

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN AFET DÖNEMLERİNDE
MOBİL ENERJİ KAYNAĞI OLARAK KULLANIMI

Fatih DOĞAN

Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

HAZİRAN 2025

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN AFET DÖNEMLERİNDE
MOBİL ENERJİ KAYNAĞI OLARAK KULLANIMI

Fatih DOĞAN

DANIŞMAN

Doç Dr. Emrah DÖNMEZ

Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı

Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Teknolojileri Programı

HAZİRAN 2025

ONAY

Fatih DOĞAN tarafından hazırlanan “**Elektrikli Araçların Afet Dönemlerinde Mobil Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı**” adlı tez çalışması 27/06/2025 tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki danışman tarafından Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Emrah DÖNMEZ

(Danışman)

Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ

(Üye)

Dr. Nida BİRGÜL

(Üye)

İmza

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

Prof. Dr. Serhat DUMAN

Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Elektrikli Araçların Afet Dönemlerinde Mobil Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı**” 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. 27/06/2025



Fatih DOĞAN
İmza

ÖNSÖZ

Gelişen teknoloji ile beraberinde gelen değişim trendleri, dünyamızı yeniden şekillendiriyor. Ancak bu değişimle birlikte artan nüfus ve tüketim çılgınlığı ve buna bağlı kaynak yetersizliği başta olmak üzere çok daha fazla sorun gün yüzüne çıkıyor. Özellikle enerji alanında, son 250 yıldır kullanılan ve gelenekselleşen fosil yakıtlar ve ona olan bağımlılık hem çevresel sorunları derinleştiriyor hem de kaynakların tükenme hızını ciddi manada artırıyor. Bu noktada, enerjiden elde edilen verimin artırılması ve enerji dönüşümden mutlak faydanılması gerekiyor. Bu dönüşümün kaçınılmaz bir gereklilik olması, elektrikli araçları bu dönüşümün en önemli aktörlerinden biri haline getiriyor.

Artan hareketlilik ihtiyacı, yaşam alanlarının genişlemesi ve mobilitenin günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası olmasıyla birlikte elektrikli araçlara olan ilgiyi artırıyor. Elektrikli araçlar sadece bireysel ulaşımında değil, aynı zamanda enerji şebekeleri için de yeni fırsatlar sunuyor. Fosil yakıtlı araçların aksine, elektrikli araçlar bataryalarında depoladıkları enerjiyi sadece kendi kullanımları için değil, aynı zamanda şebekeye geri verme potansiyeline de sahip.

Bu potansiyelin en önemli göstergeleri V2L araçtan cihaza enerji aktarımı ve V2G araçtan şebekeye enerji aktarımı teknolojileri. V2L araçtan cihaza enerji aktarımı teknolojisine sahip elektrikli araçların enerji aktarımıyla ev aletlerini veya diğer elektrikli cihazları beslemek için bir güç kaynağı olarak kullanılmasına olanak tanıyor. Bu özellik, sayesinde elektrikli araçlar kamp gezilerinde veya kırsal yerleşkelerde başta olmak üzere, uzun elektrik kesintilerinde hayat kurtarıcı olabilir. Daha ileri bir adım olan V2G araçtan şebekeye enerji aktarımı ise, elektrikli araçların bataryalarındaki fazla enerjiyi elektrik şebekesine geri satarak şebekenin dengelemesine yardımcı olmasını sağlıyor. Bu sayede, elektrikli araçlar sadece tüketim amacıyla değil, aynı zamanda enerjinin kolay taşınabilir halindeki konumuyla üreticisi olarak şebekenin altyapı yükünü hafifletebiliyor.

V2L araçtan cihaza enerji aktarımı ve V2G araçtan şebekeye enerji aktarımı teknolojileri, özellikle afet yönetimi ve insan kaynaklı krizler olarak ifade ettiğimiz afet kadar çözümü zor, karmaşık ve uzun zamanlar alan dönemlerde kritik bir rol oynayabilir. Doğal afetler veya beklenmedik olaylar sonucu meydana gelen elektrik kesintilerinde, V2L araçtan cihaza enerji aktarımı özelliğine sahip araçlar geçici bir güç kaynağı olarak kullanılabilirken, V2G araçtan şebekeye enerji aktarımı teknolojisi şebekeye destek sağlayarak kesintilerin etkisini azaltabilir ve dalgalanan şebekenin düzenli çalışmasını sağlayabilir. Bu, başta hastaneler, kamu binaları, iletişim

ağları veya temel yaşam destek üniteleri gibi insan hayatı için kritik altyapıların kesintisiz çalışmasına yardımcı olabilir.

Sonuç olarak, elektrikli araçlar sadece bireysel olarak kullanılan ulaşım araçları olmaktan öte, enerji dönüşümünün ve geleceğin akıllı şehirlerinin önemli yapı taşları arasında yerini alıyor. V2L araçtan cihaza enerji aktarımı ve V2G araçtan şebekeye enerji aktarımı gibi teknolojiler, elektrikli araçların enerji ekosistemindeki rolünü güçlendirirken, kaynakların daha verimli kullanılmasına, şebeke esnekliğinin artırılmasına ve kriz anlarında daha dirençli bir altyapıya sahip olmamıza olanak tanıyor.

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen ana bilim dalı başkanım Sayın Prof. Dr. Mehmet TEKTAŞ'a ve Sayın Prof. Dr. Necla TEKTAŞ'a danışman hocam Sayın Doç. Dr. Emrah DÖNMEZ'e şükranlarımı sunarım.

Yoğun çalışma temposunda benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Elif'e, teşekkür ederim.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN AFET DÖNEMLERİNDE MOBİL ENERJİ KAYNAĞI OLARAK KULLANIMI

Fatih DOĞAN

Bandırma Onyedİ Eylöl Üniversitesi
Lisanüstü Eğitim Enstitüsü
Akıllı Ulaşım Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Emrah DÖNMEZ
Haziran 2025, 150 sayfa

Elektrikli araçlar 18. yüzyılın başlarından itibaren hayatımızda yerini almış ve bazı dönemlerde gündem olmuştur. 21. yüzyılda elektrikli araçlar sürdürülebilirliğin anahtarı olmuştur.

Bu çalışmada akıllı ulaşım sistemlerinin yapı taşı olan elektrikli araçlara ilişkin toplum alışkanlıkları incelenmiş, iklim değişikliğinin hükümetler üzerindeki yaptırımları doğrultusunda kamu teşvikleri ve özel sektör yatırımları ile elektrikli araçların devlet politikalarına etkisi değerlendirilmiştir. Afet dönemleri başta olmak üzere V2G ve V2L teknolojisine sahip elektrikli araçların farklı yerleşkelerdeki kullanımı enerjinin kolay taşınabilmesi şebekenin beslenebilmesine ilişkin elektrikli araçların jeneratör olarak kullanımının ne gibi etkiler yaratacağına dair paylaşımlarda bulunulmuş genel değerlendirmeler yapılmış senaryolar üzerinde fayda analizi kurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Elektrikli Araçlar, Jeneratör, Afet Yönetimi, V2G, V2H, V2L, Acil Durum Enerji Kaynağı.

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

THE USE OF ELECTRIC VEHICLES AS A MOBILE ENERGY SOURCE DURING DISASTERS

Fatih DOĞAN

**Bandırma Onyedi Eylül University
Institute of Postgraduate Education
Department of Intelligent Transportation Systems**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Emrah DÖNMEZ

June 2025, 150 pages

Electric vehicles have been part of our lives since the early 18th century and have been on the agenda at certain times. In the 21st century, electric vehicles have become the key to sustainability.

This study examines societal attitudes toward electric vehicles, which are the cornerstone of smart transportation systems, and evaluates the impact of electric vehicles on government policies in line with climate change sanctions on governments, public incentives, and private sector investments. Discussions were held on the potential effects of using electric vehicles as generators for energy transportation and grid supply, particularly during disaster periods, and general evaluations were made based on scenarios with benefit analyses.

Keywords: Electric Vehicles, Generator, Disaster Management, V2G, V2H, V2L, Emergency Energy Source.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	5
ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ.....	VIII
GRAFİK LİSTESİ.....	IX
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
2. YÖNTEM	3
3. KAVRAMSAL	4
3.1 ELEKTRİKLİ ARAÇLAR.....	5
3.1.1 Tarihçe.....	6
3.1.2 Elektrikli Araç Sistemleri	8
3.1.3 Elektrikli Araç Türleri Ve Çalışma Prensipleri	9
3.1.3.1 Tamamen Elektrikli Otomobiller (BEV)	10
3.1.3.2 Hibrit Otomobil Çeşitleri (HEV)	11
3.1.3.2.1 Hafif Hibrit Otomobiller (MHEV)	12
3.1.3.2.2 Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Otomobiller (PHEV)	13
3.1.3.3 Yakıt Hücreli Otomobiller (FCEV)	14
3.1.4 Bataryalar	15
3.1.4.1 Kurşun Asit Bataryalar	16
3.1.4.2 Nikel Metal Bataryalar	16
3.1.4.3 Lityum Demir Bataryalar.....	17

3.1.4.4	Lityum İyon Bataryalar	17
3.1.5	Elektrikli Araçlar ve Akıllı Ulaşım Sistemleri	18
3.2	Elektrikli Araçlar Kullanımı	19
3.2.1	Toplum Alışkanlıkları	20
3.2.2	Devlet / Hükümet Yatırım ve Teşvikleri.....	22
3.2.3	Özel Sektör Yönetimi	24
3.3	İklim Krizi	28
3.3.1	İklim Krizi ve Elektrikli Araç İhtiyacı	29
3.3.2	Afet ve İklim Krizi İlişkisi.....	31
3.3.3	İklim ve Akıllı Ulaşım Sistemleri İlişkisi	33
3.4	Afetler ve Acil Durumlar	35
3.4.1	Afet Çesitleri	35
3.4.1.1	Deprem	36
3.4.1.2	Seller, Su Taşkınları.....	37
3.4.1.3	Toprak Kaymaları, Kaya Düşmeleri	38
3.4.1.4	Çığ.....	39
3.4.1.5	Fırtınalar, Hortumlar	41
3.4.1.6	Volkanlar.....	42
3.4.1.7	Yangınlar vb.	43
3.4.2	Dünya Afet Yönetim Kuruluşları.....	44
3.4.2.1	Kurumlar	45
3.4.2.1.1	Arjantin – Federal Emergency Agency (AFE).....	45
3.4.2.1.2	Avustralya – National Emergency Management Agency (NEMA).....	46
3.4.2.1.3	Brezilya – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD)	47
3.4.2.1.4	Kanada – Public Safety Canada, Emergency Management Division ..	48
3.4.2.1.5	Çin – Ministry of Emergency Management (MEM)	48

3.4.2.1.6	Fransa – Direction Générale de la Sécurité Civile (Sécurité Civile)	49
3.4.2.1.7	Almanya – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) 50	
3.4.2.1.8	Hindistan – National Disaster Management Authority (NDMA)	50
3.4.2.1.9	Endonezya – Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB)	51
3.4.2.1.10	İtalya – Dipartimento della Protezione Civile (Civil Protection Department)	52
3.4.2.1.11	Japonya – National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED)	52
3.4.2.1.12	Kore Cumhuriyeti – Ministry of the Interior and Safety (MOIS)	53
3.4.2.1.13	Meksika – Coordinación Nacional de Protección Civil.....	54
3.4.2.1.14	Rusya – Ministry of Emergency Situations (EMERCOM).....	54
3.4.2.1.15	Suudi Arabistan – General Directorate of Civil Defense	55
3.4.2.1.16	Güney Afrika – National Disaster Management Centre (NDMC).....	56
3.4.2.1.17	Türkiye – Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)	57
3.4.2.1.18	Birleşik Krallık – UK Resilience Directorate (ACSC/UK Resilience) ..	57
3.4.2.1.19	ABD – Federal Emergency Management Agency (FEMA)	58
3.4.2.2	Kurumların Enerji İhtiyaçları	59
3.4.2.3	Kurumların Elektrikli Araçlara Olan Bakışı	61
3.4.3	Afet ve Akıllı Ulaşım Sistemleri	64
3.5	Jenaratör İhtiyacı ve Kullanım Alanları.....	65
3.5.1	Jenaratör Sistemleri	66
3.5.2	Çift Yönlü Şarj Sistemleri.....	68
3.5.2.1	V2G Araçtan Şebekeye Enerji Aktarımı Teknolojisi	70
3.5.2.2	V2H Araçtan Eve Enerji Aktarımı Teknolojisi.....	71
3.5.2.3	V2L Araçtan Cihaza Enerji Aktarımı Teknolojisi	72
3.5.2.4	V2X Araçtan Herşeye Enerji ve Veri Aktarımı Teknolojisi	74
3.5.3	Afetlerde Jenaratör İhtiyacı	76

3.5.4	Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Jenaratör	78
4.	KARŞILAŞTIRMALI TEKNOLOJİ ANALİZİ	80
4.1	Teknoloji Potansiyeli	80
4.1.1	V2G Teknolojisi	81
4.1.1.1	Afetlerde Kullanımı.....	83
4.1.1.2	Saha verileri.....	85
4.1.2	V2H Teknolojisi	87
4.1.2.1	Afetlerde Kullanımı.....	89
4.1.2.2	Saha verileri.....	91
4.1.3	V2L Teknolojisi	92
4.1.3.1	Afetlerde Kullanımı.....	94
4.1.3.2	Saha verileri.....	96
4.1.4	V2X Teknolojisi	97
4.1.4.1	Afetlerde Kullanımı.....	100
4.1.4.2	Saha verileri.....	102
4.2	Vaka Çalışmaları ve Senaryolar	107
4.2.1	Literatür Taraması.....	107
4.2.2	Vaka Çalışmaları.....	113
4.2.3	Senaryolar	117
5.	SONUÇ	121
6.	KAYNAKLAR	123
	ÖZGEÇMİŞ	150

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. Tamamen Elektrikli Otomobil (BEV).....	11
Şekil 2. Hafif Hibrit Otomobil (MHEV).....	12
Şekil 3. Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Otomobiller (PHEV)	13
Şekil 4. Yakıt Hücreli Otomobil (FCEV).....	14
Şekil 5. Şekil Batarya İç Yapısı	15



TABLO LİSTESİ

Tablo

Sayfa

Tablo 1. Çift Yönlü Şarjlı Araçlar 69



GRAFİK LİSTESİ

Grafik 1. Küresel Pazar Büyüklüğü Tahmini Grafiğı	105
---	-----



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

Φ	: Akışkanlık
I	: X-Işınları şiddeti
ν	: Kinematik viskozite
c	: Köpek dişi (canine)
i	: Kesici diş (incisöre)

Kısaltmalar

Açıklama

QBR	: Kıyısal alan kalitesi (Riperian Quality)
SRP	: Çözülmüş inorganik fosfor
TDS	: Toplam çözülmüş katı madde
TP	: Toplam fosfor

1. GİRİŞ

Son 10 yıl içerisinde içten yanmalı araçların artan bakım maliyetleri ve enerji kaynaklarının azalması ile birlikte mobilite ekosisteminde bir değişim rüzgarı başlatmış olup bu değişimde elektrikli araçlar kilit rol üstlenmiştir.

Dünyanın tüm otomotiv üreticileri ilgili regülasyonlar ve alınan kararlar doğrultusunda üretimlerinde yeşil dönüşümü başlatmış ve elektrikli araçlarının yeni modellerini pazara sürmüşlerdir

Çok hızlı değişen pazarın dinamikleri ve değişen tüketici alışkanlıkları firmaları inasvasyona sürüklemiştir. Firmalar iklim değişikliği, satış yapılan bölgelerdeki farklı regülasyonların ortaya çıkması, mobilite sektöründe hedeflenen CO2 emisyonu azaltımı için sıfır emisyon teknolojileri bir hayli değişikliği sebep olmuştur.

Mobilite ekosisteminin ülke ekonomilerinde büyük kalem getirileri sebebiyle kilit rol almanın yanı sıra, Gayri safi Milli Hasılatlarda ilk sıralarda gelmeye başlamıştır. Dünyanın yapısal olarak bir dönüşüm süresince olduğu kabul edilmekle birlikte, elektrikli araç talebindeki artış ve enerji talebinin ve iklim hedeflerinin üzerinde büyük etkiler oluşturmaya başlamıştır.

Elektrikli araçlar enerji verimliliği başta olmak üzere çevresel faydaları ve sürdürülebilirlik açısından avantajları göz önünde bulundurulduğunda alternatif kullanım alanlarının gelişen teknolojik atılımlarla birlikte alternatif bir jeneratör kaynağı olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Elektrikli araçlarda yüksek enerji depolamanması ve bu enerjini taşınması olası farklı kullanım türlerinin yeniden gözden geçirilmesine optimize edilmesine sebep olmuştur.

Elektrikli araçlar üzerine gerçekleştirilen bilimsel araştırmalar, deneysel çalışmalar, analizler, mühendislik hesaplamaları ve üretim süreçleri bu alanın sürekli gelişen bir araştırma sahası olmasını sağlamıştır. Özellikle elektrikli araçların enerji verimliliği, performansı, çevresel etkileri ve maliyet avantajları üzerine yapılan çalışmalar halen devam etmekte ve literatürde geniş bir yer kaplamaktadır.

Artan enerji ihtiyacı ve ulaşım metodolojisinin değişimi ile birlikte neredeyse her yerde elektrik enerjisine olan ihtiyacı arttırmış, gelişen teknolojiler ile birlikte evde, iş yerlerinde, doğal yaşamda vb. bir alanda kullanılan elektronik cihaz sayısı artmış ve hareketliliği artarak devam eden bu cihazlara enerji sağlayacak güç kaynaklarına olan ulaşım isteği bir hayli artmıştır.

Farklı yerleşkerde güç kaynaklarına olan ulaşım isteği ve alt yapı yetersizliği göz önüne alındığında, bugün bir çok yerde jeneratörlerle güç sağlanmaya çalışılmaktadır. Fosil yakıtlarla

alışan bu cihazlar yaratmış olduğu çevresel kirlilik ve oluşturduğu negatif etkiler sebebiyle kullanıcılar tarafından istenmeyen bir tercih olarak nitelendirilmektedirler. Farklı tiplerde ortak çalışma prensiplerinde birçok jeneratör eşitleri vardır.

Doğa kaynaklı afetler insan kontrolü dışında gerçekleşen can ve mal kaybına sebebiyet veren olay veya olaylar zincirini ifade eder. Dünya genelinde 31 çeşit doğal afet sınıflandırılmış olup bunların 28'i meteorolojik afetlerden meydana gelmektedir. Afet sonrasında yaşanılan en büyük sıkıntı enerjiye olan ulaşım zorluğudur. Afet sonrasında can ve mal güvenliği yanı sıra hayatı yeniden normale dndre bilmek için enerji kritik bir ihtiyaçtır.

Afetlerin yaşandığı bölgelerde olayın meydana geldiği yerleşkelerin büyüklüğü ve bu olaylardan etkilenen canlıların enerjiye olan talebi günlük yaşamında ötesinde çarpan etkileriyle karşılaştırılarak değerlendirilmelidir. Oluşan alt yapı zararları göz önünde bulundurulduğunda iyileştirme süreçlerini hızlandırabilmek acil müdahale süreçlerini etkinleştirebilmek için enerjiye olan gereksinim göz önünde bulundurulduğunda, mevcut kaynakların erişilebilirliği açısında kaynak yetersizliği alternatif enerji kaynaklarına olan gereksinimi gözler önüne sermektedir.

Gerçekleştirilecek olan müdahaleler göz önünde bulundurulduğunda taşınabilir jeneratör zmleri bugün afet sonrası başlıca zm olarak kullanılmaktadır. Avantajları çok sayıda olsa bile taşınması pek kolay olmayan bu tür enerji kaynakları saha uygulamalarında müdahale ekiplerine oldukça zorluk çıkartmaktadır.

Elektrikli araçların afet dönemlerinde jeneratör olarak kullanımının ne gibi etkiler yaratacağına ilişkin süreçte güvenli ve sürekli olarak ihtiyaa cevap verebilmelerinin yanı sıra teknolojik üzümlerle yenilikçi zmleri mümkün kılmıştır. Elektrikli araçlar yerleşik bataryaları ve yüksek depolama sunmaları sebebiyle mobil jeneratör hizmeti sunabilmektedirler.

Elektrikli araçların enerji geri dönüşümü yapmasını sağlayarak afet bölgelerine enerji taşınmasını mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, hem bireysel hem de toplu enerji ihtiyaçlarını karşılamak için etkili bir zm olarak değerlendirilmektedir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, mühendislik temelli bir yaklaşımla, akıllı ulaşım sistemleri kapsamında geliştirilen çift yönlü şarj teknolojilerinin afet dönemlerinde enerji kaynağı olarak kullanımı üzerine çok katmanlı bir analiz modeli oluşturarak yürütülmüştür. Araştırma, nitel yöntemlerle yapılandırılmış olup; kavramsal modelleme, teknoloji değerlendirmesi, senaryo kurgulama ve vaka temelli literatür taraması yöntemlerinin bir arada kullanıldığı bütüncül bir çerçeveye sahiptir.

Tezin ilk bölümünde, elektrikli araçlarda kullanılan çift yönlü şarj sistemlerinin mühendislik yapısı detaylandırılarak açıklanmış; bu yapıların geleneksel jeneratör teknolojileriyle kıyaslaması yapılmıştır. Bu teknik zemin üzerinde; V2X çerçevesinde yer alan V2L (Vehicle-to-Load), V2G (Vehicle-to-Grid), V2H (Vehicle-to-Home) ve V2X (Vehicle-to-Everything) sistemleri ayrı ayrı ele alınmış, her bir teknolojinin afet senaryoları içerisindeki potansiyel kullanım alanları mühendislik ve sistem işlevselliği bağlamında değerlendirilmiştir.

Araştırmanın ikinci aşamasında, teknolojinin gelecekteki uygulanabilirliğini anlamaya yönelik olarak, çift yönlü şarj sistemine sahip elektrikli araç pazarına dair güncel eğilimler analiz edilmiştir. Bu kapsamda, ilgili pazarın teknolojik yayılım hızı, üretici firma yatırımları ve sistem entegrasyon modelleri incelenerek, senaryo tasarımı için altyapı oluşturulmuştur.

Devamında, afet sonrası enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik farklı senaryolar yazılmış ve bu senaryolar çift yönlü şarj sistemlerinin teknik sınırları ve kullanım koşulları çerçevesinde değerlendirilmiştir. Her senaryo, afete özgü koşullara uygun biçimde kurgulanmış, ardından bu senaryolarla ilişkili literatür ve saha uygulamaları analiz edilerek yöntemsel geçerlilik sağlanmıştır. Ayrıca, küresel ve yerel araç üreticilerinin bu alanda gerçekleştirdiği uygulamalar ve projeler de vaka çalışması yöntemiyle incelenmiş; gerçek dünyadaki örneklerle kuramsal analiz desteklenmiştir.

Bu bütüncül yöntemsel yaklaşım sayesinde hem teknolojiye dair mühendislik temelli bir çözümleme yapılmış hem de afet lojistiği bağlamında uygulanabilirliği senaryo destekli analizlerle derinleştirilmiştir. Çalışmanın yöntemi, gelecekteki teknoloji-politika-etki üçgeninde yapılacak çalışmalara temel oluşturabilecek nitelikte bir mühendislik katkısı sunmayı hedeflemektedir.

3. KAVRAMSAL

Dünya nüfusunun hızla artması ile başlayan tüketici alışkanlıklarının hızlı değişimi ile birlikte mevcut sistemin artan taleplere cevap veremez hale gelmesi ile artan hareketliliğin yönetilmek istenmesi, sürdürülebilirlik açısından daha etkin sistemlerin geliştirilmesi amacıyla dijitalleşme ve paylaşım temelli veri odaklı sistemlerin gelişmesinde vesile olmuştur.

İklim değişikliği ile mücadelenin, sürdürülebilirlik çerçevesinde yönetilmesi istenen mobilite ekosisteminin, toplumun her kesimini aktif bir şekilde sistemin içinde hem tüketici hem de denetçi pozisyonuna getirmiştir.

Acil durumlarda taşınarak ihtiyacın olduğu yerleşkelerde kurularak kullanılabilinen jeneratörler, kullanım süreçleri dışında kalan dönemlerinde bakım ve onarımların düzenli yapılması gerekmektedir. Olası acil durumlarda jeneratör ilk tercih edilen enerji kaynağıdır ancak başta yakıt ve ona bağlı arızlar olmak üzere, sağladığı elektrik enerjisinde voltaj dalgalanmaları yaratması aşırı yüke bağlı kullanım dışı kalması gibi durumlar sıklıkla yaşanmaktadır. Bu gibi durumlarda alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması amaçlanan jeneratörler afet dönemleri ve acil durumlarda mevcut süreçleri daha da yönetilmez hale getirmektedir.

Elektrikli araçlar acil durumlarda geleneksel yakıt türlerindeki yaşanabilecek olası olumsuzluklar ve tedarik zinciri hattının ulaşması noktasında zorluk yaşanan durumlarda müdahaleler için büyük kolaylık ve esneklik sağlar.

Acil durumlarda genellikle ilk olarak zarar gören enerji kaynağı elektrik şebekesidir. Elektrikli araçlarla zarar gören yada dalgalanan şebekenin tekrar enerji verebilmesi için V2G teknoloji ile dengeleyici unsur olarak görev alabilmektedirler.

Afet bölgelerinde yaşanan enerji ihtiyacında şebeke enerjisinin sisteme verilmesinde yaşanan ve çözümünün zaman alabileceği başta kamu binaları, hasta haneler, acil durum yönetim yerleşkeleri gibi enerjiye kesintisiz ihtiyaç duyan yerleşkelerin genellikle ihtiyaçları jeneratörle karşılanmaya çalışılmaktadır. V2H teknolojisi ile elektrikli araçlar jeneratörlerden daha uzun ve daha fazla elektrik enerjisini aktarabilmektedir.

Çift yönlü şarj sistemleri acil durumlarda afet bölgelerinde arama ve kurtarma operasyonlarında sıklıkla kullanılan ekipmanların enerji ihtiyacına yönelik jeneratör görevini V2L teknoloji ile üslenebilmeleri sebebiyle, bölgesel çalışmaların kapsamın lojistik anlamda geniş bölgelerde hızlı yer değiştirmelere ve kesintisiz güce erişimde güvenli ve operasyonel açıdan verimli süreçlerin doğmasına sebep olacaktır.

3.1 ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Küresel nüfus artışı ve teknolojik gelişmeler, enerjiye olan talebi hızla artırırken, doğal kaynakların tükenme sürecini de hızlandırmıştır. Bu süreçte mobilite sistemlerinin çevresel etkileri daha görünür hale gelmiş; içten yanmalı motorlu araçların neden olduğu karbon emisyonları, kent yaşamı üzerindeki olumsuz etkileriyle birlikte sürdürülebilir ulaşım çözümleri arayışını gündeme taşımıştır.

Elektrikli araçlar, çevre dostu yapıları, sıfır emisyon hedeflerine uyumları ve enerji verimlilikleriyle bu dönüşümün temel aktörlerinden biri hâline gelmiştir. 19. yüzyılın sonlarına dayanan tarihsel geçmişlerine rağmen, elektrikli araçlar uzun yıllar boyunca fosil yakıt temelli teknolojilerin gerisinde kalmıştır. Ancak 21. yüzyılda fosil yakıt rezervlerinin sınırlılığı, enerji güvenliği ihtiyacı ve iklim krizi bağlamında sıfır karbon politikalarının öncelik kazanması, EV teknolojilerinin yeniden yükselişe geçmesini sağlamıştır.

Özellikle batarya teknolojileri alanında kaydedilen ilerlemeler, elektrikli araçların performans ve menzil sorunlarının büyük ölçüde aşılmasına katkı sağlamıştır. Lityum-iyon bataryaların yüksek enerji yoğunluğu ve düşen maliyetleri, elektrikli araçların daha geniş kullanıcı kitleleri tarafından benimsenmesini mümkün kılmıştır. Şarj altyapılarında geliştirilen hızlı şarj çözümleri ve ev tipi istasyonlardaki çeşitlilik ise kullanıcı güvenliğini artırarak bu teknolojinin günlük yaşama entegrasyonunu kolaylaştırmıştır.

Elektrikli araçların teknik altyapısı, geleneksel içten yanmalı motor sistemlerinden farklı olarak elektrik motorları, batarya sistemleri, güç elektroniği bileşenleri ve araç kontrol birimlerinden oluşur. Güç aktarma sistemi, yüksek verimli bir elektrik motoru ile bataryadan aldığı enerjiyi doğrudan tekerleklerle iletir. Bu sistemde en kritik bileşenlerden biri olan batarya yönetim sistemi (Battery Management System - BMS), hücreler arasındaki dengeyi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda güvenlik, sıcaklık kontrolü ve şarj-deşarj optimizasyonunu da yönetir. Enerji dönüşüm sürecinde görev yapan invertörler, doğru akımı alternatif akıma çevirerek motoru beslerken, rejeneratif frenleme sayesinde enerji geri kazanımı da sağlanır.

Bütün bu sistemlerin entegre çalışmasını sağlayan merkezi kontrol birimleri (Vehicle Control Unit - VCU), sürüş güvenliği, enerji verimliliği ve sürücü deneyimi açısından belirleyicidir. Ar-Ge çalışmalarında, özellikle menzil artırımı ve batarya ömrünü uzatmaya yönelik ısı yönetimi sistemleri, hafifletilmiş şasi tasarımları ve yüksek hızlı şarj protokolleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu teknik ilerlemeler sayesinde elektrikli araçlar, yalnızca çevreci bir ulaşım

seçeneği olmaktan çıkarak, yüksek performanslı ve teknolojik olarak rekabetçi bir mobilite platformuna dönüşmektedir.

Finansal teşvikler, düşük faizli krediler ve vergi indirimi gibi politikalar, elektrikli araç sahipliği maliyetlerini rekabetçi seviyelere çekmiş; uzun vadede düşük enerji tüketimi ve bakım gereksinimleri, kullanıcılar açısından ekonomik avantajlar yaratmıştır. Bu gelişmeler, EV'leri yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik anlamda da cazip bir alternatif hâline getirmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla şarj edilen elektrikli araçlar, fosil yakıt bağımlılığını azaltarak kent merkezlerindeki hava kirliliği sorunlarına da önemli ölçüde çözüm sunmaktadır. Birçok ülke, sürdürülebilir ulaşım hedefleri doğrultusunda mevzuatlarını revize ederek bu dönüşümü desteklemektedir. Avrupa'da “Greenzone” uygulamaları ile Fransa, Hollanda, Norveç ve İtalya gibi ülkeler, belirli tarihler itibarıyla içten yanmalı motorlu araçların yasaklanmasını öngören düzenlemeleri hayata geçirmeyi planlamaktadır.

Tüm bu gelişmelere karşın, elektrikli araçların yaygınlaşmasının önünde bazı yapısal ve teknolojik engeller devam etmektedir. Özellikle yüksek üretim maliyetleri, şarj altyapısının bölgesel eşitsizliği, batarya geri dönüşüm süreçlerindeki yetersizlikler ve çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik olan atık yönetimi gibi konular çözüm bekleyen alanlar olarak varlığını sürdürmektedir.

3.1.1 Tarihçe

Elektrikli araçların tarihsel gelişimi, sanayileşme sürecinde alternatif ulaşım çözümleri arayışının önemli bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, 1830'lu yıllar elektrikli taşıtların ilk örneklerinin ortaya çıktığı dönem olarak kabul edilir. Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere ve Hollanda gibi ülkelerde yürütölen deneysel çalışmalar neticesinde, elektrik motoruyla çalışan taşıtlar tasarlanmış ve bu alanda ilk somut adımlar atılmıştır. Bu gelişmeleri takiben, 1834 yılında Amerikalı mucit Thomas Davenport'un ray üzerinde hareket edebilen küçük bir elektrikli aracı geliştirmesi, teknolojinin pratik alana aktarılmasında dönüm noktası oluşturmuştur (New England Historical Society, 2022). Elektrik enerjisinin mobil sistemlerde kullanılabilirliğini artıran en kritik gelişmelerden biri ise, 1859 yılında Gaston Planté tarafından kurşun-asit bataryanın icat edilmesidir. Bu buluş sayesinde, elektrik enerjisi taşınabilir biçimde depolanabilir hale gelmiş ve elektrikli araç teknolojisinin altyapısı güçlenmiştir (Mom, 2004).

Elektrikli araçların yaygınlaştığı ilk dönem, 1880–1920 yılları arasındaki süreçtir. Bu dönemde, özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde şehir içi ulaşımında içten yanmalı motorlara

kıyasla daha sessiz, çevre dostu ve kullanım kolaylığı sağlayan elektrikli taşıtlar tercih edilmiştir. Hatta belirli bölgelerde elektrikli araçların pazar payı içten yanmalı motorlu araçların önüne geçmiştir. Aynı yıllarda toplu ulaşım alanında da önemli gelişmeler yaşanmıştır. 1882 yılında Siemens tarafından geliştirilen ve 550 volt doğru akımla çalışan “Elektromote” isimli araç, dünyanın ilk elektrikli trolleybüsü olarak toplu taşımacılıkta elektrifikasyon sürecinin öncülerinden biri olmuştur. Bu dönemde elektrikli araçlar, özellikle şehir içi kullanımda düşük hız ve kısa menzil gereksinimlerini karşılayan, kullanıcı dostu bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Gijis Mom’a göre, elektrikli araçların bu dönemde benimsenmesinde teknik avantajların yanı sıra, kent yaşamına ve dönemin kültürel beklentilerine olan uyum da etkili olmuştur (Mom, 2004).

Ancak 1920’li yıllardan itibaren elektrikli araçlara olan ilgi azalmaya başlamıştır. Bu gerilemenin temel nedenleri arasında, içten yanmalı motorların menzil, yakıt ikmali kolaylığı ve üretim maliyetleri açısından sağladığı avantajlar ile marş motorunun icadı yer almaktadır. Bu gelişmeler, otomotiv endüstrisinde benzinli araçların hakimiyetini pekiştirmiştir. Buna karşın, çevresel sorunların gündeme gelmesiyle birlikte 1970’li yıllardan itibaren elektrikli taşıtlara yönelik küresel ölçekte yeniden bir ilgi doğmuştur. Bu süreçte çeşitli ülkelerde uygulamaya konulan kamu politikaları, teşvik mekanizmaları ve AR-GE destekleri, elektrikli araç teknolojisinin gelişimini hızlandırarak günümüzdeki yaygınlaşma sürecinin temellerini oluşturmuştur. Chan (2007), elektrikli araçların teknik olarak uzun zamandır mümkün olmasına rağmen, batarya depolama kapasitesinin sınırlı olması ve yüksek maliyet gibi nedenlerle uzun yıllar boyunca geniş kitlelerce benimsenemediğini ifade etmektedir.

1990’larda Temiz Hava Yasası Değişikliği ve Enerji Politikası Kanunu’nun yürürlüğe girmesi ile birlikte firmalar kendi bütçelerinden elektrikli araç teknolojisi başta olmak üzere alternatif yakıtlı araçların gelişimi için büyük kaynak ayırmaları yapmıştır.

1990 ile 2005 yılları arasında çeşitli firmalar tüketiciye elektrikli araç modelleri sunmuş olsalar da satış rakamları istenilen düzeylere hiçbir zaman ulaşamamıştır.

2006 yılında Tesla firması tarafından üretilen ve tek sefer şarj ile 200 km gidebilen araçlar piyasaya sürülmüştür.

Son 20 yılda yapılan çalışmalar geliştirilen batarya teknolojisinin katkısıyla birlikte dünya üzerinde 2020 yılı sonrasında tüketici nezdinde ciddi manada tercih edilmeye başlanmıştır.

3.1.2 Elektrikli Araç Sistemleri

Elektrikli araç teknolojisi, otomotiv endüstrisinin geçirdiği dönüşümün en belirgin örneklerinden biri haline gelmiştir. Bu dönüşüm, sadece enerji kaynağının değişmesiyle sınırlı olmayıp; aynı zamanda araçların tahrik sisteminden kontrol algoritmalarına, batarya konumlandırmasından şarj altyapısına kadar tüm taşıt mimarisini kapsamaktadır. Elektrikli araçlar, enerjiyi bataryalarında depolayarak bir elektrik motoru yardımıyla mekanik harekete dönüştüren sistemlerdir. Bu sistemin başarıyla çalışabilmesi için batarya, motor, güç elektroniği ve kontrol ünitesi gibi bileşenlerin mühendislik açısından optimize edilmesi gerekir (Özbay, Közkurt, Dalcalı ve Tektaş, 2020).

Elektrikli araçların merkezinde yer alan elektrik motorları, içten yanmalı motorların aksine yakıt yakmaz; bunun yerine bataryadan sağlanan elektrik enerjisini doğrudan tekerleklerle iletilen mekanik enerjiye dönüştürür. Bu dönüşüm süreci, çok daha düşük kayıplarla çalıştığı için sistemin genel verimliliğini artırır. Özellikle sabit mıknatıslı senkron motorlar (PMSM), yüksek tork-ağırlık oranları, kompakt boyutları ve yüksek verimlilikleri sayesinde elektrikli araçlarda sıklıkla tercih edilmektedir (Ehsani, Gao ve Emadi, 2009). Bu motorlar aynı zamanda sessiz çalışma özellikleriyle de sürüş konforuna katkı sağlar (Chan ve Chau, 2001).

Alternatif olarak, asenkron motorlar da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Asenkron motorlar, düşük maliyetleri, dayanıklı yapıları ve kolay temin edilebilirlikleri sayesinde özellikle ticari araçlarda öne çıkmaktadır. Ancak, tork yoğunlukları sabit mıknatıslı motorlara göre daha düşük olduğu için bazı performans gerektiren uygulamalarda sınırlı kalmaktadır (Özbay, Közkurt, Dalcalı ve Tektaş, 2020). Diğer yandan, bu motorların bakım gereksinimlerinin az olması, onları endüstriyel kullanım için cazip kılmaktadır.

Batarya teknolojileri ise elektrikli araçların en stratejik bileşenlerinden biridir. Başlangıçta kullanılan kurşun-asit ve nikel bazlı bataryalar, düşük enerji yoğunlukları nedeniyle günümüz ihtiyaçlarını karşılamamaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan bataryalar lityum iyon (Li-ion) temellidir. Lityum iyon bataryalar, daha uzun ömür, hızlı şarj kapasitesi ve yüksek enerji yoğunluğu gibi avantajlarıyla elektrikli araç teknolojisinde devrim niteliğindedir (Larminie ve Lowry, 2012). Özellikle lityum demir fosfat (LiFePO₄) ve lityum hava (Li-air) bataryalar üzerine yapılan araştırmalar, menzil ve ağırlık gibi iki temel mühendislik problemini çözmeye yöneliktir (Gopalakrishnan, H. V. E., Kampman, B., & Grunig, M, 2011).

Bataryaların yalnızca enerji depolama aracı değil, aynı zamanda taşıt dinamiği açısından belirleyici bir unsur olduğu da unutulmamalıdır. Bataryaların araç tabanına yerleştirilmesiyle

ağırlık merkezi aşağıya çekilmekte ve bu sayede daha stabil bir sürüş deneyimi sağlanmaktadır. Araç viraj alırken devrilme riski azalmakta, fren mesafesi kısalmakta ve yol tutuş kabiliyeti artmaktadır (Özbay, Közkurt, Dalcı ve Tektaş, 2020). Bu durum, elektrikli araçların mühendislik tasarımında batarya konumlandırmasının ne denli stratejik olduğunu göstermektedir.

Güç elektroniği ve kontrol sistemleri ise batarya ile motor arasındaki enerji akışını yöneten ve taşıtın performansını şekillendiren önemli alt sistemlerdir. İnverterler ve dönüştürücüler, bataryadan gelen doğru akımı (DC) motora uygun alternatif akıma (AC) dönüştürür. Ayrıca, rejeneratif frenleme sistemleri sayesinde aracın frenleme sırasında kaybettiği enerji tekrar bataryaya kazandırılır. Bu hem enerji tasarrufu sağlar hem de fren sisteminin ömrünü uzatır (Emadi, Young ve Kaushik, 2008; Thomas, 2009). Özellikle şehir içi sürüşlerde bu sistemin verimliliği çok daha belirgin hale gelmektedir.

Rejeneratif frenleme sistemi sayesinde elektrikli araçlar, durağan enerji verimliliğinin ötesine geçerek dinamik koşullarda da avantaj sağlar. Bu teknoloji sayesinde aracın yavaşlaması esnasında oluşan kinetik enerji elektrik enerjisine çevrilerek bataryada depolanır. Böylece araç, klasik fren sistemlerine göre hem daha az enerji harcar hem de daha az bakım gerektirir (Larminie ve Lowry, 2012). Özellikle yoğun trafikli bölgelerde bu teknoloji araçların ekonomik ve çevreci olmasına katkı sağlar.

Sonuç olarak, elektrikli araç teknolojisi yalnızca alternatif bir tahrik sistemi değil, aynı zamanda çok katmanlı bir mühendislik bütünüdür. Motor tipi seçimi, batarya mimarisi, kontrol algoritmaları ve mekanik tasarım kararlarının tümü, taşıtın performans, verimlilik ve kullanıcı deneyimi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Bu nedenle elektrikli araçlar, sadece çevre dostu bir çözüm olarak değil, aynı zamanda yüksek mühendislik optimizasyonu içeren teknolojik bir sistem olarak ele alınmalıdır.

3.1.3 Elektrikli Araç Türleri Ve Çalışma Prensipleri

Elektrikli araç teknolojileri, sürdürülebilir ulaşım sistemlerinin temel yapı taşlarından biri haline gelmiştir. Fosil yakıtlı araçların çevresel ve ekonomik dezavantajları, son yıllarda elektrikli araçların ön plana çıkmasına neden olmuştur. Bu yeni nesil taşıtlar, sıfır emisyon hedeflerine katkı sağlamalarının yanı sıra, enerji verimliliğini artırma, gürültü kirliliğini azaltma ve uzun vadeli bakım maliyetlerini düşürme gibi çok sayıda avantaja sahiptir. Günümüzde gelişen batarya teknolojileri, yazılım temelli enerji yönetim sistemleri ve akıllı şarj altyapıları sayesinde elektrikli

araçlar, geleneksel araçlara ciddi bir alternatif oluşturmaktadır (Thangavel, Mohanraj, Girijaprasanna, Raju, Dhanamjayulu ve Muyeen, 2023).

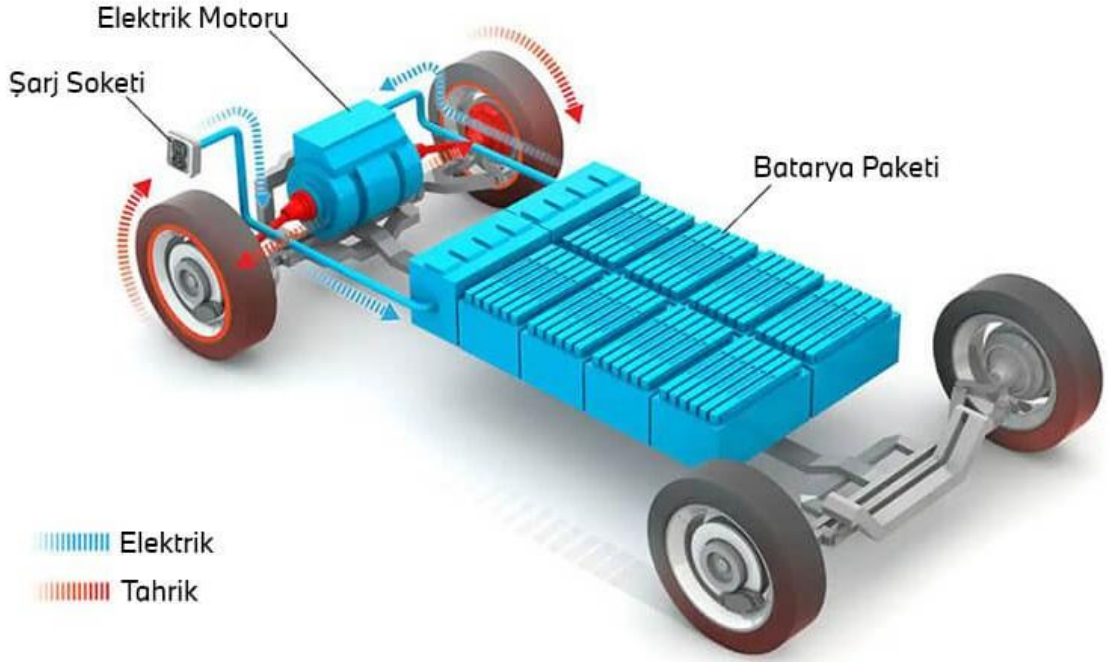
Gelişen mühendislik çözümleriyle birlikte elektrikli araç tipleri çeşitlenmiş, farklı teknik özelliklere sahip modeller piyasaya sürülmüştür. Bu araçlar, güç üretim biçimlerine ve aktarma sistemlerine göre beş ana gruba ayrılmaktadır: yakıt hücresi elektrikli otomobiller, hafif hibrit elektrikli otomobiller, şarj edilebilir hibrit elektrikli otomobiller, tamamen elektrikli otomobiller ve hibrit elektrikli otomobillerdir. Her araç tipi, sahip olduğu enerji sistemi ve sürüş dinamikleri açısından özgün mühendislik çözümleri barındırmaktadır (Zhu, Li, Liu, Li ve Xu, 2022).

3.1.3.1 Tamamen Elektrikli Otomobiller (BEV)

Tamamen elektrikli otomobiller yalnızca batarya sistemiyle çalışır ve içten yanmalı motora sahip değildir. Bu araçlarda bulunan elektrik motoru, sürüş için gerekli olan tahriki doğrudan bataryadan alır. Lityum iyon bataryalar bu araçlar için en yaygın enerji depolama çözümüdür. Elektrik motorunun yüksek verimliliği sayesinde bu araçlar oldukça sessiz, çevreci ve ekonomik bir sürüş deneyimi sunar (Tan, Vezzini, Fan ve Khare, 2022).

Tamamen elektrikli otomobiller, enerji dönüşümünde yüksek verimliliğe sahip olmaları sayesinde daha az enerji tüketirler. Elektrik motorlarının enerji verimliliği genellikle %85'in üzerindedir. Ayrıca rejeneratif frenleme sistemi sayesinde frenleme sırasında oluşan kinetik enerji elektrik enerjisine dönüştürülerek bataryaya geri kazandırılır. Bu durum, menzil performansını olumlu yönde etkiler. Bataryadan çıkan doğru akım, inverter yardımıyla alternatif akıma çevrilir ve elektrik motoruna aktarılır. Bu işlem sırasında sistemin kayıpları minimize edilir (Yang, Liu, Li ve Zhang, 2022).

Tamamen elektrikli sistemlerde, batarya kapasitesi, şarj süresi, termal yönetim sistemleri ve güç elektroniği bileşenleri doğrudan performansı etkileyen mühendislik unsurlarıdır. Özellikle bataryaların aşırı ısınmasını önlemek için geliştirilen soğutma sistemleri, hem güvenlik hem de batarya ömrü açısından hayati öneme sahiptir. Şarj altyapısının yaygınlığı ise bu araçların kullanıcı deneyimini doğrudan belirleyen bir diğer faktördür. Bu bağlamda, batarya yönetim sistemleri hücreler arası dengeyi sağlamak, aşırı şarj ve deşarjı engellemek gibi kritik işlevleri üstlenir (Tan, Vezzini, Fan ve Khare, 2022).



Şekil 1. Tamamen Elektrikli Otomobil (BEV)

3.1.3.2 Hibrit Otomobil Çeşitleri (HEV)

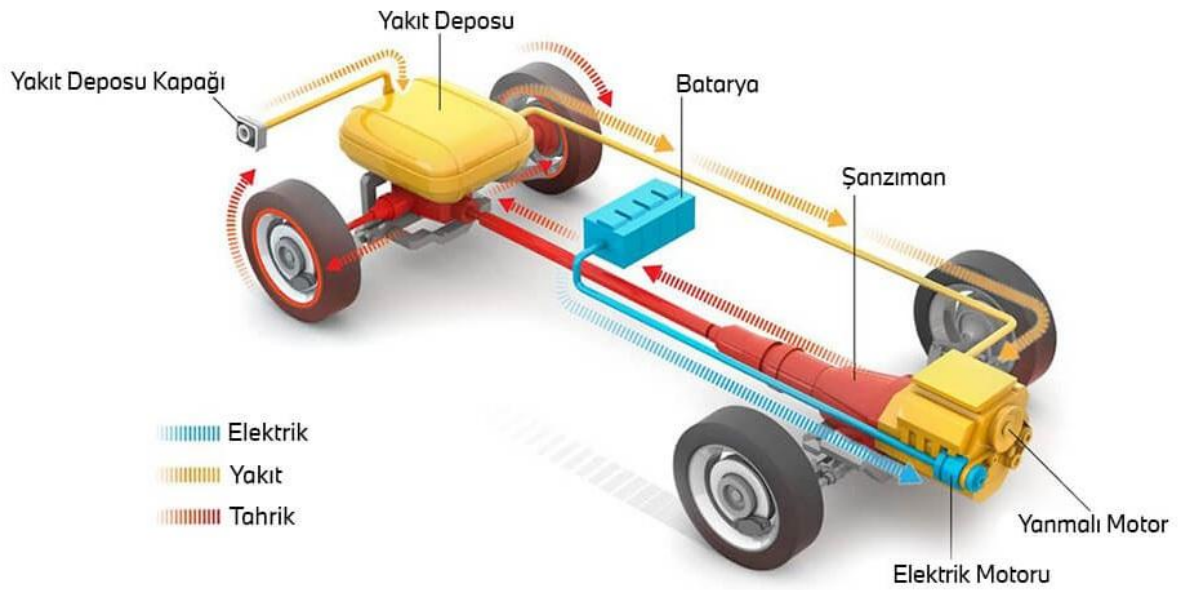
Hibrit elektrikli otomobiller, hem içten yanmalı motor hem de elektrik motoru ile çalışan araçlardır. Bu sistemlerde elektrik motoru, genellikle ilk hareket anında veya düşük hızlarda devreye girer. Aracın hızlandığı durumlarda ise içten yanmalı motorun katkısı ile sistem bütüncül bir şekilde çalışır. Bu sayede yakıt tüketimi azalır, emisyon değerleri düşer ve enerji verimliliği artar (Zhu, Li, Liu, Li ve Xu, 2022).

Hibrit sistemler genellikle bataryayı dış kaynakla şarj etmez; batarya, araç içindeki fren enerjisi geri kazanımı veya motor destekli jeneratör sistemleriyle şarj edilir. Bu mühendislik çözümü, dış altyapıya bağımlılığı azaltırken aynı zamanda karmaşık kontrol sistemleri gerektirir. Bu sistemlerde elektrik motorunun devreye girme zamanlaması ve motorlar arası moment dağılımı, yazılım destekli algoritmalarla yönetilmektedir. Bu yapı, paralel ve seri hibrit mimarilerle desteklenebilir. Güç bölücü mekanizma, hangi motorun devrede olacağını belirler ve sürüş koşullarına göre sistemi otomatik olarak yönetir (Zhao, Zhou, Wang ve Zhao, 2023).

3.1.3.2.1 Hafif Hibrit Otomobiller (MHEV)

Hafif hibrit elektrikli otomobiller, içten yanmalı motorun yanında küçük kapasiteli bir elektrik motoruna da sahip olan araçlardır. Bu sistemlerde elektrik motoru, özellikle düşük hızlarda ve ilk kalkış anlarında motora destek sağlarken aynı zamanda rejeneratif frenleme sayesinde enerji geri kazanımı da mümkün kılınır. Bu sayede yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları azaltılmaktadır (Zhu, Li, Liu, Li ve Xu, 2022).

Bu araçlarda kullanılan bataryalar genellikle düşük voltajlı ve sınırlı kapasitelidir. Elektrik motoru çoğunlukla entegre marş jeneratörü (ISG) olarak görev yapar. Aracın yavaşlaması sırasında motor jeneratör konumunda çalışarak kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür ve bataryayı şarj eder. Kalkış anında ise elektrik motoru tahrik motorunu destekler. Bu çift yönlü enerji akışı, sistem verimliliğini artırır. Ancak enerji miktarı, aracı tek başına elektrikle çalıştırmaya yetmez. Bu nedenle MHEV sistemleri, tamamen elektrikli sürüş kabiliyeti sunmaz; ancak kent içi sürüşlerde önemli ölçüde verimlilik sağlamaktadır (Hannan, Lipu, Hussain ve Mohamed, 2017).

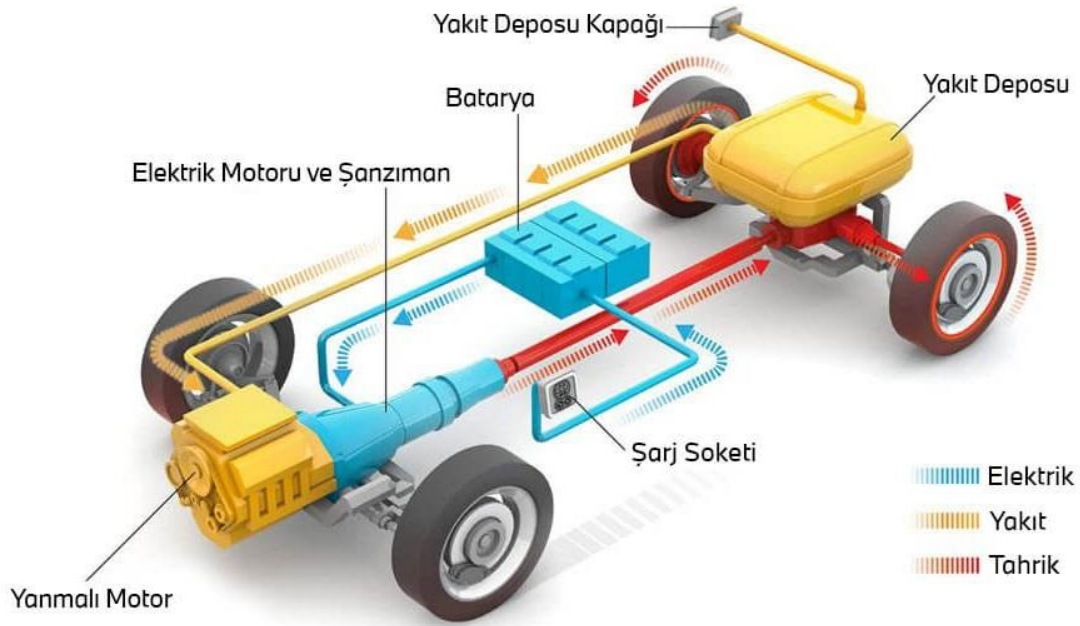


Şekil 2. Hafif Hibrit Otomobil (MHEV)

3.1.3.2.2 Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Otomobiller (PHEV)

Şarj edilebilir hibrit elektrikli otomobiller, hem içten yanmalı motor hem de daha büyük kapasiteli bir batarya sistemine sahiptir. Bu bataryalar, harici elektrik şebekelerine bağlanarak şarj edilebildiği gibi araç içinden de enerji üretimi yapılabilir. Kısa mesafeli sürüşlerde sadece elektrik enerjisiyle hareket edebilen bu araçlar, daha uzun menzil gereksinimlerinde içten yanmalı motorun desteğiyle çalışır (Al Yakhni, Boulon, Vinassa ve Briat, 2021).

Şarj edilebilir hibrit sistemlerin mühendislik açısından en önemli özelliği, karmaşık enerji yönetim sistemlerine sahip olmalarıdır. Batarya yönetim sistemleri, hem güvenlik hem de batarya ömrü açısından kritik rol oynar. Elektrik motoru genellikle düşük hızda veya şehir içi kullanımda devrededir. İçten yanmalı motor ise yüksek hız ve yük gerektiren durumlarda devreye girer. Rejeneratif frenleme sistemi kinetik enerjiyi bataryaya geri kazandırır. Enerji akışının içten yanmalı motor ile elektrik motoru arasında dinamik biçimde yönetilmesi, ileri düzey kontrol algoritmalarını zorunlu kılar. Bu da sistemin sürüş performansı, enerji verimliliği ve batarya ömrü açısından optimize edilmesini sağlar (Zhao, Zhou, Wang ve Zhao, 2023).

