bilgi-eğlence sistemi aracılığıyla bir EA kullanıcısı tarafından çağırıldıktan sonra aracın park alanına varır ve şarj işlemi için yer ayırmaya hazır olur. Herhangi bir elektrik şebekesinden, dolu bir bataryadan, güneş enerjisinden veya bunların kombinasyonu bir güç kaynağından şarj edilmek üzere şarj yerine geri dönebilmektedir. Bu otonom robot ayrıca, park tesisi operatörleri için ek gelir sağlayabilecek bilgi kioskları veya etkileşimli reklam ekranı olarak hizmet veren iki büyük ekranla donatılmıştır [175], [176].



Şekil 5-30: Ziggy otonom şarj robotu [175]

5.2. TÜRKİYE’DE MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ MEVCUT DURUMU

Ülkemizde her geçen gün artan elektrikli araç sayısı ile birlikte şarj altyapısı da her geçen gün gelişmektedir. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)’nın Şarj Hizmeti Piyasası Aylık İstatistikleri Ocak 2025 raporuna göre Türkiye’deki AC ve DC toplam şarj istasyonu sayısı 26.941’e ulaşmıştır. AC şarj noktası sayısı 16.125’e ulaşırken DC şarj noktası sayısı da 10.816’ya ulaşmıştır [177]. Türkiye’nin önde gelen sanayi kuruluşlarından birisi olan Anadolu Grubu tarafından üretilen ve ilk yerli ve milli otomobil markası olan TOGG’a ait kamuya açık şarj istasyonları Trugo ile diğer firmalara ait Eşarj, Sharz.net, ZES, Voltron, Gersan-G-Charge ve Tesla Supercharger gibi şarj istasyonları ülkemizde bulunan EA kullanıcılarına hizmet vermektedir [178], [179].

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de elektrikli araç kullanımının benimsenmesinin önündeki en önemli engellerden birisi de menzil kaygısıdır. Kamuya açık sabit şarj istasyonlarının sayısı her geçen gün artsa da özellikle uzun mesafeli yolculuklarda batarya şarjının azalması veya bitmesi ihtimali EA kullanıcılarını tedirgin etmektedir. Bu sorunu çözebilmek ve EA kullanımını artırabilmek adına dünyanın çeşitli yerlerinde kullanılan ve geleceğe yönelik umut vadeden mobil şarj istasyonlarıyla ilgili çalışmalar ülkemizde de yapılmaya ve uygulanmaya başlanmıştır.

Ülkemizin, Şekil 5-31’de gösterilen ilk mobil ve hızlı şarj istasyonu uygulaması, şarj teknolojileri alanında faaliyet gösteren EVBee adlı şirket tarafından hayata geçirilmiştir. EVBee, elektrikli araç şarj sektörünü özgün teknolojisiyle şekillendirmek amacıyla 2022 yılında kurulmuş bir enerji-mühendislik şirkettir. 2022 yılında mobil şarj istasyonunun prototip üretimine başlayan EVBee, 2023 yılının şubat ayında bu prototipi tamamlamıştır. 2023 yılı mart ayında Türkiye’de bulunan yirmiden fazla araç modelinde mobil şarj istasyonunun çalışabilirliğini ve uyumluluğunu kanıtlayan EVBee, takip eden aralık ayında mobil ve hızlı şarj istasyonu filosunun ilk adımını atmıştır [180].

2023 yılı aralık ayında İstanbul, Ankara ve İzmir’de operasyon merkezleri açan EVBee, 2024 yılının ocak ayında Türkiye’nin ilk mobil ve hızlı şarj istasyonu filosunu hizmete hazır hale getirmiştir. 2024 yılı içinde EPDK tarafından “Şarj Ağı İşletmeci” lisansını da alan EVBee, EA kullanıcılarına hizmet verebilmek adına aynı yıl içinde TOGG ve Ford Otosan ile anlaşma yapmıştır. EA kullanıcılarının şarj konusundaki zaman ve mekân kaynaklı kaygılarına son vermeyi hedefleyen EVBee, çeşitli özelliklere sahip EV70 M, EV105 C ve EV140 T gibi araçlardan oluşan mobil şarj istasyonu filosu ile hizmet vermeye devam etmektedir [180].



Şekil 5-31: EVBee mobil ve hızlı şarj istasyonu [180]

Eksim Holding bünyesinde yer alan ve yüksek hızlı şarj istasyonlarıyla Türkiye'nin her bölgesinde büyümesini sürdüren OtoPriz, elektrikli araçlar için sürdürülebilir ve erişilebilir bir şarj ağı oluşturmayı hedefleyen bir şirkettir. Şu anda İstanbul ve Kocaeli'de faaliyet gösteren OtoPriz, yolda mahsur kalan, şarj istasyonuna gitmeye vakti olmayan veya sabit şarj istasyonlarının servis dışı olması nedeniyle aracını şarj edemeyen EA sürücülerine hizmet vermektedir [181], [182].

Şekil 5-32'de gösterilen OtoPriz mobil şarj üniteleri 15 dakikada ortalama 10 kWh enerji aktarabilme gücü ile hızlı şarj imkânı sunmaktadır. Güvenlik önlemlerinin üst düzeyde tutulduğu ünitelerde, aşırı ısınma, gerilim dalgalanmaları ve diğer potansiyel risklere karşı koruma sağlanmaktadır. Ayrıca araçlarda özel tasarım lityum-iyon batarya yangın söndürücüleri bulunmaktadır. Hem AC hem de DC ünitesinde yüksek hızlı şarj hizmeti verebilen OtoPriz, EA kullanıcılarının yanı sıra afet ve acil durumlarda ülkemizin ihtiyaçlarına cevap verebilecek şekilde tasarlanmıştır [181], [182].



Şekil 5-32: OtoPriz mobil şarj istasyonu [181]

Car4Future, elektrikli araçlar ve şarj istasyonları alanında faaliyet gösteren, yazılım ve donanım alanlarında yenilikçi çözümler üreterek, sürdürülebilir ulaşım sistemlerini desteklemeyi ve elektrikli araç kullanıcılarının sayısının artmasını kolaylaştırmayı hedefleyen bir teknoloji şirkettir. Donanım parçaları, V2X cihazları, uzaktan kontrollü ayarlanabilir AC şarj istasyonları, araç simülasyon kitleri, PCB kontrol ve güç kartları (EVSE), şarj soketleri ve parçaları gibi geniş bir ürün yelpazesinde tamamen yerli üretimle global standartlarda teknoloji ve güvenlik hizmeti veren Car4Future, Şekil 5-33'te gösterilen “Niki” adını taşıyan otomatik şarj robotu ile Charge4Future projesi kapsamında elektrikli araç kullanıcılarına hızlı ve etkili bir şarj deneyimi sunmaktadır [183].



Şekil 5-33: Otonom şarj robotu Niki [183]

2024 yılında AR-GE çalışmaları tamamlanan otonom şarj robotu Niki, araçları otomatik olarak tanıyan ve bağımsız bir şekilde şarj eden robotik bir sistem üzerine kurulmuştur. 15-30-45 kWh'lik bataryalar kullanarak EA kullanıcılarına hızlı bir şekilde DC şarj imkânı sunan Niki, elektrikli araç bataryalarına 1 dakika içinde 1 kWh enerji aktarabilme gücüne sahiptir. Şarj teknolojisi 3 fazlı şebekeden beslenmektedir ve 400 V gerilim ile 32 A akım seviyelerinin üstündeki değerlere göre tasarlanmıştır. Bu yüksek güç seviyesi özellikle talebin yoğun olduğu noktalarda ve hızlı şarj ihtiyacının olduğu durumlarda EA kullanıcılarına büyük kolaylık sağlamaktadır [184].

Niki'nin otonom navigasyon kabiliyeti, GPS ve Lidar gibi çeşitli sensörler kullanılarak sağlanırken bu sensörler, robotun çevresini algılayarak herhangi bir engelle takılmadan araca ulaşmasına ve şarj işlemini başlatmasına olanak tanımaktadır. Bu proje, kullanılmış bataryaların yeniden değerlendirilebilmesiyle sürdürülebilirliği sağlarken hem çevresel etkinin hem de proje maliyetlerinin azalmasına yardımcı olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji alabilen Niki, karbon emisyonlarının en aza indirilmesine katkı sağlamaktadır [184].