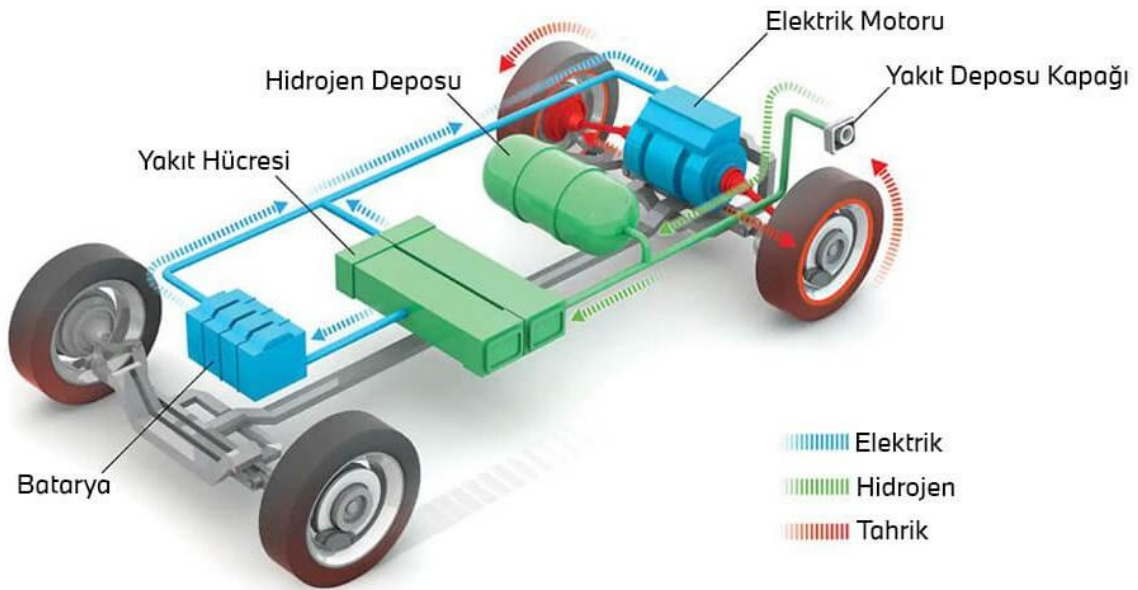


Şekil 3. Şarj Edilebilir Hibrit Elektrikli Otomobiller (PHEV)

3.1.3.3 Yakıt Hücreli Otomobiller (FCEV)

Yakıt hücreli elektrikli otomobiller, enerji kaynağı olarak hidrojen gazını kullanmaktadır. Araç içinde bulunan yakıt hücresi, hidrojen ile oksijenin kimyasal tepkimesinden elektrik enerjisi üretir. Bu elektrik, aracın hareketini sağlayan elektrik motorunu beslemekte kullanılır. Yakıt hücresinde gerçekleşen bu tepkimenin yan ürünü ise yalnızca su buharıdır; bu nedenle bu araçlar sıfır emisyonla çalışmaktadır (Al Yakhni, Boulon, Vinassa ve Briat, 2021).

Bu otomobillerde kullanılan yakıt hücreleri, elektrokimyasal enerji dönüşümünü yüksek verimlilikle gerçekleştiren sistemlerdir. Yakıt hücresi yığını (stack), proton değişim membranı (PEM) teknolojisi ile çalışır. Hidrojen, anot kısmında protonlara ve elektronlara ayrışır; elektronlar devreyi dolaşarak elektrik üretirken protonlar membranı geçerek oksijenle birleşir. Sonuçta elektrik enerjisi, elektrik motorunu tahrik etmek üzere ya doğrudan kullanılır ya da bataryada depolanır. Ayrıca, hidrojenin depolanması için genellikle yüksek basınçlı tanklar kullanılır ve bu durum, mühendislik açısından güvenlik, malzeme bilimi ve sistem bütünlüğü gibi çok sayıda uzmanlık alanını devreye sokmaktadır. Ayrıca, hidrojen altyapısının sınırlı olması bu araçların yaygınlaşmasında önemli bir engel teşkil etmektedir (Zhao, Zhou, Wang ve Zhao, 2023).



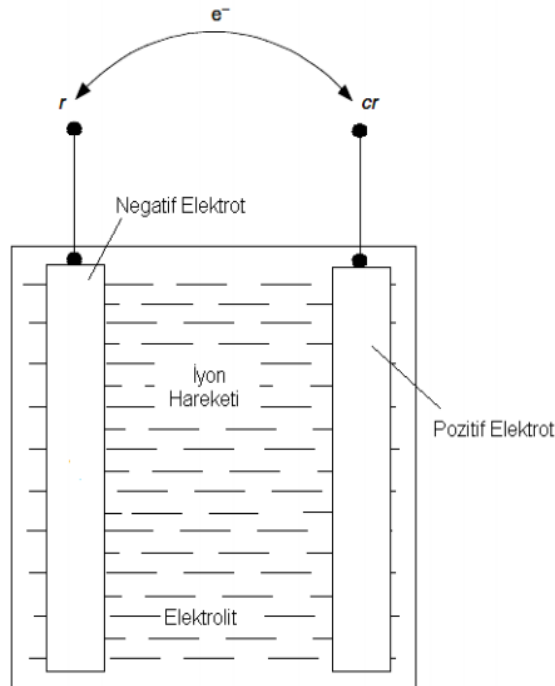
Şekil 4. Yakıt Hücreli Otomobil (FCEV)

3.1.4 Bataryalar

Elektrikli araç teknolojilerinin merkezinde yer alan batarya sistemleri, bu araçların performansını doğrudan belirleyen en temel bileşenlerden biridir. Fosil yakıtla çalışan araçlardaki yakıt deposunun yerine geçen bataryalar, yalnızca enerji depolama aracı olarak değil; aynı zamanda enerji yönetiminde karar verici birimler olarak da değerlendirilmelidir. Bu sistemler sayesinde elektrikli araçlar çevreci, sessiz ve verimli bir ulaşım seçeneği sunmaktadır.

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar, enerjiyi elektrokimyasal olarak depolar ve ihtiyaç halinde doğru akım şeklinde araçtaki sürüş sistemine aktarır. Bu enerji dönüşümü, kimyasal tepkimelerle hücre düzeyinde gerçekleşir. Batarya hücreleri, seri veya paralel şekilde bağlanarak bir araya getirilir ve toplam batarya paketini oluşturur. Her bir hücrenin kararlılığı, güvenliği ve performansı, sistemin bütünsel verimliliğini belirleyen unsurlar arasındadır (Nadeem, 2024; Hannan, Lipu, Hussain ve Mohamed, 2017).

Bir elektrikli aracın kullanımı süresince bataryasından beklentiler oldukça yüksektir. Bu beklentiler; yüksek enerji yoğunluğu, uzun çevrim ömrü, düşük bakım gereksinimi, hızlı şarj imkânı ve yüksek güvenlik standartlarıdır. Ayrıca batarya teknolojisinin iklim koşullarına, titreşime ve sıcaklık dalgalanmalarına dayanıklı olması gerekir. Araç tasarımında bu faktörlerin hepsi batarya mühendisliğini daha da önemli hale getirmiştir (Tan, Vezzini, Fan ve Khare, 2022).



Şekil 5. Şekil Batarya İç Yapısı

Enerji yoğunluğu, şarj süresi, güvenlik düzeyi, maliyet, çevrim ömrü gibi faktörler göz önüne alındığında, her batarya teknolojisinin mühendislik açısından farklı avantaj ve sınırlamaları bulunmaktadır. Bu nedenle batarya seçimi, aracın kullanım amacı, menzil hedefi, üretim maliyeti ve kullanıcı güvenliği gibi çok yönlü kriterlerle değerlendirilmelidir (Kara, 2023).

Ayrıca, batarya teknolojilerinin gelişimi sadece hücre düzeyindeki kimyasal iyileştirmelerle sınırlı kalmamaktadır. Hücreleri yöneten batarya yönetim sistemleri (BMS) de bu teknolojinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu sistemler, hücreler arası dengeleme, sıcaklık kontrolü, voltaj takibi ve veri analizleri gibi işlevleri yerine getirerek hem güvenliği hem de performansı optimize eder (Nari ve Demir, 2022).

3.1.4.1 Kurşun Asit Bataryalar

Kurşun asit bataryalar, elektrikli araçlarda tarihsel olarak kullanılan en eski batarya teknolojilerinden biridir. Genellikle 6 hücreden oluşan ve 12 voltluk sistem sağlayan bu bataryalar, içten yanmalı motorlara sahip araçlarda yaygın olarak kullanılmaktaydı. Jel tipi kurşun asit bataryalar, elektrikli araçlarda sınırlı da olsa kullanılmıştır. Ancak, bu bataryaların çevrim sayısı düşük (yaklaşık 700) ve ömrü kısıtlı (maksimum 5 yıl) olduğundan, günümüz elektrikli araç teknolojilerinin ihtiyaçlarını karşılayamamaktadır (İnan, 2020; Kara, 2023).

Kurşun asit bataryaların avantajları arasında düşük üretim maliyeti ve geri dönüştürülebilirlik gibi çevresel katkılar yer alır. Ancak düşük enerji yoğunluğu, ağır yapısı ve sınırlı şarj-deşarj döngüsü kapasitesi, bu batarya türünün elektrikli araçlardaki kullanımını sınırlandırmaktadır. Özellikle hızlı şarj ihtiyacı ve menzil gereksinimi arttıkça, kurşun asit bataryalar bu ihtiyaca cevap verememektedir (Smith ve Lee, 2022).

3.1.4.2 Nikel Metal Bataryalar

Nikel metal hidrit bataryalar, özellikle hibrit elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılan bir batarya türüdür. Bu bataryalarda, negatif elektrot olarak metal hidrür bileşenleri, pozitif elektrot olarak ise nikel hidroksit kullanılır. Elektrolit olarak genellikle potasyum hidroksit çözeltisi tercih edilir. Bu yapısı sayesinde Ni-MH bataryalar, kurşun asit bataryalara kıyasla daha fazla enerji yoğunluğu sunar ve daha uzun çevrim ömrüne sahiptir (Jones ve Williams, 2021).

Ancak, nikel metal hidrit bataryaların da bazı sınırlamaları vardır. Özellikle yüksek sıcaklık altında performans kayıpları yaşanabilmekte ve kendi kendine deşarj oranı yüksek olabilmektedir. Bunun yanı sıra, yüksek üretim maliyeti ve karmaşık şarj yönetimi gibi mühendislik sorunları da bu bataryaların yaygınlığını azaltmaktadır. Yine de hibrit sistemler için uygunluğu ve güvenlik seviyesi nedeniyle sınırlı uygulama alanlarında tercih edilmektedir (Zhu, Li, Liu, Li ve Xu, 2022).

3.1.4.3 Lityum Demir Bataryalar

Lityum demir fosfat bataryalar, özellikle yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılığı ile ön plana çıkar. Bu bataryaların kimyasal yapısında katot malzemesi olarak lityum demir fosfat (LiFePO_4) kullanılmakta olup, bu durum termal kararlılığı artırmaktadır. Lityum demir bataryaların çevrim ömrü, diğer lityum bazlı bataryalara göre daha uzundur ve daha az yangın riski taşır (Tan, Vezzini, Fan ve Khare, 2022).

Lityum demir bataryalar, özellikle ticari elektrikli araçlarda tercih edilmektedir çünkü şarj-deşarj stabilitesi yüksektir ve güvenlik açısından avantajlıdır. Ancak bu bataryaların enerji yoğunluğu, lityum iyon bataryalara kıyasla daha düşüktür. Dolayısıyla daha fazla hacim veya ağırlık gerektirebilir. Bu nedenle menzil kaygısı bulunan binek araçlar yerine; düşük menzilli, ancak güvenliğin ön planda olduğu araçlarda yaygınlaşmaktadır (Zhao, Zhou, Wang ve Zhao, 2023).

3.1.4.4 Lityum İyon Bataryalar

Lityum iyon bataryalar, günümüzde elektrikli araçlarda en yaygın kullanılan batarya teknolojisidir. Bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, uzun çevrim ömrü, düşük ağırlık ve hızlı şarj kabiliyeti ile öne çıkmaktadır. Katot malzemesi olarak genellikle lityum kobalt oksit, lityum nikel mangan kobalt veya lityum demir fosfat tercih edilmektedir. Anot kısmında ise genellikle grafit kullanılır (Pierce ve Clarke, 2023).

Bu bataryalar tam şarj durumuna kısa sürede ulaşabilmekte ve birim kütle başına en yüksek enerji yoğunluğunu sağlayabilmektedir. Bu yönüyle uzun menzilli binek araçlar için idealdir. Ayrıca hızlı şarj altyapıları ile uyumlu olması, şehir içi ve şehirler arası kullanımda büyük avantaj sağlamaktadır (Thangavel, Mohanraj, Girijaprasanna, Raju, Dhanamjayulu ve Muyeen, 2023).

Lityum iyon bataryaların güvenli kullanımı için gelişmiş batarya yönetim sistemlerine ihtiyaç vardır. Aksi takdirde, aşırı ısınma, kısa devre veya termal kaçak gibi tehlikeler söz konusu

olabilir. Bu nedenle elektrikli araç üreticileri, gelişmiş yazılım algoritmaları ve termal dengeleme teknolojileriyle bu bataryaların güvenliğini sağlamak zorundadır (Yang, Liu, Li ve Zhang, 2022; Brown, Taylor ve Zhao, 2022).

3.1.5 Elektrikli Araçlar ve Akıllı Ulaşım Sistemleri

Elektrikli araçlar, yalnızca taşıma aracı değil, aynı zamanda akıllı ulaşım sistemlerinin dinamik birer bileşeni olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Bu dönüşüm, ulaşımın dijitalleşmenin bir çıktısı olarak hem altyapıların hem de araçların birbiriyle sürekli etkileşim içinde olduğu bir sistem gereksinimi doğurmuştur. Akıllı ulaşım sistemleri, bilgi ve iletişim teknolojilerinin entegrasyonu sayesinde ulaşımın tüm süreçleri daha verimli, güvenli ve çevreci hale getirirken; elektrikli araçlar bu sistemin veriyi toplayan, aktaran ve enerjiyi yöneten aktif bir bileşeni hâline gelmiştir.

Özbay, Közkurt, Dalcalı ve Tektaş (2020), bu dönüşümü “ulaşımda sadece motor teknolojisinin değişimi değil, kentsel sistemlerin tamamının yeniden yapılandırılması” olarak tanımlar. Ona göre, elektrikli araçlar yalnızca enerji kaynağını değiştirmekle kalmamakta, aynı zamanda ulaşım sisteminin işleyiş mantığını da dönüştürmektedir. Bu bağlamda, elektrikli araçların akıllı ulaşım sistemleriyle bütünleşmesi, çok katmanlı bir dönüşümün kapısını aralamaktadır.

Elektrikli araçların sahip olduğu dijital haberleşme yetenekleri, akıllı ulaşım altyapısına entegrasyon için kritik önemdedir. Araç içi sensörler, konum belirleme sistemleri ve veri paylaşımı gibi özellikler, trafik yoğunluğu, yol durumu ve enerji kullanımı gibi değişkenlerin merkezi sistemlerce takip edilmesini sağlar. Bu sistemler yapay zekâ destekli algoritmalarla entegre edildiğinde sadece bireysel araçların değil, şehirdeki tüm araçların enerji ve hareketlilik açısından tüm süreçleri optimize edilebilir.

Mevcut ulaşım sistemlerinde enerji verimliliğini artırmak için geliştirilen araç-altyapı iletişimi, elektrikli araçlar için bir zorunluluk haline gelmiştir. Özellikle şehir içi trafik yoğunluğu, şarj altyapısının verimli kullanılabilmesi için gerçek zamanlı yönlendirme sistemlerine ihtiyaç doğurmuştur. Bu bağlamda yapılan Türk araştırmaları, akıllı ulaşım sistemlerine entegre edilen elektrikli araçların güzergâh sürelerini düşürdüğünü ve enerji tüketimini optimize ettiğini ortaya koymaktadır (Aydınoğlu, Çetin, Topal ve Şişman, 2025).

Özbay, Közkurt, Dalcalı ve Tektaş (2020), vurguladığı bir diğer önemli husus, elektrikli araçların akıllı şebeke sistemleriyle kurduğu çift yönlü etkileşimdir. Bu bağlamda, araçlar yalnızca

enerji tüketen değil aynı zamanda gerektiğinde enerji şebekesine destek sunan mobil güç ünitelerine dönüşmektedir. Bu durum özellikle afet anlarında veya şebeke üzerindeki yükün dengelenmesinde hayati bir rol oynayabilmektedir. Bu bakış açısı, elektrikli araçları sadece taşıma aracı değil aynı zamanda şehirlerin enerji yönetiminde aktif birer unsur olarak konumlandırmaktadır.

Yabancı literatürde bu ilişki sıklıkla “Vehicle-to-Grid” (Araçtan Şebekeye Enerji Aktarımı) modeli üzerinden ele alınmaktadır. Elektrikli araçlar sadece enerji güvenliği değil, şebeke dengesi ve maliyet yönetimi açısından da büyük avantaj sunmaktadır. Akıllı ulaşım sistemleri sayesinde, bu etkileşim dinamik olarak yönetilebilir hâle gelmektedir.

Elektrikli araçların şehir altyapısıyla bu ölçekte senkronize olabilmesi, büyük veri yönetimi ve bulut tabanlı yazılım sistemlerinin varlığına bağlıdır. Yang, Liu, Li ve Zhang (2022), bu sistemlerin elektrikli araçların batarya ömrünü, ortalama verimliliğini ve bakım zamanlamasını doğrudan etkileyen önemli faktörler olduğunu belirtmektedir. Böylece araçların sadece anlık kullanım performansı değil, uzun vadeli operasyonel verimliliği de optimize edilmektedir.

Bu entegrasyonun başarılı olabilmesi için altyapı planlaması ve şehir mühendisliği stratejileri yeniden ele alınmak zorundadır. Türkiye’de de bu bağlamda strateji belgeleri geliştirilmeye başlanmış, akıllı şehir konseptinde elektrikli araçların merkezi bir rol üstlenmesi öngörülmüştür. Özbay, Közkurt, Dalcalı ve Tektaş (2020), bu süreci “şehirlerin yeniden mühendislik sürecine girmesi” olarak tanımlar ve özellikle yerel yönetimlerin bu dönüşümdeki rolüne dikkat çeker.

Sonuç olarak, elektrikli araçlar ile akıllı ulaşım sistemleri arasındaki ilişki, yalnızca iki teknolojinin kesişiminden ibaret değildir. Bu ilişki, ulaşımın yapısal dönüşümünü ifade eden, enerji, bilgi teknolojileri ve şehircilik alanlarını birleştiren sistemik bir değişimdir. Tezin genel amacı doğrultusunda, bu bütünleşmenin hem mühendislik hem de sosyo-teknik yönleriyle değerlendirilmesi kaçınılmazdır.

3.2 Elektrikli Araçlar Kullanımı

Bu bölümde, elektrikli araçların kullanım dinamikleri toplumsal, kamusal ve sektörel düzlemler üzerinden ele alınarak değerlendirilmiştir. Tez kapsamında teknik açıdan detaylandırılan çift yönlü şarj sistemlerinin afet dönemlerinde aktif biçimde kullanılabilmesi için, bu teknolojilerin yalnızca mühendislik altyapısına değil; aynı zamanda toplum, devlet ve özel sektör aktörlerinin birlikte şekillendirdiği bir kullanım kültürüne dayanması gerektiği

düşünülmektedir. Bu nedenle, toplumun elektrikli araçlara olan yaklaşımı, kullanım alışkanlıkları ve dönüşüm hızı; kamu politikalarının sağlayıcı ve düzenleyici rolü ile birlikte, özel sektörün üretim, dağıtım ve inovasyon yatırımlarıyla birlikte çok boyutlu biçimde analiz edilmiştir.

Afet senaryolarında elektrikli araçların jeneratör işlevi görmesi, bu araçların sahada fiilen bulunmasını, şarj altyapısının kurulu olmasını ve kullanıcıların bu teknolojiye yatkınlığını gerektirmektedir. Bu bağlamda, bireylerin elektrikli araçlara yönelik bilinç düzeyleri ve gündelik yaşam alışkanlıkları; devletin sunduğu teşvik mekanizmalarıyla desteklenmekte, özel sektörün üretim ve satış stratejileriyle de yönlendirilmektedir. Bu üçlü yapı—toplum, devlet ve özel sektör—afet sonrası enerji yönetimi çerçevesinde yalnızca altyapı değil, aynı zamanda kullanım kabiliyeti ve sürdürülebilirlik açısından da belirleyici olmaktadır.

Bu bölümde yapılan analizler, elektrikli araçların afet anlarında enerji sağlayıcı birer aktöre dönüşebilmesi için yalnızca teknolojik potansiyelin değil, aynı zamanda toplumsal kabulün, kamusal desteğin ve sektörel yönelimin de eşgüdüm içinde gelişmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Böylece, mühendislik temelli tez kapsamında yalnızca sistemin nasıl çalıştığı değil, aynı zamanda bu sistemin hangi sosyal-ekonomik bağlamda işler hale geleceği de bütüncül olarak değerlendirilmiştir.

3.2.1 Toplum Alışkanlıkları

Toplumların ulaşım tercihleri, yalnızca ekonomik olanaklarla değil aynı zamanda kültürel değerlerle, teknolojik gelişmelerle ve şehirleşme politikalarıyla şekillenmektedir. Modern kentlerde bireylerin ulaşım kararlarını etkileyen faktörler arasında zaman yönetimi, maliyet, konfor, erişilebilirlik ve güvenlik ilk sıralarda yer alırken, çevresel etkiler son yıllarda belirgin bir biçimde önem kazanmıştır.

Özellikle büyükşehirlerde yaşanan trafik yoğunluğu ve zaman kaybı, toplu taşıma sistemlerinin tercih edilme nedenlerinden biri haline gelmiştir. Ancak bireysel araç kullanımı, hâlâ birçok toplumda prestij, özgürlük ve kişisel alan simgesi olarak görülmektedir. Türkiye’de de bu durum bariz bir şekilde gözlemlenmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2022) verilerine göre, bireysel otomobil sahipliği yıllar içinde düzenli artış göstermektedir. Bu artış, aynı zamanda otomobilin hâlen bir ihtiyaçtan öte, sosyal bir statü göstergesi olduğunu ortaya koymaktadır.

Ancak bu eğilim yalnızca Türkiye’ye özgü değildir. Avrupa Çevre Ajansı’nın (EEA, 2022) raporuna göre, birçok Avrupa ülkesinde de bireysel araç sahipliği oranı artmakta; özellikle orta ve

doğu Avrupa ülkelerinde otomobil sahipliği kentleşme oranıyla birlikte yükselmektedir. Bu da gösteriyor ki, bireysel ulaşım araçları toplumsal kültürlerin içinde derin bir yer edinmiştir.

Bununla birlikte, bireysel araçlara olan bu yatkınlık, ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından ciddi bir baskı unsuru oluşturmaktadır. Gerek trafik yoğunluğu, gerekse fosil yakıt kullanımı çevresel sorunların başlıca kaynaklarından biridir. Bu noktada akıllı ulaşım sistemlerinin teşvik ettiği ortak kullanım modelleri ve düşük emisyonlu ulaşım araçları, bireysel alışkanlıkları dönüştürmeye yönelik çözümler üretmeye başlamıştır.

Özellikle genç nüfus arasında araç sahibi olma isteğinin zayıfladığı bazı ülkelerde bu dönüşüm daha açık gözlemlenmektedir. Delbosc ve Currie (2013), gelişmiş ülkelerde gençlerin otomobil lisansı alma oranlarının düştüğünü ve bunun yerine toplu taşıma, bisiklet ve araç paylaşım sistemlerine yöneldiklerini belirtmektedir. Bu eğilim, dijital teknolojilerin ve ulaşımında esneklik beklentisinin artmasıyla birlikte hız kazanmıştır.

Ancak gelişmekte olan ülkelerde bu durum biraz farklıdır. Dünya Bankası'nın (2020) yayınladığı rapora göre, gelişmekte olan ülkelerde toplu taşıma sistemlerinin yetersizliği, bireyleri hâlâ kişisel araç edinimine yönlendirmektedir. Türkiye'de de bazı bölgelerde toplu taşımanın sınırlı erişilebilirliği, bireysel araçlara olan talebi canlı tutmaktadır. Bu durum, şehir planlamasının ulaşım sistemleriyle ne kadar yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Türkiye özelinde bu durumu değerlendiren Özbay, Közkurt, Dalcalı ve Tektaş (2020), bireysel ulaşım tercihlerinin yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda psikososyal ve kültürel temellere dayandığını ifade eder. Özbay, Közkurt, Dalcalı ve Tektaş (2020), göre, "otomobil yalnızca bir ulaşım aracı değil; bireyin kontrol, özgürlük ve sosyal statü arayışının maddi karşılığıdır." Bu çerçevede, elektrikli araçlara geçiş yalnızca bir teknolojik dönüşüm değil, aynı zamanda kültürel bir değişimi de beraberinde getirmektedir.

Elektrikli araçlara karşı toplumun yaklaşımı, ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. IEA'nın (2023) verilerine göre, Norveç gibi ülkelerde bireysel otomobil kullanıcılarının %80'i elektrikli araçları tercih ederken, bu oran Türkiye'de hâlen %2 seviyelerindedir. Bu fark, altyapı yatırımları, devlet teşvikleri ve toplumun çevresel duyarlılığı gibi birçok faktöre bağlıdır.

Türkiye'de elektrikli araçlara olan ilgi artmakla birlikte, alışkanlıkların değişimi zaman alıcı bir süreçtir. Toplumun genelinde elektrikli araçlara dair bazı ön yargılar ve bilgi eksiklikleri bulunmaktadır. Şarj altyapısının yetersizliği, batarya ömrü, bakım maliyetleri ve ikinci el değeri gibi konular, bireylerin bu araçlara yönelmesinde tereddüt yaşamalarına neden olmaktadır.

Buna karşın, son yıllarda özellikle büyük şehirlerde artan çevre bilinci ve yakıt maliyetlerinin yükselmesi, bireyleri alternatif ulaşım çözümlerine yönlendirmeye başlamıştır.

Türkiye'de genç kullanıcı kitlesi, teknolojiye daha yakın olması sebebiyle elektrikli araçlara daha olumlu yaklaşmakta, ancak finansal erişim engelleri nedeniyle satın alma kararını ötelemektedir.

Özbay, Közkurt, Dalcalı ve Tektaş (2020), elektrikli araçların yaygınlaşabilmesi için sadece teknolojik değil, sosyolojik stratejilerin de geliştirilmesi gerektiğini vurgular. Toplumda “yeşil ulaşım bilinci” oluşturulmadan yapılacak teknolojik yatırımların yeterli etkiyi göstermeyeceğini belirtir. Bu açıdan bakıldığında, bireysel alışkanlıkları dönüştürecek eğitim ve farkındalık çalışmaları da en az altyapı kadar önemlidir.

Bunun yanı sıra, araç paylaşımı, mikromobilité sistemleri ve ulaşımın dijitalleştirilmesi gibi yeni eğilimler, bireysel araç sahipliğinin yerine farklı çözümler sunmaktadır. Avrupa ülkelerinde olduğu gibi, Türkiye’de de bu sistemlerin daha fazla teşvik edilmesi, bireysel sahiplikten hizmet odaklı ulaşımına geçişi kolaylaştırabilir.

Toplumların ulaşım alışkanlıklarının şekillenmesinde devlet politikalarının etkisi büyüktür. Gerek elektrikli araçlara verilen teşvikler, gerekse toplu taşımanın cazip hale getirilmesi yönündeki yatırımlar, bireylerin tercihlerinde belirleyici olmaktadır. Bu nedenle kamu politikaları ile toplum davranışları arasında çift yönlü bir ilişki söz konusudur.

Bireysel araç sahipliğinin doğrudan çevresel maliyetlere yol açtığı göz önüne alındığında, bu alışkanlıkların sürdürülebilir ulaşım sistemleri doğrultusunda dönüştürülmesi kaçınılmazdır. Elektrikli araçlar bu dönüşümün önemli bir parçasıdır; ancak toplum alışkanlıklarının değişimi, bu teknolojinin kabul görmesini belirleyen en kritik faktördür.

Sonuç olarak, elektrikli araçların benimsenmesi süreci, yalnızca teknolojik bir evrim değil, aynı zamanda bireysel alışkanlıkların yeniden şekillendiği kültürel bir geçiş dönemidir. Bu geçişin başarısı, altyapıdan çok, bireyin davranış değişimine yönelik ikna ve teşvik politikalarının başarısıyla doğrudan ilişkilidir. Toplumu içeren saha çalışmalarında elektrikli araçlar özne olarak kullanıma elverişlidir ve ilişkili çalışmalarda nesne olarak işlenmeye de uygundur. Tezde yer alan afet dönemlerinin incelenmesinde de toplum alışkanlığı ile yaygın olarak kullanılan bireysel araçların farklı kullanımını inceleyerek bu alışkanlığın farklı bir özneye dönüşmesini ve kurtarma dönemlerinde araçsallaştırılmasını inceleyeceğiz.

3.2.2 Devlet / Hükümet Yatırım ve Teşvikleri

Elektrikli araçların toplum nezdinde kabul görmesinin ve yaygınlaşmasının ardında yalnızca teknolojik gelişmeler değil, aynı zamanda devlet politikalarının yönlendirici etkisi bulunmaktadır. Devlet destekleri, hem üretim sürecine hem de tüketici davranışlarına doğrudan

etki ederek elektrikli araçların varlık oranını belirlemekte kilit rol oynamaktadır. Bu bağlamda dünya genelinde ülkeler, iklim politikalarıyla uyumlu ulaşım sistemlerine geçişte elektrikli araçları stratejik bir yatırım alanı olarak değerlendirmektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (International Energy Agency, 2024) yayımladığı Global EV Policy Explorer raporuna göre, 2024 itibarıyla dünya genelinde 70'ten fazla ülke elektrikli araçlara yönelik doğrudan teşvik mekanizmaları uygulamaktadır. Bu mekanizmalar; vergi indirimi, batarya sübvansiyonu, araç alım desteği, özel tüketim vergisi muafiyeti ve kamu alımlarında öncelik gibi başlıkları içermektedir. Ajans, bu teşviklerin yalnızca tüketicilere yönelik olmadığını, aynı zamanda üreticilerin Ar-Ge harcamalarına ve şarj altyapısı yatırımlarına da ciddi katkılar sağladığını vurgulamaktadır.

Bu teşvik modellerinin en çarpıcı örneği Çin'de görülmektedir. Liu, Dai, Lin, Wang, Li, Lian, ve Li, (2023), tarafından yayımlanan çalışmada, Çin'in elektrikli araç sektöründe liderliğini sağlamlaştırmasında devlete ait sübvansiyon sisteminin rolü detaylı olarak incelenmektedir. Çin hükümeti, özellikle batarya üreticilerine sağladığı vergi kolaylıkları ve yerli üretim yapan firmalara sunduğu hibe modelleriyle iç pazarı koruyarak dışa açılımı mümkün kılmıştır. Ayrıca, büyük şehirlerde uygulanan "plaka kısıtlamalarından muafiyet" gibi özgün teşvikler sayesinde bireysel kullanıcılar da EV tercihinə yönlendirilmiştir.

ABD tarafında ise politikalar eyalet bazında çeşitlenmekle birlikte genel anlamda kapsamlı bir teşvik programı uygulanmaktadır. Breetz, Mildenerger ve Stokes (2018) tarafından yapılan inceleme, federal hükümetin temiz enerji geçişini hızlandırmak amacıyla 2008'den bu yana uyguladığı araç başı 7.500 dolarlık alım desteğinin EV pazarındaki ilk büyümeyi tetiklediğini göstermektedir. Son yıllarda bu desteklere şarj altyapısının genişletilmesi ve kamu taşımacılığında elektrikli filoların oluşturulması gibi stratejik adımlar da eklenmiştir.

IEA (2024) verileri, Avrupa Birliği ülkelerinde de ulaşımın elektrifikasyonu için ortak politikaların benimsendiğini göstermektedir. "Fit for 55" paketine paralel olarak, AB ülkeleri karbon emisyonlarını 2030 yılına kadar %55 oranında azaltmayı hedeflemiş ve bunun temel yolunun ulaşımında elektrikliye geçiş olduğunu ilan etmiştir. Norveç, Almanya, Hollanda gibi ülkeler bu hedefe ulaşmak adına hem bireysel hem kurumsal araç sahipliğini doğrudan teşvik eden programlar geliştirmiştir.

Türkiye ise bu dönüşüm sürecine özellikle son beş yılda daha sistematik biçimde dâhil olmuştur. T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2022) tarafından yayımlanan Elektrikli ve Hibrit Araçlar Strateji Belgesi ile birlikte hem yerli üretimin desteklenmesi (örneğin TOGG) hem de kamu kurumlarında elektrikli araç kullanımı teşvik edilmiştir. Bunun yanında ÖTV indirimi,

batarya geri kazanım projeleri ve organize sanayi bölgelerine özel şarj istasyonu yatırımları gibi politikalar uygulamaya alınmıştır.

IEA'nın (2024) değerlendirmesine göre, Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde devlet politikalarının en büyük etkisi tüketici alışkanlıklarının dönüşümüne yöneliktir. Zira bireylerin elektrikli araçlara karşı mesafeli duruşu, büyük ölçüde bilgi eksikliği ve ekonomik erişim güçlüğünden kaynaklanmaktadır. Bu noktada kamu politikalarının yalnızca mali destekle sınırlı kalmaması, aynı zamanda sosyal farkındalık ve eğitime yönelik adımlarla desteklenmesi gereklidir.

Geleceğe yönelik projeksiyonlar da devlet teşviklerinin belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Bloomberg New Energy Finance (2024) tarafından hazırlanan EV Incentives Tracker verilerine göre, dünya genelinde EV satışlarının 2030'a kadar %50'yi aşması beklenmektedir. Ancak bu oranların gerçekleşebilmesi için mevcut devlet desteklerinin devam etmesi ve daha fazla ülkenin politik sistemine entegre olması şarttır. Özellikle afet dönemlerinde mobil enerji kaynağı olarak EV'lerden faydalanma potansiyeli, bu teşviklerin sadece çevresel değil aynı zamanda insani güvenlik açısından da stratejik olduğunu göstermektedir.

Aynı raporda Türkiye, Çin ve ABD'nin politika başarıları karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Çin'in agresif sübvansiyon politikası, ABD'nin eyalet bazlı esnek uygulamaları ve Türkiye'nin son yıllardaki yerli üretim odaklı politikaları, bu üç ülkenin EV ekosisteminde farklı pozisyonlar edinmesini sağlamıştır. Ancak ortak nokta, devlet müdahalesinin her aşamada belirleyici olmasıdır.

Sonuç olarak, elektrikli araçların afet dönemlerinde etkin bir enerji çözümü olabilme potansiyeli, doğrudan bu yaygınlaşma hızına bağlıdır. Yaygınlaşma ise devletlerin yönlendirmesiyle şekillenir. Bu bağlamda devlet ve hükümet teşviklerinin yalnızca teknolojik bir ilerlemeyi değil, aynı zamanda toplumun ulaşım alışkanlıklarını dönüştürmeye yönelik sosyal bir müdahale olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.2.3 Özel Sektör Yönetimi

Elektrikli araç teknolojilerinin gelişiminde ve yaygınlaşmasında özel sektörün rolü son derece belirleyicidir. Devletlerin politika ve teşvik mekanizmaları bir çerçeve sunmakla birlikte, bu alanı esasen yönlendiren unsur özel girişimlerin inovasyon kapasitesi, yatırımları ve pazara sundukları ürün çeşitliliğidir. Özellikle otomotiv sektörünün dönüşümünde büyük ölçekli şirketlerin stratejik yatırımları, elektrikli araçların geleceğini belirlemektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde Tesla'nın liderliğinde şekillenen bu dönüşüm, sadece araç üretimiyle sınırlı kalmayıp batarya teknolojileri, yazılım geliştirme, otonom sürüş ve enerji depolama gibi çok sayıda mühendislik alanında ilerlemeler sağlamıştır. Tesla, 2023 itibarıyla yılda 1,8 milyonun üzerinde araç üretimi gerçekleştirmiş ve kendi batarya üretim tesislerini (Gigafactory) küresel ölçekte yaygınlaştırmıştır (BloombergNEF, 2024). Bu yatırımların büyük bölümü doğrudan afet dayanıklılığı ve enerji sürekliliği ile ilişkilendirilebilecek sistemleri içermektedir.

Türkiye özelinde bakıldığında ise Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu (TOGG), yalnızca bir üretim projesi değil, aynı zamanda yazılım tabanlı bir mobilite ekosistemi yaratma vizyonuyla hareket etmektedir. Gemlik'te kurulan üretim tesisi, 2025 itibarıyla yılda 175.000 araç üretme kapasitesine ulaşmayı hedeflemekte; bu da Türkiye'nin elektrikli araç ekosisteminde kendi mühendislik kabiliyetleriyle etkin bir oyuncu olmasını sağlamaktadır (Ünsal, 2022).

Çin'de ise BYD, NIO, Xpeng gibi markaların hızlı yükselişi ve batarya üretiminde CATL gibi firmaların küresel hâkimiyeti, sektörün doğuya kaymakta olduğunu açıkça göstermektedir. Çinli firmaların sadece iç pazarda değil, Avrupa ve Güneydoğu Asya pazarlarında da fabrika yatırımlarına başlamış olmaları, küresel rekabetin yönünü değiştirmiştir (Liu, Dai, Lin, Wang, Li, Lian, ve Li, 2023). Çinli markaların devlet destekli ancak özel girişim temelli bu büyüme politikaları, afet sonrası ulaşım ve enerji erişiminde araç erişimini artıracak düzeydedir.

Özellikle CATL ve BYD gibi firmalar, yüksek enerji yoğunluklu batarya teknolojileri geliştirerek menzil kaygısını azaltmış, bu sayede kırsal ve afet riski yüksek bölgelerde dahi elektrikli araçların kullanılabilirliğini artırmıştır. Bu tür mühendislik yatırımları, sadece pazar büyüklüğünü değil, aynı zamanda enerji krizlerine karşı alternatif çözümler üretme kapasitesini de temsil etmektedir (Hu, Yin, ve Zhao, 2025).

Ford, General Motors, Renault, Stellantis gibi köklü otomotiv üreticileri de içten yanmalı motor teknolojilerini kademeli olarak terk ederek elektrikli araç üretim hatlarını genişletmektedir. Örneğin, General Motors'un 2035 itibarıyla yalnızca elektrikli araç üretme kararı, şirket stratejilerinin hangi yönde evrildiğini göstermesi açısından çarpıcıdır (IEA, 2024). Bu yönelim, afet dönemlerinde elektrikli araç bulunabilirliğinin artacağına dair önemli bir işarettir.

Lucid Motors ve Rivian gibi nispeten yeni girişimler ise lüks segmentte daha düşük enerjiyle daha yüksek performans vadeden çözümler sunmakta, bu da rekabetin yalnızca hacme değil mühendisliğe dayalı bir boyuta taşındığını göstermektedir (Mock & Yang, 2014). Menzil optimizasyonu, ısı yönetimi, yazılım senkronizasyonu gibi teknik detaylar bu araçlarda ileri mühendislik çözümleriyle şekillenmiştir.

Özel sektörün yalnızca üretime değil, aynı zamanda enerji depolama, batarya geri dönüşümü ve ikinci yaşam çözümlerine yönelmesi de dikkat çekicidir. Tesla'nın Powerwall, General Motors'un Ultium platformu gibi yatırımları, elektrikli araçların sabit enerji kaynaklarına dönüştürülmesiyle afet durumlarında kullanılmasını mümkün kılmaktadır Wang, Tian, Sun, Wang, Xu, Li, ve Chen, (2020). Bu yönelim, mühendislik düzeyinde entegre enerji sistemleri oluşturulmasını sağlamaktadır.

Benzer şekilde, Renault'nun Fransa'daki batarya geri dönüşüm merkezi ve Ford'un Avrupa'daki lityum geri kazanım tesisleri, sürdürülebilirliği bir pazarlama stratejisi olmanın ötesine taşımış; teknik olarak batarya ömrünü uzatma ve maliyeti düşürme çabası haline getirmiştir (Hardman, Shiu & Steinberger-Wilckens, 2015). Bu yatırımların afet yönetimi açısından değeri, batarya kaynaklı enerji krizlerine karşı ikincil çözümler sunmalarıdır.

Yazılım alanında ise Tesla'nın OTA (over-the-air) güncellemeleri, araçların afet bölgelerinde dinamik olarak yeniden programlanmasını mümkün kılmıştır. Bu sistemler sayesinde şarj yönetimi, harita güncellemeleri, acil durum uyarı sistemleri gibi birçok özellik, uzaktan kontrolle düzenlenebilmekte; araçlar ihtiyaç halinde birer mobil bilgi ağı haline gelebilmektedir (Deloitte, 2024; Tektaş, 2022). Özel sektör bu tür yazılım yetkinliklerini her geçen gün artırmaktadır.

Sadece Tesla değil, Volkswagen Grubu, Hyundai, BMW gibi büyük üreticiler de otonom sürüş, yapay zekâ destekli yol analizi, V2X (araçtan her şeye iletişim) gibi mühendislik alanlarında Ar-Ge yatırımlarına hız vermektedir. Bu yatırımlar, afet anında araçların merkezi sistemle koordinasyonunu kolaylaştırmakta ve toplu hareket kabiliyeti sunmaktadır (McKinsey & Company, 2023).

Elektrikli araç üretimi yapan firmaların, ürün gamlarını yalnızca bireysel tüketiciye değil aynı zamanda kamu kurumlarına ve acil durum servislerine yönelik çeşitlendirmeye başladığı da gözlemlenmektedir. Özellikle Renault, Mercedes-Benz ve Toyota gibi firmalar, ambulans, itfaiye, belediye hizmet araçları gibi segmentlerde elektrikli çözümler geliştirmektedir. Bu durum afet dönemlerinde kullanılan araç altyapısının dönüşeceğine işaret etmektedir (International Energy Agency, 2024).

Ayrıca bazı firmalar, modüler enerji taşıyıcı sistemler geliştirerek araçlarını birer jeneratör gibi kullanma olasılığını artırmaktadır. Örneğin, Toyota'nın Japonya'daki afetlere hazırlık protokolü kapsamında geliştirdiği mobil enerji araçları, doğrudan evlere veya altyapıya enerji sağlamaktadır (Liu, Dai, Lin, Wang, Li, Lian, ve Li, 2023). Bu gelişmeler, V2L ve V2G sistemlerinin özel sektör tarafından sahiplenildiğini göstermektedir.

Üretim yatırımlarının bölgesel dağılımına bakıldığında, birçok üreticinin Güneydoğu Asya, Orta Avrupa ve Kuzey Afrika gibi stratejik bölgelerde yeni tesisler kurduğu görülmektedir. Bu yatırımlar, sadece pazar erişimi için değil aynı zamanda tedarik zinciri güvenliği açısından kritik öneme sahiptir (PwC Strategy&, 2023). Bu zincirler, afet dönemlerinde lojistik destek için alternatif ağlar oluşturulmasına katkı sunmaktadır.

Bu firmaların büyük çoğunluğu aynı zamanda elektrikli araç üretim oranlarını artırmak üzere içten yanmalı araçlardan çekilmektedir. 2023 verilerine göre Volkswagen'in ürettiği her üç araçtan biri elektrikli iken, Çin'de bu oran bazı markalarda yüzde 70'i aşmıştır (IEA, 2024). Bu oranlar, birkaç yıl içinde sahada afet müdahale sistemlerine entegre edilebilecek elektrikli araç sayısının hızla artacağını göstermektedir.

Sektörde gözlenen bir diğer önemli eğilim ise otomotiv şirketlerinin teknoloji şirketleriyle iş birliklerine yönelmesidir. Apple, Xiaomi gibi firmaların kendi elektrikli araç projelerine başlaması, teknoloji tabanlı çözümlerin doğrudan otomotiv sektörüne entegre edileceğini göstermektedir (McKinsey & Company, 2023). Bu durum, yazılım-mühendislik bütünlüğü açısından afet senaryolarına daha sofistike çözümler üretme potansiyelini barındırmaktadır.

Türkiye özelinde TOGG'un yanında Karsan, Ford Otosan gibi üreticilerin de elektrikli minibüs, otobüs ve ticari araçlara odaklandığı görülmektedir. Bu üretim eğilimleri, hem yurtiçinde hem de ihracat pazarlarında Türkiye'yi önemli bir üretim üssü haline getirmektedir (Oğuz, 2022). Bu tür yerli yatırımlar, afet anında kullanılabilecek filo araçlarının erişilebilirliğini artırmaktadır.

Özellikle Çin'deki özel sektör aktörlerinin agresif büyüme stratejileri, küresel elektrikli araç pazarındaki rekabet dinamiklerini doğrudan değiştirmiştir. BYD gibi firmalar, sadece üretim kapasitesi açısından değil, aynı zamanda batarya teknolojileri, modüler platform geliştirme ve ihracat odaklı stratejilerle pazar paylarını artırmaktadır (International Energy Agency, 2024).

Birçok özel sektör firması, yalnızca araç üretimiyle değil, aynı zamanda batarya geri dönüşüm tesisleri ve ikinci yaşam batarya çözümleriyle de sürdürülebilirlik odaklı yatırımlar gerçekleştirmektedir. Bu uygulamalar, afet dönemlerinde enerji arzının sürekliliğini sağlamak için oldukça kritik bir potansiyel sunmaktadır (Ünsal, 2022; Wang, Tian, Sun, Wang, Xu, Li, ve Chen, (2020).

Elektrikli araç üretimi konusundaki küresel rekabet, firmaları verimlilik ve teknoloji üstünlüğü yarışına sürüklemiştir. Bu stratejik çeşitlilik, afet dönemlerinde ulaşım altyapısının farklı ihtiyaçlarına cevap verebilecek model gamı oluşturulmasını sağlamaktadır (Mock & Yang, 2014; Hardman, Shiu & Steinberger-Wilckens, 2015).

Sonuç olarak, özel sektör yatırımlarının hacmi, teknolojik derinliği ve stratejik yönelimi, elektrikli araçların afetlerde hem ulaşım aracı hem de enerji kaynağı olarak kullanılması fikrini

desteklemektedir. Küresel üretim hedeflerinin büyüklüğü ve sektördeki teknoloji odaklı yönelimler dikkate alındığında, bu alanda geliştirilecek çözümlerin sahada karşılık bulma ihtimali oldukça yüksektir.

3.3 İklim Krizi

İklim krizi, yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve teknolojik boyutlarıyla küresel ölçekte etkisini artıran çok boyutlu bir sorundur. Sanayi Devrimi ile birlikte başlayan fosil yakıt kullanımındaki artış, atmosferdeki sera gazı birikimini dönüşümü mümkün olmayan şekilde arttırmış ve özellikle son yüzyılda küresel sıcaklık artışına neden olmuştur. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2018 tarihli özel raporunda, küresel sıcaklık artışının sanayi öncesi döneme kıyasla 1,5 °C'yi aşmasının geri dönüşü olmayan ekolojik etkiler doğurabileceği konusunda uyarmıştır. Bu artış, buzulların erimesinden, deniz seviyesinin yükselmesine, kuraklık ve aşırı yağış gibi hava olaylarının sıklaşmasına kadar geniş bir yelpazede etkiler yaratmaktadır (IPCC, 2018; 2023). Özellikle son on yılda yaşanan seller, orman yangınları ve sıcak hava dalgaları bu durumun doğrudan sonuçları olarak değerlendirilmektedir.

G20 ülkeleri, küresel karbon emisyonlarının yaklaşık %80'inden sorumludur ve bu nedenle iklim krizine karşı yürütülen mücadelede merkezi aktörler konumundadır. Bu ülkeler arasında yer alan Arjantin, Avustralya, Brezilya, Kanada, Çin, Fransa, Almanya, Hindistan, Endonezya, İtalya, Japonya, Kore Cumhuriyeti, Meksika, Rusya, Suudi Arabistan, Güney Afrika, Türkiye, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri; Paris Anlaşması doğrultusunda çeşitli Ulusal Katkı Beyanları (NDC) sunmuşlardır. Ancak yapılan araştırmalar, bu ülkelerin çoğunun verdiği taahhütlerin 1,5 °C hedefiyle uyumlu olmadığını ortaya koymaktadır (Climate Analytics, 2023; Climate Action Tracker, 2024). Çin, ABD ve Avrupa Birliği gibi ülkeler belirli alanlarda yenilenebilir enerji yatırımlarını artırırken; Suudi Arabistan, Rusya ve Avustralya gibi fosil yakıtlara dayalı ekonomiler bu dönüşüme daha mesafeli yaklaşmaktadır (Climate Transparency, 2022).

Bazı ülkeler, özellikle karbon nötr hedefler belirleme konusunda önemli adımlar atmıştır. Örneğin Avrupa Birliği ve Birleşik Krallık 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefini yasa ile güvence altına almış; Japonya, Kore Cumhuriyeti ve Kanada da benzer hedefler açıklamıştır. Çin ise 2060, Hindistan ise 2070 yılını hedef göstermiştir. Öte yandan, gelişmekte olan ülkelerde bu geçişin adil şekilde sağlanabilmesi için finansal ve teknolojik destek mekanizmaları üzerinde durulmaktadır. Bu bağlamda, United Nations (2023) verilerine göre, özellikle Afrika ve Güney

Asya ülkeleri için iklim adaptasyon fonlarının artırılması hayati önem taşımaktadır. Climate and Development Outlook (2022) raporu da, 2000’li yıllardan bu yana G20 ülkelerinin iklim politikalarının sayısal artış gösterdiğini, ancak birçok ülkenin uygulama ve denetleme aşamasında ciddi zayıflıklar yaşadığını belirtmektedir.

İklim krizinin bir diğer kritik boyutu, afetlerin sayısındaki ve şiddetindeki artıştır. IPCC 2023 Değerlendirme Raporu, küresel ısınmanın doğrudan etkisiyle doğal afetlerin hem sıklığının hem de yoğunluğunun arttığını bilimsel verilerle ortaya koymuştur. Aşırı sıcaklar, orman yangınları, seller, fırtınalar ve uzun süreli kuraklıklar, artık yalnızca belirli bölgeleri değil, tüm gezegeni tehdit eden olağan afet türleri haline gelmiştir. Bu nedenle afet yönetimi politikalarıyla iklim eylem planlarının birlikte değerlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir (IPCC, 2023; UN Climate Reports, 2023). Akıllı ulaşım sistemleriyle entegre edilen düşük emisyonlu araç çözümleri, hem karbon salımını azaltmak hem de afet anlarında çevresel sürdürülebilirlik sağlamak açısından stratejik bir rol üstlenmektedir.

3.3.1 İklim Krizi ve Elektrikli Araç İhtiyacı

İklim krizi, insanlık tarihinin karşı karşıya kaldığı en kapsamlı ve çok boyutlu tehditlerden biri olarak küresel gündemi şekillendirmektedir. Özellikle karayolu taşımacılığı sektörü, toplam sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturarak bu kriz üzerindeki etkisini artırmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçlar, ulaşım kaynaklı karbon salımının azaltılmasında potansiyel bir dönüm noktası olarak değerlendirilmektedir (Creutzig, Jochem, Edelenbosch, Mattauch, Vuuren, McCollum, ve Minx, 2015; IPCC, 2023).

Elektrikli araçlar, fosil yakıtla çalışan içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha düşük operasyonel karbon salımı sunmalarıyla ön plana çıkmaktadır. Yaşam döngüsü analizleri, elektrikli araçların üretim kaynaklı emisyonlarına göre yüksek olsa da, kullanım aşamasında bu açığı hızla kapatarak çevresel avantaj sağladığını göstermektedir (Hawkins, Singh, Majeau-Bettez ve Strømman, 2013; Ercan, Onat, Tatari, ve Mathias, (2017). Bu durum, özellikle enerji üretiminin yenilenebilir kaynaklara kaydığı ülkelerde daha da belirgin hale gelmektedir.

Küresel ölçekte, birçok ülke sıfır emisyon hedeflerine ulaşmak adına elektrikli araçları teşvik etmekte ve bu doğrultuda yeşil bölgeler (“greenzone”) oluşturulmaktadır. Bu bölgelerde içten yanmalı motorlu araçlara sınırlama getirilerek yalnızca sıfır emisyonlu ulaşım biçimlerine izin verilmekte, böylece şehir içi karbon salımı ve hava kirliliği azaltılmaktadır (IEA, 2024;

Millard-Ball, 2013). Bu uygulama aynı zamanda toplumların elektrikli araçlara yönelmesini tetikleyen mekânsal bir dönüşüm stratejisidir.

Bireysel ve kitlesel kullanıcı davranışları da bu dönüşümde belirleyici rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar, elektrikli araç sahiplerinin büyük ölçüde çevresel sorumluluk bilinci taşıdığını ve düşük karbon ayak izi motivasyonu ile hareket ettiklerini ortaya koymuştur (Axsen ve Sovacool, 2019; Campbell, Ryley ve Thring, 2012). Özellikle genç ve şehirde yaşayan kullanıcılar arasında elektrikli araçların çevreci kimliği, teknolojik çekiciliğin önüne geçmektedir.

Bununla birlikte, elektrikli araçlar dönüşümünün etkili bir iklim çözümüne dönüşebilmesi için enerji altyapısının da yenilenebilir kaynaklarla bütünleşmiş olması gerekmektedir. Fosil yakıtlarla çalışan bir enerji sisteminde elektrikli araçların kullanımı, sınırlı bir iklim faydası yaratmaktadır. Ancak güneş, rüzgar ve hidro gibi yenilenebilir kaynaklarla desteklenen elektrikli araçlar şarj altyapıları sayesinde net karbon salımı ciddi ölçüde azaltılabilmektedir (Yılmaz ve Krein, 2013; OECD/IEA, 2018).

Ulaştırma sektörünün iklim değişikliği üzerindeki etkisi, sadece taşıtların karbon salımıyla sınırlı değildir. Şehir planlaması, yolculuk alışkanlıkları ve enerji yönetimi gibi faktörler de bu etkileşimin parçasıdır. Bu noktada, elektrikli araçların sadece bir ulaşım aracı değil, aynı zamanda sürdürülebilir şehirler vizyonunun da yapı taşı olduğu görülmektedir (Tran, Banister, Bishop ve McCulloch, 2012; Sovacool, Axsen ve Sorrell, 2018). Özellikle akıllı ulaşım sistemleriyle entegrasyonu sayesinde, elektrikli araçlar iklim dostu mobilitenin merkezine yerleşmektedir.

Teşvik mekanizmalarının etkisi de göz ardı edilemez. Norveç örneğinde olduğu gibi, finansal destekler, vergi indirimleri ve otopark avantajları gibi uygulamalar, sıfır emisyonlu araçlara yönelimi hızlandırmakta ve bu sayede ulaşım kaynaklı karbon emisyonlarında gözle görülür düşüşler yaşanmaktadır (Mersky, Sprei, Samaras ve Qian, 2016; Sierzechula, Bakker, Maat ve van Wee, 2014). Benzer politikalar, diğer ülkelerde de karbon azaltımı hedeflerine ulaşmak adına benimsenmektedir.

Elektrikli araçların iklim değişikliğine karşı mücadelede bir çözüm olarak konumlanabilmesi için teknolojik gelişmelerin de paralel ilerlemesi önemlidir. Batarya ömrünün uzaması, şarj sürelerinin kısalması ve maliyetlerin düşmesi gibi teknik gelişmeler, elektrikli araçların daha geniş kitleler tarafından benimsenmesini kolaylaştırmaktadır (Delucchi ve Lipman, 2001; Noori, Gardner ve Tatari, 2015). Bu gelişmeler, aynı zamanda karbon emisyonlarının daha hızlı azaltılmasına katkı sunmaktadır.

Karbon azaltım hedeflerine ulaşmak adına sektörel bazda planlama yapılması gereklidir. Ulaştırma sektörüne yönelik sera gazı azaltım eğrileri, elektrikli araçların diğer alternatif

teknolojilerle kıyaslandığında daha etkili ve uygulanabilir olduğunu göstermektedir (Lutsey ve Sperling, 2009). Özellikle şehir içi ulaşımında kısa mesafe kullanımının yaygınlığı, elektrikli araçların etkinliğini artıran başlıca faktörlerden biridir.

Elektrikli araçların çevresel etkilerinin değerlendirildiği yaşam döngüsü analizleri, bu araçların üretim ve geri dönüşüm aşamalarında da sürdürülebilirlik prensiplerine uygun olarak geliştirilmesinin zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır. Üretimde kullanılan lityum, kobalt gibi hammaddelerin çıkarım süreçleri ve geri kazanım yöntemleri, iklim hedeflerinin başarısını doğrudan etkilemektedir (Hawkins, Singh, Majeau-Bettez ve Strømman, 2013; Ercan, Onat, Tatari, ve Mathias, (2017).

Şehir ölçekli iklim eylem planları çerçevesinde geliştirilen ulaşım politikaları, elektrikli araçların entegrasyonunu hızlandırmakta ve bu araçları sadece bireysel değil, kamusal kullanım alanlarında da yaygınlaştırmaktadır. Toplu taşıma filolarının elektrikliye dönüştürülmesi, karbon salımını hızlı ve etkin biçimde azaltabilecek stratejik bir adımdır (Millard-Ball, 2013; IEA, 2024).

Sonuç olarak, elektrikli araçlar sadece bir teknolojik yenilik değil; aynı zamanda küresel iklim hedeflerinin gerçekleştirilmesi için stratejik bir araçtır. Sıfır emisyon politikalarının sahadaki uygulayıcısı olan elektrikli araçlar, hem enerji geçişinde hem de toplumsal farkındalığın artmasında kritik rol oynamaktadır. Bu bağlamda, iklim krizine karşı geliştirilen bütüncül çözümler içinde elektrikli araçlar konumu her geçen gün daha da merkezî hâle gelmektedir (Creutzig, Jochem, Edelenbosch, Mattauch, Vuuren, McCollum, ve Minx, 2015; IPCC, 2023).

3.3.2 Afet ve İklim Krizi İlişkisi

Küresel iklim değişikliği, yalnızca sıcaklık artışları veya deniz seviyesi yükselmesiyle sınırlı olmayan; çok daha geniş bir yelpazede, afetlerin sıklığını, şiddetini ve coğrafi dağılımını etkileyen karmaşık bir süreçtir. Bu dönüşüm, doğrudan ve dolaylı yollarla doğal afetlerin karakterini değiştirmekte ve afet riskini hem birey hem de toplum düzeyinde daha öngörülemez hâle getirmektedir (IPCC, 2021; WWF, 2024).

Özellikle tropikal fırtınalar ve kasırgalar, iklim krizinden en fazla etkilenen afet türlerinden biridir. Sıcak okyanus yüzeyi sıcaklıkları, bu tür sistemlerin enerji kaynağını oluşturmakta; dolayısıyla artan deniz suyu sıcaklıkları, daha yoğun ve uzun ömürlü kasırgalara zemin hazırlamaktadır. Kossin, Knapp, Olander ve Velden (2020) tarafından yapılan analizde, yüksek kategoriye ulaşan siklonların hem sıklığının hem de hızla şiddetlenme ve yoğunlaşma eğiliminin son 40 yılda belirgin biçimde arttığı ortaya konmuştur.

Sel ve su taşkınları, artan yağış rejimleri ve iklim kaynaklı düzensizliklerle birlikte daha sık ve yıkıcı hâle gelmiştir. Özellikle şehirleşmiş alanlarda yetersiz drenaj altyapıları ile birleştiğinde bu afet türü, hem can hem de mal kaybı açısından kritik sonuçlar doğurmaktadır. Alderman, Turner ve Tong (2012) tarafından yapılan sistematik derlemede, taşkınların yalnızca altyapıyı değil, su kaynaklı hastalıklar yoluyla halk sağlığını da ciddi biçimde tehdit ettiği vurgulanmaktadır.

Kuraklık, iklim değişikliğiyle doğrudan ilişkili olan bir diğer afet türüdür. Azalan yağışlar, buharlaşmadaki artış ve toprak neminde yaşanan kayıplar, tarım verimliliğini düşürmekte, içme suyu kaynaklarını sınırlamakta ve gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Cook, Mankin ve Anchukaitis (2018) bu bağlamda, son 70 yılda kuraklıkların hem şiddet hem de süre açısından belirgin biçimde arttığını tespit etmiştir.

Aşırı sıcak hava dalgaları, küresel ortalama sıcaklığın yükselmesiyle birlikte daha uzun süreli ve daha yaygın şekilde yaşanmaktadır. Bu tür hava olayları yalnızca sağlık üzerinde değil, enerji sistemleri, ulaşım altyapısı ve toplumsal düzen üzerinde de doğrudan etkiler yaratmaktadır. IPCC (2021) raporuna göre, ölümcül sıcak hava dalgalarının hem sıklığında hem de mekânsal yayılımında ciddi bir artış söz konusudur.

Orman yangınları, sıcak hava dalgalarıyla bağlantılı olarak artış göstermektedir. Artan sıcaklıklar ve azalan nem oranları, yanıcı madde yükünü artırmakta ve kontrol altına alınması zor yangınlara neden olmaktadır. Jones, Smith, Betts, Canadell, Prentice, Quéré, (2020), iklim krizinin yangın sezonlarını uzattığını ve yangın sıklığını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Bu durum, ekosistem tahribatının yanı sıra halk sağlığı ve yerleşim yerleri açısından da ciddi riskler oluşturmaktadır.

Fırtına, dolu ve hortum gibi şiddetli hava olayları da iklim değişikliğinden doğrudan etkilenmektedir. Okyanus ısınması ve atmosferdeki nem içeriğinin artışı, bu tür ani ve yoğun hava olaylarının meydana gelmesini kolaylaştırmaktadır. Tom Miles (2017) tarafından yapılan analizde, Harvey Kasırgası'nın taşıdığı yağış miktarının, iklim değişikliğine bağlı olarak yaklaşık %20 daha fazla olduğu hesaplanmıştır.

Çığ ve kaya düşmeleri gibi jeofiziksel afetler de iklimle ilişkili değişimlerden etkilenmektedir. Artan sıcaklık, kar örtüsünün dengesini bozmakta ve yüksek eğimli alanlarda çığ riskini artırmaktadır. Aynı zamanda, donma-çözülme döngülerindeki dengesizlikler kaya düşmelerinin de sıklığını artırmaktadır (PBS, 2022).

Toprak kaymaları da özellikle şiddetli yağışların artışıyla tetiklenen afetler arasında yer almaktadır. Yamaç bölgelerinde zayıf zemin yapısı ve ormansızlaşma gibi insan kaynaklı

faktörlerle birleşen yağış artışı, bu afet türünü daha sık ve yıkıcı hâle getirmektedir. IPCC (2021) raporlarında, tropikal bölgelerde bu tür olayların artışına dair güçlü bulgular sunulmuştur.

Volkanik aktivite doğrudan iklim değişikliğiyle ilişkilendirilmese de, volkanik patlamalar sonrası yaşanan bölgesel iklim değişikliklerinin, ikincil afetleri tetikleme riski taşıdığı belirtilmektedir. Ayrıca buzulların erimesiyle üzerindeki basıncın kalkması, bazı uzmanlar tarafından volkanik aktiviteyi tetikleyici bir etken olarak değerlendirilmektedir (WWF, 2024).

Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, hem afet yaşantılarının sıklığı hem de iklim değişikliğine yönelik farkındalık artışı kayda değerdir. Besinli Memiş (2024), sosyal medya verilerini inceleyerek afet sonrası kamuoyunda iklim değişikliği algısının yükseldiğini ortaya koymuştur. Bu durum, afet-iklim ilişkisinin yalnızca fiziksel değil, toplumsal bir yansımasının da bulunduğunu göstermektedir.

Türkiye’de afet yönetimi yaklaşımı da bu bağlamda dönüşüm geçirmektedir. Özlüer (2021), kalkınma planları ve stratejik belgeler üzerinden yaptığı analizde, risk odaklı afet planlamasının ön plana çıktığını ve iklim uyum stratejilerinin afetle mücadelede daha fazla yer bulduğunu belirtmiştir.

TÜBA tarafından yayımlanan raporlar, hidro-meteorolojik afetlerin gelecekteki planlama ve enerji yönetimi açısından yeniden ele alınması gerektiğini göstermektedir. Kadioğlu (2023), afet anında enerjiye erişimin kritikleştiğini ve afet yönetimi sistemlerinin iklim verileriyle entegre çalışmasının zorunlu olduğunu savunmaktadır.

Sonuç olarak, iklim krizi ve afetler arasındaki ilişki çok boyutlu bir etkileşim alanına işaret etmektedir. Bu bağlamda sadece doğa olaylarının şiddetindeki artış değil, bu olayların toplumsal ve sistemik etkileri de göz önünde bulundurularak bütüncül politikalar geliştirilmelidir. Bilimsel veriler, önümüzdeki yıllarda afet risklerinin daha karmaşık hâle geleceğini ortaya koymakta ve erken uyarı sistemleri ile akıllı ulaşım çözümlerinin afet öncesi ve sonrası süreçlerde daha stratejik bir rol üstlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

3.3.3 İklim ve Akıllı Ulaşım Sistemleri İlişkisi

İklim krizinin ulaştırma sistemleri üzerindeki etkisi, yalnızca emisyon üretiminden ibaret değildir; aynı zamanda altyapı dayanıklılığı, enerji verimliliği ve kaynak yönetimi gibi pek çok mühendislik parametresi açısından da kritik sonuçlar doğurmaktadır. Bu bağlamda akıllı ulaşım sistemleri, yalnızca bir teknoloji tercihi değil, aynı zamanda iklim krizine karşı dirençli şehirler inşa etmenin stratejik bir aracı olarak değerlendirilmelidir. Cepeliauskaite, Keppner, Simkute,

Stasiskiene, Leuser, Kalnina, ve Muiste (2021), özellikle paylaşımlı mikromobilité çözümlerinin, trafik sıkışıklığını azaltarak fosil yakıt kullanımına olan bağımlılığı önemli ölçüde düşürdüğünü ortaya koymaktadır.

Akıllı ulaşım sistemlerinin iklim krizine karşı sunduğu katkılar, özellikle yapay zekâ destekli trafik yönetiminde belirginleşmektedir. Falconer (2024), ABD şehirlerinde uygulanan yapay zekâ tabanlı trafik sinyal optimizasyonlarının, araç durma sürelerinde %30'a varan azalma sağladığını ve bu durumun hem karbon emisyonlarında hem de hava kalitesinde iyileşme yarattığını bildirmektedir. Buradaki teknik mantık, araçların rölantide geçirdiği süreyi azaltarak, yanma sürecini kısaltmak ve böylece partikül madde üretimini sınırlandırmaktır.

Çin şehirleri üzerine yapılan kapsamlı bir çalışmada, akıllı ulaşım politikalarının bölgesel karbon emisyonları üzerindeki etkisi zamansal ve mekânsal olarak analiz edilmiştir. Lu, Xiao, Jiao, Du, Huang, (2024) tarafından geliştirilen model, özellikle merkezi ilçelerde uygulanan akıllı ulaşım sistemleri stratejilerinin, CO₂ emisyonlarında belirgin azalmaya yol açtığını doğrulamaktadır. Araç-yol-bulut entegrasyonuna dayalı sistemlerde, veri akışının gerçek zamanlı sağlanması sayesinde seyahat süresi ve dur-kalk davranışları optimize edilmekte, bu da doğrudan enerji verimliliğini artırmaktadır.

Birleşmiş Milletler Asya-Pasifik Ekonomik ve Sosyal Komisyonu (ESCAP, 2021) tarafından yayımlanan raporda, Güney Kore'nin Seul kentinde uygulanan akıllı otobüs bilgi sistemlerinin sera gazı emisyonlarını yıllık bazda %12 oranında düşürdüğü bildirilmektedir. Bu tür sistemlerin başarısı, yüksek frekanslı veri işleme, dinamik güzergâh planlama ve toplu taşımanın cazibesini artırma gibi mühendislik temelli yaklaşımlarla doğrudan ilişkilidir. Ayrıca, yolculukların özel araçlardan toplu taşımaya kaymasıyla birlikte, şehir içi mobilitenin karbon yoğunluğu azalmaktadır.

Rinchi, Alsharoa, Shatnawi ve Arora (2024), yapay zekâ destekli akıllı ulaşım sistemlerinin enerji tüketimi ve emisyon azaltımı üzerindeki etkilerini çok katmanlı olarak analiz etmektedir. Bu analizde, araç düzeyinden sistem düzeyine kadar farklı senaryolarda enerji verimliliği artışları ortaya konulmakla birlikte, bu kazanımların talep artışıyla dengelenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Örneğin, seyahat konforu ve hızının artmasıyla bireysel taşıt kullanımının yeniden cazip hâle gelmesi, sistem düzeyinde karbon avantajlarını azaltabilir. Dolayısıyla akıllı ulaşım sistemleri çözümleri geliştirilirken, hem mühendislik hem de kullanıcı davranışı perspektiflerinden bütünsel bir yaklaşım zorunlu hâle gelmektedir.

3.4 Afetler ve Acil Durumlar

Afet, insan yaşamını, altyapıyı, çevreyi ve ekonomik düzeni ciddi ölçüde etkileyen doğal ya da insan kaynaklı olaylardır. Afetlerin mühendislik perspektifinden tanımı, yalnızca olayın kendisini değil, sistemlerin bu olaylara verdiği tepkiyi de içerir. Bu bağlamda afet, belirli bir mühendislik sisteminin örneğin bir ulaşım altyapısının, enerji şebekesinin veya iletişim ağının olağan dışı stres altında performansını kaybettiği eşik noktası olarak da değerlendirilebilir. Afetin etkisi, yalnızca fiziksel yıkımla sınırlı olmayıp, aynı zamanda sistem sürekliliği, müdahale hızı ve yeniden toparlanma kapasitesi üzerinden ölçülür.

Bu tez bağlamında afet kavramı, elektrikli araçların enerji kaynağı olarak kullanılma potansiyeliyle doğrudan ilişkilidir. Afet sonrası dönemlerde sabit enerji altyapısının hasar görmesi, özellikle ilk 72 saatlik kritik müdahale sürecinde mobil enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacı ön plana çıkarmaktadır. Elektrikli araçlar, bu noktada sadece bir ulaşım aracı değil, aynı zamanda hareketli enerji jeneratörleri olarak da değerlendirilmelidir. Bu bağlamda afetler, mühendislik sistemlerinde esneklik, özerklik ve çok işlevlilik gibi kavramların önemini artırmakta; elektrikli araçlar ise bu kavramların sahada karşılık bulduğu somut çözümler sunmaktadır.

Bu tezde afet, sadece bir arka plan olgusu değil, mühendislik çözümlerinin işlevselliğini test eden dinamik bir senaryo olarak ele alınmaktadır. Elektrikli araçların afet sonrası enerji temini amacıyla nasıl kullanılabileceği; teknolojik yeterlilik, uygulama senaryoları ve sistem entegrasyonu boyutlarıyla analiz edilecektir. Böylece afet kavramı, yalnızca zarar üreten bir tehdit değil, aynı zamanda akıllı ulaşım sistemlerinin ve elektrikli araç teknolojilerinin kriz koşullarındaki potansiyelini sınavan kritik bir mühendislik bağlamı olarak işlenmektedir.

3.4.1 Afet Çesitleri

Afetler, fiziksel doğası, etkilediği altyapı bileşenleri ve ortaya çıkardığı enerji ihtiyaçları bakımından birbirinden önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar, afet yönetimi kapsamında geliştirilecek mühendislik çözümlerinin de tek tip olmaktan çıkarak, afet türüne göre özelleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu tez bağlamında özellikle elektrikli araçların afet sonrası enerji sağlayıcı sistemler olarak değerlendirilmesinde, her afet türünün yarattığı koşulların teknik olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Örneğin bir deprem sonrası karayolu altyapısının zarar görmesi, elektrikli aracın mobilite işlevini sınırlarken, yangın gibi yüksek sıcaklık içeren senaryolarda batarya güvenliği ön plana çıkmakta; sellerde ise araçların suya dayanıklılık

kapasitesi belirleyici olmaktadır. Dolayısıyla afetin türü, elektrikli aracın hangi sistem özelliğiyle öne çıkacağını doğrudan etkilemektedir.

Bu nedenle çalışmanın devamında afetler, yedi temel başlık altında sınıflandırılarak incelenecektir: depremler, seller ve su taşkınları, toprak kaymaları ve kaya düşmeleri, çığ, fırtına ve hortumlar, volkanik patlamalar ve yangınlar. Bu sınıflandırma, elektrikli araçların her bir afet türü karşısında üstlenebileceği potansiyel rolleri teknik detaylarıyla analiz edebilmek adına gereklidir. Böylece, yalnızca afetin genel etkileri değil, elektrikli araç sistemleriyle kurduğu bağlam üzerinden, mühendislik temelli özgün değerlendirmelere ulaşılması amaçlanmaktadır

3.4.1.1 Deprem

Depremler, yer kabuğundaki fay hatlarının ani hareketi sonucu oluşan sismik olaylardır ve genellikle kısa sürede büyük ölçekte yıkıcı sonuçlar doğururlar. Bu doğal afet türü, yalnızca yapı stoğunu değil, aynı zamanda ulaşım altyapısını, enerji şebekelerini ve iletişim sistemlerini de önemli ölçüde etkileyerek toplumun genel işleyişinde ciddi kesintilere yol açar. Özellikle büyük şehir merkezlerinde yaşanan depremler, karayollarında çökme, tünel ve köprülerde hasar, elektrik iletim hatlarında kopma gibi mühendislik temelli zararlar ortaya çıkarır. Dowell ve Maheshwari (2000), depremlerin enerji şebekelerinde neden olduğu sistematik hasarların, yeniden yapılandırma süreçlerinde karmaşık mühendislik senaryoları gerektirdiğini belirtmektedir. Bu durum, kriz anında yalnızca fiziksel erişimi değil, enerji teminini ve haberleşme altyapısını da sekteye uğratır.

Depremler, taşıt sistemlerini de doğrudan etkiler. Özellikle açık otoparklarda veya yol kenarlarında park halinde bulunan araçlar, yapısal çöküntüler veya devrilen nesneler nedeniyle zarar görebilir. Elektrikli araçlar özelinde değerlendirildiğinde, bu tip olayların yüksek voltajlı batarya paketlerine mekanik hasar riski oluşturabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Cheng, Liu, ve Nozick, (2024), deprem sonrası elektrikli araç sahiplerinin şarj noktalarına yönelme davranışını simüle eden bir modelde, trafik tıkanıklığının ve enerji erişimi için rekabetin ciddi seviyelere ulaştığını ortaya koymuştur. Ayrıca enerji şebekesi zarar gördüğünde, geleneksel şarj altyapısının devre dışı kalmasıyla mobil şarj çözümlerine olan ihtiyaç artmaktadır.

Elektrikli araçların deprem sonrası senaryolarda oynayabileceği rol, yalnızca bireysel mobilite ile sınırlı değildir. Babaeia, ve Wonga, (2024), acil tahliye planlamalarında elektrikli araçların düşük gürültü, sıfır emisyon ve ileri enerji yönetim sistemleriyle önemli bir lojistik alternatif sunduğunu belirtmektedir. Ancak bu potansiyelin hayata geçirilebilmesi için hem şarj

altyapısının afet öncesi dönemde stratejik biçimde planlanmış olması hem de araçların çift yönlü enerji iletim teknolojileri (V2G, V2L vb.) ile donatılmış olması gerekmektedir. Bu bağlamda, elektrikli araçlar yalnızca ulaşım aracı değil, aynı zamanda acil durum jeneratörü işlevi görebilecek mühendislik sistemleri olarak değerlendirilmelidir.

Depremler yalnızca fiziksel altyapıyı değil, aynı zamanda bireylerin zihinsel ve bedensel sağlığını da derinden etkiler. Afet sonrası dönemde afetzedelerde yaygın biçimde görülen travma sonrası stres bozukluğu (TSSB), karar verme, işbirliği kurma ve toplumsal dayanışmaya katılma gibi bilişsel süreçleri olumsuz etkileyebilir. Çınaroğlu, M. (2024), Kahramanmaraş merkezli depremler sonrası kadınlarda ve çocuklarda TSSB görülme oranının erkeklerden anlamlı derecede yüksek olduğunu istatistiksel verilerle desteklemektedir. Bu tür psikolojik etkiler, bireylerin hem kendi yaşamlarını kurtarma hem de çevrelerindeki diğer afetzedelere destek verme kapasitesini sınırlayabilir. Özmen ve Sağlam (2023), Türkiye-Suriye deprem sahasında yapılan gözlemlerle, psikolojik ilk yardımın en az fiziksel kurtarma faaliyetleri kadar kritik olduğunu vurgulamaktadır.

3.4.1.2 Seller, Su Taşkınları

Seller ve su taşkınları, ani ve yoğun yağışların drenaj sistemlerinin taşıma kapasitesini aşması sonucunda meydana gelen, kent içi altyapı, ulaşım ağları ve yerleşim alanları üzerinde yıkıcı etkiler yaratan afet türleridir. Özellikle topoğrafik olarak çukurda kalan bölgelerde, taşkın suları kısa sürede yolları, alt geçitleri ve ulaşım arterlerini işlevsiz hâle getirebilmektedir. Rajput, Nayak, Dong ve Mostafavi (2023), kentsel taşkınların ardından trafik sürelerinin %8 ila %10 oranında arttığını ve ağ kesintilerinin rotalama algoritmaları üzerinde kritik stres oluşturduğunu göstermektedir. Su taşkınları yalnızca taşıtların hareket kabiliyetini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda şehir içi acil müdahale ve lojistik operasyonların etkinliğini de önemli ölçüde sınırlar.

Taşkınlar, konvansiyonel araçların yanı sıra akıllı ulaşım altyapısını da doğrudan etkiler. Trafik ışık kontrol sistemleri, otoyol bilgi panoları, yer sensörleri ve şarj istasyonları gibi elektronik donanım unsurları, suya maruz kaldıklarında arızalanabilmekte veya tamamen devre dışı kalabilmektedir. Özellikle yer altı otoparklarında bulunan araçlar, su seviyesi arttığında ciddi mekanik ve elektronik zarara uğrayabilmektedir. PMC (2023) tarafından yapılan çalışmada, sel sonrası Londra'daki halka açık şarj altyapısında erişim mesafesinin ortalama %260 oranında arttığı ve kullanım kapasitesinde kısa vadeli %50 artış yaşandığı saptanmıştır. Bu durum, şehir planlamasında yük dengeleme ve yedekleme sistemlerinin taşkın riskine karşı entegre edilmesini zorunlu kılmaktadır.

Elektrikli araçlar özelinde değerlendirildiğinde, taşkın ortamları batarya sistemleri için önemli güvenlik riskleri taşımaktadır. Tanim ve Prucha (2024) tarafından Hurricane Ian sonrası yapılan teknik çözümleme, batarya paketlerinin iç su sızıntısına karşı yeterli izolasyona sahip olmayan modellerde yangın ve elektrolit kaçağı riski ortaya koymuştur. Su ile temas eden batarya hücreleri, termal kaçak tetikleyicisi hâline gelebilmekte ve bu durum, hem kullanıcı güvenliğini hem de çevresel güvenliğı tehdit etmektedir. Bu nedenle, mühendislik tasarımlarında IP derecelendirmesi, suya dayanıklılık testleri ve acil boşaltma algoritmaları sel senaryoları göz önüne alınarak optimize edilmelidir. Ayrıca, elektrikli araçların yolda kalma riski, kurtarma araçları için rotalama ve önceliklendirme algoritmalarını doğrudan etkilemektedir.

Seller yalnızca altyapıya değil, insan sağlığına da çok boyutlu zarar vermektedir. Taşkın sonrası dönemde bulaşıcı hastalık riski, fiziksel yaralanmalar ve ruhsal bozulmalar birlikte görülmektedir. Song, Atun, Blanford, ve Anthonj, (2025), tarafından yürütölen araştırmada, sel mağdurlarında uzun vadeli anksiyete ve depresyon semptomlarının yaygınlaştığı; özellikle yaşlı bireylerin evlerinden tahliye edilme sürecinde fiziksel ve zihinsel travma yaşadıkları tespit edilmiştir. Buna karşılık, Copernicus NHESS (2019) tarafından yapılan bir saha analizinde, sel sonrası erken müdahale ekiplerine katılan mahalle halkının psikolojik travma düzeylerinin anlamlı ölçüde düşük olduğı belirtilmektedir. Bu durum, yerel toplulukların hem afet sonrası yardım kapasitesine katkı sağlayabileceğini hem de bireysel dayanıklılığı artırabileceğini göstermektedir.

3.4.1.3 Toprak Kaymaları, Kaya Düşmeleri

Toprak kaymaları ve kaya düşmeleri, genellikle yoğun yağışlar, deprem hareketleri veya yapay zemin gevşemesi sonucu oluşan yer değıştirme olaylarıdır. Bu afetler, dik eğimli yamaçlarda toprak ve kaya kütlelerinin ani hareketiyle gerçekleşir ve kısa sürede büyük fiziksel yıkıma neden olabilir. Özellikle kara yolu altyapıları, dağ geçitleri, kırsal ulaşım ağları ve yerleşim alanlarının çevresinde bu afet türü ciddi bir mühendislik riski oluşturmaktadır. Fustos, Abarca-del-Río, Mardones, González, ve Araya, (2020), çalışmasında, yağış kaynaklı kaymalara karşı geliştirilen yapay zekâ destekli erken uyarı sistemlerinin, mühendislik önlem tasarımlarında temel alınması gerektiğı vurgulanmıştır. Bu sistemler, kayma riski taşıyan bölgelerde sensör verilerine dayalı öncül analiz yaparak potansiyel yıkımı azaltmayı hedeflemektedir.

Toprak kaymaları, özellikle ulaşım ağları üzerinde doğrudan ve ani kesintiler yaratır. Yolların tamamen kapanmasına, köprülerin hasar görmesine veya bağlantı yollarının erişilemez hâle gelmesine neden olan bu afet türü, acil müdahale operasyonlarını ve lojistik akışı ciddi ölçüde

aksatır. Rajput, Nayak, Dong ve Mostafavi (2023) tarafından yapılan analizde, kent içi taşkın sonrası yaşanan trafik ağ bozulmalarının, benzer şekilde yamaç çökmeleri ve kaya düşmeleriyle de meydana gelebileceği ve bu tür afetlerin güzergâh dayanıklılığına karşı ciddi tehdit oluşturduğu gösterilmiştir. Mühendislik açıdan değerlendirildiğinde, toprak kayması riski taşıyan bölgelerdeki karayolu projeleri için geoteknik analizlerin erken aşamada yapılması ve acil yönlendirme senaryolarının entegrasyonu zorunlu hâle gelmektedir.

Elektrikli araçlar, toprak kayması ve kaya düşmesi gibi afet türlerinde, hem altyapı zararından hem de çevresel koşullardan kaynaklanan özel risklere maruz kalabilir. Özellikle eğimli bölgelerde bulunan elektrikli araçlar, zemin kaymaları sırasında savrulma, devrilme veya fiziksel sıkışma riski taşır. Bu durum, batarya sistemlerinde yapısal kırılma ve termal kaçak riskini beraberinde getirebilir. Ayrıca, yol kapanıklıkları nedeniyle elektrikli araçların tahliye kabiliyeti düşebilir; bu da enerji yönetimi açısından planlamayı zorlaştırır. Fustos, Abarca-del-Río, Mardones, González, ve Araya, (2020), önerdiği yapay zekâ destekli kayma izleme sistemleri, araç park alanlarının ve şarj altyapılarının konumlandırılmasında kullanılabilecek stratejik veri üretmektedir. Bu tür teknolojik çözümler, afet riskine karşı dayanıklı şehir planlaması açısından mühendislik çerçevesinde önem arz etmektedir.

Toprak kaymaları ve kaya düşmeleri, bireylerin fiziksel güvenliğini tehdit etmekle kalmaz, aynı zamanda psikolojik travmalara ve toplumsal etkilenmelere de yol açar. PLOS Currents Disasters (2013) tarafından yapılan sistematik bir derlemede, bu afetler sonrası yaralanma, ölüm ve belirsizlik ortamının, afetzedelerde kalıcı travmatik stres oluşturduğu belirtilmiştir. Özellikle kırsal bölgelerde yaşanan olaylarda, sağlık hizmetlerine erişim zorluğu ve izolasyon riski, afetzedelerin zihinsel dayanıklılığını azaltmaktadır. PMC (2025) ise, bu tür afetlerin bireylerde uzun süreli anksiyete, depresyon ve sosyal geri çekilme davranışları oluşturabileceğini ortaya koymuştur. Buna karşın, Mukdarut, Chiumento, Dickson, ve Felix, (2017), çalışması, yerel toplumların kurtarma faaliyetlerine katılmasının psikolojik iyileşme sürecine katkı sağladığını ve kolektif dayanıklılığı artırdığını göstermektedir. Dolayısıyla bireylerin afet sonrası sadece mağdur değil, aynı zamanda aktif kurtarma öznesi olarak değerlendirilmesi mühendislik çözümlerinin sosyo-teknik yönünü güçlendirmektedir.

3.4.1.4 Çığ

Çığ, kar kütlelerinin yerçekimi etkisiyle dağ yamaçlarından aşağıya doğru kontrolsüz şekilde kayması sonucu oluşan doğal bir afettir. Özellikle eğimi yüksek, kar tutulumunun yoğun olduğu

bölgelerde, sıcaklık değişimleri, rüzgâr yükleri veya sismik hareketler sonucu kar tabakasının kararsızlaşmasıyla meydana gelir. Türkiye’de özellikle Doğu Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri’nde kış aylarında ciddi risk oluşturan çığ olayları, karayollarının kapanmasına, köy yollarının ulaşım kapanmasına ve zaman zaman can kaybına neden olmaktadır. AFAD (2014), çığların dağ köyleri ve geçit noktaları çevresinde hem nüfus hem de ulaşım açısından önemli bir tehdit oluşturduğunu ve riskli yamaçların eğim/sıcaklık parametreleriyle belirlenebileceğini vurgulamaktadır. Mühendislik açısından çığ, yalnızca fiziksel bir hareket değil, zamanla yarışan müdahale zorunluluğu yaratan ani bir enerji boşalımı olarak da değerlendirilmelidir.

Çığ afetinde karayolu ulaştırması ve park halindeki araçlar doğrudan risk altındadır. Araçlar, çığ kütlesi altında sıkışarak mekanik olarak tahrip olabilir; ayrıca üzerine gelen kütlenin ağırlığıyla deformasyona uğrayabilir. Bu durum yalnızca araç gövdesine değil, içerisindeki elektronik bileşenlere de zarar verebilir. Antolini, Aiassa, ve Barla (2019), kar kütlesi hareketinin yapısal sistemlere etkisinin erken algılanmasında sismik, akustik ve termal sensörlerin birlikte kullanılması gerektiğini belirtmektedir. Özellikle yüksek riskli bölgelerde bu tür teknolojilerin kara yolu boyunca stratejik noktalara entegre edilmesi, afet öncesi uyarı süresini artırarak can ve mal kaybını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Bu bağlamda çığ, mühendislik sistemlerinin erken uyarı, güçlendirme ve acil tahliye planlama başlıklarında yeniden yapılandırılmasını gerekli kılar.

Elektrikli araçlar özelinde değerlendirildiğinde, çığ riski altında bulunmaları, batarya sistemleri açısından hem fiziksel hasar hem de termal dengesizlik riski yaratır. Yüksek basınç altında kalan batarya hücrelerinde deformasyon ve izolasyon kaybı yaşanabilir. Hohlrieder, Brugger, Schubert, Pavlic, Ellerton, & Mair (2007), çığ altında kalan araçlardaki bireylerin hipotermiye karşı savunmasız olduğunu ve bu durumun yalnızca yolcuların değil, araç içi batarya sistemlerinin de performansını etkileyebileceğini ortaya koymuştur. Buna karşılık, elektrikli araçların düşük sıcaklıkta çalışma senaryolarına uyarlanmış modellerinde ısı yalıtım teknolojilerinin çığ gibi afet koşullarında avantaj sağladığı da gözlemlenmektedir. Bu durum, araçların sadece ulaşım değil, afet sonrası geçici yaşam alanı ve enerji kaynağı olarak da değerlendirilmesini mümkün kılar.

Çığ afeti, mağdurların fiziksel olarak hayatta kalmasını zorlaştıran doğrudan baskılara ve psikolojik olarak karar verme sürecini etkileyen stres faktörlerine sahiptir. Landrø, Hetland, Engeset, ve Pfuhl (2020), çığ altında kalan bireylerin bilinç kaybı, panik ve hipoksik koşullar altında hayatta kalma reflekslerinin zayıfladığını ve bu durumun kurtarma başarı oranını düşürdüğünü belirtmiştir. Stethem, Jamieson, Schaerer, Liverman, Germain, ve Walker (2003), ise, kurtarma ekiplerinin zaman baskısı altında verdiği kararların ve doğru yönlendirme yapabilen

bireylerin varlığının, çığ altında kalma süresini doğrudan etkilediğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda çığ, yalnızca fiziksel bir afet değil; aynı zamanda insan zihninin stres altındaki kapasitesini sınavan, çok boyutlu bir kriz ortamı yaratmaktadır. Toplum içi dayanışma, kurtarma sürecine katılım ve psikolojik dayanıklılık, mühendislik çözümleri kadar önemlidir.

3.4.1.5 Fırtınalar, Hortumlar

Fırtınalar ve hortumlar, genellikle düşük basınç merkezlerinde oluşan ani ve şiddetli hava hareketleriyle meydana gelir. Özellikle atmosferik dengesizliklerin yoğunlaştığı dönemlerde, kısa sürede yüksek hızlara ulaşan rüzgârlar, yapısal sistemler üzerinde büyük yıkıma neden olabilir. Fırtınalar geniş alanları etkileyerek çatıların uçmasına, enerji nakil hatlarının kopmasına ve kara yolu ulaşımında ciddi engellere sebep olurken; hortumlar, dar bir alanda yüksek yıkım gücüyle özellikle yerleşim yerlerini hedef alır. Hertbig ve diğerleri (2024), fırtınalara karşı altyapısal dirençte meteorolojik veri analitiği, yapısal sürdürülebilirlik ve enerji sürekliliğinin temel mühendislik parametreleri olduğunu belirtmiştir. Bu tür hava olayları, sadece doğrudan yapısal zararlar değil, aynı zamanda kritik sistemlerin devre dışı kalmasıyla da afet karakteri kazanır.

Fırtına ve hortumların taşıtlara etkisi, rüzgâr hızının fiziksel kuvvet üretmesiyle doğrudan ilişkilidir. Yolda seyir hâlindeki veya park hâlindeki araçlar, fırlayan cisimlerin çarpması, devrilme riski ya da ağaç/direk gibi ağır yapı elemanlarının düşmesi gibi durumlarla karşı karşıya kalabilir. Altyapı sistemlerinde ise trafik ışıkları, akıllı yönlendirme panoları ve yol sensörleri devre dışı kalabilir. Özgüven ve ekibi (2024), ABD’de yaşanan hortumların ardından trafik ağlarının %12 oranında devre dışı kaldığını ve acil müdahale sürelerinin bu nedenle %18 oranında uzadığını göstermektedir. Bu veriler, ulaşım planlamasında fırtına dayanımı yüksek malzeme kullanımı ve rotalama algoritmalarının afet senaryolarına göre güncellenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Elektrikli araçlar açısından fırtına ve hortumlar, şarj altyapısının sürekliliği ve enerji erişimi açısından kritik riskler doğurur. Elektrik kesintileri, şarj istasyonlarının çalışmasını doğrudan etkileyebilirken, araç içi batarya sistemlerinin çevresel etkilere karşı korunmasız kalması durumunda termal ve yapısal stres artabilir. Bununla birlikte, çift yönlü enerji aktarımı yapan sistemlerde, elektrikli araçlar enerji yedeği sağlayarak çevresel riskin azaltılmasına katkı sunabilir. Hertbig ve diğerleri (2024), bu bağlamda elektrikli araçların afet dayanıklılığını artırıcı bir faktör olabileceğini ve bu sistemlerin mikro şebeke altyapısına entegre edilmesinin enerji sürekliliği açısından önemli bir strateji olduğunu vurgulamıştır. Dolayısıyla bu tür afetlerde elektrikli araçlar hem risk taşıyan bir nesne hem de çözümün parçası olabilir.

İnsanlar açısından fırtına ve hortumlar, yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda ciddi psikolojik etkiler de bırakmaktadır. Hortumlara maruz kalan bireylerde post-travmatik stres bozukluğu, anksiyete ve sosyal izolasyon gibi durumlar yaygın olarak gözlemlenmektedir. Weather, Climate, and Society (2023) dergisinde yayımlanan nitelikli saha araştırması, hortum mağdurlarının yaşadığı belirsizlik ve kontrol kaybı hissinin uzun süreli zihinsel etkiler yarattığını göstermektedir. Buna karşılık, Scientific Reports (2025) ve PMC (2023) çalışmaları, afet sonrası sosyal destek ağlarının, bireylerin psikolojik dayanıklılığını artırdığını ve bu bireylerin afet yönetimi süreçlerinde aktif roller alabildiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla mühendislik altyapısının güçlendirilmesi kadar, toplumun psikolojik hazırlık düzeyinin artırılması da afetlere karşı dirençli sistemlerin parçası olarak görülmelidir.

3.4.1.6 Volkanlar

Volkanlar, yer kabuğundaki zayıf noktalardan magma, gaz ve lavın yeryüzüne çıkmasıyla meydana gelen doğal afetlerdir. Bu olaylar, jeolojik olarak aktif bölgelerde, tektonik levha hareketlerinin kesişim noktalarında sıkça görülmektedir. Volkanik patlamalar sırasında ortaya çıkan lav, piroklastik akıntı, kül yağmurları ve zehirli gazlar yalnızca canlı yaşamını değil, ulaşım altyapılarını ve kentsel yapıları da ciddi biçimde tehdit etmektedir. Patlamanın gerçekleştiği alana yakın kara yolları, köprüler, iletişim hatları ve elektrik altyapısı, yüksek ısı ve aşındırıcı partiküller nedeniyle işlevsiz hale gelmektedir. Bu afet tipi, yalnızca fiziksel yıkım değil, aynı zamanda uzun süreli çevresel kirlenmeye neden olması açısından da farklı bir boyutta ele alınmalıdır.

Volkanik patlamaların araçlara etkisi, özellikle lavla doğrudan temas, yoğun kül birikimi ve aşırı sıcak hava nedeniyle oldukça yıkıcıdır. Araçların kaporta ve lastik malzemeleri birkaç yüz dereceyi aşan sıcaklıklarda bütünlüğünü hızla kaybederken, camlar patlayabilir, iç mekânlar tamamen yanabilir. Ancak elektrikli araçlar özelinde bu etki, çok daha ciddi bir risk doğurmaktadır. Lityum iyon bataryalar, volkanik sıcaklık koşullarında hızlı şekilde termal kaçak (thermal runaway) reaksiyonuna girer. Energy Storage Materials (2024) dergisinde yayımlanan çalışmada, bu süreçte hidrojen florür, karbon monoksit ve yanıcı organik bileşenler gibi toksik gazların salınımının gerçekleştiği; bu gazların insan sağlığı ve çevre için akut tehdit oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda elektrikli araçlar, lav temasına girdiklerinde yalnızca işlevsiz hale gelmekle kalmaz, aynı zamanda kimyasal bir tehlike kaynağına dönüşür.

Volkanik afetlerde araçlar kullanılamaz hale geldiğinden, elektrikli araçların enerji sağlayıcı veya ulaşım aracı olarak değerlendirilmesi teknik olarak mümkün değildir. Lityum

bataryaların yüksek sıcaklıkla teması sonucunda iç yapılarındaki anot-katot ayrımı bozulmakta, metal iyon sızıntısı başlamaktadır. Szeto, Kumar ve Zhu (2024) tarafından yürütülen çalışmada, ısıya maruz kalan lityum-iyon bataryalarda yerel lityum sızıntısının hücre bozulmasını hızlandırdığı ve batarya paketinin kısa sürede tamamen devre dışı kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum yalnızca bataryanın değil, bataryaya bağlı tüm elektronik kontrol birimlerinin de kaybedilmesi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, volkanik ortama maruz kalan bir elektrikli araç yapısal, kimyasal ve sistemsel açıdan tamamen kullanılamaz hale gelmektedir.

Sonuç olarak, diğer afet türlerinden farklı olarak volkanik patlamalar, elektrikli araçların alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması potansiyelini teknik olarak geçersiz kılmaktadır. Gerek lavın fiziksel tahribat gücü, gerekse bataryalarda tetiklenen kimyasal kaçak ve toksik salınımlar, bu senaryoda elektrikli araçları yalnızca pasif bir risk unsuru haline getirmektedir. Bu nedenle, volkanlar elektrikli araçların afet senaryolarında aktif rol oynayabileceği örnekler arasında değerlendirilememektedir.

3.4.1.7 Yangınlar vb.

Yangınlar, kontrollü veya kontrolsüz şekilde meydana gelen yanma olayları sonucunda can ve mal kaybına, çevresel tahribata ve ulaşım altyapısında ciddi kesintilere neden olan afet türlerinden biridir. Özellikle kentsel bölgelerde çıkan büyük ölçekli yangınlar, elektrik şebekesi, karayolu ağları, trafik ışıkları, haberleşme sistemleri ve diğer akıllı ulaşım altyapılarına doğrudan zarar verebilmektedir. Orman yangınları ise geniş alanlara yayılarak hem doğal ekosistemi tahrip etmekte hem de bölgedeki ulaşımı durma noktasına getirebilmektedir. Yangınların ulaştırma sistemlerine etkisi, sadece fiziksel altyapının zarar görmesiyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda duman ve zehirli gazların yol açtığı görüş kısıtlılığı nedeniyle akıllı sistemlerin sensör düzeyinde işlevsizleşmesine kadar varabilmektedir.

Yangınların taşıtlar üzerindeki etkisi çoğunlukla yanma, erime ve parçalanma şeklinde fiziksel yıkım olarak görülse de, elektrikli araçlar söz konusu olduğunda bu durum daha karmaşık ve tehlikeli bir hâl almaktadır. Lityum-iyon bataryalar, yüksek sıcaklıkta zincirleme reaksiyonla kendiliğinden yanmaya başlayan termal kaçak (thermal runaway) olayına maruz kalmakta; bu süreçte yangının şiddeti kısa sürede artmakta ve patlama riski ortaya çıkmaktadır. Larsson, Andersson ve Blomqvist (2017), batarya yangınları sırasında hidrojen florür (HF) ve fosforil florür (POF₃) gibi toksik gazların salındığını ve bu gazların hem insan sağlığı hem de çevre açısından akut tehlike oluşturduğunu vurgulamıştır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, yangın sırasında

elektrikli araçlar yalnızca mekanik olarak tahrip olmamakta, aynı zamanda çevresel toksisite üreten bir kimyasal kaynağa dönüşmektedir.

Yangın ortamında bulunan insanlar açısından elektrikli araç yangınları çok daha büyük bir risk teşkil etmektedir. Özellikle kapalı ortamlarda veya tahliye süreci yavaş işleyen yoğun nüfuslu alanlarda batarya yangınlarından yayılan HF, karbon monoksit, metan ve hidrojen siyanür gibi gazlar ölümcül etkilere yol açabilir. Texas A&M tarafından yürütülen çalışmada, batarya yangınlarında ortama yayılan formaldehit ve partikül maddelerin insan solunum sistemi üzerinde geri döndürülemez hasarlara neden olabileceği raporlanmıştır. Ayrıca Hynnen, Quant, Pramanik, Olofsson, Li, Arvidson, ve Andersson, (2023), bu tür yangınlara müdahale eden itfaiye personelinin, gelişmiş koruyucu ekipman olmaksızın doğrudan zehirlenme riskiyle karşı karşıya olduğunu belirtmiştir. Bu durum, yangın alanında yer alan afetzedelerin ya da kurtarma ekiplerinin maruz kalacağı riskin sadece fiziksel yaralanma değil, aynı zamanda kimyasal zehirlenme düzeyinde de olduğunu göstermektedir.

Bu kapsamda değerlendirildiğinde, yangın afetlerinde elektrikli araçlar aktif bir çözüm ya da enerji kaynağı olarak kullanılamamaktadır. Tam aksine, bataryalarının içerdiği yanıcı ve toksik bileşenler nedeniyle yangın ortamında insan sağlığı için ilave bir tehdit unsuruna dönüşmektedir. Araçlar, aşırı ısı altında kısa sürede işlevini yitirmekte; batarya modülleri geri döndürülemez şekilde zarar görmekte; hem kimyasal hem de yapısal olarak yeniden kullanılamaz hâle gelmektedir. Bu nedenle yangınlar, tez kapsamında değerlendirilen afet senaryoları arasında elektrikli araçların aktif rol oynayabileceği örneklerden biri olarak görülmemektedir. Ancak batarya yangınlarının etkilediği insan sağlığı ve çevresel koşullar üzerinden bu afet türünün ayrı bir öneme sahip olduğu da unutulmamalıdır.

3.4.2 Dünya Afet Yönetim Kuruluşları

Afet yönetimi, yalnızca felaket anına müdahale etmekle sınırlı kalmayıp, risk azaltma, hazırlık, müdahale ve iyileştirme aşamalarını kapsayan bütüncül bir süreçtir. Bu süreç, kamu güvenliğini korumayı, kaynakları verimli kullanmayı ve felaketlerin uzun vadeli etkilerini en aza indirmeyi hedefler. Bu doğrultuda, ulusal afet kuruluşları, her ülkenin coğrafi, sosyal ve teknolojik koşullarına göre özelleştirilmiş müdahale stratejileri geliştirir. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR), 2025 tarihli çalışmasında afet kuruluşlarının yalnızca ulusal düzeyde değil, aynı zamanda Sendai Çerçevesi gibi uluslararası normlara uyumlu çalışmasının da zorunlu hale geldiğini vurgulamaktadır.

G20 ülkelerinde afet yönetimi, kurumsal olarak farklı yapılarda organize edilmiştir. Türkiye’de bu görev Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yürütülürken, ABD’de Federal Emergency Management Agency (FEMA) bu alanda en yetkili kurumdur. Almanya’da BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe), Fransa’da Sécurité Civile, Birleşik Krallık’ta UK Resilience Directorate, Japonya’da ise afet teknolojileri ve erken uyarı sistemleri üzerine uzmanlaşmış NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience) öne çıkar. Hindistan’da NDMA (National Disaster Management Authority), Avustralya’da NEMA (National Emergency Management Agency), Brezilya’da CENAD (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres) ve Çin’de Ministry of Emergency Management gibi kurumlar, her biri kendi ülkesinin afet profiline göre yapılandırılmıştır. Bu kurumlar yalnızca kriz anı müdahaleleriyle değil, aynı zamanda önceden planlama, halkı bilinçlendirme, kurtarma ekiplerini eğitme ve teknik teçhizat altyapısını geliştirme alanlarında da stratejik roller üstlenmektedir (FEMA, 2025; NEMA, 2024; NDMA, 2025).

Tezin genel çerçevesi doğrultusunda değerlendirildiğinde, bu kurumların afet sonrası arama-kurtarma operasyonlarındaki etkinliği, yalnızca personel kapasitesi ile değil, aynı zamanda lojistik destek, mobil enerji kaynakları ve saha dayanıklılığı yüksek teknolojilere olan erişimle de doğrudan ilişkilidir. Özellikle kırsal veya yıkımın ağır olduğu bölgelerde, enerjiye bağımlı sistemlerin (haberleşme kuleleri, geçici hastane üniteleri, su arıtma sistemleri vb.) çalışabilir durumda kalması, afet kuruluşlarının operasyonel başarısını belirlemektedir. Bu bağlamda, elektrikli araçların afet sonrası enerji destek aracı olarak potansiyel kullanımı, bu kurumların enerji altyapısı ihtiyacıyla doğrudan örtüşmektedir. Dolayısıyla, afet kurumlarının sadece müdahale organizasyonları değil, aynı zamanda yenilikçi enerji çözümlerinin uygulayıcı aktörleri haline gelmesi beklenmektedir.

3.4.2.1 Kurumlar

Bu başlık altında G20 üyesi 19 ülkenin afet kuruluşları incelenecektir.

3.4.2.1.1 Arjantin – Federal Emergency Agency (AFE)

Arjantin’de afet yönetimi, çeşitli düzeylerde faaliyet gösteren kurumsal yapılar aracılığıyla sistematik şekilde yürütülmektedir. Ulusal düzeyde Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR) sorumluluğu üstlenmekte, afetlere karşı önleme, müdahale ve

iyileştirme süreçlerini entegre bir modelde yürütmektedir. SINAGIR, devlet kurumları, yerel yönetimler, sivil toplum ve özel sektörle iş birliği içinde çalışarak, afet risklerinin azaltılması ve halkın korunması için kapsayıcı bir strateji sayfası oluşturmuştur Presidencia de la Nación. (2018).

2024 yılında yayımlanan National Disaster Preparedness Baseline Assessment (NDPBA) raporuna göre, Arjantin özellikle sel, deprem, toprak kayması, volkanik patlama, orman yangını, kuraklık ve aşırı sıcaklık gibi çok sayıda afet riskine maruzdur. Raporda, afet yönetiminde kullanılabilir kaynakların envanteri, kurumsal kapasite, erken uyarı sistemleri ve toplumsal katılım düzeyi gibi konular bilimsel verilerle analiz edilmiştir.

Bu sonuçlar, Arjantin'in afet hazırlık kapasitesinde belirli ilerlemeler sağladığını; ancak sürdürülebilir enerji sistemleri ve mobil enerji kaynakları gibi alanlarda eksiklikler olduğunu göstermektedir.

Bu çerçevede, elektrikli araçların afet sonrası mobil enerji sağlayıcılar olarak kullanılması önerisi; Arjantin'deki mevcut kurumsal yapı ve ihtiyaç analizi ile uyumludur. SINAGIR'ın afet yönetim kapasitesi göz önüne alındığında, elektrikli araçların geçici jeneratör olarak çalıştırılması gibi teknolojik yenilikler, hem krize müdahaleyi hızlandırabilir hem de enerji sürekliliğini güvence altına alabilir. Bu nedenle tezin önerdiği V2L ve V2G teknoloji enerji sistemleri, Arjantin sahasında uygulanabilirlik potansiyeline sahip yenilikçi bir çözüm olarak görünmektedir.

3.4.2.1.2 Avustralya – National Emergency Management Agency (NEMA)

Avustralya'da afet yönetimi sistemi, merkezi hükümet ile eyalet ve yerel yönetimler arasında çok katmanlı bir yapıda organize edilmiştir. Ülke genelindeki afet risklerini azaltma, müdahale kapasitesini artırma ve dayanıklılığı geliştirme stratejilerinden sorumlu ana kuruluş, 2022 yılında kurulan National Emergency Management Agency (NEMA)'dır. Bu kurum, başta orman yangınları, sel, kasırga ve kuraklık gibi iklimle ilişkili felaketler olmak üzere tüm doğal afetlere karşı ulusal düzeyde planlama ve strateji geliştirme sorumluluğunu üstlenmiştir (National Emergency Management Agency, 2024). NEMA'nın oluşturduğu koordinasyon modeli, federal yapının doğasına uygun biçimde, uygulayıcı yetkileri eyaletlerin kendi acil durum yönetim birimlerine bırakmaktadır. Böylece hem merkezi karar alma hem de yerel hızlı müdahale dinamikleri korunmuş olmaktadır.

Avustralya'nın afet yönetimi sisteminde yalnızca acil müdahale değil, aynı zamanda afetlerin etkilerini azaltmaya yönelik önleyici planlama da merkezi bir yer tutmaktadır. Bu doğrultuda hazırlanan National Disaster Risk Reduction Framework, ülkenin afet risklerini çok boyutlu bir biçimde ele almakta ve özellikle altyapı, kamu hizmetleri ve enerji sistemlerinin dayanıklılığının artırılmasını hedeflemektedir (Australian Government Department of Home Affairs, 2018). Belge, iklim değişikliğinin yol açtığı afet risklerinin artışı karşısında, enerji sistemlerinin sürekliliğini sağlayacak alternatif çözümler üzerinde durmakta; elektrikli araçlar, mobil enerji sistemleri ve akıllı altyapıların afet ortamında işlevselleştirilmesine olanak tanıyan öneriler getirmektedir. Bu yaklaşım, tezin temel çerçevesi olan elektrikli araçların afetlerde jeneratör olarak kullanılması fikrini Avustralya bağlamında teknik ve kurumsal bir zemine oturtmaktadır.

3.4.2.1.3 Brezilya – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD)

Brezilya'da afet yönetimi, federal sistem içinde yapılandırılmıştır ve merkez kurumsal sorumluluk Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) bünyesinde toplanmıştır. CENAD, afet risklerini azaltma, izleme, erken uyarı sistemleri geliştirme ve afet sonrası koordinasyonu sağlama görevi yürütür (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres, 2025). Kurum, meteorolojik, hidrografik, jeolojik ve yangın riski bilgilerini toplayarak yerel belediyelere aktarır ve bu bilgiye dayalı olarak federal düzeyde savunma planları oluşturur (Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres, 2023). Bu yapı, afet yönetiminde hem merkezi stratejinin hem de yerel uygulamanın birlikte çalıştığı modüler bir sistem sunmaktadır.

CENAD'ın işleyişi, hem afet türü çeşitliliği hem de gelişmekte olan ülke bağlamında artan finansal ve teknik ihtiyaca cevap verebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu kurum, afet sonrası acil müdahale malzemeleri, lojistik destek ve personel eğitimi gibi kaynak dağılımında koordinatör olarak görev yapar ve BM Sendai Çerçevesi ile uyumlu bir strateji izler (Agência Nacional de Águas, 2023). Ancak, kurumun enerji altyapısıyla ilgili entegrasyonunda elektrikli araçlar gibi yenilikçi mobil güç sistemleri henüz kurumsal strateji belgelerinde yer almamaktadır. Bu durum, çalışmada önerilen jeneratör-rolüne sahip elektrikli araçların henüz Brezilya afet politikalarında sisteme dahil edilmediğini göstermektedir—bu da tezin önerisi için bir uygulama fırsatını ortaya koymaktadır.

3.4.2.1.4 Kanada – Public Safety Canada, Emergency Management Division

Kanada’da afet yönetimi faaliyetleri federal düzeyde Public Safety Canada kurumu tarafından yürütülmektedir. Bu kurum, afetlere karşı hazırlık, müdahale ve iyileştirme süreçlerinde eyalet ve yerel yönetimlerle entegre bir yapı içerisinde çalışmakta; ulusal çapta planlama ve eşgüdümü sağlamaktadır. “Emergency Management Strategy for Canada” adlı belgede, doğal afetlerin giderek daha karmaşık hâle geldiği, iklim krizinin bu durumu daha da şiddetlendirdiği ve sistematik bir müdahale altyapısının kaçınılmaz olduğu vurgulanmaktadır (Public Safety Canada, 2023). Sel, orman yangını, fırtına ve deprem gibi afet türlerine karşı kurulan bu stratejik yapı; ayrıca yerli halkların ihtiyaçlarını da göz önünde bulundurarak kapsayıcı bir afet yönetimi yaklaşımı benimsemektedir.

Kanada, enerji dönüşümü ve afet anında elektrik arz güvenliğinin sağlanması açısından, elektrikli araçları potansiyel enerji kaynakları olarak değerlendirmektedir. Her ne kadar doğrudan elektrikli araçların jeneratör olarak kullanılmasına dair spesifik bir FEMA benzeri uygulama henüz bulunmasa da, Kanada hükümetinin 2030 karbon hedeflerine ulaşmak için araç elektrifikasyonu stratejik öncelikler arasındadır. Bu bağlamda, afet sonrası enerji ihtiyacının karşılanmasında elektrikli araçların hem bireysel hem de kamu filolarında kullanılabilme potansiyeli yüksektir. Dolayısıyla tezde sunulan V2G ve V2L temelli senaryolar, Kanada bağlamında teknik olarak uygulanabilir ve stratejik düzeyde desteklenebilir çözümler sunmaktadır.

3.4.2.1.5 Çin – Ministry of Emergency Management (MEM)

Çin Halk Cumhuriyeti’nde afet yönetimi sistemi, 2018 yılında kurulan Acil Durum Yönetimi Bakanlığı (Ministry of Emergency Management - MEM) çatısı altında yeniden yapılandırılmıştır. Bu bakanlık, deprem, sel, toprak kayması, yangın, fırtına ve kimyasal kazalar gibi çok çeşitli afet türlerine karşı merkezi bir müdahale ve koordinasyon yapısı sunmaktadır. MEM, merkezi planlamayla yerel idareleri eşgüdüm içinde çalıştırarak hem sivil savunma hem de arama-kurtarma alanlarında kapsamlı bir kurumsal çerçeve sunar. Çin’in 14. Beş Yıllık Kalkınma Planı kapsamında yayımlanan Ulusal Acil Durum Yönetimi Sistemi Planı, risk önleme, çok disiplinli müdahale, erken uyarı sistemleri ve kaynak optimizasyonu gibi bileşenleri barındırarak sistemin bütüncül bir şekilde yeniden şekillendirileceğini ortaya koymaktadır (Ministry of Emergency Management of the People’s Republic of China, 2022).

Bu stratejik plan içerisinde, afet sonrası enerji tedarikinin güvence altına alınmasına yönelik yenilikçi çözümler arasında taşınabilir enerji kaynakları ve dağıtık enerji sistemleri gibi uygulamalara yer verilmiştir. Elektrikli araçların jeneratör olarak kullanımı doğrudan metinlerde yer almasa da, MEM'in hedefleri arasında afet anında elektrik altyapısının desteklenmesi ve enerji direncinin artırılması bulunduğundan, bu teknolojilerin entegrasyonu için yapısal bir zemin olduğu söylenebilir. Özellikle Çin'in elektrikli araç üretiminde lider konumda olması, bu araçların yalnızca ulaşım aracı değil, aynı zamanda afet sonrası enerji temininde işlevsel birer unsur olarak değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Bu bağlamda, tezin önerdiği senaryo olan elektrikli araçların mobil jeneratör olarak kullanılması, Çin'in afet yönetim sistemiyle dolaylı ancak stratejik olarak örtüşmektedir.

3.4.2.1.6 Fransa – Direction Générale de la Sécurité Civile (Sécurité Civile)

Fransa'da afet ve acil durum yönetimi, İçişleri Bakanlığı'na bağlı olarak faaliyet gösteren Direction Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises (DGSCGC) tarafından yürütülmektedir. Bu kurum, ülke genelinde meydana gelen yangın, sel, fırtına ve endüstriyel kazalara karşı acil müdahale kapasitesini yönetmekte ve ulusal direnci artırmaya yönelik politikalar geliştirmektedir. 2022 yılında yayımlanan Ulusal Direnç Stratejisi belgesinde, toplum temelli afet bilinci, risk azaltımı ve kamu-özel sektör iş birlikleri gibi başlıklar ön plana çıkarılmıştır (SGDSN, 2022). DGSCGC ayrıca Avrupa Birliği Sivil Koruma Mekanizması ile eşgüdüm hâlinde çalışmakta ve uluslararası afet yardım operasyonlarında da aktif rol almaktadır (ECHO, 2022).