Akıllı şebeke sistemleriyle entegre edilebilen Niki, enerji talebinin yüksek olduğu durumlarda şarj işlemlerini erteleme yeteneği ile elektrik şebekesinin daha stabil ve verimli çalışmasına olanak sağlamaktadır. Acil durum ve afetlerde alternatif güç kaynağı olarak kullanılabilecek olan Niki, enerji depolama kapasitesi sayesinde elektrik kesintilerinde veya diğer acil durumlarda güç sağlayabilmektedir [184].



5.3. MOBİL ŞARJ İSTASYONLARINDA PAZAR OYUNCULARI VE REKABET ANALİZİ

Dünya genelinde EA'ların şarj edilebilmesi için hizmet veren birçok şarj istasyonu markası bulunurken yeni ve gelişmekte olan mobil şarj istasyonları alanında da üretim yapan firmalar bulunmaktadır. Ülkemiz dahil çeşitli ülkelerde hizmet veren bu firmaların ürettikleri mobil şarj istasyonları türlerine, teknik özelliklerine ve maliyetlerine göre farklılık göstermektedir. Bölüm 5.1. ve 5.2.'de kapsamlı bir şekilde açıklanan dünya genelinde ve ülkemiz hizmet veren mobil şarj istasyonu markaları, bu bölümde tablo şeklinde özetlenmiştir. Tablo 5-1'de mobil şarj istasyonlarında dünyadaki pazar oyuncuları, Tablo 5-2'de ise Türkiye'deki pazar oyuncuları ürettikleri ürünün adı, mobil şarj istasyonu türü, elektriksel özellikleri, konektör türü ve maliyetleri açısından özet olarak verilmiştir.

Tablo 5-1: Mobil şarj istasyonlarında dünyadaki pazar oyuncuları

Üretici Firma	Ürün	Mobil Şarj İstasyonu Türü	Elektriksel Özellikler	EA Konektör Türü	Maliyet
Anari	EA mobil şarj sistemi	Bataryalı sistem	Giriş gerilimi: 260-530 V AC	CCS 1 CCS 2	
			Giriş akımı: 350 A Çıkış gücü: 60 kWh Şarj soketi sayısı: 2 araç		
Andromeda Power	ORCA Inceptive	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 25 kWh Maksimum çıkış gücü: 50 kW DC	CCS CHAdEMO	
			550 V 125 A Verimlilik: 50 kW'ta %95 Şarj soketi sayısı: 2 araç		
Atev	Atev	Robotik sistem	-	-	

Tablo 5-1 (devamı): Mobil şarj istasyonlarında dünyadaki pazar oyuncuları

Üretici Firma	Ürün	Mobil Şarj İstasyonu Türü	Elektriksel Özellikler	EA Konektör Türü	Maliyet
Batteri	Thomas	Robotik sistem	Çıkış gerilimi: 60 kW DC	Kablosuz şarj	
Beam Global	EV ARC	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 20/30/40 kWh Şarj cihazı gücü: 5,76 kW Şarj soketi sayısı: 6 araç	-	-
Car Charging Bot	Kablosuz şarj robotu	Robotik sistem	-	Kablosuz şarj	-
Charger	Charger EV Fast Charging Station	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 250 kWh	Tüm konektörler	1,20 dirhem/kWh
Chargewheel	Batarya Entegreli Ultra Hızlı Mobil DC Şarj Cihazı	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 300 kWh Giriş gerilimi: 240-480 V AC Çıkış gücü: 200 kW	-	-
ClubAssist	Mobile EV Charging	Bataryalı sistem	-	-	-
RAC	EV Boost	Bataryalı sistem	Çıkış gücü: 5 kW	Tip 1 Tip 2	-
	Mobil EA Şarj Cihazı	Bataryalı sistem			
Evar	MooveV	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 52 kWh Giriş gerilimi: 7 kW AC (Seviye2) 30 kW DC (Seviye3) Çıkış gerilimi: 50 kW DC	CCS 1 CCS 2 CHAdMO	
	Parky	Robotik sistem			68.601,33 dolar

Tablo 5-1 (devamı): Mobil şarj istasyonlarında dünyadaki pazar oyuncuları

Üretici Firma	Ürün	Mobil Şarj İstasyonu Türü	Elektriksel Özellikler	EA Konnektör Türü	Maliyet
L-Charge	-	Bataryalı sistem	-	CCS	0,35 dolar/kWh
Lightning Energy	Lightning Mobile	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 210/315/420 kWh Giriş gerilimi: 19,2 kW AC 80 kW DC Çıkış gerilimi: 80 kW DC Şarj soketi sayısı: 2/4/5 araç	CCS 1	-
Mack Trucks	MD Electric	Bataryalı sistem	Çıkış gücü: 120 kW	-	-
Mobile EV Charging	Mobile EV Charging mobil şarj hizmeti	Bataryalı sistem	Çıkış gücü: 60 kW Şarj soketi sayısı: 2 araç	CCS 2	Abonelik ücreti: 360 dolar
Mullen	Power UP	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 160 kWh Çıkış özellikleri: 20 kW AC 60 kW DC 120-480 V Şarj soketi sayısı: 2 araç	-	-
Nation-E	Angel Car	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 2-3 kWh 230 V	-	-
NIO	Power Mobile	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 70 kWh (2 adet)	-	-

Tablo 5-1 (devamı): Mobil şarj istasyonlarında dünyadaki pazar oyuncuları

Üretici Firma	Ürün	Mobil Şarj İstasyonu Türü	Elektriksel Özellikler	EA Konektör Türü	Maliyet
Portable Electric	Voltstack 30k Level 2 Mobile e-Charger	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 80 kWh Çıkış gücü: 27 kW Şarj süresi: 3,5 saat Şarj soketi sayısı: 3 araç	SAE J1772	-
	Voltstack 30k Level 3 Mobile e-Charger	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 80 kWh Çıkış gücü: 27 kW Şarj süresi: 3,5 saat Şarj soketi sayısı: 1 araç	SAE Combo CHAdeMO	-
Power Up Tech	P. UP	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 64-81 kWh Çıkış gücü: 60 kW DC	CCS 1 CCS 2 CHAdeMO	Servis ücreti: 20-25 dolar Otopark ücreti: 2 dolar Şarj ücreti: 0,7 dolar/kWh
RAA	RAA Mobile EV Charging	Bataryalı sistem	Çıkış gücü: 7 kW	Tip 2	-
Sparkcharge	Battery-Powered Mobile EV Charging	Bataryalı sistem	Çıkış gücü: 125-250 kW	CCS NACS	-
Tesla	Megapack Charger	Bataryalı sistem	Çıkış gücü: 250 kW Şarj soketi sayısı: 8 araç	-	Megapack Şarj Ünitesi: 962.350 dolar

Tablo 5-1 (devamı): Mobil şarj istasyonlarında dünyadaki pazar oyuncuları

Üretici Firma	Ürün	Mobil Şarj İstasyonu Türü	Elektriksel Özellikler	EA Konektör Türü	Maliyet
Volkswagen	Otonom Mobil Şarj Robotu	Robotik sistem	Batarya kapasitesi: 25 kWh Çıkış gücü: 50 kW DC Şarj soketi sayısı: 1 araç	CCS Combo	-
Xiaofu	Otonom Mobil Şarj Robotu	Robotik sistem	Batarya kapasitesi: 65/90 kWh 60/80 kW	-	-
Zapme	Mobile & Portable EV Charging	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 50/75/100 kWh Çıkış gücü: 50 kW DC Şarj soketi sayısı: 1 araç	Tüm konektörler	-
EV Safe Charge	Ziggy	Robotik sistem	-	-	-

Tablo 5-2: Mobil şarj istasyonlarında Türkiye'deki pazar oyuncuları

Üretici Firma	Ürün	Mobil Şarj İstasyonu Türü	Elektriksel Özellikler	EA Konektör Türü	Maliyet
EVBe	EV70 M EV105 C EV140 T	Bataryalı sistem	Batarya kapasitesi: 70/105/140 kWh Giriş gerilimi: 180/360/360 kW Çıkış gerilimi: 60-90/120/180 kW Şarj soketi sayısı: 2/3/5 araç Şarj süresi: 15/15 dk (tek) 30/30/30 dk (çift)	Tümü CCS 2	
Otopriz	Otopriz Mobil Hızlı Şarj İstasyonu	Bataryalı sistem	-	CCS 2	9,38 TL/kWh
Car4Future	Niki	Robotik sistem	Çıkış gücü: 1 kW	CCS CHAdeMO Tip 2 Tesla Supercharger	-

5.4. MOBİL ŞARJ İSTASYONLARININ GELECEĞİ VE TEKNOLOJİK GELİŞMELER

Mobil şarj istasyonları, şarj altyapısındaki eksiklikleri gidermek ve esnekliği artırabilmek için önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Mobil şarj istasyonlarının ve bu alandaki teknolojik gelişmelerin geleceği, EA'ların benimsenmesi ve verimli, erişilebilir şarj çözümlerine duyulan ihtiyaç nedeniyle umut verici gözükmemektedir. Geliştirilmeye ve iyileştirilmeye açık olan mobil şarj istasyonlarının planlaması, tasarımı, çalışması, şebekeye etkileri ve maliyeti gibi konular açık araştırma konuları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bölümde mobil şarj istasyonlarının geleceği ve teknolojik gelişmelerle ilgili bilgi verilecek ve mobil şarj istasyonlarının zorlukları tartışılacaktır [12].

EA kullanıcılarını olumsuz yönde etkileyen en önemli faktörlerden birisi şarj süresinin uzunluğudur. Seviye 3 veya DC hızlı şarj cihazları gibi ultra hızlı şarj cihazlarındaki gelişmeler şarj sürelerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Her geçen gün gelişen bu şarj teknolojilerinin mobil şarj istasyonu teknolojileri ile kullanılması EA kullanımının benimsenmesine katkıda bulunacaktır [185]. Mobil şarj istasyonlarında kullanılacak kablosuz şarj yönteminde enerjiyi aktarmak için elektromanyetik alan kullanılarak fiziksel kablolarla olan ihtiyaç ortadan kaldırılabilir gibi EA'ların dinamik şarj sistemi ile donatılmış yollarda sürüş sırasında şarj olması gibi teknolojiler geleceği olan çözümler olarak karşımıza çıkmaktadır [186].

Sürdürülebilirlik bir öncelik haline geldikçe EA'ların enerji ihtiyacının karşılanmasında güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının şarj istasyonları ile entegre edilmesi konusu ön plana çıkmaktadır. YEK çeşitlerinin mobil şarj istasyonları ile entegre edilmesi fikri karbon ayak izini azaltmaya katkı sunmakla birlikte, elektrik şebekelerine olan bağımlılığı azaltarak enerji esnekliği ve verimliliğini artırmak yönünde faydalı olacaktır. Yenilenebilir enerji trendleriyle bu uyum, yaygın EA kullanımının uzun vadeli çevresel uygulanabilirliği için kritik bir önem taşımaktadır [185], [186].

EA'ların şarj ve deşarj edilmesinde istikrarlı ve uygun maliyetli esnek bir ortam sağlayan ve EA'lar ile elektrik şebekesi arasında iletişim kurarak şarj cihazlarının enerji verimliliğini artıran akıllı şarj sistemlerinin ve araçtan şebekeye (V2G) teknolojisinin mobil şarj istasyonlarında kullanılması, şarj taleplerinin yoğun olmayan saatlerde planlanmasını ve yoğun talep dönemlerinde gerektiğinde enerjinin şebekeye geri beslenmesi ile enerji dağıtımının optimize edilmesine imkan sağlamaktadır [20].

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, mobil şarj istasyonlarının kapasitesi ve verimliliğinin artması beklenmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre edilen mobil çözümler, çevre dostu ve sürdürülebilir bir alternatif sunabilir. Sonuç olarak mobil şarj istasyonları, elektrikli araç kullanıcıları için önemli bir destek mekanizmasıdır. Gelişen teknoloji ve artan taleple birlikte bu tür çözümlerin daha yaygın ve erişilebilir hale gelmesi muhtemeldir [24].

Mobil şarj istasyonları, EA'lar için şarj altyapısındaki boşlukları dolduracak esnekliği sunmasına rağmen altyapısal ve mekânsal kısıtlamalar, teknolojik sınırlamalar ve hızlı şarj talepleri, standardizasyon ve uyumluluk sorunları, sermaye yatırımı ve ekonomik uygulanabilirlik, şebeke entegrasyonu ve gelişmiş enerji yönetimi, düzenleyici ve güvenlik kaygıları, operasyonel lojistik ve filo yönetimi gibi zorluklarla karşılaşmaktadır [187].

Mobil şarj istasyonları, kalabalık kentsel ortamlarda ve alanın kısıtlı olduğu bölgelerde de hizmet verebilmelidir. Mobil şarj istasyonları, sabit şarj istasyonlarının mekânsal sınırlamalarını hafifletmeye yardımcı olabilirken yine de erişim haklarına, uygun park alanlarına ve güvenli yollara ihtiyaç duymaktadırlar. Kentsel tıkanıklık ve yüksek emlak fiyatları mobil şarj istasyonu filolarının etkin bir şekilde işletilmesine karmaşıklık katmaktadır [187].

Mobil şarj istasyonları, sabit şarj istasyonları ile rekabet edebilmek için ultra hızlı şarj imkânı sunabilmelidir. Hızlı enerji aktarımına ulaşabilmek için gelişmiş güç elektroniği, sağlam termal yönetim ve son teknoloji batarya performansı gerekmektedir. Ayrıca kablosuz ve dinamik şarj gibi gelişmekte olan teknolojiler hala deneysel aşamada olduklarından bu durum güvenilir ve hızlı enerji dağıtımını konusunu daha karmaşık hale getirmektedir. Bu teknolojilerin çeşitli EA modellerine sorunsuz bir şekilde entegre edilmesi de zorluğu artırmaktadır [187], [188].

EA şarj ekosistemindeki en önemli zorluklardan birisi de tek tip bir standardın olmamasıdır. Mobil şarj istasyonları, farklı konektör tipleri, çeşitli iletişim protokolleri ve tutarsız ödeme sistemleri ile mücadele etmek zorundadır. Bu standartsızlık mobil şarj istasyonlarının sadece tasarımını ve üretimini zorlaştırmamakta aynı zamanda farklı araç markaları ve şarj ağları arasında sorunsuz kullanıcı deneyimlerinin önünde bir engel oluşturmaktadır [188], [189].

Mobil şarj istasyonu filosu geliştirmek, yalnızca şarj teknolojisinin kendisine değil aynı zamanda ilgili araçlara, filo yönetim yazılımına ve bakım altyapısına da önemli miktarda ön yatırım gerektirdiğinden ve yatırım getirisinde belirsizlik olabileceğinden yatırımcıları bu yenilikçi çözüme sermaye ayırmaktan caydırabilmektedir [187].

Mobil şarj istasyonlarının yerel elektrik şebekeleriyle verimli bir şekilde entegre edilmesi karmaşık bir zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu istasyonların güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak şebekeden bağımsız çalışmaları gerekebilmektedir. Bu durum,

dinamik şebeke yönetimi teknikleri, gerçek zamanlı enerji optimizasyonu ve araç-şebeke (V2G) etkileşimlerine katılma kabiliyeti gerektirmektedir. Bu tür değişken koşullar altında istikrarın ve verimli enerji aktarımının sağlanması önemli bir teknolojik ve operasyonel engel olarak karşımıza çıkabilmektedir [187], [189].

Mobil şarj istasyonları, yol güvenliği standartlarından elektrik tesisatı yönetmeliklerine ve çevre düzenlemelerine kadar birçok düzenleyici alanı kapsamaktadır. Bu çeşitli ve genellikle bölgeye özgü düzenlemelere uyum, dağıtımı geciktirebilmekte ve işletme maliyetlerini artırabilmektedir. Ayrıca hem şarj işlemlerinin hem de bu istasyonların hareketliliğinin güvenliğini sağlamak, tasarım ve yönetimlere ekstra bir karmaşıklık katmanı eklemektedir [187].

Mobil şarj istasyonlarını cazip kılan hareketlilik, yeni lojistik zorlukları da beraberinde getirmektedir. Verimli rotalama, gerçek zamanlı kaynak dağıtımı, bakım planlaması ve dalgalı talep modellerine uyum sağlama, başarılı bir operasyon için kritik öneme sahiptir. Şarj hizmetlerini dinamik olarak tahsis edebilen çok gelişmiş filo yönetim sistemleri geliştirmek, güvenilirlik ve maliyet etkinliği sağlamak için gereklidir [187], [188].

Altyapı kısıtlamaları ve teknolojik sınırlamalardan mevzuat engelleri ve karmaşık lojistiğe kadar bu zorlukların her biri, mobil şarj çözümleri geliştirmenin çok yönlü doğasını vurgulamaktadır. Bu sorunların üstesinden gelmek, mobil şarj istasyonlarının geleneksel şarj altyapısına güvenilir, verimli ve erişilebilir bir ek sağlayabilmesini sağlamanın anahtarı olacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

19. yüzyılda geliştirilen elektrikli araç teknolojisi, küresel ısınmanın meydana gelmesiyle günümüz dünyasında tekrar gündeme gelmiştir. 2019 yılında küresel olarak 6 milyona ulaşan EA sayısının 2030 yılında 157 milyon olması beklenmektedir. Bu hızlı artışın neticesinde meydana gelecek yoğun enerji talebinin karşılanmasında farklı şarj teknolojilerinin geliştirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması son derece önem arz etmektedir.