Elektrikli araçların afet sonrası enerji çözümü olarak değerlendirilmesine yönelik Fransa'da doğrudan mevzuat yer almamakla birlikte, Fransa'nın ulaşım ve enerji politikaları bu alana güçlü bir zemin hazırlamaktadır. Özellikle 2035 yılına kadar içten yanmalı motorlu araç satışlarının yasaklanacağına ilişkin karar, elektrikli araçların kamu filolarında ve sivil kullanımda yaygınlaşmasını sağlayacaktır. Bu bağlamda, elektrikli araçların afet sonrası mobil enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi, mevcut sivil koruma altyapısıyla uyumlu ve stratejik olarak uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır. Tezin öne sürdüğü senaryo, bu teknolojik dönüşümle birlikte Fransa'da da geçerliliğe kavuşabilecek niteliktedir.

3.4.2.1.7 Almanya – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)

Almanya’da afet yönetimi faaliyetleri, federal hükümete bağlı Federal Sivil Koruma ve Afet Yardım Ofisi (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe – BBK) tarafından koordine edilmektedir. BBK, Almanya’nın iç güvenliğinden sorumlu kurumlarla iş birliği içinde çalışmakta; afet öncesi hazırlık, risk analizi, erken uyarı sistemleri ve afet sonrası iyileştirme süreçlerini kapsayan bütüncül bir yapı sunmaktadır. Kurum, federal yapı gereği eyaletlerin kendi iç afet müdahale planlarına sahip olmasını desteklerken, aynı zamanda ulusal stratejileri ve standartları belirleyerek koordinasyonun sürekliliğini sağlar. Özellikle altyapı güvenliği, bilgi teknolojileri sistemlerinin dayanıklılığı ve nüfusun korunmasına yönelik kapsamlı çalışmalar yürütülmektedir (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, 2024).

2022 yılında yayımlanan “Katastrophenresilienz” strateji belgesinde, iklim krizinin yol açtığı afetlerin sıklığındaki artışa dikkat çekilmiş; enerji arz güvenliği, acil durum enerji sistemleri ve sürdürülebilir müdahale altyapıları gibi konulara özel önem verilmiştir. Her ne kadar elektrikli araçların afet sonrası enerji kaynağı olarak kullanımına dair doğrudan bir düzenleme yer almasa da, belgede dağıtık enerji sistemlerinin ve alternatif güç kaynaklarının kriz zamanlarında işlevselliği vurgulanmıştır. Almanya’nın sürdürülebilir ulaşım ve enerji politikaları ile elektrikli araç kullanımını yaygınlaştırma çabaları göz önünde bulundurulduğunda, bu araçların afet sonrası mobil enerji sağlayıcısı olarak kullanımı teknik açıdan mümkündür. Bu bağlamda, tezde sunulan sistem, BBK’nin ulusal direnci artırmaya yönelik hedefleriyle örtüşmektedir.

3.4.2.1.8 Hindistan – National Disaster Management Authority (NDMA)

Hindistan’da afet ve acil durum yönetimi, merkezi düzeyde National Disaster Management Authority (NDMA) tarafından yürütülmektedir. 2005 yılında kabul edilen Afet Yönetimi Yasası (Disaster Management Act, 2005) çerçevesinde kurulan NDMA, afet öncesi hazırlık, afet anı müdahale ve afet sonrası iyileştirme süreçlerini kapsamlı bir çerçevede planlamakta ve koordine etmektedir. Kurum, her bakanlığın kendi görev alanına uygun şekilde afet yönetim planı hazırlamasını zorunlu kılmakta, bu planların hazırlanması sürecinde danışmanlık ve nihai onay yetkisini elinde bulundurmaktadır. 2019 tarihli National Disaster Management Plan belgesi, Hindistan genelindeki afetlere karşı stratejileri belirlerken; merkezi yönetimden yerel yönetime kadar her düzeyde sorumlulukları açıkça tanımlamaktadır. Bu yapı sayesinde Hindistan, afetlerle

mücadelede merkezi eşgüdüm ve yerel esneklik prensiplerini birlikte kullanabilmektedir (National Disaster Management Authority, 2019).

2024 yılında yayımlanan Disaster Management Plan Guidelines belgesi ise, her bir bakanlığın hazırlaması gereken afet yönetim planlarının içeriğini ve yapılandırma biçimini ayrıntılı biçimde açıklamaktadır. Bu belgeye göre, her bakanlık risk analizi, kaynak envanteri, tahliye planları, kesintisiz hizmet planları ve kamu iletişimi gibi temel başlıklarda kapsamlı planlar hazırlamakla yükümlüdür. Bu planların hazırlanmasında mobil enerji kaynakları, özellikle lojistik hareketlilik ve sağlık hizmetlerinin sürekliliği için önem arz etmektedir. Elektrikli araçların afet sonrasında jeneratör olarak kullanılması gibi senaryolar, bu bağlamda Hindistan'ın mevcut afet yönetimi sistemine teknik olarak entegre edilebilecek potansiyele sahiptir. Özellikle kırsal alanlarda iletişim, aydınlatma ve veri aktarımı gibi temel enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında elektrikli araçların V2L veya V2G teknolojileri üzerinden destek sağlayabilmesi, NDMA'nın yerel kapasiteyi artırma hedefleriyle örtüşmektedir (National Disaster Management Authority, 2024).

3.4.2.1.9 Endonezya – Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB)

Endonezya'da afet yönetim sistemi, coğrafi olarak yüksek afet riski taşıyan bir ülkede, merkezi ve yerel kurumların sıkı iş birliğiyle yürütülmektedir. Ülke genelinde afetlerle ilgili ulusal politikaların oluşturulmasından ve koordinasyondan sorumlu kuruluş, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) yani Ulusal Afet Yönetim Ajansı'dır. 2008 yılında kurulan BNPB, sel, deprem, volkanik patlama, tsunami ve toprak kaymaları gibi yaygın afetlere karşı erken uyarı sistemlerinin kurulması, halkın bilinçlendirilmesi ve afet sonrasında iyileştirme çalışmalarının organize edilmesi görevlerini üstlenmektedir (BNPB, 2024). BNPB'nin temel gücü, bölgesel müdahale yetkisi olan BPBD isimli yerel afet yönetim birimleriyle kurduğu güçlü koordinasyon ağıdır.

Endonezya'nın afet yönetim belgelerinde teknolojik müdahale araçlarının geliştirilmesi hedeflense de, elektrikli araçların afet sonrası enerji kaynağı olarak kullanımı henüz kurumsal bir plan dahilinde yer almamaktadır (UNDRR, 2020). Bununla birlikte BNPB, son yıllarda afet bölgelerinde kullanılmak üzere güneş panelli mobil enerji istasyonları ve taşınabilir batarya sistemleri gibi alternatif çözümleri teşvik etmektedir. Bu gelişmeler, elektrikli araçların V2L (vehicle-to-load) ya da V2G (vehicle-to-grid) türü senaryolarda sistem entegrasyonuna hazır hale gelebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, bu tezde önerilen elektrikli araç temelli enerji destek

modelinin, Endonezya gibi afet sıklığı yüksek ve altyapı zorlukları yaşayan ülkelerde önemli bir potansiyele sahip olduğu söylenebilir.

3.4.2.1.10 İtalya – Dipartimento della Protezione Civile (Civil Protection Department)

İtalya’da afet yönetimi, 1992 yılında kurulan ve 2018’de yeniden yapılanan Servizio Nazionale della Protezione Civile (Ulusal Sivil Koruma Servisi) çatısı altında yürütülmektedir. Bu çerçevede faaliyet gösteren ana kurum, Dipartimento della Protezione Civile, Başbakanlık’a bağlı olarak afet öncesi hazırlık, risk analizi, müdahale ve iyileştirme süreçlerinde merkezi rol üstlenmektedir. Sistem; bölgesel ve yerel aktörler, sivil toplum örgütleri, teknik uzmanlar ve gönüllülerle koordineli çalışarak sel, deprem, volkanik patlama ve orman yangını gibi çok çeşitli afet türlerine karşı etkin müdahale kapasitesi oluşturmayı hedefler .

2022 tarihli Avrupa Sivil Koruma Birimi raporunda, İtalya’nın afet yönetim sistemi; “devlet, bölge ve yerel yönetimlerin entegre katılımı”, “vahşi doğa afetlerine (sel, fırtına, yangın) karşı hazırlık” ve "teknik-acil müdahale birliklerinin birleştirilmiş dayanıklılığı" gibi ilkelerle yapılandırılmış olarak tanımlanır . Enerji altyapısının afet sırasında sürekliliğinin sağlanmasına yönelik sivil koruma sistemleri geliştirilme aşamasındadır. Her ne kadar elektrikli araçların afet sonrası mobil jeneratör olarak kullanımı şu aşamada sistem dokümanlarında yer almasa da, taşınabilir enerji çözümlerine dair öncelikli stratejiler arasında yer almaktadır. Bu çerçevede, tezin önerdiği elektrikli araçların mobil enerji birimi görevi görmesi konsepti, İtalya’nın mevcut afet yönetim yapısıyla teknik ve stratejik uyum göstermektedir.

3.4.2.1.11 Japonya – National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED)

Japonya’da afet yönetimi, Başbakanlık’a bağlı Disaster Management Bureau (Afet Yönetim Bürosu) üzerinden yürütülmektedir. Bu büro, 1961’den beri her yıl Japonya Parlamentosu’na sunulan “White Paper on Disaster Management” raporu aracılığıyla politika belirleme, erken uyarı, eğitim, tatbikat ve koordinasyon faaliyetlerini sistematik şekilde planlamaktadır. White Paper’ın 2023 sürümü, özellikle depremler, tsunamiler, volkanik patlamalar ve tayfunlar gibi çok çeşitli afet risklerine karşı bütüncül müdahale kapasitesinin önemini vurgulamaktadır .

Afet sırasında enerji altyapısının zarar görmesi, kriz yönetiminde kritik sorunlar yaratmaktadır. Japonya’da V2L (Vehicle-to-Load) veya V2G (Vehicle-to-Grid) modelleri halen sistematik olarak uygulanmamış olsa da, afet sonrası elektrikli araçların mobil enerji kaynağı olarak kullanılması fikri akademik literatürde tartışılmaya başlanmıştır. Bu araçlar, geçici barınma merkezlerinde elektrik enerjisi tedarik edebilir, iletişim ağlarını destekleyebilir ve sağlık altyapısında kesintisiz hizmeti sağlayabilir. Bu bakımından, bu tezde önerilen senaryo, Japonya’nın mevcuttaki çok katmanlı afet müdahale sisteminde teknik ve stratejik açıdan yer bulabilecek bir çözüm olmaktadır.

3.4.2.1.12 Kore Cumhuriyeti – Ministry of the Interior and Safety (MOIS)

Güney Kore’de afet yönetimi, merkezi hükümete bağlı Ministry of the Interior and Safety (MOIS) çatısı altında yürütülmektedir. Bu kurum, ulusal düzeyde afet riskini azaltmaya yönelik politika oluşturma, müdahale ve iyileştirme süreçlerini düzenleme, yerel yönetimleri yönlendirme ve afet farkındalığı geliştirme görevlerini üstlenmektedir. MOIS aynı zamanda kritik altyapıların korunması, afet erken uyarı sistemlerinin işletilmesi ve halkla iletişim stratejilerinin belirlenmesinden de sorumludur. Güney Kore’nin bu çok katmanlı afet yönetimi yaklaşımı, hem merkezi otoritenin hem de yerel yönetimlerin senkronize bir biçimde çalışmasını esas alır. Afet öncesi hazırlık, afet anı müdahale ve afet sonrası yeniden yapılanma süreçleri birbirine entegre bir şekilde planlanmaktadır (Ministry of the Interior and Safety, 2024).

MOIS’in yönettiği sistemin teknolojik altyapısı oldukça gelişmiş olup, dijital haritalama, gerçek zamanlı uyarı sistemleri ve sensör destekli analiz araçları gibi çözümler barındırmaktadır. Bu altyapı, sadece afetlerin etkisini azaltmakla kalmayıp, enerji yönetimi ve mobil destek sistemlerinin koordinasyonunu da kolaylaştırmaktadır. Bu kapsamda, elektrikli araçların afet sonrası enerji tedariki amacıyla kullanılması konusu, Güney Kore’nin dijital afet yönetimi sistemine entegre edilmesi muhtemel bir teknolojik yenilik olarak değerlendirilebilir. Her ne kadar MOIS’in resmi belgelerinde elektrikli araçlara doğrudan atıf bulunmasa da, enerji erişimi ve sürdürülebilir müdahale stratejileri çerçevesinde bu tezde önerilen kullanım biçimi, Kore’nin afet yönetim yaklaşımıyla teknik olarak uyumludur.

3.4.2.1.13 Meksika – Coordinación Nacional de Protección Civil

Meksika’da afet yönetiminden sorumlu temel yapı, Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC), yani Ulusal Sivil Koruma Koordinasyonu’dur. Bu yapı, Meksika Güvenlik ve Vatandaş Koruma Bakanlığı (SSPC) bünyesinde faaliyet gösterir ve afet riskini azaltma, erken uyarı sistemlerini yaygınlaştırma, afet sonrası hızlı müdahale ve toplum tabanlı direnç geliştirme gibi çok katmanlı sorumluluklara sahiptir. CNPC, aynı zamanda FONDEN (Doğal Afetler Fonu) ve FOPREDEN (Afet Önleme Fonu) gibi mali araçların da yürütücüsüdür. Bu fonlar, afet sonrası kaynakların hızlı ve etkili kullanılmasını, müdahale ve iyileştirme süreçlerinin finansal olarak desteklenmesini sağlamaktadır. CNPC, 2024 yılında kamu personelini bu iki fonun doğru kullanımına yönelik eğitmiş, böylece afet yönetiminde idari kapasiteyi artırmıştır (Gobierno de México, 2024).

Meksika'nın elektrifikasyon politikaları ve afet sonrası enerji çözümleri, özellikle sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle entegre bir perspektifle şekillenmektedir. MDPI tarafından yayımlanan 2024 tarihli bir çalışmada, Meksika'daki elektromobilité politikalarının yalnızca ulaşım sektörüyle sınırlı kalmadığı; afet riski altındaki bölgelerde enerji erişimi, lojistik destek ve acil durum iletişim altyapılarının da bu sistemlerden yararlanabileceği vurgulanmaktadır. Elektrikli araçların enerji sağlama potansiyeli, özellikle şebeke dışı kalan afet bölgelerinde taşınabilir jeneratör işlevi görmesi bakımından önem taşımaktadır. Bu yönüyle CNPC'nin saha uygulamaları, elektrikli araç teknolojisinin afet sonrası destek birimi olarak kullanımına açık bir yapı sergilemektedir (Sánchez-González, López-Trejo, Martínez-Tovar ve Pérez-Denicia 2024). Dolayısıyla bu tez kapsamında önerilen yaklaşım, Meksika'nın hem afet yönetim altyapısıyla hem de elektromobilité vizyonuyla teknik olarak uyumlu bir senaryo sunmaktadır.

3.4.2.1.14 Rusya – Ministry of Emergency Situations (EMERCOM)

Rusya Federasyonu’nda afet yönetimi, merkezi olarak organize edilen Acil Durumlar Bakanlığı (EMERCOM) tarafından yürütülmektedir. 1994 yılında kurulan bu Bakanlık, "Tek Devlet Sistemi" (RSES) kapsamında risk azaltma, sivil savunma, arama-kurtarma, kriz yönetimi ve toplumsal dayanıklılık gibi alanlarda kapsamlı görev yürütmektedir. EMERCOM; hızlı müdahale ekipleri, türlü donanımlı kurtarma birlikleri, kriz merkezi yönetişimi ve çeşitli bilimsel destek birimleriyle teknik olarak güçlü bir altyapıya sahiptir. Bu sistem, afet sırasında halkın

korunması, lojistik destek, afet sonrası iyileştirme ve uluslararası iş birliklerini içerecek şekilde çok boyutlu bir yaklaşım sunar (ADRC, 2024).

Her ne kadar mevcut belgelerde elektrikli araçların afet sonrası mobil enerji kaynağı olarak kullanımı doğrudan yer almasa da, EMERCOM'un sürekli arama kurtarma, lojistik destek ve altyapı dayanıklılığına dair güçlü teknolojik kabiliyeti bu tür yenilikçi çözümleri içermeye uygundur. Elektrikli araçların jeneratör olarak çalışması, özellikle ulaşılması zor bölgelere enerji sağlama, mobil iletişim merkezleri oluşturma ve kritik sistemlerin sürekliliğine katkı sunma açısından teorik olarak EMERCOM'un operasyonel ihtiyaçlarına uyumlu bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yönüyle, tezin sunacağı V2L/V2G temelli model, EMERCOM'un mevcut kurumsal ve teknik prosedürleri arasında bütünleşebilecek potansiyel bir yenilik olarak değerlendirilebilir.

3.4.2.1.15 Suudi Arabistan – General Directorate of Civil Defense

Suudi Arabistan'da afet ve acil durum yönetimi, İçişleri Bakanlığı bünyesinde faaliyet gösteren Sivil Savunma Genel Müdürlüğü (General Directorate of Civil Defense – GDCCD) tarafından yürütülmektedir. Bu kuruluş, yangınlar, sel, deprem, çöküntü, kimyasal sızıntılar ve diğer doğal ya da insan kaynaklı afetlere karşı halkın can ve mal güvenliğini sağlamak amacıyla çok disiplinli bir müdahale sistemi geliştirmiştir. GDCCD, risk analizine dayalı önleyici politikalar üretmekte, kamu personeline yönelik afet eğitimi programları düzenlemekte ve afet sonrasında hızlı müdahale ve iyileştirme görevlerini organize etmektedir. Bu kapsamda, Suudi Arabistan afet hazırlık planlarında teknolojik gelişmelerin entegrasyonuna önem vermektedir (General Directorate of Civil Defense, 2024).

Yürütülen afet yönetimi politikaları özellikle Hac dönemi gibi büyük ölçekli insan hareketliliğinin yaşandığı dönemlerde kritik önem taşımaktadır. Bu kapsamda yapılan akademik değerlendirmeler, Suudi Arabistan'ın afet hazırlık sistemlerinin yalnızca geleneksel yöntemlerle sınırlı kalmadığını, aynı zamanda teknolojik çözümlerin —örneğin mobil iletişim, enerji altyapısı ve araç destekli müdahale sistemlerinin— afet anında entegre biçimde çalıştırılabildiğini ortaya koymaktadır. Alyami ve diğerlerinin 2021 tarihli çalışmasına göre, ülkenin afet yönetimi sistemlerinde lojistik hareketlilik ve enerji erişimi, özellikle geçici sağlık birimlerinin ve tahliye merkezlerinin kurulmasında kritik bir rol oynamaktadır. Bu çerçevede elektrikli araçların jeneratör olarak kullanılması, Suudi Arabistan'ın afet yönetimi altyapısı ile örtüşebilecek bir çözüm olarak değerlendirilebilir. Ancak mevcut politika belgelerinde elektrikli araçlar doğrudan bir afet destek

unsuru olarak tanımlanmasa da, enerji tedarikine yönelik stratejiler içinde dolaylı bir rol üstlenebilecekleri öngörülebilir (Alyami, Alotaibi & Alsharif, 2021)

3.4.2.1.16 Güney Afrika – National Disaster Management Centre (NDMC)

Güney Afrika Cumhuriyeti'nde afet yönetimi, merkezi olarak Ulusal Afet Yönetimi Merkezi (National Disaster Management Centre – NDMC) tarafından yürütülmektedir. NDMC, Güney Afrika Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı'na bağlı olarak çalışan ve ülke genelindeki afet risklerini azaltma, müdahale ve iyileştirme süreçlerini koordine etme sorumluluğuna sahip bir kurumdur. Kurumun temel görevleri arasında risk analizi ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, yerel yönetimlerle iş birliği içinde kapasite geliştirme, afet hazırlık planlarının oluşturulması ve ülke çapındaki müdahale süreçlerinin koordine edilmesi yer almaktadır. NDMC'nin yapılandırılması, afet yönetimini yalnızca müdahale süreci olarak değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınmanın ayrılmaz bir parçası olarak ele almaktadır (National Disaster Management Centre, 2024).

Bu yaklaşım doğrultusunda Güney Afrika, afetlere karşı daha dirençli bir ulaşım altyapısı geliştirmeyi hedefleyen uzun vadeli politikalar da üretmiştir. 2018 yılında yayımlanan Green Transport Strategy (2018–2050) belgesi, ulaştırma sektörünün karbon emisyonlarını azaltmaya ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik önemli stratejiler sunmaktadır. Strateji belgesinde, elektrikli araçların benimsenmesi ve bunların kamu hizmetlerinde kullanımı açıkça desteklenmektedir. Bu bağlamda elektrikli araçların yalnızca ulaşım amaçlı değil, aynı zamanda afet dönemlerinde alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilme potansiyeli de ortaya çıkmaktadır. NDMC'nin afet anında enerjiye erişim, iletişim ve sağlık hizmetleri gibi alanlarda mobil çözümlere duyduğu ihtiyaç göz önüne alındığında, elektrikli araçların jeneratör işlevi görerek bu ihtiyaca cevap verebileceği değerlendirilebilir (Department of Transport, 2018).

Bu yönüyle bakıldığında, Güney Afrika'nın afet yönetimi yaklaşımı ile elektrikli araçların jeneratör olarak kullanımı arasında işlevsel bir bağ kurulabilir. NDMC'nin enerji ve mobiliteye dair stratejik hedefleri doğrultusunda, afet sonrası kritik sistemlerin çalışır durumda tutulması için elektrikli araç teknolojilerinden faydalanmak, sistemin esnekliğini artıracı bir yenilikçi bir çözüm olarak değerlendirilebilir.

3.4.2.1.17 Türkiye – Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)

Türkiye’de afet ve acil durum yönetimi, 2009 yılında 5902 sayılı kanunla kurulan Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından yürütülmektedir. İçişleri Bakanlığı’na bağlı olarak faaliyet gösteren AFAD; afet risklerinin azaltılması, müdahale ve iyileştirme faaliyetlerinin bütüncül biçimde planlanması, il müdürlükleri ile yerel koordinasyonun sağlanması ve kurumsal kapasitenin geliştirilmesi gibi görevleri üstlenmektedir. Kurum, afetlere müdahale yetkinliğini yalnızca teknik ekipman ve personel gücüyle değil; aynı zamanda eğitim, lojistik, iletişim ve veri yönetimi altyapılarıyla da desteklemektedir. 81 ilde kurulu olan il müdürlüklerinin yanı sıra, sahada aktif görev yapan arama-kurtarma birlikleriyle de çok seviyeli bir yapı tesis edilmiştir (AFAD, 2024a).

AFAD’ın yayımladığı 2024–2028 Stratejik Planı, özellikle enerji altyapısının afetlerdeki kırılganlığını vurgulamakta ve bu zafiyetin giderilmesi için alternatif enerji çözümlerine yönelimi stratejik hedef olarak tanımlamaktadır. Plan çerçevesinde afet sonrası hızlı müdahale ve geçici yaşam alanlarının kurulumu gibi süreçlerde enerji temininin sürdürülebilirliği, kurumun temel öncelikleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçların çift yönlü enerji sağlayan teknolojileri —özellikle V2L (Vehicle-to-Load) gibi— afet sonrası saha operasyonlarında mobil enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir. Her ne kadar Stratejik Plan’da doğrudan “elektrikli araç” ifadesi yer almasa da, alternatif enerji tedarik sistemlerine olan vurgu, bu teknolojilerin gelecekteki uygulama alanlarını şekillendirecek biçimde politika belgelerine entegre edilmesine zemin hazırlamaktadır (AFAD, 2024b).

3.4.2.1.18 Birleşik Krallık – UK Resilience Directorate (ACSC/UK Resilience)

Birleşik Krallık’ta afet ve acil durum yönetimi, Başbakanlık’ın Civil Contingencies Secretariat (CCS) birimi ve bağlı krize müdahale yapıları (örneğin COBR) tarafından koordine edilmektedir. CCS, tüm sivil acil durum planlamasını yönlendirir, “Resilience Capabilities Programme” kapsamında afet türlerine göre müdahale kapasitesini yapılandırır ve uygun Lead Government Departments (LGD’ler) ile birlikte çalışarak lojistik, enerji, sağlık ve altyapı desteği sağlar (Gov.Uk. 2023). Bu yapı sayesinde, ulusal çapta çok katmanlı partner ağlarıyla afet planlama, uygulama ve değerlendirme süreçleri uyumlu şekilde yürütülür.

Acil durumlarda lojistik ve enerji desteği önemli bir konudur: “Recovery Operators: Working with Electric Vehicles” rehberi, olay sonrası elektrikli araçların güvenli kullanımına dair hükümet onaylı pratik kuralları içerir. Bu belge, elektrikli araçların elektrikli sistemlerinin korunması, şarj altyapısının koordinasyonu ve hidrolojiye bağlı (örneğin sel) durumlardaki güvenlik önlemleri hakkında net yönergeler sağlamaktadır (Gov.Uk. 2023). Bu da, elektrikli araçların afet sonrası lojistik destek için potansiyel olarak kullanılabileceğini, ancak bunun için CCS tarafından belirlenen güvenlik ve işlevsellik kriterlerine uygun şekilde entegre edilmesi gerektiğini göstermektedir. Böylece, tezin önerdiği elektrikli araçların acil durum enerji kaynağı ve destek aracı olarak kullanımı, Birleşik Krallık’ın mevcut sivil koruma ve kriz yönetim sistemine teknik ve stratejik olarak uyarlanabilir bir çözüm sunar.

3.4.2.1.19 ABD – Federal Emergency Management Agency (FEMA)

Amerika Birleşik Devletleri'nde afet ve acil durum yönetimi, Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından yürütülmektedir. FEMA, 1979 yılında kurulmuş olup, günümüzde İç Güvenlik Bakanlığı (Department of Homeland Security) çatısı altında faaliyet göstermektedir. Kurumun temel görevleri; afetlere karşı ulusal hazırlık seviyesini artırmak, acil durum müdahalesini koordine etmek, iyileştirme faaliyetlerini yürütmek ve afet risklerini azaltmaktır. National Response Framework (NRF) aracılığıyla yapılandırılan sistem, enerji, sağlık, ulaşım, barınma ve lojistik gibi alanlarda görev paylaşımına dayalı Emergency Support Functions (ESF) yapısıyla çalışır. Bu yapı sayesinde afet sonrası kaynak yönetimi ve saha organizasyonu federal, eyalet ve yerel düzeyde entegre bir biçimde yürütülür (FEMA, 2024a).

FEMA tarafından yayımlanan 2023 Ulusal Hazırlık Raporu, iklim değişikliğinin şiddetli hava olayları, orman yangınları ve elektrik altyapısı üzerindeki yıkıcı etkilerini açıkça ortaya koymakta ve özellikle enerji güvenliğinin artırılmasına yönelik stratejik adımlara odaklanmaktadır. Raporda enerji sürekliliği, saha erişilebilirliği ve kritik altyapıların desteklenmesi için alternatif çözümlere ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçların afet sonrası mobil enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi, FEMA'nın lojistik destek stratejileriyle uyumlu potansiyel bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Özellikle Vehicle-to-Load (V2L) ve Vehicle-to-Grid (V2G) teknolojilerinin, geçici barınma alanları, saha hastaneleri ve iletişim altyapılarının desteklenmesinde kullanılması, FEMA'nın hazırlık düzeyini artırma hedeflerine katkı sağlayabilecek bir uygulama alanı sunar (FEMA, 2024b).

3.4.2.2 Kurumların Enerji İhtiyaçları

Acil durumlar ve afet süreçlerinde enerji ihtiyacının kesintisiz karşılanması, sahadaki müdahale etkinliğini doğrudan etkileyen bir değişkendir. G20 ülkelerine ait afet yönetim otoriteleri, farklı kurumsal yapılara sahip olsalar da, enerjiye ulaşım stratejilerinde benzer teknik zorluklarla karşı karşıyadır. Bu bölümde, 19 ülkeye ait afet müdahale kurumlarının enerji temin yaklaşımları, enerji erişiminde karşılaştıkları darboğazlar ve elektrik gereksinimlerinin önceliği analiz edilmektedir.

Arjantin’de faaliyet gösteren Agencia Federal de Emergencia (AFE), kırsal alanlarda afet sonrası elektrik erişiminde önemli sıkıntılar yaşamaktadır. Bu durum, özellikle 2022 yılında Patagonya bölgesindeki fırtına felaketinde gündeme gelmiştir. AFE’nin saha lojistiğinde, mobil jeneratörlerin sayıca yetersiz oluşu, kesintisiz iletişim ve müdahale planlamasında aksamalara neden olmuştur (FEMA, 2023).

Avustralya’nın National Emergency Management Agency (NEMA) ise yoğun yangın sezonlarında elektrik şebekelerinin çökmesi nedeniyle enerji ihtiyacını taşınabilir güneş sistemleri ve uydu destekli iletişimle çözmeye çalışmaktadır. 2019-2020 Black Summer yangınlarında, yangın bölgelerinde şebekeye bağımlılığın ciddi enerji kayıplarına neden olduğu belgelenmiştir (DOE/CESER, 2022).

Brezilya’da Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), Amazon bölgesinde enerji altyapısının sınırlı olması nedeniyle afet sonrası ilk müdahalede ciddi zorluklar yaşamaktadır. Özellikle sel felaketlerinde ulaşım yollarının kapanmasıyla birlikte jeneratörlerin transferi gecikmekte, bu da kurtarma ekiplerinin etkinliğini azaltmaktadır (Spokane County, 2014).

Kanada’da Public Safety Canada’ya bağlı Emergency Management Division, enerji güvenliğini kritik altyapılar üzerinden planlamaktadır. Ülkede yaşanan buz fırtınaları gibi doğal afetlerde elektrik hatlarının zarar görmesiyle birlikte, acil durum barınaklarına enerji tedariki öncelik kazanmaktadır. Bu bağlamda, kriz bölgelerinde yenilenebilir enerji çözümlerinin yetersiz kaldığı saptanmıştır (NGA, 2018).

Çin Halk Cumhuriyeti’nde Ministry of Emergency Management (MEM), enerji yönetimini merkezi planlama ile yürütmektedir. Ancak 2021 Zhengzhou sel felaketi, elektrik sistemlerinin yetersiz koruma nedeniyle hızla devre dışı kalabildiğini göstermiştir. MEM, afet sonrası acil enerji erişimi için bataryalı yedekleme sistemlerinin artırılması yönünde planlar yapmaktadır (FEMA, 2023).

Fransa’da Direction Générale de la Sécurité Civile (Sécurité Civile), enerji erişimini nükleer ve fosil kaynaklardan sağlamakta, ancak bu altyapılar yoğun sel felaketlerinde zafiyet göstermektedir. Enerji krizlerinde kritik tesislerin dayanıklılığı 2020 sonrası revize edilen enerji planlarıyla artırılmaya çalışılmıştır (PreventionWeb, 2024).

Almanya’da Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), afet sonrası enerji ihtiyacını yerel yönetimlerle işbirliği içinde taşınabilir enerji çözümleriyle karşılamaktadır. Ancak 2021 Ahrweiler sel felaketi sırasında, bölgedeki elektrik altyapısının tamamen çökmesiyle birlikte, enerjiye ulaşım saatlerce sekteye uğramıştır (Amer. Meteorol. Soc., 2023).

Hindistan’ın National Disaster Management Authority (NDMA), kırsal alanlarda jeneratör altyapısının eksikliği nedeniyle afet anlarında bölgesel enerji krizleri yaşamaktadır. Bu nedenle NDMA, mikro-grid sistemlerini yaygınlaştırmak adına çeşitli pilot uygulamalar başlatmıştır (MDPI, 2022).

Endonezya’da Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), adacık sisteminde afet anında enerji ulaştırma gücü nedeniyle modüler enerji sistemlerine yönelmektedir. Ancak 2018 Sulawesi depreminde hava yoluyla ulaştırılan jeneratörlerin kurulum gecikmeleri kritik kayıplara neden olmuştur (FEMA, 2020).

İtalya’da faaliyet gösteren Dipartimento della Protezione Civile, afet bölgelerinde enerji sağlamak için sivil koruma birimlerine bağlı mobil enerji ekipmanlarını kullanmaktadır. Yine de 2016 Amatrice depreminde jeneratör dağıtımı ile ilgili koordinasyon sorunları yaşanmıştır (FEMA, 2023).

Japonya’daki National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED), enerjiye erişimde teknolojik izleme ve erken uyarı sistemlerinden faydalanmaktadır. Ancak Fukushima sonrası süreçte, nükleer altyapıya duyulan güvensizlik alternatif enerji planlamalarını öne çıkarmıştır (DHS, 2025).

Kore Cumhuriyeti’nde Ministry of the Interior and Safety (MOIS), afet yönetiminde enerji ihtiyacını genellikle merkezi altyapı üzerinden çözmektedir. Ancak, taşra bölgelerinde elektrik kesintilerinin uzun sürmesi nedeniyle portatif batarya çözümlerine dair AR-GE çalışmaları sürmektedir (FEMA, 2023).

Meksika’nın Coordinación Nacional de Protección Civil birimi, kasırga sezonlarında enerji erişiminde özellikle kıyı bölgelerinde sorunlar yaşamaktadır. Bu durum, kıyı hastanelerinde acil jeneratör kullanımını hayati kılmaktadır (Joint Commission, 2021).

Rusya’da Ministry of Emergency Situations (EMERCOM), enerji yönetiminde askeri altyapıyı da kullanarak çok katmanlı bir sistem benimsemektedir. Ancak soğuk iklim nedeniyle saha jeneratörlerinin donma riskine karşı ısıtılmalı sistemlerin geliştirilmesi gerekmiştir (FEMA, 2023).

Suudi Arabistan’da National Center for Disaster Risk Reduction (NCDRR), elektrik altyapısını büyük ölçüde fosil temelli sistemlerle sürdürmektedir. Ancak aşırı sıcaklarda bu sistemlerin aşırı yüklenmesi, enerji kesintilerine yol açmaktadır. Bu nedenle afet senaryolarında özel enerji birimleri devreye alınmaktadır (FEMA, 2023).

Güney Afrika Cumhuriyeti’nde South African National Disaster Management Centre (NDMC), enerji krizlerinin yaygın olduğu ülke genelinde afet anlarında yedek enerji planlarının sıklıkla çalıştırıldığı gözlemlenmiştir. Ancak mevcut enerji altyapısındaki süreksizlik, müdahale sürelerini uzatmaktadır (Ready.gov, 2025).

Türkiye’de Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), elektrik kesintilerinde mobil jeneratör, seyyar enerji sistemleri ve son dönemde bataryalı çözümleri birlikte kullanmaktadır. Ancak özellikle 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde, enerjiye erişimin ilk 24 saatte sınırlı kaldığı ve bu durumun arama kurtarma verimliliğini düşürdüğü belgelenmiştir (NARUC, 2021).

Birleşik Krallık’ta UK Resilience Directorate (ACSC), afet anlarında elektrik iletiminin güvenliğini önceliklendirmektedir. Kritik tesislerde UPS ve jeneratör sistemleri kullanılmakla birlikte, 2022 yılı Yorkshire selinde bazı barınaklarda enerji kesintileri yaşanmıştır (FEMA, 2023).

ABD’de Federal Emergency Management Agency (FEMA), Emergency Support Function 12 kapsamında enerji altyapısının sürdürülebilirliğini ve yeniden yapılandırılmasını yönetmektedir. Gelişmiş enerji haritalama sistemleri ve uydu destekli analizlerle afet sonrası enerji erişimi sağlanmakta; yenilenebilir kaynaklar entegre edilmektedir (DOE/CESER, 2022).

Bu analizden anlaşılabacağı üzere, afet kurumlarının enerjiye ulaşım stratejileri büyük ölçüde teknolojik kapasiteye, altyapı düzeyine ve coğrafi koşullara bağlıdır. Enerjiye erişimdeki her gecikme, insan hayatına doğrudan etki etmekte ve müdahale zincirini zayıflatmaktadır.

3.4.2.3 Kurumların Elektrikli Araçlara Olan Bakışı

Küresel düzeyde afetlerin ve şiddetinin artması, insan kaynaklı krizlerin çoğalması enerji altyapısına yönelik talepleri dönüştürmüş ve afet yönetimi kurumlarının enerji temininde yeni teknolojilere yönelmesine neden olmuştur. Bu bağlamda elektrikli araçlar, yalnızca ulaşım araçları

olarak değil, aynı zamanda alternatif ve mobil enerji kaynakları olarak stratejik bir konuma yerleşmiştir. Elektrikli araçların çift yönlü şarj yetenekleri (V2G, V2H, V2L), afet sonrasında enerji altyapısını desteklenmesi ve acil enerji ihtiyacına çözüm sunabilecek esnek sistemler oluşturulmasına imkân tanımaktadır.

Bu yaklaşım yalnızca teorik değil, aynı zamanda uygulamalı örneklerle de desteklenmektedir. Canberra’da gerçekleştirilen bir pilot çalışmada, elektrikli araçların enerji şebekesinden bağımsız biçimde evlere güç sağladığı gözlemlenmiş ve bu deneyim, afet anlarında dağıtık enerji kaynaklarının önemini ortaya koymuştur (The Guardian, 2024b). Bu gibi uygulamalar, enerji altyapısının zarar gördüğü senaryolarda EV’lerin alternatif güç kaynağı olarak devreye girmesine olanak tanır.

Benzer şekilde ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı’nın verilerine dayanan analizler, EV’lerin afet koşullarında yedek enerji sağlayıcı olarak entegre edilebileceğini göstermektedir (DVRPC, 2024). Bu bağlamda afet yönetimi kurumlarının operasyonel planlarında EV’lere daha fazla rol verilmesi, enerji sürekliliği açısından kritik bir yönelimi temsil eder.

Afet yönetimi stratejilerinde elektrikli araçların yer bulmasının bir diğer nedeni ise enerji altyapısındaki kırılganlıktır. Reuters’in haberine göre ABD enerji şebekesi, elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte artan yük talebine cevap verebilmek adına altyapı dayanıklılığına odaklanmaktadır (Reuters, 2025). Afet anlarında bu yükün dengelenmesi, EV’lerin şebekeye enerji sağlayabilme kapasitesiyle desteklenebilir.

Elektrikli araçların şebekeyle ilişkisini değerlendiren bilimsel çalışmalar da bu görüşü destekler niteliktedir. Zhang ve diğerleri (2024), V2G teknolojisinin, afet senaryolarında enerji sürekliliği açısından nasıl optimize edilebileceğini modelleyerek, dağıtık enerji yönetim sistemleriyle entegrasyon potansiyelini ortaya koymuştur.

Kurumsal düzeyde, ABD İtfaiye İdaresi (USFA) ve FEMA, EV'lere yönelik risk analizlerini enerji stratejileriyle birlikte ele almaktadır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda batarya yangınlarının nasıl yönetileceği, afet sonrası müdahale için öncelikli konu başlıkları arasında yer almıştır (USFA, 2024). Bu durum, EV’lerin afet altyapısında yer alabilmesi için teknik güvenlik kılavuzlarının geliştirilmesini zorunlu kılar.

FEMA’ya bağlı diğer yapılar da EV altyapısını destekleyici yönde eğilim göstermektedir. Kurumun resmi blog yayınlarında, şarj istasyonlarının afet bölgelerinde nasıl güvenli biçimde işletilebileceğine dair rehberler yayımlanmıştır (FEMA, 2024). Bu rehberler, afet anında müdahale ekiplerinin araçlarını güvenli biçimde şarj edebilmesini ve enerji sürekliliğinin sağlanmasını hedefler.

AfDC/DOE tarafından hazırlanan rehberde ise, acil müdahale birimlerinin elektrikli araçları güvenle kullanabilmeleri için operasyonel talimatlar sunulmuştur (AfDC/DOE, 2023). Bu da göstermektedir ki, EV teknolojisi yalnızca afet sonrası halk için değil, doğrudan müdahale ekiplerinin kullanımında da kritik bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Finansal yönüyle değerlendirildiğinde, afet kurumlarının EV projelerine kaynak aktarma kapasitesi de dikkat çekmektedir. BeamGlobal'ın hazırladığı analizde, FEMA destekli projelerin elektrikli araç şarj altyapılarına nasıl entegre edilebileceği açıklanmış ve bu alana yönelik mali teşviklerin önü açılmıştır (BeamGlobal, 2023). Bu finansal bütünlük, teknolojik dönüşümün kurumsal sürdürülebilirliğini sağlamaktadır.

Ancak EV'lerin afet koşullarında sınırsız çözümler sunduğu söylenemez. Wall Street Journal'da yayımlanan bir analizde, orman yangınları sırasında tahliye edilen bireylerin menzil kaygısıyla karşı karşıya kaldıkları ve bazı EV'lerin yetersiz menzil nedeniyle risk oluşturduğu belirtilmiştir (WSJ, 2025). Bu tür sınırlılıklar, afet kurumlarının EV stratejilerini teknik kapasiteyle eşgüdüm içinde kurgulamasını gerektirir.

Yine de bazı kamu kurumları, EV'leri operasyonel sistemlerinin doğrudan parçası haline getirmiştir. Pasadena polis filosunun tamamen elektrikli hale getirilmesi, kriz anlarında bu araçların acil görevleri yerine getirebilme kapasitesini göstermiştir (Politico, 2024). Bu gelişme, afet kurumlarının EV teknolojisine olan güvenini artıran bir başka örnektir.

İtfaiye ekipleri açısından ise EV'lerle çalışmak yeni teknik ve fiziksel beceriler gerektirmektedir. Avustralya'nın New South Wales bölgesinde itfaiyecilere yönelik zorunlu EV eğitimleri başlatılmıştır (The Guardian, 2024a). Bu, afet müdahale ekiplerinin yeni teknolojiye adaptasyonunu artırmaya dönük bir strateji olarak değerlendirilebilir.

Ancak bu dönüşüm yalnızca eğitimle sınırlı kalmamalıdır. News.com.au'nun haberine göre, EV kazalarına müdahalede karşılaşılan teknik zorluklar, klasik araçlara göre daha karmaşık ve tehlikeli durumlar yaratabilmektedir (News.com.au, 2023). Bu da EV'lerin afetlerde aktif olarak yer alabilmesi için güvenlik protokollerinin yeniden yapılandırılması gerektiğine işaret eder.

Bu bağlamda TRB'nin sunduğu "Electric Vehicle Fire Mitigation Toolkit", afet bölgelerinde EV kaynaklı yangınlarla nasıl başa çıkılacağını gösteren mühendislik temelli bir çözümdür (TRB, 2023). Bu gibi araçlar, afet kurumlarının karar verme süreçlerine doğrudan katkı sağlamaktadır.

Son olarak, elektrikli araçların afet sistemlerine entegrasyonunda uzun vadeli kurumsal vizyonların önemi büyüktür. Cyber Switching tarafından yayımlanan rapor, acil servislerde görev

yapan araçların elektrikliye dönüştürülmesinin, karbon emisyonlarının yanı sıra enerji sürdürülebilirliği açısından da fayda sağladığını ortaya koymaktadır (Cyber Switching, 2023). Bu yaklaşım, afet yönetimi ve iklim stratejilerinin kesiştiği noktada yeni bir paradigma sunmaktadır.

3.4.3 Afet ve Akıllı Ulaşım Sistemleri

Afetlerin ulaştırma sistemleri üzerinde yarattığı yıkıcı etkiler, müdahale, tahliye ve iyileştirme süreçlerini doğrudan etkileyen bir faktördür. Özellikle metropol kentlerde meydana gelen büyük ölçekli afetlerde, karayolu ulaşımının kesintiye uğraması; yardım ekiplerinin gecikmesine, lojistik hatların kırılmasına ve halkın acil tahliye süreçlerinde zorluk yaşamasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) afet yönetimi için sadece trafik düzenlemesi değil, aynı zamanda dijital koordinasyon ve karar destek işleviyle stratejik bir araç haline gelmiştir. Mehmet Tektaş (2016), AUS'un afet koşullarında erişilebilirlik, izlenebilirlik ve veri tabanlı yönlendirme kapasitesini artırarak toplumsal hareketliliğin yeniden inşasında kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır.

AUS sistemlerinin afet sonrası müdahale performansına katkısı, yalnızca bilgi toplama değil; bu bilgiyi işlemede gösterdiği hız ve hassasiyetle de ölçülmektedir. OECD ve Uluslararası Taşımacılık Forumu'nun yayımladığı rapora göre, ulaştırma sistemlerinin afet karşısındaki dayanıklılığı, “risk – şok maruziyeti – toparlanma hızı” ekseninde ele alınmakta; AUS teknolojileri bu üç aşamanın tümünde operasyonel kabiliyeti artıran bir araç olarak tanımlanmaktadır (OECD/ITF, 2024). Gerçek zamanlı veri ile çalışan bu sistemler sayesinde, yol kapanmaları, hasar durumları ve tahliye rotaları anlık olarak analiz edilebilmekte, müdahale ekipleri en uygun güzergâha yönlendirilebilmektedir.

Ulaşım altyapısının zayıf halkalarını tespit ederek dayanıklılık seviyesini ölçmek adına yapılan çalışmalar, AUS tabanlı dijital sistemlerin stratejik önemini daha da görünür kılmaktadır. Pan, Yan, He ve He (2021) tarafından yayımlanan literatür derlemesinde, ulaşım sistemlerinin kırılabilirlik analizlerinin çok değişkenli ve veri temelli yaklaşımlarla yapılmasının afet direncini belirleme açısından elzem olduğu ortaya konulmuştur. Söz konusu analizlerde kullanılan algoritmalar ve graf kuramı modelleri, ulaşım ağlarının hangi senaryolarda çökebileceğini önceden tahmin ederek, afet öncesi risk azaltma stratejileri geliştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Öte yandan, dijital dönüşümün afet yönetimi süreçlerine olan etkisi de AUS sistemlerinin başarısı ile yakından ilişkilidir. Fischer-Preßler, Bonaretti ve Bunker (2024), afet yönetiminde gerçek zamanlı bilgi paylaşımının, kaynakların konumlandırılmasında ve karar verme süreçlerinde

ciddi bir avantaj sağladığını belirtmektedir. Bu bağlamda, AUS bileşenlerinin coğrafi bilgi sistemleri (GIS), uzaktan algılama ve dijital ikiz gibi teknolojilerle entegre edilmesi; afet yönetimi sürecinde ulaşım planlamasının çok boyutlu yapılmasını ve senaryolar arası karşılaştırma imkânı sunmaktadır.

Sonuç olarak, afet yönetiminde AUS sistemlerinin rolü, sadece bir teknolojik iyileştirme değil, aynı zamanda kriz durumlarında koordinasyon ve bilgiye dayalı karar alma mekanizmalarının yeniden yapılandırılması anlamına gelmektedir. Türkiye gibi afet riski yüksek ülkelerde, AUS altyapılarının afet senaryolarına uygun biçimde revize edilmesi, karar destek sistemlerinin geliştirilmesi ve bu yapının kurumsal afet planlarına entegre edilmesi artık bir tercih değil, zorunluluktur. Bu noktada mühendislik camiası, veri analitiği temelli ulaşım modellerini afet direncini esas alarak yeniden kurgulamalı, ulaşımın sürekliliği kadar toplumun güvenliği için de stratejik bir zemin oluşturmalıdır.

3.5 Jeneratör İhtiyacı ve Kullanım Alanları

Jeneratörler, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren ve elektromanyetik indüksiyon prensibine göre çalışan elektromekanik sistemlerdir. Bu sistemlerde, bir iletkenin değişken bir manyetik alan içinde hareket etmesi sonucu stator sargılarında gerilim indüklenir. Temel bileşenleri arasında rotor (dönen mıknatıs veya alan sargısı) ve stator (duran iletken sargılar) yer alır. Alternatif akım (AC) üreten senkron jeneratörlerde, rotor tarafından üretilen döner manyetik alan, stator sargılarında sinüsoidal bir elektromotor kuvvet (EMK) oluşturur. Endüstriyel jeneratörler genellikle sabit frekans ve gerilim üretimini sağlamak amacıyla regülasyon ve otomatik kontrol sistemleriyle donatılır. Soğutma sistemleri ise hava, sıvı ya da hidrojen bazlı olabilir ve bu sistemlerin güvenilirliği, sürekli ve dengeli güç üretimi açısından kritik öneme sahiptir (Asope, 2014).

Bu tez kapsamında jeneratörlerin incelenmesinin nedeni, elektrikli araçların afet anlarında alternatif enerji kaynağı olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesidir. Geleneksel jeneratörler, özellikle elektrik şebekesinin zarar gördüğü veya tamamen devre dışı kaldığı kriz senaryolarında, temel enerji kaynağı görevini üstlenir. Ancak bu sistemler genellikle fosil yakıtla çalıştıklarından hem tedarik zinciri kırılganlığı hem de emisyon yükü gibi önemli sınırlılıklar barındırır. Elektrikli araçlar ise içerdikleri yüksek kapasiteli batarya sistemleri ve çift yönlü enerji aktarım teknolojileri (örneğin V2L veya V2G) sayesinde, geleneksel jeneratörlerin sunduğu enerji hizmetini daha sürdürülebilir, taşınabilir ve emisyon azaltıcı şekilde sunma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle

jeneratör kavramı, yalnızca teknik bir sistem olarak değil, afetlere hazırlık ve müdahale stratejilerinde alternatif enerji senaryolarının karşılaştırma kriteri olarak ele alınmıştır (Asope, 2014).

3.5.1 Jeneratör Sistemleri

Elektrik jeneratörleri, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektromekanik sistemlerdir. Bu dönüşüm, Faraday'ın elektromanyetik indüksiyon ilkesine dayanır. İlk jeneratör örneği olarak 1831 yılında Michael Faraday tarafından geliştirilen Faraday diski kabul edilir. Bu cihaz, sabit bir mıknatıs etrafında dönen bir iletken diskten oluşmaktaydı ve dönme sırasında statik manyetik alan içinde hareket eden iletkende elektromotor kuvvet (EMK) oluşuyordu. Bu temel prensip, tüm modern jeneratör sistemlerinin çıkış noktasını oluşturmuştur (Forrester, 2016).

19. yüzyılın ikinci yarısında Hippolyte Pixii, Zénobe Gramme ve Thomas Edison gibi isimlerin katkılarıyla jeneratör teknolojisi hızla gelişmiştir. Endüstride kullanıma uygun ilk doğru akım (DC) jeneratörleri bu dönemde tasarlanmış, ardından Nikola Tesla'nın alternatif akım (AC) sistemleriyle birlikte senkron jeneratörler yaygınlaşmıştır. Elektrik üretiminin merkezileşmesiyle birlikte büyük ölçekli buhar türbinli jeneratörler enerji sistemlerinin temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Forrester, 2016).

Jeneratörler günümüzde başta termik, hidroelektrik, nükleer ve rüzgâr santralleri olmak üzere geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Ayrıca taşınabilir versiyonları, hastaneler, iletişim altyapıları, acil durum barınakları gibi kritik tesislerin enerji ihtiyacını karşılamak üzere devreye alınmaktadır. Bunun yanı sıra gemi, tren, uçak gibi mobil platformlarda da özelleştirilmiş jeneratör sistemleri kullanılmaktadır (U.S. Fire Administration, 2014).

Jeneratör sistemlerinin çalışabilmesi için temel bir mekanik enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Bu enerji; içten yanmalı motorlar, buhar türbinleri, su türbinleri, gaz türbinleri veya rüzgâr türbinleri aracılığıyla sağlanabilir. Motor milinden sağlanan dönme hareketi, rotor adı verilen bileşen üzerinde bir manyetik alan oluşturur. Rotorun dönmesiyle bu manyetik alan, stator üzerindeki sargılar boyunca bir elektromotor kuvvet indüklenmesine neden olur (Asope, 2014).

Doğru akım jeneratörlerinde komütatör adı verilen bir bileşen kullanılarak üretilen alternatif akım, mekanik olarak doğrultularak DC forma çevrilir. Günümüzde ise bu yöntem, yerini daha çok AC üretimi yapan jeneratörlerle birlikte çalışan güç elektroniği dönüştürücülerine bırakmıştır. Böylece AC gerilim istenilen frekansta DC'ye çevrilebilir ve daha esnek bir enerji yönetimi sağlanır (Boldea, 2017).

Jeneratörlerin elektromanyetik yapısı, stator sargılarında oluşan akımın miktarını etkileyen bazı parametrelere bağlıdır. Bu parametreler arasında rotorun dönüş hızı, manyetik alan yoğunluğu, sargı sayısı ve sargıların geometrik yerleşimi yer alır. Üretilen gerilim $\varepsilon = N \cdot (d\Phi/dt)$ formülüyle hesaplanır ve bu denklem, elektromanyetik indüksiyonun mühendislik uygulamalarındaki temelini oluşturur (Asope, 2014).

Jeneratör sistemlerinin güvenliği de tasarımın ayrılmaz bir parçasıdır. Isı, nem, sarsıntı ve aşırı yük gibi dış etkiler jeneratör performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu nedenle termal yönetim, titreşim sönümleme, izolasyon malzemeleri ve otomatik kesici sistemler modern jeneratörlerde standartlaştırılmıştır. Özellikle yüksek güçlü uygulamalarda, hidrojen soğutmalı sistemler kullanılarak verim artırılmakta ve ısıl kararlılık sağlanmaktadır (University of Texas Energy Institute, 2016).

Jeneratörlerin yapısal sınıflandırmasında iki ana grup öne çıkar: senkron ve asenkron jeneratörler. Senkron jeneratörlerde rotorun dönüş hızı, stator sargılarında üretilen alternatif akımın frekansı ile tam olarak senkronize olur. Bu yapı, sabit frekanslı enerji ihtiyacının karşılanmasında tercih edilir. Buna karşın asenkron jeneratörlerde rotor, stator alanına göre daha düşük hızda döner ve genellikle daha az karmaşık yapıya sahiptir (Asope, 2014; Boldea, 2017).

Jeneratörlerin uygulama alanı kadar, kullanılan soğutma ve sargı teknolojileri de değişiklik göstermektedir. Özellikle yüksek güçlü senkron jeneratörlerde sıvı soğutma sistemleri, hidrojen soğutmalı rotorlar ve epoksi kaplı stator sargıları öne çıkmaktadır. Bu tür teknolojiler, jeneratörün uzun ömürlü ve yüksek verimli çalışmasını desteklemektedir (University of Texas Energy Institute, 2016).

Afet anlarında jeneratör sistemleri, acil enerji ihtiyacının karşılanmasında kritik rol oynamaktadır. Şebekenin tamamen devre dışı kaldığı durumlarda, taşınabilir jeneratörler sayesinde yaşam destek üniteleri, haberleşme altyapıları, su pompalama sistemleri ve aydınlatma gibi temel hizmetler sürdürülebilir (U.S. Fire Administration, 2014).

Literatürde, afetlerde kullanılan jeneratör sistemlerinin operasyonel özelliklerine dair çeşitli incelemeler yapılmıştır. Kullanılan yakıt tipi, yük kapasitesi, kullanım süresi, egzoz emisyonu ve bakım gereksinimi gibi kriterler, afet senaryosuna uygun jeneratör seçimini doğrudan etkiler. İçten yanmalı dizel motorlu jeneratörler genellikle tercih edilmekle birlikte, bu sistemlerin yakıt lojistiği gereksinimi, bazı durumlarda zafiyet oluşturabilmektedir (NCBI, 2023).

Bu nedenle, taşınabilir ve batarya destekli sistemlerin, geleneksel jeneratörlerin tamamlayıcısı olarak değerlendirildiği hibrit yapılar geliştirilmeye başlanmıştır. Örneğin bataryalı enerji depolama üniteleriyle desteklenen jeneratör sistemleri, hem enerji sürekliliğini hem de yakıt

tasarrufunu birlikte sağlar. Bu hibrit modeller, özellikle afet bölgelerinde hem karbon salımını azaltmakta hem de ses kirliliğini minimuma indirmektedir (Boldea, 2017).

Jeneratör sistemleri, yalnızca güç üretim cihazları değil, aynı zamanda enerji stratejilerinin temel yapı taşlarıdır. Bu bağlamda, jeneratör seçimi ve konfigürasyonu, bulunduğu çevresel koşullara, yük profiline ve operasyonel gerekliliklere göre özelleştirilmelidir. Güç kalitesi, harmonik filtreleme, frekans sabitleme ve uzaktan kontrol gibi özelliklerin entegrasyonu, günümüzde ileri jeneratör sistemlerini tanımlayan başlıca kriterler arasındadır (IEEE Circuits and Systems Society, 2022).