Şarj istasyonu ve batarya teknolojisi alanlarında yaşanan gelişmeler, EA kullanımının benimsenmesine katkı sağlamaktadır. Günümüzde yüksek enerji yoğunluğu ve uzun çevrim ömrü nedeniyle lityum-iyon bataryalar tercih edilmektedir. EA sayısının artmasıyla mevcut elektrik şebekelerine gelen yükler de artacaktır. Bu bağlamda mobil şarj istasyonları gibi farklı şarj çözümlerinin geliştirilmesi ve kullanılması gerekmektedir.

Mobil şarj istasyonları, elektrikli araç sahipleri için çeşitli çözümler sunarak geleneksel şarj istasyonlarının ötesinde esneklik ve rahatlık sağlamaktadır. Bu şarj istasyonları, dahili bataryalara sahip taşınabilir güç bankaları gibi davranarak menzil kaygısını ele almakta ve hareket halindeyken şarj etmeyi mümkün kılmaktadır. Mobil şarj istasyonu türlerini anlamak, ihtiyaçlara göre doğru olanı seçmek ve AC ve DC şarj cihazları arasında ayırım yapmak önemli hususlardır. Esneklik, azaltılmış menzil kaygısı ve uzak yerlerde şarj etme yeteneği gibi avantajlar, mobil şarj istasyonlarını çeşitli durumlarda, özellikle acil durumlarda değerli bir kaynak haline getirmektedir. Boyut, ağırlık ve farklı yerlere uyarlanabilirlik gibi taşınabilirlik faktörleri, kullanıcı deneyimlerini geliştirmektedir.

Bu tez çalışmasında, mobil şarj istasyonu türleri incelenmiş ve dünya genelindeki ve Türkiye'deki mobil şarj istasyonu örnekleri araştırılmıştır. Araştırılan bu örneklerle ilgili oluşturulan tablo incelendiğinde mobil şarj istasyonlarının türlerine, elektriksel özelliklerine ve maliyetlerine göre birbirlerine üstünlükleri varmış gibi görünse de kullanıcıların ihtiyaçları ve kullanım alanları gibi konular aslında mobil şarj istasyonlarının ihtiyaca ve talebe göre hizmet verebileceğini göstermektedir.

Mobil şarj istasyonlarının kullanılmasında, tek bir standardın olmaması, tasarımıyla ilgili birçok elektriksel yönetmelik ve çevresel düzenlemeye tabi olması, şarj istasyonu filosu kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve alanın kısıtlı olduğu yerlerde mekânsal kısıtlamalara maruz kalması gibi birçok zorlukla karşılaşılsa da çevrenin korunabilmesi ve EA kullanımının artırılması için bu istasyonların faydaları göz önünde bulundurularak tasarımları geliştirilmelidir.

Ultra hızlı şarj istasyonları ve akıllı şarj yöntemleri kullanılarak ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre edilerek daha hızlı daha verimli ve daha çevreci mobil şarj istasyonları geliştirmek her geçen gün ilerleyen teknoloji ile mümkün olmaktadır. Tez kapsamında incelenen mobil şarj istasyonlarının çeşitliliği bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Ancak mobil şarj istasyonlarının planlanması, tasarımı, çalışması, elektrik şebekesine etkileri ve maliyeti araştırılmaya devam edilen açık araştırma konuları olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu araştırma konuları ile ilgili konunun tüm paydaşlarının koordineli bir şekilde çalışarak güncel teknolojiler üretmesi, EA kullanım oranlarının artmasına, dışa bağımlılığın azaltılmasına ve tükenmeyen kaynak rezervleri kullanılarak çevreyi tüketen kaynaklardan uzak durulmasına katkı sağlayacaktır. Gelecek nesillere sürdürülebilir bir dünya bırakabilmek adına temiz enerji kaynaklarının kullanılabilirdiği, enerjinin ve zamanın verimli kullanılabilirdiği ve maliyetlerin azaltılabilirdiği mobil şarj istasyonlarının ilerleyen teknoloji ile geliştirilmesi ve kullanılması konunun tüm paydaşları için faydalı olacaktır.

7. KAYNAKLAR

- [1] M. Özler, “Elektrikli Araç Teknolojisi ve Çankırı İlinde Çatı Tipi Güneş Paneli Destekli Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Tasarımı ve Maliyet Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, 2023.
- [2] C. Kutlu and H. Özbay, “Elektrikli Araçlar İçin Akıllı Şarj Sistemleri,” in *International Conference on Innovative Academic Studies*, Konya, 2022, pp. 982–987.
- [3] S. Afshar, Z. K. Pecenak, and V. Disfani, “Mobile Charging Station: A Complementary Charging Technology for Electric Vehicles,” in *2022 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, ITEC 2022*, Anaheim, CA, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 953–957. doi: 10.1109/ITEC53557.2022.9814039.
- [4] H. Özbay, “Şebeke Etkileşimli Yenilenebilir Enerji Destekli Hızlı Batarya Şarj Sisteminin Gerçekleştirilmesi,” Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, 2017.
- [5] Ş. Efe and Z. A. Güngör, “Geçmişten Günümüze Batarya Teknolojisi,” *European Journal of Science and Technology*, no. 32, pp. 947–955, 2022, doi: 10.31590/ejosat.1048673.
- [6] E. Can Güven and K. Gedik, “Ömrünü Tamamlamış Elektrikli Araç Bataryalarının Çevresel Yönetimi,” *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 9, no. 2, pp. 726–737, 2019, doi: 10.21597/jist.446170.
- [7] Ç. DERİCİOĞLU, E. YİRİK, E. ÜNAL, M. U. CUMA, B. ONUR, and M. TÜMAY, “A Review of Charging Technologies for Commercial Electric Vehicles,” *International Journal of Advances on Automotive and Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 61–70, 2018, doi: 10.15659/ijaat.18.01.892.
- [8] V. Yazıcı and E. Özdemir, “Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri,” pp. 288–292, Accessed: Dec. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.emo.org.tr>
- [9] A. Kılıç, “Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Havalandırılması,” *TÜYAK Yangın Mühendisliği Dergisi*, no. 1, pp. 28–34, 2017.
- [10] A. Kerem and H. Gürbak, “Elektrikli Araçlar İçin Hızlı Şarj İstasyonu Teknolojileri,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 8, no. 3, pp. 644–661, 2020, doi: 10.29109/gujsc.713085.
- [11] V. N. Saraswathi and V. P. Ramachandran, “A comprehensive review on charger technologies, types, and charging stations models for electric vehicles,” *Heliyon*, vol. 10, no. 20, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e38945.

- [12] S. Afshar, P. Macedo, F. Mohamed, and V. Disfani, "Mobile charging stations for electric vehicles — A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 152, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111654.
- [13] A. N. Karadağ, "Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Durumu, Gelecek Öngörüsü ve Özelinde Güneş Enerjisinin İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, 2023.
- [14] B. Bitek, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Bireysel Kullanım için Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Analizi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli Üniversitesi, 2023.
- [15] Ç. B. Güvel, "İzmir İli İçin Güneş-Rüzgar Hibrit Enerjili Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, 2018.
- [16] İ. Çözel, "Sakarya İli için Örnek Bir PV-Rüzgar Hibrit Enerjili Şarj İstasyonu Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, 2021.
- [17] S. Cui, H. Zhao, H. Chen, and C. Zhang, "The mobile charging vehicle routing problem with time windows and recharging services," *Comput Intell Neurosci*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/5075916.
- [18] A. Kerem, "Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 5, no. 1, pp. 1–13, 2014, [Online]. Available: <http://febed.mehmetakif.edu.tr>
- [19] H. Özbay, C. Közkurt, A. Dalcalı, and M. Tektaş, "Geleceğin Ulaşım Tercihi: Elektrikli Araçlar," *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, vol. 3, no. 1, pp. 34–50, 2020.
- [20] Z. Özen, L. Arslan, and H. Özbay, "Elektrikli Araçlar için Yenilenebilir Enerji Destekli Akıllı Şarj Sistemleri ve Mobilite," in *3. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı ITSC'23*, M. Tektaş, Ed., Bandırma, 2023, pp. 87–99.
- [21] Y. Deng, Z. Chen, and X. Lin, "Cost-competitiveness analysis of mobile chargers in an electric vehicle parking and charging system," *Transp Res Part C Emerg Technol*, vol. 171, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.trc.2024.104951.
- [22] S. Cho, J. Lim, W. Won, J. Kim, and S. Ga, "Design and optimization of energy supplying system for electric vehicles by mobile charge stations," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 138, pp. 481–491, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.jiec.2024.04.027.
- [23] H. Li, D. Son, and B. Jeong, "Electric vehicle charging scheduling with mobile charging stations," *J Clean Prod*, vol. 434, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.140162.

- [24] R. C. Neto *et al.*, “Mobile Charging Stations: A Comprehensive Review of Converter Topologies and Market Solutions,” *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 5931, pp. 1–38, 2024, doi: 10.3390/en17235931.
- [25] L. Buzna and M. Straka, “Predicting Charging Times for Mobile Charging Service: Shared Fleet of Electric Vehicles,” in *2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies, SpliTech 2024*, Bol and Split, Croatia: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024. doi: 10.23919/SpliTech61897.2024.10612330.
- [26] L. Zhang, T. Chen, B. Yao, B. Yu, and Y. Wang, “Routing and charging scheduling for the electric carsharing system with mobile charging vehicles,” *Omega (United Kingdom)*, vol. 131, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.omega.2024.103211.
- [27] M. A. Beyazit and A. Taşçıkaraoğlu, “Electric vehicle charging through mobile charging station deployment in coupled distribution and transportation networks,” *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 35, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.segan.2023.101102.
- [28] M. A. Beyazit, A. K. Erenoglu, and A. Tascikaraoglu, “Fairness and Equity in Electric Vehicle Charging with Mobile Charging Stations,” *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 61, no. 1, pp. 1–12, 2024, doi: 10.1109/TIA.2024.3477426.
- [29] A. K. Aktar, A. Taşçıkaraoğlu, and J. P. S. Catalão, “Scheduling of mobile charging stations with local renewable energy sources,” *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 37, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.segan.2023.101257.
- [30] A. K. Aktar, A. Tascikaraoglu, and J. P. S. Catalao, “Optimal Charging and Discharging Operation of Mobile Charging Stations,” in *SEST 2022 - 5th International Conference on Smart Energy Systems and Technologies*, Eindhoven, Netherlands: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/SEST53650.2022.9898463.
- [31] M. A. Beyazit and A. Tascikaraoglu, “Optimal Management of Mobile Charging Stations in Urban Areas in a Distribution Network,” in *SEST 2022 - 5th International Conference on Smart Energy Systems and Technologies*, Eindhoven, Netherlands: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/SEST53650.2022.9898420.
- [32] H. Chen, Y. Zhao, R. Zhang, Z. Chen, and S. Chen, “Optimal Security Charging Service for Electric Vehicles by Mobile Charging Stations: Dynamic Contract-based Approach,” in *2021 33rd Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2021*, Kunming, China: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021, pp. 4627–4632. doi: 10.1109/CCDC52312.2021.9602348.
- [33] International Renewable Energy Agency, *Electric-Vehicle Smart Charging*. 2019.

- [34] “Elektrikli Araç (EV) Nedir?,” <https://ev.hedef filo.com/ev-nedir/elektrikli-araclar-hakkinda>.
- [35] R. Yapıcı, D. Güneş, and N. Yörükeren, “Elektrikli Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Olası Etkileri,” Elektrik Mühendisleri Odası.
- [36] M. H. Çiçek, “Gümüşhane İli Kapalı Otoparkının Elektrikli Araç Şarj İstasyonuna Dönüşümü,” Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, 2023.
- [37] C. B. Aybirdi, “Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Lokasyonlarının Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Seçilmesi: Ankara’da Vaka Çalışması,” Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, 2021.
- [38] A. Çobanoğlu, “Elektrikli Kara Araçları İçin Güneş Enerjisi Destekli Bir Şarj İstasyonunun Tasarımı,” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 2020.
- [39] N. Ünlü *et al.*, *Elektrikli Araçlar*. Kocaeli: Tübitak, 2003.
- [40] A. Singh, L. Singh, A. K. Pundir, and A. Saini, “Mild Hybrid Technology in Automotive: A Review,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 8, no. 4, Apr. 2021, [Online]. Available: www.irjet.net
- [41] A. Fertelli, E. Orhan, A. Anter, and A. Yakın, *Verimli ve Çevreci Enerji Sistemleri*. Ankara: İksad Publishing House, 2023. [Online]. Available: www.iksadyayinevi.com
- [42] S. Liu, J. Bai, X. Dai, and Y. Zhou, “Brief Comments to Different Kinds of Hybrid systems of some Chinese Automobile Brands,” in *2022 Euro-Asia Conference on Frontiers of Computer Science and Information Technology, FCSIT 2022*, 2022, pp. 232–235. doi: 10.1109/FCSIT57414.2022.00055.
- [43] B. Zoroğlu, “Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Konumlarının Bartın Organize Sanayi Bölgesi Dağıtım Şebekesi Üzerinden İncelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2021.
- [44] D. Kazak, “Elektrikli Araçların Avantajları, Dezavantajları ve Yangın Riskleri: Batarya Güvenliği ve Yangın Söndürme Çözümleri Üzerine Bir İnceleme,” *Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırma Dergisi*, vol. 11, no. 110, pp. 1492–1503, Aug. 2024, doi: 10.5281/zenodo.13625454.
- [45] M. S. Çetin, B. Karakaya, and M. T. Gençoğlu, “Elektrikli Araçlar İçin Lityum İyon Bataryaların Modellenmesi,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 33, no. 2, pp. 755–763, 2021, doi: 10.35234/fumbd.953296.
- [46] F. Mohammadi and M. Saif, “A comprehensive overview of electric vehicle batteries market,” 2023, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.prime.2023.100127.

- [47] F. S. Durmuş and H. Kaymaz, “Elektrikli Araç Şarj Yöntemleri,” *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulama Dergisi*, vol. 3, no. 2, pp. 124–139, 2020.
- [48] ABB, “Terra AC EV Tipi Şarj Ünitesi Yük Yönetim Senaryosu,” İstanbul. Accessed: Apr. 18, 2025. [Online]. Available: emobility.abb.com
- [49] H. Shareef, M. M. Islam, and A. Mohamed, “A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64, pp. 403–420, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.06.033.
- [50] A. Kerem, “Elektrikli Araç Teknolojisinin Gelişimi ve Gelecek Beklentileri,” vol. 5, no. 1, pp. 1–13, 2014.
- [51] M. A. Alkan, “Kablosuz Şarj Yöntemi,” <https://www.endustri40.com/kablosuz-sarj-wireless-charging/>.
- [52] U. Yılmaz, “Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Dağıtım Şebekelerine Etkileri,” Yüksek Lisans Tezi, Erzincan, 2024.
- [53] Şevki Sakaldaş, “Batarya Değiştirme Yöntemi,” Yeşilova Blog.
- [54] B. Aras, “Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Enerji Temelli Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Tasarımı ve Güç Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, Van, 2022.
- [55] F. Karapınar and F. Daldaban, “Elektrikli Araçların Şarj Yöntemleri ve Şarj İstasyon Tipleri,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 38, no. 3, pp. 549–556, 2022.
- [56] “Seviye 1 (Ev Tipi) Şarj İstasyonu Bağlantı Aparatı,” <https://www.joosup.com/electric-car-plugs/>.
- [57] “Seviye 2 (Normal) Şarj İstasyonu Bağlantı Aparatı,” <https://www.joosup.com/electric-car-plugs/>.
- [58] “Seviye 3 (Hızlı) Şarj İstasyonu Bağlantı Aparatları,” <https://www.midaevse.com/tr/ev-guide-2/>.
- [59] “Özel Tip Şarj İstasyonu,” <https://www.elecology.com/understanding-the-difference-between-public-vs-private-ev-charging-stations>.
- [60] “Trugo Kamu Tipi Şarj İstasyonu,” https://www.trugo.com.tr/?gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMIIsL2VIY6yigMValloCR3XPQVKEAAYASAAEgLCP_D_BwE.
- [61] G. Genç, “Türkiye ve Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanım Alanlarının Karşılaştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çankaya Üniversitesi, 2022.