Sonuç olarak jeneratör sistemleri, enerji altyapısının hem normal koşullarda hem de kriz senaryolarında vazgeçilmez bir bileşeni olmaya devam etmektedir. Mekanikten elektriğe dönüşümün tarihsel, teorik ve uygulamalı yönleri; mühendislik alanında jeneratör teknolojisinin dinamik bir araştırma konusu olmasını sürdürmektedir. Gelişen güç elektroniği, malzeme bilimi ve kontrol mühendisliği sayesinde jeneratör sistemlerinin gelecekte daha akıllı, daha verimli ve daha entegre çözümler sunması beklenmektedir (University of Texas Energy Institute, 2016).

3.5.2 Çift Yönlü Şarj Sistemleri

Elektrikli araç şarj teknolojileri, son on yılda gösterdiği gelişimle, hem bireysel kullanıcıların hem de şehir altyapısının enerjiyle etkileşimini dönüştürmüştür. Standart tek yönlü şarj sistemleri, genellikle alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) dönüştürerek elektrikli aracın bataryasını besler. Şarj işlemi, AC wallbox'lar gibi düşük güçlü ev sistemlerinden, DC hızlı şarj istasyonlarına kadar farklı hız ve teknoloji seviyelerinde sunulmaktadır (Chan & Chau, 2001). Şarj süreleri batarya kapasitesine, aracın iç donanımına ve kullanılan şarj istasyonunun gücüne göre büyük farklılık gösterebilir.

Mevcut sistemlerin çoğu “tek yönlü” çalışır: elektrik yalnızca şebekeden araca (G2V – Grid to Vehicle) akar. Ancak bu yapı, enerji akışını tek taraflı sınırladığı için hem enerji verimliliği hem de sistem esnekliği açısından çeşitli sınırlamalara sahiptir. Örneğin, araç park halindeyken büyük bir enerji deposu olarak atıl durumda kalır (Letcher & Britton, 2025). Bu durum, enerji sisteminin giderek artan dinamik taleplerini karşılamakta yetersiz kalmaktadır. İşte bu noktada çift yönlü şarj sistemleri, hem enerji altyapısının dengelenmesi hem de afet gibi olağanüstü durumlara hazırlık açısından kritik bir yenilik olarak ortaya çıkmaktadır (Adegbohun, von Jouanne, Agamloh & Yokochi, 2024).

Şarj istasyonlarında enerji depolama teknolojileri, son yıllarda elektrikli araç altyapısının önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Bu tür sistemler, batarya tabanlı enerji depolama birimleri (Battery Energy Storage Systems – BESS) aracılığıyla güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından toplanan enerjinin istasyonda tutulmasına olanak tanır. Böylece hem şebeke üzerindeki yük dengelenir hem de enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı esneklik sağlanır (Ghatikar ve Alam, 2023). Ayrıca bazı istasyonlar, enerji fazlasını geri şebekeye satarak ekonomik getiri sağlayabilmektedir. Bu yapı, sadece araç şarjı için değil, aynı zamanda enerji arz güvenliği açısından da önem taşımaktadır (Izumi, Hirota, Hatanaka, Isoyama, Sano, ve Takayama, 2013).

Afet anlarında veya geniş çaplı elektrik kesintilerinde, şarj istasyonlarında depolanan bu enerji, kritik altyapıların geçici olarak beslenmesinde kullanılabilir. Ancak bu modelin önemli bir sınırlaması vardır: Enerji doğrudan araçlardan değil, sabit depolama sistemlerinden sağlanmaktadır. Oysa afet senaryolarında mobilite, yani enerjinin taşınabilirliği ve dağıtılabilirliği de en az enerji üretimi kadar önemlidir (Tang, Sun, Bi, Wang, ve Zhang, 2022).

Bu bağlamda, çalışmanın temel odağının şarj istasyonlarındaki sabit enerji depoları değil, elektrikli araçlarda taşınabilir şekilde depolanan enerjinin kullanımı olduğu özellikle vurgulanmalıdır. Elektrikli araçlar yalnızca bir ulaşım aracı değil, aynı zamanda hareketli bir enerji kaynağıdır. Bu yönleriyle afet zamanlarında sabit altyapılara göre çok daha esnek ve dağıtılabilir enerji çözümleri sunma potansiyeli taşımaktadır (Kockelman & Dean, 2024).

Tablo 1. Çift Yönlü Şarjlı Araçlar

Araç Modeli	V2L	V2H	V2G
Hyundai IONIQ 5 - 6	Var	Yok	Yok
MG ZS EV	Var	Yok	Yok
MG4	Var	Yok	Yok
BYD Atto 3	Var	Yok	Yok
Leapmotor C10	Var	Yok	Yok
BYD Dolphin	Var	Yok	Yok
BYD Seal	Var	Yok	Yok
BYD Shark PHEV	Var	Yok	Yok
BYD Sealion 6 PHEV	Var	Yok	Yok
Kia EV5, EV6	Var	Yok	Yok
Kia Niro EV	Var	Yok	Yok
Genesis GV60, GV70, GV80	Var	Yok	Yok
Chery Omada 5 E5	Var	Yok	Yok
Geely EX5	Var	Yok	Yok
Volkswagen ID.3 - 4	Yok	Var	Var
Mitsubishi Outlander PHEV	Var	Var	Var
Mitsubishi Eclipse Cross PHEV	Var	Var	Var
Kia EV9	Var	Var	Var
Nissan Leaf	Yok	Var	Var
Tesla Cybertruck	Var	Var	Var
Ford F-150	Var	Var	Var

Tabloda dünya üzerinde satışı devam eden çift yönlü şarj sistemlerine sahip olan marka modeller verilmiştir. Bu araçlar tezde yer alan vakaların oluşmasına öncülük ederek afet dönemlerinde kullanılması üzerine bir zemin hazırlamaktadır.

3.5.2.1 V2G Araçtan Şebekeye Enerji Aktarımı Teknolojisi

Vehicle-to-Grid (V2G) teknolojisi, elektrikli araç bataryalarında depolanan enerjinin, yalnızca aracın enerji gereksinimini karşılamakla sınırlı kalmayıp, gerektiğinde şebekeye geri aktarılmasını sağlayan çift yönlü bir enerji yönetim sistemidir. Bu teknolojiye ilişkin ilk kavramsal tartışmalar, 1990'lı yılların başında yapılmış; ancak sistematik mühendislik çalışmaları 2000'li yıllarda başlamıştır. V2G sistemleri üzerinde ilk uygulamalı çalışmalar, 2007 yılında University of Delaware tarafından William Kempton ve diğerlerinin yürüttüğü pilot projelerde gerçekleştirilmiştir. Bu projeler, V2G'nin frekans regülasyonu ve şebeke dengeleme potansiyelini deneysel olarak ortaya koymuştur (Kempton, Udo, Huber, Komara ve Letendre, 2008).

V2G sistemlerinin temel mühendislik yapısı, çift yönlü invertör, batarya yönetim sistemi, haberleşme modülü ve merkezi enerji yönetim algoritmalarından oluşur. Araçta yer alan invertörler, bataryadan alınan doğru akımı alternatif akıma çevirerek şebekeye aktarır. Bu sistemler, yük talebine göre şarj ve deşarj döngülerini yöneten bir kontrol algoritması ile çalışır. Literatürde bu sistemlerin, frekans regülasyonu, gerilim desteği ve ani yük tepkisi gibi dinamik şebeke ihtiyaçlarını karşılayabildiği gösterilmiştir. Şebekeye entegre edilen V2G sistemleri, anlık dengeleme süreçlerinde dağıtık enerji kaynakları ile koordinasyon içinde çalışarak, merkezileşmiş enerji üretim baskısını azaltır (Hasanuzzaman, Alamri, Alsharef ve Mojumder, 2022).

V2G teknolojisi, yalnızca merkezi şebekeye katkı sağlamakla sınırlı değildir; mikro şebeke uygulamalarında da kritik işlevler üstlenmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının süresiz üretim karakteristiği nedeniyle, enerji arz ve talebi arasında geçici dengesizlikler oluşmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçlar mobil enerji depolama birimi olarak kullanılmakta ve mikro şebekelerin yük yönetim süreçlerinde aktif rol almaktadır. Yapılan mühendislik analizleri, V2G ile desteklenen mikro şebekelerde hem sistem veriminin arttığını hem de acil durum senaryolarında kesintisiz enerji sağlanabildiğini göstermektedir (Wang, O'Neill ve Kamath, 2014). Buna ek olarak, fosil kaynaklı üretimin yerine elektrikli araç bataryalarının kullanılmasıyla karbon emisyonlarında azalma sağlandığı da rapor edilmiştir (Islam, Iqbal, Marzband, Khan ve Al-Wahedi, 2022).

V2G teknolojisinin güçlü yönleri arasında, şebeke frekans stabilizasyonuna katkı, ani talep piklerinin baskılanması, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla uyumlu çalışma kapasitesi ve karbon emisyonlarının azaltılması yer almaktadır. Bununla birlikte, sistemin uygulama alanı bazı teknik ve ekonomik sınırlamalara sahiptir. Öncelikle, batarya ömrünün sık şarj-deşarj döngüleriyle olumsuz etkilenme riski bulunmaktadır. Ayrıca, iki yönlü invertörlerin maliyeti, haberleşme protokollerinin standartlaşmamış olması ve yasal düzenlemelerin eksikliği uygulama sürecinde önemli engeller olarak tanımlanmıştır (Sturmberg, Jones, Lucas-Healey, Islam ve Temby, 2021).

3.5.2.2 V2H Araçtan Eve Enerji Aktarımı Teknolojisi

Elektrikli araçlardan konutlara enerji aktarımı sağlayan çift yönlü şarj teknolojilerinin önemli bir uygulaması olan Vehicle-to-Home (V2H), elektrikli aracın bataryasında depolanan enerjinin konut yüklerine doğrudan iletilmesini esas alır. V2H sistemleri, enerji sürekliliğinin kritik olduğu senaryolarda alternatif bir kaynak olarak değerlendirilebilmekte, aynı zamanda dağıtık üretim ve tüketim yapıları içerisinde esnek bir enerji yönetim aracı işlevi görebilmektedir. Bu teknolojiye ilişkin ilk saha uygulaması, 2014 yılında Austin Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiş olup, Baldick ve Van Nguyen tarafından yürütülen çalışmada araç bataryası üzerinden tipik bir konutun enerji ihtiyacının karşılanabildiği gösterilmiştir. Çalışma, V2H sistemlerinin sınırlı süreli enerji arzı sağladığını ve özellikle mikro şebeke senaryolarında uygulanabilirliğini ortaya koymuştur (Tuttle, Fares, Baldick ve Webber, 2014).

V2H sistemlerinin teknik altyapısı, çift yönlü çalışan bir güç elektroniği dönüştürücü (DC-AC invertör), batarya yönetim sistemi (Battery Management System – BMS), evsel yükler ile şebeke arasındaki enerji yönünü denetleyen akıllı anahtarlama birimleri ve konut tipi enerji yönetim sistemi (Home Energy Management System – HEMS) bileşenlerinden oluşur. Elektrikli araç bataryasından elde edilen doğru akım, inverter aracılığıyla 220–240 V seviyesinde alternatif akıma dönüştürülerek ev içi yükleri besler. Bu süreçte kullanılan yarı iletken anahtarlama elemanları genellikle SiC MOSFET veya IGBT tabanlıdır. Çıkış sinyalinin kalite parametrelerini korumak amacıyla harmonik filtreler kullanılır. Sistemin güvenlik gereksinimleri ise kaçak akım dedektörleri, aşırı akım sınırlayıcılar ve izolasyon röleleriyle sağlanmaktadır (Subahi ve Alkudhayr, 2024). Bu yapı, sistemin hem şebekeye entegre hem de yalıtık modda güvenli biçimde çalışmasını mümkün kılmaktadır.

Kontrol katmanında, V2H sistemleri dinamik olarak değişen yük taleplerine ve batarya durumuna göre gerçek zamanlı enerji yönetimi sağlar. Bu amaçla SoC (State of Charge) ve SoP (State of Power) hesaplamaları temel alınmakta, gerektiğinde şebekeden enerji alımı veya bataryadan enerji verilmesi arasında geçiş yapılmaktadır. Bu geçişler esnasında enerji akışını yöneten algoritmalar, hem kullanıcı tercihlerine hem de enerji fiyatlamasına dayalı olarak çalışabilmektedir. Literatürde, V2H sistemlerinin özellikle fotovoltaik sistemlerle bütünleştiği mikro şebeke senaryolarında yüksek verimlilik ve enerji sürekliliği sağladığı gösterilmiştir (Wang, O'Neill ve Kamath, 2014). Araç bataryası gündüz güneş enerjisiyle şarj edilmekte, gece saatlerinde ise konut yükleri bu batarya üzerinden beslenmektedir. Bu yapı yalnızca konutun enerji tüketimini optimize etmekle kalmayıp, aynı zamanda dışa bağımlılığı azaltan ve karbon emisyonlarını düşüren bir çözüm sunmaktadır (Islam, Iqbal, Marzband, Khan ve Al-Wahedi, 2022).

V2H teknolojisinin mühendislik uygulamaları, hem enerji arz güvenliği hem de kullanıcı odaklı enerji yönetimi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Şebeke bağlantısının kesildiği durumlarda konutun beslenmeye devam etmesini sağlaması, PV sistemleri ile bütünleşik çalışarak enerji otonomisini artırması ve elektrik tüketiminin yoğun olduğu zaman dilimlerinde araç bataryasından besleme yaparak enerji maliyetlerini düşürmesi, sistemin başlıca güçlü yönleri arasında yer almaktadır (Subahi ve Alkhudhayr, 2024; Baldick ve Van Nguyen, 2014). Bununla birlikte, sistemin bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. V2H uygulamaları, bataryaların sık şarj-deşarj döngüsüne maruz kalmasına neden olarak ömürlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca, çift yönlü güç elektroniği topolojileri yüksek maliyetli donanım gereksinimleri doğurmakta, sistemin konutla entegrasyonunda ise ileri düzey enerji yönetimi ve haberleşme protokollerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda yapılan teknik bir derlemede, V2H sistemlerinin güç elektroniği arayüzlerinde daha esnek ve optimize edilebilir mimariler geliştirilmesi gerektiği belirtilmiştir (Tasnım, Riana, Shams, Shahjalal, Subhani, Ahmed ve Iqbal, 2023).

3.5.2.3 V2L Araçtan Cihaza Enerji Aktarımı Teknolojisi

Vehicle-to-Load (V2L) teknolojisi, elektrikli araç bataryasında depolanan enerjinin araç dışındaki harici yükleri beslemek amacıyla kullanılmasını sağlayan bir sistemdir. Çift yönlü enerji aktarım teknolojilerinin bir alt bileşeni olan V2L'in mühendislik temelleri 2010'lu yılların başında

tartışılmaya başlanmış, ancak endüstriyel ölçekte ilk uygulamaları 2020 sonrası görülmüştür. V2L'in mimarisine ilişkin ilk teknik açıklamalardan biri, 2024 yılında yayımlanan SAE teknik raporunda yapılmıştır. Bu çalışmada, araç üzerinde yer alan akıllı güç paneli sayesinde V2L işlevinin modüler biçimde gerçekleştirilebileceği ve sabit yüklerin güvenli şekilde beslenebileceği gösterilmiştir (Tavella, Tolkacz, Kasture ve Sarkar, 2024).

Mühendislik açısından bakıldığında, V2L sistemlerinin temel bileşeni, araç bataryasından elde edilen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çeviren bir invertördür. Genellikle bu sistemler, 400–800 voltluk yüksek gerilimli batarya çıkışını 220–240 voltluk standart konut tipi AC gerilime dönüştürmektedir. Bu dönüşüm işlemi, yüksek verimli yarı iletken elemanlar (örneğin SiC MOSFET veya IGBT) ile gerçekleştirilmekte, çıkışta ise harmonik bozunumları filtreleyen aktif veya pasif filtre devreleri kullanılmaktadır. Ayrıca sistemler, kaçak akım koruması, izolasyon rölesi ve aşırı akım sınırlandırması gibi koruma bileşenleriyle desteklenmektedir (Muniandi, Wan ve El-Yabroudi, 2024).

V2L sistemleri yalnızca güç dönüşümüyle sınırlı değildir; aynı zamanda batarya koruma algoritmaları ve yük yönetim sistemleriyle birlikte çalışmaktadır. State-of-Charge (SoC) bazlı sınırlamalar, bataryanın belirli bir eşik altına düşmesi durumunda çıkışın kesilmesini sağlayarak batarya ömrünü korur. Geliştirilen kontrol algoritmaları sayesinde V2L sistemleri, %95'e varan verimlilik değerlerine ulaşabilmekte ve bağlı yüklerin değişken taleplerine uygun şekilde regülasyon gerçekleştirebilmektedir. Bu sistemler, mobil uygulamalar için yüksek esneklik sağlarken, aynı zamanda sabit enerji kaynaklarının bulunmadığı durumlarda kritik yükleri besleyebilme kabiliyetiyle öne çıkmaktadır (Muniandi, Wan ve El-Yabroudi, 2024).

V2L teknolojisinin çeşitli avantajları bulunmaktadır. Öncelikle bu sistemler, enerji altyapısının bulunmadığı veya geçici olarak kullanılmadığı alanlarda harici cihazların çalıştırılmasına olanak sağlar. Özellikle kamp alanları, acil durum müdahale bölgeleri veya kırsal şebeke dışı alanlarda, enerjiye hızlı ve taşınabilir erişim sağlar. Ayrıca mikro şebekelerde kısa süreli yedek enerji kaynağı olarak değerlendirilebilir. Öte yandan, sistemin bazı sınırlamaları da mevcuttur. V2L sistemlerinin güç kapasiteleri genellikle 3 ile 10 kilowatt arasında sınırlıdır; bu da yüksek güçlü endüstriyel cihazlar için yetersiz olabilir. Ayrıca, sistemlerin ek donanım gereksinimleri maliyetleri artırmakta ve kontrol algoritmalarının karmaşıklığı nedeniyle yazılım altyapısı açısından gelişmiş mühendislik desteği gerektirmektedir (Islam, Iqbal, Marzband, Khan ve Al-Wahedi, 2022).

V2L teknolojisinin uygulamalı geçerliliği, çeşitli mühendislik modellemeleriyle test edilmiştir. Örneğin, 2023 yılında yayımlanan bir simülasyon çalışmasında, elektrikli araçtan konut

tipi yüklerle 2 kilowatt düzeyinde enerji aktarımı sağlayan bir V2L yapılandırması modellenmiş ve bu yapı üzerinden batarya aşınma etkileri analiz edilmiştir. Simülasyon sonuçları, uygun kontrol algoritmalarıyla sistem verimliliğinin artırılabilirliğini ve batarya ömrünün korunabileceğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, V2L teknolojisinin hem kısa vadeli saha kullanımlarında hem de uzun vadeli enerji sistemlerine entegrasyonunda mühendislik açısından uygulanabilir bir çözüm sunduğunu göstermektedir (Kumar ve Channi, 2023).

3.5.2.4 V2X Araçtan Herşeye Enerji ve Veri Aktarımı Teknolojisi

V2X kavramı, kara taşıtlarının çevresindeki diğer araçlar (Vehicle-to-Vehicle, V2V), altyapı sistemleri (Vehicle-to-Infrastructure, V2I), yayalar (Vehicle-to-Pedestrian, V2P), enerji şebekesi (Vehicle-to-Grid, V2G) ve konut/cihazlar (Vehicle-to-Home/Load, V2H/V2L) ile iki yönlü veri ve enerji etkileşimi kurmasını hedefleyen bütünlük bir iletişim ve enerji sistemidir. Bu teknolojinin altyapısal temelini oluşturan IEEE 802.11p standardı, 2010 yılında kabul edilmiş olup, araçlar arası doğrudan iletişim (DSRC) protokolünü uygulamaya alarak V2X'in sahadaki teknik karşılığını somutlaştırmıştır. Bu çerçevede, Japonya'da 2014 yılında Toyota Crown modelinde gerçekleştirilen DSRC tabanlı uygulama, V2X teknolojisinin erken dönem saha denemelerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Shrestha, Nam, Bajracharya ve Kim, 2020).

V2X sistemlerinin haberleşme altyapısı, temel olarak IEEE 802.11p standardına dayalı DSRC teknolojisi ile 3GPP tarafından geliştirilen hücresel tabanlı C-V2X (Cellular-V2X) teknolojileri üzerine kuruludur. DSRC, düşük gecikmeli kısa mesafe iletişimi desteklerken; C-V2X, LTE ve 5G şebeke desteği ile daha uzun mesafelerde ağ merkezli iletişim kabiliyeti sunar. Her iki sistemde de ortak olarak kullanılan mesaj protokolleri arasında Cooperative Awareness Message (CAM), Decentralized Environmental Notification Message (DENM), Signal Phase and Timing (SPaT) ve MAP mesajları yer almaktadır. Bu mesaj türleri, sürüş güvenliğini artırmak ve trafik verimliliğini optimize etmek amacıyla araçlar ve altyapı unsurları arasında gerçek zamanlı veri aktarımını sağlar (Zhang, Li, Zhou, Zhang, Wang, Yuan ve Liu, 2024; Shrestha, Nam, Bajracharya ve Kim, 2020).

Bununla birlikte, V2X sistemleri sadece iletişim protokolleriyle sınırlı kalmayıp enerji sistemleriyle bütünlük olmuş çok işlevli bir yapı sunar. Özellikle Vehicle-to-Grid (V2G), Vehicle-to-Home (V2H) ve Vehicle-to-Load (V2L) uygulamaları, elektrikli araç bataryalarının enerji kaynağı olarak şebekeye veya yüke geri besleme yapmasını sağlayan çift yönlü şarj sistemlerini içermektedir. Bu sistemler, inverter, batarya yönetim sistemi ve enerji yönetim yazılımı gibi alt

bileşenlerin senkronize çalışması ile enerji iletimini çift yönlü ve kontrollü hâle getirir. Mikro şebekelerde frekans regülasyonu, talep yanıtı yönetimi ve afet anlarında yedek güç kaynağı sağlama gibi uygulamalar, bu teknolojinin fonksiyonel gücünü yansıtmaktadır (Noor-A-Rahim, Liu, Lee, Khyam, He, Pesch, Moessner ve Saad, 2020).

Ancak, tüm bu teknik potansiyele rağmen, V2X sistemlerinin uygulama alanlarında karşılaşılan en temel zorluklardan biri güvenlidir. IEEE 1609.x, ETSI ITS ve 3GPP standartlarında çeşitli güvenlik protokolleri tanımlanmış olsa da, mesaj bütünlüğü, kimlik gizliliği, sahte mesaj saldırılarına karşı koruma, anahtar yönetimi ve sertifika dağıtımı gibi konular hâlâ kapsamlı biçimde çözülmüş değildir. Özellikle kimlik doğrulama mekanizmalarındaki zayıflıklar, V2X sistemlerinin kullanıcılar tarafından benimsenmesini ve regülasyonlara uygun bir şekilde yaygınlaşmasını geciktirmektedir. Yoshizawa, Singelee, Muehlberg, Delbruel, Taherkordi, Hughes ve Preneel (2022) tarafından yürütülen detaylı bir literatür taramasında, V2X iletişim sistemlerinin güvenlik açıkları kapsamlı şekilde analiz edilmiş ve çoklu protokol boşluklarının özellikle C-V2X ve DSRC geçiş sistemlerinde kritik riskler yarattığı vurgulanmıştır.

V2X teknolojisinin öne çıkan avantajları arasında, trafik güvenliği açısından gerçek zamanlı uyarılar sayesinde kazaların azaltılması potansiyeli bulunmaktadır (Shrestha, Nam, Bajracharya ve Kim, 2020). Bunun yanı sıra, mikro şebeke ve enerji alt sistemleriyle sağlanan entegrasyon, enerji verimliliğinde anlamlı kazanımlar sunmaktadır (Noor-A-Rahim, Liu, Lee, Khyam, He, Pesch, Moessner ve Saad, 2020). Ayrıca, altyapı ve araçlar arasında kurulan çift yönlü iletişim ile trafik akışı daha etkin biçimde yönetilebilmekte, bu da yoğunluk ve sıkışıklıkların önlenmesine katkı sağlamaktadır.

Buna karşılık, V2X sistemlerinin bazı dezavantajları da mevcuttur. DSRC ve C-V2X teknolojileri arasında halen süregelen uyumsuzluk ve standart belirsizlikleri, sistemin yaygınlaştırılmasının önündeki başlıca teknik engeller arasındadır. Bununla birlikte, sistemin uygulanabilmesi için gereken yüksek altyapı yatırım maliyetleri, siber güvenlik ve veri gizliliği riskleri ile batarya kullanım ömrünü olumsuz etkileyebilecek enerji aktarım döngüleri, kullanıcı kabulünü azaltabilecek faktörler olarak değerlendirilmektedir (Yoshizawa, Singelee, Muehlberg, Delbruel, Taherkordi, Hughes ve Preneel, 2022; Noor-A-Rahim, Liu, Lee, Khyam, He, Pesch, Moessner ve Saad, 2020).

3.5.3 Afetlerde Jeneratör İhtiyacı

Afet dönemlerinde kesintisiz enerjiye erişim, yalnızca bireysel yaşam konforunun korunması açısından değil, aynı zamanda temel kamu hizmetlerinin sürekliliği bakımından da hayati bir öneme sahiptir. Deprem, sel, fırtına veya yangın gibi doğal afetler sonrasında şebeke altyapısında meydana gelen hasarlar, uzun süreli elektrik kesintilerine yol açmaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçların V2L, V2G, V2H ve V2X gibi çift yönlü enerji iletim teknolojileriyle donatılması, afet anlarında bu araçların seyyar jeneratör olarak kullanılabilmesinin önünü açmaktadır. Bu teknolojik kapasite, geleneksel jeneratör çözümlerine çevreci ve esnek bir alternatif sunmakta; aynı zamanda enerji arz güvenliğini artıran yeni bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir (Churchill, Monroe, Bristow ve Crawford, 2024).

Literatürde yapılan çok katmanlı simülasyon temelli analizler, elektrikli araçların afet sonrası kullanım senaryolarında önemli katkılar sunabileceğini ortaya koymuştur. Özellikle Churchill, Monroe, Bristow ve Crawford (2024) tarafından geliştirilen model, elektrikli araçların barınaklara enerji sağlama, sağlık tesislerini destekleme ve kritik altyapılara güç aktarımı gibi görevleri yerine getirebildiğini göstermiştir. Simülasyon sonuçları, EV filosunun afet sahasına yönlendirilmesiyle, enerji kesintilerinin etkilerinin büyük ölçüde hafifletilebileceğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, elektrikli araçların jeneratör olarak değerlendirilmesi sadece teorik bir olasılık değil, operasyonel anlamda uygulanabilir bir çözümdür.

Bu tür uygulamaların yalnızca kuramsal düzeyde kalmadığını gösteren örneklerden biri, Shanshan Liu, Alex Vlachokostas ve Eleftheria Kontou (2025) tarafından yayımlanan çalışmada ele alınmıştır. Bu çalışmada, bataryası %50 dolu olan tipik bir elektrikli aracın, ortalama bir hanenin temel enerji ihtiyacını 12 saat boyunca kesintisiz karşılayabileceği modellenmiştir. Yazarlar, bu tür sistemlerin özellikle afet durumlarında haneler için güvenilir ve çevreci bir yedek güç çözümü sunduğunu vurgulamaktadır. Böylece, bireysel ölçekte bile elektrikli araçlar afetlere karşı toplumsal dayanıklılığı artıran önemli bileşenler hâline gelmektedir.

Yalnızca bireyler değil, kamu otoriteleri ve acil durum ekipleri için de elektrikli araçların jeneratör işlevi kritik önem arz etmektedir. Özellikle V2G altyapısı, afetin hemen ardından şebekeden bağımsız enerji dağıtımı yapılmasını ve böylece sağlık merkezleri, tahliye alanları ve haberleşme sistemlerinin beslenmesini mümkün kılmaktadır. Mohj hazaman, Ahmed Antara, Hasanuzzaman, Alamri ve Alsharef (2022) tarafından yapılan sistematik analizlerde, V2G uygulamalarının enerji arzı ve şebeke kararlılığı açısından kriz anlarında nasıl bir rol oynayabileceği detaylı biçimde incelenmiştir. Bu bağlamda, çift yönlü enerji akışına sahip

elektrikli araçların, statik jeneratörlere kıyasla çok daha yüksek bir operasyonel esneklik sunduğu anlaşılmaktadır.

Öte yandan, geleneksel fosil yakıtlı jeneratörlerin afetlerdeki dezavantajları göz önüne alındığında, elektrikli araçların sağladığı avantajlar daha da belirginleşmektedir. Benzinli jeneratörler yoğun CO₂ salınımı, yakıt temininde lojistik sorunlar, yüksek ses seviyeleri ve düzenli bakım ihtiyacı gibi sınırlamalarla karşı karşıya kalmaktadır. Buna karşın, elektrikli araçlar sessiz çalışır, sıfır emisyon üretir, yenilenebilir enerjiyle şarj edilebilir ve çok daha düşük operasyonel maliyetle hizmet sunar (Churchill, Monroe, Bristow ve Crawford, 2024; Liu, Vlachokostas ve Kontou, 2025). Bu özellikler, afet sonrasında enerji gereksinimlerinin karşılanmasında mobil araç filosunu çevreci bir çözüm olarak ön plana çıkarmaktadır.

Bununla birlikte, sadece enerji arzı değil, şebeke kararlılığı açısından da elektrikli araçlar önemli katkılar sağlayabilir. Gajduk, Todorovski, Kurths ve Kocarev (2014), V2G teknolojisinin geçici şebeke kararsızlıklarına karşı etkili bir çözüm sunduğunu ortaya koymuşlardır. Bu durum, afet sonrasında yeniden şebekeye bağlanma süreçlerinde yaşanabilecek gerilim dalgalanmalarının dengelemesinde elektrikli araçların aktif bir rol üstlenebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, EV tabanlı enerji sistemleri sadece geçici güç sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sistemin yeniden istikrara kavuşmasına da katkı sağlar.

Afetlerin etkilerinin azaltılması amacıyla geliştirilen bölgesel senaryolarda da benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Örneğin, Kanada'nın Britanya Kolumbiyası bölgesine yönelik yürütülen senaryoda, elektrikli araçların varlığı afet sonrası enerji erişim süresini %35 oranında azaltmış ve kritik altyapıların yeniden devreye girme sürecini hızlandırmıştır (Churchill, Bristow ve Crawford, 2024). Bu veriler, elektrikli araçların sadece mobilite değil, aynı zamanda afet müdahalesi ve iyileştirme süreçlerinde aktif bir bileşen olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Ayrıca, V2X sistemleri kapsamında geliştirilen iletişim ve enerji bütünleşik altyapıları, sadece enerji aktarımı değil; aynı zamanda mikroşebekelerde koordinasyon, talep yönetimi ve haberleşme entegrasyonu gibi işlevleri de beraberinde getirir. Böylece araçlar, sadece birer jeneratör değil, aynı zamanda kriz anında şebekeyle entegre çalışan çok işlevli altyapı birimleri hâline gelir (Noor-A-Rahim, Liu, Lee, Khyam, He, Pesch, Moessner ve Saad, 2020).

Bu çerçevede, afet sonrası dayanıklılığı artırmak adına şarj altyapılarının stratejik konumlandırılması, çift yönlü enerji transferini destekleyen teknolojilere yatırım yapılması ve şarj istasyonlarının mikroşebeke mantığıyla entegrasyonu, uzun vadede enerji güvenliği açısından belirleyici olacaktır. Bu altyapılar sayesinde şehirler, afetlere karşı kendi kendine yetebilen enerji kümeleri hâline getirilebilir (Churchill, Monroe, Bristow ve Crawford, 2024).

Sonuç olarak, V2L, V2H, V2G ve V2X gibi teknolojilerle donatılmış elektrikli araçlar, afet sonrası enerji gereksinimlerine dinamik, çevreci ve operasyonel olarak esnek çözümler sunmaktadır. Bu sistemler sayesinde, sadece bireyler değil; kamu kurumları, sağlık tesisleri, haberleşme altyapıları ve afet koordinasyon merkezleri de enerjiye erişim açısından daha dayanıklı hâle gelebilmektedir. Dolayısıyla, elektrikli araçların jeneratör gibi kullanılabilme potansiyeli, bu tezin temel dayanaklarından birini oluşturmaktadır.

3.5.4 Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Jeneratör

Afet anlarında elektrik kesintileri, genellikle barınma alanları, hastaneler, iletişim altyapısı ve acil müdahale birimlerinde ciddi aksaklıklar yaratır. Bu tür kritik durumlarda, V2L (Vehicle-to-Load), V2H, V2G ve V2X teknolojileriyle donatılmış elektrikli araçlar, şebeke dışı mobil jeneratör olarak işlev görebilir. Bu teknoloji, geleneksel jeneratörlerin alternatifi olarak sessiz, düşük emisyonlu ve lojistik yükü daha hafif bir çözüm sunmaktadır (Churchill, Monroe, Bristow ve Crawford, 2024).

Çok ajanlı simülasyon modelleri, elektrikli araç filolarının afet sahalarında güç sağlayabileceğini ayrıntılı şekilde ortaya koymaktadır. Churchill ve diğerleri (2024) çalışmasına göre, EV filosu barınakları destekleyebilir, kritik cihazların çalışmasını sürdürebilir ve personel lojistiğine yardımcı olabilir. Araçların hızlı devreye alınabilmesi, jeneratör bakım zamanını ortadan kaldırmakta ve afet anında lojistik kolaylık sağlamaktadır.

Bunun ötesinde, Liu, Vlachokostas ve Kontou'nun (2025) çalışması, batarya doluluk seviyesinin %50 olduğu bir EV'nin, yaklaşık 12 saat boyunca bir hanenin temel enerji ihtiyacını sürdürebileceğini göstermiştir. Bu bulgu, elektrikli araçların sadece bireysel değil toplumsal bir dayanıklılık aracı olarak kullanılabileceğini güçlü biçimde ortaya koymaktadır.

Aynı şekilde, V2G uygulamaları da afet anlarında kritik enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Mohj hazaman, Ahmed Antara, Hasanuzzaman, Alamri ve Alsharef (2022) tarafından analiz edilen veriler, V2G teknolojisinin şebekenin yeniden kurulması sürecinde enerji altyapısına geçici güç sağlayarak sürekliliği desteklediğini belgelemektedir. Bu durum, EV'lerin statik jeneratörlere göre yüksek operasyonel esneklik sunduğunu kanıtlamaktadır.

Ayrıca, benzinli jeneratörlerin yol açtığı yüksek gürültü, CO₂ emisyonu ve yakıt lojistiği gereksinimleri, afet koşullarında olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Oysa elektrikli araçlar hem sessiz çalışmakta hem de sıfır salım üretmekte; bu da çevreci bir çözüm sunarken lojistik zorlukları

en aza indirmektedir (Churchill, Monroe, Bristow ve Crawford, 2024; Liu, Vlachokostas ve Kontou, 2025).

V2G teknolojisinin şebeke frekans stabilizasyonundaki rolü de afet sonrası enerji regülasyonunda kritik önem taşımaktadır. Gajduk, Todorovski, Kurths ve Kocarev (2014) V2G sistemlerinin şebeke geçici kararlılığını anlamlı biçimde iyileştirdiğini raporlamış; bu durum, afet sonrası enerji altyapısının yeniden devreye alınması sürecinde önem kazanmaktadır.

Bölgesel senaryolar da elektrikli araçların katkısını doğrulamaktadır. Britanya Kolumbiyası'ndaki büyük deprem senaryosunda, elektrikli araçların kullanılması kritik altyapıların yeniden çalışması hızını %35 oranında artırmıştır (Churchill, Bristow ve Crawford, 2024). Bu bulgu, EV'lerin sadece bireysel güç kaynağı değil, bölgesel enerji güvenliği aracı olarak da işlev gördüğünü göstermektedir.

Enerjiyle birleşen V2X teknolojisiyle birlikte, araçlar aynı zamanda haberleşme altyapısında da etkin hale gelir. V2X, mikro şebekelerde koordinasyon, yük yönetimi ve şebeke-frekans regülasyonu ile enerji fonksiyonunu bir arada sunar; böylece afet zamanlarında kesintisiz hizmet ve koordinasyon sağlanır (Noor-A-Rahim, Liu, Lee, Khyam, He, Pesch, Moessner ve Saad, 2020).

Afet sonrası dayanıklılık artırma stratejilerinde, şarj altyapılarının fiziksel konumlandırılması ve çift yönlü enerji transferi kapasitesine sahip sistemlerin devreye alınması merkezi rol oynar. Bu yaklaşım, şehirleri kendi kendine yeten enerji adacıkları haline getirerek, afetlere karşı toplumsal işleyişi sürdürülebilir kılar (Liu, Vlachokostas ve Kontou, 2025; Churchill, Monroe, Bristow ve Crawford, 2024).

Sonuç olarak, V2L, V2H, V2G ve V2X teknolojileriyle donatılmış elektrikli araçlar, afet sırasında mühendislik açısından güvenilir, çevreci, esnek ve entegre enerji çözümleri sunar. Bu sistemler, jeneratörlerin yerini alabilecek şekilde hem bireysel hem de toplumsal enerji taleplerine yanıt vererek, bu tezin savını güçlü bilimsel temeller ve pratiğe dönük çözümlerle desteklemektedir.

4. KARŞILAŞTIRMALI TEKNOLOJİ ANALİZİ

Bu bölümde, elektrikli araçların çift yönlü şarj sistemleri (V2G, V2H, V2L, V2X) aracılığıyla afet dönemlerinde jeneratör görevi görme potansiyeli detaylı biçimde incelenmiştir. Analiz sürecinde; öncelikle mevcut literatür taraması gerçekleştirilmiş, bu sistemlerin teknik altyapıları, mühendislik mimarileri ve kontrol algoritmaları çok katmanlı şekilde değerlendirilmiştir. Literatürün sunduğu veriler doğrultusunda; inverter teknolojilerinin verimliliği, batarya enerji kapasitesi, haberleşme protokol yetkinlikleri, sistem kontrol algoritmaları ve şebeke senkronizasyonu gibi teknik parametreler birbirleriyle kıyaslanmıştır. Ayrıca, farklı coğrafyalarda yaşanmış afet senaryolarında bu teknolojilerin nasıl ve ne düzeyde kullanıldığına dair uygulama örnekleri analiz edilerek saha deneyimi ile akademik kuramlar arasında bağ kurulmuştur.

Bu analiz, sadece teorik bilgi üretimini değil, aynı zamanda pratik uygulamaların mühendislik gerçekliğiyle örtüşüp örtüşmediğini sorgulamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda; hem Türkiye'deki hem de küresel ölçekteki elektrikli araç sahipliği verileri, şarj altyapısı dağılımı ve üretici bazlı sistem destekleri göz önünde bulundurularak teknolojinin sahadaki uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, afet yönetimi süreçlerinde elektrikli araçların sabit jeneratörlerin alternatifi veya tamamlayıcısı olarak nasıl kullanılabileceğini doğrulamak ve bu doğrultuda stratejik planlamalara zemin oluşturmaktır. Tezin en kritik bölümü olarak konumlanan bu analiz başlığı, önceki kavramsal çerçevenin ve mühendislik temelli açıklamaların, gerçek dünya koşullarıyla örtüşüp örtüşmediğini ortaya koymak adına temel dayanak işlevi görmektedir.

4.1 Teknoloji Potansiyeli

Afet sonrası hasar tespiti ve müdahale planlamalarında, yapay zeka ve büyük veri entegrasyonu, karar süreçlerine kritik doğrulukta katkılar sağlamaktadır. Rehan (2022), çok modlu veri entegrasyonu sayesinde yapı hasarının hızla analiz edilebildiğini, görsel ve sensör verilerinin yapay zeka ile harmanlanmasının müdahale süresini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur . Ayrıca bu sistemler simülasyon destekli senaryolar yaratılarak acil müdahalede etkinliğin artırıldığını göstermektedir.

Mobil sağlık uygulamaları (mHealth) ve tele-tıp çözümleri, afet bölgelerinde yaşamsal süreçlerin sürdürülebilirliğini sağlar. Lokmic-Tomkins, Bhandari, Bain, Borda, Kariotis, ve Reser, (2023), tarafından gerçekleştirilen sistematik bir incelemede, bu sistemlerin triaj, hasta takibi ve saha sağlık ekiplerinin iletişimde operasyonel yükü azalttığı belirtilmiştir . Tele-tıp altyapılarına

entegre hasta verileri, merkez ekiplerden anlık müdahale gerektiren durumların tespitinde kritik rol oynar.

Akıllı ulaşım sistemleri, sensör tabanlı trafik izleme, bağlantılı araç altyapısı, akıllı sinyalizasyon ve bulut yönetim platformları ile yalnızca trafik akışını optimize etmekle kalmaz; aynı zamanda tahliye süreçleri için güçlü veri üretir. Bozza, Asprone, ve Manfredi (2015), şehir ulaşım sistemlerinin dayanıklılığını ölçen çalışmada, afet sırasında ulaşım alt yapısının fiziksel kapasitesi dışında adaptasyon ve hızlı toparlanma yetisini de değerlendirmiştir

Afet senaryolarında elektrikli araçların (EV) yönetilmesi, acil lojistik ve enerji desteği açısından kritik bir rol oynar. Liperda, Putra, Pairunan, Maghfiroh ve Redi (2024), Semeru Yanardağı etrafındaki halkın evakuasyonunda, GIS temelli optimizasyonla EV'lerin daha hızlı ve etkin evakuasyon sağladığını göstermiştir; elektrikli araç senaryoları, konvansiyonel araçlara kıyasla toplam tahliye süresini düşürmüştür. Böylelikle, akıllı ulaşım sistemlerine entegre elektrikli araç filosu, aynı zamanda mobil enerji kaynakları olarak afet bölgelerinde lojistik ve enerji desteği sağlayarak kapsamlı bir kriz yönetimi mimarisi oluşturur.

Elektrikli araçların afet koşullarında enerji sağlayıcı sistemler olarak kullanılması, sadece ulaşım fonksiyonlarının ötesine geçen yeni bir mühendislik anlayışını zorunlu kılmaktadır. Bu tezde, çift yönlü şarj teknolojileri olan V2L, V2X, V2H ve V2G sistemlerinin mühendislik altyapısı detaylı biçimde incelenecek; bu teknolojilerin afet anlarında ve sonrasında sunduğu potansiyel enerji çözümleri değerlendirilecektir. Aynı zamanda bu altyapının, gelecekte toplumda nasıl bir kullanıcı pazarı oluşturabileceği ve sürdürülebilir kriz yönetimi stratejileriyle nasıl entegre edilebileceği üzerinde durulacaktır. Elektrikli araçların mobil jeneratör gibi işlev görmesi, bu teknolojilerin sadece teknik değil, toplumda afet döneminde de bir ihtiyaç haline dönüşmekte olduğunu da göstermektedir.

4.1.1 V2G Teknolojisi

Vehicle-to-Grid (V2G) teknolojisi, elektrikli araçlar ile enerji şebekesi arasındaki çift yönlü enerji aktarımını mümkün kılan bir sistem mimarisidir. Bu sistemde, elektrikli araç bataryaları yalnızca birer tüketici değil, aynı zamanda şebekeye enerji sağlayan dinamik birer enerji kaynağı olarak işlev görür. V2G altyapısı, enerji sistemlerinin esnekliğini artırmak, arz-talep dengesini sağlamak ve yenilenebilir enerji entegrasyonunu kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiştir (Çelenk, 2023; Yayla, 2024).

V2G sistemleri; çift yönlü AC/DC inverterler, Batarya Yönetim Sistemleri (Battery Management Systems – BMS), Enerji Yönetim Sistemleri (EMS), haberleşme modülleri ve güvenlik protokollerinden oluşan çok katmanlı bir mühendislik yapısı gerektirir. Araç üzerindeki inverter, batarya enerjisini alternatif akıma (AC) dönüştürerek şebekeye aktarırken; aynı sistem aracılığıyla şebekeden bataryaya enerji de transfer edilebilir (Emadi, 2017).

Bu sistemde kullanılan inverterler, klasik tek yönlü şarj mimarilerinden farklı olarak izolasyon transformatörleri, harmonik filtreleme modülleri ve geri besleme kontrol devreleriyle donatılmıştır. Gelişmiş inverter teknolojileri, şebeke senkronizasyonunu sağlayan phase-locked loop (PLL) sistemleriyle birlikte çalışır. Böylece batarya çıkışı şebeke frekansına (50 Hz) ve voltajına uyumlu şekilde senkronize edilir (Karapınar, 2023).

V2G teknolojisinin mühendislik başarımı, en çok inverter verimliliği, haberleşme gecikmesi, enerji yoğunluğu, şebeke güvenliği ve batarya döngü ömrü gibi teknik parametrelerle değerlendirilir. Literatürde, çift yönlü inverterlerin %90–95 arası verimlilik sağladığı ve IEC 61851 ile ISO 15118 gibi protokollere uygun olarak çalıştığı bildirilmektedir (Olcay, 2024).

Bu sistemin kullanılabilirliğini etkileyen bir diğer mühendislik bileşeni de şebeke tarafındaki enerji yönetimidir. V2G entegreli şebekelerde, dağıtım şirketleri talep-yönlendirme algoritmalarıyla bataryalardan çekilecek enerji miktarını gerçek zamanlı olarak ayarlayabilir. Bu noktada Yapay Zekâ destekli enerji optimizasyon modelleri de devreye girmektedir (Yayla, 2024).

Enerji kapasitesi açısından, tipik bir elektrikli araç bataryası 60 kWh enerji depolayabilmektedir. Günlük ortalama konut elektrik tüketiminin 8–10 kWh arasında olduğu göz önüne alındığında, tek bir aracın 5 ila 7 gün arasında evsel enerji ihtiyacını karşılayabileceği anlaşılmaktadır (Ehsani, Gao ve Emadi, 2009). Şebeke seviyesinde ise, bir şehirdeki binlerce aracın senkronize V2G katılımı, toplam yükü dengeleyebilecek seviyede enerji sağlayabilir.

V2G sistemleri, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının yoğun olarak kullanıldığı şebekelerde pik yükleri dengelemek ve frekans-kararlılığı sağlamak açısından stratejik öneme sahiptir. Güneş ve rüzgâr gibi değişken üretim kaynakları nedeniyle oluşan enerji dalgalanmaları, V2G destekli batarya sistemleriyle absorbe edilebilmektedir (Kuşdoğan, 2023).

Ancak sistemin sağlıklı çalışabilmesi için, batarya şarj ve deşarj süreçlerinin dikkatli biçimde kontrol edilmesi gereklidir. Bu kapsamda geliştirilen “akıllı şarj” (smart charging) sistemleri, batarya sağlığını korumak üzere aşırı yüklenmeleri ve hızlı deşarjları engelleyen algoritmalarla entegre edilmiştir (Özcan, 2019).

Güvenlik açısından, çift yönlü şarj ünitelerinde yalıtım denetimi, sıcaklık izleme, aşırı akım kesici ve ters akım önleyici sistemlerin bulunması zorunludur. Ayrıca V2G uygulamalarının

kesintisiz enerji arzı sağlamak üzere devreye alınması, şebeke operatörleri tarafından lisans ve yetkilendirme süreçlerine bağlanmıştır (Shabaan, 2024).

Sistemin yaygınlaştırılmasında standartlaşma ve uyum protokolleri belirleyici bir rol oynamaktadır. ISO 15118 standardı, araç ve şarj istasyonu arasında dijital haberleşmeyi tanımlayarak şarj durumunun otomatik tanımlanmasını ve kullanıcı müdahalesi olmadan enerji transferinin gerçekleştirilmesini sağlar. Bu da V2G sisteminin kullanıcı dostu bir yapıya kavuşmasını mümkün kılar (Karapınar, 2023).

V2G sistemleri yalnızca enerji teknolojisi değil, aynı zamanda ulaştırma altyapısının dönüşümünde de önemli rol oynar. Araçlar artık sadece ulaşım değil, aynı zamanda enerji piyasasına katılan birer aktör haline gelmektedir. Bu dönüşüm, enerji mühendisliği ile ulaşım mühendisliğinin birleştiği yeni bir disiplinin habercisidir (Noel, Kester ve Sovacool, 2019).

Literatüre göre, V2G sistemlerinin 2030'a kadar Avrupa'da 30 milyon araca ulaşması beklenmekte, bu da teorik olarak 900 TWh'lık mobil enerji kapasitesi anlamına gelmektedir. Özellikle acil durumlar ve afet senaryolarında bu kapasite, kritik altyapılar için önemli bir dayanıklılık kaynağı sunabilir .

Türkiye özelinde değerlendirildiğinde, elektrikli araç sayısının artışıyla birlikte V2G sistemlerine yönelik ulusal stratejilerin geliştirilmesi, TEİAŞ ve EPDK gibi kurumların mevzuat uyumu çalışmalarıyla desteklenmelidir. Bu sayede, hem bireysel enerji bağımsızlığı artacak hem de ulusal şebeke kararlılığı sağlanacaktır (Çelenk, 2023).

Sonuç olarak V2G teknolojisi, şebeke ile araç arasında çift yönlü enerji entegrasyonu sağlayarak enerji arz güvenliğine, karbon salımı azaltımına ve dağıtık enerji yönetimine stratejik katkılar sunmaktadır. Bu sistem, sadece bir mühendislik yeniliği değil; aynı zamanda enerji sistemlerinin dönüşümüne öncülük eden çok disiplinli bir paradigma olarak değerlendirilmelidir.

4.1.1.1 Afetlerde Kullanımı

Doğal afetler sırasında altyapı sistemlerinin ciddi biçimde zarar görmesi, enerji temininde büyük aksamalar yaratmaktadır. Deprem, sel, toprak kayması, yangın ve benzeri afetlerde merkezi elektrik şebekelerinin çökmesi, hem bireysel düzeyde hem de kamu hizmetlerinin sürdürülebilirliğinde kritik sonuçlar doğurur. Bu noktada V2G (Vehicle-to-Grid) teknolojisi, elektrikli araçları mobil enerji kaynaklarına dönüştürerek kesintisiz güç ihtiyacına cevap verebilecek önemli bir mühendislik çözümü sunmaktadır (Çelenk, 2023).

V2G sistemlerinin afetlerdeki temel avantajı, elektrikli araçların şebekeden bağımsız olarak enerji sağlayabilme kapasitesidir. Özellikle 60 kWh kapasiteli bataryaya sahip bir araç, afet sonrası ilk 72 saatlik kritik dönemde bir evin temel elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilir. Bu enerji, aydınlatma, buzdolabı, iletişim cihazları ve tıbbi destek sistemleri için hayati önemdedir (Ehsani, Gao ve Emadi, 2009).

Depremelerde oluşan enerji kesintilerinde, hastaneler ve geçici barınma merkezleri gibi kritik altyapılar hızlı şekilde mobil enerji kaynaklarına ihtiyaç duyar. Bu tür senaryolarda V2G destekli araçlar, mikro şebekelere bağlanarak veya doğrudan güç çıkışı sağlayarak geçici enerji bağımsızlığı oluşturabilir. Bu kullanım, afet müdahale zincirinin sürekliliğini sağlayan önemli bir destek unsurudur (Yayla, 2024).

Seller ve su taşkınları gibi afetlerde, sabit enerji altyapısı genellikle su altında kaldığı için hem yeniden devreye alınması uzun sürer hem de ciddi güvenlik riski oluşturur. Buna karşın, tamamen izole şekilde çalışan V2G sistemleri, hem bireysel ev kullanıcıları hem de yardım ekipleri için güvenli enerji sunar. Ayrıca bazı modern elektrikli araçlar, V2G için entegre edilmiş yüksek korumalı bağlantı ünitelerine sahiptir (Olçay, 2024).

Toprak kaymaları, kaya düşmeleri veya çığ gibi ani gelişen afetlerde ise klasik jeneratörlerin ulaşımı ve kurulumu zaman alırken, bölgede bulunan elektrikli araçlar anında enerji sağlayıcı olarak kullanılabilir. V2G sistemlerinin bu taşınabilirliği, afet sonrası erişilebilir enerji kaynakları açısından stratejik üstünlük sağlar (Karapınar, 2023).

Yangın ve volkan gibi yüksek ısıya ve dumana neden olan afet türlerinde, dizel jeneratörlerin çalıştırılması hem güvenlik hem de hava kalitesi açısından ciddi sorunlar doğurur. V2G teknolojileri ise sessiz, titreşimsiz ve sıfır emisyonla çalıştığından, bu tür afet senaryoları için daha sürdürülebilir ve çevre dostu çözümler sunmaktadır (Shabaan, 2024).

V2G sistemleri aynı zamanda acil haberleşme ve koordinasyon altyapılarının sürekliliğinde de rol oynayabilir. Mobil baz istasyonları, telsiz ağları ve veri iletim sistemleri gibi kritik iletişim altyapıları, V2G ile beslenen geçici mikro şebekeler üzerinden çalıştırılabilir. Bu sistemler, çoklu araç senkronizasyonu ile bölgesel bir enerji havuzu oluşturabilir.

Kurtarma ekipleri açısından da V2G teknolojisi operasyonel verimliliği artırır. Aydınlatma, taşınabilir sağlık cihazları, bilgisayar sistemleri ve güç gereksinimi duyan diğer ekipmanlar, doğrudan elektrikli araçlardan beslenebilir. Bu, özellikle enerji erişimi kısıtlı kırsal alanlarda hayat kurtarıcı bir unsur haline gelir (Çelenk, 2023; Özcan, 2019).

Afet sonrası yeniden yapılandırma sürecinde de V2G sistemleri katkı sunabilir. Araçlardan elde edilen enerjiyle saha analiz sistemleri, veri kayıt cihazları ve seyyar değerlendirme üniteleri çalıştırılabilir. Böylece hasar tespiti, risk analizi ve kaynak dağıtımı gibi işlemler kesintisiz devam edebilir (Yayla, 2024).

Ancak sistemin afet senaryolarında uygulanabilirliğini sınırlayan bazı teknik faktörler de mevcuttur. Öncelikle, V2G uyumlu şarj istasyonlarının sayısı ve konumu, sistemin etkili şekilde kullanılabilmesini doğrudan etkiler. Ayrıca batarya doluluk oranı ve enerji transfer protokol uyumluluğu gibi faktörler, afet anındaki performansı kısıtlayabilir (Olca, 2024).

Buna ek olarak, bazı araç üreticileri yazılımsal olarak V2G desteğini sınırlı sunmakta veya yalnızca belirli donanımlar ile etkinleştirmektedir. Bu durum, afet senaryolarında hızlı enerji teminini zorlaştırabilir. Ayrıca, bu sistemlerin kullanıcılar tarafından bilinçli şekilde kullanılması için halk eğitimi ve yerel yönetim destekli farkındalık kampanyaları gerekmektedir (Karapınar, 2023).

Sonuç olarak, V2G sistemleri doğal afetler sırasında yalnızca geçici enerji çözümü değil; aynı zamanda sürdürülebilir afet yönetimi politikalarının vazgeçilmez bileşeni haline gelmektedir. Bu teknoloji, bireylerin enerji dayanıklılığını artırdığı gibi, kamu kurumlarının kriz anındaki müdahale kapasitesini de yükseltmektedir. Doğru planlama ve standartlaşmayla desteklenmesi hâlinde, V2G sistemleri afet sonrası dayanıklılığın temel taşlarından biri olabilir.

4.1.1.2 Saha verileri

Vehicle-to-Grid teknolojisi, elektrikli araçların bataryalarında depolanan enerjinin şebekeye geri entegrasyonuna izin veren çift yönlü şarj sistemlerinden oluşmaktadır. Bu sistemler, özellikle şebeke stabilizasyonu, pik yük azaltma ve yenilenebilir enerji entegrasyonu açısından stratejik önem taşımaktadır. Literatürde yer alan pazar analizlerine göre V2G pazarının büyüme hızı ve hacmi çeşitli kaynaklarca incelenmiştir.

Global Market Insights tarafından yapılan analizde, V2G pazarı 2024 yılı itibarıyla 3,2 milyar USD olarak ölçülmüş ve CAGR'ın 2025–2034 döneminde %38 oranında gerçekleşerek 2034'te yaklaşık 80 milyar USD'ye ulaşacağı öngörülmüştür (Global Market Insights, 2024). Market.us çalışması benzer şekilde, 2024 yılında 7,8 milyar USD olan pazarın 2034 yılına kadar 109,2 milyar USD'ye ulaşacağı ve bu sürecin CAGR oranının %30,2 olacağı bilgisini sunmaktadır (Market.us, 2024).

Precedence Research ve Globenewswire verileri, 2024'te yaklaşık 3,4 milyar USD olan pazarın 2025–2034 döneminde %5,0'lık bir CAGR ile büyüme olasılığına dikkat çekmektedir (Exactitude Consultancy/Globenewswire, 2025). Buna ek olarak, Future Market Insights raporuna göre pazar, 2024'te 4,4866 milyar USD, 2034'te ise 34,7028 milyar USD olacak şekilde %22,7 oranında büyüyecektir (Future Market Insights, 2024).