- [62] A. Kıyak, “Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları ve Enerji Verimliliğinin İncelenmesi: Muğla İli Toplu Konut Yerleşkesi Örneği,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, 2007.
- [63] D. Yıldırım, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçeren Akıllı Şebekelerde Elektrikli Araç Batarya Sistemlerinin Araçtan Şebekeye Enerji Yönetimi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnönü Üniversitesi, 2024.
- [64] E. Koç and K. Kaya, “Enerji Kaynakları-Yenilenebilir Enerji Durumu,” *Mühendis ve Makina Dergisi*, vol. 56, no. 668, 2015.
- [65] R. Kılıç and V. Aslan, “Yenilenebilen ve Yenilenemeyen Enerjinin İktisadi Büyüme Üzerindeki Etkisi: 28 OECD Ülkesi Üzerine Ampirik Bir Çalışma,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, vol. 12, no. 1, pp. 1–12, Apr. 2017.
- [66] A. Öter and F. Baltacı, “Elektrikli Araçlar İçin Akıllı Hibrit Şarj İstasyonu Örneği,” *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 9, no. 1, pp. 160–175, Jun. 2022, doi: 10.35193/bseufbd.1002649.
- [67] A. Koç, H. Yağlı, Y. Koç, and İ. Uğurlu, “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi,” *Mühendis ve Makina Dergisi*, vol. 59, no. 692, 2018.
- [68] Z. Özen and T. Engin, “İklim Krizini Önlemede Çevreci Ulaşım Planlaması: Yeşil Ulaşım Uygulamaları,” in *3. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Konferansı ITSC’23*, M. Tektaş, Ed., Bandırma, 2023, pp. 72–86.
- [69] “Elektrikli Araçlar İçin Güneş Enerjili Şarj İstasyonları,” <https://egesarj.com.tr/blog/elektrikli-araclar-icin-gunes-enerjili-sarj-istasyonlari>.
- [70] “Güneş Enerjili Şarj İstasyonları Hakkında Bilmeniz Gereken Her Şey,” <https://jocacable.com/tr/blog/solar-power-charging-station/>.
- [71] “Güneş Enerjisi Entegreli Şarj İstasyonu,” <https://acilsarj.com/urunler/solar-sarj-istasyonu/>.
- [72] H. Akça and R. Ayaz, “Fotovoltaik Sistem Entegreli Elektrikli Araç Şarj Sistemlerinde Optimum Kapasitenin Belirlenmesi,” *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 12, no. 3, pp. 476–487, Sep. 2024, doi: 10.21923/jesd.1448108.
- [73] S. Bilgebey, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Sürdürülebilir Kalkınma: Türkiye Üzerine Bir İnceleme,” Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, 2023.
- [74] A. Pınar, A. D. Buldur, and T. Tuncer, “Türkiye’deki Rüzgar Enerji Santralleri Dağılışının Coğrafi Perspektifle İncelenmesi,” *Doğu Coğrafya Dergisi*, vol. 25, no. 43, pp. 167–182, Jun. 2020, doi: 10.17295/ataunidcd.662785.

- [75] “Rüzgar Enerjisi Entegreli Şarj İstasyonu,” <https://www.solar.ist/borusan-enbw-enerji-yenilenebilir-enerjinin-yatirimlarina-elektrikli-arac-sarj-istasyonlarini-da-ekledi/>.
- [76] Wind & Solar Tower, “Meet the Wind and Solar Tower, an EV charging solution that could change the world,” <https://windandsolartower.com/meet-the-wind-and-solar-tower-an-ev-charging-solution-that-could-change-the-world/>.
- [77] “Hibrit Enerji Entegreli Şarj İstasyonu,” <https://windandsolartower.com/wind-solar-tower-charges-electric-cars-during-load-shedding/>.
- [78] T. D. Atmaja and Amin, “Energy storage system using battery and ultracapacitor on mobile charging station for electric vehicle,” in *2nd International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, ICSEEA 2014*, Elsevier Ltd, Apr. 2015, pp. 429–437. doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.274.
- [79] A. F. Sülecik, “Mobile EV Charging Design, Optimization and Evaluation of Battery-Integrated Robots to Improve Electric Mobility,” Yüksek Lisans Tezi, Delft University of Technology, 2024. [Online]. Available: <http://repository.tudelft.nl/>.
- [80] B. Çatay and İ. Sadati, “An improved matheuristic for solving the electric vehicle routing problem with time windows and synchronized mobile charging/battery swapping,” *Comput Oper Res*, vol. 159, pp. 1–21, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.cor.2023.106310.
- [81] “Elektrikli Araç Şarj İstasyonu,” https://tr.pngtree.com/freepng/charging-station-line-icon-vector_5199718.html.
- [82] “Bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonları - bataryanın römorkta taşındığı sistem,” <https://lightningemotors.com/lightning-mobile/>.
- [83] “Bataryalı sisteme sahip mobil şarj istasyonları - bataryanın araca entegre olduğu sistem,” <https://www.mullenusa.com/mullen-powerup>.
- [84] “Tesla Bataryalı Sisteme Sahip Mobil Şarj İstasyonu,” <https://x.com/t3knerd/status/1199769328993746944>.
- [85] H. Saboori and S. Jadid, “Mobile battery-integrated charging station for reducing electric vehicles charging queue and cost via renewable energy curtailment recovery,” *Int J Energy Res*, vol. 46, pp. 1077–1093, 2022, doi: 10.1002/er.7229.
- [86] S. Shao, S. Guo, and X. Qiu, “A mobile battery swapping service for electric vehicles based on a battery swapping van,” *Energies (Basel)*, vol. 10, no. 1667, pp. 1–21, Oct. 2017, doi: 10.3390/en10101667.
- [87] P. Y. Kong, “Autonomous Robot-Like Mobile Chargers for Electric Vehicles at Public Parking Facilities,” *IEEE Trans Smart Grid*, vol. 10, no. 6, pp. 5952–5963, 2019, doi: 10.1109/TSG.2019.2893962.

- [88] M. Behl, J. DuBro, T. Flynt, I. Hameed, G. Lang, and F. Park, "Autonomous Electric Vehicle Charging System," in *2019 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)*, Charlottesville, VA, USA: IEEE, 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/SIEDS.2019.8735620.
- [89] B. Walzel, C. Sturm, J. Fabian, and M. Hirz, "Automated robot-based charging system for electric vehicles," in *16. Internationales Stuttgarter Symposium*, Germany, Mar. 2016, pp. 937–949. doi: 10.1007/978-3-658-13255-2_70.
- [90] O. Egbue and S. Long, "Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions," *Energy Policy*, vol. 48, pp. 717–729, 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2012.06.009.
- [91] B. X. Du, X. X. Kong, J. Li, and M. Xiao, "High thermal conductivity insulation and sheathing materials for electric vehicle cable application," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 26, no. 4, pp. 1363–1370, Aug. 2019, doi: 10.1109/TDEI.2019.008069.
- [92] H. Saboori, S. Jadid, and M. Savaghebi, "Optimal Management of Mobile Battery Energy Storage as a Self-Driving, Self-Powered and Movable Charging Station to Promote Electric Vehicle Adoption," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 736, pp. 1–19, Feb. 2021, doi: 10.3390/en14030736.
- [93] J. Leijon and C. Boström, "Charging Electric Vehicles Today and in the Future," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 13, no. 139, pp. 1–15, Aug. 2022, doi: 10.3390/wevj13080139.
- [94] C. Kutlu and H. Özbay, "Elektrikli Araçlar için Akıllı Şarj Sistemleri," in *1 st International Conference on Innovative Academic Studies*, Konya, Sep. 2022, pp. 982–987. [Online]. Available: <https://www.iciias.net/>
- [95] International Renewable Energy Agency, *Electric-Vehicle Smart Charging*. Abu Dhabi, 2019.
- [96] C. L. Decker, "Electric Vehicle Charging and Routing Management via Multi-Infrastructure Data Fusion," Yüksek Lisans Tezi, New York, 2012.
- [97] S. Afshar, P. Maceda, F. Mohamed, and V. Disfani, *A Literature Review on Mobile Charging Station Technology for Electric Vehicles*. IEEE, 2020.
- [98] "Mobile EV Charging: Types, Factors, and Advantages," Jan. 2024. Accessed: Mar. 04, 2025. [Online]. Available: <https://1charging.com/mobile-ev-charging-types-factors-and-advantages/>