Grand View Research, 2023 yılı için pazarı 3,45014 milyar USD olarak belirlemiş ve 2024–2030 arasında CAGR'ın %26,62 olacağını ifade etmiştir (Grand View Research, 2023). MRFR analizine göre 2023'te 5,64 milyar USD'ye ulaşan pazarın 2032'de 58 milyar USD'ye erişeceği ve %29,57 CAGR ile büyüyeceği öngörülmektedir (MRFR, 2023). Ayrıca Coherent Market Insights verileri, 2025'te 354,6 milyon USD olan değer ile 2032'de 4,5307 milyar USD'ye ulaşmayı göstererek %43,9'luk bir büyüme potansiyelini işaret etmektedir (Coherent Market Insights, 2025). Custom Market Insights ise 2023'te 927 milyon USD olarak belirlenen çift yönlü şarj pazarının 2032'ye kadar 4,619 milyar USD'ye çıkacağını ve CAGR'ın %20 olacağını raporlamaktadır (Custom Market Insights, 2023).

Bölgesel analizler, V2G pazarının şimdilik Kuzey Amerika ve Avrupa ekseninde yoğunlaştığını göstermektedir. Global Market Insights, Avrupa pazarını 2023 için 967,8 milyon USD olarak belirtmektedir; öngörülen büyüme oranı (2024–2030) %26,6'dır (Global Market Insights, 2024). MRFR verilerine göre Kuzey Amerika, %35'lik pazar payıyla lider konumdadır (MRFR, 2023), Coherent Market Insights ise ABD ve Avrupa'yı V2G teknolojisinin en hızlı geliştiği bölgeler olarak tanımlamaktadır (Coherent Market Insights, 2025).

Son olarak, Precedence Research ve Reuters kaynaklı analizlerde, Avrupa genelinde 2024 itibarıyla pazar hacmi 3,4 milyar USD civarında ölçülmüş, gelişmiş pazar uygulamaları kapsamında Hollanda merkezli MyWheels projesi vurgulanmıştır (Exactitude Consultancy/Globenewswire, 2025; Reuters, 2025). Japonya ve Çin gibi ülkelerdeki gelişim de V2G teknolojisinin global olarak ivme kazandığını göstermektedir (Reuters, 2025).

Bu veriler, V2G teknolojisinin hem küresel boyutta hem de bölgesel ölçeklerde güçlü bir büyüme trendi sergilediğini; pek çok kaynağın analitik farklılıkları olsa da genel anlamda 2030'lar itibarıyla çift yönlü şarj sistemlerinin on milyarlarca dolar düzeyine ulaşacağı yönünde ortak görüş bildirdiğini ortaya koymaktadır.

4.1.2 V2H Teknolojisi

Vehicle-to-Home (V2H) teknolojisi, elektrikli araçların (EA) bataryalarında depolanan enerjinin konutlara geri beslenmesini sağlayan çift yönlü bir enerji aktarım sistemidir. Bu teknoloji, yalnızca ulaşımın elektrifikasyonunu değil, aynı zamanda konut ölçeğinde enerji bağımsızlığını da mümkün kılan önemli bir mühendislik atılımıdır. V2H sistemleri, hem enerji arz güvenliğini hem de dağıtık enerji kaynaklarının kullanımını artıran yapılar olarak değerlendirilmektedir.

Teknik olarak V2H sistemleri, birincil olarak çift yönlü enerji dönüşümü gerçekleştiren güç elektroniği bileşenlerine dayanır. Bu bileşenler, DC-DC dönüştürücüler, DC-AC inverterler, H-köprü (H-bridge) topolojileri ve voltaj kaynaklı inverter sistemlerini içermektedir. Özellikle buck-boost tipi dönüştürücüler ve üç fazlı voltaj kaynaklı inverterlerin V2H sistemlerine entegre edilmesiyle yüksek verimlilik ve düşük harmonik bozulma sağlanmaktadır (Ben Sassi ve ark., 2023).

Ben Sassi ve diğerleri tarafından geliştirilen bir sistemde, adaptif backstepping ve integral kayma modlu kontrol (integral sliding mode control) stratejileriyle 220V, 50Hz AC çıkışı elde edilmiş; toplam harmonik bozulmanın %0.25 seviyelerinde kaldığı rapor edilmiştir. Bu değer, konutlarda kullanılabilecek yüksek kalite enerji akışını garanti altına almaktadır (Ben Sassi ve ark., 2023).

V2H altyapısında temel mühendislik kurgusu, enerjinin aracın bataryasından konutun iç şebekesine geçişini kontrol edebilecek bir “akıllı” kontrol sistemine dayanmaktadır. Bu kontrol sistemi, voltaj/frekans regülasyonu, aktif/reaktif güç dengesi, enerji akış yönü tespiti ve senkronizasyon gibi işlevleri yerine getirir. Sistemlerde genellikle voltaj düşümü (voltage droop control), oransal-integral (PI) kontrolörler veya algoritmik yönetim stratejileri tercih edilmektedir (Vittorias ve ark., 2014; Sharmila ve Maruthupandi, 2023).

Enerji dönüşüm sürecinde kullanılan dönüştürücüler, sadece DC-AC inverter işlevi görmekle kalmayıp, aynı zamanda enerji yönetimi, yük tahsisi ve voltaj düzeltimi gibi işlevleri de yerine getirir. Örneğin Kim ve Kang (2013) tarafından önerilen sistemde, H-köprü AC-DC ile buck-boost DC-DC dönüştürücüler birleştirilerek dört modda çalışan tek aşamalı bir yapı oluşturulmuştur.

V2H sistemlerinde batarya ile konut şebekesi arasında çift yönlü enerji aktarımı sağlanabilmesi için, senkronizasyon işlemi yüksek hassasiyetle yürütülmelidir. Bu amaçla, senkronizasyon devreleri genellikle phase-locked loop (PLL) sistemleriyle entegre edilmekte;

inverter çıkışı, konut şebekesinin fazına ve frekansına uyumlu şekilde ayarlanmaktadır (Rehman ve ark., 2023).

Enerji depolama kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, ortalama 60 kWh kapasiteli bir elektrikli araç bataryası, günlük ortalama konut elektrik tüketimi olan 8–10 kWh temel alındığında, 5 ila 7 gün arasında enerji sağlayabilir. Bu da özellikle elektrik kesintilerinin sık yaşandığı bölgelerde veya afet sonrası durumlarda önemli bir dayanıklılık potansiyeli anlamına gelir (Mazzeo ve ark., 2022).

Gohari ve diğerleri tarafından önerilen sistemde, AC-DC H-bridge dönüştürücü ve üç portlu DC-DC dönüştürücü kullanılarak hem şarj hem de doğrudan konut DC barası üzerinden enerji temini gerçekleştirilmiştir. Bu yapı, sadece enerji aktarımı değil; aynı zamanda pik yük dengelemesi ve reaktif güç telafisi gibi işlevleri de desteklemektedir (Gohari ve ark., 2020).

Sistemin konutlarla entegrasyonunda güç izleme ve yönlendirme işlemleri, konut enerji yönetim sistemine (HEMS – Home Energy Management System) bağlanan haberleşme protokolleriyle sağlanır. Bu noktada, V2H sistemlerinin IoT ve akıllı şebeke (smart grid) entegrasyon kabiliyeti oldukça önemlidir (Mbungu ve ark., 2022).

V2H sistemleri hem şebeke bağlantılı (grid-connected) hem de bağımsız (off-grid) modlarda çalışabilir. Bağımsız modda sistem, afet veya kesinti anında evin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere devreye girer. Grid-connected modda ise şebeke ile senkron çalışarak, enerji maliyet optimizasyonu amacıyla zaman dilimi bazlı enerji arzı sağlayabilir (Mazzeo ve ark., 2022).

Sistem mimarileri arasında bazı farklar bulunmaktadır. Örneğin Bose ve diğerlerinin önerdiği sistem, süperkapasitör entegreli V2H yapısıyla, ani yük taleplerine hızlı yanıt verebilecek bir enerji tamponlama mekanizması sunmaktadır. Bu tür yapıların, konut tipi güneş paneli sistemleriyle entegre edilmesi, enerji sürekliliği açısından oldukça değerlidir (Bose ve ark., 2018).

Sahip olunan teknik avantajlara rağmen, V2H sistemlerinin yaygınlaştırılmasında bazı sınırlayıcı unsurlar mevcuttur. Bunlar arasında araç üreticilerinin V2H uyumlu yazılımları ticari sınırlamalara tabi tutması, ev altyapılarının buna hazır olmaması ve çift yönlü şarj cihazlarının maliyetinin yüksek olması sayılabilir. Ayrıca, standardizasyon eksikliği de sistem uyumunu ve güvenliğini olumsuz etkileyebilmektedir (Vadi ve ark., 2019).

Ancak bu sınırlamalara rağmen, V2H sistemleri enerji bağımsızlığının artırılması, yenilenebilir kaynakların desteklenmesi ve şebeke esnekliğinin güçlendirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, merkezi olmayan enerji çözümlerinin geliştirilmesi hedeflenirken V2H sistemleri stratejik önem taşımaktadır (Rehman ve ark., 2023).

Sonuç olarak, V2H sistemleri, hem mühendislik hem de enerji politikası boyutlarıyla incelenmesi gereken çok boyutlu yapılardır. Bu sistemlerin teknik olarak optimize edilmesi; adaptif kontrol stratejileri, gelişmiş inverter tasarımları ve güvenli haberleşme protokolleriyle mümkündür. Uygun mevzuat ve altyapı desteği sağlandığında, V2H sistemleri, geleceğin akıllı konut sistemlerinin temel taşı olmaya adaydır.

4.1.2.1 Afetlerde Kullanımı

Afet senaryoları, toplumların yalnızca fiziksel altyapısını değil, aynı zamanda enerji sürekliliğini de ciddi biçimde tehdit eden durumlardır. Deprem, sel, fırtına, toprak kayması gibi olaylar sonrası elektrik şebekelerinin devre dışı kalması, özellikle ilk 72 saatlik kritik müdahale sürecinde enerjiye ulaşımı hayati bir sorun haline getirir. Bu çerçevede Vehicle-to-Home (V2H) teknolojisi, elektrikli araçları acil durumlarda konutların enerji kaynağına dönüştürerek afet dayanıklılığını artıran önemli bir çözüm sunmaktadır (Mazzeo ve ark., 2022).

V2H sistemleri, elektrikli araçların bataryasında depolanan enerjinin konut sistemine aktarılmasını sağlayan çift yönlü şarj altyapısına dayanır. Afet sırasında merkezi enerji altyapısı kullanılamaz hâle geldiğinde, V2H sistemine sahip bir ev, araçtan aldığı enerji ile aydınlatma, iletişim cihazları, küçük ev aletleri ve tıbbi ekipmanlar gibi temel ihtiyaçları karşılayabilir. Bu durum, hem bireysel hem de toplumsal ölçekte enerji bağımsızlığı açısından kritik önem taşımaktadır (Ben Sassi ve ark., 2023).

Deprem gibi geniş alanlarda etkili olan afetlerde, V2H sistemleri ev halkının geçici enerji ihtiyacını karşılamakla kalmaz; aynı zamanda komşu yapılara da uzatma kabloları veya yerel DC mikro şebeke çözümleri aracılığıyla enerji sağlayabilir. Böylece tek bir araç, birkaç haneyi besleyebilecek yedek enerji merkezi hâline gelir. Bu durum, özellikle kırsal alanlarda elektrik dağıtımının zorlaştığı senaryolarda değer kazanmaktadır (Mbungu ve ark., 2022).

Sel ve su taşkını gibi afetlerde sabit altyapı sistemlerinin zarar görmesi, elektrikli jeneratörlerin kurulumu ve çalıştırılmasını da engelleyebilir. Ancak araç bataryası ve konut arasında doğrudan bağlantı sunan V2H sistemleri, izolasyon içinde ve güvenli biçimde enerji sağlayabilir. Bu yönüyle V2H, suya dayanıklı bağlantı sistemleri ile afet anında klasik jeneratörlere göre daha güvenli bir alternatif sunar (Gohari ve ark., 2020).

Yangınlar ve volkanik olaylar sırasında hava kalitesinin bozulması, içten yanmalı motorlarla çalışan jeneratörlerin kullanılmasını sağlık açısından riskli hâle getirir. V2H sistemleri ise sessiz, emisyonsuz ve titreşimsiz çalışmaları sayesinde hem kullanıcılar hem de çevre için daha

güvenli bir enerji çözümüdür. Ayrıca, bu sistemlerin konut içinde kullanılabilmesi yangına açık dış ortamlardan bağımsız hareket edebilmelerini sağlar (Rehman ve ark., 2023).

Toprak kaymaları, kaya düşmeleri ve çığ gibi lokal afetlerde yolların kapanması enerji taşıma ekipmanlarının bölgeye ulaşmasını zorlaştırır. V2H sistemleri sayesinde, olay yerine önceden park edilmiş elektrikli araçlar, içerdikleri batarya enerjisiyle uzun süre boyunca bağımsız konut beslemesi sağlayabilir. Bu senaryoda, V2H sistemlerinin taşınabilirlik avantajı öne çıkmaktadır (Vittorias ve ark., 2014).

Afet sırasında V2H sistemlerinin kullanılabilmesi için sistemin off-grid modda devreye alınması gerekir. Off-grid çalışma, şebekeden tamamen bağımsız bir enerji yönetimini ifade eder. Bu noktada kullanılan inverterlerin hem senkronizasyonu kesip konutu izole etmesi hem de 220V, 50Hz frekanslı çıkışı sürdürebilmesi beklenir. Backstepping, voltaj droop ve integral kayma modlu kontrol stratejileri bu uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Ben Sassi ve ark., 2023).

V2H sistemleri sadece hane halkı için değil, aynı zamanda küçük ölçekli sahra hastaneleri, geçici barınma alanları ve haberleşme noktaları için de enerji kaynağı sağlayabilir. V2H destekli araçlar, mobil konut üniteleriyle birleştiğinde acil barınma ve güç altyapısı çözümlerini bütünleştiren yenilikçi afet müdahale senaryoları oluşturulabilir (Sharmila ve Maruthupandi, 2023).

Konut içi elektrik sistemine V2H entegrasyonu, enerji geri beslemesini güvenli kılacak şekilde yapılandırılmalıdır. Geri besleme sırasında yaşanabilecek ters akım riskine karşı otomatik kesici sistemler ve yalıtım röleleri devreye alınmalıdır. Ayrıca, sistemdeki enerji akış yönü ve frekans kontrolü, genellikle HEMS (Home Energy Management System) yazılımlarıyla denetlenmektedir (Mbungu ve ark., 2022).

Enerji kapasitesi açısından bakıldığında, tipik bir V2H sisteminde kullanılan 60 kWh batarya kapasitesi, günlük 10 kWh enerji tüketen bir haneyi en az 5–6 gün boyunca besleyebilir. Bu süre, afet koşullarında ciddi bir enerji tamponu anlamına gelmektedir. Ek olarak, konutlara entegre edilmiş güneş enerjisi sistemleriyle birlikte hibrit enerji yapıları oluşturularak, enerji sürekliliği daha da artırılabilir (Mazzeo ve ark., 2022).

V2H sistemlerinin afetlerde kullanılabilirliğini sınırlayan bazı unsurlar da mevcuttur. Bunlar arasında en yaygın olanları şunlardır: (1) çift yönlü şarj cihazlarının yaygın olmaması, (2) üretici kaynaklı yazılımsal kısıtlamalar, (3) konut şebekesinin V2H'ye uygun olmaması ve (4) kullanıcı farkındalığının düşük olması. Bu eksikler, afet öncesi hazırlık çalışmalarında giderilmesi gereken kritik başlıklardır (Vadi ve ark., 2019).

Sonuç olarak, V2H teknolojisi afet dayanıklılığı açısından yüksek potansiyele sahip, sürdürülebilir, sessiz ve emisyonuz bir enerji çözümüdür. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte, bu araçların yalnızca ulaşım değil, aynı zamanda afet sonrası enerji destek birimi olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Uygun mevzuat, yerel yönetim iş birliği ve halk eğitimi ile bu potansiyel etkin biçimde kullanılabilir hâle getirilebilir.

4.1.2.2 Saha verileri

Vehicle-to-Home (V2H) teknolojisi, elektrikli araçların bataryalarında depolanan enerjinin ev içi enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde geri aktarılmasını mümkün kılan bir enerji yönetim çözümüdür. Bu teknoloji, özellikle doğal afetler, şebeke kesintileri veya enerji arzı sorunları gibi durumlarda, hane halkının bağımsız enerji kaynağına erişimini sağlayarak enerji güvenliğini artırmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji sistemleriyle entegre edildiğinde enerji verimliliğini de yükseltmektedir. Bu kapsamda yapılan piyasa araştırmaları, V2H teknolojisinin orta vadede önemli bir büyüme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

GlobalGrowthInsights tarafından yayımlanan analizde, V2H sistemleri küresel pazar hacminin 2023 yılı itibarıyla 75,3 milyon Amerikan doları seviyesine ulaştığı ve 2024 yılında bu değerin 93,6 milyon dolara yükseleceği belirtilmektedir. Aynı raporda 2032 yılı itibarıyla pazar büyüklüğünün 532,6 milyon dolara ulaşacağı ve bu süreçte bileşik yıllık büyüme oranının (CAGR) %24,3 olacağı öngörülmektedir (GlobalGrowthInsights, 2024). Bu projeksiyonlar, özellikle enerji kesintilerine karşı bireysel dayanıklılığı artırmaya yönelik tüketici eğilimlerinin V2H pazarına olan talebi beslediğini göstermektedir.

Benzer şekilde, Verified Market Reports tarafından yayımlanan küresel analizde, 2024 yılı itibarıyla V2H pazarının 1,2 milyar dolarlık hacme sahip olduğu ve 2033 yılına kadar %16,5 CAGR ile 4,5 milyar dolarlık bir büyüklüğe ulaşacağı tahmin edilmiştir (Verified Market Reports, 2024). For Insights Consultancy tarafından yayımlanan bir başka çalışmada ise 2023 yılında V2H bidirectional cihaz pazarının 1,1 milyar dolar olduğu ve bu pazarın 2030 yılı itibarıyla 6,2 milyar dolara ulaşacağı, bu süreçte ortalama büyüme hızının %35,3 seviyesinde gerçekleşeceği belirtilmektedir (For Insights Consultancy, 2024).

InsightAce Analytic'in V2H'yi de kapsayan çift yönlü şarj sistemleri üzerine yaptığı analizde ise, bu pazarın 2024 yılında 1,3 milyar dolar olduğu ve 2034 yılı itibarıyla 9,1 milyar dolara yükseleceği; yıllık bileşik büyüme oranının %22,2 olacağı bildirilmiştir (InsightAce Analytic, 2024). Custom Market Insights da 2023 yılında 927 milyon dolar olan küresel pazarın,

2032 yılına kadar %20 CAGR ile 4,62 milyar dolara ulaşmasını beklemektedir (Custom Market Insights, 2023). Tüm bu analizler, V2H teknolojisinin özellikle bireysel enerji güvenliği, şebekeden bağımsız kullanım ve afet hazırlığı bağlamında küresel enerji dönüşümüne katkı sağladığını göstermektedir.

Bölgesel analizler incelendiğinde, özellikle Kuzey Amerika pazarının güçlü bir gelişim gösterdiği göze çarpmaktadır. GlobalGrowthInsights raporu, Amerika Birleşik Devletleri'nde V2H teknolojilerine olan talebin yüksek olduğunu ve Kuzey Amerika'nın genel pazar içinde lider konumda bulunduğunu belirtmektedir (GlobalGrowthInsights, 2024). Verified Market Reports da benzer şekilde, Kuzey Amerika'nın yanında Avrupa ve Asya-Pasifik bölgelerinin de hızlı bir büyüme eğilimi sergilediğini vurgulamaktadır (Verified Market Reports, 2024). For Insights Consultancy ise 2023–2030 dönemi için bu üç bölgenin özellikle yenilenebilir enerjiye geçiş politikaları, afet dayanıklılığı yatırımları ve enerji depolama çözümleri ekseninde V2H pazarını büyütmeyle devam edeceğini ortaya koymaktadır (For Insights Consultancy, 2024).

Tüm bu veriler ışığında, V2H teknolojisinin elektrikli araçların sadece mobilite değil, aynı zamanda enerji güvenliği ve afet sonrası yaşam koşullarının sürdürülebilirliği açısından da stratejik bir araç haline gelmekte olduğu sonucuna varılabilir.

4.1.3 V2L Teknolojisi

Elektrikli araç sistemlerinde giderek daha fazla önem kazanan V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisi, bataryada depolanan elektrik enerjisinin araç dışındaki yüklere aktarılmasını sağlayan çift yönlü enerji dönüşüm mimarisine dayanmaktadır. Bu teknoloji, temel olarak araç üzerinde bulunan güç elektroniği donanımları aracılığıyla, doğru akım (DC) formundaki enerjinin alternatif akıma (AC) çevrilerek ev tipi cihazlar, mobil ekipmanlar veya afet dönemindeki geçici ihtiyaçlar gibi dış tüketim unsurlarına aktarılmasını mümkün kılar (Ehsani, Gao ve Emadi, 2009).

V2L sistemlerinin temel mühendislik altyapısı, DC/AC inverterler, filtre devreleri, yük algılama sensörleri, termal yönetim modülleri ve sistem güvenliği için gereken izolasyon ekipmanlarından oluşur. Bu mimarinin en önemli bileşeni, yüksek verimli ve hızlı anahtarlama yapabilen inverter sistemleridir. Özellikle Silicon Carbide (SiC) tabanlı MOSFET'lerin kullanımı, enerji dönüşüm verimini ve termal kararlılığı önemli ölçüde artırmaktadır (Wang ve ark., 2019).

Literatürde yer alan teknik uygulamalar arasında Wang ve diğerleri tarafından geliştirilen izoleli çift yönlü güç dönüştürücüsü dikkat çekmektedir. Bu sistem, yüksek frekanslı bir transformatör aracılığıyla hem AC hem de DC yükleri destekleyebilmekte, aynı zamanda yüksek

güvenlikli izolasyon sağlamaktadır (Wang ve ark., 2019). Bu tür mimariler, özellikle konut tipi yedekleme uygulamalarında kritik öneme sahiptir.

Tavella ve diğerleri (2024), daha bütüncül bir yaklaşımla araç içi akıllı güç panosu tasarlamışlardır. Bu sistemde, ilave devre kesici veya toprak kaçak koruma rölesine ihtiyaç duyulmamakta, güç aktarımı doğrudan entegre çift yönlü şarj ünitesi üzerinden sağlanmaktadır. Bu çözüm, kullanıcı güvenliği açısından önemli avantajlar sağladığı gibi sistem karmaşıklığını da azaltmaktadır.

Kumar ve diğerleri (2023) tarafından önerilen farklı bir yaklaşımda ise doğrudan-kuadratik (d-q) kontrollü çok fazlı ve çok kademeli bir yükseltici inverter sistemi sunulmuştur. MATLAB tabanlı simülasyonlarda, bu sistemin 1.1 kilowatt seviyesinde kararlı bir AC enerji aktarımı gerçekleştirdiği raporlanmıştır. Bu yapı, özellikle düşük maliyetli konfigürasyon arayan konut tipi uygulamalarda öne çıkmaktadır.

V2L teknolojisinin yaygınlaşmasında, inverter kontrol algoritmalarının etkinliği belirleyici bir faktördür. Bu bağlamda, hızlı yük değişimlerine adaptasyon, harmonik bozunumun minimize edilmesi, verimlilik optimizasyonu ve sıcaklık dengeleme gibi kontrol parametreleri, sistem mühendisliği açısından önemli AR-GE alanlarıdır (Liu ve ark., 2013).

Modern elektrikli araç platformlarında yer alan V2L sistemleri, genellikle AC 220V / 10-15A seviyesinde çıkış verebilen prizlerle donatılmaktadır. Bu yapı, konutlarda kullanılan elektrikli ısıtıcılar, aydınlatma ekipmanları, küçük beyaz eşyalar gibi yükleri rahatlıkla besleyebilmektedir. Tipik bir tam şarjlı elektrikli araç bataryası yaklaşık 60 kWh kapasiteye sahiptir ve bu enerji, günlük ortalama 8-10 kWh tüketen bir hanenin 5-6 gün boyunca temel ihtiyaçlarını karşılamasına olanak tanır (Chan ve Chau, 2001).

V2L sistemlerinde güvenlik, sadece elektriksel izolasyonla değil, aynı zamanda yük tanımlama, aşırı akım koruma, topraklama izleme ve sıcaklık kontrol modülleriyle sağlanmaktadır. Literatürde incelendiği üzere, özellikle acil durum kullanım senaryolarında sistemin güvenli şekilde başlatılması ve durdurulması için otomatik devre kesme senaryoları geliştirilmiştir.

V2L teknolojisinin mühendislik yönünden önemli bir avantajı da esnek entegrasyon kabiliyetidir. Bu sistemler, hem araç üzerindeki şarj-dönüştürme altyapısına entegre çalışabilir hem de taşınabilir harici inverterler yoluyla işlev görebilir. Ayrıca bu sistemler, V2X çerçevesinde grid (şebeke) ve bina sistemlerine adaptasyon için de altyapı sağlar (Nazari, Borrelli ve Stefanopoulou, 2020).

Yine de literatürdeki birçok çalışma, V2L teknolojisinin hâlâ kavramsal düzeyde kaldığını ve gerçek saha uygulamalarının sınırlı olduğunu vurgulamaktadır. Literatürde incelendiği üzere,

sadece Wang ve ekibi deneysel prototip düzeyinde laboratuvar validasyonu gerçekleştirmiştir; diğer çalışmalar ya simülasyon aşamasında ya da teorik öneri düzeyindedir.

Inverter verimliliği konusunda henüz yaygın bir karşılaştırmalı performans metriği bulunmamakla birlikte, literatürde %90–94 arası verimlilik bildirilmektedir. Özellikle SiC MOSFET teknolojilerinin bu noktada klasik silikon bazlı yapılara göre daha az ısınma, daha hızlı anahtarlama ve daha az kayıpla çalıştığı bildirilmiştir (Ehsani, Gao ve Emadi, 2009).

V2L teknolojisinin yalnızca mühendislik değil aynı zamanda afet yönetimi, mikro-şebeke desteği ve enerji geçişi bağlamlarında sistemik etkileri de söz konusudur. Bu teknoloji, geleceğin siber-fiziksel enerji ağlarında mobil enerji kaynağı olarak konumlanmaktadır (Elma, Cali ve Kuzlu, 2022).

Sonuç olarak, V2L teknolojisi elektrikli araçları yalnızca bir ulaşım aracı olmaktan çıkarıp, hareketli bir enerji ünitesine dönüştüren bir mühendislik dönüşümüdür. Bu dönüşüm, yalnızca donanım inovasyonu değil; aynı zamanda enerji algoritmaları, dijitalleşme, sistem güvenliği ve entegrasyon yeteneği gibi multidisipliner bileşenlerle mümkündür.

4.1.3.1 Afetlerde Kullanımı

Afet anlarında ve sonrasında ortaya çıkan elektrik enerjisi kesintileri, hem bireysel hem de kurumsal düzeyde ciddi hayati tehlikelere yol açabilmektedir. Deprem, sel, toprak kayması, çığ, yangın ve benzeri doğal afetlerde elektrik şebekesinin devre dışı kalması; sağlık ekipmanlarının, haberleşme cihazlarının, aydınlatma sistemlerinin ve su temini gibi temel hizmetlerin durmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu bağlamda, elektrikli araçların V2L teknolojisi aracılığıyla portatif jeneratör görevi görmesi, afet dönemlerinin ilk kritik saatlerinde yüksek değer taşıyan bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Ehsani, Gao ve Emadi, 2009).

Özellikle depremler gibi geniş çaplı elektrik kesintisine neden olan afetlerde, V2L sistemleri bireylerin ev içi yaşamını sürdürebilmeleri için hayati önem taşımaktadır. Tipik bir 60 kWh kapasiteli batarya, günlük 8-10 kWh elektrik tüketen bir hane halkına ortalama 5-6 gün yetecek enerji sağlayabilmektedir (Chan ve Chau, 2001). Bu enerji, aydınlatma, telefon şarjı, su ısıtıcıları ve küçük ev aletlerinin çalıştırılması gibi kritik gereksinimlerin karşılanmasında kullanılabilir.

Sel ve su taşkını gibi afetlerde ise, elektrik altyapısının su altında kalması sonucu uzun süreli kesintiler yaşanabilmektedir. Bu durum, özellikle kırsal bölgelerde yaşayan halkın yardım gelene kadar kendi kendine yetebilmesini gerektirir. V2L donanımlı bir elektrikli araç, bu tür

durumlarda su tahliye pompaları, mobil haberleşme sistemleri ve portatif ısıtıcılar gibi cihazlara güç sağlayarak, sel mağdurlarının geçici olarak temel ihtiyaçlarını karşılamasına olanak tanır (Kempton ve Tomić, 2005).

Afet bölgelerine ulaşan arama-kurtarma ekiplerinin elektrikli araçları üzerinden V2L ile elde edeceği mobil enerji, sahadaki operasyonel etkinliği artırabilir. Ekipmanların şarj edilmesi, aydınlatma sistemlerinin kurulması, telsiz haberleşmesinin devam ettirilmesi gibi birçok faaliyette V2L sistemleri kritik destek sağlayabilir. Ayrıca, V2L teknolojisinin sessiz çalışması, geleneksel dizel jeneratörlerin çıkardığı gürültüden arındırılmış bir çevre oluşturarak operasyonel iletişimi de kolaylaştırmaktadır (Liu, Wu ve Chen, 2013). Deprem kurtarma operasyonlarında sessizlik anlarının kritik önem taşıması, bu teknolojinin sessizliği hayati bir role taşımaktadır. Bu sayede kurtarma operasyonlarında sessizlik anlarında daha iyi sonuç alma ihtimali, jeneratör kullanımı yapılırken de ayırt edilebilir.

Çığ, kaya düşmesi veya toprak kayması gibi ulaşımın kısıtlandığı afet senaryolarında, sabit jeneratörlerin lojistik olarak taşınması zor olabilirken, V2L sistemli elektrikli araçların doğrudan etkilenen bölgeye intikali mümkündür. Bu özellik, elektrikli araçların yalnızca bir ulaşım aracı değil, aynı zamanda mobil enerji ünitesi olarak yeniden konumlandırılmasını sağlamaktadır. Bu esneklik, afet müdahalesinin erken fazlarında kritik fark yaratabilir (Wang ve ark., 2019).

Yangın ve volkan gibi yüksek sıcaklık üreten afet senaryolarında, klasik jeneratörlerin ısı üretimi ve yanıcı yakıt gereksinimi nedeniyle kullanım riski artmaktadır. Buna karşın, V2L sistemleri herhangi bir yanıcı maddeye ihtiyaç duymadan enerji sağlayabildiğinden daha güvenli bir alternatif sunar. Ayrıca, V2L sistemlerinde bulunan entegre izolasyon ve aşırı yük koruma devreleri, acil durum senaryolarında güvenli enerji aktarımı sağlar (Tavella, Tolkacz, Kasture ve Sarkar, 2024).

Afet durumlarında iletişim altyapısının çökmesi, bilgiye erişimi ve yardım çağrısını imkânsız hale getirebilir. Bu tür durumlarda, V2L ile çalışan acil durum istasyonları oluşturulabilir. Bu istasyonlar; Wi-Fi yönlendiricileri, baz istasyonları, telsiz sistemleri ve LED panolar aracılığıyla hem halkı bilgilendirebilir hem de yardım çağrılarını mümkün kılabilir (Rishishwar ve Ojha, 2023). Bu tür uygulamalar, özellikle kırsal ve düşük altyapılı bölgelerde büyük etki yaratmaktadır.

Sahada test edilmiş örnekler sınırlı olsa da, 2023 Türkiye Kahramanmaraş Depremi sonrası bazı bireysel kullanıcıların elektrikli araçlarını jeneratör olarak kullandığı, sosyal medya ve haber platformlarında gözlemlenmiştir. Bu tür kullanıcı temelli uygulamalar, sistemin sahadaki gerçek

potansiyelini göstermektedir. Ancak akademik olarak henüz geniş çaplı saha validasyonları yapılmamıştır.

Bununla birlikte, V2L teknolojisinin afetlerde kullanımına ilişkin bazı sınırlılıklar da göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, sistemin sürdürülebilirliği, bataryanın doluluk oranına bağlıdır. Elektrikli araçların enerji seviyeleri düşükse ve bölgeye elektrik gelmemişse, yeniden şarj imkânı olmayabilir. Ayrıca bazı modellerde V2L özelliği aktif edilmeden önce üretici onayı veya özel adaptörler gerekmektedir (Nazari, Borrelli ve Stefanopoulou, 2020).

Bir diğer zorluk ise afet senaryolarında V2L teknolojisine erişimin sınırlı olmasıdır. Türkiye'de elektrikli araç kullanıcılarının sayısı arttıkça bu durum zamanla değişecektir. Ancak kırsal bölgelerde elektrikli araç bulunurluğu sınırlı olduğundan, bu teknolojinin yaygınlaştırılması yalnızca donanım bazlı değil, aynı zamanda altyapı ve afet stratejileri düzeyinde de ele alınmalıdır (Elma, Cali ve Kuzlu, 2022).

Sonuç olarak, V2L teknolojisi afet dönemlerinde kritik bir enerji çözümü sunmakta, özellikle ilk 72 saatlik “altın zaman diliminde” hayat kurtarıcı rol oynayabilmektedir. Teknolojik gelişmelerin desteklenmesi, yerel yönetimlerin bu teknolojiyi afet planlamalarına entegre etmesi ve toplumsal farkındalık çalışmalarıyla sistemin saha uygulamaları genişletilebilir. Elektrikli araçlar yalnızca ulaşım değil, aynı zamanda dayanıklılık temelli enerji çözümleri sunma potansiyeline sahiptir.

4.1.3.2 Saha verileri

Vehicle-to-Load (V2L) teknolojisine sahip elektrikli araçların küresel pazardaki yeri giderek güçlenmekte olup, çeşitli piyasa araştırmalarına göre önemli bir büyüme potansiyeli taşımaktadır. InsightAce Analytic'in 2025 yılında yayımladığı rapora göre, V2L pazarının 2024 yılı itibarıyla değeri 2,5 milyar Amerikan doları olarak hesaplanmıştır. Aynı çalışmada, bu pazarın 2034 yılına kadar %29,2'lik bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) ile 31,4 milyar dolara ulaşacağı öngörülmektedir (InsightAce Analytic, 2025). Benzer şekilde Cervicorn Consulting tarafından yayımlanan küresel analizde, 2024 yılı için V2L pazarının 2,45 milyar dolar seviyesinde olduğu belirtilmiş; 2034 yılı içinse %30,95 CAGR ile 35,74 milyar dolarlık bir piyasa hacmine erişeceği tahmin edilmiştir (Cervicorn Consulting, 2025). Bu raporlar, V2L teknolojisinin hem kullanıcı ihtiyaçlarını karşılaması hem de acil durum enerji çözümlerine katkı sunması nedeniyle önümüzdeki on yılda hızlı bir yaygınlaşma sürecine gireceğini ortaya koymaktadır.

Markets & Markets tarafından yapılan farklı bir analizde ise 2025–2032 dönemi için büyüme oranı %27,9 olarak verilmiştir. Bu çalışmada pazarın 2025 yılında 2,90 milyar dolardan başlayarak 2032 yılında 16,30 milyar dolara ulaşacağı belirtilmiştir (Markets & Markets, 2025). Bu veriler, küresel düzeyde V2L teknolojisine olan yatırımın ciddi bir artış gösterdiğini ve teknolojinin yakın gelecekte enerji sektörüyle daha entegre hale geleceğini desteklemektedir.

Bölgesel veriler incelendiğinde, Kuzey Amerika'nın halihazırda en büyük V2L pazar payına sahip olduğu görülmektedir. Cervicorn Consulting'e göre 2024 yılı itibarıyla Kuzey Amerika'daki V2L pazarı 0,86 milyar dolar seviyesindedir. Bu pazarın 2034 yılına kadar 12,51 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (Cervicorn Consulting, 2025). Bu artışın temel nedenleri arasında güçlü elektrikli araç ekosistemi, gelişmiş yenilenebilir enerji altyapısı ve hükümet destekli teşvik sistemleri yer almaktadır.

Asya-Pasifik bölgesi ise en hızlı büyüyen pazar konumundadır. Çin, Japonya ve Güney Kore gibi ülkeler bu teknolojiye öncülük etmekte olup, bölgedeki V2L pazarının 2025–2034 dönemi için %36,8'lik bir CAGR ile büyümesi beklenmektedir (Cervicorn Consulting, 2025). Özellikle bu ülkelerdeki batarya teknolojileri, akıllı şebekeler ve şebekeden bağımsız enerji çözümleri üzerine yapılan yatırımlar dikkat çekicidir.

Avrupa ve LAMEA (Latin Amerika, Orta Doğu ve Afrika) bölgeleri için sayısal veri bulunmamakla birlikte, çeşitli kaynaklar bu bölgelerdeki V2L yatırımlarının özellikle V2G ve çift yönlü enerji teknolojileri ile entegre olarak gelişmekte olduğunu belirtmektedir. Avrupa Birliği'nin sıkı karbon emisyon politikaları ve yenilenebilir enerji hedefleri doğrultusunda, V2L tabanlı sistemlerin şehir içi enerji yönetimi ve afet senaryolarında da değerlendirileceği öngörülmektedir.

Sonuç olarak, V2L teknolojisinin sadece bireysel kullanımda değil, aynı zamanda afet ve acil durum senaryolarında mobil enerji çözümü olarak değerlendirilmesi, hem küresel hem de bölgesel düzeyde pazar büyümesini doğrudan etkilemektedir. V2L teknolojisine sahip elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte, bu araçlar sadece ulaşım değil aynı zamanda enerji altyapısının bir parçası haline gelmektedir.

4.1.4 V2X Teknolojisi

V2X (Vehicle-to-Everything) teknolojisi, elektrikli araçlar ile çevresel altyapı ve kullanıcılar arasındaki çok yönlü iletişim ve enerji aktarım protokollerini kapsayan kapsamlı bir sistem mimarisi sunmaktadır. Bu teknoloji, yalnızca veri paylaşımı ile sınırlı olmayıp, aynı

zamanda enerji yönetimi, güvenlik, trafik akışı, otonom sürüş destek sistemleri ve afet müdahale senaryolarında da kritik bir rol oynamaktadır (Emadi, 2017).

Mühendislik perspektifinden bakıldığında, V2X sistemlerinin temel bileşenleri arasında On-Board Unit (OBU), Roadside Unit (RSU), yüksek frekanslı anten sistemleri, ağ dilimleme altyapısı (network slicing), Multi-access Edge Computing (MEC) platformları ve çift yönlü enerji dönüştürücü modüller yer almaktadır. Bu bileşenler, IEEE 802.11p (DSRC), LTE-V2X ve 5G-NR gibi protokoller üzerinden haberleşme sağlar.

V2X teknolojisinde kullanılan iletişim modları şu şekilde sınıflandırılır: V2V (Vehicle-to-Vehicle), V2I (Vehicle-to-Infrastructure), V2P (Vehicle-to-Pedestrian), V2N (Vehicle-to-Network) ve V2G/V2L/V2H gibi enerji aktarımı içeren alt bileşenler. Bu modların her biri, farklı mühendislik sistemleri ve uygulama algoritmaları gerektirir. Örneğin, V2V sistemlerinde düşük gecikme süreli veri iletimi ve yakın mesafe sinyal senkronizasyonu hayati önem taşırken; V2I uygulamalarında istasyon tabanlı senkron veri alışverişi esastır (Noel, de Rubens, Kester ve Sovacool, 2019).

V2X altyapılarında kullanılan dedicated short-range communication (DSRC) sistemleri, özellikle şehir içi yoğun trafikte milisaniyelik gecikmelerle yüksek paket teslim oranı sağlamaktadır. Buna karşılık, LTE-V2X ve 5G tabanlı sistemler daha geniş kapsama alanı, daha yüksek bant genişliği ve ağ esnekliği gibi avantajlar sunar (Chen ve ark., 2017). Özellikle MEC sistemlerinin dahil edilmesi, verinin merkezi sunuculara gönderilmeden yerel olarak işlenmesini mümkün kılmakta ve bu durum gecikmeyi azaltarak V2X performansını artırmaktadır.

Mühendislik açısından kritik bir unsur, çift yönlü enerji aktarım yeteneği ile V2X sisteminin yalnızca veri değil enerji paylaşımı da yapabilmesidir. Bu özellik sayesinde araçlar, şebekeye enerji verebilir (V2G), evleri besleyebilir (V2H) veya doğrudan cihazları çalıştırabilir (V2L). Bu aktarım, gelişmiş inverter sistemleri ve batarya yönetim sistemleri (Battery Management Systems – BMS) ile kontrol edilir (Ehsani, Gao ve Emadi, 2009).

V2X teknolojilerinin enerji aktarımı boyutunda, güç elektroniği mühendisliği ön plana çıkmaktadır. Emadi (2017), dijital kontrollü entegre güç dönüştürücü sistemlerin modern araçlarda inverter-motor-batarya üçlüsünün senkronizasyonunu sağladığını, bu yapının da V2X entegrasyonunun temel altyapısını oluşturduğunu vurgulamaktadır. Bu sistemlerde kullanılan çok katmanlı kontrol algoritmaları, hem şebeke hem de cihaz güvenliğini sağlamak amacıyla yük dengelemesi, gerilim regülasyonu ve frekans koordinasyonunu otomatik olarak gerçekleştirmektedir.

V2X sistemlerinin performansı, gecikme süresi (latency), paket iletim oranı (Packet Delivery Ratio – PDR), sinyal gücü, bant genişliği kullanımı ve çevresel dayanım (örneğin yüksek hızda çalışma, frekans kayması, doppler etkisi) gibi parametrelerle ölçülmektedir. DSRC tabanlı sistemlerde gecikme süresinin genellikle 100 ms'nin altında olduğu, LTE-V2X ve 5G tabanlı sistemlerde ise bu değerin 10 ms'ye kadar indirilebildiği bildirilmiştir (Wang ve ark., 2021).

Ayrıca Liu ve diğerleri (2013), V2L sistemlerini inceleyen çalışmalarında enerji yönlendirme algoritmalarının önemine dikkat çekmiştir. Bu algoritmalar, araçtaki bataryanın doluluk oranını, çevresel talep profillerini ve sistem önceliklerini analiz ederek enerji çıkışını optimize etmektedir. Bu bağlamda, akıllı kontrol devreleriyle entegre çalışan inverter mimarileri, V2X sistemlerinin enerji güvenliği boyutunu da üstlenmektedir.

Uygulama açısından değerlendirildiğinde, V2X teknolojileri akıllı şehirlerde kavşak güvenliği, yeşil dalga optimizasyonu, otonom filo platoonu, afet haberleşmesi ve enerji paylaşımı gibi birçok senaryoya entegre edilebilmektedir (Dhawankar ve ark., 2021). Özellikle eco-driving uygulamalarında, V2I sistemleri trafik ışığı zamanlamalarına göre hız profilini ayarlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır (Chowduri ve ark., 2024).

Bununla birlikte, mevcut literatür V2X sistemlerinin çoğunlukla kavramsal düzeyde kaldığını göstermektedir. Literatür incelemesine göre incelenen çalışmaların büyük kısmı simülasyon ya da saha deneyi düzeyindedir. Sadece bir örnekte, EcoCAR Mobility Challenge kapsamında gerçekleştirilen DSRC tabanlı V2I uygulamasında gerçek donanım kullanımı raporlanmıştır.

Yapısal olarak bakıldığında, V2X sistemlerinin hayata geçirilebilmesi için altyapı yatırımları, standart protokol uyumları ve güvenlik sertifikaları gibi çok katmanlı mühendislik gereksinimleri bulunmaktadır. Özellikle güvenli veri alışverişi için şifreleme, kimlik doğrulama ve haberleşme bütünlüğü gibi siber güvenlik önlemleri entegre edilmek zorundadır (Abboud, Omar ve Zhuang, 2016).

Bunun yanı sıra, farklı V2X protokollerinin birlikte çalışabilirliği (interworking) henüz tam anlamıyla sağlanamamıştır. DSRC, LTE-V2X ve 5G gibi sistemler farklı frekans bantlarında çalışmakta ve uyum sorunları yaşamaktadır. Bu nedenle hibrit sistemlerin geliştirilmesi, gelecek projeksiyonları açısından önemlidir (Rakouth ve ark., 2013).

Enerji kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, ortalama 60 kWh batarya kapasitesine sahip bir elektrikli araç, 10 kWh/gün tüketen bir evi yaklaşık 6 gün süreyle besleyebilir. Bu değer, acil durumlar veya afet senaryolarında kritik öneme sahiptir. Aynı zamanda bu enerji miktarı; LED

aydınlatmalar, dizüstü bilgisayarlar, su pompaları ve düşük güçlü ısıtıcılar gibi birçok ekipmanın paralel kullanımına olanak verir (Kempton ve Tomić, 2005).

Sonuç olarak V2X, veri ve enerji entegrasyonunu eşzamanlı gerçekleştiren ve geleceğin akıllı ulaşım sistemlerinin merkezinde yer alan bir teknolojidir. Geliştirilen mühendislik çözümleri, yalnızca araçların değil, tüm ulaşım altyapısının dijital dönüşümüne hizmet etmekte, enerji yönetimi ve güvenli sürüş hedeflerine katkı sağlamaktadır.

4.1.4.1 Afetlerde Kullanımı

Afet senaryolarında bilgiye ve enerjiye hızlı erişim, hem bireysel güvenliğin hem de profesyonel müdahale kapasitesinin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. V2X (Vehicle-to-Everything) teknolojisi, afet anlarında araçlar ile çevre, altyapı, bireyler ve merkezî sistemler arasında hem veri hem enerji bazlı çok yönlü bir iletişim ve destek ağı kurulmasını mümkün kılmaktadır. Bu teknoloji, afet yönetimi literatüründe yeni bir paradigma olarak değerlendirilmekte ve özellikle 5G tabanlı sistemlerle birlikte kriz anı karar destek altyapılarının temel taşı haline gelmektedir (Chen ve ark., 2017).

Deprem gibi geniş alanlarda altyapının tahrip olduğu afetlerde, özellikle mobil iletişim ağlarının çökmesi ciddi bir sorundur. V2X sistemleri bu tür durumlarda V2N (Vehicle-to-Network) ve V2I (Vehicle-to-Infrastructure) bileşenleriyle devreye girerek, araçların geçici baz istasyonu veya erişim noktası olarak kullanılmasıyla iletişim altyapısının yeniden tesisi için geçici çözümler sunabilir (Abboud, Omar ve Zhuang, 2016). Bu senaryoda, RSU (Roadside Unit) donanımına sahip elektrikli araçlar, adeta mobil komuta merkezi gibi konumlanabilir.

Sel ve su taşkını gibi olaylarda, sabit enerji altyapısının su altında kalması, hem haberleşme sistemlerini hem de sağlık cihazlarını devre dışı bırakmaktadır. V2X altyapısı sayesinde araçlar, hem enerji kaynağı (V2L) hem de bağlantı noktası (V2N) olarak kullanılabilir. Bu sistemler, Multi-access Edge Computing (MEC) sayesinde veriyi merkeze göndermeden analiz edebilmekte ve afetin şiddeti, yönü, ihtiyaç alanları gibi bilgileri anlık olarak ilgili kurumlara aktarabilmektedir.

Toprak kayması, çığ, kaya düşmesi gibi aniden gelişen afetlerde V2V (Vehicle-to-Vehicle) protokolleri, bölgedeki araçlar arasında doğrudan bilgi aktarımına imkân tanıyarak tehlikenin yayılma yönüne göre sürücülere erken uyarı verebilir. Özellikle kırsal alanlarda RSU olmayan bölgelerde V2V haberleşmesi, güvenli tahliye ve yönlendirme açısından önemli avantaj sağlamaktadır (Petrov ve ark., 2021).

Yangın ve volkanik faaliyetlerde yoğun duman, elektromanyetik bozulmalar ve termal hasarlar haberleşme sistemlerini ciddi şekilde etkileyebilir. DSRC tabanlı V2X sistemleri, kısa mesafede düşük gecikme süreleriyle bu tür zorlu koşullarda dahi kararlı çalışabilmekte ve özellikle yangın hattı yakınında kalan ekiplerin konum ve sağlık verilerini merkezî sistemlere aktarmada büyük avantaj sağlamaktadır (Wang ve ark., 2021).

Arama-kurtarma ekipleri için V2X sistemleri, mobil enerji kaynağı ve iletişim platformu olmanın ötesinde, aynı zamanda koordinasyonun otomasyonu açısından da katkı sağlar. Otonom araçlar ile V2X uyumlu ekipmanlar, kapalı yolların tespiti, güvenli geçiş rotalarının çizilmesi, trafik yeniden yönlendirmesi gibi görevlerde kullanılabilir. 5G destekli V2X altyapıları sayesinde bu süreçler gerçek zamanlı hale getirilerek ekiplerin verimliliği artırılabilir (Noel, de Rubens, Kester ve Sovacool, 2019).

Afet anında bireylerin en çok ihtiyaç duyduğu şeylerden biri bilgiye hızlı ve doğru erişimdir. V2X sistemleriyle donatılmış araçlar, afet bölgesine girer girmez çevresel sensör verilerini toplayarak hava durumu, sıcaklık, nem, gaz sızıntısı gibi kritik bilgileri merkeze iletebilir. Aynı zamanda V2P (Vehicle-to-Pedestrian) protokolleri sayesinde, cep telefonlarına acil tahliye uyarıları veya toplanma alanı yönlendirmeleri de yapılabilir (Chen ve ark., 2017).

Ancak V2X teknolojinin afetlerde kullanımında bazı teknik sınırlılıklar da söz konusudur. Öncelikle, sistemin tam kapasiteyle çalışabilmesi için RSU'ların ve MEC altyapısının önceden kurulu olması gereklidir. Ayrıca, farklı üreticilere ait araç ve donanımlar arasında standartlaşma eksikliği nedeniyle uyumluluk sorunları yaşanabilir (Rakouth ve ark., 2013). Bu durum, özellikle hibrit DSRC ve 5G altyapılarında sistemsel çakışmalara neden olabilir.

Enerji boyutunda değerlendirildiğinde, V2X sistemleri afet bölgelerinde yalnızca bilgi değil, enerji paylaşımında da kullanılabilir. Örneğin, bir afet bölgesine gelen araç hem çevredeki sensörleri çalıştırabilir hem de mobil sağlık ünitelerini besleyebilir. Bu bağlamda V2G ve V2L uygulamaları, afet sonrası ilk 72 saatlik kritik zaman dilimi için enerji bağımsızlığı sağlayan unsurlar olarak değerlendirilmektedir (Ehsani, Gao ve Emadi, 2009).

Afet sonrası süreçte V2X sistemleri, yeniden yapılandırma ve analiz faaliyetlerinde de kullanılabilir. Bölgedeki araçlardan alınan hız, yön, konum ve çevre verileri ile etkilenen alanların haritalandırılması, hasar analizlerinin yapılması ve kaynakların etkin dağıtımı mümkün hale gelir. Bu yönüyle V2X yalnızca müdahale değil, aynı zamanda iyileşme fazına da katkı sunmaktadır (Dhawankar ve ark., 2021).

Sonuç olarak, V2X teknolojisi afet yönetimi süreçlerinde hem saha verisi üretme, hem iletişimi sürdürme, hem de enerji sağlama işlevleri ile entegre bir çözüm olarak değerlendirilebilir.

Sistem, insan-makine-altyapı etkileşimini eşzamanlı kurarak dayanıklı kentler ve esnek afet stratejileri için mühendislik temelli bir çözüm mimarisi ortaya koymaktadır.

4.1.4.2 Saha verileri

Vehicle-to-Everything (V2X) teknolojileri, elektrikli araçların çevresel unsurlarla iletişim kurmasını sağlayarak hem trafik güvenliği hem de enerji yönetimi açısından önemli bir dönüşüm yaratmaktadır. V2X; araçtan araca (V2V), araçtan altyapıya (V2I), araçtan yayaya (V2P), araçtan ağa (V2N) ve geniş kapsamlı sistemlere (V2X) veri akışını mümkün kılan teknolojik altyapı ile otomotiv endüstrisinin geleceğinde kilit bir rol oynamaktadır. Bu çerçevede yapılan pazar analizleri, V2X çözümlerinin küresel ölçekte son derece hızlı bir şekilde yaygınlaşmakta olduğunu ortaya koymaktadır.

Precedence Research tarafından yayımlanan 2025 tarihli analizde, V2X teknolojilerine dayalı küresel pazar büyüklüğü 2024 yılı itibarıyla 1,91 milyar Amerikan doları olarak hesaplanmıştır. 2025 yılı için bu değerin 2,77 milyar dolara yükseleceği, 2034 yılı itibarıyla ise 80,49 milyar dolarlık bir büyüklüğe ulaşacağı ve bu süreçte pazarın yıllık bileşik büyüme oranının (CAGR) %45,37 seviyesinde gerçekleşeceği öngörülmektedir (Precedence Research, 2025). Benzer şekilde, Transparency Market Research tarafından yapılan bir başka analizde, 2023 yılında 0,75 milyar dolar seviyesinde olan V2X pazarının, 2034 yılına kadar %27,4'lük bir CAGR ile 12,1 milyar dolara çıkacağı tahmin edilmiştir (Transparency Market Research, 2024).

Markets & Markets kuruluşunun 2023–2030 dönemine yönelik değerlendirmesinde ise pazarın 2023'te 0,5 milyar dolarlık bir değerden başlayarak, 2030 yılında 9,5 milyar dolara ulaşması ve bu süreçte yıllık ortalama %51,9 oranında büyümesi beklenmektedir (Markets & Markets, 2023). Spherical Insights tarafından yayımlanan bir diğer rapor ise, 2023–2033 arası dönemi kapsamakta olup, başlangıçta 0,6 milyar dolar olan V2X pazarının on yıl içerisinde 38,49 milyar dolara ulaşacağı ve CAGR oranının %51,61 olacağı ifade edilmektedir (Spherical Insights, 2023). Buna ek olarak, Global Market Insights 2024 yılı için pazar büyüklüğünü 4,1 milyar dolar olarak tahmin etmekte ve yıllık ortalama %25,1 oranında bir büyüme öngörmektedir (Global Market Insights, 2024). Maximize Market Research de benzer bir yaklaşımla, 2024 yılında 4,94 milyar dolar olan pazar hacminin, 2032 yılına kadar %38,2 CAGR ile 65,81 milyar dolara yükseleceğini açıklamıştır (Maximize Market Research, 2024).

Bölgesel bazda yapılan incelemelerde ise Asya-Pasifik bölgesinin ön plana çıktığı görülmektedir. Precedence Research verilerine göre, bu bölgede 2024 yılı itibarıyla V2X pazar

büyüklüğü yaklaşık 0,8 milyar dolar düzeyindedir ve 2034 yılına kadar %45,41’lik bileşik büyüme oranı ile 33,81 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (Precedence Research, 2025). Avrupa özelinde ise Markets & Markets tarafından yapılan analizde, 2030 yılına kadar pazarın yaklaşık 2 milyar dolar düzeyine ulaşacağı ve %42,1’lik bir CAGR ile büyüyeceği belirtilmektedir (Markets & Markets, 2023).

Bunlara ek olarak, V2X teknolojisinin alt segmentlerinden biri olan C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) çözümleri de dikkat çekici bir gelişim göstermektedir. Bu segment için yapılan küresel pazar analizi, 2024 yılı itibarıyla 1,72 milyar dolar olan pazar hacminin, 2034 yılına kadar %41,81’lik CAGR ile 56,44 milyar dolara ulaşacağını göstermektedir (Global Newswire, 2024). Tüm bu veriler ışığında, V2X teknolojilerinin sadece ulaşım altyapısını değil, aynı zamanda enerji ve iletişim altyapılarını da yeniden şekillendirecek stratejik bir bileşen olduğu açıkça ortaya konmaktadır.

Toparlamak gerekirse; afet anlarında yaşanan en temel problemlerden biri, enerji altyapısının ani şekilde çökmesi ve bunun sonucunda ortaya çıkan enerji erişim krizidir. Bu kriz yalnızca bireysel ihtiyaçları değil, sağlık hizmetlerinden haberleşmeye, güvenlikten lojistiğe kadar birçok hayati alanı doğrudan etkilemektedir. Yapılan teknik inceleme ve değerlendirmeler, V2G, V2H, V2L ve V2X teknolojilerinin afet senaryolarında bu enerji krizine karşı ciddi bir çözüm potansiyeli sunduğunu ortaya koymaktadır.

V2G sistemleri, merkezi şebekeye enerji aktarımı yoluyla afet sonrası enerji sürekliliğini sağlamada ön plana çıkmaktadır. Bu teknoloji sayesinde, elektrikli araçlar geçici enerji kaynakları hâline gelebilmekte ve kamu binaları, hastaneler veya geçici barınma alanları gibi kritik altyapılar desteklenebilmektedir. Aynı anda birçok aracın sisteme entegre edilmesi, bölgesel enerji arzının esnekliğini ve sürekliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Ancak bu sistemin başarısı, bölgedeki şarj altyapısının V2G uyumlu olması ve enerji aktarım protokollerinin çalışır durumda bulunmasına bağlıdır.

V2H sistemleri ise daha çok bireysel konut düzeyinde enerji bağımsızlığı sağlamaktadır. Özellikle elektrik kesintisinin yaygın ve uzun süreli olduğu senaryolarda, V2H teknolojisi sayesinde bir elektrikli araç, bir hanenin günler boyunca temel ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Bu durum afet sonrası bireysel direnci artırmakta ve yardım ulaşana kadar geçen sürede hayatta kalma olasılığını yükseltmektedir. Ayrıca sistemin ev içinde kullanılabilir olması, dış ortam koşullarından bağımsız çalışabilmesini de beraberinde getirmektedir.

V2L teknolojisi, taşınabilirliği ve esnek kullanımı ile afet müdahalesinin ilk saatlerinde oldukça avantajlıdır. Araçtan doğrudan AC güç çıkışı alınabilmesi, jeneratör taşımaya gerek kalmadan anında enerji desteği sağlanmasına olanak tanımaktadır. Arama-kurtarma ekipmanlarının çalıştırılması, haberleşme cihazlarının beslenmesi veya lokal aydınlatma ihtiyaçlarının karşılanması gibi birçok senaryoda V2L sistemlerinin önemi artmaktadır. Bu yönüyle, hızlı müdahale gerektiren afet koşullarında operasyonel verimliliği artıran bir sistem olarak değerlendirilebilir.

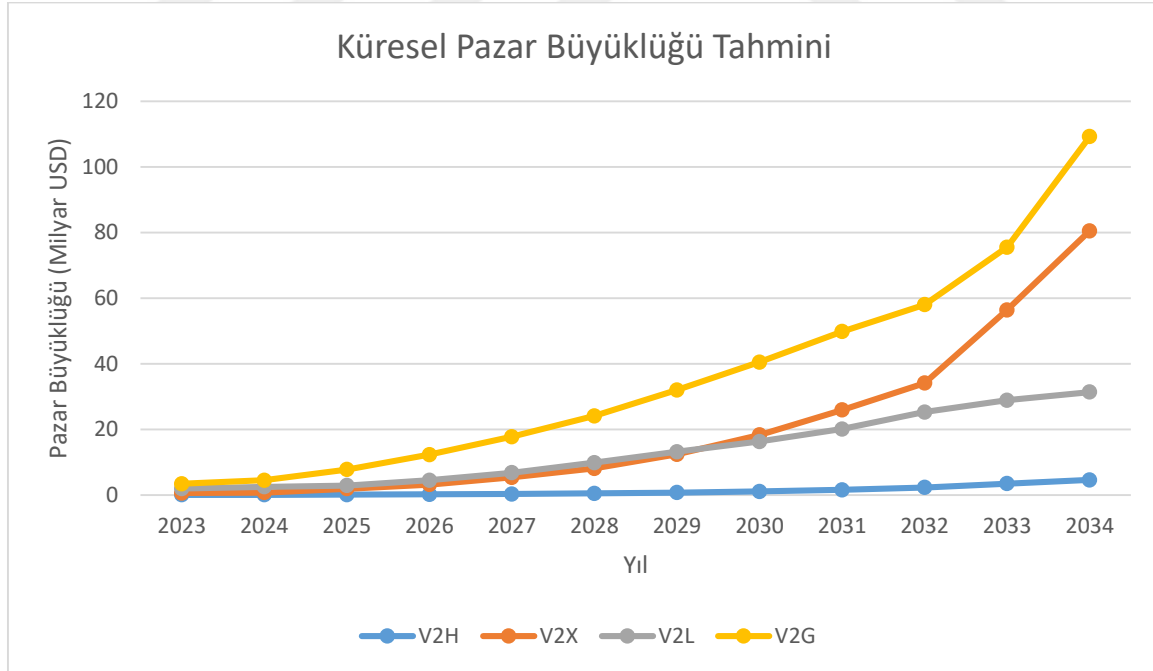
V2X sistemleri ise, enerji aktarımından çok daha fazlasını ifade etmektedir. Bu teknoloji afet bölgesinde yalnızca enerji sağlamakla kalmamakta; aynı zamanda veri aktarımı, haberleşme, çevresel gözlem ve yönlendirme gibi çok katmanlı bir destek mekanizması sunmaktadır. Araçların geçici haberleşme noktalarına dönüşebilmesi, diğer araçlarla doğrudan veri paylaşabilmesi veya merkezi sistemlerle senkronize çalışabilmesi sayesinde afet anında hem lojistik hem bilgi akışı açısından önemli katkılar sağlanmaktadır. Bu sistemin tam kapasiteyle çalışabilmesi için önceden planlanmış bir dijital altyapı gerektirmesi ise önemli bir sınırlılık olarak karşımıza çıkmaktadır.

Genel değerlendirme yapıldığında, dört sistemin de farklı düzeylerde afet yönetimine entegre edilebileceği görülmektedir. V2G sistemleri büyük ölçekli ve merkezi enerji yönetimine katkı sağlarken, V2H bireysel konutlarda direnç artırıcı bir role sahiptir. V2L, taşınabilirlik avantajı sayesinde müdahale süreçlerinde ön plana çıkmakta; V2X ise afet yönetiminin hem enerji hem iletişim boyutunda çok yönlü bir destek aracı olarak dikkat çekmektedir.

Ancak tüm bu teknolojilerin sahadaki uygulanabilirliği, yalnızca teknik yeterliliğe değil; aynı zamanda altyapı uyumluluğu, kullanıcı farkındalığı, üretici desteği ve yerel yönetimlerin planlamasına da bağlıdır. Elektrikli araçların yalnızca ulaşım aracı olarak değil, aynı zamanda stratejik bir enerji çözümü olarak konumlandırılması, afet dayanıklılığı açısından yeni bir perspektifin gelişmesini mümkün kılmaktadır.

Sonuç olarak, analiz edilen teknolojiler afet dönemlerinde kısa vadeli enerji çözümlerinden çok daha fazlasını sunmakta; sistematik olarak entegre edildiklerinde, toplumun afetlere karşı daha dirençli, daha hazırlıklı ve daha sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına katkı sağlamaktadır. Bu potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilmesi için ise teknik altyapıların tamamlanması kadar, karar alıcılar ve halk nezdinde farkındalık düzeyinin yükseltilmesi de şarttır.

Grafik 1. Küresel Pazar Büyüklüğü Tahmini Grafiği



2023–2034 dönemi küresel pazar projeksiyonları, çift yönlü enerji teknolojilerinin her biri için farklılaşan büyüme dinamiklerine işaret etmektedir. Elde edilen veriler doğrultusunda, Vehicle-to-Grid (V2G) teknolojisinin 2034 yılı itibarıyla 109,2 milyar Amerikan doları pazar

büyüklüğüyle bu alanın en hızlı gelişen ve en geniş hacimli segmenti haline geleceği öngörülmektedir. Bu teknolojiyi, yaklaşık 80,5 milyar Amerikan doları seviyesine ulaşması beklenen Vehicle-to-Everything (V2X) pazarı takip etmektedir. V2X'in özellikle altyapı ile entegre çözümler sunma potansiyeli, bu ivmeyi destekleyen temel unsurlar arasında değerlendirilmektedir.

Öte yandan, Vehicle-to-Load (V2L) teknolojisinin büyüme eğrisi daha dengeli bir seyir izlemekte olup, 2034 yılı itibarıyla 31,4 milyar Amerikan doları seviyesine ulaşması beklenmektedir. Bu durum, V2L sistemlerinin doğrudan kullanıcı odaklı ve cihaz bazlı çözümler sunmasına bağlı olarak sınırlı ama istikrarlı bir pazar oluşturduğunu göstermektedir. Daha niş bir teknoloji olarak konumlanan Vehicle-to-Home (V2H) çözümleri ise 2034 yılı itibarıyla 4,6 milyar Amerikan doları seviyesinde bir pazar hacmine erişecektir. Her ne kadar bu değer diğer segmentlere kıyasla daha düşük olsa da, V2H teknolojilerinin bireysel enerji güvenliği ve afet senaryolarında kritik işlevselliği göz önünde bulundurulduğunda, stratejik önemi göz ardı edilmemelidir.

4.2 Vaka Çalışmaları ve Senaryolar

Çift yönlü şarj sistemleri, elektrikli araç teknolojisinin en yeni ve hızla gelişen alanlarından biri olarak dikkat çekmektedir. Bu sistemlerin özellikle afet dönemlerinde alternatif enerji kaynakları olarak kullanılabilirliği üzerine yapılan araştırmalar hâlâ sınırlı düzeydedir. Bu nedenle, tez kapsamında sunulan senaryolar, vaka analizleri ve literatür örnekleri yalnızca mevcut bilgi birikimini derlemekle kalmayıp, aynı zamanda bu yenilikçi teknolojilerin kriz yönetimi bağlamında nasıl işlevselleştirilebileceğine dair özgün katkılar sunmayı amaçlamaktadır. Geliştirilen her senaryo, çift yönlü enerji aktarımı sağlayan teknolojilerin afet dayanıklılığı, enerji erişimi ve toplumsal fayda üretimi gibi çok boyutlu etkilerini göz önünde bulundurarak tasarlanmıştır. Bu bölüm, literatüre katkı sağlamak ve çift yönlü şarj teknolojisinin gerçek dünya senaryolarındaki uygulanabilirliğini değerlendirmek açısından tezin analiz yapısının önemli bir bileşeni olarak kurgulanmıştır.

4.2.1 Literatür Taraması

Feng, Lin, Xian ve Chester (2020) tarafından gerçekleştirilen bu vaka çalışması, 2017 yılında Florida’da yaşanan ve ABD tarihindeki en büyük zorunlu tahliyelerden biri olan Hurricane Irma senaryosunda, tüm taşıt filosunun elektrikli araçlardan oluşması durumunda enerji altyapısının nasıl etkileneceğini modellemektedir. Çalışma, bu tür bir senaryoda Florida’daki altı enerji dağıtım otoritesinin ciddi enerji açığı yaşayacağını ve özellikle orta Florida bölgesinde yaşanacak enerji yetersizliğinin tüm eyaletin enerji şebekesinde zincirleme kesintilere neden olabileceğini öngörmektedir. Bu analiz, afet zamanlarında yüksek hacimli elektrikli araç kullanımının sadece ulaşım altyapısını değil, aynı zamanda enerji altyapısını da tehdit edebileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçların afet zamanlarında sadece mobilite değil aynı zamanda enerji talebi açısından da risk unsuru olabileceği vurgulanmaktadır.

Makale doğrudan V2G (Vehicle-to-Grid) teknolojisine atıfta bulunmasa da, tüm çalışmanın merkezinde elektrikli araçların yoğun biçimde şarj ihtiyacı doğurduğu ve bu ihtiyacın mevcut şebeke kapasitesini aşabileceği gerçeği yer almaktadır. Elektrikli araçların afet öncesinde ve sırasında büyük oranda şarj edilmek zorunda kalması, özellikle batarya seviyesinin %20’nin altına indiği durumlarda yoğun bir enerji talebi yaratmaktadır. Feng ve diğerleri (2020), bu talebin Florida’daki mevcut enerji altyapısının sınırlarını zorlayacağını; bazı bölgelerde sadece araçların %35–45’ine hizmet verilebileceğini belirtmektedir. Bu tür enerji darboğazlarının afet tahliyesi

sırasında ortaya çıkması, elektrikli araçların yalnızca enerji sağlayıcı değil, aynı zamanda enerji tüketiminde kriz yaratan unsurlar olabileceğini göstermektedir.

Bu vaka çalışması, tezin analiz bölümünde kritik bir karşı argüman olarak konumlanabilir. Elektrikli araçların afetlerde jeneratör olarak kullanılabilmesi için öncelikle bu araçların şarj ihtiyaçlarının afet öncesinde ve sırasında enerji sistemine yük bindirmeyecek şekilde planlanması gerektiği anlaşılmaktadır. Aksi durumda, elektrikli araçlar enerji sağlayıcı rolünden çok, enerji krizinin kaynağı haline gelebilir. Bu yönüyle çalışma, sadece teknolojik potansiyel değil, aynı zamanda altyapı kapasitesi, planlama stratejileri ve enerji yönetimi açılarından da çok boyutlu değerlendirmeler yapılması gerektiğini ortaya koymakta; tezde ele alınan V2G ve V2H teknolojilerinin pratikteki sınırlarını anlamak adına önemli bir teknik referans sunmaktadır (Feng, Lin, Xian ve Chester, 2020).

Dong, Xiong, Yang, Wang ve Zhu (2025) tarafından gerçekleştirilen bu kapsamlı çalışma, özellikle tayfun felaketleri sonrası dağıtım şebekesindeki elektrik kesintilerine karşı sistemin toparlanabilirliğini artırmak için elektrikli araçların ve mobil enerji depolama sistemlerinin (MESS) koordineli biçimde nasıl kullanılabileceğini analiz etmektedir. Makalede önerilen strateji, V2G (Vehicle-to-Grid) teknolojisinin dağıtım şebekesindeki yeniden enerji teminine entegrasyonuna dayanmakta ve bu amaçla elektrikli araç kümeleri matematiksel olarak “genelleştirilmiş enerji depolama birimi” olarak modellenmektedir. Bu modelleme süreci, Minkowski toplamı yöntemiyle bireysel araçların yük profillerinin kümelenmesini mümkün kılarak, zaman-mekân boyutlu bir planlamanın temelini oluşturmaktadır.

Önerilen yaklaşım, afet sonrası şebeke yeniden yapılandırma senaryolarında yalnızca MESS değil, aynı zamanda EV kümelerinin de aktif olarak görev almasını öngörmektedir. Yapılan simülasyonlarda, EV kümelerinin V2G sistemleri aracılığıyla şebekeye enerji sağladığı, özellikle sabit enerji kaynaklarının yeterli olmadığı durumlarda bu katkının hayati önem taşıdığı gösterilmiştir. Strateji; güç kayıplarını azaltmak, yüklerin yeniden toparlanma oranlarını artırmak ve sistemin ada işletimi modunda stabil çalışmasını sağlamak gibi çoklu hedefler taşımaktadır. Dong ve diğerleri (2025), üç farklı senaryo üzerinden karşılaştırma yapmış ve EV katılımının olmadığı durumda ekonomik kaybın %26 daha yüksek olduğunu, enerji kaybının ise %29,78 oranında fazla gerçekleştiğini ortaya koymuştur.

Makalede V2G sistemlerinin afet sonrası senaryolarda özellikle ada modunda çalışan şebekelerin yeniden güç kazanımında kritik rol oynadığı vurgulanmaktadır. Bu durum, EV kümelerinin sadece bireysel değil, koordineli biçimde görev alabileceğini göstermekte, dolayısıyla afet sonrası enerji planlamalarının bireysel araç düzeyinden çıkarılarak kümelenmiş sistem

mantığına kaydırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, bu yaklaşımın sadece teknik değil ekonomik açıdan da fayda sağladığı belirtilmiştir. V2H (Vehicle-to-Home) sistemlerine göre daha geniş bir etki alanı sunan V2G temelli çözümler sayesinde, afet sonrası toparlanma süresi önemli ölçüde kısaltılmakta ve özellikle kritik yüklerin enerji ihtiyacı daha güvenli şekilde karşılanabilmektedir (Dong, Xiong, Yang, Wang ve Zhu, 2025).

Babaei ve Wong (2022), elektrikli araç kullanıcılarının afet zamanlarında sergiledikleri tahliye davranışlarını anlamaya yönelik anket verilerine dayalı modelleme çalışması gerçekleştirmiştir. Araştırma, elektrikli araçların afet tahliyelerinde nasıl kullanılacağına dair sadece teknik değil, aynı zamanda kullanıcı eğilimlerine dair de veri sağlamaktadır. Özellikle V2L (Vehicle-to-Load) ve V2H (Vehicle-to-Home) teknolojilerinin gerçek afet senaryolarında uygulanabilirliğinin artırılabilmesi için, bu teknolojileri kullanacak bireylerin karar verme dinamiklerinin iyi anlaşılması gerektiği belirtilmektedir. Çalışmada kullanılan davranışsal modelleme çerçevesi, şarj istasyonu tercihleri, tahliye zamanlaması ve araç menziline dair endişeleri kapsayan çok boyutlu bir analiz sunmaktadır.

Çalışmanın önemli bulgularından biri, kullanıcıların şarj altyapısına olan güven düzeyinin, afet sırasında elektrikli araçlarını kullanma kararlarını doğrudan etkilediğidir. Şarj süresinin uzunluğu, istasyonların afet anında hizmet verip vermeyeceğine dair belirsizlik ve menzil kaygısı, kullanıcıların afet zamanında içten yanmalı motorlu araçlara yönelme eğilimini artırmaktadır. Bununla birlikte, kullanıcıların afet zamanında elektrikli araçlarını yalnızca tahliye amaçlı değil, aynı zamanda çevrelerindeki bireylerle enerji paylaşımı yapmak için de kullanmak isteyebilecekleri belirtilmiştir. Bu bulgu, özellikle V2L uygulamaları açısından değerlidir; çünkü kullanıcıların araçlarını mobil jeneratör olarak kullanma eğilimleri, toplum temelli afet dayanıklılığını artırabilir.

Bu vaka, elektrikli araçların afetlerde jeneratör olarak kullanılabilirliğine yönelik sadece teknik değil, sosyal davranış odaklı bir boyut eklemektedir. Tezde V2L ve V2H sistemlerinin uygulanabilirliğini analiz ederken, kullanıcı davranışının bu sistemlerin başarısında belirleyici bir faktör olduğu netleşmektedir. Babaei ve Wong (2022), özellikle karar vericilerin afet senaryoları için şarj altyapısını sadece teknik kapasiteyle değil, kullanıcı eğilimleriyle birlikte planlaması gerektiğine işaret etmektedir. Bu çalışma sayesinde, afet anlarında elektrikli araçların etkin kullanımını artırmaya yönelik sosyal stratejiler ve kamu bilgilendirme kampanyaları geliştirme gerekliliği de anlaşılmaktadır (Babaei ve Wong, 2022).

Liperda, Putra, Pairunan, Maghfiroh ve Redi (2024) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, Endonezya'daki Semeru Yanardağı patlaması senaryosu üzerinden elektrikli ve içten yanmalı

motorlu araçların afet tahliyesindeki performansını karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Coğrafi bilgi sistemleri (GIS) destekli çok kriterli karar verme yaklaşımı kullanılarak, her iki araç türünün tahliye süresi, rota güvenliği ve erişim kabiliyeti analiz edilmiştir. Elektrikli araçların rota üzerinde daha az emisyon üretmesi ve bazı senaryolarda daha kısa tahliye sürelerine ulaşabilmesi, bu araçların afet sonrası tahliye sistemlerinde daha fazla kullanılabileceği yönünde önemli bir işaret sunmaktadır. Bu sonuç, elektrikli araçların sadece bireysel taşıma aracı değil, aynı zamanda sürdürülebilir tahliye çözümü olarak da konumlandırılabilceğini göstermektedir.

Çalışma, her ne kadar doğrudan V2G, V2H ya da V2L teknolojilerine yer vermese de, elektrikli araçların afet senaryolarında aktif olarak değerlendirilmesini önermektedir. Tahliye süreçleri sırasında araçların menzil sınırlamaları ve rota üzerindeki şarj istasyonlarına erişim kritik faktörler olarak tanımlanmıştır. Bu bağlamda, elektrikli araçların sadece tahliye sırasında değil, tahliye sonrası kamp alanlarında enerji kaynağı olarak da kullanılabileceği öne sürülmektedir. V2L teknolojisinin bu noktada devreye girerek, örneğin aydınlatma, haberleşme veya tıbbi ekipmanlar için enerji sağlaması mümkündür. Araçların bu tür destekleyici sistemlerle entegre edilmesi halinde afet sonrası süreçte çok daha etkin bir rol üstlenebilecekleri anlaşılmaktadır.

Bu vaka çalışması, elektrikli araçların afet bölgelerindeki lojistik kabiliyetlerini güçlendirecek stratejik planlamaların gerekliliğine işaret etmektedir. Liperda, Putra, Pairunan, Maghfiroh ve Redi (2024), özellikle dağlık ve ulaşım altyapısı zayıf bölgelerde elektrikli araçların GIS tabanlı tahliye senaryolarına entegre edilerek daha sistematik biçimde kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, çalışma dolaylı biçimde V2L teknolojilerinin tahliye sonrası geçici yerleşim alanlarında kullanılabilirliğini tartışmaya açmakta ve tezin temel varsayımlarından biri olan “elektrikli araçların afet sonrası enerji destek birimi” olarak işlev görmesi düşüncesini desteklemektedir.

Churchill, Bristow ve Crawford (2024) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, afet sonrası enerji direncinin sağlanmasında elektrikli araçların çift yönlü enerji transferi sağlayan sistemlerle nasıl entegre edilebileceğini değerlendirmektedir. Kanada merkezli bu araştırma, özellikle V2H (Vehicle-to-Home) ve V2L (Vehicle-to-Load) teknolojilerinin, enerji altyapısı hasar görmüş topluluklarda acil elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilecek kapasiteye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırmacılar, elektrikli okul otobüsleri gibi büyük batarya kapasiteli araçların geçici enerji kaynakları olarak konumlandırılabilceğini belirtmekte ve bu araçların kamp alanlarında, hastane çevrelerinde veya iletişim istasyonlarında yedek enerji sağlayıcı olarak kullanılmasını önermektedir.

Makalede, enerji dayanıklılığı yalnızca teknik bir mesele değil, aynı zamanda sosyal altyapıların sürdürülebilirliğiyle de ilişkilendirilmiştir. V2L sistemleri sayesinde elektrikli araçlardan doğrudan cihazlara veya acil ekipmanlara enerji aktarımı mümkün hale gelirken, V2H sistemleri ile konut bazlı çözümler sağlanabilmektedir. Churchill ve diğerleri (2024), örnek bir afet senaryosunda 60 kWh kapasiteli bir aracın tam şarjla bir haneye yaklaşık iki günlük temel enerji sağlayabileceğini göstermiştir. Aynı zamanda enerjiye erişimde adaletsizlik yaşayan kırsal bölgelerde bu araçların toplumsal eşitsizliği azaltıcı etkisine de dikkat çekilmiş, özellikle düşük yoğunluklu nüfuslu bölgelerde V2H uygulamalarının kriz anlarında kritik bir rol oynayabileceği belirtilmiştir.

Bu çalışma, elektrikli araçların jeneratör olarak kullanımının hem sistem düzeyinde hem de hane halkı düzeyinde nasıl yapılandırılabilirliğini gösteren özgün bir model sunmaktadır. Churchill, Bristow ve Crawford (2024), afet sonrası ilk müdahale süreçlerinde enerjiye erişimin sadece jeneratör tipi cihazlarla değil, aynı zamanda şebekeden bağımsız çalışan mobil birimler aracılığıyla da sağlanabileceğini ortaya koymuştur. Bu model, özellikle doğal afetlerin yoğunlaştığı bölgelerde akıllı ulaşım sistemlerinin bir parçası olarak elektrikli araçların nasıl konumlandırılabilirliği sorusuna da cevap üretmekte; tez kapsamında incelenen V2L ve V2H teknolojilerinin mühendislik tabanlı karşılaştırmasına güçlü bir katkı sunmaktadır.

Donaldson, Alvarez-Alvarado ve Jayaweera (2020) tarafından geliştirilen bu çalışma, orman yangını senaryolarında elektrikli araçların tahliye aracı olarak kullanılması durumunda enerji sistemlerinin dayanıklılığını değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Araştırmacılar, artan elektrikli araç penetrasyonunun yalnızca günlük yük profillerini değil, aynı zamanda afet anlarındaki yük dağılımını da radikal biçimde değiştireceğini belirtmektedir. Özellikle V2G (Vehicle-to-Grid) teknolojisine doğrudan referans verilmese de, çalışmada mobil yüklerin (yani elektrikli araçların) şebeke üzerindeki etkisi, bölgesel tahliye senaryolarıyla birleştirilerek analiz edilmiştir. Bu bağlamda kullanılan IEEE 24 Bus Reliability Test System modeli, afet sırasında bir bölgede enerji üretiminin ve tüketiminin çökmesi durumunda tahliye eden araçların diğer bölgelerde nasıl bir yük etkisi yaratacağını hesaplamak amacıyla tasarlanmıştır.

Çalışmada orman yangını sırasında iki farklı şebeke düğüm noktası simüle edilmiştir: birincisi yükün üretimi aştığı bir bölge, ikincisi ise üretimin yükten fazla olduğu bir bölge. Bu iki senaryo, elektrikli araçların sistem dayanıklılığına etkisinin homojen olmadığını göstermiştir. Özellikle yangın sonrası tahliye edilen elektrikli araçların ulaştıkları noktalarda hemen şarj olmaya başlamaları, lokal enerji taleplerinde ani artışa yol açmakta ve sistemde ek baskı oluşturmaktadır. Monte Carlo simülasyonlarıyla yapılan analizlerde, %60 elektrikli araç penetrasyonu

senaryosunda bile, EV tahliyesinin şebekeye getirdiği yük nedeniyle sistem dayanıklılığının %0,5 oranında daha da azaldığı belirlenmiştir. Bu değer düşük gibi görünse de, yangının kendisinin yarattığı toplam etkiye oranla %20 ek yük anlamına gelmektedir.

Bu vaka çalışması, afet planlamalarında elektrikli araçların sadece tahliye aracı değil, aynı zamanda enerji tüketici aktörler olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Donaldson, Alvarez-Alvarado ve Jayaweera (2020), enerji şirketlerinin yangınlar gibi geniş çaplı felaketlere yönelik hazırlıklarında sadece altyapı koruması değil, aynı zamanda tahliye sonrası mobil yük davranışlarını da modellemeleri gerektiğini önermektedir. Bu bağlamda, V2H ve V2L sistemlerinin afet sonrası toparlanma sürecinde nasıl katkı sunabileceği çalışmada açıkça vurgulanmasa da, elektrikli araçların enerji dengesizliğini artırıcı etkisine karşı bu teknolojilerin bir dengeleyici mekanizma olarak kullanılabileceği tezin genel argümanlarını desteklemektedir. Yazarlar, gelecekteki çalışmalarda bu tür teknolojilerin sistem güvenliğine katkısının da ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir (Donaldson, Alvarez-Alvarado & Jayaweera, 2020).

Dai, Liu, Liu, Deng, Xin, He, Shang, Liu, Shi, Xu ve Chen (2023) tarafından gerçekleştirilen bu çalışma, çift yönlü enerji etkileşimini mümkün kılan elektrikli araç temelli sistemlerin, merkezi olmayan enerji altyapılarıyla nasıl bütünleşebileceğini matematiksel modellerle analiz etmektedir. Özellikle afet sonrası enerji ihtiyacının hızlı, esnek ve kesintisiz biçimde karşılanabilmesi için V2G (Vehicle-to-Grid) sistemlerinin mikroşebekelerle entegrasyonu önerilmektedir. Çalışma, büyük ölçekli afetlerin ardından şebekenin tamamen devre dışı kaldığı bölgelerde, elektrikli araçların şarj-deşarj döngüsü sayesinde mikroşebeke dayanıklılığını artırabileceğini göstermektedir. Optimizasyon süreci, hem şebeke güvenilirliğini hem de sistemin enerji verimliliğini iyileştirmeye yöneliktir.

Matematiksel olarak modellenen senaryolarda, enerji sisteminde yer alan bireysel ve filo tipi elektrikli araçların, belirli zaman dilimlerinde şarj olup diğer zamanlarda şebekeye geri enerji verecek şekilde programlandığı bir yapı önerilmektedir. Bu modelde, V2G sistemlerinin yalnızca şebekeye enerji verme değil, aynı zamanda şebeke kararlılığına katkı sunma işlevi de tanımlanmıştır. Çalışmada kullanılan enerji yönetimi algoritması, afet sonrası bir yerleşim yerindeki enerji dengesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. V2H ve V2L sistemlerinin doğrudan adı geçmese de, bireysel konut düzeyinde elektrik ihtiyacının karşılanabileceği vurgulanarak V2H mimarisine işaret edilmiştir. Özellikle filo tipi elektrikli araçların toplu enerji üreticisi gibi konumlandırılması, afetlerde merkezi olmayan enerji üretiminin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, elektrikli araçların jeneratör işlevinin sadece tekil uygulamalarda değil, bölgesel mikroşebeke stratejilerinde de temel bir bileşen olabileceğini göstermesi açısından tezin teknoloji potansiyeli bölümüne doğrudan katkı sunmaktadır. Dai ve diğerleri (2023), afet sonrası enerji sürekliliğinin sadece sabit jeneratörlerle değil, hareketli ve dağıtık sistemlerle sağlanabileceğini ileri sürmektedir. Bu bakış açısı, tezin temel varsayımlarından biri olan “elektrikli araçların afet sonrası enerji sağlayıcı olarak sistematik biçimde kullanılabilirliği” fikrini teknik temellere oturtmakta ve V2G sistemlerinin mühendislik perspektifinden uygulanabilirliğini doğrulamaktadır.

4.2.2 Vaka Çalışmaları

Ford Motor Company (2022), V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisini seri üretim elektrikli araçlar arasında en kapsamlı biçimde uygulamaya koyan öncü markalardan biri olarak dikkat çekmektedir. F-150 Lightning modelinde sunulan “Intelligent Backup Power” sistemi sayesinde, araç sahipleri elektrik kesintisi sırasında evlerinin temel enerji ihtiyacını doğrudan araçtan karşılayabilmektedir. Bu sistemde, aracın 98 kWh ya da opsiyonel olarak 131 kWh kapasiteli bataryası sayesinde, ortalama bir Amerikan evinin üç güne kadar enerji ihtiyacının kesintisiz biçimde sağlanabildiği belirtilmektedir. Ford’un resmi açıklamasına göre bu sistem, doğal afetler veya altyapı arızaları sırasında bir evin şebekeye bağlı olmadan yaşamına devam edebilmesini mümkün kılmaktadır.

V2L sisteminin mühendislik düzeyde uygulanabilirliğini göstermek açısından bu vaka çalışması önem arz etmektedir. Ford, ev ile araç arasında bağlantıyı sağlayan özel bir şarj istasyonu (Ford Charge Station Pro) ve entegre bir enerji yönetim sistemi (Home Integration System) geliştirmiştir. Bu yapı sayesinde, şebeke elektriği kesildiği anda araç otomatik olarak enerji kaynağına dönüşmekte, şebeke geri geldiğinde ise sistem yeniden normal akışına geçmektedir. Bu çift yönlü kontrol sistemleri sayesinde F-150 Lightning, jeneratör ihtiyacını ortadan kaldıran entegre bir yedek enerji çözümüne dönüşmektedir. V2L sisteminin ev bağlantısına yönelik standartların uyumlu hale getirilmesi, bu çözümün sadece ABD değil diğer ülkelerde de uygulanabilirliğini artıracaktır.

Bu örnek, tezde savunulan elektrikli araçların afetlerde enerji sağlayıcı olarak kullanılabilirliği iddiasının gerçek dünya uygulamalarından biri olarak güçlü bir kanıt sunmaktadır. Ford’un bu girişimi, V2L teknolojisinin bireysel ölçekli uygulamalarını geniş kitlelerle buluşturduğu ilk ticari adımlardan biri olarak değerlendirilebilir. Özellikle elektrik kesintilerinin sık yaşandığı

bölgelerde, bu sistemlerin enerji direnci ve yaşam sürekliliği açısından ne kadar kritik hale gelebileceği anlaşılmaktadır (Ford Motor Company, 2022).

2023 yılında yaşanan büyük Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında, MG Motor Europe tarafından başlatılan destek programı çerçevesinde, elektrikli MG modelleri Türkiye'ye getirilerek deprem bölgelerinde mobil jeneratör olarak konumlandırılmıştır (MG Motor Turkey, 2023). Yapılan açıklamada, MG'nin sahip olduğu V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisi sayesinde, araçların şebekeden bağımsız şekilde elektrik üretilip çevresindeki cihazlara enerji sağladığı belirtilmiştir. Bu kapsamda, özellikle cep telefonu şarj üniteleri, aydınlatma sistemleri ve küçük tıbbi cihazların çalıştırılmasında MG araçları etkin biçimde kullanılmıştır. Araçların batarya kapasitesine bağlı olarak, günde ortalama 3 ila 4 saatlik kesintisiz güç sağlanabildiği bildirilmiştir.

MG'nin Türkiye uygulaması, V2L teknolojisinin yalnızca teorik değil aynı zamanda sahada uygulanabilirliğini göstermesi açısından oldukça önemlidir. Araçlar, sabit bir altyapı gerektirmeden doğrudan sahaya ulaşmış, yerel arama-kurtarma ekiplerinin ve depremzede vatandaşların temel enerji ihtiyaçlarını karşılamıştır. Bu uygulama, V2L sistemlerinin afet bölgelerinde geçici enerji çözümleri sunma potansiyelini doğrudan ortaya koymaktadır. MG Motor Europe'un deprem sonrası ilk 72 saatte bu hizmeti sunması, afetlerde mobil enerji kaynaklarına erişimin zamanlama açısından ne kadar kritik olduğunu da göstermiştir. Marka açıklamasında bu uygulamanın, gelecekte afet lojistiğiyle entegre hale getirilerek yaygınlaştırılmasının hedeflendiği belirtilmiştir.

Bu vaka, tezin ana varsayımlarından biri olan “elektrikli araçların afet sonrası enerji destek aracı olarak kullanılabilirliği” yönünde doğrudan uygulama kanıtı sağlamaktadır. Özellikle Türkiye gibi afet riski yüksek ülkelerde bu tür saha deneyimlerinin sayısının artırılması, V2L sistemlerinin kamu hizmetleri, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları tarafından afet planlamalarına dahil edilmesini mümkün kılabilir. MG'nin sahadaki doğrudan katkısı, bu teknolojinin sadece bireysel değil aynı zamanda kurumsal afet müdahale stratejilerinde de yer alabileceğini ortaya koymaktadır (MG Motor Turkey, 2023).

Nissan Motor Corporation (2023), Japonya'daki doğal afet risklerini dikkate alarak geliştirdiği “Blue Switch” programı kapsamında elektrikli araçlarını yalnızca ulaşım değil, aynı zamanda enerji dayanıklılığı aracı olarak konumlandırmaktadır. Bu strateji çerçevesinde Nissan, afet anlarında elektrik şebekesinin devre dışı kaldığı bölgelerde Leaf ve Ariya gibi modellerini mobil enerji kaynakları olarak görevlendirmekte ve V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisi sayesinde bu araçlardan doğrudan elektrikli cihazlara güç sağlanmasına olanak tanımaktadır. Programın

amacı, yerel yönetimlerle iş birliği yaparak kamu binalarının, geçici barınakların ve kritik altyapıların acil enerji ihtiyacını karşılamak ve enerjiye erişimdeki kırılganlıkları azaltmaktır.

Blue Switch kapsamında yürütülen saha uygulamaları, afet sonrası ilk müdahale sürecinde V2L sistemlerinin etkinliğini doğrudan göstermektedir. Nissan tarafından yapılan açıklamalara göre, 2020 yılında Kyushu bölgesinde yaşanan sel felaketi sırasında bazı belediyelere gönderilen Nissan Leaf araçları; şarj istasyonları, iletişim ekipmanları ve tıbbi cihazlar için anında enerji kaynağı olarak kullanılmıştır. Ayrıca, Japonya genelinde 50'den fazla yerel yönetim ile iş birliği protokolü imzalanmış ve V2H (Vehicle-to-Home) çözümleri de bu kapsamda yaygınlaştırılmaya başlanmıştır. Bu çözümler yalnızca afet sonrası kısa vadeli enerji ihtiyaçlarını değil, aynı zamanda topluluk temelli enerji dayanıklılığı yapılarının geliştirilmesini de hedeflemektedir.

Bu vaka çalışması, elektrikli araçların afet sonrası enerji sistemlerine nasıl entegre edilebileceğini yalnızca mühendislik değil, aynı zamanda yönetim ve toplumsal etki perspektifiyle de değerlendirmektedir. Nissan Blue Switch programı, V2L ve V2H teknolojilerinin pratik uygulamalarının sadece bireysel tüketici düzeyinde değil, yerel yönetim planlamalarının parçası olarak da değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu durum, tezin genel tezini desteklemekte; elektrikli araçların afet anlarında enerji sürekliliği sağlama potansiyelini kurumsal düzeyde somutlaştıran önemli bir örnek teşkil etmektedir (Nissan Motor Corporation, 2023).

ArenaEV (2023) tarafından bildirilen ve doğrudan Nissan'ın resmi açıklamalarına dayanan bu gelişmede, Nissan Leaf elektrikli araçlarının Japonya'da doğal afet sonrası acil enerji kaynağı olarak kamu kurumlarına tahsis edileceği belirtilmiştir. Bu kapsamda, Nissan ve birkaç Japon yerel yönetimi arasında imzalanan anlaşmalar doğrultusunda, afet durumlarında Nissan Leaf modelleri acil kullanım merkezlerine, geçici barınma alanlarına ve kritik altyapı bölgelerine yönlendirilerek V2L teknolojisi ile doğrudan enerji sağlayacaktır. Her bir Nissan Leaf modeli, 62 kWh'ye varan batarya kapasitesiyle ortalama bir evin günlük enerji ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Bu özellik, özellikle sabit enerji altyapısının devre dışı kaldığı deprem, tayfun ve sel gibi felaket senaryolarında kritik bir avantaj sunmaktadır.

Haberde belirtilene göre, Japonya'nın çeşitli kasaba ve şehirlerinde bu araçların hem sabit istasyonlara hem de mobil alanlara yönlendirilmesi planlanmakta; böylelikle araçlar birer "hareketli enerji merkezi" işlevi görmektedir. Nissan Leaf'in V2L sistemi sayesinde elektrikli araçtan doğrudan cihazlara enerji aktarımı mümkün olmakta; jeneratör gereksinimi olmadan aydınlatma, haberleşme ve tıbbi cihazlar gibi temel sistemler çalıştırılabilmektedir. Haberde Japonya'daki bazı şehirlerin Leaf araçlarını hem afet planlamasına entegre ettiği hem de normal zamanlarda kamu hizmetinde kullandığı, bu nedenle "çift amaçlı" bir enerji çözümünün

geliştirildiği ifade edilmektedir. Bu da Leaf'i sadece bir ulaşım aracı değil, aynı zamanda afet direncini artıran stratejik bir ekipman haline getirmektedir.

Bu vaka, afet sonrası müdahale ve toparlanma süreçlerinde V2L sistemlerinin nasıl yapılandırılabilirliğini somut bir model olarak ortaya koymaktadır. ArenaEV (2023) haberine konu olan uygulama, V2L teknolojisinin bireysel değil toplumsal düzeyde kullanımıyla ilgili ender örneklerden biridir. Tez kapsamında değerlendirilen “elektrikli araçların jeneratör işlevi” yaklaşımı açısından bakıldığında, Nissan Leaf'in Japonya'daki bu örneği, teknolojinin sahada test edilmiş ve sonuç vermiş bir uygulaması olarak önemli bir delil teşkil etmektedir. Bu modelin diğer ülkelere de taşınabilir olması, afet odaklı mobil enerji çözümlerinde elektrikli araçların gelecekteki stratejik rolünü güçlendirmektedir (ArenaEV, 2023).

Octopus Electric Vehicles (2023) tarafından yayınlanan bu analizde, Nissan Leaf modelinin afet dönemlerinde mobil enerji kaynağı olarak sunduğu potansiyel değerlendirilmiştir. Özellikle 2011 Tōhoku depremi ve Fukushima nükleer felaketi sonrasında Japonya'da enerjiye erişimde yaşanan büyük kesintiler, elektrikli araçların sadece ulaşım değil aynı zamanda enerji dayanıklılığı bağlamında da değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu olaydan sonra Nissan Leaf, V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisiyle donatılarak, doğrudan elektrikli cihazlara enerji sağlayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Leaf'in bu özelliği, afet sonrasında evlerdeki temel cihazların çalışması, küçük tıbbi cihazların desteklenmesi ve iletişim altyapısının geçici olarak sürdürülmesi gibi kritik alanlarda kullanılmıştır.

Haberde, Japonya'da bazı belediyelerin Nissan Leaf modellerini afet yönetimi araç filosuna dahil ettiği ve afet anlarında bu araçları enerji destek üniteleri olarak konuşlandığı vurgulanmaktadır. Leaf'in 62 kWh'ye varan batarya kapasitesi, küçük bir evin günlük enerji ihtiyacını karşılamak için yeterlidir. Ayrıca Leaf'in sessiz çalışması ve emisyon üretmemesi, onu dizel jeneratörlerin yerine geçebilecek çevreci bir alternatif haline getirmektedir. Octopus Electric Vehicles'a göre bu tür uygulamalar, afetlere hazırlıklı olmanın yeni yollarını temsil etmekte ve enerji sistemlerinin esnekliğini artırmaktadır. Bu bağlamda Leaf, afet sırasında şebekeye bağımlılığı azaltmak için somut bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

Bu vaka, tezin temel önermesi olan “elektrikli araçların jeneratör işlevi” bağlamında oldukça yerinde ve uygulanmış bir örnek sunmaktadır. Octopus Electric Vehicles (2023), V2L teknolojisinin afet sonrası kullanımının yalnızca bireysel kullanıcılar için değil, yerel yönetimlerin kriz planlamaları açısından da faydalı olabileceğini ortaya koymaktadır. Nissan Leaf'in bu tür kullanım örnekleri, elektrikli araçların kriz yönetimi altyapısına entegre edilebilirliğini

kanıtlamakta; bu da teknolojik potansiyelin yalnızca varsayımsal değil, gerçek dünya senaryolarında geçerli olduğunu göstermektedir.

4.2.3 Senaryolar

Senaryo 1: İstanbul'daki Otobüs Filosunun Elektrikli Araçlara Dönüştürülmesi ve Olası Deprem Senaryosunda Enerji Sağlama Potansiyeli;

Bu senaryoda, İstanbul ili sınırları içerisindeki tüm otobüs filosunun tamamen elektrikli araçlara dönüştürülmesi durumunda, olası bir İstanbul depremi sonrasında yaratılabilecek faydalar değerlendirilmiştir. İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri (İETT) verilerine göre, farklı markalardan satın alınmış toplam 3457 adet otobüs aktif olarak hizmet vermektedir. Bu araçların tamamının V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisine sahip olması ve araçtan araca enerji aktarımı yapabilen sistemlerle donatılması durumunda, deprem sonrası özellikle ilk 48 saatlik kritik zaman diliminde, şehir genelinde önceden belirlenen bölgelere mobil olarak yönlendirilerek ciddi bir enerji destek altyapısı oluşturulabilir.

Böylesi bir dönüşümle, afetin hemen ardından acil müdahale bölgelerinde konuşlandırılacak elektrikli otobüsler; hem depremzedelere hem de sahada görev yapan sağlık, arama-kurtarma ve güvenlik ekiplerine yönelik enerji temininde aktif görev üstlenebilir. Senaryoda ayrıca, depremin kış aylarında gerçekleşmesi durumunda, kurulan çadır kentler, sahra hastaneleri ve konteyner yerleşim alanlarında halkın elektrikli araçlar aracılığıyla aydınlatma, ısınma ve cihaz şarjı gibi temel ihtiyaçlarının karşılanması öngörülmektedir. Bu amaçla V2L teknolojisiyle donatılmış otobüslerin, enerji çıkışı sağlayan ünitelerle birlikte çadırların dışına konuşlandırılması, afet sonrası yaşam koşullarını ciddi ölçüde iyileştirecek ve toplumsal dayanıklılığı artıracaktır.

Senaryo 2: Karavan Tipi Elektrikli Araçlarla Afet Sonrası Kırsal Bölgelerde Enerji Sağlanması;

Bu senaryoda, karavan tipi araçların elektrikli araçlara dönüştürülmesi ve V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisi ile donatılması durumunda, afet sonrası elektrik şebekesinin ulaşamadığı kırsal yerleşimlerde nasıl bir enerji çözümü sunabileceği değerlendirilmiştir. Özellikle ulaşımı zor olan dağ köyleri, mezralar ve küçük kasabalar gibi yerleşim alanlarında afet sonrası meydana gelen uzun süreli elektrik kesintileri, yaşamı ciddi şekilde olumsuz etkilemektedir. Bu kapsamda, karavan sahiplerinin araçlarını afet dayanıklılığı yüksek birer mobil enerji kaynağına

dönüştürmeleri halinde, söz konusu bölgelerde hızlı ve etkili müdahale sağlanabileceği öngörülmektedir.

Olası bir afetin ardından, elektrik şebekesinin zarar gördüğü yerleşim alanlarına bu tür elektrikli karavanların kısa sürede sevk edilmesi; özellikle çadır alanları, geçici barınma üniteleri ve sağlık noktaları için gerekli olan temel elektrik ihtiyacının karşılanmasını mümkün kılacaktır. Araçların sahip oldukları batarya kapasiteleri doğrultusunda, bölgesel bazda enerji üretimi yapılabilecek ve bu durum merkezi olmayan enerji paylaşımı açısından stratejik avantaj yaratacaktır.

Özellikle dağlık alanlardaki yerleşimlerde, mevcut altyapı yetersizlikleri nedeniyle klasik jeneratör sistemlerinin kullanımı oldukça sınırlı kalmaktadır. Buna karşın, V2L teknolojisiyle donatılmış elektrikli karavanların bu bölgelerde mobil jeneratör görevi üstlenmesi, bölgenin enerji ihtiyacını geçici olarak karşılayarak toparlanma sürecinin hızlandırılmasına katkı sunacaktır. Böylelikle, sadece enerjiye erişim değil, aynı zamanda afet sonrası kırsal bölgelerde yaşamın sürdürülebilirliği açısından da kritik bir rol oynayacaklardır.

Senaryo 3 – Afet Sonrası V2L Destekli Araçlar Arası Yardımlaşma Mekanizması;

Bu senaryoda, afet sonrası elektrik şebekesinin devre dışı kaldığı koşullarda, elektrikli araç kullanıcıları arasında V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisi yoluyla gerçekleştirilebilecek enerji paylaşımının toplumsal faydası değerlendirilmektedir. Olası bir deprem, sel veya fırtına gibi geniş çaplı afet sonrasında şehir içi veya dışı birçok noktada şarj istasyonlarına erişim tamamen kesilebilir. Bu durumda bataryası tükenen ya da düşük şarj seviyesinde kalan araçların, ana şebekeye bağlı herhangi bir sistemden enerji alamaması nedeniyle hareket kabiliyetleri kısıtlanmaktadır.

Böyle bir senaryoda, V2L teknolojisine sahip elektrikli araçların afet bölgesinde diğer elektrikli araçlara sınırlı enerji takviyesi yapabilmesi; bireylerin ya da yardım ekiplerinin hareket kabiliyetini yeniden kazanmalarını sağlayacaktır. Örneğin, sabit altyapıya erişemeyen bir araç, bölgedeki başka bir gönüllü ya da kamu aracı tarafından V2L ile beslenerek en yakın güvenli alana veya geçici şarj noktasına ulaşabilir. Bu uygulama yalnızca bireysel kurtarılma eylemi değil, aynı zamanda afet sonrası topluluk dayanışması ve kolektif enerji çözümleme pratiği açısından da değerlidir.

Bu tür araçlar arası enerji yardımlaşması, afet sonrası mobilitayı kesintiye uğratmadan sürdürülebilir kılmakta, aynı zamanda klasik enerji yardım biçimlerine kıyasla daha hızlı ve esnek çözümler sunmaktadır. Senaryo, elektrikli araçların sadece bireysel taşıma araçları değil, afet

zamanlarında birbirine destek sunan enerji noktalarına dönüşebileceğini göstererek tez kapsamında değerlendirilen V2L teknolojisinin toplumsal etki boyutunu da görünür kılmaktadır.

Senaryo 4: Afet Sonrası Mikro Şebeke Kurgusunda V2L Destekli Kurtarma Aracı Şarj Modeli;

Bu senaryoda, afet sonrası şarj altyapısının yetersiz kaldığı durumlarda, V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisine sahip elektrikli araçların oluşturacağı mikro şebeke benzeri yapılarla, özellikle arama-kurtarma ve sağlık hizmeti sunan elektrikli araçlara enerji desteği sağlanması hedeflenmiştir. Olası bir deprem ya da geniş çaplı afet senaryosunda, sabit şarj istasyonlarının zarar görmesi veya erişilemez hale gelmesi, bu tür hayati görev üstlenen araçların operasyonel sürekliliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir. Bu bağlamda, bireysel kullanıcıların sahip olduğu elektrikli araçlar, mobil enerji ünitesine dönüşerek mikro şebeke modelinde şarj zincirine entegre edilebilir.

Senaryoya göre, afet bölgesine ulaşmış ve görev dışı konumda bulunan elektrikli araçlar; bulundukları noktalarda enerji paylaşımı ağına katılarak, öncelikli görevde bulunan ambulans, yangın söndürme aracı veya tahliye ekipman taşıyan diğer elektrikli araçlara enerji aktarabilir. Bu mikro şebeke yapısı, istasyon yoğunluklarının yarattığı darboğazı ortadan kaldırmakla kalmaz; aynı zamanda bölgedeki enerji kullanımının esnek ve dağıtık biçimde yönetilmesini sağlar. V2L destekli araçlar, kurtarma araçlarının menzilini artırmak ve onların görev sürekliliğini sağlamak açısından stratejik bir kaynak haline gelir.

Bu model, afetlerde merkezi olmayan enerji yönetiminin ne denli kritik olabileceğini ve bireysel araçların da bu sistemin bir parçası haline getirilebileceğini göstermektedir. Mikro şebeke temelli bu yapı sayesinde, enerji arzının yalnızca sabit altyapıya bağımlı kalmadan, sahada görev yapan araçlara yönlendirilmesi mümkün hale gelir. Tez bağlamında değerlendirildiğinde, V2L sistemlerinin yalnızca hane halkı ya da bireysel kullanım için değil, afet lojistiğinin sürekliliğini sağlamak adına mikro şebeke düzeyinde de etkili biçimde kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Senaryo 5: Afet Döneminde Geçici Barınma Merkezlerinin V2L Destekli Elektriklendirilmesi;

Bu senaryoda, afet sonrasında oluşturulan geçici barınma alanlarının elektrik ihtiyacının, V2L (Vehicle-to-Load) teknolojisine sahip elektrikli araçlar aracılığıyla karşılanması konusu ele alınmaktadır. Deprem, sel, yangın veya benzeri büyük ölçekli afetlerin ardından, şehir altyapısının zarar görmesiyle birlikte kamp alanları, çadır yerleşkeleri, sahra hastaneleri ve acil durum yönetim

merkezleri gibi geçici yaşam alanları kurulmaktadır. Bu yapıların sürdürülebilir biçimde işlev gösterebilmesi için, aydınlatmadan ısıtmaya, iletişimden temel sağlık hizmetlerine kadar çeşitli alanlarda kesintisiz elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu bağlamda, V2L teknolojisi ile donatılmış elektrikli araçlar; afet bölgesine yönlendirilerek bu geçici yapıların elektrik ihtiyacını doğrudan karşılayabilir. Araçların batarya kapasiteleri doğrultusunda enerji çıkışı yapabilmesi, özellikle sabit jeneratörlerin bulunmadığı ya da yakıt temininin zorlaştığı koşullarda hayati bir alternatif sunmaktadır. Ayrıca, bu sistem sayesinde enerji kaynağı doğrudan yaşam alanının içine taşınmakta ve dışa bağımlılık azaltılmaktadır. V2L destekli araçların sahada kolaylıkla konuşlandırılabilir olması, hızlı müdahale gerektiren durumlarda acil elektrik ihtiyacına çözüm üretilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu senaryo, afet sonrası geçici yerleşim alanlarının enerji ihtiyacının merkezi şebeke altyapısı yerine mobil, esnek ve sürdürülebilir kaynaklarla karşılanabileceğini göstermektedir. Tez bağlamında değerlendirildiğinde, V2L teknolojisi yalnızca bireysel araç menzili ya da konut enerji desteği ile sınırlı kalmayıp, kitlesel insani yardım organizasyonlarının enerji altyapısına katkı sağlayacak biçimde ölçeklenebilir bir çözüm sunmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışma, elektrikli araçların sahip olduğu çift yönlü şarj teknolojilerinin yalnızca ulaşımaya yönelik değil, aynı zamanda afet dönemlerinde enerji sağlayıcı olarak kullanılabilecek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır. V2X teknolojilerinin alt bileşenleri olan V2G (Vehicle-to-Grid), V2H (Vehicle-to-Home), V2L (Vehicle-to-Load) ve V2X (Vehicle-to-Everything) sistemleri; afet sonrası enerji altyapısının devre dışı kaldığı durumlarda hızlı, mobil ve sürdürülebilir çözümler sunabilmektedir. Deprem, sel, su taşkını, toprak kayması, kaya düşmesi, çığ, fırtına, hortum, volkan patlaması ve büyük ölçekli yangınlar gibi çeşitli afet türlerinde yaşanan kesintilerde, elektrikli araçların batarya kapasitesine bağlı olarak jeneratör işlevi görebileceği senaryolarla detaylandırılmıştır.

Yapılan teknik açıklamalar, mühendislik değerlendirmeleri ve vaka çalışmaları aracılığıyla, elektrikli araçların afet dönemlerinde mobil enerji birimi olarak nasıl konumlandırılacağı gösterilmiştir. Ayrıca toplumun elektrikli araç kullanım alışkanlıkları, devletin teşvik mekanizmaları ve özel sektör yatırımlarının bu teknolojilerin yaygınlaşmasındaki rolü de analiz edilerek, mühendislik sistemlerinin toplumsal işleyişle ne denli iç içe geçtiği ortaya konmuştur. Gerçek hayatta uygulanmış Nissan Blue Switch, Ford Lightning, MG gibi örnekler üzerinden yapılan vaka analizleri, teknolojinin yalnızca teorik değil, aynı zamanda pratikte de uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Senaryo kurguları ise, bu sistemlerin afet sonrasında bireysel yaşam alanlarının (çadır, konteyner, sahra hastanesi vb.) enerji ihtiyaçlarını karşılamadaki kritik rolünü açıklığa kavuşturmuştur.

Bu tez, literatürde giderek artan bir şekilde tartışılmakta olan afet-dayanıklılığı, enerji sürdürülebilirliği ve akıllı ulaşım sistemlerinin kesişiminde, mühendislik temelli ilk kapsamlı çalışmalardan biri olarak değerlendirilebilir. Çift yönlü şarj sistemlerinin afet yönetimi alanındaki potansiyeli, henüz yeterince ele alınmamış bir konu olduğundan, bu tez özgün bir boşluğu doldurmakta ve gelecek çalışmalara teorik ve uygulamalı bir zemin sunmaktadır.

Gelecekte yapılabilecek çalışmalar kapsamında önerilen iki temel alan mevcuttur. İlki, farklı afet türlerine özgü enerji ihtiyacı profillerinin çıkarılması ve bu ihtiyaçlara uygun elektrikli araç kapasite eşleştirmelerinin yapılmasıdır. İkincisi ise, gerçek zamanlı simülasyonlarla afet anında elektrikli araçların konumlandırılması ve enerji aktarım senaryolarının modellenmesidir. Bu tür çalışmalar, hem mühendislik tasarımı açısından sistem verimliliğini artıracak hem de kamu kurumlarının ve yerel yönetimlerin afet müdahale planlarına entegre edilebilecek somut veri sağlayacaktır.

Buna ek olarak, akıllı ulaşım sistemlerinin bu süreçlerde aktif biçimde kullanılması, afet sonrası elektrikli araçların etkinliğini artıracak önemli bir destekleyici unsur olarak değerlendirilmelidir. Elektrikli araçlardan elde edilen batarya durumu, konum bilgisi, şarj düzeyi ve çevresel etkileşim gibi verilerin uydu destekli sistemler aracılığıyla toplanması sayesinde, afet bölgelerinde sağlam kalan araçların enerji kapasiteleri anlık olarak analiz edilebilir hâle gelecektir. Bu veriler, ilgili afet yönetim birimlerine anlık geri bildirim olarak iletilerek, hangi araçların ne kadar süreyle enerji sağlayabileceği, hangi bölgeye yönlendirilebileceği ve şarj optimizasyonunun nasıl planlanacağı gibi kritik kararların daha hızlı ve veri temelli biçimde alınmasını mümkün kılacaktır. Bu sayede, afet müdahale süreçlerinde hem kaynak kullanımı hem de enerji paylaşımı akıllı ulaşım sistemlerinin entegrasyonu ile daha verimli bir yapıya kavuşacaktır.