- [99] U.S. Department of Energy, “Evaluating Electric Vehicle Charging Impacts and Customer Charging Behaviors - Experiences from Six Smart Grid Investment Grant Projects,” 2014. Accessed: Mar. 09, 2025. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.energy.gov/oe/articles/evaluating-electric-vehicle-charging-impacts-and-customer-charging-behaviors>
- [100] V. Moghaddam, I. Ahmad, D. Habibi, and M. A. S. Masoum, “Dispatch management of portable charging stations in electric vehicle networks,” *eTransportation*, vol. 8, 2021, doi: 10.1016/j.etrans.2021.100112.
- [101] M. Smith, “Level 1 Electric Vehicle Charging Stations at the Workplace,” 2016. [Online]. Available: http://www.afdc.energy.gov/fuels/electricity_infrastructure.html.
- [102] F. Wang, R. Chen, L. Miao, P. Yang, and B. Ye, “Location optimization of electric vehicle mobile charging stations considering multi-period stochastic user equilibrium,” *Sustainability*, vol. 11, no. 5841, pp. 1–19, Oct. 2019, doi: 10.3390/su11205841.
- [103] D. McFarlane, M. Prorok, B. Jordan, and T. Kemabonta, “Analytical White Paper: Overcoming Barriers to Expanding Fast Charging Infrastructure in the Midcontinent Region,” Minneapolis, 2019. Accessed: Mar. 17, 2025. [Online]. Available: <https://betterenergy.org/>
- [104] A. Schroeder and T. Traber, “The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles,” *Energy Policy*, vol. 43, pp. 136–144, 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2011.12.041.
- [105] “Uluslararası Elektronik Komisyonu (IEC),” https://tr.wikipedia.org/wiki/Uluslararası%20Elektroteknik_Komisyonu.
- [106] “IEC 62196 Nedir?,” <https://zdw1-tec.com/tr/news/what-is-iec-62196/#:~:text=IEC%2062196%2C%20garanti%20etmek%20i%C3%A7in,alacak%20%C5%9Fekilde%20geli%C5%9Ftirilmeye%20devam%20ediyor>.
- [107] A. Ayob *et al.*, “Review on electric vehicle, battery charger, charging station and standards,” 2014, *Maxwell Science Publications*. doi: 10.19026/rjaset.7.263.
- [108] S. Rivera, S. Kouro, S. Vazquez, S. M. Goetz, R. Lizana, and E. Romero-Cadaval, “Electric Vehicle Charging Infrastructure: From Grid to Battery,” *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 15, no. 2, pp. 37–51, 2021, doi: 10.1109/MIE.2020.3039039.
- [109] M. Longo *et al.*, “Recharge Stations: a review,” in *2016 Eleventh International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, Monte Carlo, Monaco: IEEE, 2016. doi: 10.1109/EVER.2016.7476390.
- [110] “Elektrikli Araba Rehberi: Tüm Sorularınızın Cevapları,” <https://hevcars.com.ua/electric-car-guide/>.

- [111] “Güç Dönüşümü İçin Kullanılan Ürün Çeşitleri,” <https://componentbyozdisan.com/guc-donusumu-icin-kullanilan-urun-cesitleri/>.
- [112] M. Badawy, N. Arafat, S. Anwar, A. Ahmed, Y. Sozer, and P. Yi, “Design and implementation of a 75 KW mobile charging system for electric vehicles,” in *2013 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2013*, 2013, pp. 1610–1616. doi: 10.1109/ECCE.2013.6646898.
- [113] “İzole ve İzole Olmayan DC-DC Dönüştürücüler,” <https://www.iecee.org/certification/iec-standards/iec-61851-232023>.
- [114] H. Tu, H. Feng, S. Srdic, and S. Lukic, “Extreme Fast Charging of Electric Vehicles: A Technology Overview,” *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 5, no. 4, pp. 861–878, Dec. 2019, doi: 10.1109/TTE.2019.2958709.
- [115] “DC/AC Dönüştürücüler,” <https://www.inform.com.tr/inverter-nedir>.
- [116] A. Ali, H. H. H. Mousa, M. F. Shaaban, M. A. Azzouz, and A. S. A. Awad, “A Comprehensive Review on Charging Topologies and Power Electronic Converter Solutions for Electric Vehicles,” *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, vol. 12, no. 3, pp. 675–694, May 2024, doi: 10.35833/MPCE.2023.000107.
- [117] K. Sayed, A. Almutairi, N. Albagami, O. Alrumayh, A. G. Abo-Khalil, and H. Saleeb, “A Review of DC-AC Converters for Electric Vehicle Applications,” Feb. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/en15031241.
- [118] Joint Office of Energy and Transportation, “Physical Safety and Security at Electric Vehicle Charging Sites,” 2024.
- [119] J.-F. Rey, “Safety measures for electric vehicle charging.”
- [120] “Volkswagen’s Mobile Charging Robot,” <https://insideevs.com/photos/709020/volkswagens-mobile-charging-robot/>.
- [121] “Hyundai Motor Group Shows Newly Developed Automatic Charging Robot for Electric Vehicles,” <https://www.hyundai.news/eu/articles/press-releases/newly-developed-automatic-charging-robot-for-electric-vehicles.html>.
- [122] Beam Global, “BEAM EV ARC.” Accessed: Mar. 27, 2025. [Online]. Available: <https://beamforall.com/product/ev-arc/>
- [123] A. Margaliot, “The Environmental Impact of Charging Stations,” <https://chargequix.com/2024/10/03/the-environmental-impact-of-charging-stations/>.
- [124] O. Marc, “The Logic Behind Mobile Charging Systems Logistics Better Than Fossil Fuel Infrastructure,” <https://www.autoevolution.com/news/the-logic-of-mobile-charging-systems-logistics-is-better-than-fossil-fuel-infrastructure-212035.html>.

- [125] T. Singh, “Angel Car: World’s First Mobile Charging Station For Electric Cars,” https://inhabitat.com/angel-car-worlds-first-mobile-charging-station-for-electric-cars/?__cf_chl_tk=53bkFBE_UITiwJMOJNMMGvYJKZJVni0OMF0BkUkcFUU-1742737906-1.0.1.1-M.RjG7ka6wnFnnYOdeoJkNo3eFujqwUr7FSTSJPffIY.
- [126] “Anari Elektrikli Araç Mobil Şarj Sistemi,” <https://anari.com.tr/>.
- [127] Andromeda, “ORCA Inceptive,” *Andromeda Power LLC*. Accessed: Apr. 04, 2025. [Online]. Available: www.AndromedaPower.com
- [128] “AUTEV Otonom Şarj Robotu,” <https://www.autev.com/>.
- [129] D. Sickels, “Autev, talep üzerine otonom EV şarj robotlarını tanıttı,” <https://www.thebuzzevnews.com/autev-autonomous-ev-charging/>.
- [130] “Batteri Thomas Şarj Robotu,” <https://batteri.energy/>.
- [131] Urban Mobility, “First pilot testing of BaTTeRi’s robotic EV charging device,” <https://www.eiturbanmobility.eu/first-pilot-testing-of-batteris-robotic-ev-charging-device/>.
- [132] “BEAM ARC Mobility Trailer,” <https://beamforall.com/product/arc-mobility-trailer/#>.
- [133] “Car Charging Bot EV Wireless Charging Robot,” <https://bumpercharger.com/ev-wireless-charging-robot/>.
- [134] S. Saseendran, “Charger EV Fast Charging Station,” <https://gulfnews.com/uae/environment/wetex-from-tesla-giveaways-to-mobile-ev-charging-station-dubai-event-in-big-push-for-electric-vehicles-1.104262388>.
- [135] “Charger Mobil Şarj İstasyonu,” <https://chargeruae.com/>.
- [136] “ChargeWheel Battery Integrated Ultrafast Mobile DC Charger,” <https://chargewheel.com/>.
- [137] “ChargeWheel ,” <https://www.cbinsights.com/company/chargewheel>.
- [138] “ClubAssist Mobile EV Charging,” <https://clubassist.com.au/Beyond-Batteries/Mobile-EV-charging>.
- [139] “RAC EV Boost Mobile Charging System,” <https://www.rac.co.uk/innovation/ev-boost>.
- [140] “RAC develops UK’s first lightweight charger to deliver a ‘journey-saving’ boost to electric vehicles,” <https://www.raccorporate.co.uk/for-investors/investor-news/2019/30-04-2019-1>.
- [141] “RAC begins rolling out faster emergency EV chargers to patrol vans,” <https://media.rac.co.uk/rac-begins-rolling-out-faster-emergency-ev-chargers-to-patrol-vans-3183891>.
- [142] “EVAR Corp,” https://tracxn.com/d/companies/ev-ar-corp/_nk_NIvX39yMxnCJC5ZihBFt7aMRnP97gL10rVYbw3UA.

- [143] “About EVAR,” <https://www.evar.co.kr/about-us>.
- [144] “EVAR Mobile EV Charger,” <https://www.evar.co.kr/mobile-ev-charger>.
- [145] R. Park, “EVAR, a CAPA Partner, Leads the Charge with Autonomous Charging Robots,” <https://www.koreatechdesk.com/evar-a-capa-partner-leads-the-charge-with-autonomous-charging-robots/>.
- [146] “MooveV,” <https://www.evar.co.kr/moovev>.
- [147] “EVAR Parky EV recharging robot works autonomously to find and charge your vehicle,” <https://thegadgetflow.com/product/evar-parky-ev-recharging-robot-works-autonomously-to-find-charge-your-vehicle/>.
- [148] “L-Charge Mobil Şarj İstasyonu,” <https://l-charge.net/>.
- [149] “Lightning eMotors unveils 2nd generation mobile charger (with up to 420 kWh capacity),” <https://www.sustainable-bus.com/infrastructure/lightning-emotors-mobile-charger/>.
- [150] “Lightning Mobile,” Jun. 2023. Accessed: Apr. 03, 2025. [Online]. Available: lightningemotors.com/energy
- [151] “Mack Introduces Mobile Off-Grid Charging System to Help Customers Test Electric Vehicles,” <https://www.macktrucks.com/mack-news/2024/mack-introduces-mobile-off-grid-charging-system-to-help-customers-test-electric-vehicles>.
- [152] Mack Trucks, “Mack Electric Vehicle Charger Recommendations.” Accessed: Apr. 04, 2025. [Online]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://delivery-p107394-e1241111.adobecloud.com/adobe/assets/urn:aaid:aem:9d2ba421-09bf-4832-b9f7-9057786e8995/original/as/mack-ev-charger-recommendations-ss-charg-ox.pdf>
- [153] “Mobile EV Charging,” <https://mobileevcharging.com.au/>.
- [154] “Mullen PowerUP All-Electric Mobile EV Charging Truck,” <https://www.mullenusa.com/mullen-powerup>.
- [155] “NIO Power Mobile,” <https://www.nio.com/nio-power>.
- [156] F. Lambert, “NIO is courting Tesla owners with mobile charging stations inside electric vans,” <https://electrek.co/2018/07/26/nio-courting-tesla-owners-mobile-charging-stations-electric-vans/>.
- [157] “Voltstack 30k Level 2 Mobile e-Charger,” <https://portable-electric.com/voltstack-power-stations/voltstack-30k-level-2-mobile-e-charger/>.
- [158] “Voltstack 30k Level 3 Mobile e-Charger,” <https://portable-electric.com/voltstack-power-stations/voltstack-30k-level-3-mobile-e-charger/>.

- [159] “Power Up Tech,” <https://www.p-up.tech/>.
- [160] J. Lee, “Power Up Tech mobile EV charging van now in Penang – 60 kW DC charger, RM1.70/kWh plus RM40 surcharge,” <https://paultan.org/2024/09/20/power-up-tech-mobile-ev-charging-van-now-in-penang-50-kw-dc-charger-rm1-70-kwh-plus-rm40-surcharge/>.
- [161] “Singapore Firm Offers Mobile Charging Service for EVs, using PowerOnTheGo,” https://www.setec-power.com/list_135/Singapore-Firm-Offers-Mobile-Charging-Service-for-EVs-using-PowerOnTheGo.html.
- [162] L. Nian Tjoe, “Two S’pore firms to test mobile charging service for electric vehicles until 2028,” <https://www.straitstimes.com/singapore/transport/two-s-pore-firms-to-test-mobile-charging-service-for-electric-vehicles-until-2028>.
- [163] RAA Daily, “RAA launches new electric patrol van along with mobile EV charging service,” https://daily.raa.com.au/media-resources/raa-launches-new-electric-patrol-van-along-with-mobile-ev-charging-service/?utm_source=linkedin&utm_medium=organic&utm_campaign=road-service_electric-van_jan24.
- [164] Drive Team, “South Australia’s RAA launches mobile emergency electric vehicle charging service,” <https://www.drive.com.au/news/raa-launches-mobile-emergency-ev-charging-service/>.
- [165] “About SparkCharge,” <https://www.sparkcharge.io/about-us/about-us>.
- [166] “Flexible Off-Grid Mobile EV Charging Service,” <https://www.sparkcharge.io/charging-as-a-service-caas>.
- [167] Lead the Charge Blog, “SparkCharge Offers Solutions for New EV Charging Standards,” <https://www.sparkcharge.io/post/sparkcharge-offers-immediate-solutions-to-address-new-federal-ev-charging-network-standards>.
- [168] “Tesla About,” https://www.tesla.com/tr_tr/about.
- [169] M. Phoon, “Tesla Rolls Out Megapack Chargers To Ease Holiday EV Charging Surge,” <https://ev.com/news/tesla-rolls-out-megapackchargers-to-ease-holiday-ev-charging-surge>.
- [170] R. Wilson, “Tesla’s MegaPack Charger: Revolutionizing EV Charging with Portable Supercharging Stations,” <https://mcevkeln.com/blog/detail/teslas-megapack-charger-revolutionizing-ev-charging-with-portable-supercharging-stations>.
- [171] M. Kane, “Watch How Volkswagen’s Mobile Charging Robot Recharges EVs: Video,” <https://insideevs.com/news/390808/volkswagen-mobile-charging-robot/>.

- [172] A. Malewar, "VW's mobile charging robot recharges electric cars autonomously," <https://www.inceptivemind.com/vw-mobile-charging-station-recharges-electric-cars-autonomously/11017/>.
- [173] "Xiaofu ," https://www.xiaofupower.com/reliable-ev-mobile-charging-solutions-provider/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA7se8BhCAARIsAKnF3ryBY5yeARD8RA_z8kEM0wXhvM1JzeQykRvgRZRChGaR8kBU5X1loMEaAr7OEALw_wcB#Why%20Choose.
- [174] "Zapme," <https://www.zapme.biz/zapme-features>.
- [175] "Ziggy," <https://evsafecharge.com/ziggy/>.
- [176] L. McLoughlin, "Meet ZiGGY the mobile EV charging robot," <https://www.evcandi.com/news/meet-ziggy-mobile-ev-charging-robot>.
- [177] S. İnanç, "Türkiye'de Şarj İstasyonu Sayısı Ocak 2025," <https://enerjiajansi.com.tr/>.
- [178] A. N. Çankaya, "TOGG Otomobil: Türkiye'nin İlk Yerli Elektrikli Otomobili," <https://teknobox.com.tr/haber/togg-otomobil-turkiye-nin-ilk-yerli-elektrikli-otomobili>.
- [179] "Türkiye'deki Elektrikli Araç Şarj İstasyonları, Yeni Şarj Firmaları," <https://dolubatarya.com/haber/turkiyede-elektrikli-arac-sarj-istasyonlari-yeni-sarj-firmalari>.
- [180] "EVBea Mobil, Hızlı, Güvenli Şarj Sistemleri," <https://www.ev-bee.com/tr>.
- [181] "OtoPriz Mobil Hızlı Şarj," <https://otopriz.com.tr/mobil-hizli-sarj-istasyonu>.
- [182] Matriks, "OtoPriz'in 'Mobil Hızlı Şarj İstasyonu' İstanbul'da hizmete başladı," <https://tr.tradingview.com/news/matriks:5550185:0/>.
- [183] "Car4Future," <https://car4future.tech/>.
- [184] S. M. Gülçiçek, "Devrim Yaratan Şarj Robotu: Elektrikli Araçlar İçin Otonom ve Hızlı Şarj Çözümü 'NIKI,'" <https://medium.com/@smgulcicek/devrim-yaratan-%C5%9Farj-robotu-elektrikli-ara%C3%A7lar-i%C3%A7in-otonom-ve-h%C4%B1zlı-%C5%9Farj-%C3%A7%C3%B6z%C3%BCm%C3%BC-niki-654836af306d>.
- [185] Abdullah, "Future Trends in EV Charging Station Technology," <https://www.evmechanica.com/future-trends-in-ev-charging-station-technology/>.
- [186] Kris, "Innovations in EV Charging Technology and Future Developments," <https://www.charger-in.com/he/innovations-in-ev-charging-technology-and-future-developments/#>.
- [187] T. Singh and E. Boissiere, "Infrastructural Challenges and Concept for Mobile Charging Vehicles."

- [188] UMATechnology, “8 Common EV Charging Problems That Need to Be Solved,”
<https://umatechnology.org/8-common-ev-charging-problems-that-need-to-be-solved/>.
- [189] R. Davey, “Challenges of Electric Vehicle Charging Stations,”
<https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1952>.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	
Telefon	
E-Posta Adresi	
Web Adresi	

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

Yüksek Lisans	
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Makale ve Bildiriler