Sonuç olarak, bu tez yalnızca çift yönlü şarj teknolojilerinin mühendislik altyapısını açıklamakla kalmamış; aynı zamanda bu sistemlerin afet yönetimi bağlamında stratejik bir enerji çözümüne dönüştürülebileceğini göstermiştir. Bu yönüyle çalışma, elektrikli araçların gelecekteki rolünü sadece mobilite değil, aynı zamanda toplumsal dayanıklılığın bir bileşeni olarak ele alarak literatüre çok boyutlu bir katkı sunmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Abboud, K., Omar, H., & Zhuang, W. (2016). Interworking of DSRC and Cellular Network Technologies for V2X Communications: A Survey. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2591558>
- [2] Adegbohun, F., von Jouanne, A., Agamloh, E., & Yokochi, A. (2024). A review of bidirectional charging grid support applications and battery degradation considerations. *Energies*, 17(6), 1320. <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/6/1320>
- [3] Agência Nacional de Águas (ANA). (2023). *Flood Risk Management in Brazil*. Brasília: ANA. <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh>
- [4] AfDC/DOE. (2023). *Electric Vehicle Emergency Guide for First Responders*. <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-responders>
- [5] AFAD. (2014). *Türkiye, afet farkındalığı ve afetlere hazırlık araştırması*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Yayını. <https://www.afad.gov.tr>
- [6] AFAD – Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2025). *Kurumsal Bilgi*. <https://www.afad.gov.tr/kurum-hakkinda>
- [7] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2024a). *AFAD Hakkında*. Retrieved from <https://www.afad.gov.tr/afad-hakkinda>
- [8] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2024b). *2024–2028 Stratejik Plan*. Retrieved from https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Planlar/2024_2028-AFAD-Stratejik-Plani.pdf
- [9] Ahmadi, M., et al. (2024). Electric vehicles in emergencies and evacuations: A review of literature. *Energy*. <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S1942786724000870>
- [10] Aid.ec.europa.eu. (2022). *Summary Report – Italy (Art. 6(1)(d) – Decision 1313/2013/EU)*. Retrieved from https://aid.ec.europa.eu/system/files/2022-09/Summary-Report-Italy-art-6_1-d-Dcision-1313-2013_EN.pdf
- [11] Alderman, K., Turner, L. R., & Tong, S. (2012). Floods and human health: A systematic review. *Environment International*, 47, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.06.003>

- [12] Alyakhni, A., Boulon, L., Vinassa, J. M., & Briat, O. (2021). A comprehensive review on energy management strategies for electric vehicles considering degradation using aging models. *IEEE Access*, 9, 143922–143940. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3120563>
- [13] Alyami, A. H., Alotaibi, A. M., & Alsharif, M. H. (2021). Disaster Preparedness in the Kingdom of Saudi Arabia: Exploring and Evaluating the Policy, Legislative Organisational Arrangements Particularly During the Hajj Period. *European Journal of Environment and Public Health*, 5(2), em0072. <https://www.ejeph.com/download/disaster-preparedness-in-the-kingdom-of-saudi-arabia-exploring-and-evaluating-the-policy-legislative-8424.pdf>
- [14] Amezcuita, A., et al. (2017). Electric vehicles and natural disaster policy implications. *Energy Policy*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421517305906>
- [15] Amer. Meteorol. Soc. (2023). Public Responses to Emergency Energy Conservation Messaging. <https://journals.ametsoc.org/view/journals/wcas/15/2/WCAS-D-22-0087.1.pdf>
- [16] Antolini, F., Aiassa, S., & Barla, M. (2019, June). An early warning system for debris flows and snow avalanches. In *National Conference of the Researchers of Geotechnical Engineering* (pp. 338–347). Cham: Springer International Publishing.
- [17] ArenaEV. (2023, March 20). *Nissan Leaf EVs will provide emergency power to towns in Japan*. Retrieved from https://www.arenaev.com/nissan_leaf_evs_will_provide_emergency_power_to_towns_in_japan-news-1439.php
- [18] Asian Disaster Reduction Center (ADRC). (2024). *Russia: Country Report – Ministry of the Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM)*. Retrieved from <https://www.adrc.asia/countryreport/RUS/RUSeng98/index.pdf>
- [19] Asope, J. (2014). *Basic AC electrical generators*. Brown University Department of Engineering. https://www.brown.edu/Departments/Engineering/Courses/ENGN1931F/AC_Electrical_Generators_ASOPE.pdf
- [20] Australian Government Department of Home Affairs. (2018). *National Disaster Risk Reduction Framework*. Canberra. <https://www.homeaffairs.gov.au/emergency/files/national-disaster-risk-reduction-framework.pdf>

- [21] Aydınoğlu, A. Ç., Çetin, T., Topal, A. U., & Şişman, S. (2025). Elektrikli araç şarj istasyonlarının optimum yerleşimine yönelik coğrafi analiz araçlarının geliştirilmesi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 8(1), 39–52. <https://doi.org/10.51513/jitsa.1525522>
- [22] Axsen, J., & Sovacool, B. K. (2019). The roles of users in electric, shared and automated mobility transitions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 71, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.02.012>
- [23] Babaei, M., & Wong, S. (2022). Electric vehicle evacuation behaviour: Survey and modelling framework. *Proceedings of the 57th Annual Conference of the Canadian Transportation Research Forum*. https://ctrf.ca/?page_id=9280
- [24] Babaeia, M. H., & Wonga, S. D. (2024). Electric Vehicles in Emergencies and Evacuations: A Review of Resilience and Future Research Directions. <https://doi.org/10.1080/19427867.2024.2415753>
- [25] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2024). *Tugas dan Fungsi*. <https://www.bnpb.go.id/>
- [26] BeamGlobal. (2023). *How to Capture FEMA Funds for Resilient EV Charging*. <https://beamforall.com/how-to-capture-fema-funds-for-resilient-ev-charging-deployments/>
- [27] Ben Sassi, H., Mazzi, Y., Errahimi, F., & Es-Sbai, N. (2023). Power transfer control using the integral sliding mode and adaptive backstepping control schemes within the framework of the vehicle-to-house technology. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i4.pp3817-3828>
- [28] BESNİLİ MEMİŞ, O. (2024). Doğal afetlerin iklim değişikliği algısına etkisi: Sosyal medya verileri ile Türkiye'de durum. *Visionary E-Journal/Vizyoner Dergisi*, 15(42). <https://doi.org/10.21076/vizyoner.1311327>
- [29] Bloomberg New Energy Finance. (2024). *EV Adoption Outlook and Government Incentives Tracker*. BloombergNEF. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- [30] Boldea, I. (2017). Electric generators and motors: An overview. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, 1(1), 3–14. https://www.researchgate.net/publication/342912053_Electric_generators_and_motors_A_n_overview

- [31] Bose, B., Suryawanshi, R., & Shah, J. (2018). Simulation based V2H super capacitor charging using bidirectional DC-DC converter. *IEEE ICSCET*. <https://doi.org/10.1109/ICSCET.2018.8537292>
- [32] Bozza, A., Asprone, D., & Manfredi, G. (2015). Developing an integrated framework to quantify resilience of urban systems against disasters. *Natural Hazards*, 78, 1729–1748.
- [33] Breetz, H., Mildenberger, M., & Stokes, L. (2018). The political logics of clean energy transitions. *Business and Politics*, 20(4), 492–522. <https://doi.org/10.1017/bap.2018.14>
- [34] BMW. (n.d.). *BMW Elektrikli Otomobil Türleri*. <https://www.bmw.com.tr/tr/bmw-i-ve-e-mobilite/elektrikli-otomobil-turleri.html>
- [35] Bugryniec, P. J., Resendiz, E. G., Nwophoke, S. M., Khanna, S., James, C., & Brown, S. F. (2024). Review of gas emissions from lithium-ion battery thermal runaway failure—Considering toxic and flammable compounds. *Journal of Energy Storage*, 87, 111288. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111288>
- [36] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). (2022). *Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz gegenüber Katastrophen* [PDF]. Retrieved from https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Mediathek/Publikationen/Sendai-Katrima/deutsche-strategie-resilienz-lang_download.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- [37] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). (2024). *Über das BBK: Aufgaben und Organisation*. Retrieved from https://www.bbk.bund.de/DE/Das-BBK/Das-BBK-stellt-sich-vor/das-bbk-stellt-sich-vor_node.html
- [38] Cabinet Office, Government of Japan. (2023). *White Paper on Disaster Management 2023*. Retrieved from <https://www.bousai.go.jp/index-e.html>
- [39] Cabinet Office, Government of Japan. (n.d.). *Disaster Management – About This Site*. Retrieved from <https://www.bousai.go.jp/en/about/index.html>
- [40] Campbell, A. R., Ryley, T., & Thring, R. (2012). Identifying the early adopters of alternative fuel vehicles: A case study of Birmingham, United Kingdom. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(8), 1318–1327. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.05.004>
- [41] Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. (2023). *CENAD funções e estrutura*. Ministério da Justiça e Segurança Pública. <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/informacoes-uteis/centro-nacional-de-gerenciamento-de-riscos-e-desastres-cenad>

- [42] Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. (2025). *Sobre o CENAD*. Ministério da Justiça e Segurança Pública. <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/informacoes-uteis/centro-nacional-de-gerenciamento-de-riscos-e-desastres-cenad>
- [43] Cepeliauskaite, G., Keppner, B., Simkute, Z., Stasiskiene, Z., Leuser, L., Kalnina, I., ... & Muiste, M. (2021). Smart-mobility services for climate mitigation in urban areas: Case studies of Baltic countries and Germany. *Sustainability*, 13(8), 4127. <https://doi.org/10.3390/su13084127>
- [44] Cervicorn Consulting. (2025). *Global Vehicle-to-Load (V2L) Market Analysis: Forecast 2024–2034*. Retrieved from <https://www.cervicornconsulting.com/vehicle-to-load-market>
- [45] Chan, C. C. (2007). The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95(4), 704–718. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892489>
- [46] Chan, C. C., & Chau, K. T. (2001). *Modern Electric Vehicle Technology*. Oxford University Press. <https://global.oup.com/academic/product/modern-electric-vehicle-technology-9780198504160>
- [47] Chen, S., Hu, J. L., Shi, Y., Peng, Y., Fang, J., Zhao, R., & Zhao, L. (2017). Vehicle-to-Everything (V2x) Services Supported by LTE-Based Systems and 5G. *IEEE Communications Standards Magazine*. <https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.2017.1700015>
- [48] Cheng, B., Liu, D., & Nozick, L. (2024). *Understanding Derived Demand for Transportation to Support Electric Vehicle Recharging After Earthquake Events*. (Makale bağlantısı eksik)
- [49] Churchill, M., Bristow, D., & Crawford, C. (2024). Mobile resilience hubs: Conceptualizing electric vehicle-based emergency backup power during prolonged power outages. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06593-2>
- [50] Churchill, M., Monroe, J., Bristow, D., & Crawford, C. (2024). Using electric vehicles to enhance power outage resilience: An agent-based modeling approach. *Heliyon*, 10(11), e32104. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32104>
- [51] Climate Action Tracker. (2024). *Are G20 nations delivering on climate & Paris Agreement goals?* Climate Analytics. <https://climateactiontracker.org>
- [52] Climate Analytics. (2023). *Closing the gap: The impact of G20 climate commitments on limiting temperature rise to 1.5 °C*. Retrieved from <https://climateanalytics.org>

- [53] Climate Transparency. (2022). *Untapped potential: Raising the bar on G20 ambition*. Retrieved from <https://www.climate-transparency.org>
- [54] Coherent Market Insights. (2025). *Vehicle-to-Grid Technology Market Size, Share, Trends, Analysis 2025–2032*. Retrieved from <https://www.coherentmarketinsights.com/market-insight/vehicle-to-grid-technology-market-1292>
- [55] Cook, B. I., Mankin, J. S., & Anchukaitis, K. J. (2018). Climate change and drought: From past to future. *Current Climate Change Reports*, 4, 164–179. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0093-2>
- [56] Creutzig, F., Jochem, P., Edelenbosch, O. Y., Mattauch, L., Vuuren, D. P. V., McCollum, D., & Minx, J. (2015). Transport: A roadblock to climate change mitigation? *Science*, 350(6263), 911–912. <https://doi.org/10.1126/science.aac8033>
- [57] Custom Market Insights. (2023). *Bidirectional Electric Vehicle Charging Market Size, Trends and Forecast 2023–2032*. Retrieved from <https://www.custommarketinsights.com/report/bidirectional-ev-charging-market>
- [58] Custom Market Insights. (2023). *Vehicle-to-Home Market Size, Trends, and Forecasts 2023–2032*. Retrieved from <https://www.custommarketinsights.com/report/bidirectional-ev-charging-market>
- [59] Cyber Switching. (2023). *EVs in Emergency Services*. <https://cyberswitching.com/electric-cars-and-the-future-of-emergency-services/>
- [60] Çelenk, İ. (2023). Elektrikli araçlarda enerji depolama ve araçtan şebekeye enerji aktarım uygulamaları. (*Yayınevi bilgisi eksik – kontrol ediniz*)
- [61] Çınaroğlu, M. (2024). Kahramanmaraş Depremleri Sonrası Manevi Başa Çıkma, Travma Sonrası Stres Bozukluğu (TSSB) ve İslam Odaklı Travma Bazlı Bilişsel Davranışçı Terapi (İÖ-TBBDT). *Eskiyeni*, 52, 351–376. <https://doi.org/10.37697/eskiyeni.1410050>
- [62] Dai, H., Liu, Z., Liu, G., Deng, H., Xin, L., He, L., Shang, L., Liu, D., Shi, J., Xu, Z., & Chen, C. (2023). Optimal configuration and scheduling of grid-connected hybrid energy systems considering electric vehicle interaction. *Energy Reports*, 9, 5932–5946.
- [63] Delbosc, A., & Currie, G. (2013). Causes of youth licensing decline: A synthesis of evidence. *Transport Reviews*, 33(3), 271–290. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.801929>
- [64] Deloitte. (2024). *Automotive software revolution: How software is reshaping the auto industry*. Deloitte Insights.

<https://www.deloitte.com/ua/en/Industries/automotive/analysis/software-defined-vehicles.html>

- [65] Delucchi, M. A., & Lipman, T. E. (2001). An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6(6), 371–404. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(00\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(00)00031-6)
- [66] Department for Transport. (2023). *Recovery Operators: Working with Electric Vehicles* [PDF]. Retrieved from <https://www.gov.uk/government/publications/recovery-operators-working-with-electric-vehicles/recovery-operators-working-with-electric-vehicles>
- [67] Department of Transport – Republic of South Africa. (2018). *Green Transport Strategy for South Africa: (2018–2050)*. Retrieved from https://www.changing-transport.org/wp-content/uploads/I_K_Green-Transport-Strategy_South-Africa_2018_EN.pdf
- [68] DHS. (2025). *FEMA AI Use Cases*. U.S. Department of Homeland Security. <https://www.dhs.gov/ai/use-case-inventory/fema>
- [69] Dhawankar, P., Agrawal, P., Abderezzak, B., Kaiwartya, O., Busawon, K., & Răboacă, M. (2021). Design and Numerical Implementation of V2X Control Architecture for Autonomous Driving Vehicles. *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/MATH9141696>
- [70] Dipartimento della Protezione Civile. (2024). *Pieghevole - La protezione civile italiana*. Retrieved from <https://www.protezionecivile.gov.it/static/957a07464b9ce32c690863dcf6ef39ef/pieghevo-le-pc-ita.pdf>
- [71] Donaldson, D. L., Alvarez-Alvarado, M. S., & Jayaweera, D. (2020). Power system resiliency during wildfires under increasing penetration of electric vehicles. In *2020 16th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)* (pp. 1–6). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9183683>
- [72] Dong, X., Xiong, X., Yang, D., Wang, S., & Zhu, Y. (2025). Power supply resilience under typhoon disasters: A recovery strategy considering the coordinated dispatchable potential of electric vehicles and mobile energy storage. *Processes*, 13(6), 1638. <https://doi.org/10.3390/pr13061638>
- [73] Dowell, L. J., & Maheshwari, S. (2000). Simulating earthquake damage to the electric-power infrastructure: a case study for urban planning and policy development. *Los Alamos National Laboratory Technical Report LA-UR-00-3777*, Los Alamos, NM, 25.

- [74] DVRPC. (2024). *Electric Vehicle Emergency Operating Best Practices*.
<https://www.dvrpc.org/energyclimate/electricvehicle/electric%20vehicle%20emergency%20operating%20best%20practices.pdf>
- [75] Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (2009). *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. CRC Press.
<https://www.crcpress.com/Modern-Electric-Hybrid-Electric-and-Fuel-Cell-Vehicles/Ehsani-Gao-Emadi/p/book/9781420054002>
- [76] Elma, O., Cali, U., & Kuzlu, M. (2022). An Overview of Bidirectional Electric Vehicles Charging System as a Vehicle to Anything (V2X) Under Cyber–Physical Power System (CPPS). *Energy Reports*.
- [77] Emadi, A. (2017). Integrated Power Electronic Converters and Digital Control. In *Advanced Electric Drive Vehicles*. CRC Press.
<https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/b21598>
- [78] Emadi, A., Young, J. L., & Kaushik, R. (2008). Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(6), 2237–2245.
<https://doi.org/10.1109/TIE.2008.922768>
- [79] Ercan, T., Onat, N. C., Tatari, O., & Mathias, J. D. (2017). Public transportation adoption requires a paradigm shift in urban development structure. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1789–1799.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.109>
- [80] Eren Özgüven, B., et al. (2024). Study examines tornado resilience as climate change impacts damage. *Carrier Management (FAMU-FSU College of Engineering)*.
<https://www.carriermanagement.com/news/2024/04/15/261130.htm>
- [81] ESCAP. (2021). *Using Smart Transport Technologies to Mitigate Greenhouse Gas Emissions*. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UN ESCAP).
<https://www.unescap.org/resources/using-smart-transport-technologies-mitigate-greenhouse-gas-emissions-transport-sector-asia>
- [82] European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations (ECHO). (2022). *France: National Disaster Management System*.
https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/what/civil-protection/national-disaster-management-system/france_en

- [83] European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations. (2022). *Italy: National Disaster Management System – Summary Report*.
https://civil-protection-humanitarian-aid.ec.europa.eu/what/civil-protection/national-disaster-management-system/italy_en
- [84] European Commission. (2023). *Fit for 55: Electrification of Transport in the EU*.
<https://climate.ec.europa.eu>
- [85] European Environment Agency. (2022). *Transport and Environment Report 2022: Decarbonising Road Transport*.
<https://www.eea.europa.eu/publications/transport-and-environment-report-2022>
- [86] Falconer, R. (2024). *Climate-Smart Transportation: Good for Cities and People*. Johns Hopkins Public Health Magazine.
<https://magazine.publichealth.jhu.edu/2024/climate-smart-transportation>
- [87] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2020). *Healthcare Facilities and Power Outages*.
<https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/healthcare-facilities-and-power-outages.pdf>
- [88] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2023). *2023 National Preparedness Report*.
https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_2023-npr.pdf
- [89] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2024a). *National Response Framework – Emergency Support Functions*.
<https://www.fema.gov/emergency-managers/national-preparedness/frameworks/response>
- [90] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2024b). *Enhancing Safety for Responders and the Public*.
<https://www.usfa.fema.gov/blog/electric-vehicle-charging-stations-enhancing-safety-for-responders-and-the-public/>
- [91] Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2025). *International Affairs Division Overview*.
<https://www.fema.gov/about/organization/international-affairs>
- [92] FEMA. (2023). *Planning Guides*.
<https://www.fema.gov/emergency-managers/national-preparedness/plan>
- [93] FEMA. (2023). *Whole Community Approach to Emergency Management*.
https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/whole_community_dec2011_2.pdf

- [94] Feng, K., Lin, N., Xian, S., & Chester, M. V. (2020). Can we evacuate from hurricanes with electric vehicles? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102458.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102458>
- [95] Fischer-Preßler, D., Bonaretti, D., & Bunker, D. (2024). Digital transformation in disaster management: A literature review. *Journal of Strategic Information Systems*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963868724000477>
- [96] For Insights Consultancy. (2024). *Bidirectional Charging Devices and V2H Energy Systems Report 2023–2030*.
<https://www.forinsightsconsultancy.com/reports/vehicle-to-home-v2h-bidirectional-charging-system-market>
- [97] Forrester, R. (2016). *History of electricity and the electric generator*. SSRN.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2876929
- [98] Ford Motor Company. (2022, February 2). *F-150 Lightning brings backup power to homes through Ford Intelligent Backup Power*.
<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2022/02/02/f-150-lightning-power-play.html>
- [99] Fortune Business Insights. (2024). *Vehicle-to-Grid Market Size, Share, and Industry Analysis, 2024–2032*.
<https://www.fortunebusinessinsights.com/vehicle-to-grid-v2g-market-107673>
- [100] Future Market Insights. (2024). *Vehicle-to-Grid (V2G) Market Outlook 2024–2034*.
<https://www.futuremarketinsights.com/reports/vehicle-grid-market>
- [101] Fustos, I., Abarca-del-Río, R., Mardones, M., González, L., & Araya, L. R. (2020). Rainfall-induced landslide identification using numerical modelling: A southern Chile case. *Journal of South American Earth Sciences*, 101, 102587.
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102587>
- [102] Gajduk, A., Todorovski, M., Kurths, J., ve Kocarev, L. (2014). *Improving power grid transient stability by plug-in electric vehicles*. arXiv preprint.
<https://arxiv.org/abs/1404.6487>
- [103] General Directorate of Civil Defense. (2024). *Official Portal of the Saudi Civil Defense*.
<https://998.gov.sa/en/Page/Default/web>

- [104] Ghatikar, G., & Alan, M. (2023). *Technology and economics of electric vehicle power transfer*. *Energy Informatics*, 6(1), 21.
<https://energyinformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s42162-023-00220-w>
- [105] Global Market Insights. (2024). *Vehicle-to-Everything (V2X) Market Size, Share & Trends Analysis*.
<https://www.gminsights.com/industry-analysis/automotive-vehicle-to-everything-market>
- [106] Global Market Insights. (2024). *Vehicle-to-Grid Technology Market Size, Global Forecast to 2034*.
<https://www.gminsights.com/industry-analysis/vehicle-to-grid-technology-market>
- [107] Global Newswire. (2024). *Cellular V2X Market Size & Growth Analysis, 2024–2034*.
<https://www.globenewswire.com/news-release/2024/07/12/2912220/32656/en/vehicle-to-everything-v2x-communications-market-to-be-worth-usd-12-1-billion-by-2034-growing-a-cagr-27-4-from-2024-to-2034-exclusive-report-by-transparency-market-research-inc.html>
- [108] GlobalGrowthInsights. (2024). *Vehicle-to-Home (V2H) Market Analysis Report 2024–2032*.
<https://www.globalgrowthinsights.com/market-reports/energy-management-v2h-vehicle-to-home-power-supply-systems-market-100861>
- [109] Gobierno de México. (2024). *La Coordinación Nacional de Protección Civil capacita a servidores públicos en el uso adecuado del FONDEN y el FOPREDEN*.
https://www.gob.mx/sspc/prensa/la-coordinacion-nacional-de-proteccion-civil-capacita-a-servidores-publicos-en-el-uso-adecuado-del-fonden-y-el-fopreden-209626?utm_source
- [110] Gohari, H., Abbaszadeh, K., & Gorji, J. G. (2020). *Feasible Performance Evaluations of Digitally-Controlled Auxiliary Resonant Commutation Snubber-Assisted Three Phase*. (Makale detayları eksik – tamamlanması önerilir)
- [111] Gopalakrishnan, H. V. E., Kampman, B., & Grunig, M. (2011). *Assessment of electric vehicle and battery technology. Impacts of Electric Vehicles – Deliverables, 2*.
- [112] Government of Canada. (2019). *Emergency Management in Canada*.
<https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/index-en.aspx>
- [113] Gov.Uk. (2023). *Preparation and planning for emergencies – The Resilience Capabilities Programme*.
<https://www.gov.uk/guidance/preparation-and-planning-for-emergencies-the-capabilities-programme>

- [114] Grand View Research. (2023). *Vehicle-to-Grid Market Size, Trends & Growth Report 2023–2030*.
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/vehicle-to-grid-v2g-technology-market-report>
- [115] Hannan, M. A., Lipu, M. H., Hussain, A., & Mohamed, A. (2017). *A review of lithium-ion battery state of charge estimation and management system in electric vehicle applications: Challenges and recommendations*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 834–854. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.001>
- [116] Hardman, S., Shiu, E., & Steinberger-Wilckens, R. (2015). *Comparing high-end and low-end early adopters of battery electric vehicles*. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 88, 40–57. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.03.010>
- [117] Hasanuzzaman, M., Alamri, B., Alsharef, M., & Mojumder, M. R. H. (2022). *Electric vehicle-to-grid (V2G) technologies: Impact on the power grid and battery*. *Sustainability*, 14(21), 13856.
- [118] Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2013). *Comparative environmental life cycle assessment of conventional and electric vehicles*. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53–64. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>
- [119] Hertbig, N., et al. (2024). *Sustainability Nexus AID: Storms*. *Sustainability Nexus Analytics, Informatics, and Data Programme*. <https://www.sustainabilityaid.net/>
- [120] Hohlrieder, M., Brugger, H., Schubert, H. M., Pavlic, M., Ellerton, J., & Mair, P. (2007). *Pattern and severity of injury in avalanche victims*. *High Altitude Medicine & Biology*, 8(1), 56–61.
- [121] Hu, Y., Yin, H., & Zhao, L. (2025). *Subsidy phase-out and consumer demand dynamics: Evidence from the battery electric vehicle market in China*. *Review of Economics and Statistics*, 107(2), 458–475. https://doi.org/10.1162/rest_a_01295
- [122] Hynynen, J., Quant, M., Pramanik, R., Olofsson, A., Li, Y. Z., Arvidson, M., & Andersson, P. (2023). *Electric vehicle fire safety in enclosed spaces*.
- [123] InsightAce Analytic. (2024). *Bidirectional Electric Vehicle Charging Systems Market Size and Forecast 2024–2034*. Erişim adresi: <https://www.insightaceanalytic.com/report/bidirectional-electric-vehicle-charger-market/1830>

- [124] InsightAce Analytic. (2025). *Vehicle-to-Load (V2L) Market Size, Share & Trends Forecast 2024 to 2034*. Erişim adresi: <https://www.insightaceanalytic.com/report/vehicle-to-load-v2l-market/3053>
- [125] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report*. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- [126] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- [127] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3>
- [128] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Sixth Assessment Report (AR6) Summary for Policymakers*. Erişim adresi: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- [129] International Energy Agency. (2023). *Global EV Outlook 2023: Catching Up with Climate Ambitions*. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
- [130] International Energy Agency. (2024). *Global EV Outlook 2024: Catching Up with Climate Ambitions*. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>
- [131] International Energy Agency. (2024). *Global EV Policy Explorer*. IEA. <https://www.iea.org/reports/global-ev-policy-explorer>
- [132] Islam, S., Iqbal, A., Marzband, M., Khan, I., & Al-Wahedi, K. A. (2022). *State-of-the-art vehicle-to-everything mode of operation of electric vehicles and its future perspectives*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 166, 112574.
- [133] Izumi, T., Hirota, M., Hatanaka, K., Isoyama, Y., Sano, K., & Takayama, K. (2013). *Bidirectional Charging Unit for Vehicle-to-X (V2X) Power Flow*. Sumitomo Electric Industries White Paper. <https://global-sei.com/technology/tr/bn81/pdf/81-03.pdf>
- [134] Joint Commission. (2021). *Emergency Management Standards*. Retrieved from <https://www.jointcommission.org/-/media/tjc/documents/standards/r3-reports/final-r3-report-emergency-management.pdf>
- [135] Jones, M. W., Smith, A., Betts, R., Canadell, J. G., Prentice, I. C., & Le Quéré, C. (2020). *Climate change increases the risk of wildfires*. Retrieved from https://www.preventionweb.net/files/73797_wildfiresbriefingnote.pdf
- [136] Kadioğlu, M. (2024). *İklim Değişikliği, Hidrometeorolojik Afetler ve Afet Yönetimi*. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Raporu. <https://doi.org/10.53478/TUBA.978-625-8352-56-6.ch04>

- [137] Karapınar, F. (2023). *Akıllı şebekelerde elektrikli araçların entegrasyonu ve taşıttan şebekelere V2G uygulamaları*.
- [138] Kempton, W., & Tomić, J. (2005). *Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy*. Journal of Power Sources, 144(1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775304006777>
- [139] Kempton, W., Udo, V., Huber, K., Komara, K., & Letendre, S. (2008). *A test of vehicle-to-grid (V2G) for energy storage and frequency regulation in the PJM system*. University of Delaware Center for Carbon-Free Power Integration.
- [140] Kennedy, I. T., Petley, D. N., Williams, R., & Murray, V. (2015). *A systematic review of the health impacts of mass earth movements (landslides)*. PLoS Currents, 7, ecurrents-dis. <https://doi.org/10.1371/currents.dis.1d49e84c8bbe678b0e70cf7fc35d0b77>
- [141] Kim, S., & Kang, F. (2013). *Bidirectional Converter Unifying AC-to-DC and Buck-Boost DC-to-DC for V2H Applications*. IEEE PEDS. <https://doi.org/10.1109/PEDS.2013.6527129>
- [142] Kockelman, K., & Dean, J. (2024). *Assessing public opinions of and interest in bidirectional EV charging*. TRB Annual Meeting Paper.
- [143] Kossin, J. P., Knapp, K. R., Olander, T. L., & Velden, C. S. (2020). *Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(22), 11975–11980. <https://doi.org/10.1073/pnas.1920849117>
- [144] Kuşdoğan, Ş. (2022). *Akıllı şebekelere elektrikli araçların entegrasyonu ve taşıttan şebekeye V2G uygulamaları*.
- [145] Kumar, P., & Channi, H. K. (2023). *Modelling and Simulation of Electric Vehicle-to-Load (V2L) Configuration Using MATLAB*. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 12(3), 128–134. https://www.ijareeie.com/upload/2023/march/18_Modeling_NC.pdf
- [146] Landrø, M., Hetland, A., Engeset, R. V., & Pfuhl, G. (2020). *Avalanche decision-making frameworks: Factors and methods used by experts*. Cold Regions Science and Technology, 170, 102897.
- [147] Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons.

- [148] Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P., & Mellander, B. E. (2017). *Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires*. Scientific Reports, 7(1), 10018. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>
- [149] Letcher, M., & Britton, J. (2025). *The role of electric vehicle-to-X in net zero energy systems: A comprehensive review*. Energy Research & Social Science, 122. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629624000368>
- [150] Liperda, R. I., Putra, R. P., Pairunan, G. B., Maghfiroh, M. F. N., & Redi, A. A. N. P. (2024). *Comparative analysis of electric and conventional vehicles performance in the evacuation process of Mount Semeru eruption victims based on geographic information systems*. Sustainability, 16(20), 8939. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/20/8939>
- [151] Liu, S., Vlachokostas, A., & Kontou, E. (2025). *Leveraging electric vehicles as a resiliency solution for residential backup power during outages*. Energy, 318, 134613. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544225002555>
- [152] Liu, Z., Wu, J., & Chen, Y. (2013). *A novel power sharing strategy for vehicle-to-load systems with electric vehicles*. IEEE Transactions on Power Electronics. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6629761>
- [153] Liu, Z., Dai, J., Lin, S., Wang, X. C., Li, X., Lian, Y., & Li, R. (2023). *Urban mobility in the postpandemic stage: A comprehensive investigation of a variety of cities in China*. Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems, 149(8), 05023005. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.TEENG-728>
- [154] Lokmic-Tomkins, Z., Bhandari, D., Bain, C., Borda, A., Kariotis, T. C., & Reser, D. (2023). *Lessons learned from natural disasters around digital health technologies and delivering quality healthcare*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(5), 4542.
- [155] Lu, H., Xiao, C., Jiao, L., Du, X., & Huang, A. (2024). *Spatial-temporal evolution analysis of the impact of smart transportation policies on urban carbon emissions*. Sustainable Cities and Society, 101, 105177. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105177>
- [156] Lutsey, N., & Sperling, D. (2009). *Greenhouse gas mitigation supply curve for the United States for transport versus other sectors*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14(3), 222–229. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.002>
- [157] Markets and Markets. (2023). *Vehicle-to-Everything (V2X) Communication Market Forecast to 2030*. Erişim adresi: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/v2x-communication-market-901.html>

- [158] Markets and Markets. (2025). *Vehicle-to-Load (V2L) Market by Electric Vehicle Type – Global Forecast to 2032*. Erişim adresi: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/vehicle-to-load-market-121403544.html>
- [159] Market.us. (2024). *Global Vehicle-to-Grid Market 2024–2034: Trends, Opportunities, Growth*. Erişim adresi: <https://market.us/report/vehicle-to-grid-v2g-technology-market>
- [160] Masson, T., Bamberg, S., Stricker, M., & Heidenreich, A. (2019). “*We can help ourselves*”: Does community resilience buffer against the negative impact of flooding on mental health? *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(11), 2371–2384. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-2371-2019>
- [161] Maximize Market Research. (2024). *V2X Market Research Report 2024–2032*. Erişim adresi: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/v2x-market-5513>
- [162] Mazzeo, D., Matera, N., De Luca, R., & Musmanno, R. (2022). *A smart algorithm to optimally manage the charging strategy of V2H technologies in an off-grid home powered by renewable sources*. *Energy Systems*. <https://doi.org/10.1007/s12667-022-00548-x>
- [163] McKinsey & Company. (2023). *The road ahead for e-mobility: EV market trends and future outlook*. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-road-ahead-for-e-mobility>
- [164] MDPI. (2022). *Emergency and Disaster Management: Sustainability*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/20/13519>
- [165] Mersky, A. C., Sprei, F., Samaras, C., & Qian, Z. (2016). *Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway*. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.03.011>
- [166] MG Motor Turkey. (2023). *Elektrikli MG’ler deprem bölgesinde mobil jeneratör hizmeti sunacak*. Retrieved from <https://www.mg-turkey.com/tr/blog/elektrikli-mgler-deprem-bolgesinde-mobil-jenerator-hizmeti-sunacak.html>
- [167] Miles, T. (2017). *Storm Harvey's rainfall likely linked to climate change: UN*. Reuters. <https://www.reuters.com/article/business/environment/storm-harveys-rainfall-likely-linked-to-climate-change-un-idUSKCN1B919O/>
- [168] Millard-Ball, A. (2013). *The limits to planning: Causal impacts of city climate action plans*. *Journal of Planning Education and Research*, 33(1), 5–19. <https://doi.org/10.1177/0739456X12449742>

- [169] Ministry of Emergency Management of the People's Republic of China. (2022). *National Emergency Management System Plan during the 14th Five-Year Development* (PDF). Retrieved from <https://www.mem.gov.cn/zl/202208/P020220823583813558584.pdf>
- [170] Ministry of Emergency Management of the People's Republic of China. (2024). *About Us*. Retrieved from <http://www.mem.gov.cn/>
- [171] Ministry of the Interior and Safety – MOIS. (2024). *Disaster and Safety Management*. Retrieved from <https://www.mois.go.kr/eng/sub/a03/disasterAndSafety/screen.do>
- [172] Mishra, A. (2025). *Preventing thermal runaway propagation in lithium-ion batteries: A holistic review of materials, systems, and predictive strategies*. Systems, and Predictive Strategies (June 04, 2025).
- [173] Mock, P., & Yang, Z. (2014). *Driving electrification: A global comparison of fiscal incentive policy for electric vehicles*. <https://coilink.org/20.500.12592/3gxcvp>
- [174] Mom, G. (2004). *The electric vehicle: Technology and expectations in the automobile age*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- [175] Mohj hazaman, M. R. H., Ahmed Antara, F., Hasanuzzaman, M., Alamri, B., & Alsharef, M. (2022). *Electric vehicle-to-grid (V2G) technologies: Impact on the power grid and battery*. Sustainability, 14(21), 13856. <https://doi.org/10.3390/su142113856>
- [176] Mbungu, N. T., Ismail, A., Bansal, R., Hamid, A., & Naidoo, R. (2022). *An optimal energy management scheme of a vehicle to home*. IEEE MELECON. <https://doi.org/10.1109/MELECON53508.2022.9843114>
- [177] Mukdarut, B., Chiumento, A., Dickson, K., & Felix, L. (2017). *The impact of mental health and psychosocial support interventions on people affected by humanitarian emergencies: A systematic review*.
- [178] Muniandi, B., Wan, S., & El-Yabroudi, M. (2024). *Bi-directional charging with V2L integration for optimal energy management in electric vehicles*. Electronics, 13(21), 4221.
- [179] National Disaster Management Authority. (2019). *National Disaster Management Plan*. Government of India.
- [180] National Disaster Management Authority. (2024). *Guidelines for Preparation of Disaster Management Plan for Ministry/Department of Government of India*.
- [181] National Disaster Management Authority (NDMA) India. (2025). *About Us*. <https://ndma.gov.in/about-us>
- [182] National Disaster Management Centre. (2024). *Official Portal of the NDMC – Republic of South Africa*. Retrieved from <https://www.ndmc.gov.za/>

- [183] National Emergency Management Agency. (2024). *About us*. Australian Government. <https://www.nema.gov.au/about-us>
- [184] National Emergency Management Agency (NEMA) Australia. (2024). *Who We Are*. <https://www.nema.gov.au/about-us>
- [185] National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED) Japan. (2025). *Research Projects*. <https://www.bosai.go.jp/e/>
- [186] NARUC. (2021). *Emergency Support Function #12 – FEMA NRF*. <https://www.naruc.org/core-sectors/critical-infrastructure-and-cybersecurity/energy-emergency-preparedness>
- [187] NARUC. (2021). *Energy Emergency Preparedness*. <https://www.naruc.org/core-sectors/critical-infrastructure-and-cybersecurity/energy-emergency-preparedness>
- [188] Nazari, S., Borrelli, F., & Stefanopoulou, A. (2020). *Electric Vehicles for Smart Buildings: A Survey on Applications, Energy Management Methods, and Battery Degradation*. *Proceedings of the IEEE*.
- [189] NCBI. (2023). *Emergency response to natural disasters*. National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10014378/>
- [190] New England Historical Society. (2022). *Thomas Davenport makes the first electric car in America in 1834*. <https://www.newenglandhistoricalsociety.com/thomas-davenport-makes-the-first-electric-car-in-america-in-1834/>
- [191] News.com.au. (2023). *EVs a Significant Challenge for Fire Crews*. <https://www.news.com.au/finance/work/at-work/significant-challenge-for-first-responders-rescuing-people-from-ev-crashes/news-story/631f6c7943e44c85427aab813af34b44>
- [192] NGA. (2018). *Executive Authority During Energy Emergencies*. https://www.nga.org/wp-content/uploads/2018/07/NGA_EnergyEmergencies_RoadMap_pages.6.pdf
- [193] Nissan Motor Corporation. (2023). *Nissan's Blue Switch: Using electric vehicles to power communities in times of need*. <https://www.nissan-global.com/EN/STORIES/RELEASES/nissan-blue-switch/>
- [194] Noel, L., de Rubens, G. Z., Kester, J., & Sovacool, B. K. (2019). *Vehicle-to-Grid: A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility*. Routledge.
- [195] Noor-A-Rahim, M., Liu, Z., Lee, H., Khyam, M. O., He, J., Pesch, D., Moessner, K., & Saad, W. (2020). *6G for Vehicle-to-Everything (V2X) communications: Enabling*

- technologies, challenges, and opportunities. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2009.01763>
- [196] Noori, M., Gardner, S., & Tatari, O. (2015). *Electric vehicle cost, emissions, and water footprint in the United States: Development of a regional optimization model*. *Energy*, 89, 610–625. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.152>
- [197] Octopus Electric Vehicles. (2023). *Turning disaster into opportunity: The Nissan Leaf as a backup energy source*. Retrieved from <https://octopusev.com/ev-hub/turning-disaster-to-opportunity-the-nissan-leaf>
- [198] OECD/International Energy Agency. (2018). *Electric vehicles and the power sector: Integration and impacts*. https://www.oecd.org/en/publications/grid-integration-of-electric-vehicles_39f72d07-en.html
- [199] OECD/ITF. (2024). *Transport System Resilience: Summary and Conclusions*. The International Transport Forum. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/transport-system-resilience.pdf>
- [200] Olcay, K. (2024). *Elektrikli araçların akıllı şebekeye entegrasyonu ve şebekeye etkilerinin yapay zekâ yöntemleriyle analizi*.
- [201] Özbay, H., Közkurt, C., Dalcı, A., & Tektaş, M. (2020). *Geleceğin ulaşım tercihi: Elektrikli araçlar. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3(1), 34–50.
- [202] Özcan, M. E. (2019). *Elektrikli araçların dağıtım şebekesine entegrasyonu* (Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi).
- [203] Özlüer, I. Ö. (2021). *İklim Krizi Ve Afet Planlaması (Türkiye'nin Kalkınma Planlarına Yansıyan Afet Stratejisi)*. *Memleket Siyaset Yönetim*, 16(36), 397–420.
- [204] Özmen, F., & Sağlam, D. (2023). *Psychological support for earthquake survivors in Türkiye ve Suriye: saha uygulamaları*. *Journal of Emergency Psychological Support*, 5(1), 23–41.
- [205] Pacific Disaster Center. (2024). *National Disaster Preparedness Baseline Assessment (NDPBA): Argentina*. Retrieved from https://www.pdc.org/wp-content/uploads/2024/07/NDPBA_ARG_Final_Report.pdf
- [206] Pan, S., Yan, H., He, J., & He, Z. (2021). *Vulnerability and resilience of transportation systems: A recent literature review*. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 581, 126235.

- [207] PBS NewsHour. (2022). *How Climate Change Impacts Each Type of Natural Disaster*. PBS. <https://www.pbs.org/newshour/science/how-climate-change-impacts-each-type-of-natural-disaster>
- [208] Politico. (2024). *California Police Fleet Goes Electric*. <https://www.politico.com/news/2024/07/29/california-pasadena-electric-police-car-00171486>
- [209] Precedence Research. (2025). *Vehicle-to-Everything (V2X) Market Size, Trends and Forecast 2025–2034*. Erişim adresi: <https://www.precedenceresearch.com/automotive-v2x-market>
- [210] Presidencia de la Nación. (2018). *¿Qué es el SINAGIR?* Retrieved from <https://www.argentina.gob.ar/sinagir>
- [211] PreventionWeb. (2024). *Disaster Recovery Framework Guide for the Energy Sector*. <https://recovery.preventionweb.net/media/88588/download?startDownload=true>
- [212] Public Safety Canada. (2018). *An Emergency Management Planning Guide for Canadian Communities*. Retrieved from <https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/2017-mrgnc-mngmnt-frmwrk/index-en.aspx>
- [213] Public Safety Canada. (2021). *National Risk Profile*. <https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/ntnl-rsk-prfl/index-en.aspx>
- [214] Public Safety Canada. (2023). *Emergency Management Strategy for Canada*. <https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/mrgncy-mngmnt-strtg/index-en.aspx>
- [215] Public Safety Canada. (2023). *Emergency Management Strategy for Canada: Towards a Resilient 2030*. Retrieved from <https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrscs/pblctns/2024-ems-ctn-rs/ems-ctn-rs-en.pdf>
- [216] PwC. (2023). *Resilience of urban public electric vehicle charging infrastructure to flooding*. *Scientific Reports*, 13, Article 116289. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30848-w>
- [217] PwC. (2025). *Impact of natural disasters on mental health: Evidence and interventions*. *Scientific Reports*, 14, Article 124392. <https://doi.org/10.3390/healthcare12181812>
- [218] PwC Strategy&. (2023). *Electric vehicle readiness index 2023: Global production and infrastructure readiness*. <https://www.strategyand.pwc.com/it/en/assets/pdf/ereadiness-study-2023.pdf>

- [219] Rakouth, H., Alexander, P., Brown, A., Kosiak, W., Fukushima, M., Ghosh, L., & Hedges, C. A. (2013). *V2X Communication Technology: Field Experience and Comparative Analysis*.
- [220] Rajput, A. A., Nayak, S., Dong, S., & Mostafavi, A. (2023). *Anatomy of perturbed traffic networks during urban flooding*. *Sustainable Cities and Society*, 97, 104693. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104693>
- [221] Ready.gov. (2025). *Power Outage Preparedness*. <https://www.ready.gov/be-informed>
- [222] Rehan, H. (2022). *Enhancing Disaster Response Systems: Predicting and Mitigating the Impact of Natural Disasters Using AI*. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 2(1), 501.
- [223] Rehman, M. A., Numan, M., Tahir, H., Rahman, U., Khan, M. W., & Iftikhar, M. Z. (2023). *A Comprehensive Overview of Vehicle to Everything (V2X) Technology for Sustainable EV Adoption*. *Journal of Energy Storage*, 109304. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109304>
- [224] Resilience Strategy – France (EN Version). (2022). Retrieved from https://www.sgdsn.gouv.fr/files/files/3.%2020220315_NP_Document%20cadre_SNR_vf_EN_0.pdf
- [225] Reuters. (2025). *US Grids Must Harness EV Growth*. <https://www.reuters.com/business/energy/us-grids-must-harness-electric-vehicle-growth-tackle-load-risks-2025-03-18/>
- [226] Reuters. (2025, June 4). *Dutch car sharing firm adds Renault EVs capable of powering local grid*. <https://www.reuters.com/business/energy/dutch-car-sharing-firm-adds-renault-evs-capable-powering-local-grid-2025-06-04/>
- [227] Rinchi, O., Alsharoa, A., Shatnawi, I., & Arora, A. (2024). *The role of intelligent transportation systems and artificial intelligence in energy efficiency and emission reduction*. *arXiv preprint arXiv:2401.14560*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.14560>
- [228] *Risks and response strategies for lithium-ion battery fires*. (2024). U.S. Fire Administration (FEMA). <https://www.usfa.fema.gov/prevention/home-fires/prevent-fires/batteries/>
- [229] Salman, M., Wang, G., Qin, L., & He, X. (2024). *G20 roadmap for carbon neutrality: The role of Paris agreement, artificial intelligence, and energy transition in changing geopolitical landscape*. *Journal of Environmental Management*, 367, 122080. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122080>

- [230] Sánchez-González, A., López-Trejo, J. M., Martínez-Tovar, J. R., & Pérez-Denicia, E. (2024). *Progress, Challenges and Opportunities of Electromobility in Mexico*. *Sustainability*, 16(9), 3754. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/9/3754>
- [231] Scientific Direct. (2025). *Energy Emergency Scheduling under Extreme Weather Events*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544225011338>
- [232] Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale (SGDSN). (2022). *National Resilience Strategy – France*.
- [233] Shabaan, A. (2024). *Elektrikli araçların kablosuz şarjı için mikro şebeke istasyonunun performans değerlendirmesi*.
- [234] Sharmila, D., & Maruthupandi, P. (2023). *Design and Analysis of Bidirectional Buck-Boost Converter for Grid to PHEV and PHEV to Home*. *Journal of Emerging Innovations*. <https://doi.org/10.36548/jei.2023.1.007>
- [235] Shrestha, R., Nam, S. Y., Bajracharya, R., & Kim, S. (2020). *Evolution of V2X communication and integration of blockchain for security enhancements*. *Electronics*, 9(9), 1338.
- [236] Sierzechula, W., Bakker, S., Maat, K., & Van Wee, B. (2014). *The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption*. *Energy Policy*, 68, 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.043>
- [237] Song, C., Atun, F., Blanford, J. I., & Anthonj, C. (2025). *Impact of flooding on the social and mental health of older adults – A scoping review*. *Water Security*, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2025.100190>
- [238] Spherical Insights. (2023). *V2X Market Growth Analysis and Forecast to 2033*. <https://www.sphericalinsights.com/reports/v2x-market>
- [239] Spokane County. (2014). *Emergency Support Function #12 – Energy*. <https://www.spokanecounty.gov/DocumentCenter/View/4755/ESF-12---Energy-PDF>
- [240] Sovacool, B. K., Axsen, J., & Sorrell, S. (2018). *Promoting novelty, rigor, and style in energy social science: Towards codes of practice for appropriate methods and research design*. *Energy Research & Social Science*, 45, 12–42. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.07.007>
- [241] Stethem, C., Jamieson, B., Schaerer, P., Liverman, D., Germain, D., & Walker, S. (2003). *Snow avalanche hazard in Canada – A review*. *Natural Hazards*, 28, 487–515.

- [242] Sturmberg, B. C. P., Jones, L., Lucas-Healey, K., Islam, M., & Temby, H. (2021). *Niche to normality: An interdisciplinary review of vehicle-to-grid*. *Energy Research & Social Science*, 81, 102281.
- [243] Subahi, A., & Alkhudhayr, H. (2024). *Vehicle-to-home: Implementation and design of an intelligent home energy management system that uses renewable energy*. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(4), 15239–15250.
- [244] Szeto, H., Kumar, V., & Zhu, Y. (2024). *In situ observation of thermally activated and localized Li leaching from lithiated graphite*. *ACS Energy Letters*, 9(9), 4218–4224. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsenergylett.4c01571>
- [245] Tan, X., Vezzini, A., Fan, Y., Khare, N., Xu, Y., & Wei, L. (2022). *Battery Management System and Its Applications*. John Wiley & Sons.
- [246] Tanim, T., & Prucha, T. (2024). *A Teardown Study of Flood-Damaged Electric Vehicles (No. DOT HS 813 644)*. United States. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration. https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/78512/dot_78512_DS1.pdf
- [247] Tasnim, M. N., Riana, J. M. K., Shams, T., Shahjalal, M., Subhani, N., Ahmed, M. R., & Iqbal, A. (2023). *A critical review on contemporary power electronics interface for vehicle-to-grid infrastructure*. *IET Power Electronics*, 16(11), 2025–2041.
- [248] Tavella, D., Tolkacz, J., Kasture, A., & Sarkar, A. (2024). *Vehicle to Load (V2L) Scalable Architecture with On-Board Smart Power Panel Technology*. *SAE Technical Paper Series*. <https://doi.org/10.4271/2024-01-2030>
- [249] T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2022). *Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası Belgesi*. <https://www.sanayi.gov.tr/plan-program-raporlar-ve-yayinlar/strateji-belgeleri>
- [250] Tektaş, M., Korkmaz, K., & Erdal, H. (2016). *Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği (Ekonomik Ve Çevresel Faydaları)*. *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 561–577.
- [251] Texas A&M Engineering Extension Service (TEEX). (2023). *Chemical characterization study of EV fire emissions*. <https://teex.org/wp-content/uploads/TEEX-EV-ESS-Report.pdf>
- [252] Thangavel, S., Mohanraj, D., Girijaprasanna, T., Raju, S., Dhanamjayulu, C., & Muyeen, S. M. (2023). *A comprehensive review on electric vehicle: battery management system, charging station, traction motors*. *IEEE Access*, 11, 20994–21019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3250221>

- [253] The Guardian. (2024a). *NSW Firefighters to Get EV Training*. <https://www.theguardian.com/australia-news/2024/mar/16/nsw-announces-compulsory-training-for-firefighters-to-deal-with-electric-vehicle-incidents>
- [254] The Guardian. (2024b). *EVs as Backup Power in Canberra Trial*. <https://www.theguardian.com/environment/article/2024/jul/09/electric-vehicles-ev-cars-australia-energy-grid>
- [255] Tran, M., Banister, D., Bishop, J. D., & McCulloch, M. D. (2012). *Realizing the electric-vehicle revolution*. *Nature Climate Change*, 2(5), 328–333. <https://doi.org/10.1038/nclimate1429>
- [256] Transparency Market Research. (2024). *Vehicle-to-Everything (V2X) Market Outlook 2023–2034*. <https://www.transparencymarketresearch.com/vehicle-to-everything-v2x-communications-market.html>
- [257] TRB/RIP. (2023). *EV Fire Mitigation and Response Toolkit*. <https://rip.trb.org/View/2381748>
- [258] Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). *Ulaştırma İstatistikleri Raporu*. TÜİK. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulastirma-ve-haberlesme-112>
- [259] Tuttle, D. P., Fares, R. L., Baldick, R., & Webber, M. E. (2014). *Plug-in vehicle to home (V2H) duration and power output capability*. University of Texas at Austin, Energy Institute Report.
- [260] Tang, X., Sun, C., Bi, S., Wang, S., & Zhang, A. Y. (2022). *A holistic review on advanced bi-directional EV charging control algorithms*. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2205.14204>
- [261] U.S. Fire Administration. (2014). *Operational lessons learned in disaster response*. FEMA. https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/operational_lessons_learned_in_disaster_response.pdf
- [262] United Nations. (2023). *UN climate change annual reports*. UN Climate Change. <https://www.un.org/en/climatechange/reports>
- [263] United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2020). *Disaster Risk Reduction in Indonesia: Status Report 2020*. <https://www.undrr.org/publication/disaster-risk-reduction-indonesia-status-report-2020>

- [264] United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2025). *Sendai Framework Focal Points and National Platforms*.
<https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-national-focal-points>
- [265] University of Texas Energy Institute. (2016). *The history and evolution of the U.S. electricity industry*.
https://energy.utexas.edu/sites/default/files/UTAustin_FCe_History_2016.pdf
- [266] USFA. (2024). *Electric Vehicle Fire Safety*.
<https://www.usfa.fema.gov/prevention/vehicle-fires/electric-vehicles/>
- [267] Ünsal, F. (2022). *Elektrikli otomobil sanayi üretiminde tüketici davranışlarının etkisi: "Türkiye örneği"*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- [268] Vadi, S., Bayındır, R., Çolak, A., & Hossain, E. (2019). A Review on Communication Standards and Charging Topologies of V2G and V2H Operation Strategies. *Energies*, 12(19), 3748.
<https://doi.org/10.3390/en12193748>
- [269] Verified Market Reports. (2024). *Vehicle-to-Home (V2H) Market Size, Share & Forecasts 2024–2033*.
<https://www.linkedin.com/pulse/energy-management-v2h-vehicle-to-home-power-supply-o4nle>
- [270] Vittorias, I., Metzger, M., Kunz, D., Gerlich, M., & Bachmaier, G. (2014). A Bidirectional Battery Charger for Electric Vehicles with V2G and V2H Capability and Active and Reactive Power Control. *IEEE ITEC*.
<https://doi.org/10.1109/ITEC.2014.6861855>
- [271] Wall Street Journal. (2025). *If You Need to Escape a Wildfire in an EV...*
<https://www.wsj.com/business/autos/if-you-need-to-escape-a-wildfire-in-an-ev-here-is-what-to-know-0fa41f51>
- [272] Wang, C., Rider, E., Manning, S., Fast, J., & Islam, T. (2023). Qualitative analysis of the lived experience of tornado survivors and factors affecting community resilience: A case study of an EF3 tornado in Jacksonville, Alabama. *Weather, Climate, and Society*, 15(1), 133–144.
<https://doi.org/10.1175/WCAS-D-22-0067.1>
- [273] Wang, R., Zhang, X., Xu, Z., Zhao, X., & Li, X. (2021). Research on performance and function testing of V2X in a closed test field. *Journal of Advanced Transportation*.
<https://doi.org/10.1155/2021/9970978>

- [274] Wang, T., O'Neill, D., & Kamath, H. (2014). Dynamic control and optimization of distributed energy resources in a microgrid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(2), 622–631.
- [275] Wang, X., Liu, Y., Qian, W., Janabi, A., Wang, B., Lu, X., Zou, K., Chen, C., & Peng, F. (2019). Design, and control of a SiC isolated bidirectional power converter for V2L applications to both DC and AC load. *IEEE Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications*.
- [276] Wang, Y., Tian, J., Sun, Z., Wang, L., Xu, R., Li, M., & Chen, Z. (2020). A comprehensive review of battery modeling and state estimation approaches for advanced battery management systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 110015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110015>
- [277] World Bank. (2024). *Urban transport and mobility in developing countries: Challenges and solutions*. World Bank Group. <https://www.worldbank.org/en/results/2024/03/13/promoting-livable-cities-by-investing-in-urban-mobility>
- [278] Yang, S., Liu, X., Li, S., & Zhang, C. (2022). *Advanced battery management system for electric vehicles*. Springer.
- [279] Yayla, S. (2024). Elektrikli araç şarjının şebeke etkisini iyileştirmek için yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenen araçtan şebekeye (V2G) enerji yönetim sistemi.
- [280] Yilmaz, M., & Krein, P. T. (2013). Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(5), 2151–2169. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2212917>
- [281] Yoshizawa, T., Singelée, D., Muehlberg, J. T., Delbruel, S., Taherkordi, A., Hughes, D., & Preneel, B. (2022). A survey of security and privacy issues in V2X communication systems. *ACM Computing Surveys*, 55(9), Article 999.
- [282] Zhang, X., Li, J., Zhou, J., Zhang, S., Wang, J., Yuan, Y., & Liu, J. (2024). Vehicle-to-everything (V2X) communication in intelligent connected vehicles: A survey and taxonomy. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 26(1), 1–35.
- [283] Zhang, Y., Zhao, M., Huang, L., & Chen, Q. (2024). Data-driven assessment of vehicle-to-grid capabilities. *arXiv preprint*. <https://arxiv.org/abs/2412.07982>

- [284] Zhao, J., Zhou, J., Wang, L., & Zhao, Y. (2023). An energy management strategy to reduce the comprehensive cost of hybrid energy storage systems in electric vehicles. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1191565. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1191565>
- [285] Zhu, Y., Li, X., Liu, Q., Li, S., & Xu, Y. (2022). A comprehensive review of energy management strategies for hybrid electric vehicles. *Mechanical Sciences*, 13(1), 147–188. <https://doi.org/10.5194/ms-13-147-2022>



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		Fotoğraf
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